ICS 29.130.10
CCS K 43

中华人民共和国国家标准

GB/T 1984—2024
代替 GB/T 1984—2014

高压交流断路器

High-voltage alternating-current circuit-breakers

（IEC 62271-100:2021，High-voltage switchgear and controlgear—Part 100:Alternating-current circuit-breakers，MOD）

杭州高电 专业高试铸典范 Professional high voltage test 高压测量仪器智造|电力试验工程服务

2024-09-29 发布　　2025-04-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　次

前言 …… Ⅺ

1　范围 …… 1

2　规范性引用文件 …… 1

3　术语和定义 …… 2

3.1　通用术语和定义 …… 2

3.2　总装 …… 5

3.3　总装的部件 …… 5

3.4　开关装置 …… 6

3.5　断路器的部件 …… 7

3.6　操作特性 …… 10

3.7　特性参量 …… 12

3.8　故障类型 …… 23

4　正常和特殊使用条件 …… 24

5　额定值 …… 24

5.1　概述 …… 24

5.2　额定电压(U_r) …… 24

5.3　额定绝缘水平(U_d、U_p和U_s) …… 24

5.4　额定频率(f_r) …… 24

5.5　额定连续电流(I_r) …… 25

5.6　额定短时耐受电流(I_k) …… 25

5.7　额定峰值耐受电流(I_p) …… 25

5.8　额定短路持续时间(t_k) …… 25

5.9　辅助、控制回路的额定供电电压(U_a) …… 25

5.10　辅助和控制回路供电电压的额定频率 …… 25

5.11　可控压力系统用压缩气源的额定压力 …… 25

5.12　绝缘和/或开合用的额定充入压力/水平 …… 25

5.101　额定短路开断电流(I_{sc}) …… 25

5.102　额定首开极系数(k_{pp}) …… 27

5.103　额定短路关合电流 …… 27

5.104　额定操作顺序 …… 27

5.105　额定失步关合和开断电流 …… 28

5.106　额定容性电流 …… 28

6　设计与结构 …… 30

6.1 对断路器中液体的要求 …… 30
6.2 对断路器中气体的要求 …… 30
6.3 断路器的接地 …… 30
6.4 辅助和控制设备及回路 …… 30
6.5 动力操作 …… 31
6.6 储能操作 …… 31
6.7 不依赖于非扣锁的操作(不依赖人力或动力的操作) …… 31
6.8 人力操作的驱动器 …… 31
6.9 脱扣器的操作 …… 31
6.10 压力/液位指示 …… 32
6.11 铭牌 …… 32
6.12 联锁装置 …… 33
6.13 位置指示 …… 33
6.14 外壳的防护等级 …… 34
6.15 户外绝缘子的爬电距离 …… 34
6.16 气体和真空的密封 …… 34
6.17 液体的密封 …… 34
6.18 火灾(易燃性) …… 34
6.19 电磁兼容性(EMC) …… 34
6.20 X 射线发射 …… 34
6.21 腐蚀 …… 34
6.22 绝缘和/或开合、操作用的充入压力/水平 …… 34
6.101 单合和单分操作时的极间同期性要求 …… 34
6.102 操作的一般要求 …… 35
6.103 操作用流体的压力极限 …… 35
6.104 排逸孔 …… 35
6.105 时间参量 …… 35
6.106 机械负荷 …… 36
6.107 断路器的分级 …… 36
7 型式试验 …… 38
7.1 总则 …… 38
7.2 绝缘试验 …… 40
7.3 无线电干扰电压试验(RIV) …… 44
7.4 回路电阻的测量 …… 44
7.5 连续电流试验 …… 45
7.6 短时耐受电流和峰值耐受电流试验 …… 45
7.7 防护等级验证 …… 46

7.8 密封试验 …… 46
7.9 电磁兼容性试验(EMC) …… 46
7.10 辅助和控制回路的附加试验 …… 46
7.11 真空灭弧室的 X 射线试验 …… 47
7.101 机械和环境试验 …… 47
7.102 关合和开断试验的各项规定 …… 56
7.103 关合和开断试验的总则 …… 71
7.104 燃弧时间的说明 …… 76
7.105 短路试验参数 …… 93
7.106 短路试验程序 …… 106
7.107 端子故障试验 …… 107
7.108 附加的短路试验 …… 110
7.109 近区故障试验 …… 113
7.110 失步关合和开断试验 …… 122
7.111 容性电流试验 …… 123
7.112 额定电压 40.5 kV 及以下 E2 级断路器关合和开断试验的要求 …… 136
7.113 噪声水平试验 …… 137
8 出厂试验 …… 137
8.1 通则 …… 137
8.2 主回路的绝缘试验 …… 137
8.3 辅助和控制回路的试验 …… 138
8.4 主回路电阻的测量 …… 138
8.5 密封试验 …… 138
8.6 设计检查和外观检查 …… 138
8.101 机械操作试验 …… 138
9 断路器的选用导则 …… 139
9.101 通则 …… 140
9.102 运行条件下额定值的选择 …… 141
9.103 故障条件下额定值的选择 …… 142
9.104 电寿命的选择 …… 145
9.105 容性负载开合的选择 …… 145
10 与询问单、标书和订单一起提供的资料 …… 145
10.1 通则 …… 145
10.2 与询问单和订单一起提供的资料 …… 145
10.3 与标书一起提供的资料 …… 146
11 运输、储存、安装、运行和维护规则 …… 148
11.1 通则 …… 148

11.2 运输、储存和安装时的条件 …… 148
11.3 安装 …… 149
11.4 运行 …… 153
11.5 维护 …… 153
11.101 电阻器和电容器 …… 154
12 安全 …… 154
13 产品对环境的影响 …… 154
附录 A(规范性) 试验期间试验参量的容差 …… 155
附录 B(规范性) 型式试验的记录及报告 …… 163
B.1 应记录的资料及结果 …… 163
B.2 型式试验报告包括的内容 …… 163
附录 C(规范性) 机械特性的使用和相关要求 …… 166
附录 D(规范性) 金属封闭断路器和外壳不带电断路器关合和开断试验程序的要求 …… 167
D.1 通则 …… 167
D.2 试验用关合和开断单元的降低数 …… 167
D.3 单极在一个外壳内的试验 …… 167
D.4 三极在一个外壳内的试验 …… 170
附录 E(规范性) 带有分闸电阻器的断路器的要求 …… 172
E.1 通则 …… 172
E.2 开合性能验证 …… 172
E.3 电阻器的接入时间 …… 182
E.4 电流承载性能 …… 182
E.5 绝缘性能 …… 182
E.6 机械性能 …… 182
E.7 分闸电阻器技术规范的要求 …… 183
E.8 恢复电压波形的例子 …… 183
附录 F(规范性) 预期 TRV 的确定方法 …… 187
F.1 通则 …… 187
F.2 画包络线 …… 187
F.3 参数的确定 …… 188
附录 G(规范性) 确定预期 TRV 波形的方法 …… 191
G.1 通则 …… 191
G.2 推荐方法简述 …… 192
G.3 推荐方法的细节 …… 192
G.4 各种方法的比较 …… 201
附录 H(资料性) 断路器开断变压器限制的故障的要求 …… 203
H.1 概述 …… 203

H.2 额定电压小于 126 kV 的断路器 …… 204
H.3 额定电压大于或等于 126 kV，小于或等于 800 kV 的断路器 …… 205
H.4 额定电压大于 800 kV 的断路器 …… 205
附录 I(规范性) 根据额定特性对近区故障的瞬态恢复电压的计算 …… 207
I.1 基本方法 …… 207
I.2 线路侧瞬态电压 …… 209
I.3 电源侧瞬态电压 …… 209
I.4 计算示例 …… 212
附录 J(规范性) 存在单相或两相接地故障时容性电流开断的验证 …… 215
J.1 通则 …… 215
J.2 试验电压 …… 215
J.3 试验电流 …… 215
J.4 试验方式 …… 215
J.5 通过试验的判据 …… 215
参考文献 …… 217

图 1 三相短路关合—开断循环的典型波形图 …… 13
图 2 不带分合闸电阻器的断路器的分闸和合闸操作 …… 14
图 3 不带分合闸电阻器的断路器的合—分循环 …… 15
图 4 不带分合闸电阻器的断路器的重合闸(自动重合闸) …… 15
图 5 带分合闸电阻器的断路器的分闸和合闸操作 …… 16
图 6 带分合闸电阻器的断路器的合—分循环 …… 17
图 7 带分合闸电阻器的断路器的重合闸(自动重合闸) …… 18
图 8 短路关合和开断电流以及直流分量百分数的确定 …… 26
图 9 对于不同直流时间常数，直流分量的百分数与从短路起始时刻开始的时间间隔的关系曲线 …… 27
图 10 风速测量示例 …… 52
图 11 低温试验试验顺序 …… 53
图 12 高温试验试验顺序 …… 55
图 13 湿度试验 …… 56
图 14 参考机械行程特性曲线示例(理想曲线) …… 59
图 15 图 14 中的参考机械行程特性曲线及其以参考曲线为中心的包络线(+5%，−5%) …… 60
图 16 图 14 中的参考机械行程特性曲线及其以参考曲线为基准完全上移的包络线(+10%，0%) … 60
图 17 图 14 中的参考机械行程特性曲线及其以参考曲线为基准完全下移的包络线(0%，−10%) … 61
图 18 具有多于一个独立关合和开断单元的断路器的单元试验的等效试验装置 …… 62
图 19 k_{pp}=1.5，单相短路试验的试验回路的接地 …… 63
图 20 k_{pp}=1.3，单相短路试验的试验回路的接地 …… 64
图 21 单相失步试验的试验回路 …… 64

图 22　利用两个相位差 120°的电压进行失步试验的试验回路 …… 65
图 23　断路器一端接地时失步试验的试验回路(征得制造厂的同意) …… 65
图 24　满足型式试验条件的、用四参数包络线表示的试验中的预期 TRV 示例:具有四参数参考线的规定的 TRV 的情况 …… 66
图 25　满足型式试验条件的、用两参数包络线表示的试验中的预期 TRV 示例:具有两参数参考线的规定的 TRV 的情况 …… 66
图 26　两部试验中预期的 TRV 波形以及它们组合的包络线的例子 …… 67
图 27　k_{pp}=1.5,三相短路试验的试验回路的接地 …… 72
图 28　k_{pp}=1.3,三相短路试验的试验回路的接地 …… 73
图 29　工频恢复电压的确定 …… 75
图 30　试验方式 T100a 三相试验燃弧时间的说明中时间参数的图例 …… 77
图 31　k_{pp}=1.5,三相试验时 3 次有效对称开断操作的图例 …… 79
图 32　k_{pp}=1.3,三相试验时 3 次有效对称开断操作的图例 …… 80
图 33　k_{pp}=1.5,三相试验时 3 次有效非对称开断操作的图例 …… 83
图 34　k_{pp}=1.3,三相试验时 3 次有效非对称开断操作的图例 …… 84
图 35　k_{pp}=1.5,单相试验代替三相条件时 3 次有效对称开断操作的图例 …… 87
图 36　k_{pp}=1.3,单相试验代替三相条件时 3 次有效对称开断操作的图例 …… 88
图 37　k_{pp}=1.5,单相试验代替三相条件时 3 次有效非对称开断操作的图例 …… 90
图 38　k_{pp}=1.3,单相试验代替三相条件时 3 次有效非对称开断操作的图例 …… 91
图 39　对于 k_{pp} 为 1.3 的系统,燃弧窗口和决定各极 TRV 的电压系数 k_p 的图形表示 …… 92
图 40　对于 k_{pp} 为 1.5 的系统,燃弧窗口和决定各极 TRV 的电压系数 k_p 的图形表示 …… 93
图 41　用四参数参考线和时延线对规定的 TRV 的表示 …… 95
图 42　用两参数参考线和时延线对规定的 TRV 的表示 …… 96
图 43　具有 ITRV 的端子故障的基本回路 …… 96
图 44　ITRV 与 TRV 关系的表示 …… 97
图 45　具有时延的线路瞬态电压呈非线性上升率的示例 …… 104
图 46　附加的单相试验的必要性和试验要求 …… 112
图 47　符合 7.109.3 的近区故障试验的基本回路布置和 a)类预期 TRV 回路:电源侧和线路侧均有时延 …… 114
图 48　符合 7.109.3 的近区故障试验的基本回路布置和 b1)类预期 TRV 回路:电源侧有 ITRV 和线路侧有时延 …… 115
图 49　符合 7.109.3 的近区故障试验的基本回路布置和 b2)类预期 TRV 回路:电源侧有时延和线路侧无时延 …… 116
图 50　有时延的线路侧瞬态恢复电压的示例 …… 117
图 51　选择近区故障试验回路的流程图 …… 119
图 52　通过提高线路侧电压的幅值补偿电源侧时延过长的缺陷 …… 120
图 53　容性电流开断试验的恢复电压 …… 133

图 54　线路和电缆充电电流试验的重新分级程序 …… 135
图 55　电容器组电流开合试验的重新分级程序 …… 135
图 D.1　表 D.1、表 D.2 和表 D.3 中考虑的试验布置 …… 169
图 E.1　由带分闸电阻器的断路器开断的典型系统结构 …… 172
图 E.2　试验方式 T60 和 T100 的试验回路 …… 173
图 E.3　试验方式 T10、T30 和 OP2 的试验回路 …… 174
图 E.4　U_r=1 100 kV、I_{sc}=50 kA、f_r=50 Hz，试验方式 100s(b)，欠阻尼的 TRV 的示例 …… 176
图 E.5　U_r=1 100 kV、I_{sc}=50 kA、f_r=50 Hz，试验方式 T10，过阻尼的 TRV 的示例 …… 177
图 E.6　近区故障试验方式 L_{90} 的试验回路示例 …… 178
图 E.7　基于 U_r=1 100 kV、I_{sc}=50 kA、f_r=50 Hz，近区故障试验方式 L_{90} 真实线路模拟的示例 … 179
图 E.8　带分闸电阻器的断路器容性电流开断的典型恢复电压波形 …… 180
图 E.9　带有分闸电阻器的断路器的电阻器开关上的 T10(基于 U_r=1 100 kV、I_{sc}=50 kA、f_r=50 Hz)的典型恢复电压波形 …… 181
图 E.10　大短路电流开断操作的 TRV 波形 …… 183
图 E.11　大短路电流开断操作情况下的电流 …… 184
图 E.12　小短路电流开断操作的 TRV 波形 …… 184
图 E.13　小短路电流开断操作情况下的电流 …… 185
图 E.14　线路充电电流开断操作的电压波形 …… 185
图 E.15　线路充电电流开断操作的电流波形 …… 186
图 F.1　用四参数表示回路的预期 TRV——F.2 c) 1)的情况 …… 188
图 F.2　用四参数表示回路的预期 TRV——F.2 c) 2)的情况 …… 189
图 F.3　用四参数表示回路的预期 TRV——F.2 c) 3) ⅰ)的情况 …… 189
图 F.4　用两参数表示回路的预期 TRV——F.2 c) 3) ⅱ)的情况 …… 190
图 G.1　抑制对 TRV 峰值的影响 …… 191
图 G.2　存在电弧电压时的开断 …… 193
图 G.3　理想开断时的 TRV …… 193
图 G.4　电流零点显著提前时的开断 …… 193
图 G.5　试验中出现的和系统预期的电流值与 TRV 间的关系 …… 194
图 G.6　有弧后电流时的开断 …… 195
图 G.7　工频电流注入装置的原理图 …… 196
图 G.8　工频电流注入装置的操作顺序 …… 197
图 G.9　电容注入装置的原理图 …… 198
图 G.10　电容注入装置的操作顺序 …… 199
图 H.1　变压器限制的故障的第一个事例(也称为变压器馈电故障) …… 203
图 H.2　变压器限制的故障的第二个事例(也称为变压器二次侧故障) …… 204
图 I.1　线路侧和电源侧 TRV 参数的典型图示—线路侧和电源侧均有时延 …… 208
图 I.2　近区故障 L_{90}、L_{75} 和 L_{60} 电源侧 TRV 的实际曲线 …… 210

图 I.3　线路侧和电源侧 TRV 参数的典型图示——线路侧和电源侧均有时延，电源侧有 ITRV …… 211

表 1　额定容性电流的优选值 …… 29
表 2　铭牌信息 …… 32
表 3　用于静态端子负荷的静态水平力和垂直力示例 …… 36
表 4　机械操作次数 …… 37
表 5　型式试验 …… 38
表 6　无效试验 …… 40
表 7　额定电压 72.5 kV 及以上的 GIS 断路器和外壳不带电断路器局部放电试验电压 …… 42
表 8　对金属封闭断路器作为状态检查的电压试验的试验要求 …… 43
表 9　操作顺序的次数 …… 50
表 10　ITRV 的标准值——额定电压 126 kV 及以上 …… 76
表 11　与短路试验方式 T100a 相关的三相试验和单相试验替代三相条件中最后电流半波的参数（运行频率为 50 Hz） …… 81
表 12　单相试验替代三相试验的预期 TRV 参数（验证 k_{pp}=1.3 的第二开断极的开断） …… 85
表 13　单相试验替代三相试验的预期 TRV 参数（验证 k_{pp}=1.3 的第三开断极的开断） …… 85
表 14　第二和第三开断极 TRV 值的标准乘数 …… 92
表 15　对称电流试验时的燃弧窗口 …… 92
表 16　k_{pp}=1.5，S1 级断路器的预期 TRV 值 …… 98
表 17　k_{pp}=1.5，S2 级断路器的预期 TRV 值 …… 99
表 18　k_{pp}=1.3，额定电压 126 kV 及以上的断路器的预期 TRV 值 …… 101
表 19　k_{pp}=1.5，额定电压 126 kV 的断路器的预期 TRV 值 …… 102
表 20　k_{pp}=2.5，S1 级断路器失步试验的预期 TRV 值 …… 105
表 21　k_{pp}=2.5，S2 级断路器失步试验的预期 TRV 值 …… 105
表 22　k_{pp}=2.5，额定电压 126 kV 断路器失步试验的预期 TRV 值 …… 105
表 23　k_{pp}=2.0，额定电压 126 kV 及以上的断路器失步试验的预期 TRV 值 …… 106
表 24　单相接地故障和异相接地故障试验的预期 TRV 参数 …… 112
表 25　近区故障线路特性的标准值 …… 114
表 26　近区故障电源侧回路预期 TRV 的标准值 …… 121
表 27　验证失步额定值的试验方式 …… 123
表 28　u_1，t_1，u_c 和 t_2 的规定值 …… 125
表 29　试验方式的共用要求 …… 127
表 30　用于自动重合闸方式的 E2 级断路器电寿命试验的操作顺序 …… 136
表 31　主回路绝缘试验电压的施加 …… 137
表 32　宜提供的断路器特性 …… 145
表 33　额定值和特性 …… 147
表 A.1　型式试验时试验参量的容差 …… 156

表 D.1　运行条件下三相容性电流开断：电源侧电压、负载侧电压和恢复电压 …… 168
表 D.2　对于试验室单相试验，根据 7.111.7 的容性电流开断试验电源侧、负载侧电压值和恢复电压 …… 169
表 D.3　实际运行条件下容性电流开断：最大标准电压值 …… 171
表 E.1　端子故障和失步 TRV 的计算结果 …… 175
表 E.2　试验方式 L_{90} 的 TRV 计算的结果 …… 179
表 E.3　试验方式 T10 的 TRV 计算的结果 …… 181
表 G.1　确定预期 TRV 的各种方法 …… 201
表 H.1　预期 TRV 标准值，中性点非有效接地系统中额定电压大于或等于 3.6 kV，小于 126 kV，与连有小电容的变压器相连的断路器试的验方式 T30 …… 205
表 H.2　预期 TRV 标准值，额定电压 800 kV 以上与连有小电容的变压器相连的断路器 …… 206
表 I.1　电压降和电源侧 TRV 之比 …… 209
表 I.2　电源侧和线路侧均有时延(252 kV、50 kA、50 Hz 时的 L_{90}、L_{75}) …… 212
表 I.3　电源侧有 ITRV，线路侧有时延(252 kV、50 kA、50 Hz 时的 L_{90}) …… 213
表 I.4　电源侧有时延，线路侧无时延(252 kV、50 kA、50 Hz 时的 L_{90})——简化方法的计算 …… 214

电力图书馆公众号

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替GB/T 1984—2014《高压交流断路器》，与GB/T 1984—2014相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

——删除了具有预定的极间不同期性的断路器、作为旁路开关的断路器的标准指向；删除了单极断路器、双极断路器应遵从的要求；增加了“本文件所述关合和开断试验方法仅包括直接试验方法”的说明；增加了电气化铁道供配电系统的断路器的标准指向（见第1章，见2014年版的第1章）；

——增加了“截流、带绝缘电缆、分相屏蔽电缆、短路开断电流的直流时间常数、终身密封断路器、电阻器开关、真空灭弧室、开合、（分闸电阻器的）接入时间、（分闸或合闸）操作起始时刻、总燃弧时间、端子故障、单相接地故障、异相接地故障”等术语和定义（见第3章）；

——删除了“户内开关设备和控制设备、户外开关设备和控制设备、接地故障系数、自恢复绝缘、非自恢复绝缘、电缆系统、线路系统”等术语和定义（见2014年版的第3章）；

——更改了“额定短路开断电流相关的瞬态恢复电压”“近区故障特性”“额定时间参量”“机械操作的次数”“按照电寿命的分级”在文中的位置（见7.105、7.109、6.105、7.101、6.107，2014年版的4.102、4.105、4.109、4.110、4.111）；

——删除了“额定单个电容器组关合涌流、感性负载开合”、额定操作顺序中的“CO—t—CO”（见2014年版的4.107.5、4.108、4.104）；

——增加了“额定首开极系数”（见3.2）；

——删除了辅助设备中列项2，3，4，7，10的要求（见2014年版的5.4）；

——增加了“人力操作的驱动器”“时间参量”“机械负荷”“断路器的分级”的要求（见6.8、6.105、6.106和6.107）；

——删除了型式试验产品数量、试验的分组等要求（见2014年版的6.1.1）；

——增加了“绝缘试验”[见7.1.1c)]；

——删除了“端子静负载试验”（见2014年版的表11及6.101.6）、“并联电抗器和电动机的开合试验”（见2014年版的表11）；

——增加了“X射线试验”“噪声水平试验”（见表5）；

——增加了“在替代的操动机构的断路器上重复的型式试验”（见7.1.102）；

——增加了“GIS断路器和外壳不带电断路器”局部放电试验的要求（见7.2.10）；

——更改了机械或环境试验后及关合和开断试验后的状态检查要求（见7.2.12.101、7.2.12.102、表8，2014年版的6.2.11、6.101.1.4、6.102.9）；

——删除了“温升试验的解释”（见2014年版的6.5.6）；

——删除了装有直接过电流脱扣器的断路器及自脱扣断路器的相应要求（见2014年版的6.6.1），“断路器在试验中的性能”（见2014年版的6.6.3）；

——增加了“对绝缘和/或开合用的流体不作强制要求。空气或氮气可用来替代可能造成全球变暖的气体。对于充入流体的最低压力也不作要求”的要求（见7.6.2）；

——增加了需要进行高低温试验产品的使用温度要求（见7.101.3.1）；

——增加了“户外金属封闭断路器的附加要求”（见7.101.3.2）；

——增加了“按照 S2 级进行的关合和开断试验涵盖 S1 级的关合和开断试验”(见 7.102.1)；
——增加了当同时要求 50 Hz 和 60 Hz 进行试验时，验证试验的合并要求(见 7.102.4.1)；
——增加了“在开断后 1/4 工频周期以内，任何一个极的工频电流的重现应由断路器开断。在所有极的短路第一次开断后，超过 1/4 工频周期后工频电流的重现是开断失败。”(见 7.102.8)；
——更改了“试验后断路器的状态”的要求(见 7.102.9，2014 年版的 6.102.9)；
——增加了对终身密封断路器承载连续电流能力的检查方法及要求(见 7.102.9.4)；
——更改了工频恢复电压可降低到 $U_r/\sqrt{3}$ 的时间[见 7.103.4b)，2014 年版的 6.104.7b)]；
——更改了对燃弧时间的规定(见 7.104，2014 年版的 6.102.10)；
——更改了与 T100a 相关的“最短开断时间”区间范围和其他相关参量及试验程序的要求(见 7.104.2.2，2014 年版的 6.102.10.1.2)；
——更改了试验方式 T100a 的有效判据，将 $\hat{I}\times\Delta t$“乘积在要求值的 81%至 12 1%之间”改为“$\hat{I}\times\Delta t$“乘积在要求值的 90%至 110%之间”(见 7.104.2.2、7.104.3.3，2014 年版的 6.102.10)；
——增加并更改了表 11，代替表 15～表 19(见表 11，2014 年版的表 15～表 19)；
——增加了三相试验的“涵盖 $k_{pp}=1.3$ 和 $k_{pp}=1.5$ 条件的试验”(见 7.104.2.3)；
——更改了 S1 级断路器的预期 TRV 中 T10、T30 的振幅系数(见表 16，2014 年版的表 21)；
——增加了 3.6 kV，7.2 kV，12 kV 三个额定电压等级 S2 级断路器的预期 TRV(见表 17，2014 年版的表 22)；
——更改了对于额定电压大于 800 kV，T100 和 T10 的振幅系数；对于试验方式 T100，t_2 由“$t_2=4t_1$”更改为“$t_2=3t_1$”；对于试验方式 T60，t_2 由“$t_2=6t_1$”更改为“$t_2=4.5t_1$”；OP1 和 OP2 的 TRV 由四参数更改为两参数法表示[见 7.105.5.7c)，2014 年版的表 23]；
——更改了开断操作时的燃弧时间等内容(见 7.108.2.3，2014 年版的 6.108.3)；
——更改了近区故障试验额定电压大于 800 kV 的波阻抗及 RRRV 系数(见表 25，2014 年版的表 8)；
——更改了表 26 近区故障电源侧回路预期 TRV 标准值中额定电压 24 kV，40.5 kV，72.5 kV，1 100 kV部分参数(见表 26，2014 年版的表 2～表 5)；
——更改了容性电流试验中 C1 和 C2 级的要求(见 7.111，2014 年版的 6.111)；
——增加了额定电压大于 800 kV 断路器，容性电压系数 $k_c=1.3$(见 7.111.7)；
——更改了容性电流开合试验的步长(见 7.111.9，2014 年版的 6.111.9)；
——增加了容性电流开合试验试验方式中每个试验方式最多的试验次数(见 7.111.9)；
——删除了 C1 级中，最长燃弧时间的试验次数要求，优选的试验顺序；删除了 C2 级中，线路和电缆开合试验的优选的试验顺序(见 2014 年版的 6.111.9.1、6.111.9.2)；
——更改了“存在单相或两相接地故障时容性电流开断的验证”在文中的位置(见附录 J，2014 年版的 6.111.9.3)；
——删除了电寿命试验试验“次序”的相关描述(见 2014 年版的 6.112.2)；
——增加了序列 4 的注入能量百分比(见表 30)；
——增加了使用混合气体的断路器主回路绝缘试验时如果采用纯 SF6 气体时，等效气体压力的计算(见 8.2)；
——增加了“局部放电测量”(见 8.2.101)；
——增加了 60 Hz 时额定短路关合电流的参数(见 9.103.4)；
——删除了短路功率因数的确定(见 2014 年版的附录 D)；
——删除了非对称故障条件下(T100a)TRV 参数的计算(见 2014 年版的附录 P)；
——增加了规范性附录“存在单相或两相接地故障时容性电流开断的验证”(见附录 J)。

本文件修改采用 IEC 62271-100:2021《高压开关设备和控制设备　第 100 部分：交流断路器》。

本文件与 IEC 62271-100:2021 相比做了下述结构调整：

——附录 A 对应 IEC 62271-100:2021 的附录 B;
——附录 B 对应 IEC 62271-100:2021 的附录 C;
——附录 C 对应 IEC 62271-100:2021 的附录 G;
——附录 D 对应 IEC 62271-100:2021 的附录 H;
——附录 E 对应 IEC 62271-100:2021 的附录 I;
——附录 F 对应 IEC 62271-100:2021 的附录 D;
——附录 G 对应 IEC 62271-100:2021 的附录 E;
——附录 H 对应 IEC 62271-100:2021 的附录 F;
——附录 I 对应 IEC 62271-100:2021 的附录 A。

本文件与 IEC 62271-100:2021 的技术差异及其原因如下:

——根据我国的电网情况,适用的频率范围由“50 Hz 和/或 60 Hz”修改为“50 Hz”,删除了 IEC 62271-100:2021 中的额定频率 60 Hz 的部分内容(见第 1 章);

——适用的电压范围,根据我国的电网情况,额定电压由 1 000 V 改为 3 kV,全文删除了与额定电压 1 200 kV 相关的参数;增加了“本文件也适用于断路器的操动机构及其辅助设备”“断路器的感性负载开合包含在 GB/T 29489 中”“电气化铁道供配电系统的断路器,这类断路器包含在 GB/T 32580.1 中”(见第 1 章);

——关于规范性引用文件,本文件做了具有技术差异的调整,以适应我国的技术条件,具体调整如下:

- 用 GB/T 762 代替 IEC 60059(见 5.101.2);
- 用 GB 2536 代替 IEC 60296(见 11.3.102.1.4);
- 用 GB/T 4473 代替 IEC 62271-101、GB/T 8905 代替 IEC 60480(见 7.102.5、7.103.4、7.107.5.2~7.107.5.4);
- 用 GB/T 21413(所有部分)代替 IEC 60077(所有部分)(见第 1 章);
- 用 GB/T 29489 代替 IEC 62271-110(见第 1 章和 9.101);
- 用 GB/T 30846 代替 IEC/TR 62271-302(见 7.111.2);
- 增加了 GB/T 28534,GB/T 32580.1,JB/T 3855,JB/T 9694(见第 1 章、9.104 和 11.3.102.1.4);

——删除了“关合和开断试验”“3.8 定义索引”;

——增加了“短路开断电流的直流时间常数”“故障类型”(见 3.1.129,3.8);

——增加了“5.12 绝缘和/或开合用的额定充入压力/水平”,与 GB/T 11022—2020 一致(见5.12);

——删除了全文中首开极系数 $k_{pp}=1.2$ 的相关内容;

——删除了表 2 中“近区故障开断电流”(见表 2);

——更改了表 3 中的 252 kV~363 kV 的纵向水平力,550 kV~800 kV 的纵向水平力和横向水平力,1 100 kV 的纵向水平力和横向水平力(见表 3);

——删除了“与架空线的直接连接”术语,其内容移到 6.107.3(见 6.107.3);

——增加了对于转厂及异地生产的产品的验证要求、型式试验周期的要求(见 7.1.1),以适应我国具体情况;

——删除了 363 kV 以上 GIS 断路器按照 GB/T 7674 进行的要求,统一为按照 GB/T 11022 取值(见 7.2.12.103);

——增加了气动和液压操动机构的要求(见 7.102.6);

——更改了在开断后工频电流重现的时间(见 7.102.8);

——增加了功率因数要求(见 7.103.2);

——删除了 S1 及 S2 级断路器首开极系数 $k_{pp}=1.3$ 的 TRV 参数,更改了额定电压为 1 100 kV 的

首开极系数(见 7.105.5.1)；

——更改了单相接地故障和异相接地故障试验的试验方式、燃弧时间等内容(见 7.108.2)；

——更改了额定电压 800 kV 以上的断路器容性电压系数(见 7.111.7)；

——增加了合并试验时的电压要求(见 7.111.9.1)；

——增加了序列 4 及序列 4 的注入能量百分比(见表 30)；

——增加了“噪声水平试验”(见 7.113)；

——更改了额定短路持续时间(见 9.103.6)，与 GB/T 11022—2020 的 5.8 协调一致；

——增加了“电源侧有时延，线路侧无时延”近区故障的计算示例(见表 7.4)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国高压开关设备标准化技术委员会(SAC/TC 65)归口。

本文件起草单位：西安高压电器研究院股份有限公司、西安西电开关电气有限公司、上海电气输配电试验中心有限公司、上海南华兰陵电气有限公司、辽宁高压电器产品质量检测有限公司、ABB(中国)有限公司、施耐德电气(中国)有限公司、库柏(宁波)电气有限公司、中国电力科学研究院有限公司、厦门华电开关有限公司、中国启源工程设计研究院有限公司、南方电网科学研究院有限责任公司、日升集团有限公司、许继德理施尔电气有限公司、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、正泰电气股份有限公司、四川电器集团中低压智能配电有限公司、福建森达电气股份有限公司、山东泰开真空开关有限公司、宁波奥克斯智能科技股份有限公司、国网山西省电力公司电力科学研究院、新东北电气集团高压开关有限公司、伊顿(中国)投资有限公司、西电宝鸡电气有限公司、江苏思源中压开关有限公司、上海思源高压开关有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司电力科研院、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、重庆大学、江苏省如高高压电器有限公司、中国振华电子集团宇光电工有限公司(国营第七七一厂)、平高集团有限公司、库柏爱迪生(平顶山)电子科技有限公司、特变电工中发上海高压开关有限公司、陕西宝光真空电器股份有限公司、厦门理工学院、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司绍兴供电公司、国网四川省电力公司电力科学研究院、苏州电器科学研究院股份有限公司、广东正超电气有限公司、北京科锐配电自动化股份有限公司、川开电气有限公司、宁波天安(集团)股份有限公司、宁波耐森电气科技有限公司、上海西电高压开关有限公司、上海西门子高压开关有限公司、施耐德(陕西)宝光电器有限公司、施耐德电气(厦门)开关设备有限公司、深圳电气科学研究院、四川电器集团股份有限公司、福州天宇电气股份有限公司、广东正超电气有限公司、国网新疆电力有限公司电力科学研究院、湖南长高电气有限公司、河南平芝高压开关有限公司、中能电气股份有限公司、江苏华冠电器集团有限公司、常州太平洋电力设备(集团)有限公司、江苏大全高压开关有限公司、厦门顾德益电气有限公司、天水长城开关厂集团有限公司、西安西电高压开关有限责任公司、天一同益电气股份有限公司、石家庄科林电气设备有限公司、深圳金奇辉电气有限公司、绍兴建元电力集团有限公司、国网上海市电力公司市南供电公司、宁波舜利高压开关科技有限公司、宁夏力成电气集团有限公司、华仪电气股份有限公司、河南森源电气股份有限公司、国网新疆电力有限公司、杭州佰盟智能开关有限公司、国网电科院检测认证技术有限公司。

本文件主要起草人：冯武俊、田恩文、元复兴、李刚、孙梅、张震锋、孔祥军、谭燕、赵靖波、颜莉萍、谢建波、雷小强、刘成学、张子骁、冯英、张兴朗、者永祥、张勇、彭在兴、刘慧科、胡晶、吴小钊、申萌、高山、齐辉、杨勇、危军、马占峰、邢娜、姜子元、秦成伟、刘国振、石维坚、王伟、吴文海、赵峰、冯仁斌、邬建刚、王振、张长虹、陈敏、张振乾、马宏明、林巍岩、王昊晴、陈志会、王向克、胡标、常越、毕冬丽、游一民、邵先军、蔡重凯、王嘉易、杨英杰、吴汉榕、叶祖标、姬广辉、林复明、朱佩龙、刘景博、张勐、张波峰、吴炳昌、肖敏英、殷福煜、冯勇、王帮田、陈炎亮、刘玲、陈孝信、杨震、李松磊、汪童志、刘勇、江小飞、李洪涛、贾志杰、蔡平、沈忠威、张献高、陈波、宋葆春、于庆瑞、路全峰、李荣斌、段洪民、邓永辉、赵羲英、李电、洪扬、史胡剑润、金军业、顾立立、晏文曲、刘洋、赵普志、何科技、刘刚、苏戈、郑占锋。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——1980 年首次发布为 GB 1984—1980，1989 年第一次修订；

——2003 年第二次修订时，并入了 GB/T 4474—1992《交流高压断路器的近区故障试验》(GB/T 4474的历次版本发布情况为：GB 4474—1984)和 GB/T 7675—1987《交流高压断路器的开合电容器组试验》的内容；

——2014 年第三次修订；

——本次为第四次修订。

杭州高电 HZHV TECH https://www.hzhv.com
电力图书馆公众号

高压交流断路器

1 范围

本文件规定了高压交流断路器的使用条件、额定值、设计与结构、型式试验和出厂试验等要求。

本文件适用于设计安装在户内或户外且运行在电压 3 kV 及以上、频率 50 Hz 的三相电力系统中的三极高压交流断路器，也适用于断路器的操动机构及其辅助设备。

本文件所述关合和开断试验方法仅包括直接试验方法，合成试验方法见 GB/T 4473。

注：直接试验方法是指在关合和开断试验期间使用单一电源来提供电压和电流。

断路器的感性负载开合包含在 GB/T 29489 中。

本文件不适用于：

——依靠人力操动合闸机构的断路器；

——用于电力牵引设备的移动电源的断路器，这类断路器包含在 GB/T 21413(所有部分)中；

——电气化铁道供配电系统的断路器，这类断路器包含在 GB/T32580.1 中；

——安装在发电机和升压变压器之间的发电机断路器，这类断路器包含在 GB/T 14824 中；

——试验时无法使脱扣装置失效的自脱扣断路器。自动重合器的试验由 GB/T 25284 规定；

——未在本文件中描述的、验证在异常条件下性能的试验，根据制造厂和用户之间的协议实施。这些异常条件如由于长输电线路或电缆上的负荷突然丧失可能导致的电压高于断路器额定电压的情况。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 762 标准电流等级(GB/T 762—2002，eqv IEC 60059:1999)

GB/T 1985—2023 高压交流隔离开关和接地开关(IEC 62271-102:2022，MOD)

注：GB/T 1985—2023 被引用的内容与 IEC 62271-102:2022 被引用的内容没有技术上的差异。

GB 2536 电工流体 变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油(GB 2536—2011，IEC 60296:2003，MOD)

GB/T 2900.20—2016 电工术语 高压开关设备和控制设备(IEC 60050-441:1984，MOD)

注：GB/T 2900.20—2016 被引用的内容与 IEC 60050-441:1984 被引用的内容没有技术上的差异。

GB/T 3906—2020 3.6 kV～40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备(IEC 62271-200:2011，MOD)

注：GB/T 3906—2020 被引用的内容与 IEC 62271-100:2011 被引用的内容没有技术上的差异。

GB/T 4109—2022 交流电压高于 1 000 V 的绝缘套管(IEC 60137:2017，MOD)

注：GB/T 4109—2022 被引用的内容与 IEC 60137:2017 被引用的内容没有技术上的差异。

GB/T 4473 高压交流断路器的合成试验(GB/T 4473—2018，IEC 62271-101:2017，MOD)

GB/T 7674—2020 额定电压 72.5 kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备(IEC 62271-203:2011，MOD)

注：GB/T 7674—2020 被引用的内容与 IEC 62271-203:2011 被引用的内容没有技术上的差异。

GB/T 8905 六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则(GB/T 8905—2012,IEC 60480:2004,MOD)

GB/T 11022—2020 高压交流开关设备和控制设备标准的共用技术要求(IEC 62271-1:2017,MOD)

注:GB/T 11022—2020 被引用的内容与 IEC 62271-1:2017 被引用的内容没有技术上的差异。

GB/T 14598.151—2012 量度继电器和保护装置 第 151 部分:过/欠电流保护功能要求(IEC 60255-151:2009,IDT)

GB/T 21413(所有部分) 轨道交通 机车车辆电气设备[IEC 60077(所有部分)]

注:GB/T 24143.1—2018 轨道交通 机车车辆电气设备 第 1 部分:一般使用条件和通用规则(IEC 60077-1:2017,MOD)

GB/T 21413.2—2021 轨道交通 机车车辆电气设备 第 2 部分:电工器件 通用规则(IEC 60077-2:2017,MOD)

GB/T 21413.3—2023 轨道交通 机车车辆电气设备 第 3 部分:电工器件 直流断路器规则(IEC 60077-3:2019,MOD)

GB/T 21413.4—2023 轨道交通 机车车辆电气设备 第 4 部分:电工器件 交流断路器规则(IEC 60077-4:2019,MOD)

GB/T 21413.5—2023 轨道交通 机车车辆电气设备 第 5 部分:电工器件 高压熔断器规则(IEC 60077-5:2019,MOD)

GB/T 28534 高压开关设备和控制设备中六氟化硫(SF_6)气体的释放对环境和健康的影响

GB/T 29489 高压交流开关设备和控制设备的感性负载开合(GB/T 29489—2013,IEC 62271-110:2009,MOD)

GB/T 30846 具有预定极间不同期操作高压交流断路器(GB/T 30846—2014,IEC/TR 62271-302:2010,MOD)

GB/T 32580.1 轨道交通 地面装置 交流开关设备的特殊要求 第 1 部分:U_n 大于 1 kV 的单相断路器

JB/T 3855 高压交流真空断路器

JB/T 9694 高压交流六氟化硫断路器

IEC TR 62271-306:2012+AMD1:2018 高压开关设备和控制设备 第 306 部分:IEC 62271-100、IEC 62271-1 和其他与交流断路器有关的 IEC 标准指南(High-voltage switchgear and controlgear—Part 306: Guide to IEC 62271-100, IEC 62271-1 and other IEC standards related to alternating current circuit-breakers)

3 术语和定义

GB/T 2900.20—2016 和 GB/T 11022—2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 通用术语和定义

3.1.101

开关设备和控制设备 switchgear and controlgear

开关装置及与其相关的控制、测量、保护和调节设备的组合,以及这些装置和设备同相关的电气连接、辅件、外壳和支撑件的总装的总称。

[来源:GB/T 2900.20—2016,3.1]

3.1.102

短路电流 short-circuit current

由于电路的故障或错误连接造成的短路而引起的过电流。

[来源:GB/T 2900.20—2016,3.7]

3.1.103

中性点不接地系统 isolated neutral system

除保护或测量用途的高阻抗接地以外,中性点不连接到参考地的系统。

[来源:GB/T 2900.50—2008,601-02-24]

3.1.104

中性点直接接地系统 solidly earthed [neutral] system

至少有一个中性点直接接地的系统。

[来源:GB/T 2900.50—2008,601-02-25]

3.1.105

中性点阻抗接地系统 impedance earthed [neutral] system

至少有一个中性点通过具有阻抗的器件接地以限制接地故障短路电流的系统。

[来源:GB/T 2900.50—2008,601-02-26]

3.1.106

中性点谐振接地系统 resonant earthed [neutral] system

中性点消弧线圈接地系统 arc-suppression-coil-earth [neutral] system

一个或多个中性点通过具有感抗的器件接地的系统,这些器件在单相对地短路时能大体上补偿线路的容性效应。

[来源:GB/T 2900.50—2008,601-02-27]

3.1.107

中性点有效接地系统 effectively earthed [neutral] system

系统中性点通过足够低的阻抗接地,使得在所有的系统条件下,零序电抗和正序电抗的比值(X_0/X_1)为正数且小于3,且零序电阻和正序电抗的比值(R_0/X_1)为正数且小于1。

注1:通常,这类系统为(中性点)直接接地系统或(中性点)低阻抗接地系统。

注2:接地情况不仅取决于相关地点周围的物理接地条件,还取决于整个系统。

3.1.108

中性点非有效接地系统 non-effectively earthed [neutral] system

不同于中性点有效接地系统的系统,不满足3.1.107中给出的条件。

注1:通常,这类系统为中性点不接地系统、(中性点)高阻抗接地系统或者(中性点)谐振接地系统。

注2:接地情况不仅取决于相关地点周围的物理接地条件,还取决于整个系统。

3.1.109

周围空气温度 ambient air temperature

按规定条件测定的围绕整个开关设备和控制设备的周围空气的平均温度。

注:对于安装在外壳内部的开关装置或熔断器,周围空气温度是指外壳外部的空气温度。

[来源:GB/T 2900.20—2016,3.13]

3.1.110

(断路器部件的)温升 temperature rise (of a part of a circuit-breaker)

所考虑部件的温度和周围空气温度之差。

3.1.111

单个电容器组 single capacitor bank

一组并联的电容器,其涌流被电源系统的电感和已充电的电容器组的电容所限制,并且没有足够近

的、会显著提高涌流的其他电容器并联在系统中。

3.1.112

背对背电容器组　back-to-back capacitor bank

一组并联的电容器或电容器组合，其各个单元独立的接入或退出电源系统，已经接入电源的电容器会显著地增加其他单元的涌流。

3.1.113

（电力系统中的）过电压　overvoltage（in an electric power system）

在相与地之间或纵向绝缘，电压峰值超过相应的系统最高电压峰值除以$\sqrt{3}$的电压。

相间的电压峰值超过系统最高电压峰值的电压。

[来源：GB/T 2900.57—2008，604-03-09，有修改]

3.1.114

失步条件　out-of-phase conditions

断路器两侧的电力系统间失去或缺乏同步的异常回路条件，此时，在断路器操作瞬间，其两侧电压的矢量间的相角超过了正常值。

注：本文件的要求涵盖了用于开合失步条件的断路器的绝大多数应用。在7.110.3中给出了相应于规定的工频恢复电压的失步相角。极端运行条件见9.103.3。

3.1.115

失步（作为特性参量的前缀）　out-of-phase（as prefix to a characteristic quantity）

限定性的术语，表示在失步条件下断路器的操作适用的特性参量。

3.1.116

单元试验　unit test

在一个或一组关合或开断单元上进行的试验，其关合电流和开断电流为断路器整极试验的规定值，其外施电压或恢复电压为断路器整极试验规定的适当部分。

3.1.117

半波　loop

被两个连续的电流零点所包含的电流波部分。

注：大半波和小半波之间的差别取决于两个连续电流零点间的时间间隔大于或小于电流的交流分量的半周期。

3.1.118

（回路的）功率因数　power factor（of a circuit）

假定由电感和电阻串联构成的等效回路，在工频下电阻与阻抗的比值。

3.1.119

外绝缘　external insulation

空气间隙及设备固体绝缘的外露表面，它承受着电应力作用和大气条件以及其他外部条件诸如污秽、潮湿、虫害等的影响。

[来源：GB/T 2900.57—2008，604-03-02]

3.1.120

内绝缘　internal insulation

设备内部的固体、液体或气体绝缘，它不受大气及其他外部条件的影响。

[来源：GB/T 2900.57—2008，604-03-03]

3.1.121

破坏性放电　disruptive discharge

与在电应力作用下绝缘失效有关的现象，包括电压崩溃和电流通过。

注1：该术语适用于固体、液体和气体电介质及其组合中的电击穿。

注2：固体电介质中的破坏性放电导致绝缘强度的永久丧失；在液体或气体电介质中，绝缘强度的丧失可能只是暂时的。

注 3：电压崩溃是指电压急剧下降而引起整个或部分电力系统的电压消失。

[来源：GB/T 2900.57—2008，604-03-38，有修改]

3.1.122

非保持的破坏性放电　non-sustained disruptive discharge；NSDD

与电流开断有关的破坏性放电，它不会导致工频电流的恢复，或者在容性电流开断的情况下，不会导致在主负载回路中产生电流。

注：NSDD后的振荡与断路器自身的寄生电容和电感有关。NSDD也可能涉及附近设备的对地杂散电容。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.101，有修改]

3.1.123

重击穿性能　restrike performance

由规定的型式试验所证实的、容性电流开断期间预期的重击穿概率。

注：在断路器的整个使用寿命中，某一具体数值的概率不适用。

3.1.124

（交流机械开关装置的）重燃　re-ignition (of an a.c mechanical switching device)

开关装置在开断操作过程中电弧熄灭后，在四分之一工频周期以内，触头间的电流重现。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.42，有修改]

3.1.125

（交流机械开关装置的）重击穿　restrike (of an a.c mechanical switching device)

开关装置在开断操作过程中电弧熄灭后，在四分之一工频周期或更长时间后，触头间的电流重现。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.43，有修改]

3.1.126

截流　current chopping

在所连接回路自然工频电流零点之前的电流开断。

3.1.127

带绝缘电缆　belted cable

每根导体分别绕包部分绝缘，再在缆芯上绕包其余绝缘的多芯电缆。

[来源：GB/T 2900.10—2013，461-06-11]

3.1.128

分相屏蔽电缆　individually screened cable

径向电场电缆　radial field cable

每根绝缘线芯分别包覆屏蔽层的电缆。

[来源：GB/T 2900.10—2013，461-06-12]

3.1.129

短路开断电流的直流时间常数 DC　time constant of the short-circuit breaking current

系统短路电流的直流分量衰减至初始值的 1/e 时所用的时间。

注：简称“直流时间常数”。

3.2　总装

没有特别的定义。

3.3　总装的部件

没有特别的定义。

3.4 开关装置

3.4.101

开关装置 switching device

用于闭合和/或断开一个或多个回路的装置。

[来源:GB/T 2900.20—2016,6.1]

3.4.102

机械开关装置 mechanical switching device

通过可分离触头闭合和/或断开一个或多个回路的开关装置。

注:所有的机械开关装置都根据其触头分闸和合闸的中间介质(如:空气、SF_6、油)进行设计。

[来源:GB/T 2900.20—2016,6.2,有修改]

3.4.103

断路器 circuit-breaker

能关合、承载、开断正常回路条件下的电流;在规定的时间内承载规定的过电流,并能关合和开断在异常回路条件(如各种短路条件)下的电流的机械开关装置。

[来源:GB/T 2900.20—2016,6.20]

3.4.104

外壳不带电断路器 dead tank circuit-breaker

关合和开断单元处在一个接地金属外壳中的断路器。

注:常见的有落地罐式断路器、GIS(气体绝缘金属封闭开关设备)断路器、金属封闭断路器等。

[来源:GB/T 2900.20—2016,6.24,有修改]

3.4.105

外壳带电断路器 live tank circuit-breaker

关合和开断单元处在一个与大地绝缘的外壳中的断路器。

注:常见的有柱式断路器等。

3.4.106

终身密封断路器 sealed-for-life circuit-breaker

关合和开断单元处在密封压力系统中的断路器。

3.4.107

空气断路器 air circuit-breaker

触头在大气压力下的空气中关合、开断的断路器。

3.4.108

压缩空气断路器 air-blast circuit-breaker

触头在压缩空气中关合、开断的断路器。

[来源:GB/T 2900.20—2016,6.30]

3.4.109

油断路器 oil circuit-breaker

触头在油中关合、开断的断路器。

注:油断路器的典型例子为带电外壳的少油断路器和接地外壳的多油断路器。

[来源:GB/T 2900.20—2016,6.26]

3.4.110

真空断路器 vacuum circuit-breaker

触头在真空中关合、开断的断路器。

[来源:GB/T 2900.20—2016,6.27]

3.4.111

六氟化硫断路器 sulphur hexafluoride circuit-breaker

SF_6断路器 SF_6 circuit-breaker

触头在六氟化硫气体中关合、开断的断路器。

[来源:GB/T 2900.20—2016,6.29]

3.4.112

气吹断路器 gas-blast circuit-breaker

触头在压缩气体中关合、开断的断路器。

注:在断路器分闸操作时,气体是用机械方法获得的压差来驱动的,则称为单压压缩气体断路器。断路器分闸操作前,用获得的压差来驱动气体,则称为双压压缩气体断路器。

[来源:GB/T 2900.20—2016,6.28]

3.4.113

自脱扣断路器 self-tripping circuit-breaker

由主回路中的电流而不借助任何形式的辅助电源脱扣的断路器。

3.4.114

带合闸闭锁的断路器 circuit-breaker with lock-out preventing closing

当产生分闸操作的条件还保持时,即使发出合闸命令,动触头也不会关合电流的一种断路器。

[来源:GB/T 2900.20—2016,6.23]

3.5 断路器的部件

3.5.101

极 pole

仅与开关装置主回路的一条单独导电路径相连的电器部件,不包括用来将所有极固定在一起并使各极一起动作的部件。

注:如果开关装置只有一个极,称为单极。如果具有不止一个极,且这些极联合或能联合一起动作,则称为多极(两极、三极等)。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.1,有修改]

3.5.102

(开关装置的)主回路 main circuit(of a switching device)

传送电能的开关回路中的所有导电部分。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.2,有修改]

3.5.103

(开关装置的)控制回路 control circuit(of a switching device)

包括在用来进行开关装置的合闸操作、分闸操作或者两者的回路中的开关装置的所有导电部件(不同于主回路的)。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.3,有修改]

3.5.104

(开关装置的)辅助回路 auxiliary circuit(of a switching device)

开关装置主回路和控制回路以外的导电路径中的所有导电部分。

注:有些辅助回路用于附加要求,如信号、联锁等。因此,这些回路也是其他开关装置的控制回路的一部分。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.4]

3.5.105

(机械开关装置的)触头　contact(of a mechanical switching device)

两个或两个以上导体,以其接触使导电回路连续,其相对运动可分、合导电回路,而在铰链或滑动接触情况下还能维持导电回路的连续性。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.5]

3.5.106

主触头　main contact

开关装置主回路中的触头,在合闸位置时承载主回路的电流。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.7]

3.5.107

弧触头　arcing contact

旨在其上形成电弧的触头。

注:弧触头也能兼做主触头,也能把弧触头设计成一个单独的触头,使其比其他触头后开断和先关合,以保护其他触头免受电弧伤害。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.8]

3.5.108

控制触头　control contact

接在开关装置的控制回路中并由该开关装置用机械方式操作的触头。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.9]

3.5.109

辅助触头　auxiliary contact

接在开关装置辅助回路中并由该开关装置用机械方式操作的触头。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.10]

3.5.110

(机械开关装置的)辅助开关　auxiliary switch(of a mechanical switching device)

具有一个或多个控制和(或)辅助触头并由机械开关装置以机械方式操作的一种开关。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.11]

3.5.111

"a"触头　"a" contact

动合触头[常开触头]　make contact

当开关的主触头合时闭合而主触头分时断开的控制触头或辅助触头。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.12]

3.5.112

"b"触头　"b" contact

动断触头[常闭触头]　break contact

当开关的主触头合时断开而主触头分时闭合的控制触头或辅助触头。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.13]

3.5.113

对接触头　butt contact

动、静触头的相对运动方向基本上与接触表面垂直的一种触头。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.14]

3.5.114

(机械开关装置的)脱扣器　release(of a mechanical switching device)

与开关机械连接的一种装置,用它来释放保持装置以使开关分或合。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.17]

3.5.115

过电流脱扣器 over-current release

当脱扣器电流超过某一预定值时,使开关分闸的一种脱扣器。

注:在某种情况下,这个值可能取决于电流的上升率。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.19]

3.5.116

反时延过电流脱扣器 inverse time-delay over-current release

在与过电流值成反比的时延后动作的过电流脱扣器。

注:这种脱扣器能设计成在过电流很大时,时延接近于限定的最小值。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.21]

3.5.117

直接过电流脱扣器 direct over-current release

直接利用机械开关装置主回路电流激励的过电流脱扣器。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.22]

3.5.118

并联脱扣器 shunt release

由电压源激励的脱扣器。

注:该电压源可与主回路电压无关。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.27]

3.5.119

欠电压脱扣器 under-voltage release

当脱扣器的端电压降至某一规定值范围时,使机械开关装置有时延或无时延地分或合的并联脱扣器。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.28,有修改]

3.5.120

防跳装置 anti-pumping device

一个合-分操作后,即使触发合闸的装置仍保持在合闸的状态,也能防止开关再次合闸的装置。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.30,有修改]

3.5.121

联锁装置 interlocking device

在几个开关装置或部件之间,为保证开关装置或其部件按规定的次序动作或防止误动作而设的装置。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.31]

3.5.122

灭弧装置 arc control device

围绕机械开关装置的弧触头,用来限制电弧并辅助灭弧的装置。

[来源:GB/T 2900.20—2016,7.32]

3.5.123

(螺栓的或等效的)连接 connection (bolted or equivalent)

两个或更多的导体用螺钉、螺栓或等效的方法紧固在一起以保证回路的持久连续性。

3.5.124

端子 terminal

器件、电路或电网络的导电部分,用以使该器件、电路或电网络与一个或多个外部导体连接。

注：在电路理论中，“端子”一词也用于连接点。（见 GB/T 2900.74—2008）

[来源：GB/T 2900.83—2008，151-12-12]

3.5.125

关合和开断单元 making and breaking unit

断路器的一部分，电流在其内部被导通和中断。

3.5.126

（总装的）外壳 enclosure(of an assembly)

为设备免受外部影响提供规定的防护等级，以及为防止靠近或接触带电部件以及触及运动部件提供规定的防护等级的总装的部件。

[来源：GB/T 2900.20—2016，5.1，有修改]

3.5.127

操动机构 operating mechanism

驱动断路器使之合、分的部件。

3.5.128

动力传动链 power kinematic chain

从（并包括）操动机构直到（并包括）动触头的机械连接系统。

3.5.129

替代的操动机构 alternative operating mechanism

当原操动机构的动力传动链发生改变或者使用部分不同或完全不同的操动机构获得相同的机械特性。

注：替代的操动机构能采用与原操动机构不同的动作原理（例如，替代的机构是弹簧操动的，而原操动机构是液压的）。

3.5.130

电阻器开关 resistor switch

用于开合电阻元件的开关。

3.5.131

真空灭弧室 vacuum interrupter

开合元件，其中的高压电气触头在高真空的、气密密封的环境中动作。

[来源：GB/T 11022—2020，3.5.21]

3.6 操作特性

3.6.101

（机械开关装置的）操作 operation(of a mechanical switching device)

动触头从一个位置到相邻位置的一种转换。

注 1：对于断路器，这是合闸操作或分闸操作。

注 2：如有必要区分，则电气意义上的操作（例如关合或开断）被称为开合操作，机械意义上的操作（例如合闸或分闸）被称为机械操作。

[来源：GB/T 2900.20—2016，8.1，有修改]

3.6.102

（机械开关装置的）操作循环 operating cycle(of a mechanical switching device)

从一个位置转换到另一个位置再返回到初始位置的连续操作。如有多个位置，则需通过所有其他位置。

[来源：GB/T 2900.20—2016，8.2]

3.6.103

(机械开关装置的)操作顺序　operating sequence(of a mechanical switching device)

具有规定时间间隔和顺序的一连串操作。

[来源:GB/T 2900.20—2016,8.3]

3.6.104

开合　switching

接通和/或断开一个或多个电路。

3.6.105

(机械开关装置的)合闸操作　closing operation(of a mechanical switching device)

开关从分闸位置转换到合闸位置的操作。

[来源:GB/T 2900.20—2016,8.8]

3.6.106

(机械开关装置的)分闸操作　opening operation(of a mechanical switching device)

开关从合闸位置转换到分闸位置的操作。

[来源:GB/T 2900.20—2016,8.9]

3.6.107

(机械开关装置的)自动重合闸　auto-reclosing(of a mechanical switching device)

开关分闸后,经过预定时间自动再合闸的操作顺序。

[来源:GB/T 2900.20—2016,8.10]

3.6.108

(机械开关装置的)人力操作　dependent manual operation(of a mechanical switching device)

仅通过直接施加的人力进行操作,操作的速度和力取决于操作者的动作。

[来源:GB/T 2900.20—2016,8.13,有修改]

3.6.109

(机械开关装置的)动力操作　dependent power operation(of a mechanical switching device)

通过人力以外的其他能量进行的操作,操作的完成取决于电源(对电磁线圈、电动或气动马达等)的连续性。

[来源:GB/T 2900.20—2016,8.14,有修改]

3.6.110

储能操作　stored energy operation

通过存储在机构中的能量进行的操作,该能量在完成操作之前储存并足以在预定条件下完成操作。

注:这种操作根据下列内容细分:

a) 贮能方式(弹簧、重物等);

b) 能量的来源(人力、电力等);

c) 能量释放方式(人力、电力等)。

[来源:GB/T 2900.20—2016,8.15,有修改]

3.6.111

(机械开关装置的)合闸位置　closed position(of a mechanical switching device)

保证开关装置主回路中的触头处于预定连续通电的位置。

[来源:GB/T 2900.20—2016,8.22]

3.6.112

(机械开关装置的)分闸位置　open position(of a mechanical switching device)

保证开关装置主回路中分闸的触头间具有预定间隙的位置。

[来源:GB/T 2900.20—2016,8.23]

3.6.113

(过电流脱扣器的)动作电流 operating current (of an over-current release)

等于或大于该电流值时脱扣器能够动作的电流值。

[来源:GB/T 2900.20—2016,8.33,有修改]

3.6.114

(过电流脱扣器的)电流整定值 current setting (of an over-current release)

调整脱扣器且与其限定的动作条件一致的动作电流值。

[来源:GB/T 2900.20—2016,8.34]

3.6.115

(过电流脱扣器的)电流整定范围 current setting range (of an over-current release)

脱扣器能调整到的最大和最小电流整定值之间的范围。

[来源:GB/T 2900.20—2016,8.35]

3.7 特性参量

图1~图7图解了本条款中的某些定义。

时间参量,见3.7.129~3.7.141的定义,以毫秒或周波数表示。当用周波数表示时,宜在括号内标明频率。断路器装有分合闸电阻器时,如果适合,宜把触头开合全电流和触头开合被分合闸电阻器限制的电流的时间参量加以区别。

除非另有规定,时间参量是指与触头开合全电流相关的参量。

电力图书馆公众

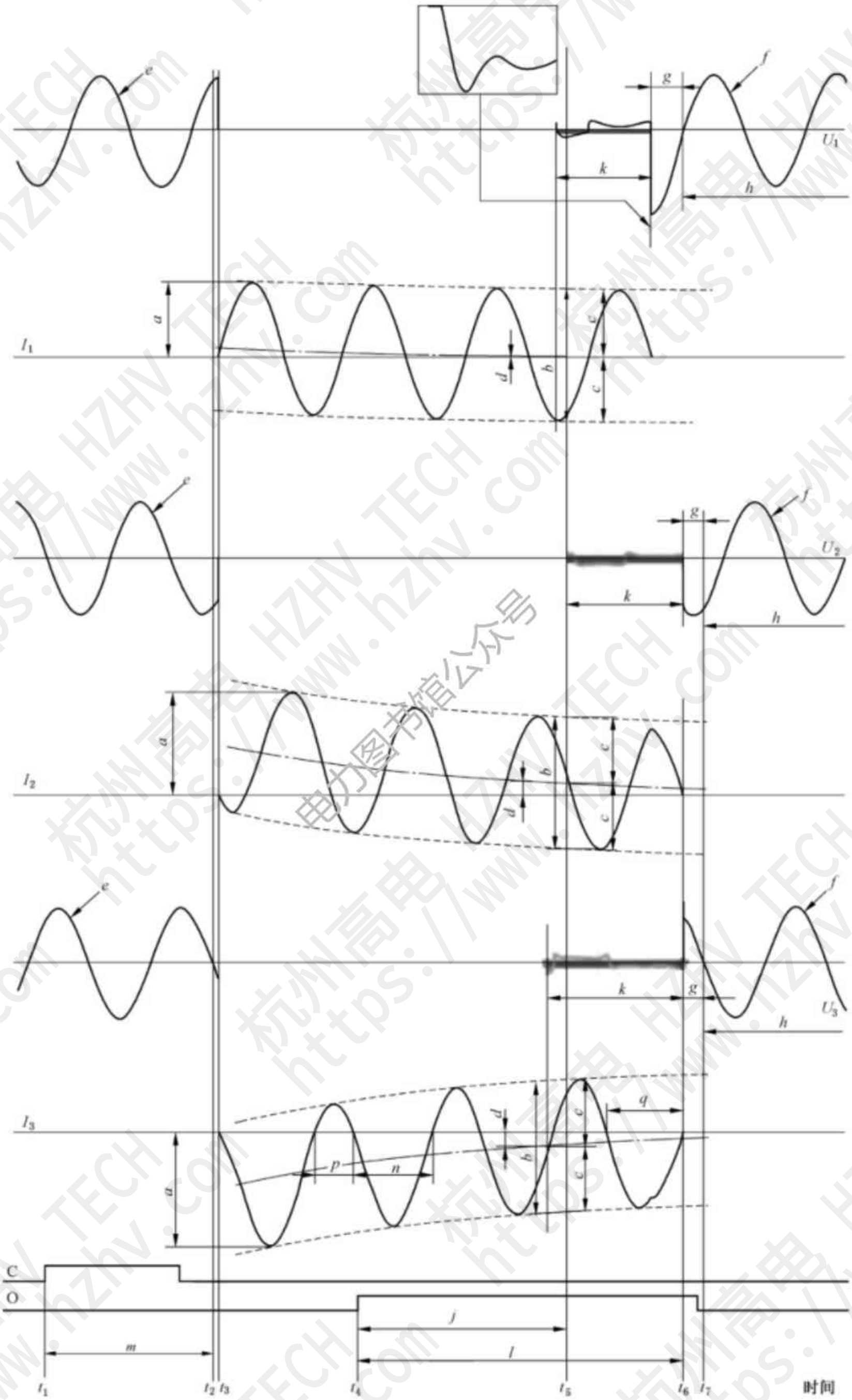


图 1　三相短路关合—开断循环的典型波形图

标引序号说明：

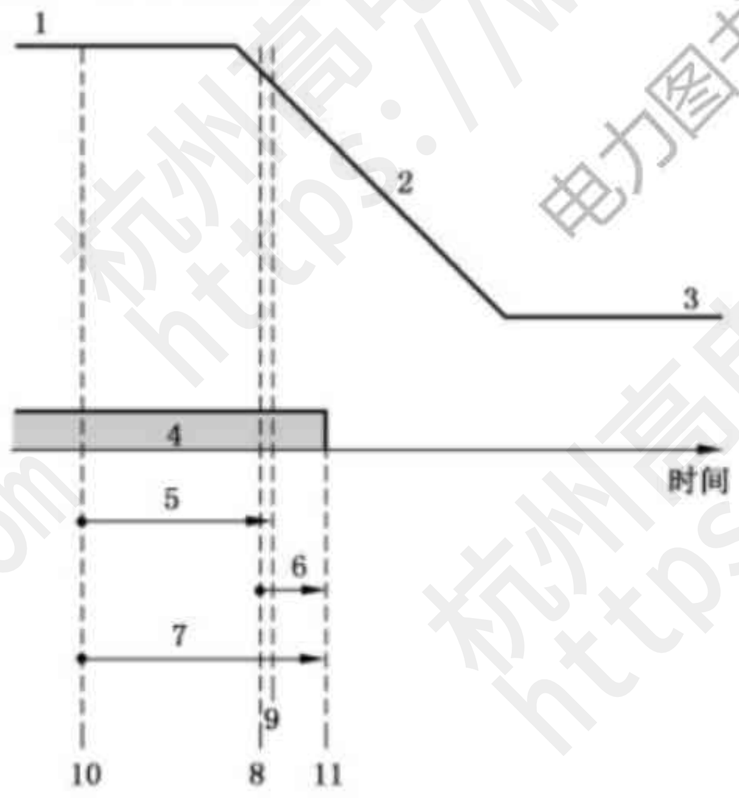
U_1 ——首开极端子间的电压；
I_1 ——首开极中的电流；
U_2，U_3 ——其他两极端子间的电压；
I_2，I_3 ——其他两极中的电流；
C ——合闸命令，例如，合闸回路端子间的电压；
O ——分闸命令，例如，分闸脱扣器端子间的电压；
t_1 ——合闸操作的起始时刻；
t_2 ——主回路中开始流过电流的时刻；
t_3 ——所有极中都通流的时刻；
t_4 ——分闸操作的起始时刻；
t_5 ——所有极中的弧触头分离时刻(起弧时刻)；
t_6 ——所有极中电弧最终熄灭时刻；
t_7 ——最后开断极中的瞬态电压现象消失的时刻；
a ——(峰值)关合电流；
b ——开断电流峰-峰值；
c ——交流分量的峰值；
d ——直流分量；
e ——外施电压；
f ——恢复电压；
g ——瞬态恢复电压；
h ——工频恢复电压；
j ——分闸时间；
k ——燃弧时间；
l ——开断时间；
m ——关合时间；
n ——大半波；
p ——小半波；
q ——延长大半波。

图 1 三相短路关合—开断循环的典型波形图(续)

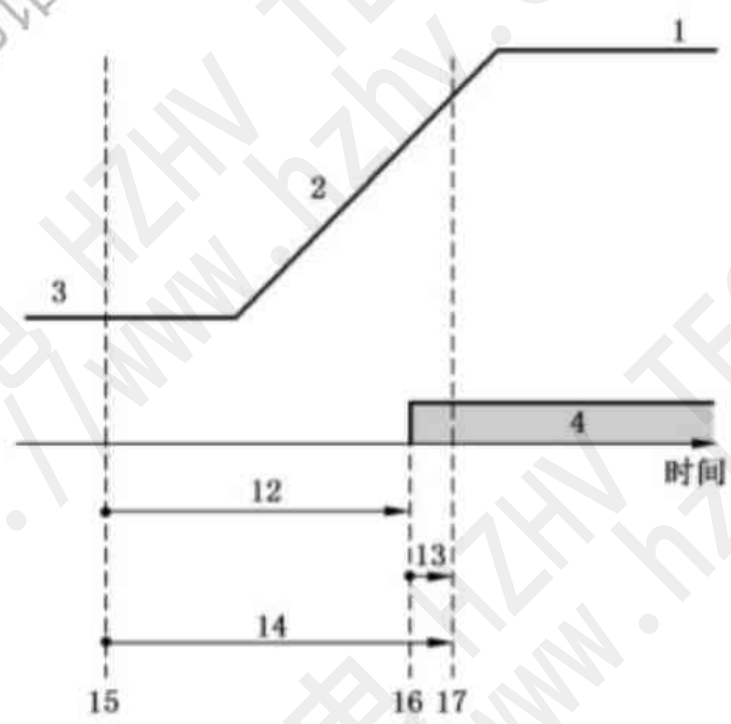
对后面的图 2 到图 7 的注。

注 1：实际上，三极触头的行程间存在时间的分散性。为了清楚起见，对于所有的三极，图中触头的行程用一根单线表示。

注 2：实际上，三极中电流开始和终了均存在时间的分散性。为了清楚起见，对于所有的三极，图中的电流开始和终了均用一根单线表示。



分闸操作

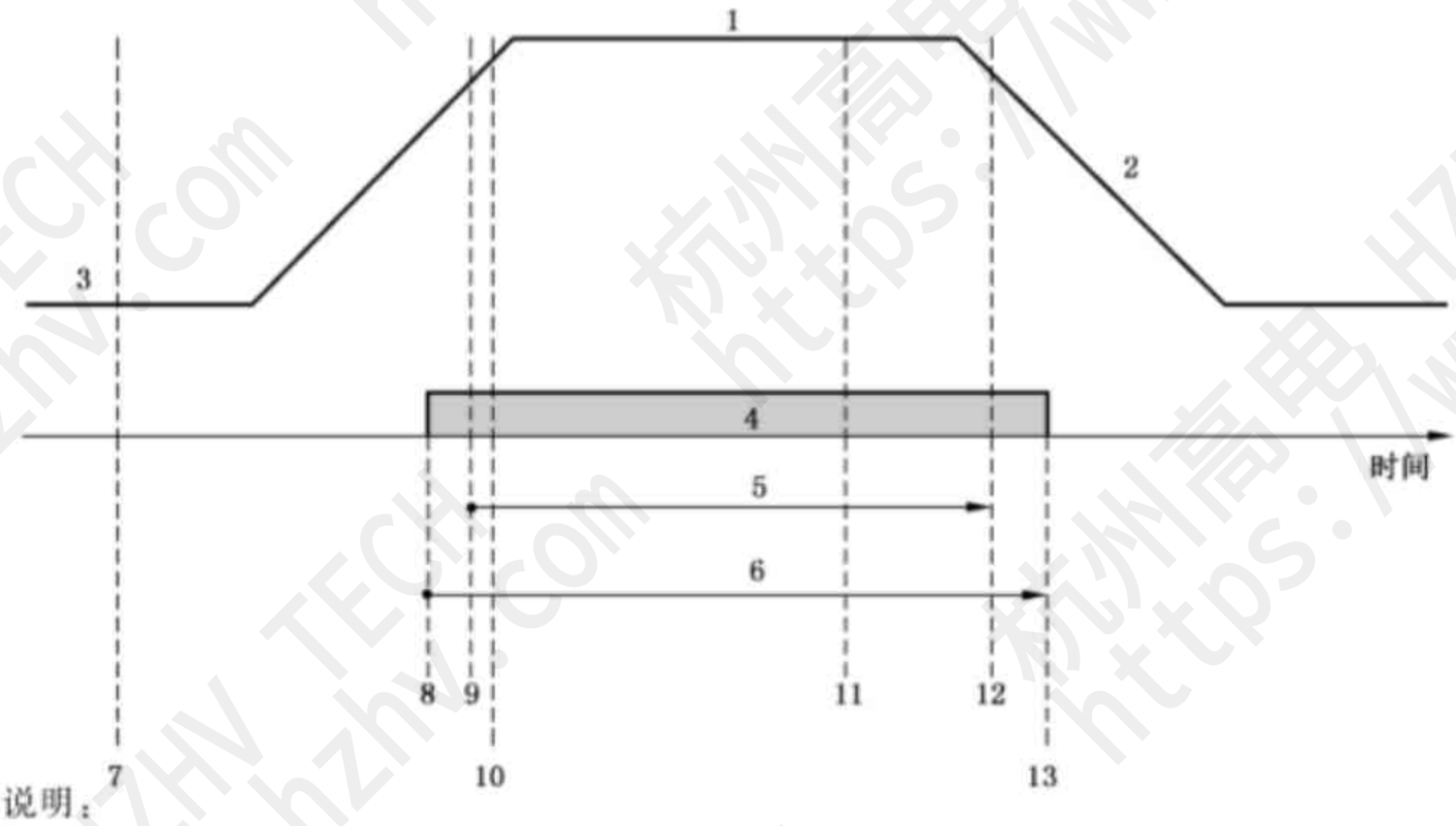


合闸操作

标引序号说明：

1——合闸位置；
2——触头行程；
3——分闸位置；
4——电流；
5——分闸时间，3.7.129；
6——总燃弧时间，3.7.152；
7——开断时间，3.7.131；
8——首开极弧触头分离时刻；
9——所有极弧触头分离时刻；
10——分闸操作起始时刻，3.7.151；
11——所有极中电弧最终熄灭时刻；
12——关合时间，3.7.133；
13——预击穿时间，3.7.134；
14——合闸时间，3.7.132；
15——合闸操作起始时刻，3.7.151；
16——第一极中开始流过电流时刻；
17——所有极触头接触时刻。

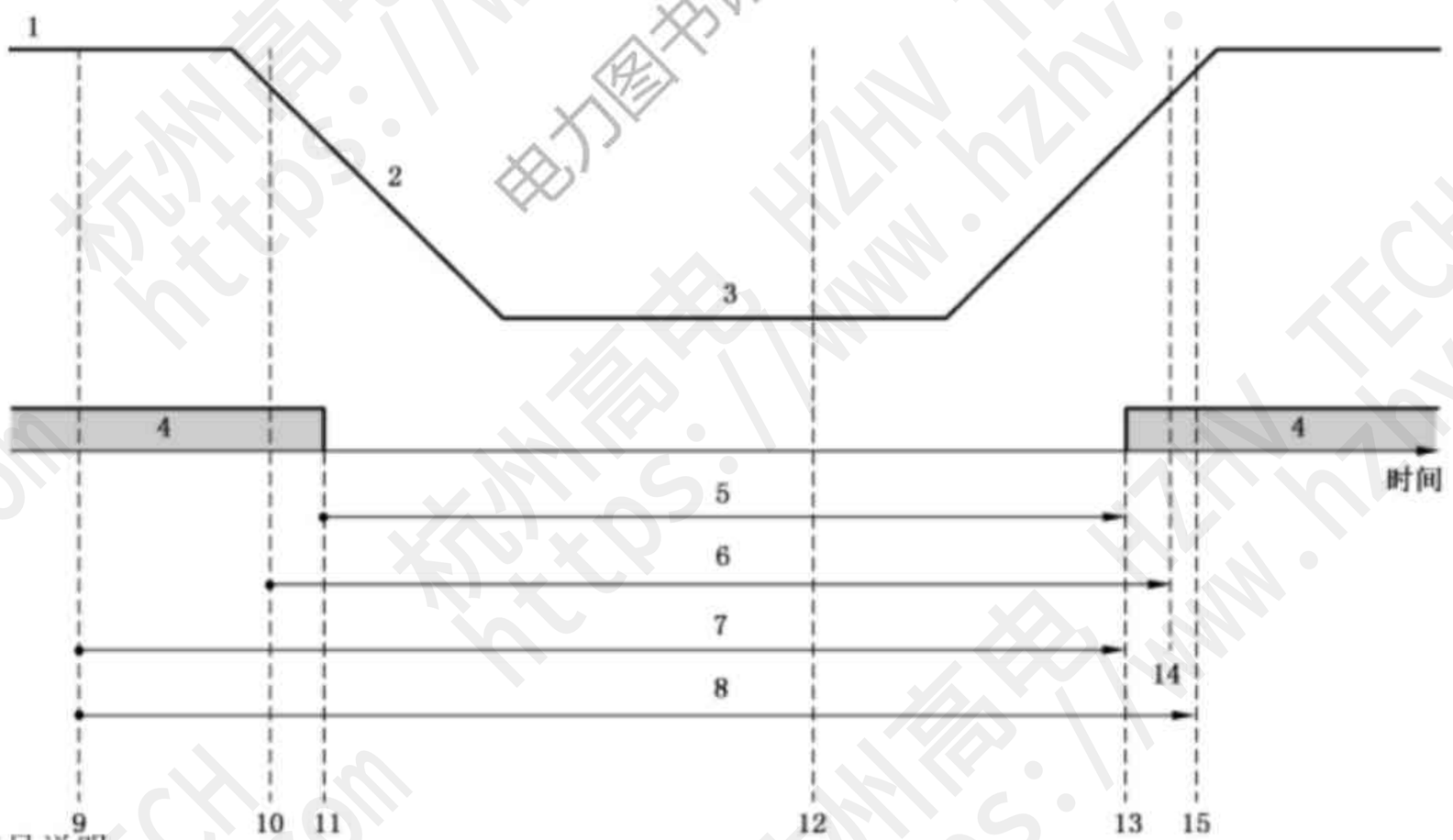
图 2 不带分合闸电阻器的断路器的分闸和合闸操作



标引序号说明：

1——合闸位置；
2——触头行程；
3——分闸位置；
4——电流；
5——合—分时间，3.7.139；
6——关合—开断时间，3.7.140；
7——合闸操作起始时刻，3.7.151；
8——第一极中开始流过电流时刻；
9——首合极中触头接触时刻；
10——所有极触头接触时刻；
11——分闸操作起始时刻，3.7.151；
12——所有极弧触头分离时刻；
13——所有极中电弧最终熄灭时刻。

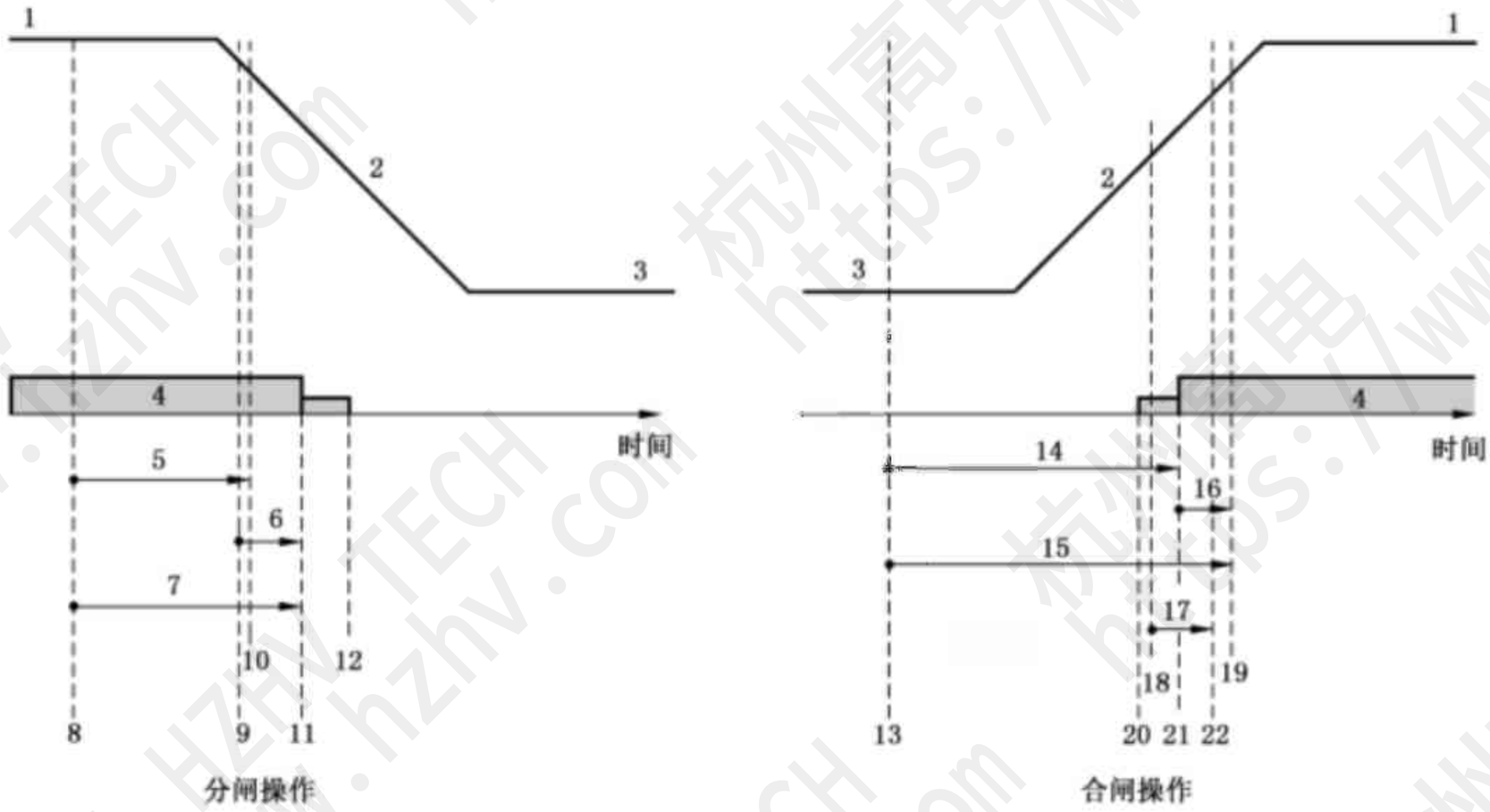
图 3　不带分合闸电阻器的断路器的合—分循环



标引序号说明：

1——合闸位置
2——触头行程；
3——分闸位置；
4——电流；
5——无流时间，3.7.136；
6——分—合时间，3.7.135；
7——重关合时间，3.7.138；
8——重合闸时间，3.7.137；
9——分闸操作起始时刻，3.7.151；
10——所有极弧触头分离时刻；
11——所有极中电弧最终熄灭时刻；
12——合闸操作起始时刻，3.7.151；
13——第一极中开始流过电流时刻；
14——首合极中触头接触时刻；
15——所有极触头接触时刻。

图 4　不带分合闸电阻器的断路器的重合闸（自动重合闸）



标引序号说明：

1——合闸位置；

2——触头行程；

3——分闸位置；

4——电流；

5——分闸时间，3.7.129；

6——总燃弧时间，3.7.152；

7——开断时间，3.7.131；

8——分闸操作起始时刻，3.7.151；

9——首开极弧触头分离时刻；

10——所有极弧触头分离时刻；

11——所有极中电弧最终熄灭时刻-全电流；

12——所有极中电弧最终熄灭时刻-电阻器电流；

13——合闸操作起始时刻，3.7.151；

14——关合时间，3.7.133；

15——合闸时间，3.7.132；

16——预击穿时间，3.7.134；

17——预接火时间，3.7.141；

18——任意极中合闸电阻器的触头接触时刻；

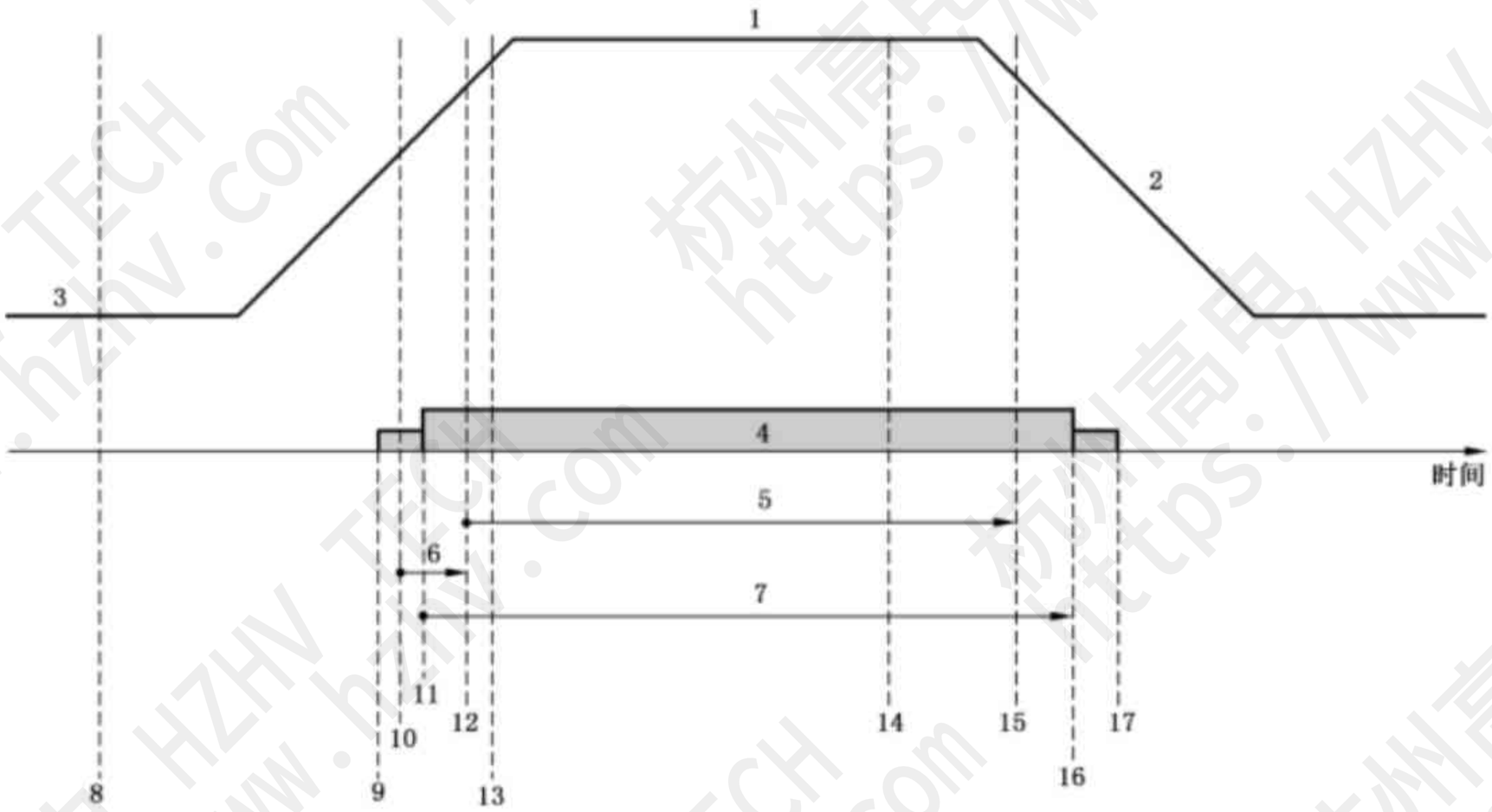
19——所有极触头接触时刻；

20——第一极中开始流过电流时刻-电阻器电流；

21——第一极中开始流过电流时刻-全电流；

22——同极的关合和开断单元的触头接触时刻(对电阻器而言)。

图 5　带分合闸电阻器的断路器的分闸和合闸操作



标引序号说明：

1——合闸位置；

2——触头行程；

3——分闸位置；

4——电流；

5——合—分时间，3.7.139；

6——预接入时间，3.7.141；

7——关合—开断时间，3.7.140；

8——合闸操作起始时刻，3.7.151；

9——第一极中开始流过电流时刻-电阻器电流；

10——任意极中合闸电阻器的触头接触时刻；

11——第一极中开始流过电流时刻-全电流；

12——同极的关合和开断单元的触头接触时刻(对电阻器而言)；

13——所有极触头接触时刻；

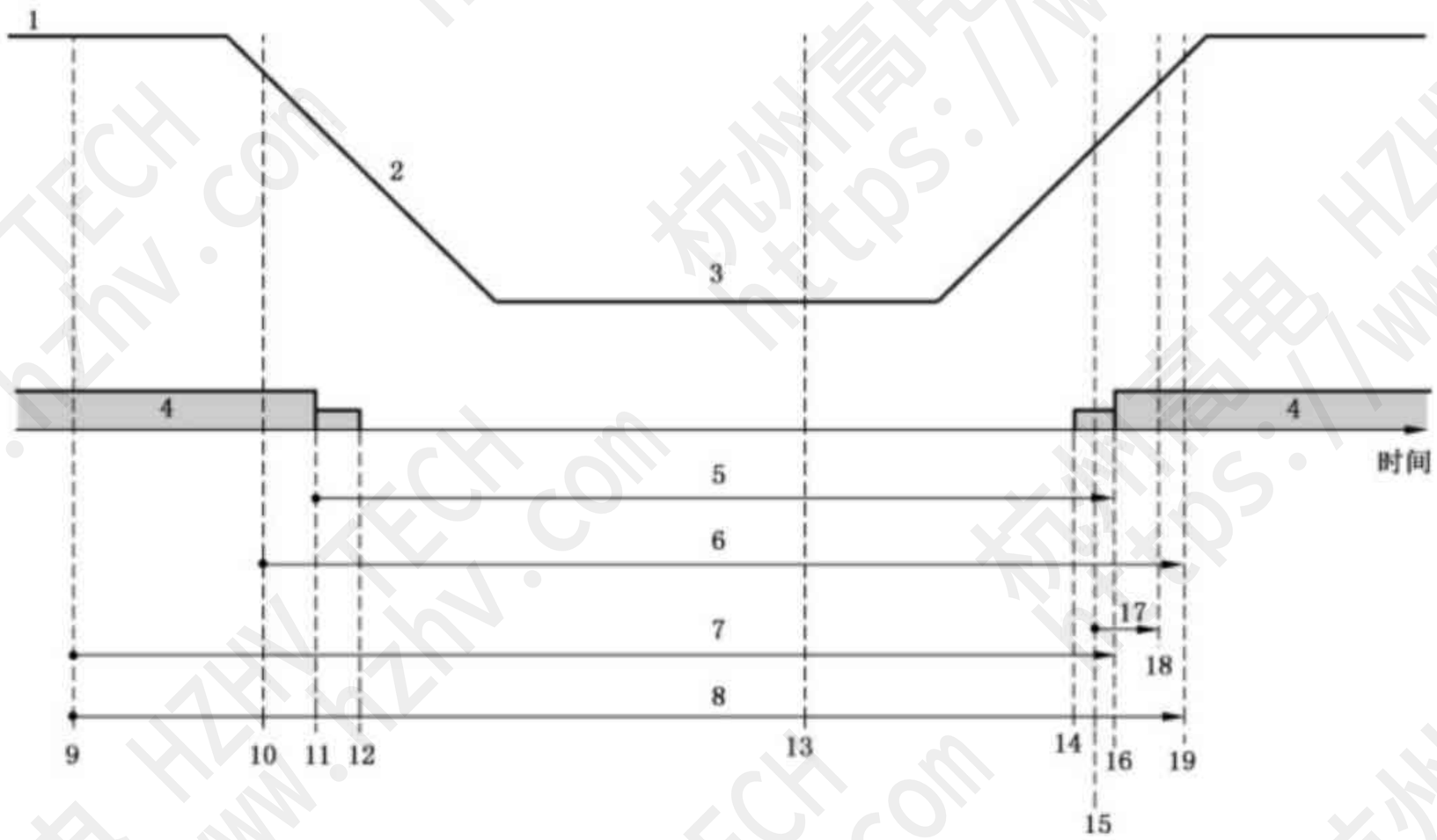
14——分闸操作起始时刻，3.7.151；

15——所有极弧触头分离时刻；

16——所有极中电弧最终熄灭时刻-全电流；

17——所有极中电弧最终熄灭时刻-电阻器电流。

图 6　带分合闸电阻器的断路器的合—分循环



标引序号说明：

1——合闸位置；

2——触头行程；

3——分闸位置；

4——电流；

5——无流时间，3.7.136；

6——分—合时间，3.7.135；

7——重关合时间，3.7.138；

8——重合闸时间，3.7.137；

9——分闸操作起始时刻，3.7.151；

10——所有极弧触头分离时刻；

11——所有极中电弧最终熄灭时刻-全电流；

12——所有极中电弧最终熄灭时刻-电阻器电流；

13——合闸操作起始时刻，3.7.151；

14——电阻器电流；

15——任意极中合闸电阻器的触头接触时刻；

16——第一极中开始流过电流时刻-全电流；

17——预接入时间，3.7.141；

18——同极的开断单元的触头接触时刻(对电阻器而言)；

19——所有极触头接触时刻。

图7　带分合闸电阻器的断路器的重合闸(自动重合闸)

3.7.101

额定值　rated value

通常为制造厂对元件、装置或设备在规定的操作条件下所规定的参数值。

注：例如对熔断器通常规定的额定值：电压、电流、开断能力。

3.7.102

(回路的并对开关装置或熔断器而言的)预期电流　prospective current (of a circuit and with respect to a switching device or a fuse)

当开关装置的每一极或熔断器被一个阻抗可忽略不计的导体所代替时，回路中流过的电流。

注：预期电流的确定方法见相关标准。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.1]

3.7.103

预期峰值电流　prospective peak current

电流出现后的瞬态过程中预期电流的第一个大半波的峰值。

注：本定义假定用理想断路器关合电流，即断路器各极端子间的阻抗瞬时并同时从无穷大变到零。一极与另一极的电流峰值可能不同，它取决于电流出现时刻对应各极端子间的电压波形。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.2，有修改]

3.7.104

峰值电流 peak current

电流出现后瞬态过程中第一个大半波的峰值。

3.7.105

(交流回路的)预期对称电流 prospective symmetrical current (of an AC circuit)

电流出现时没有瞬态现象的预期电流。

注 1：对于多相回路，无瞬态时期的条件一次只能满足一极的电流。

注 2：预期对称电流用其有效值表示。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.3，有修改]

3.7.106

(交流回路的)最大预期峰值电流 maximum prospective peak current (of an AC circuit)

电流出现时产生的在瞬间导致最高可能值的预期峰值电流。

注：对于多相回路的多极装置，最大预期峰值电流仅指单一极的。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.4，有修改]

3.7.107

(开关装置一极的)预期关合电流 prospective making current(for a pole of a switching device)

在规定条件下关合时产生的预期电流。

注：规定条件可能与产生方式(例如：由理想的开关装置)或产生瞬间(例如：在交流回路导致最大预期峰值电流或最高上升率)有关。这些条件的规范见相关标准。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.5]

3.7.108

关合电流 making current

关合操作时，电流出现后的瞬态过程中，断路器一极中电流的第一个大半波的峰值。

注 1：一极与另一极，一次操作与另一次操作的峰值可能不同，因为该值取决于电流出现时刻对应的外施电压的波形。

注 2：除非另有说明，在多相回路中，关合电流的单个值是指任意相中的最大值。

3.7.109

(开关装置一极或熔断器的)预期开断电流 prospective breaking current (for a pole of a switching device or a fuse)

相应于开断过程起始瞬间所计算的预期电流。

注：关于开断过程起始瞬间的规定见相关标准。对于机械开关装置或熔断器，通常是指在开断过程中电弧起始的瞬间。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.6，有修改]

3.7.110

(开关装置或熔断器的)开断电流 breaking current (of a switching device or a fuse)

在开断过程中，电弧起始瞬间流过开关装置的一个极或熔断器的电流。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.7，有修改]

3.7.111

临界(开断)电流 critical (breaking) current

小于额定短路开断电流的开断电流，在该电流下，其燃弧时间最长，且明显长于额定短路开断电流下的燃弧时间。

3.7.112

(开关装置或熔断器的)开断能力 breaking capacity(of a switching device or a fuse)

在规定的使用和性能条件下，开关装置或熔断器在规定的电压下能开断的预期电流值。

注 1：规定的电压和条件见相关标准。

注 2：对于开关装置，开断能力根据规定条件中包括的电流种类来定义，例如线路充电开断能力、电缆充电开断能力、单个电容器组开断能力等。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.8，有修改]

3.7.113

空载线路充电开断能力　no-load line-charging breaking capacity

在规定的使用和性能条件下，断开空载运行的架空线的开断能力。

3.7.114

空载电缆充电开断能力　no-load cable-charging breaking capacity

在规定的使用和性能条件下，断开空载运行的绝缘电缆的开断能力。

3.7.115

电容器组开断能力　capacitor bank breaking capacity

在规定的使用和性能条件下，断开电容器组的开断能力。

3.7.116

（开关装置的）关合能力　making capacity（of a switching device）

在规定的使用和性能条件下，开关装置在规定的电压下能够关合的预期关合电流值。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.9，有修改]

3.7.117

电容器组涌流关合能力　capacitor bank inrush making capacity

在规定的使用和性能条件下，接通电容器组的关合能力。

3.7.118

失步（关合或开断）能力　out-of-phase（making or breaking）capacity

在规定的使用和性能条件下，在断路器两侧的电网间失去或缺乏同步时的关合或开断能力。

3.7.119

短路关合能力　short-circuit making capacity

包括在开关装置的端子处短路的规定条件下的关合能力。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.10]

3.7.120

短路开断能力　short-circuit breaking capacity

包括在开关装置的端子处短路的规定条件下的开断能力。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.11]

3.7.121

短时耐受电流　short-time withstand current

在规定的使用和性能条件下，回路和处于合闸位置的开关装置在规定的短时间内能够承载的电流有效值。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.103，有修改]

3.7.122

峰值耐受电流　peak withstand current

在规定的使用和性能条件下，回路和处于合闸位置的开关装置能够耐受的峰值电流。

[来源：GB/T 2900.20—2016，9.104，有修改]

3.7.123

（开关装置的）外施电压　applied voltage（for a switching device）

在刚关合电流前，加在开关装置一个极的两接线端子间的电压。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.21]

3.7.124

恢复电压 recovery voltage

开断电流后,在开关装置一极或熔断器的端子间出现的电压。

注:该电压认为是两个连续的时间间隔,起初是瞬态恢复电压,接着是工频或稳态恢复电压。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.22,有修改]

3.7.125

瞬态恢复电压 transient recovery voltage;TRV

在具有显著瞬态特性的时间内的恢复电压。

注1:瞬态恢复电压取决于回路和开关装置的特性,可能是振荡的或非振荡的或两者的组合。它包括多相回路中性点的电压偏移。

注2:除非另有规定,否则三相回路中的瞬态恢复电压是首开极两端的电压,因为该电压通常高于其他两极上的电压。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.23,有修改]

3.7.126

(回路的)预期瞬态恢复电压 prospective transient recovery voltage (of a circuit)

理想开关装置开断预期对称电流后的瞬态恢复电压。

注:该定义假设获取预期瞬态恢复电压的开关装置或熔断器被理想开关装置所代替,即在零电流(即"自然"零)瞬间阻抗从零突变至无穷大。对于电流可沿多个不同路径的回路(例如多相回路),该定义还假设理想开关装置所开断的电流仅发生在所考虑的极上。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.26,有修改]

3.7.127

工频恢复电压 power frequency recovery voltage

瞬态电压现象消失后的恢复电压。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.24]

3.7.128

电气间隙 clearance

两导电部件间、沿其最短路径的直线距离。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.28,有修改]

3.7.129

(机械开关装置的)分闸时间 opening time (of a mechanical switching device)

开关装置从分闸操作起始时刻起到所有极弧触头分离时刻为止的时间间隔。

注:分闸操作起始的瞬间指发出分闸指令(如激励脱扣器)的瞬间。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.33,有修改]

3.7.130

(一极或熔断器的)燃弧时间 arcing time (of a pole or a fuse)

从一极或熔断器中起弧时刻起到该极或熔断器中电弧最终熄灭时刻为止的时间间隔。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.34,有修改]

3.7.131

开断时间 break-time

从机械开关装置分闸操作起始时刻(或熔断器弧前时间)起到所有极中电弧最终熄灭时刻为止的时间间隔。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.36,有修改]

3.7.132

合闸时间 closing time

从合闸操作起始时刻起到所有极触头接触时刻为止的时间间隔。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.38,有修改]

3.7.133

关合时间 make- time

从合闸操作起始时刻起到第一极中开始流过电流时刻为止的时间间隔。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.37,有修改]

3.7.134

(断路器的)预击穿时间 pre-arcing time(of a circuit-breaker)

合闸操作期间,从第一极中开始流过电流时刻起,对于三相条件,到所有极触头接触时刻为止的时间间隔;对于单相条件,到起弧极的触头接触时刻为止的时间间隔。

注 1:预击穿时间取决于在规定的合闸操作过程中外施电压的瞬时值,因此,可能有显著的变化。

注 2:断路器的预击穿时间的定义与熔断器的弧前时间的定义不同。

3.7.135

(自动重合闸过程中的)分—合时间 open-close time (during auto-reclosing)

从所有极弧触头分离时刻起到重合闸操作时首合极中触头接触时刻为止的时间间隔。

3.7.136

(自动重合闸过程中的)无流时间 dead time (during auto-reclosing)

从分闸操作中所有极中电弧最终熄灭时刻起到随后的合闸操作中第一极中开始流过电流时刻为止的时间间隔。

3.7.137

重合闸时间 reclosing time

重合闸循环过程中,从分闸操作起始时刻起到所有极触头接触时刻为止的时间间隔。

3.7.138

(重合闸过程中的)重关合时间 re-making time(during reclosing)

从分闸操作起始时刻起到随后的合闸操作中第一极中开始流过电流时刻为止的时间间隔。

3.7.139

合—分时间 close-open time

从合闸操作中首合极中触头接触时刻起到随后的分闸操作中所有极弧触头分离时刻为止的时间间隔。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.39,有修改]

3.7.140

关合—开断时间 make-break time

在主回路中电流开始流过的瞬间给分闸脱扣器通电,从第一极中开始流过电流时刻起到所有极中电弧最终熄灭时刻为止的时间间隔。

[来源:GB/T 2900.20—2016,9.40,有修改]

3.7.141

(合闸电阻器的)预接入时间 pre-insertion time(of a closing resistor)

空载操作期间,电阻器保留在主回路中的时间间隔。

3.7.142

连续电流 continuous current

在规定的使用和性能条件下,断路器主回路能够持续承载的电流。

3.7.143

峰值系数 peak factor

交变量最大绝对值与其有效值之比。

注：对于交变量 x，峰值系数等于 x_{max}/X_{cll}。

3.7.144

（三相系统中的）首开极系数 first-pole-to-clear factor（in a three-phase system）

k_{pp}

当开断任何对称的三相电流时，在其他极电流开断之前，首先开断极两端的工频电压与三极均开断后该极或其他极两端的工频电压之比。

3.7.145

振幅系数 amplitude factor

k_{af}

瞬态恢复电压的最大幅值与工频恢复电压的峰值之比。

3.7.146

绝缘水平 insulation level

表征绝缘的介电强度的一组规定耐受电压。

[来源：GB/T 2900.57—2008，604-03-47，有修改]

3.7.147

工频耐受电压 power frequency withstand voltage

在规定的条件和规定的时间下进行试验时，规定设备能承受的正弦工频电压有效值。

[来源：GB/T 2900.57—2008，604-03-40，有修改]

3.7.148

冲击耐受电压 impulse withstand voltage

在规定条件下不会引起绝缘击穿的、具有规定波形和极性的冲击电压的最高峰值。

[来源：IEC 60050-442:2014，442-09-18]

3.7.149

最短开断时间 minimum clearing time

最短分闸时间、最短继电器时间(1/2 周波)和具有中等非对称度相中小半波开断的最短燃弧时间之和。

注：该中等非对称度相中短路电流起始于小半波，中等非对称度的定义见 GB/T 4473。

3.7.150

（分闸电阻器的）接入时间 insertion time（of an opening resistor）

在分闸操作期间，任一极关合和开断单元弧触头分离时刻与该极中电阻器开关触头分离时刻间的时间间隔。

3.7.151

（分闸或合闸）操作起始时刻 initiation of（opening or closing）operation

控制电路接收到操作指令的瞬间。

3.7.152

总燃弧时间 total arcing time

一极中电弧首先出现时刻与所有极中电弧均熄灭时刻间的时间间隔。

3.8 故障类型

3.8.101

端子故障 terminal fault

断路器的至少一个端子上发生的短路。

注：端子故障电流仅来自电源侧。

3.8.102

单相接地故障 single-phase earth fault

中性点有效接地系统中的单相故障。

3.8.103

异相接地故障 double-earth fault

中性点非有效接地系统中的故障，接地故障出现在不同的相，一个点在断路器的一侧，另一个点在断路器的另一侧。

3.8.104

近区故障 short-line fault；SLF

在架空线上，距断路器端子距离近但还有一定距离处的短路。

注：作为原则，这一距离不超过几千米。

4 正常和特殊使用条件

GB/T 11022—2020 的第 4 章适用。

5 额定值

5.1 概述

GB/T 11022—2020 的 5.1 适用，并作如下补充：

l） 额定短路开断电流；

m） 额定首开极系数；

n） 额定短路关合电流；

o） 额定操作顺序；

可选的额定值：

p） 额定失步关合和开断电流；

q） 额定线路充电开断电流；

r） 额定电缆充电开断电流；

s） 额定单个电容器组开断电流；

t） 额定背对背电容器组开断电流；

u） 额定背对背电容器组关合涌流。

5.2 额定电压(U_r)

GB/T 11022—2020 的 5.2 适用。

5.3 额定绝缘水平(U_d、U_p和U_s)

GB/T 11022—2020 的 5.3 适用。

5.4 额定频率(f_r)

GB/T 11022—2020 的 5.4 适用，并作如下补充：

高压交流断路器额定频率的标准值为 50 Hz。

5.5 额定连续电流(I_r)

GB/T 11022—2020 的 5.5 适用，并作如下补充：

如果断路器装有串联附件，例如直接过电流脱扣器，则附件的额定连续电流是该附件在额定频率下能连续承载而不损坏，且温升不超过 GB/T 11022—2020 表 14 中规定值的电流有效值。

5.6 额定短时耐受电流(I_k)

GB/T 11022—2020 的 5.6 适用，并作如下补充：

额定短时耐受电流等于额定短路开断电流(见 5.101)。

5.7 额定峰值耐受电流(I_p)

GB/T 11022—2020 的 5.7 适用。

5.8 额定短路持续时间(t_k)

GB/T 11022—2020 的 5.8 适用。

5.9 辅助、控制回路的额定供电电压(U_a)

GB/T 11022—2020 的 5.9 适用。

5.10 辅助和控制回路供电电压的额定频率

GB/T 11022—2020 的 5.10 适用。

5.11 可控压力系统用压缩气源的额定压力

GB/T 11022—2020 的 5.11 适用。

5.12 绝缘和/或开合用的额定充入压力/水平

GB/T 11022—2020 的 5.12 适用。

5.101 额定短路开断电流(I_{sc})

5.101.1 通则

电压等于和小于额定电压时，断路器应能开断其额定短路开断电流。额定短路开断电流是在本文件规定的使用和性能条件下，断路器所能开断的最大短路电流。

额定短路开断电流由两个值表征：

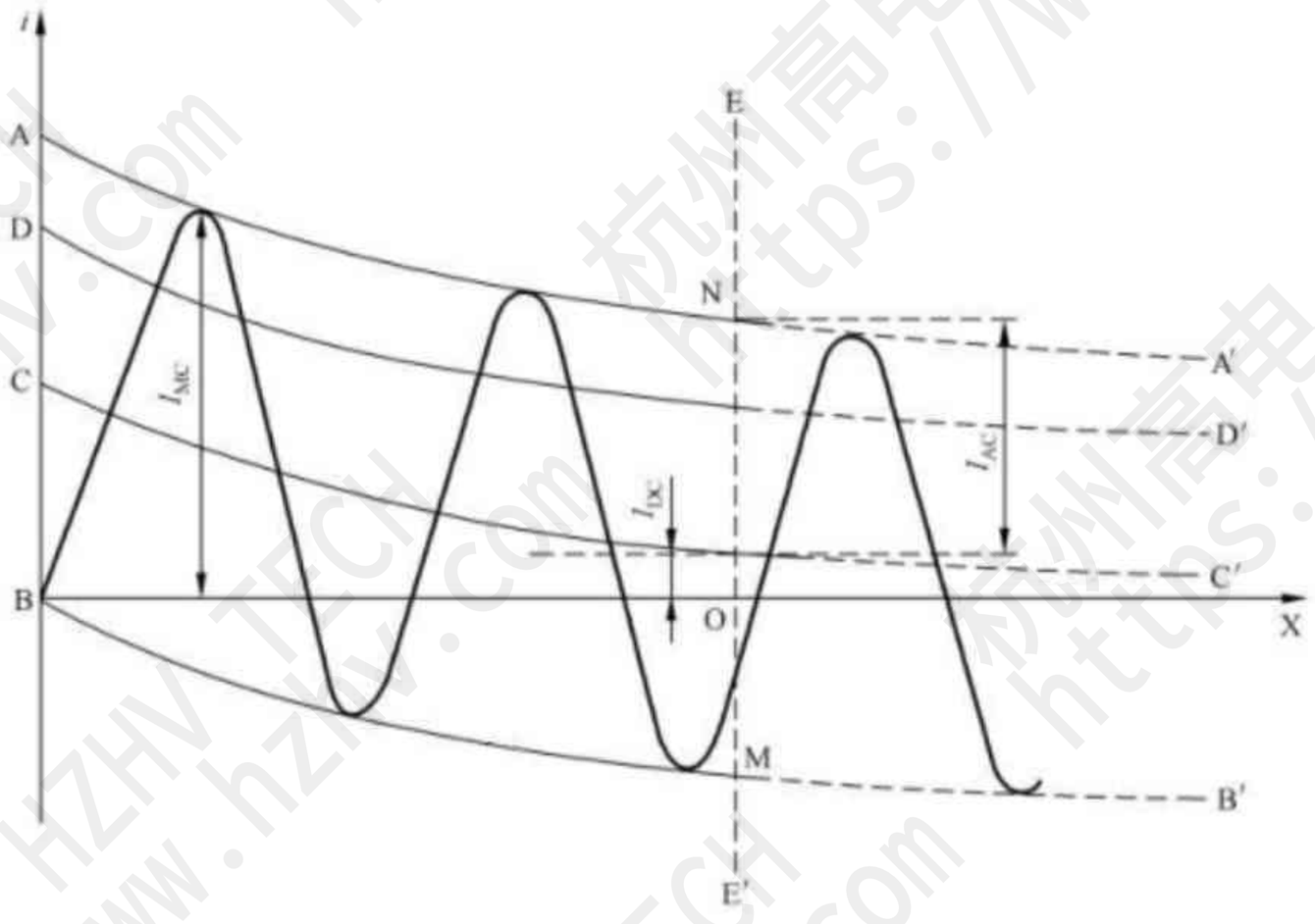
——交流分量有效值；

——额定短路开断电流的直流时间常数。

如果触头分离时刻直流分量的百分数不超过 20%，则认为额定短路开断电流是对称的，并且仅通过其交流分量的有效值来表征。

电流起始后任何时刻交流分量和直流分量百分数的确定见图 8。

直接连接在架空线路上的断路器可能会遇到近区故障。关于近区故障的适用性和试验的进一步信息在 7.109 中给出。



标引序号说明：

AA′、BB′——电流波的包络线；

BX——正常的零线；

CC′——任一时刻电流波形零线的偏移；

DD′——任一时刻交流分量的有效值，从CC′测取；

EE′——触头分离时刻(起弧)；

I_{MC}——关合电流；

I_{AC}——EE′时刻电流的交流分量峰值；

$I_{AC}/\sqrt{2}$——EE′时刻电流的交流分量有效值；

I_{DC}——EE′时刻电流的直流分量；

ON——EE′时刻电流大半波峰值；

OM——EE′时刻电流小半波峰值；

MN——EE′时刻电流峰-峰值；

$\frac{I_{DC}}{I_{AC}}\times 100=\frac{\overline{ON}-\overline{OM}}{\overline{MN}}\times 100=\left[\frac{2\times\overline{ON}}{\overline{MN}}-1\right]\times 100$——直流分量的百分数。

图 8　短路关合和开断电流以及直流分量百分数的确定

5.101.2　额定短路开断电流的交流分量

额定短路开断电流的交流分量标准值应在GB/T 762规定的R10系列中选取。

注：R10系列是1—1.25—1.6—2—2.5—3.15—4—5—6.3—8及这些数与10^n的乘积。

5.101.3　额定短路开断电流的直流时间常数

a)　$U_r \leqslant 800$ kV的断路器

标准直流时间常数为45 ms。下述为与断路器额定电压相关的特殊工况下的直流时间常数：

——$U_r \leqslant 40.5$ kV时，为120 ms；

——72.5 kV$\leqslant U_r \leqslant$363 kV时，为60 ms；

——U_r=550 kV、800 kV时，为75 ms。

这些特殊工况下的直流时间常数值说明了标准直流时间常数在某些系统中是不足的。这些数值作为特殊系统需要的统一值，考虑到额定电压不同范围的特性，例如特定的系统结构、线路

设计等。

另外，某些特殊用途中，可能要求更高的值，如靠近发电机的断路器。在这些情况下，要求的直流时间常数和附加的试验要求应在询问单中规定。

注 1：关于标准直流时间常数和特殊工况直流时间常数的用法，更详细的资料在 IEC TR 62271-306：2012＋AMD1：2018 中给出。不同直流时间常数的直流分量百分数和时间的关系在图 9 中表示。

注 2：GB/T 1984 之前版本中用的触头分离时刻的直流分量百分数用 7.107.6 中给出的公式导出。对于对称试验方式，本文件中仍然采用触头分离时刻的直流分量百分数的概念。对于非对称试验方式 T100a，该概念已经变化(见 IEC TR 62271-306：2012＋AMD1：2018)。

b) U_r＞800 kV 的断路器

标准直流时间常数为 120 ms。a)项注 2 也适用于这种情况。

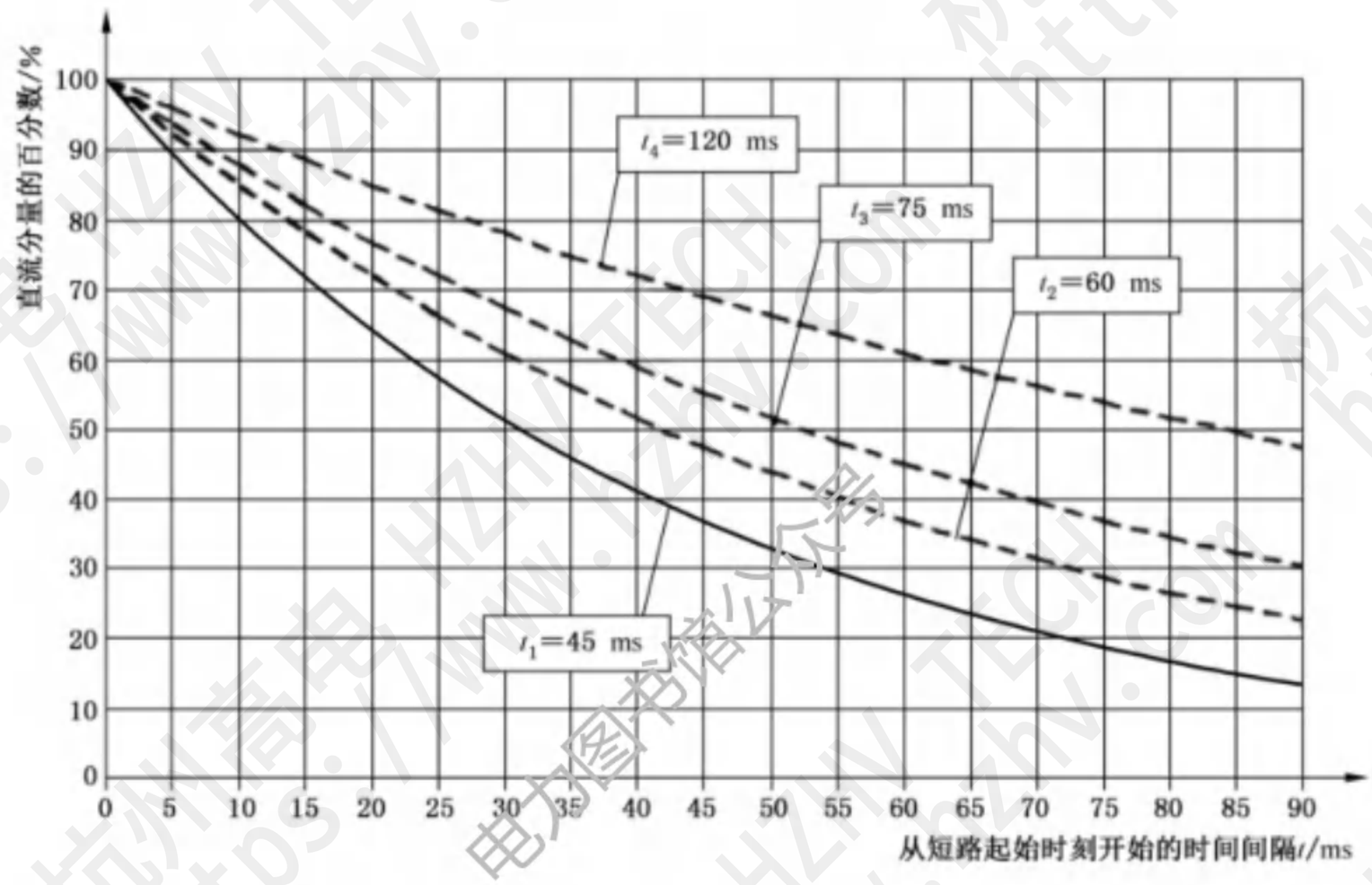


图 9　对于不同直流时间常数，直流分量的百分数与从短路起始时刻开始的时间间隔的关系曲线

5.102　额定首开极系数(k_{pp})

断路器在具有不同系统中性点接地条件的电网中运行的能力，用 k_{pp} 表示。k_{pp} 的额定值为：

——k_{pp}＝1.3，对中性点有效接地系统中额定电压不超过 1 100 kV 的断路器；

——k_{pp}＝1.5，对中性点非有效接地系统中额定电压不超过 126 kV 的断路器。

注 1：在本文件中，认为 110 kV 及以下的系统既可能中性点有效接地也可能中性点非有效接地。电压高于 110 kV 的系统为中性点有效接地。

注 2：这里规定的额定首开极系数与端子故障有关。对于其他开断条件，其他首开极系数适用。例如，下列 k_{pp} 适用于失步条件：

——k_{pp}＝2.0，开断中性点有效接地系统中出现的失步条件；

——k_{pp}＝2.5，开断中性点非有效接地系统中出现的失步条件。

5.103　额定短路关合电流

额定短路关合电流是通过将额定短路开断电流(见 5.101)的交流分量有效值乘以 GB/T 11022—2020 表 5 中给出的峰值系数得到的。

5.104　额定操作顺序

额定操作顺序为：O—t—CO—t'—CO。

其中：

O———一次分闸操作；

CO———一次合-分操作循环，具有使断路器在分闸前达到完全闭合并锁定位置的尽可能短的合-分时间。

时间参数如下：

——自动重合闸断路器，$t=3$ min[a]且$t'=3$ min[a]；

——快速自动重合闸断路器，$t=0.3$ s且$t'=3$ min[a]；

——非自动重合闸断路器，$t>3$ min[b]且$t'>3$ min[b]。

[a] 可使用替代值，例如15 s或1 min。

[b] 由制造厂规定。

5.105 额定失步关合和开断电流

额定失步开断电流是在本文件规定的使用和性能条件下，具有7.110规定的恢复电压的回路中，断路器能够开断的最大失步电流。

如果规定额定失步开断电流，则其应为额定短路开断电流的25%，额定失步关合电流应为额定失步开断电流的峰值。

关于额定失步关合和开断电流使用的标准条件如下：

——分闸和合闸操作应与制造厂提供的断路器及其辅助设备操作和正确使用的说明书一致；

——电力系统中性点的接地条件应与断路器试验过的条件一致；

——断路器的两侧均无故障。

5.106 额定容性电流

5.106.1 概述

容性负载开合可能包含了断路器的部分或全部操作职能，例如空载输电线路或电缆的充电电流，或并联电容器组的负载电流。

注：与关合和开断容性电流有关的级别在6.107.4中说明。

适用时，用于容性电流开合的断路器，其额定值应包括：

——额定线路充电开断电流；

——额定电缆充电开断电流；

——额定单个电容器组开断电流；

——额定背对背电容器组开断电流；

——额定背对背电容器组关合涌流。

表1中给出了额定容性电流的优选值。

表 1　额定容性电流的优选值

—	线路	电缆	单个电容器组	背对背电容器组	
额定电压 U_r（有效值）	额定线路充电开断电流 I_1（有效值）	额定电缆充电开断电流 I_c（有效值）	额定单个电容器组开断电流 I_{sb}（有效值）	额定背对背电容器组开断电流 I_{bb}（有效值）	额定背对背电容器组关合涌流 I_{bi}（峰值）（涌流的频率为 4 250 Hz）
kV	A	A	A	A	kA
3.6	10	10	400	400	20
7.2	10	10	400	400	20
12	10	25	400	400	20
24	10	31.5	400	400	20
40.5	10	50	400	400	20
72.5	10	125	400	400	20
126	31.5	140	400	400	20
252	125	250	400	400	20
363	315	355	400	400	20
550	500	500	400	400	20
800	900	—	—	—	—
1 100	1 200	—	—	—	—

注 1：选择本表中给出的数值是出于标准化的目的。它们是优选值且涵盖了大多数典型应用。如果需要不同的数值，规定适当的数值作为额定值。

注 2：对于实际工况，涌流按照 IEC TR 62271-306:2012+AMD1: 2018 计算。

注 3：涌流的频率和峰值可能高于或低于表中规定的优选值，具体取决于系统条件，例如是否使用限流电抗器。

注 4：额定电压 1 100 kV 的优选值基于 50 Hz 的应用。将来在以 60 Hz 运行的系统中会有更高的电流值，但是经验表明，这些更高的电流不会给断路器带来更高的压力，因为恢复电压通常是开断的主要因素。

5.106.2　额定线路充电开断电流

额定线路充电开断电流是指断路器在本文件规定的使用和性能条件以及在其额定电压下所能开断的最大线路充电电流。当规定了线路充电开断电流时，应规定相应的重击穿级别(C1 或 C2)。

5.106.3　额定电缆充电开断电流

额定电缆充电开断电流是指断路器在本文件规定的使用和性能条件以及在其额定电压下所能开断的最大电缆充电电流。当规定了电缆充电开断电流时，应规定相应的重击穿级别(C1 或 C2)。

5.106.4　额定单个电容器组开断电流

额定单个电容器组开断电流是指断路器在本文件规定的使用和性能条件以及在其额定电压下所能开断的最大单个电容器组电流。该开断电流是指在断路器的电源侧没有连接并联电容器时开合一台并联电容器组。当规定了单个电容器组开断电流时，应规定相应的重击穿级别(C1 或 C2)。

5.106.5 额定背对背电容器组开断电流

额定背对背电容器组开断电流是指断路器在本文件规定的使用和性能条件以及在其额定电压下所能开断的最大背对背电容器电流。当规定了背对背电容器组开断电流时，应规定相应的重击穿级别(C1 或 C2)。

该开断电流是指断路器的电源侧接有一组或几组并联电容器，且它能提供的关合涌流等于额定背对背电容器组关合涌流时并联电容器组的开合。

注：类似的条件适用于带电缆的变电站中的开合。

5.106.6 额定背对背电容器组关合涌流

额定背对背电容器组关合涌流是在三相同时关合操作期间，断路器在其额定电压以及与使用条件相应的涌流频率下应能关合的电流的峰值(见表 1 及 7.111.5.3)。

6 设计与结构

6.1 对断路器中液体的要求

GB/T 11022—2020 的 6.1 适用。

6.2 对断路器中气体的要求

GB/T 11022—2020 的 6.2 适用。

6.3 断路器的接地

GB/T 11022—2020 的 6.3 适用。

6.4 辅助和控制设备及回路

GB/T 11022—2020 的 6.4 适用，并作如下补充。

——使用并联分闸和合闸脱扣器的场合，当施加永久的合闸或分闸指令时，应采取适当的措施避免脱扣器损坏。例如，那些措施可能是使用串联控制触头的布置，使得当断路器处于合闸位置时，合闸脱扣器的控制触头(“b”触头或常闭触头)处于分闸位置，分闸脱扣器的控制触头(“a”触头或常开触头)处于合闸位置；当断路器处于分闸位置时，分闸脱扣器的控制触头是分开的，合闸脱扣器的控制触头是闭合的。

——辅助开关用作位置指示器时，应指示断路器处于分闸或合闸的终了位置。信号还应保持。

——连接件应能承受由断路器产生的应力，尤其是在操作过程中由机械力产生的应力。

——使用控制设备的特殊元件时，应在辅助和控制回路的供电电压、关合和开断和/或绝缘以及操作用的介质的规定的限值范围内工作，并能开合断路器制造厂规定的负载。

——辅助设备的特殊元件，诸如液体指示器、压力指示器、释放阀、充排设备、加热器和联锁的触点，应在辅助和控制回路供电电压、和/或关合和开断和/或绝缘以及操作用介质的规定的限值范围内工作。

——防跳装置作为断路器控制回路的一部分时，如果安装的不止一个，它们应在每一个控制回路中动作。

——极间不同期的控制方案作为断路器的一部分时，应对极的位置(分闸或合闸)进行监控。

6.5 动力操作

GB/T 11022—2020 的 6.5 适用，并作如下补充：

用外部能源进行动力合闸的断路器也应能在合闸后立即分闸。

6.6 储能操作

GB/T 11022—2020 的 6.6 适用，并对其第一段作如下补充：

储能合闸的断路器也应能在合闸后立即分闸。

6.7 不依赖于非扣锁的操作(不依赖人力或动力的操作)

GB/T 11022—2020 的 6.7 适用，但其最后一段和注 2 除外。

6.8 人力操作的驱动器

GB/T 11022—2020 的 6.8 适用。

6.9 脱扣器的操作

GB/T 11022—2020 的 6.9 适用，并作如下补充。

6.9.101 过电流脱扣器

6.9.101.1 动作电流

过电流脱扣器应标明其额定连续电流和电流整定范围。在电流整定范围内，过电流脱扣器应在电流整定值的 110%及以上时可靠动作，而在电流整定值的 90%及以下时不动作。

6.9.101.2 动作时间

制造厂应提供带有适当容差的表格或曲线，表明动作时间与电流(为 2 倍～6 倍的动作电流)的函数关系。这些表格或曲线应提供极限电流整定值和极限延时整定值。

对于反时延过电流脱扣器，应从过电流出现时刻起至触发脱扣时刻测量动作时间。

6.9.101.3 复位电流

在过电流脱扣器的延时终了以前，如果主回路中的电流降到低于某一值时，则脱扣器不应完成其动作而应恢复到其初始位置。

制造厂应给出相关的信息。

6.9.102 多个脱扣器

若断路器安装有同样功能的多个脱扣器时，则一个脱扣器的缺陷不应干扰其他脱扣器的功能。相同功能使用的脱扣器应在物理上独立，即磁场隔离。

6.9.103 脱扣器的功耗

三极断路器的并联分闸或合闸脱扣器的功耗不应超过 1 200 VA。对于某些断路器的设计，可能需要更高的值。

6.9.104 自脱扣断路器的集成继电器

集成继电器用于自脱扣断路器时，应符合 GB/T 14598.151—2012。输入的激励量是流过主触头的电流。

6.10 压力/液位指示

6.10.1 气体压力

GB/T 11022—2020 的 6.10.1 适用，并作如下补充：

所有具有储气罐和蓄压筒储能（见 GB/T 11022—2020 的 6.6.2）的断路器及所有除密封压力装置外采用压缩气体进行关合和开断的断路器（见 6.103），均应装设闭锁装置，这些闭锁装置应设定在制造厂规定的适当的压力限值范围内动作。

6.10.2 液位

GB/T 11022—2020 的 6.10.2 适用。

6.11 铭牌

GB/T 11022—2020 的 6.11 适用，并作如下补充：

断路器及其操动机构的铭牌应按表 2 的内容标注。表 2 中栏 2 给出的缩写可代替栏 1 中的术语，采用栏 1 中的术语时可不出现“额定”一词。

操动机构的线圈应有一个参考标识，以便用户能从制造厂获得全部数据。

脱扣器应带有适当的数据。

在正常工作和安装位置铭牌均应明显可见，对安装在金属封闭开关设备中的断路器，GB/T 3906—2020 的 6.12 适用。

表 2 铭牌信息

项目	缩写	单位	断路器	操动机构	条件：仅当需要时才标注
1	2	3	4	5	6
制造厂名称			×	×	
型号和出厂编号			×	×	
额定电压	U_r	kV	×		
额定短时工频耐受电压	U_d	kV	×		
额定雷电冲击耐受电压	U_p	kV	×		
额定操作冲击耐受电压	U_s	kV	Y		额定电压 363 kV 及以上时
额定频率	f_r	Hz	×		
额定连续电流	I_r	A	×		
额定短路持续时间	t_k	s	Y		不同于 2 s 时
额定短路开断电流	I_{sc}	kA	×		
额定短路开断电流的直流时间常数	τ	ms	Y		不同于 45 ms 时
首开极系数	k_{pp}		Y		不同于 5.102 规定值时
额定失步开断电流	I_4	kA	（×）		

表 2　铭牌信息（续）

项目	缩写	单位	断路器	操动机构	条件：仅当需要时才标注
1	2	3	4	5	6
额定线路充电开断电流	I_1	A	（×）		
额定电缆充电开断电流	I_c	A	（×）		
额定单个电容器组开断电流	I_{sb}	A	（×）		
额定背对背电容器组开断电流	I_{bb}	A	（×）		
额定背对背电容器组关合涌流	I_{bi}	kA	（×）		
操作用的额定压力	p_{rm}	MPa		（×）	
关合和开断用的额定压力	p_{rv}	MPa	（×）		
辅助和控制回路的额定供电电压直流/交流（额定频率）	U_a	V （Hz）		（×）	
质量（包括油断路器的油）	M	kg	Y	Y	超过 300 kg 时
绝缘和/或关合和开断用流体（液体或气体）的质量和类型	M_f	kg	Y		包含流体时
额定操作顺序			×		
制造年份			×		
最低和最高周围空气温度		℃	Y	Y	不同于−5 ℃和/或 40 ℃
分级			Y		对于额定电压 126 kV 以下，不同于 C1、E1、M1 和 S1 级时；对于额定电压 126 kV 及以上，不同于 C1 和 M1 级时
参考本文件			×	×	

说明：

×　——这些值的标注是强制性的；

（×）——这些值的标注是可选的；

Y　——按照第 6 列中的条件标注的值。

6.12　联锁装置

GB/T 11022—2020 的 6.12 适用。

6.13　位置指示

GB/T 11022—2020 的 6.13 适用。

6.14 外壳的防护等级

GB/T 11022—2020 的 6.14 适用。

6.15 户外绝缘子的爬电距离

GB/T 11022—2020 的 6.15 适用。

6.16 气体和真空的密封

GB/T 11022—2020 的 6.16 适用。

6.17 液体的密封

GB/T 11022—2020 的 6.17 适用。

6.18 火灾(易燃性)

GB/T 11022—2020 的 6.18 适用。

6.19 电磁兼容性(EMC)

GB/T 11022—2020 的 6.19 适用。

6.20 X 射线发射

GB/T 11022—2020 的 6.20 适用。

6.21 腐蚀

GB/T 11022—2020 的 6.21 适用。

6.22 绝缘和/或开合、操作用的充入压力/水平

GB/T 11022—2020 的 6.22 适用。

6.101 单合和单分操作时的极间同期性要求

在操作用辅助和控制电压及压力的额定条件下,下列要求适用。

——各极合闸时触头接触时刻的最大差异不应超过额定频率的 1/4 周波。如果一极由多个串联的关合和开断单元组成,则这些串联的关合和开断单元之间触头接触时刻的最大差异不应超过额定频率的 1/6 周波。如果使用了合闸电阻器,合闸时各合闸电阻器触头接触时刻之间的最大差异不应超过额定频率的 1/2 周波。如果一极使用了多个合闸电阻器,每个合闸电阻器对应一个串联连接的关合和开断单元,这些串联连接的合闸电阻器的触头接触时刻之间的最大差异不应超过额定频率的 1/3 周波。

——各极分闸时触头分离时刻的最大差异不应超过额定频率的 1/6 周波。如果一极由多个串联的关合和开断单元组成,则这些串联的关合和开断单元之间触头分离时刻的最大差异不应超过额定频率的 1/8 周波。

用于可控开合的断路器见 GB/T 30846。

注:对于分极式断路器,如各极的动作条件相同,则本要求适用;在单极重合闸操作后,三个机构的动作条件可能会不同。

6.102 操作的一般要求

断路器及其操动机构应能在GB/T 11022—2020的第4章规定的最低和最高空气温度范围内，按6.5～6.10和6.103的相关规定完成其额定操作顺序(见5.104)。

此要求不适用于辅助的手动操动装置。若装有这种装置，则仅供不带电回路的维护和紧急操作之用。

装有加热器的断路器应设计成加热器在最短2 h内不工作时，断路器能在最低周围空气温度下进行分闸操作。

6.103 操作用流体的压力极限

制造厂应规定操作用流体的最高和最低压力，断路器在此极限压力下应能按其额定值使用，并应按此极限压力整定合适的低压力和高压力闭锁装置(见6.10)。

制造厂可规定压力极限，在该值下断路器具有下列各项性能：

——一个“分(O)”操作；

——一个“合—分(CO)”操作循环；

——对用于快速自动重合闸的断路器，“O—0.3 s—CO”操作顺序。

断路器应具有足够容量的能量储存，以便在规定的相应最低压力下进行适当的操作时获得满意的性能。

6.104 排逸孔

排逸孔是断路器在操作过程中专门用来释放其内部压力的装置。

注：适用于空气断路器、压缩空气断路器和油断路器。

断路器排逸孔的设置应使排油或排气或排逸两者时，不致引起电击穿，且不朝向任何可能出现人员的地方。制造厂应规定必要的安全距离。

断路器或其辅助设备正常操作时，排逸孔的结构应使气体不会聚集在由于操作中或操作后产生的火花所能点燃的任何位置。

6.105 时间参量

参照图1～图7。

可规定下列时间参量值：

——分闸时间(空载)；

——合闸时间(空载)；

——分—合时间(空载)；

——重合闸时间(空载)；

——合—分时间(空载)；

——预接入时间(空载)。

时间参量基于：

——合闸和分闸装置以及辅助和控制回路的额定供电电压(见5.9)；

——合闸和分闸装置以及辅助和控制回路供电电压的额定频率(见5.10)；

——可控压力系统用压缩气源的额定压力(见5.11)；

——绝缘和/或开合、操作用的额定充入压力(见6.22)；

——周围空气温度为20 ℃±5 ℃。

注1：由于燃弧时间和预击穿时间的分散性，规定关合时间或关合-开断时间的值通常是不现实的。

注 2：开断时间是使用 IEC TR 62271-306:2012+AMD1:2018 中给出的计算方法确定的。

6.106 机械负荷

6.106.1 概述

断路器应设计成能耐受由连接导体、风等所产生的静态应力以及动态应力(例如由短路电流和断路器的操作引起的)。

这些应力可同时产生。

6.106.2 静态机械负荷

该能力通过计算证明。

在计算由冰和风引起的应力时，冰层和风压应符合 GB/T 11022—2020 的 4.1.3。

表 3 给出了因风、冰和重量在软连接和管形连接导体上产生的静态应力的一些示例作为指导。

假定由连接的导体产生的拉力作用于断路器端子的最外端上。

表 3 用于静态端子负荷的静态水平力和垂直力示例

额定电压范围 U_r kV	额定电流范围 I_r A	静态水平力 F_{th}		静态垂直力（垂直轴向上和向下） F_{tv} N
		纵向 F_{thA} N	横向 F_{thB} N	
40.5、72.5	800～1 250	500	400	500
	1 600～2 500	750	500	750
126	1 250～2 000	1 000	750	750
	2 500～4 000	1 250	750	1 000
252～363	1 600～4 000	1 500	1 000	1 250
550～800	2 000～4 000	2 000	1 500	1 500
1 100	4 000～8 000	4 000	4 000	2 500

6.106.3 动态机械负荷

该能力通过计算证明。

注：GB/T 35698.1 给出了短路电流对硬导体和软导体影响的计算方法。

6.107 断路器的分级

6.107.1 通则

可根据下列应用对断路器进行分级：

——机械操作次数(机械寿命)的分级；

——与电网连接相关的分级；

——容性电流的分级；

——电寿命的分级。

6.107.2 机械操作次数的分级

按照断路器的机械操作次数，规定了下列级别：

——M1 级断路器

应进行表 4 中规定的操作次数，按照制造厂规定的维护程序并按照 7.101.2.3 的规定进行试验。

——M2 级断路器

应进行表 4 中规定的操作次数，按照制造厂规定的维护程序后并按照 7.101.2.4 的规定进行试验。

表 4 机械操作次数

M1 级断路器	2 000 次操作循环
M2 级断路器	10 000 次操作循环
注：关于操作循环的更多细节，见表 9。	

6.107.3 与电网连接相关的分级

与断路器连接到电网相关的级别规定如下：

——S1 级断路器

额定电压为 3.6 kV～72.5 kV 的断路器，其电源侧的等效电容大于或等于 5 nF。

注 1：S1 级断路器连接到断路器电源侧的电缆总长（当存在时，包括由电容器和/或绝缘母线的电容提供的等效长度）至少为 100 m。由电缆连接的户内变电站的断路器通常为 S1 级。

——S2 级断路器

额定电压为 3.6 kV～72.5 kV 的断路器，其电源侧的等效电容小于 5 nF。

注 2：S2 级断路器未通过电缆与断路器电源侧相连或在断路器电源侧的电缆总长（当存在时，包括由电容器和/或绝缘母线的电容提供的等效长度）小于 100 m。其中通过母线（无中间电缆连接）将断路器与架空线相连及断路器与电容小于 5 nF 的架空线之间的直接连接的应用是 S2 级断路器的典型示例。

6.107.4 容性电流的分级

按照容性负载开合的能力，规定了下列级别：

——C1 级断路器

由 7.111.9.2 和 7.111.9.3 规定的型式试验所验证的，在容性电流开断过程中具有低重击穿概率的断路器。

——C2 级断路器

由 7.111.9.2 和 7.111.9.4 规定的型式试验所验证的，在容性电流开断期间具有非常低重击穿概率的断路器。

对于一种应用，断路器可能是 C2 级，对于另一种应用，如果恢复电压应力更加严酷，断路器可能为 C1 级。

6.107.5 电寿命的分级

按照断路器的电寿命能力，规定了下列级别：

——E1 级断路器

按照 7.107 试验的断路器。

——E2 级断路器

额定电压 40.5 kV 及以下、设计在其预期的使用寿命期间不需要对主回路的关合和开断单元进行维护的断路器。

不用于自动重合闸功能划定为E2级的断路器，按照7.112.1进行试验。

用于自动重合闸或快速自动重合闸功能划定为E2级的断路器，按照7.112.2进行试验。

注：对于额定电压超过40.5 kV的E2级断路器，见JB/T 3855和JB/T 9694。

7 型式试验

7.1 总则

7.1.1 通则

GB/T 11022—2020的7.1.1适用，并作如下补充。

断路器的型式试验项目列于表5中。

对于转厂生产的产品，应进行全部型式试验。

对于异地生产的产品，应进行全部型式试验。

另外，对GB/T 11022—2020的7.1.1b)和c)作如下补充：

b) 当产品的设计、工艺或生产条件及使用的材料发生重大改变而影响到产品的性能时，应进行相应的型式试验。

——当操动机构的参考机械行程特性曲线(见7.101.1.1)变化(但不构成替代的操动机构)时，应进行全部型式试验；对于替代的操动机构，见7.1.102。

——当操动机构的布置方式发生改变，应进行相应的型式试验。例如操动机构布置方式发生改变影响到绝缘水平，则应进行相应的绝缘试验。

c) 正常生产的产品，每隔八年应进行绝缘试验[工频电压试验(干试)、雷电冲击电压试验及适用时的操作冲击电压试验(干试)]、连续电流试验、常温下的机械操作试验、端子故障试验T100s、短时耐受电流和峰值耐受电流试验。

试验参量的容差符合附录A规定。

表5中所列的各项试验可在新的或者翻新的断路器上进行。

制造厂的责任仅限于所声明的值，而不是型式试验中获得的值。

用于确定额定值(例如短路电流、外施电压和恢复电压)的完整测量系统的扩展不确定度应≤5%。在正态分布的假设下，以95%的包含概率进行评估，对应的包含因子$k=2$。

测量不确定度的测定程序见ISO/IEC导则98-3。

如果断路器能装配不同类型的操动机构，完整的型式试验(按照表5)应在装配有一种类型操动机构的断路器上进行。其他类型的操动机构只要它们满足7.102.7所规定的相关要求，则被认为是3.5.129中定义的替代的操动机构。替代的操动机构重复进行的试验项目见7.1.102。

二次设备的变化不会构成替代的操动机构时，应检查分闸时间/最短开断时间的变化是否会引起试验方式T100a的不同要求(见7.104.2.2)。

表5 型式试验

型式试验项目		要求型式试验的条件	条款号
强制的型式试验项目	绝缘试验	—	7.2
	回路电阻测量	—	7.4
	连续电流试验	—	7.5
	短时耐受电流和峰值耐受电流试验	—	7.6
	辅助和控制回路的附加试验	—	7.10

表 5　型式试验（续）

型式试验项目		要求型式试验的条件	条款号
强制的型式试验项目	常温下的机械操作试验(M1 级)	—	7.101.2.1～7.101.2.3
	端子故障试验	—	7.107
	无线电干扰电压试验(RIV)	$U_r \geqslant 252$ kV	7.3
	防护等级验证	规定的 IP 和 IK 等级	7.7
	密封试验	可控的、密封或封闭的压力系统	7.8
	EMC 试验	二次系统中包含电子设备或元件	7.9
	X 射线试验	真空断路器	7.11
	特殊使用条件下断路器延长的机械寿命试验	规定有 M2 级额定值	7.101.2.4
	低温和高温试验	如果周围空气温度不同于 −5 ℃和/或+40 ℃	7.101.3
	湿度试验	承受电压作用和凝露的绝缘	7.101.4
	临界电流试验	性能符合 7.108.1 条件的断路器	7.108.1
	近区故障试验	$U_r \geqslant 24$ kV 且 $I_r \geqslant 12.5$ kA 直接和架空线路连接的断路器	7.109
	失步关合和开断试验	规定有失步额定值	7.110
	电寿命试验(仅适用于额定电压 40.5 kV 及以下的断路器)	规定有 E2 级额定值	7.112
	严重冰冻条件下的操作验证试验	具有可动外部部件的户外断路器	7.101.5
	单相接地故障试验	中性点有效接地系统	7.108.2
	异相接地故障试验	中性点非有效接地系统	7.108.2
	容性电流试验： ——线路充电电流开断试验； ——电缆充电电流开断试验； ——单个电容器组关合和开断试验； ——背对背电容器组关合和开断试验	规定有相关的额定值和级别（C1 级或 C2 级）	7.111
	噪声水平试验	用户有要求时	7.113

本表所列出的强制性型式试验是对所有断路器适用的，不论其额定电压、设计和既定的用途。本表所列出的适用时要求的型式试验适用于规定有相关的额定值的所有断路器，例如失步关合和开断；或者满足特定条件，例如仅对额定电压 252 kV 及以上的断路器要求 RIV。

7.1.2　确认试品用的资料

GB/T 11022—2020 的 7.1.2 适用。

7.1.3　型式试验报告包含的资料

GB/T 11022—2020 的 7.1.3 适用，并作如下补充：

附录 B 中给出了关于关合、开断和短时电流性能型式试验的记录及报告的更详细的说明。

7.1.101 无效试验

无效试验是指本文件要求的一个或多个试验参数未满足的试验。这包括，例如关合和开断试验时的电流、电压和时间参数以及相位要求(如有规定)。如果出现无效试验，则可能有必要进行比本文件要求更多次数的试验。

与本文件的偏差可导致试验偏松或偏严。表6中考虑了几种情况。

试验方式中的无效部分在断路器不经维修时可重复进行。但是，如果断路器在该重复的试验时失败，或根据制造厂的决定，断路器可维修而重复进行整个试验方式。在断路器未经维修的情况下，试验报告应包括相关的无效试验。

在快速自动重合闸方式循环中，认为O—0.3 s—CO是一个部分，紧接着的CO是另一个部分。

E2级试验时，E2级断路器可维修，但在这种情况下应重复整个试验系列(见7.112)。

如果由于技术原因，单个操作的任何记录不能再现时，只要以其他的方式提供证据说明断路器没有失败且要求的试验值已满足，则该单个操作不应被认为无效。

表6 无效试验

与标准相关的试验条件相比	断路器	
	通过	未通过
偏严	试验有效，接受结果	用正确的参数重复试验
偏松	用正确的参数重复试验	断路器试验失败

7.1.102 在替代的操动机构的断路器上重复的型式试验

在替代的操动机构的断路器上应重复进行下列型式试验项目：

——常温下的机械操作试验(按照7.101.1，7.101.2)；

——低温和高温试验(按照7.101.3)；

——短路关合和开断试验(按7.102.7中的规定)；

——在主触头为对接触头的断路器上，进行短时耐受电流和峰值耐受电流试验(按照7.6)。

7.2 绝缘试验

7.2.1 概述

GB/T 11022—2020的7.2.1适用。

7.2.2 试验时周围的大气条件

GB/T 11022—2020的7.2.2适用。

7.2.3 湿试程序

GB/T 11022—2020的7.2.3适用，并作如下补充：

对于外壳不带电断路器，如果套管已按相关标准试验过，则湿条件下的试验可免去。

7.2.4 试品的布置

GB/T 11022—2020的7.2.4适用。

7.2.5 通过试验的判据

GB/T 11022—2020 的 7.2.5 适用，并作如下补充：

如果发生了破坏性放电，并且在试验期间不能提供证据证明破坏性放电发生在自恢复绝缘上，则应在完成绝缘系列试验后拆卸断路器并进行检查。如果观察到非自恢复绝缘的损坏（例如痕迹、击穿等），则断路器试验失败。带有试验套管的受试金属封闭断路器，如果试验套管不是断路器的一部分，可不考虑试验套管上出现的破坏性放电。

7.2.6 试验电压的施加和试验条件

GB/T 11022—2020 的 7.2.6 适用。

7.2.7 $U_r \leqslant 252$ kV 的断路器的试验

7.2.7.1 概述

GB/T 11022—2020 的 7.2.7.1 适用。

7.2.7.2 工频电压试验

GB/T 11022—2020 的 7.2.7.2 适用，并作如下补充：

对于外壳不带电断路器，如果套管已按相关标准试验过，则湿条件下的试验可免去。

7.2.7.3 雷电冲击电压试验

GB/T 11022—2020 的 7.2.7.3 适用。

7.2.8 $U_r > 252$ kV 的断路器的试验

7.2.8.1 概述

GB/T 11022—2020 的 7.2.8.1 适用。

7.2.8.2 工频电压试验

GB/T 11022—2020 的 7.2.8.2 适用。

7.2.8.3 操作冲击电压试验

GB/T 11022—2020 的 7.2.8.3 适用，并作如下补充：

户外断路器的干试应仅使用正极性电压进行。

断路器处于合闸位置时，对于 GB/T 11022—2020 的表 10 规定的每个试验条件，均应施加额定对地耐受电压。

断路器处于分闸位置时，对于 GB/T 11022—2020 的表 10 规定的每个试验条件，均应施加额定对地耐受电压。

对于 9.102.2 中规定的特殊用途的断路器，应按 GB/T 11022—2020 的表 4 栏(6)规定的试验电压进行第二试验系列。对于 GB/T 11022—2020 表 12 规定的每个试验条件，一个端子施加操作冲击电压，对侧的端子施加工频电压。

征得制造厂的同意，断路器分闸状态下的试验可不使用工频电压源。这个试验系列包括依次对每个端子（或者在一个端子上，如果端子的布置相对于底座对称）施加的电压等于 GB/T 11022—2020 表 4 栏(6)规定的操作冲击电压和工频电压峰值之和，而对侧的端子应接地。可使用 GB/T 11022—2020 的

7.2.6.3b)的方法。通常，本试验程序比规定的试验程序更苛刻。

7.2.8.4 雷电冲击电压试验

GB/T 11022—2020 的 7.2.8.4 适用，并作如下补充：

断路器处于合闸位置时，对于 GB/T 11022—2020 表 10 规定的每个试验条件，应施加额定对地耐受电压。

断路器处于分闸位置时，对于 GB/T 11022—2020 表 12 规定的每个试验条件，应施加额定断口耐受电压。

征得制造厂的同意，断路器分闸状态下的试验可不使用工频电压源。这个试验系列包括依次对每个端子(或者在一个端子上，如果端子的布置相对于底座对称)施加的电压等于 GB/T 11022—2020 表 4 栏(8)规定的雷电冲击耐受电压和工频电压峰值之和，而对侧的端子应接地。可使用 GB/T 11022—2020 的 7.2.6.3a)和 b)的方法。通常，本试验程序比规定的试验程序更苛刻。

7.2.9 户外绝缘子的人工污秽试验

GB/T 11022—2020 的 7.2.9 适用。

7.2.10 局部放电试验

GB/T 11022—2020 的 7.2.10 适用，并作如下补充：

该试验仅适用于 GIS 断路器和外壳不带电断路器。

对于额定电压 72.5 kV 及以上的 GIS 断路器和外壳不带电断路器，在表 7 规定的电压下，最大允许局部放电量不应超过 5 pC。施加的工频电压应升高到预加电压值(预加电压值等于工频耐受电压值)，并保持在该值 1 min。在此期间发生的局部放电不计，然后，应将电压降低到表 7 中规定的值。在降至表 7 中规定的试验电压期间，应记录熄灭电压。

表 7 额定电压 72.5 kV 及以上的 GIS 断路器和外壳不带电断路器局部放电试验电压

	$k_{pp}=1.3$		$k_{pp}=1.5$	
	预加电压 U_{ps} (1 min)	局放测量试验电压 U_{pd} (>1 min)	预加电压 U_{ps} (1 min)	局放测量试验电压 U_{pd} (>1 min)
多箱型(极对地电压)	U_d	$1.2\times\frac{U_r}{\sqrt{3}}$	U_d	$1.2\times U_r$
共箱型	U_d	$U_{pd,pe}=1.2\times\frac{U_r}{\sqrt{3}}$ $U_{pd,pp}=1.2\times U_r$	U_d	$U_{pd,pe}=1.2\times U_r$

说明：

U_r ——设备的额定电压；

U_d ——符合 GB/T 11022—2020 表 1、表 3 或表 4 的外壳不带电断路器的额定短时工频耐受电压；

U_{ps} ——预加电压；

U_{pd} ——PD 局放测量试验电压；

$U_{pd,pe}$ ——PD 测量的试验电压，极对地；

$U_{pd,pp}$ ——PD 测量的试验电压，极间。

对于额定电压 40.5 kV 及以下的 GIS 断路器和外壳不带电断路器，按照 GB/T 3906—2020 的附录 F 进行试验，最大允许局部放电量不应超过 10 pC。完整的断路器一般不需要进行局部放电试验。然而，如果 GIS 断路器和外壳不带电断路器采用的某些元件有相关标准，且包括有局部放电测量(例如：套管见 GB/T 4109)时，制造厂应提供证据证明这些元件已按相关标准通过了规定的局部放电试验。

注：采用固封极柱的断路器参照上述要求进行试验。

7.2.11 辅助和控制回路的绝缘试验

GB/T 11022—2020 的 7.2.11 适用。

7.2.12 作为状态检查的电压试验

GB/T 11022—2020 的 7.2.12 不适用，其规定的试验由下述代替。

7.2.12.101 机械或环境试验后的状态检查

对机械或环境试验后(见 7.101.1.4)断路器打开的触头间的绝缘性能不能通过外观检查充分可靠地验证的场合，应按照 GB/T 11022—2020 的 7.2.12 或本文件 7.2.12.103 的规定，对断路器断口在干试条件下进行作为状态检查的电压试验。对于金属封闭断路器，试验条件见表 8。对于按照7.102.4.2.3具有相同单元的多单元外壳带电断路器，作为状态检查的电压试验应在每一个被试的关合和开断单元上进行单元试验。

7.2.12.102 关合和开断试验后的状态检查

关合和开断试验后(见 7.102.9)，进行作为状态检查的电压试验(见 7.2.12.103)时，下述条件适用：

对于电流路径不对称的断路器，连接线应倒换。应对每一种连接线布置进行一次完整的试验。对于具有对称电流路径的金属封闭断路器，需要在断路器处于合闸位置时进行对地试验。进行对地试验时，断口和对地的额定绝缘电压可能会有所不同。在这种情况下，应将与试验状态相对应的每个额定值用作确定试验电压的参考值。这些要求汇总在表 8 中。

表 8 对金属封闭断路器作为状态检查的电压试验的试验要求

串联关合和开断单元数量	电流路径布置	断路器处于的位置		
		分闸(一侧)	分闸(另一侧)	合闸
单个	对称的	Y	N	Y
	不对称的	Y	Y	N
多个	对称的	Y	N	Y
	不对称的	Y	Y	Y
说明： Y——有必要施加电压； N——没有必要施加电压。				

如果关合和开断单元置于具有不同特性的绝缘流体中，而不是在大气压力下的空气中(例如，真空灭弧室置于充有 SF_6 气体的外壳中)，则在原始灭弧介质发生变化时也可能承受试验电压，状态检查试验可能不足以验证灭弧室的完整性，在这种情况下，还应通过以下附加的短路开断试验证明设备的完整性。

附加的短路开断试验应采用能提供至少 10%额定短路开断电流和至少 50%额定电压的回路。如

果在未维修的情况下进行了不止一种试验方式，则该附加的短路开断试验应在短路试验方式之后的空载试验之前或之后进行，如下。

——如果在中性点有效或中性点直接接地的回路中进行三相试验，则应在电源侧中性点和短路点都接地的情况下进行一次开断操作。

——如果在中性点非有效接地的回路中进行三相试验，则应进行 3 次开断操作。对于断路器的每一极都应证明其首开极条件。

——如果进行单相试验，则应进行一次开断。应在每极上重复试验。

每极的成功开断是关合和开断单元保持完整性的证据。

如果最后一项单相试验且开断成功，则不要求在该被试极上进行附加的短路开断试验。

当型式试验结束于中性点有效接地回路中的三极成功开断时，则不需要进行附加的短路开断试验作为状态检查。

7.2.12.103 状态检查试验的试验电压

应进行下述电压试验。

——$U_r \leqslant 72.5$ kV 的断路器：应进行 1 min 工频电压试验。试验电压应为 GB/T 11022—2020 表 1 栏(2)中数值的 80%。

——72.5 kV $< U_r \leqslant 252$ kV 的断路器：应进行冲击电压试验。冲击电压的峰值应为 GB/T 11022—2020 表 1 栏(4)中的相关值的 60%。

——$U_r = 363$ kV 的断路器：应进行冲击电压试验。冲击电压的峰值应为 GB/T 11022—2020 表 4 中给出的额定操作冲击耐受电压的 80%。

——550 kV $\leqslant U_r \leqslant 1\ 100$ kV 的断路器：应进行冲击电压试验。冲击电压的峰值应为 GB/T 11022—2020 表 4 中给出的额定操作冲击耐受电压的 90%。

进行冲击电压试验时，冲击电压的波形应为标准的操作冲击，或为对端子故障试验方式 T10 规定的 TRV 波形。每一极性应施加 5 次冲击，如果未出现破坏性放电，则认为断路器通过了试验。在使用 T10 的 TRV 波形的情况下，TRV 波形的时间 t_3 允许的偏差为−10%和+200%。采用 T10 的 TRV 波形进行试验时，如果符合下述规则，则保证了与标准操作冲击的等效性：

——TRV 的阻尼宜使得 TRV 振荡的第二个峰值不高于第一个峰值的 80%；

——峰值后 2.5 ms 处，电压值宜在峰值的 50%之上。

注：比较试验已经证明，不论断路器是新的还是烧蚀过的状态，分别用标准操作冲击或端子故障 T10 规定的 TRV 波形进行试验，对断路器性能的考核几乎没有差别。

7.3 无线电干扰电压试验(RIV)

GB/T 11022—2020 的 7.3 适用，并作如下补充：

试验可在断路器的一极上进行，断路器应分别处于分闸和合闸位置进行试验。试验期间，断路器应装有可能影响无线电干扰电压性能的所有附件，例如均压电容器、电晕环、高压连接件等。

7.4 回路电阻的测量

GB/T 11022—2020 的 7.4.1～7.4.3 适用。

GB/T 11022—2020 的 7.4.4 由下述替代。

7.4.4 作为状态检查的主回路中触头和连接的电阻测量

7.4.4.1 试验程序

GB/T 11022—2020 的 7.4.4.1 适用，并作如下修改：

试验前应测量断路器触头间电阻，测量点应处于相关的触头两侧，并尽可能接近触头。应测量3次并计算电阻的平均值。如适用，每次电阻测量间宜进行一次空载分闸和合闸操作循环；如果不能进行空载操作，3次测量应在断路器不进行空载操作下完成。

对于某些试验，在3次电阻测量间进行空载操作是不现实（如在每次测量间对气体处理有要求）和不可能的（如在连续电流试验过程中，温度传感器被布置于灭弧室内）。

7.4.4.2 关合与开断试验

GB/T 11022—2020的7.4.4.2适用，并作如下补充：

对于非终身密封的断路器，如7.102.9.2所述，通常情况下对触头系统进行目视检查即可。

7.4.4.3 其他试验

GB/T 11022—2020的7.4.4.3不适用，其规定的试验由7.101.1.4代替。

7.5 连续电流试验

7.5.1 试品的状态

GB/T 11022—2020的7.5.1适用。

7.5.2 试品及试验回路的布置

GB/T 11022—2020的7.5.2适用，并作如下补充：

对于未装有串联连接附件的断路器，试验应采用断路器的额定连续电流进行。

对于装有一定额定连续电流范围的串联连接附件的断路器，应进行下列试验：

a) 装有额定连续电流等于断路器额定连续电流的串联连接附件的断路器，应按断路器的额定连续电流进行试验；

b) 装有专用附件的断路器，应分别按各个附件的额定连续电流进行一系列试验。

如果断路器的附件可移开，且有证据说明断路器和附件的温升不产生明显的相互影响，则上述试验b)可用各附件单独进行的一系列试验来代替。

7.5.3 试验电流和持续时间

GB/T 11022—2020的7.5.3适用。

7.5.4 试验期间的温度测量

GB/T 11022—2020的7.5.4适用。

7.5.5 通过试验的判据

GB/T 11022—2020的7.5.5适用。

7.6 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

7.6.1 通则

GB/T 11022—2020的7.6.1适用。

7.6.2 试品以及试验回路的布置

GB/T 11022—2020的7.6.2适用，并作如下补充：

对于短时耐受电流和峰值耐受电流试验，对绝缘和/或开合用的流体不作强制要求。空气或氮气可用来替代可能造成全球变暖的气体。对于充入流体的最低压力也不作要求。

7.6.3 试验电流和持续时间

GB/T 11022—2020 的 7.6.3 适用。

7.6.4 试验后试品的状态

GB/T 11022—2020 的 7.6.4 除 b)外适用，并作如下补充：

自脱扣断路器试验后，断路器的状态应符合 7.102.9，并应证明过电流脱扣器仍然是正确、有序的动作。正如制造厂所声明的，在断路器一次侧注入 110%的最小脱扣电流(单相或三相)进行试验，应得到一个满意的验证。

7.7 防护等级验证

7.7.1 IP 代码的验证

GB/T 11022—2020 的 7.7.1 适用。

7.7.2 IK 代码的验证

GB/T 11022—2020 的 7.7.2 适用。

7.8 密封试验

GB/T 11022—2020 的 7.8 适用。

7.9 电磁兼容性试验(EMC)

GB/T 11022—2020 的 7.9 适用，并作如下补充。

7.9.3.2 直流电源输入端口纹波抗扰度试验

GB/T 11022—2020 的 7.9.3.2 适用，并作如下补充：

如果控制单元中没有使用电子元件且按照 7.101.2 对装有其整个控制单元的整台断路器进行了常温下的机械操作试验，则认为涵盖了 GB/T 11022—2020 的 7.9.3.2 的直流电源输入端口纹波抗扰度试验要求。如果对整台断路器进行试验不可行，可接受符合 7.101.1.2 的元件试验。

使用了电子元件的场合，按照 GB/T 11022—2020 的 7.9.3.2 对各个元件进行的试验是充分的。

注：本条款适用于完整的电路板(例如控制模块)，也适用于至少包含一个电子元件的装置。

7.10 辅助和控制回路的附加试验

7.10.1 通则

GB/T 11022—2020 的 7.10.1 适用。

7.10.2 功能试验

GB/T 11022—2020 的 7.10.2 适用，并作如下补充：

如果按照 7.101.2 对装有其整个控制单元的整台断路器进行了常温下的机械操作试验，则认为涵盖了 GB/T 11022—2020 的 7.10.2 的功能试验要求。如果对整台断路器进行试验不可行，可接受符合 7.101.1.2 的元件试验。

7.10.3 辅助触头动作特性的验证

GB/T 11022—2020 的 7.10.3 适用。

7.10.4 环境试验

GB/T 11022—2020 的 7.10.4 适用，并作如下补充：

如果对装有其整个控制单元的整台断路器进行了符合 7.101.2 的常温下的机械操作试验、符合 7.101.3的低温和高温试验、以及如果适用符合 7.101.4 的湿度试验或者单独对控制设备进行过湿度试验，则认为涵盖了 GB/T 11022—2020 的 7.10.4 的环境试验要求。如果对整台断路器进行试验不可行，可接受符合 7.101.1.2 的元件试验。

不包含抗震试验。如果要求抗震试验，在制造厂和用户之间协议的基础上宜按照 GB/T 13540 进行。

7.10.5 绝缘试验

GB/T 11022—2020 的 7.10.5 适用，并作如下补充：

绝缘试验应在新的辅助和控制回路上进行。

7.11 真空灭弧室的 X 射线试验

GB/T 11022—2020 的 7.11 适用。

7.101 机械和环境试验

7.101.1 机械和环境试验的各项规定

7.101.1.1 机械特性

型式试验前，应建立断路器的机械特性。IEC TR 62271-306：2012＋AMD1：2018 给出了如何测量机械特性的例子。机械特性将作为表征断路器机械性能的参考。此外，机械特性还应用来确认用于机械、关合和开断型式试验的不同试品的机械性能类似。参考机械特性也用来确认产品单元和型式试验中的试品的机械特性类似。

以下是要记录的机械特性示例：

——空载机械行程特性曲线；

——合闸和分闸时间。

机械特性应在操动机构及辅助和控制回路的额定供电电压、操作用的额定充入压力以及为了试验方便，在关合和开断用的最低功能压力下进行单分操作(O)和单合操作(C)的空载试验来获得。

附录 C 给出了机械特性的使用和相关要求。

7.101.1.2 元件试验

当对整台断路器进行试验不可行时，元件试验也可作为型式试验。制造厂应确定适合进行试验的元件。

元件是具有独立功能的分装，可独立于整台断路器而操作。例如：极、开断单元、操动机构。

进行元件试验时，制造厂应证明试验时元件上承受的机械和环境应力不小于整台断路器试验时施加在同一元件上的机械和环境应力。如果个别试验适于在元件上进行，元件试验应包含整台断路器所有不同类型的元件。元件型式试验的条件应和其在整台断路器中所起作用时的试验条件相同。

按照有关标准制造的辅助和控制设备的部件应符合这些标准。应对与断路器其他部件的功能有关

的这些部件的固有功能进行验证。

7.101.1.3 试验前后应记录的断路器的特性和整定值

试验前后，下列动作特性或整定值应予以记录和计算：

a) 合闸时间；
b) 分闸时间；
c) 一极中各关合和开断单元之间的时间差；
d) 极间时间差(如果进行多极试验时)；
e) 操动装置的储能时间和功耗；
f) 适用时，控制回路的功耗；
g) 辅助回路的功耗；
h) 分闸或合闸指令的持续时间；
i) 适用时，密封性；
j) 适用时，气体密度或压力；
k) 主回路电阻；
l) 适用时，机械行程特性曲线；
m) 制造厂规定的其他重要特性或整定值。

上述动作特性应在下列情况下记录：

——额定供电电压和操作用的额定充入压力；
——最高供电电压和操作用的最高充入压力；
——最高供电电压和操作用的最低功能压力；
——最低供电电压和操作用的最低功能压力；
——最低供电电压和操作用的最高充入压力。

7.101.1.4 断路器在试验中和试验后的状态

断路器在试验中及试验后应处于这样的状态：能够正常操作，能够承载额定连续电流，能够关合和开断其额定短路电流及按照其额定绝缘水平耐受电压。

通常，如果断路器符合下列条件，则认为上述要求已被满足。

——试验中，断路器按指令动作，无指令不动作。
——试验后，按照 7.101.1.3 测出的特性在试验前制造厂给出的偏差范围内。
——试验后，在接触区有镀层的触头，表面的镀层仍应保持，否则，触头被认为是裸露的，而且仅当连续电流试验中(按照 7.5)的触头温升不超过裸露触头的允许值时才满足试验要求。
——试验中及试验后，应能够按照制造厂的说明对指定的任何可更换部件进行装配。
——试验后，断路器在分闸位置的绝缘性能应和试验前的状况基本相同。对于非终身密封的断路器，试验后断路器的外观检查通常足以验证其绝缘性能。对于终身密封的断路器，应按照 7.2.12进行作为状态检查的电压试验。
——试验后，如果依照 7.4.4.1 测得的每极电阻增加不超过 20%，那么认为试品的电阻状况检查是满意的。对于非终身密封的断路器，如果电阻的增加超过 20%，则还应进行外观检查，以确定触头系统是否符合 7.102.9.4 的要求。对于终身密封的断路器，如果电阻的增加超过 20%，应按照 7.5 进行连续电流试验来确定试品是否能够承载其额定连续电流且温升不超出 GB/T 11022—2020 表 14 中规定的温升限值 10 K。

7.101.1.5 辅助和控制设备在试验中和试验后的状态

试验中及试验后，辅助及控制设备应满足下列条件。

——试验中，应注意防止过热。

——试验中，应安排一组触头（包括关合和开断辅助触头），用以开合所控制的回路的电流（见6.4）。

——试验中及试验后，辅助和控制设备应满足其功能。

——试验中及试验后，辅助回路、辅助开关和控制设备的绝缘能力不应受到损坏。若有怀疑，应按照 GB/T 11022—2020 的 7.10.5 进行绝缘试验。

——试验中及试验后，辅助开关的接触电阻不应受到不利的影响。

7.101.2 常温下的机械操作试验

7.101.2.1 通则

常温下的机械操作试验应在试验地点的周围空气温度下进行。周围空气温度应记录在试验报告中。断路器应包括作为操动机构组成部件的辅助设备。

对 M1 级断路器，机械操作试验应按照 7.101.2.3 由 2 000 次操作循环组成。对 M2 级断路器，机械操作试验应按照 7.101.2.4 由 10 000 次操作循环组成。

除装有过电流脱扣器的断路器外，试验应在主回路中既无电压又无电流的条件下进行。

对于装有过电流脱扣器的断路器，大约 10%的操作循环应是在分闸装置由主回路中的电流激励的情况下进行的。电流应是过电流脱扣器动作所必需的最小电流。对于这些试验，通过过电流脱扣器的电流，也可由一个合适的低压电源供给。

断路器的设计中可能配装有几种不同的辅助设备（并联脱扣器和电动机），以兼容 5.9 和 5.10 规定的各种各样的额定控制电压和频率。如果它们的设计相近且最终的空载机械特性在附录 C 给出的容差范围内，则不需要对这些不同的辅助设备进行附加的试验。

7.101.2.2 试验前断路器的状态

受试断路器应安装在其自身的支架上，且其操动机构应按照规定的方式进行操作。根据断路器的类型，按照下列规定进行试验：

由一个操动机构操作的和/或所有极装在一个共用底座上的多极断路器，都应当作为一个整体进行试验。

试验应在关合和开断用的额定充入压力下进行。

每极或者甚至每个柱分别由单独的操动机构操作的多极断路器，宜作为一台完整的多极断路器进行试验。但是，为了方便，或者由于试验间尺寸的限制，可用断路器的一个单极单元进行试验，只要在整个试验期间它与用完整的多极断路器的试验等价或者不会更有利，例如在下列几个方面：

——参考机械行程特性；

——合闸和分闸机构的功率和强度；

——结构的刚度。

7.101.2.3 M1 级断路器的操作顺序

试验应按照 7.101.1，7.101.2.1，7.101.2.2 和表 9 进行。

表 9　操作顺序的次数

操作顺序	供电电压和操作压力	操作顺序的次数	
		用于自动重合闸的断路器	不用于自动重合闸的断路器
C—t_a—O—t_a	最低	500	500
	额定	500	500
	最高	500	500
O—t—CO—t_a—C—t_a	额定	250	—
CO—t_a	额定	—	500

说明：

O ——分闸；

C ——合闸；

CO——能够使断路器在分闸前达到完全合闸和扣锁位置，具有尽可能短的合-分时间的合-分操作循环；

t_a ——两次操作之间的时间间隔，对断路器恢复到起始状态和/或防止断路器的某些部件过热(这个时间可根据操作的类型而不同)是有必要的；

t ——0.3 s，对于快速自动重合闸断路器；

t ——3 min，对于自动重合闸断路器，出于试验的目的，可使用更短时间的 t。

试验中，允许按照制造厂的说明书对主回路之外的部件进行润滑，但不准许进行机械调整或其他类型的维修。

7.101.2.4　M2 级断路器的操作顺序

试验应按照 7.101.1，7.101.2.1，7.101.2.2 和 7.101.2.3 进行，并作如下补充。

——试验应由 5 倍于表 9 规定的相关试验系列，即 10 000 次操作循环组成。

——在规定的每 2 000 次操作循环试验系列之间，允许根据制造厂的说明书进行一些维护，如：润滑和机械调整。只有在维护项目清单中列出的主回路之外的并且不是动力传动链中的部件才允许更换。

——在 2 000 次操作循环试验系列期间，允许按照制造厂的说明书对主回路之外的部件进行润滑，但不准许进行机械调整或其他类型的维修。

7.101.2.5　机械操作试验的接受判据

下面给出的判据适用于 M1 和 M2 级断路器的机械操作试验。

a)　全部试验程序完成前、后，应进行下述操作：

——在合分闸装置以及辅助和控制回路的额定供电电压和/或操作用的额定充入压力下，进行 5 次合—分操作顺序；

——在合分闸装置以及辅助和控制回路的最低供电电压和/或操作用的最低功能压力下，进行 5 次合—分操作顺序；

——在合分闸装置以及辅助和控制回路的最高供电电压和/或操作用的最高充入压力下，进行 5 次合—分操作顺序；

在这些操作循环中，应记录其动作特性(见 7.101.1.3)。试验报告中不必给出记录到的所有示波图，但是，至少应对上述的每一组条件给出一张示波图。

另外，还应进行以下检查和测量：

——如果适用，操作过程中操作流体压力特性和损耗的测量；

——额定操作顺序的验证；

——如果适用，某些规定操作的检查。

M2级断路器机械操作试验前、后测量到的每个参数与平均值之差应在制造厂给出的容差范围内。

b) 每一个2 000次操作循环后，7.101.1.3中的a)～e)和l)的动作特性应予以记录；

c) 完成所有试验程序后，断路器的状态应符合7.101.1.4。

7.101.3 低温和高温试验

7.101.3.1 通则

如果户内和户外断路器的最低周围空气温度高于或等于−5 ℃，则不要求进行低温试验；如果最高周围空气温度不超过40 ℃，则不要求进行高温试验。

试验可合并进行。如果选择了一个合并序列，在7.101.3.4k)或7.101.3.5u)之后的任何一项出现失败，将构成两个试验的失败。

对于共箱型断路器或共用一个操动机构的多箱型断路器应进行三极试验。对于各极独立的多箱型断路器，允许用一个完整的极进行试验。

注：全部弧触头均装在一个共用的箱壳内的三极断路器称为共箱型断路器，由3个独立的单极开合装置组成的三极断路器称为多箱型断路器。

只要在试验的布置上，断路器处于不比正常的机械操作条件(见7.101.2.2)更有利的条件下，可采用下列一个或几个替代方案进行试验：

a) 降低极对地绝缘的高度；

b) 缩小极间距离；

c) 减少关合和开断单元数。

如果需要热源，应将其投入使用。

除非断路器的设计要求为供给断路器操作用的液体或气体源提供热源，否则，液体或气体源应处于试验时的空气温度。

试验过程中，不准许对断路器进行维护、更换零部件、润滑或调整。

如果满足了7.101.1.4和7.101.1.5规定的条件，断路器就通过了试验。此外，应满足7.101.3.4和7.101.3.5中的条件且记录到的漏气率不应超过GB/T 11022—2020的表15中给出的限值。在试验报告中，试验条件和断路器在试验前、试验中和试验后的状态应予以报告。应给出记录到的参量。为了减少试验报告中示波图的数量，应给出每种规定的试验条件下每一相关操作类型的一张典型示波图。

断路器的设计中可能配装有几种不同的辅助设备(并联脱扣器和电动机)，以兼容5.9和5.10规定的各种各样的额定控制电压和频率。如果它们的设计相近且最终的空载机械特性在附录C给出的容差范围内，则不需要对这些不同的辅助设备进行附加的试验。

试验中和试验后的状态见7.101.1.4。

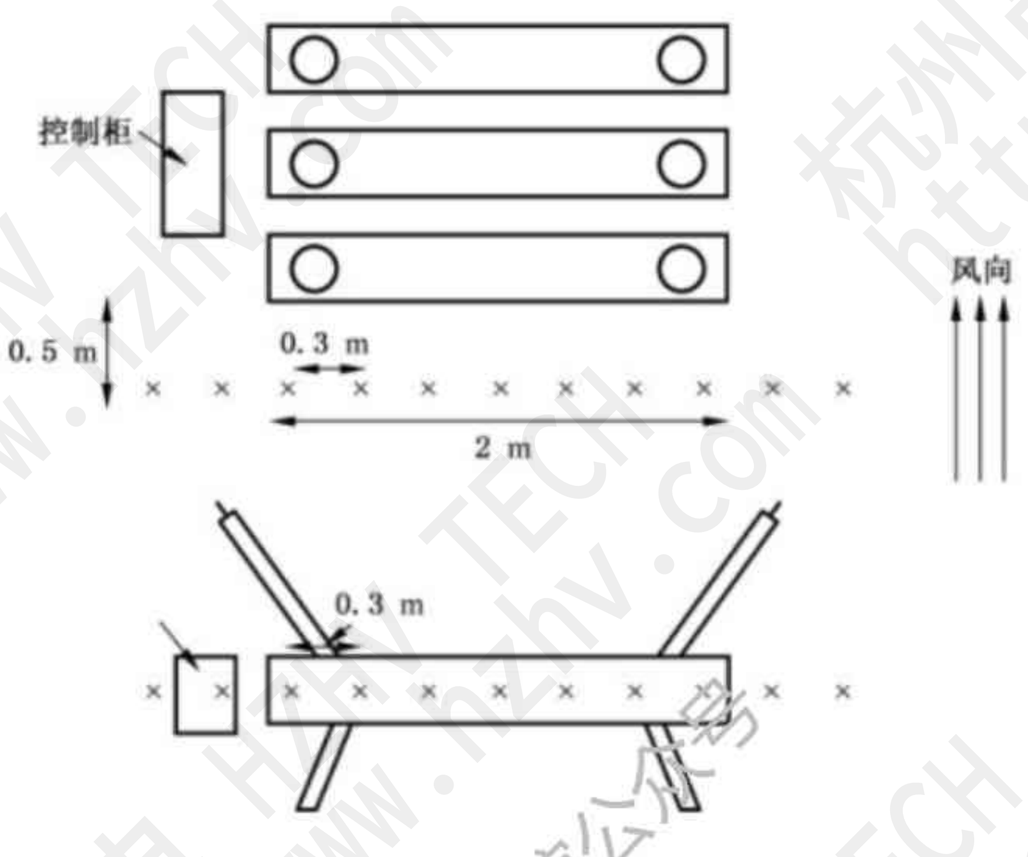
7.101.3.2 户外金属封闭断路器的附加要求

对于为了防止在低温环境下气体发生液化而装设有壳体加热器的断路器，7.101.3.4所要求的试验顺序不足以证明气体加热部件(为避免低温环境下气体液化)的设计是合理的。对于这样的断路器，应按照7.101.3.4要求的试验顺序进行试验，同时给断路器的一个边极的纵轴方向垂直施加一个模拟平均风速等于10 km/h(±20%)的风。该风应用于7.101.3.4中规定的试验程序的步骤c)～j)。

应在距离断路器壳体外0.5 m(±0.1 m)处沿着断路器的纵轴方向至少5个点测量风速(见图10)。每个测量点之间间距大约0.3 m。测量点的数量应使测量长度超出断路器两端至少0.5 m。每一测量点单独测到的风速与平均风速值的偏差不应超过±50%。

已经认识到在相对小(相对于断路器的尺寸)的气候室进行风速测量是困难的,而且从隔壁试验小室来的气流扰动也是不可避免的。在此情况下,征得制造厂和用户的同意后超出上述要求的偏差也是可接受的。

横风的应用使得测量气密性变得不可能。在这种情况下,允许将低温试验程序分成两部分。在实施了带有模拟横风要求的试验顺序后,应在低温 T_L 等于或低于在第一个低温试验中在断路器壳体表面靠近密封接缝处测得的最低温度下,不施加横风和气体加热,重复进行一次低温试验顺序。应最少用10个测量点来测量壳体表面靠近密封接缝处的温度。



标引序号说明:

×——风速测量点。

图 10 风速测量示例

7.101.3.3 周围空气温度的测量

试验地点的周围空气温度应在断路器高度一半且距断路器 1 m 处进行测量。

断路器高度上的最大温度偏差应不超过 5 K。

7.101.3.4 低温试验

试验顺序的图示和规定的试验点的确定见图 11。

如果低温试验是紧接着高温试验后进行的,则低温试验可在 7.101.3.5 高温试验项 u) 完成后继续进行,这时,以下 a)和 b)可省略。

a) 受试断路器应按照制造厂的说明书进行准备和调整。

b) 在周围空气温度(20±5)℃(T_A)下,按照 7.101.1.3 的规定记录断路器的特性及其整定值。如果适用,应按照 7.8 进行密封试验。

c) 断路器处于合闸位置,将空气温度降低到适当的、符合 GB/T 11022—2020 的 4.1.3 和 4.2.4 给出的周围空气温度的下限,即最低周围空气温度 T_L。周围空气温度稳定在 T_L 后,断路器应保持在合闸位置 24 h。

d) 在温度 T_L 下,断路器保持在合闸位置的 24 h 期间,应进行密封试验(如果适用)。如果使断路器恢复到周围空气温度 T_A,并处于热稳定状态时,其漏气率能恢复到原始值,则增大的漏气率是允许的。但这种暂时增大的漏气率不应超过 GB/T 11022—2020 表 15 中的允许漏气率。

e) 保持在温度 T_L 下 24 h 后,断路器应在额定供电电压及额定操作压力下进行分闸和合闸,机械特性应被记录并且在制造厂给定的容差范围内。

f) 切断所有加热设备，包括防止凝露的加热元件的电源，持续时间 t_x，以检验断路器的低温性能及其报警和闭锁系统。在此期间，允许报警，但不准许闭锁。在时间间隔 t_x 末，在额定供电电压和额定操作压力下给出分闸指令，机械特性应被记录并且在制造厂给定的容差范围内。制造厂应规定在没有辅助电源对加热设备供电的条件下，断路器依旧能够操作的最长 t_x 值（不小于 2 h）。如果没有上述规定，默认值为 2 h。

g) 断路器应置于分闸位置 24 h。

h) 在温度 T_L 下，断路器处于分闸位置的 24 h 期间，应进行密封试验（如果适用）。如果使断路器恢复到周围空气温度 T_A，并处于热稳定状态时，其漏气率能恢复到原始值，则增大的漏气率是允许的。但这种暂时增大的漏气率不应超过 GB/T 11022—2020 表 15 中的允许漏气率。

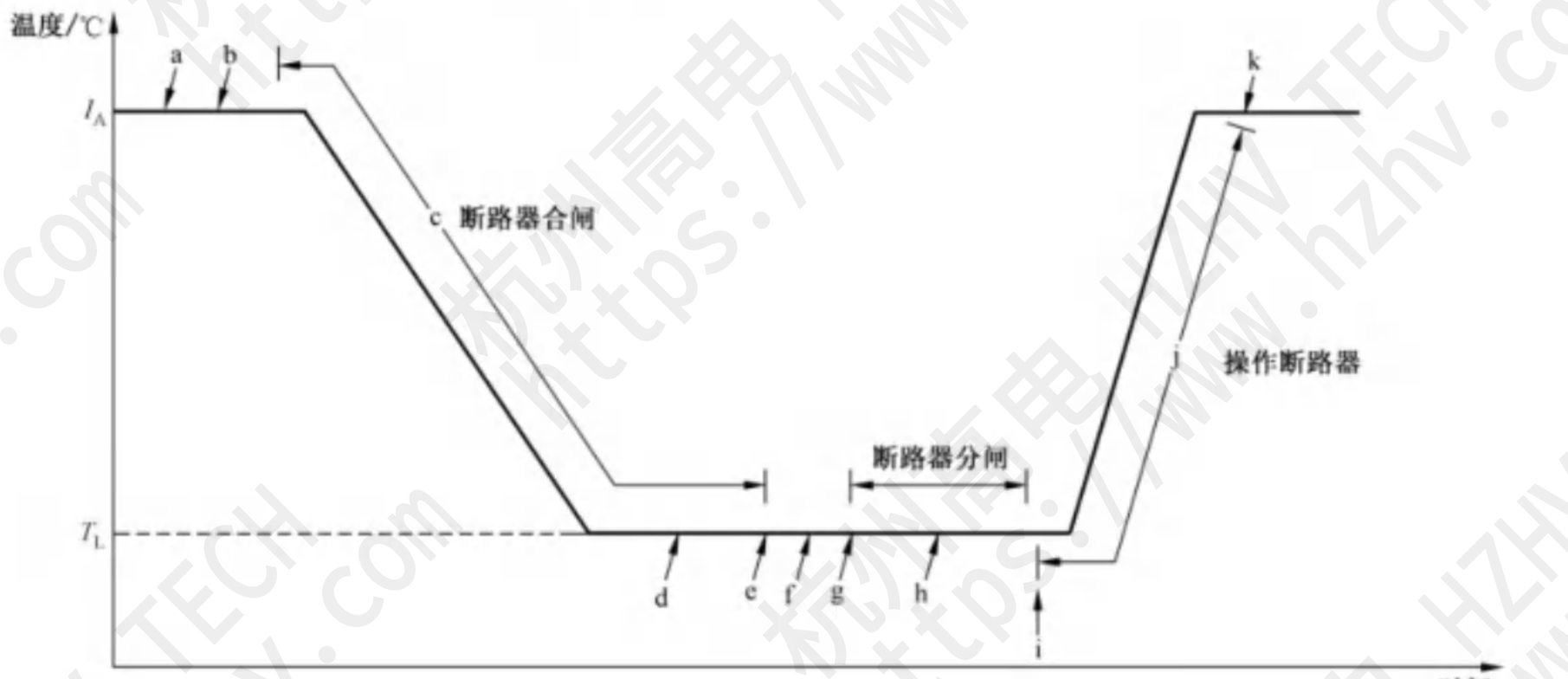
i) 在 24 h 终了时，在温度 T_L 下，对断路器应以其额定供电电压及额定操作压力进行 50 次合闸和 50 次分闸操作。对于每个循环或顺序允许至少有 3 min 的时间间隔。应记录第一次合闸操作（C）和分闸操作（O），机械特性应被记录并且在制造厂给定的容差范围内。在第一次合闸操作和第一次分闸操作后，应进行 3 个合分（CO）操作循环。其余的操作应按“C—t_a—O—t_a”操作顺序进行（t_a 的定义见表 9）。

j) 完成 50 次分闸和 50 次合闸操作后，空气温度应以大约 10 K/h 的变化率升高到周围空气温度 T_A。

在温度变化的过渡期间，断路器应以其额定供电电压及额定操作压力交替地进行“C—t_a—O—t_a—C”和“O—t_a—C—t_a—O”操作顺序。交替的操作顺序间的时间间隔为 30 min，以使断路器在操作顺序之间的 30 min 期间处于分闸位置和合闸位置。

k) 断路器在周围空气温度 T_A 下达到热稳定状态后，重新检查断路器的整定值。机械特性应被记录并且在制造厂给定的容差范围内。应重复进行 b）规定的密封试验并且漏气率应在 7.8 中规定的限值以内。

在进行从 b）～j）的完整的低温试验顺序过程中，其累积的泄漏应不致达到闭锁压力（但是，达到报警压力是允许的）。



注：字母 a～k 表示 7.101.3.4 中规定试验的应用点。

图 11 低温试验试验顺序

7.101.3.5 高温试验

试验顺序的图示和规定的试验点的确定见图 12。

如果高温试验是紧接着低温试验进行的，则高温试验可在 7.101.3.4 低温试验项 j)完成后继续进行，这时，以下 l)和 m)可省略。

l) 受试断路器应按照制造厂的说明书进行准备和调整。

m) 在周围空气温度(20±5)℃(T_A)下，按照 7.101.1.3 的规定记录断路器的特性及其整定值。如果适用，应按照 7.8 进行密封试验。

n) 断路器处于合闸位置，将空气温度升高到适当的、符合 GB/T 11022—2020 的 4.2.4 给出的周围空气温度的上限，即最高周围空气温度 T_H。周围空气温度稳定在 T_H 后，断路器应保持在合闸位置 24 h。

o) 在温度 T_H 下，断路器保持在合闸位置的 24 h 期间，应进行密封试验(如果适用)。如果使断路器恢复到周围空气温度 T_A，并处于热稳定状态时，其漏气率能恢复到原始值，则增大的漏气率是允许的。但这种暂时增大的漏气率不应超过 GB/T 11022—2020 表 15 中的允许漏气率。

p) 保持在温度 T_H 下 24 h 后，断路器应在额定供电电压及额定操作压力下进行分闸和合闸，机械特性应被记录并且在制造厂给定的容差范围内。

q) 在温度 T_H 下断路器分闸，并处于分闸位置 24 h。

r) 在温度 T_H 下，断路器处于分闸位置的 24 h 期间，应进行密封试验(如果适用)。如果使断路器恢复到周围空气温度 T_A，并处于热稳定状态时，其漏气率能恢复到原始值，则增大的漏气率是允许的。但这种暂时增大的漏气率不应超过 GB/T 11022—2020 表 15 中的允许漏气率。

s) 24 h 终了时，在温度 T_H 下，对断路器应以其额定供电电压及额定操作压力进行 50 次合闸和 50 次分闸操作。对于每个循环或顺序允许至少有 3-min 的时间间隔。应记录第一次合闸操作(C)和分闸操作(O)，机械特性应被记录并且在制造厂给定的容差范围内。

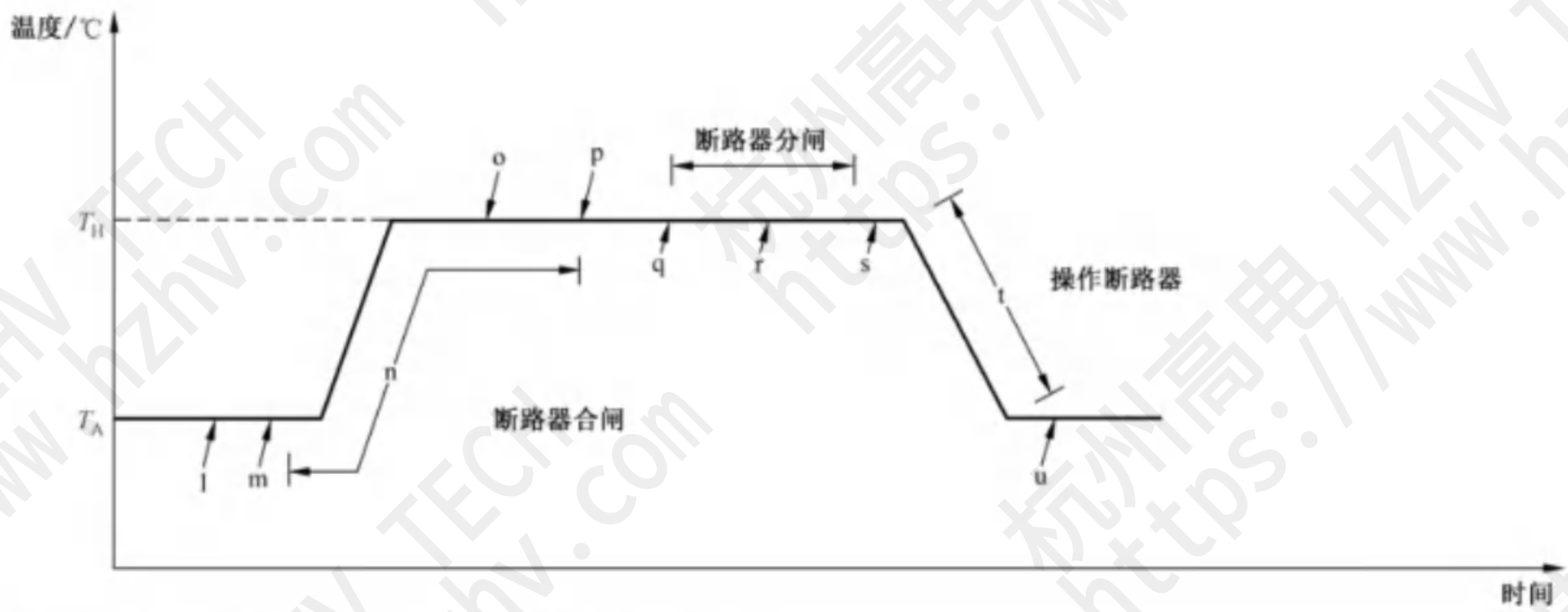
在第一次合闸操作和第一次分闸操作后，应进行 3 个合分(CO)操作循环。其余的操作应按“C—t_a—O—t_a”操作顺序进行(t_a 的定义见表 9)。

t) 完成 50 次分闸和 50 次合闸操作后，空气温度应以大约 10 K/h 的变化率降低到周围空气温度 T_A。

在温度变化的过渡期间，断路器应以其额定供电电压及额定操作压力交替地进行“C—t_a—O—t_a—C”和“O—t_a—C—t_a—O”操作顺序。交替的操作顺序间的时间间隔为 30 min，以使断路器在操作顺序之间的 30 min 期间处于分闸位置和合闸位置。

u) 断路器在周围空气温度 T_A 下达到热稳定状态后，应重新检查断路器的整定值。机械特性应被记录并且在制造厂给定的容差范围内。应重复进行 m)规定的密封试验并且漏气率应在7.8中规定的限值以内。

在进行从 l)～t)完整的高温试验顺序过程中，其累积的泄漏应不致达到闭锁压力(但是，达到报警压力是允许的)。



注：字母 l～u 表示 7.101.3.5 中规定试验的应用点。

图 12　高温试验试验顺序

7.101.4　湿度试验

7.101.4.1　通则

湿度试验不应对设计用在直接暴露于降雨环境中的设备(如户外断路器的一次元件)实施。如果因为温度的骤变，在长期承受电压作用的绝缘表面可能出现凝露，则应对断路器或断路器的部件进行湿度试验。该试验主要针对户内安装的断路器的二次接线的绝缘。如果断路器用于开关设备中，而开关设备的辅助和控制回路的试验已包括环境试验，则不需要进行该试验。也没有必要对已采取了有效的防凝露措施的设备(如带有防凝露加热器的控制柜)进行该试验。

通过 7.101.4.2 中叙述的试验程序，以加速的方式来确定试品耐受湿度效应。该效应可能在试品的表面产生凝露。

7.101.4.2　试验程序

试品应安装在空气流通的试验室中，试验室的温度及湿度应按下面给出的循环：

该循环的一半，试品表面应是湿的，该循环的另一半，试品表面应是干燥的。为此，在试验室内，试验循环由低空气温度(T_{min}＝25 ℃±3 ℃)阶段 t_1 和高空气温度(T_{max}＝40 ℃±2 ℃)阶段 t_2 组成。两个阶段的时间应相等。对于施加低空气温度的半个循环，雾的产生应予以保持(见图 13)。

雾产生的开始，原则上与低空气温度阶段同时开始。然而为了加湿具有高的热时间常数的材料的垂直表面，有必要在低空气温度阶段内延迟开始雾的产生。

试验循环的持续时间取决于试品的热特性，并在高空气温度和低空气温度阶段均应足够长，以使得所有的绝缘表面变湿和干燥。为了达到这些条件，可向试验室内直接注入蒸汽或将热水以雾状喷入室内；蒸汽或雾状热水供给热量，或者必要时使用加热器，可使温度从 25 ℃上升到 40 ℃。把试品放在试验室内进行的第一个循环是为了观察和检查这些条件。

高压断路器的低压元件的热时间常数通常小于 10 min，图 13 中给出的时间间隔的持续时间为：t_1＝10 min、t_2＝20 min、t_3＝10 min 和 t_4＝20 min。

通过连续的或周期性的在试验室每立方米的空间内雾化 0.2 L/h～0.4 L/h 的水(电阻特性在下面给出)来获得雾。雾滴的直径应小于 10 μm，这样的雾可通过机械喷雾器获得。喷洒的方向应使得试品的表面不被直接喷到。试品上面的顶板不应有水滴落。产生雾的期间，应关闭试验室，不准许有额外的强迫空气流通。

用于产生湿度的水，应是在试验室内收集到的，其电阻率应等于或大于 100 Ωm，且既不含盐(NaCl)也不含腐蚀性元素。

试验室内空气的温度和相对湿度应在试品附近测量，并应在整个试验期间进行记录。温度下降时，不规定相对湿度的数值，但是，温度保持在 25 ℃期间，相对湿度应在 80%以上。试验室内的空气应是流通的，以保证试验室内的湿度得以均匀分布。

循环次数应为 350 次。

试验中和试验后，试品的操作特性不应受到影响。这一点要按照 7.2.11 规定的辅助和控制回路的耐压试验来证明。腐蚀的程度(如果有的话)，应在试验报告中说明。

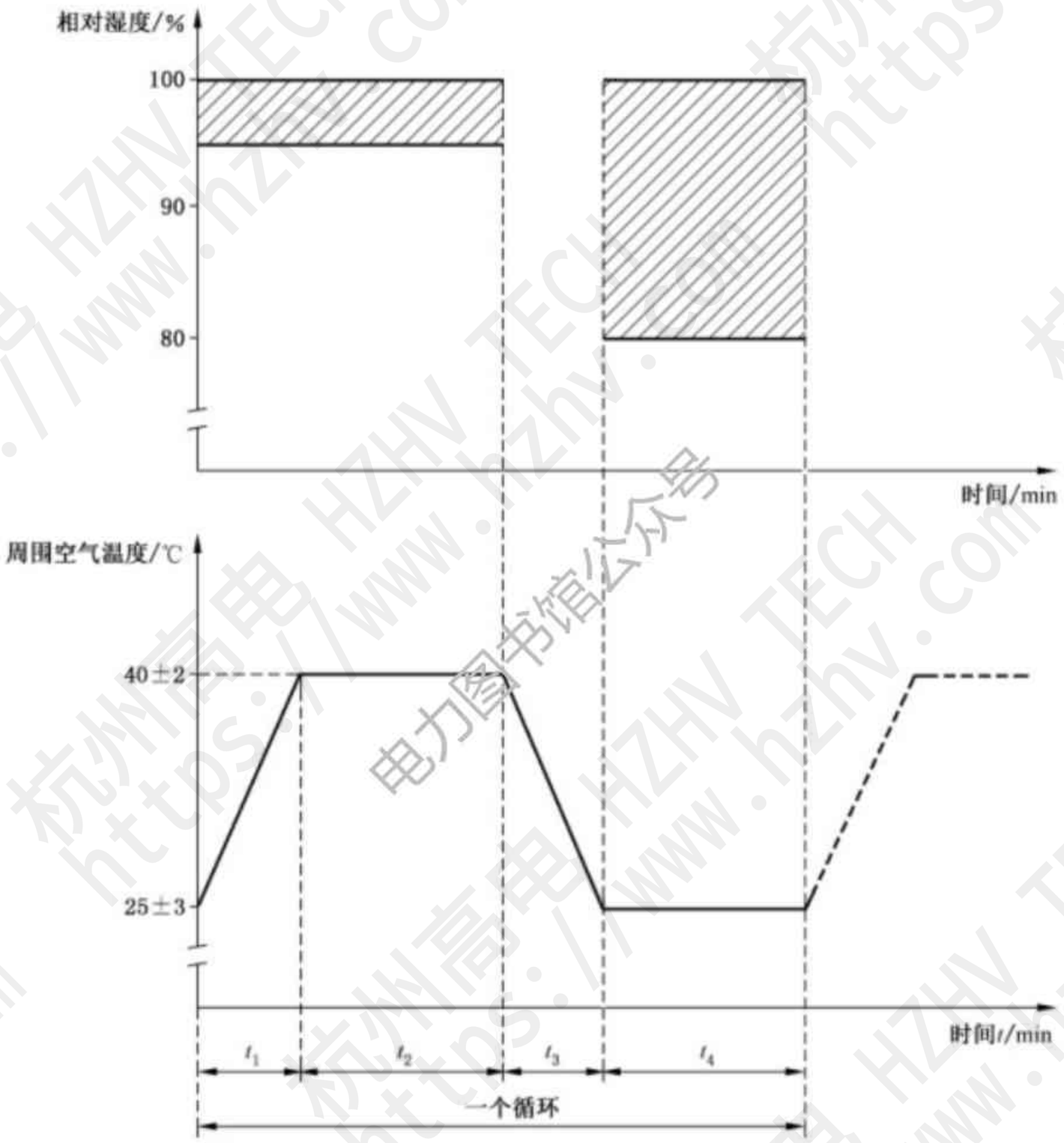


图 13　湿度试验

7.101.5　验证严重结冰条件下的操作试验

严重结冰条件下的试验，仅适用于具有可动的外部部件的户外断路器。试验应按照 GB/T 1985—2023 进行。

7.102　关合和开断试验的各项规定

7.102.1　通则

除非在相关条款中另有规定，下列条款适用于所有的关合和开断试验。

断路器应能关合和开断直到并包括其额定短路开断电流在内的所有的对称的和非对称的短路电

流：如果断路器在额定电压下关合和开断 10%（或如果 7.108.1.1 适用，7.108.1.2 中规定的更小的电流）和 100%额定短路开断电流之间所规定的所有三相对称和非对称电流，则可认为断路器的上述性能已被验证。

此外，首开极系数 $k_{pp}=1.3$ 的断路器应能开断单相接地故障情况下的短路电流（见 7.108.2）；首开极系数 $k_{pp}=1.5$ 的断路器应能开断异相接地故障情况下的短路电流（见 7.108.2）。

按照 S2 级进行的关合和开断试验涵盖 S1 级的关合和开断试验。

具有任何容性电流额定值的断路器，应能在直到并包括规定的电压水平（见 7.111.7）下关合和开断直到并包括其额定容性电流的任何容性电流。

如果适用，在开始试验之前，制造厂应声明下列值：

——保证额定操作顺序的操动机构的最低条件（例如液压操动机构操作用的最低压力）；

——保证额定操作顺序的开断装置的最低条件（例如 SF_6 断路器关合和开断用的最低压力）。

7.102.2 附加要求

标准的试验方法是使用三相试验回路来证明关合和开断的要求。

如果试验在试验室进行，外施电压、电流、工频和瞬态恢复电压可从一个单独的电源获得（直接试验），或者从几个电源获得，其中电流的全部或大部分从一个电源获得，而瞬态恢复电压可全部地或部分地从一个或多个独立的电源获得（合成试验）。

如果受试验设备的限制，不能使用标准的试验方法验证时，根据断路器的类型可采用下列一种试验方法或几种组合的试验方法，这些验证方法应用直接试验法或合成试验法：

a) 单相试验（见 7.102.4.1）；

b) 单元试验（见 7.102.4.2）；

c) 多部试验（见 7.102.4.3）。

7.102.3 受试断路器的布置

7.102.3.1 通则

受试断路器应安装在其自身的支架或与之等效的支架上。作为封闭单元的一个组成部分的断路器，应完整装配在自身的支持结构件和外壳内，包括隔离装置和构成单元部件的排逸孔，如果可行的话，还要有主连接和母线。

操动机构应按规定的方式进行操作，特别是电动或弹簧操作的，合闸线圈或并联合闸脱扣器和并联分闸脱扣器分别应在最低供电电压下保证成功地操作（合闸线圈和并联合闸脱扣器为额定供电电压的 85%；分闸脱扣器，交流为额定供电电压的 85%，直流则为额定供电电压的 65%）。为了便于稳定地控制分闸和合闸操作，在 T100a 试验、容性电流试验和 7.108.2 中规定的单相试验时，应供给脱扣器最高操作电压。除非相关条款中另有规定，对于具有最低操作条件（即压力、能量等）的操动机构，应在5.104 规定的额定操作顺序的最低操作条件下操作。当一个试验方式允许操作顺序由 O、CO 和 O—t—CO 操作顺序构成的情况下，下列程序适用于气动和液压操动机构。

a) 关合和开断试验前，从操作用的最低压力开始，应记录所进行的空载额定操作顺序时的所有压力。

b) 应把记录到的压力值与制造厂提供的保证 O、CO 和 $t=0.3$ s 时 O—t—CO 成功操作的最低值进行比较。7.101.1 中的规定的条件适用于这些空载操作。

c) 试验方式中的相应操作应在 a）和 b）获得的操作用最低压力值下进行，该压力值应记录在试验报告中。

当线圈的供电电压为 GB/T 11022—2020 的 6.9 中规定的最低供电电压时，某些断路器的动作时

间可能会有变化，但在额定供电电压下的动作时间会比较稳定。在这种情况下要进行获得准确燃弧时间的试验方式比较困难，尤其是要将分闸指令改变 18 电角度以证明燃弧窗口时。另外，合闸时间的分散性也会使关合试验中获得额定短路关合电流变得困难。

对于线圈的动作不影响机械行程特性的断路器，允许将线圈的供电电压从最低值提高至额定供电电压的 110%。试验报告中应包含在额定和最低供电电压下的空载操作，以证明机械行程特性没有受到线圈电压提高的影响。

T100s 试验方式在最低供电电压下应至少进行一次关合和一次开断操作，以证明断路器在最低控制电压条件下能够在直到其额定短路电流下正确地动作。

与压力闭锁相关的闭锁装置，如果与试验目的相矛盾，则在试验过程中应不起作用。

应表明断路器在上述条件和 7.102.6 规定的空载条件下能够满意地操作。关合和开断用的压缩气体的压力(如果有的话)应整定到其最低功能值。

断路器应根据 7.102.3.2 和 7.102.3.3 规定的类型进行试验。

7.102.3.2 共箱型断路器

对于共箱型断路器，应在三相回路中对完整的三极进行试验，且宜考虑附录 D。

7.102.3.3 多箱型断路器

对于多箱型断路器，可按照 7.102.4.1 进行单相试验。制造厂应提供试验证据表明符合 6.101。

对不具有完全独立的开合装置的三极断路器，宜用整台三极断路器进行试验。但是，如果受可供使用的试验设备的限制，只要在整个试验过程中施加的机械和电气应力在下列各方面同整台三极断路器等价或不处于较之更有利的条件下，可用断路器的一个单极进行试验：

——关合操作时的机械行程特性(评估方法见 7.102.4.1)；

——开断操作时的机械行程特性(评估方法见 7.102.4.1)；

——灭弧介质的利用率；

——合闸和分闸装置的功率与强度；

——结构的刚度。

7.102.3.4 自脱扣断路器

对于自脱扣断路器，按照 7.103.2.4 的规定，在关合和开断试验过程中过电流脱扣器应不动作，且过电流脱扣器或电流互感器应接到试验回路的带电侧。

7.102.4 关于试验方法的一般考虑

7.102.4.1 三极断路器单极的单相试验

按照本方法，三极断路器的单极在单相回路中进行试验，施加与完整的三极断路器在三相关合和开断中最高应力的极上在相应的条件下承受的相同的电流和几乎相同的工频电压。

根据断路器的设计，本文件允许用单相试验以覆盖三相条件。如果断路器的三极共用一个操动机构，应提供一台装配完整的三极断路器进行试验。

对于短路试验，为了确定是否允许进行涵盖三相条件的单相试验，应进行关合和开断的验证试验。此外，还应检查单相试验时断路器的机械特性是否符合 7.101.1.1 的规定。

开断的验证性试验包括进行一个三相短路开断试验，试验电流和试验方式 T100s 的相同，在任何方便的试验电压下不施加 TRV，而且在后开极中达到最长的预期燃弧时间。

关合的验证性试验包括在与 7.105.2.1 相同条件下的两次三相关合操作。一次关合操作应为完全

对称的电流，且在一极中获得最长的预击穿时间；另一次关合操作应在一极中获得最大的非对称电流，这种情况下，关合操作可在任何方便的低电压下进行。

在关合的验证性试验中，断路器应达到完全合闸位置且电流的持续时间应至少等于断路器达到完全合闸位置所需的时间。

在关合和开断的验证试验过程中，应记录触头运动的轨迹。它可作为下述程序（见图 14）的参考。用于记录触头运动轨迹的传感器应安装在适当的位置，以便能够直接或间接地提供触头运动轨迹。

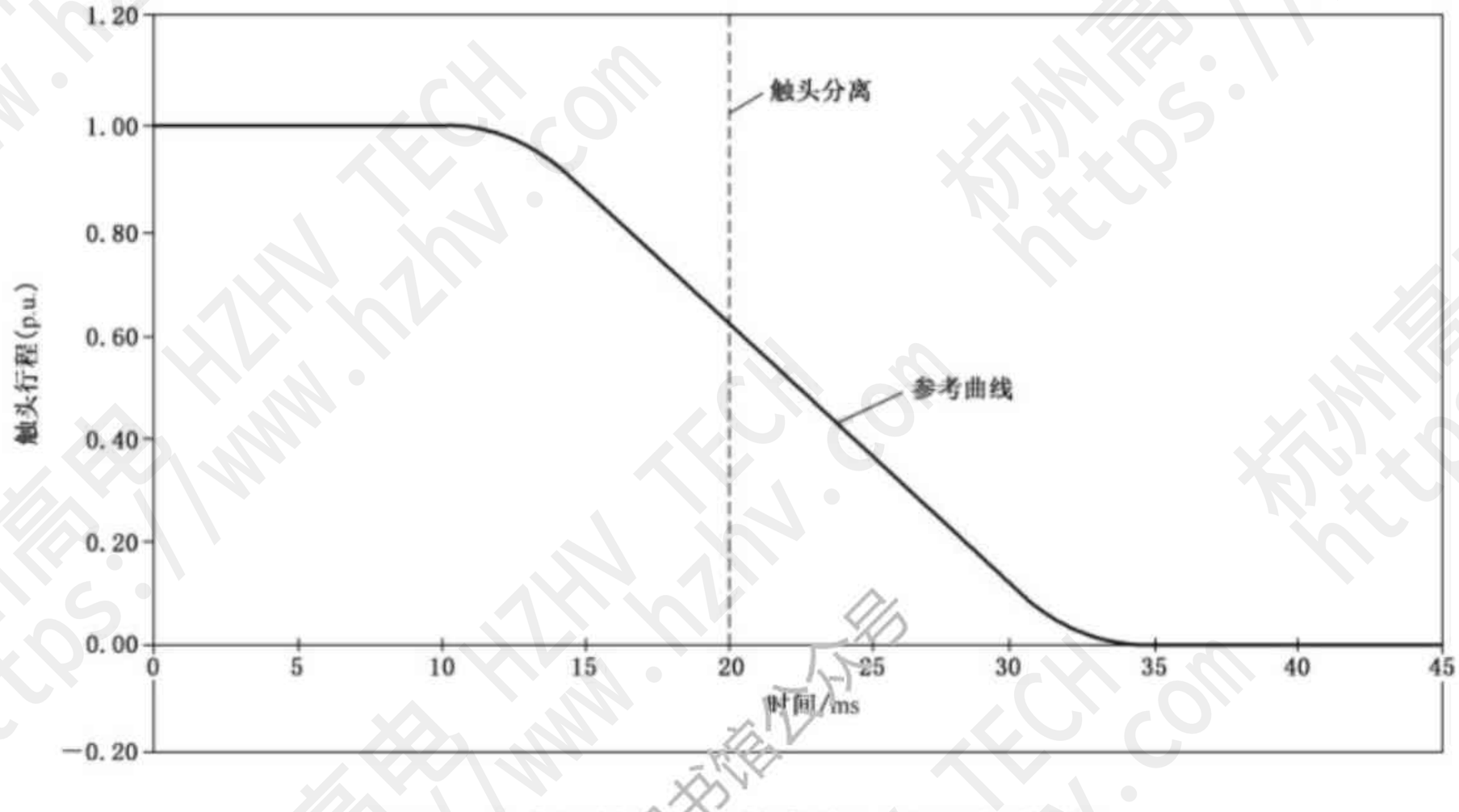


图 14　参考机械行程特性曲线示例（理想曲线）

根据该参考轨迹，画出开断操作时，从触头分离时刻到触头运动终止时刻；关合操作时，从触头运动开始到触头接触时刻的两条包络线。两条包络线和原始轨迹的距离应为三相验证试验估算的触头总行程的±5%（见图 15）。

应记录相同条件（具有最长燃弧时间和最长预击穿时间的试验方式 T100s）下，单相试验过程中的触头运动轨迹。如果单相试验时的触头运动轨迹在三相试验时的机械行程特性（开断操作时从触头分离时刻到触头运动终止；关合操作时从触头运动开始到触头接触时刻）的包络线内，则用单相试验代表三相试验是有效的。

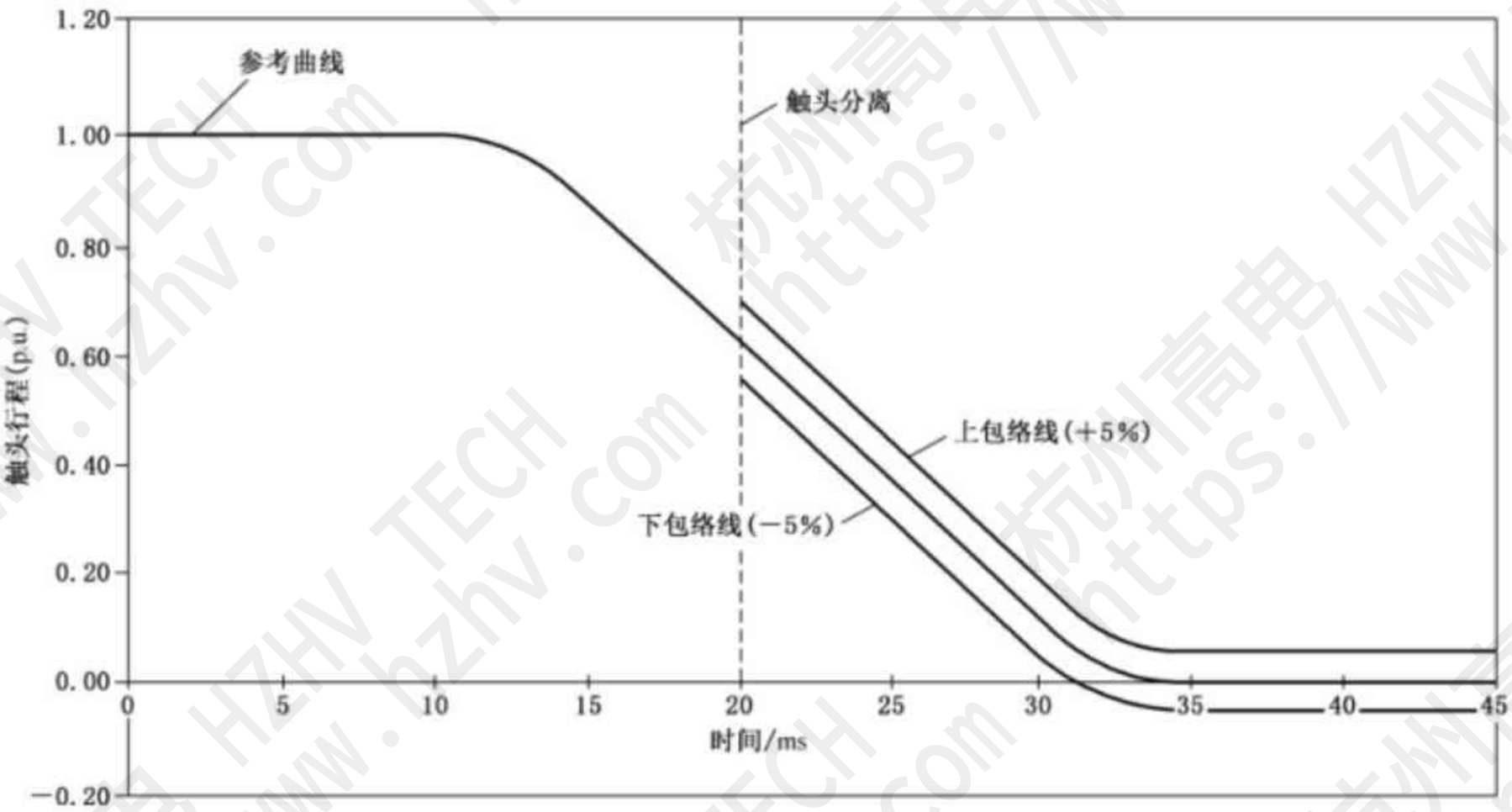


图 15　图 14 中的参考机械行程特性曲线及其以参考曲线为中心的包络线(+5%,−5%)

包络线可在垂直方向移动,直到一条曲线覆盖了参考线。这就给出和参考机械行程特性曲线的最大允许偏差分别为 0%,+10%和 0%,−10%(见图 16 和图 17)。为了得到和参考线 10%的最大的总偏差,包络线的移动在整个试验过程中只允许一次。

为获得正确的单极触头运动特性,根据其设计(单极或三极操作),有必要进行调整,如采用转换功能。

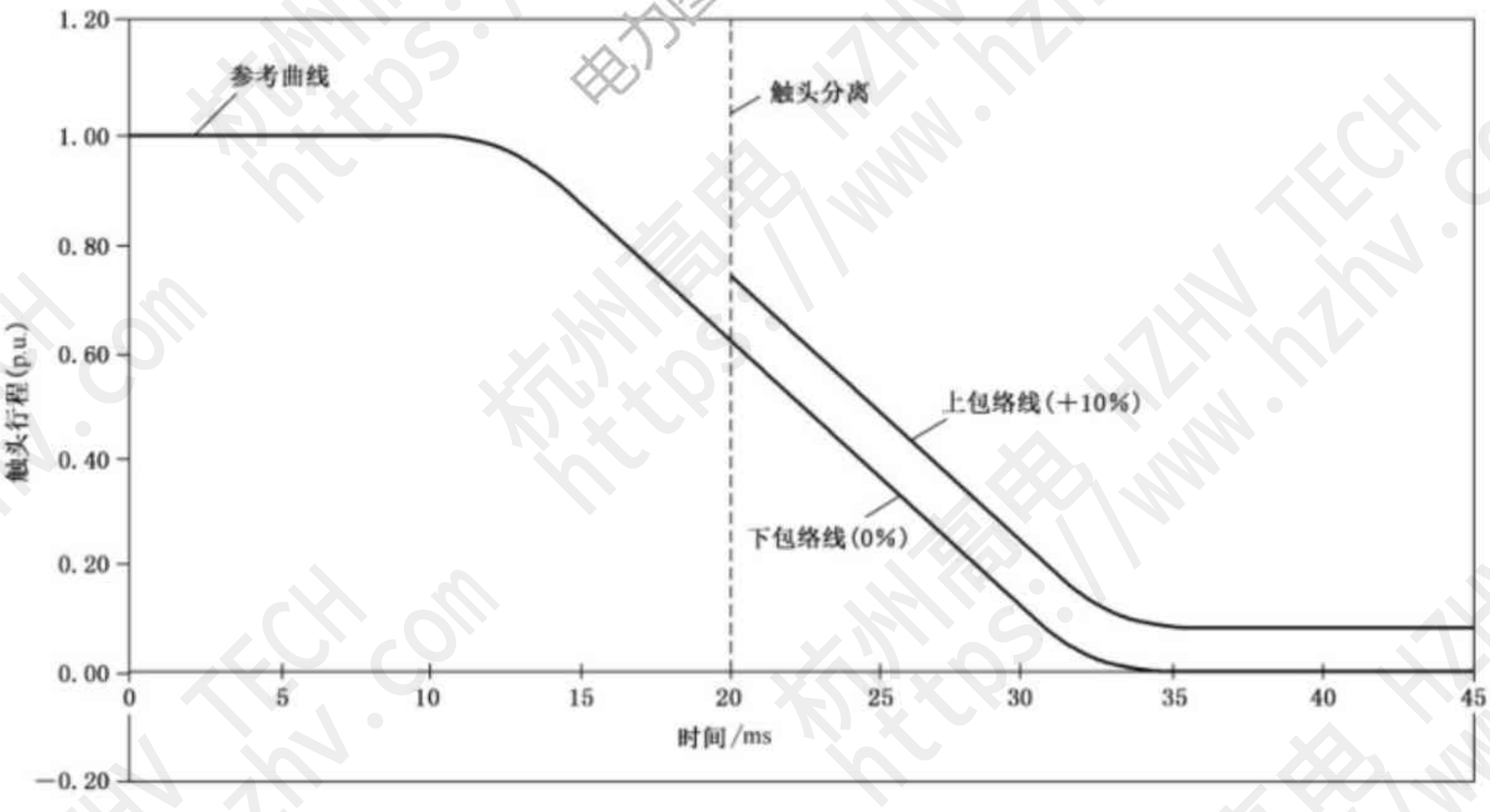


图 16　图 14 中的参考机械行程特性曲线及其以参考曲线为基准完全上移的包络线(+10%,0%)

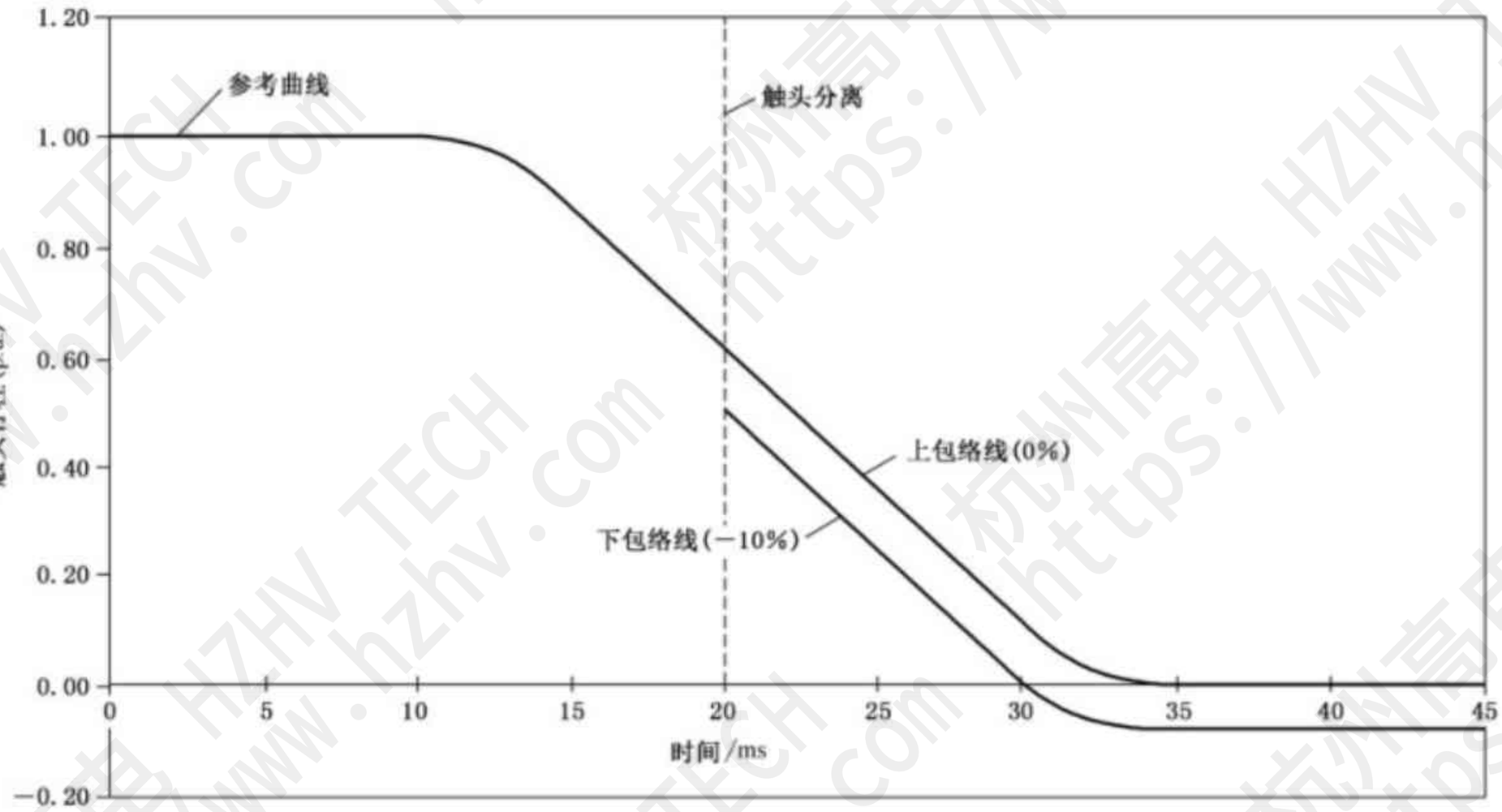


图 17　图 14 中的参考机械行程特性曲线及其以参考曲线为基准完全下移的包络线(0%,−10%)

宜特别注意电弧分解物的喷射。例如,如果认为这种喷射可能损害相邻极间的绝缘距离(见7.102.8),则应采用接地金属屏进行检查。

当对同时要求 50 Hz 和 60 Hz 的断路器进行试验时,只要满足下列两个条件,验证试验只需要在 50 Hz 或 60 Hz 下进行一次:

——开断试验中的燃弧时间应等于 50 Hz 下后开极的最长预期燃弧时间;

——在非对称电流关合操作中应获得 60 Hz 下的额定短路关合电流。

7.102.4.2　单元试验

7.102.4.2.1　通则

某些断路器是由装配完全相同的关合和开断单元串联组成,使用并联阻抗通常可改善每一极各关合和开断单元之间的电压分布。

这种型式的设计,断路器的关合和开断性能可通过在一个或多个关合和开断单元上进行的试验来验证。

7.101.1.1、7.102.3 和 7.102.4.1 的要求也适用于单元试验。因此,至少应提供一个装配完整的极,用于在一个或多个关合和开断单元上进行验证试验,试验结果仅与特定设计的极有关。

7.102.4.2.2　结构和要求

应区分以下几种情况。

a)　断路器的极由独立操作的关合和开断单元(或关合和开断单元装配)组成,且灭弧介质没有相互连通。

这种情况下,可进行单元试验。但是,宜考虑到关合和开断单元中电流的电动力及关合和开断单元中电弧的相互影响(见图 18)。这可用等效形状的导体代替第二关合和开断单元来实现。

b)　断路器的极由独立操作的关合和开断单元(或关合和开断单元装配)组成,但其灭弧介质是相互连通的。

这种情况下,如果未进行试验的关合和开断单元在试验过程中处于燃弧状态(例如,在合成试

验时用作辅助断路器),则可进行单元试验。

c) 断路器的极由不是独立操作的关合和开断单元(或关合和开断单元装配)组成:

这种情况下,如果单个单元试验时和整极试验时的机械特性相同,则可进行单元试验。应采用7.102.4.1中对三极断路器的单极试验所给出的机械行程特性比较方法。此外,还宜考虑到电动力的影响[也可见a)]。

然而,如果未进行试验的关合和开断单元在试验过程中处于燃弧状态(例如,在合成试验时用作辅助断路器),则认为和机械特性相关的要求已经满足。在这种情况下,关合和开断单元间灭弧介质相互连通[也可见b)]的断路器的要求也就同时满足。

d) 如果受试的单个关合和开断单元中灭弧介质的体积正比于具有相同灭弧介质的关合和开断单元装配的适当部分,则试验电流小于或等于60%额定短路开断电流时可进行单个单元试验。

单个单元试验时和整极试验时的空载机械行程特性应相同。应采用7.102.4.1中对三极断路器的单极试验所给出的机械行程特性比较方法。当试验电流等于或小于60%的额定短路开断电流时,关合和开断单元中的电弧以及电流产生的电动力的相互影响可忽略。

进行单元试验的基础是所有关合和开断单元完全相同,且不同试验类型(如端子故障、近区故障、失步等)的静态电压分布是已知的。

金属封闭断路器的单元试验按照附录D。

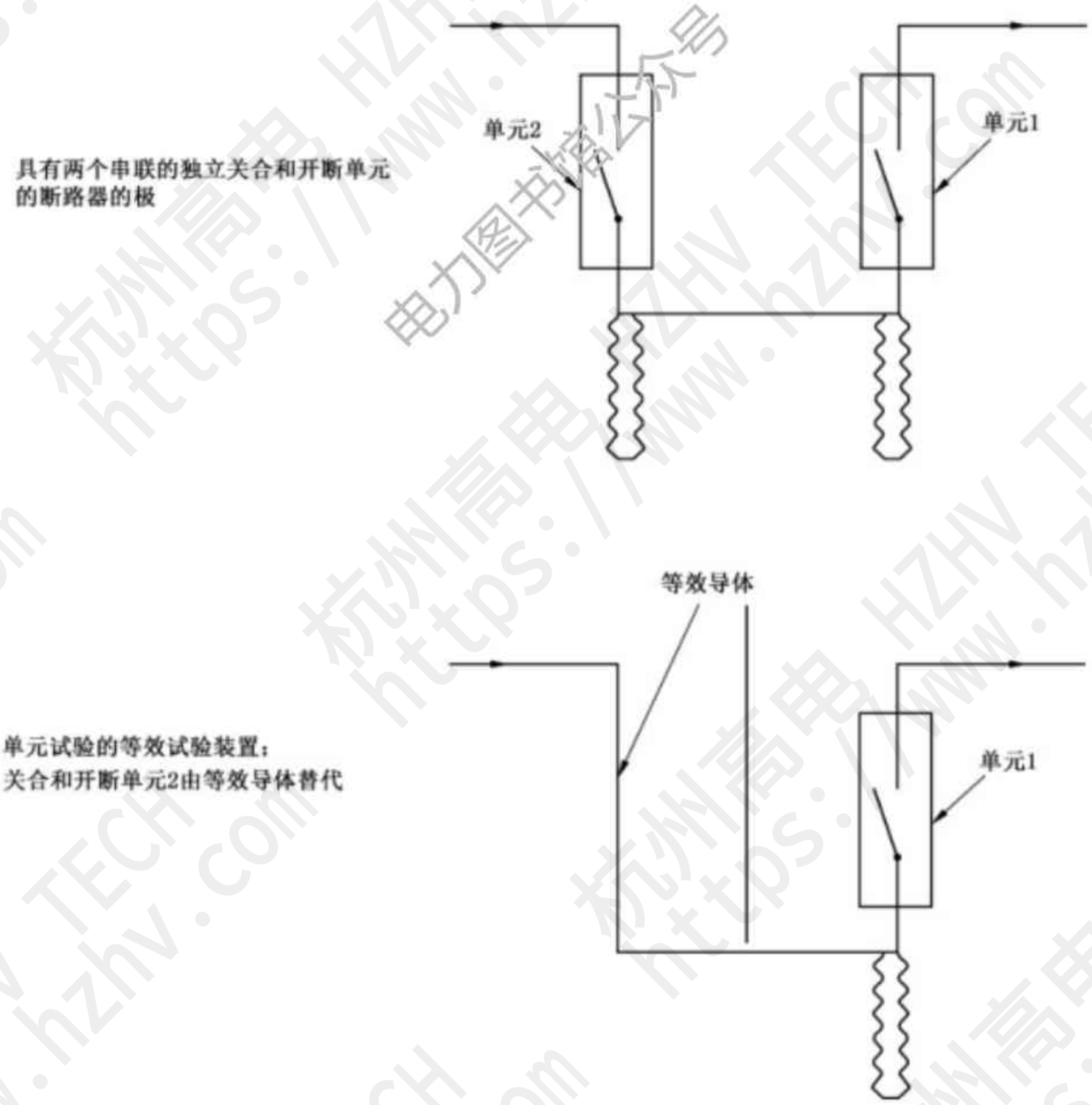


图18 具有多于一个独立关合和开断单元的断路器的单元试验的等效试验装置

7.102.4.2.3 关合和开断单元的同一性

断路器所有的关合和开断单元的形状、尺寸及操作条件应是相同的；仅允许控制各关合和开断单元间电压分布的装置可不同。特别是，应满足下列条件。

a) 触头的动作

触头的动作应符合 6.101 的要求。应采用额定操作压力和电压来确定。

b) 灭弧介质的供应

对于从关合和开断单元以外的来源向关合和开断单元供应灭弧介质的断路器，供应给每个关合和开断单元的介质，实际上应与其他关合和开断单元无关，且供应管道的布置，应保证同时且以相同的方式对所有关合和开断单元供应介质。

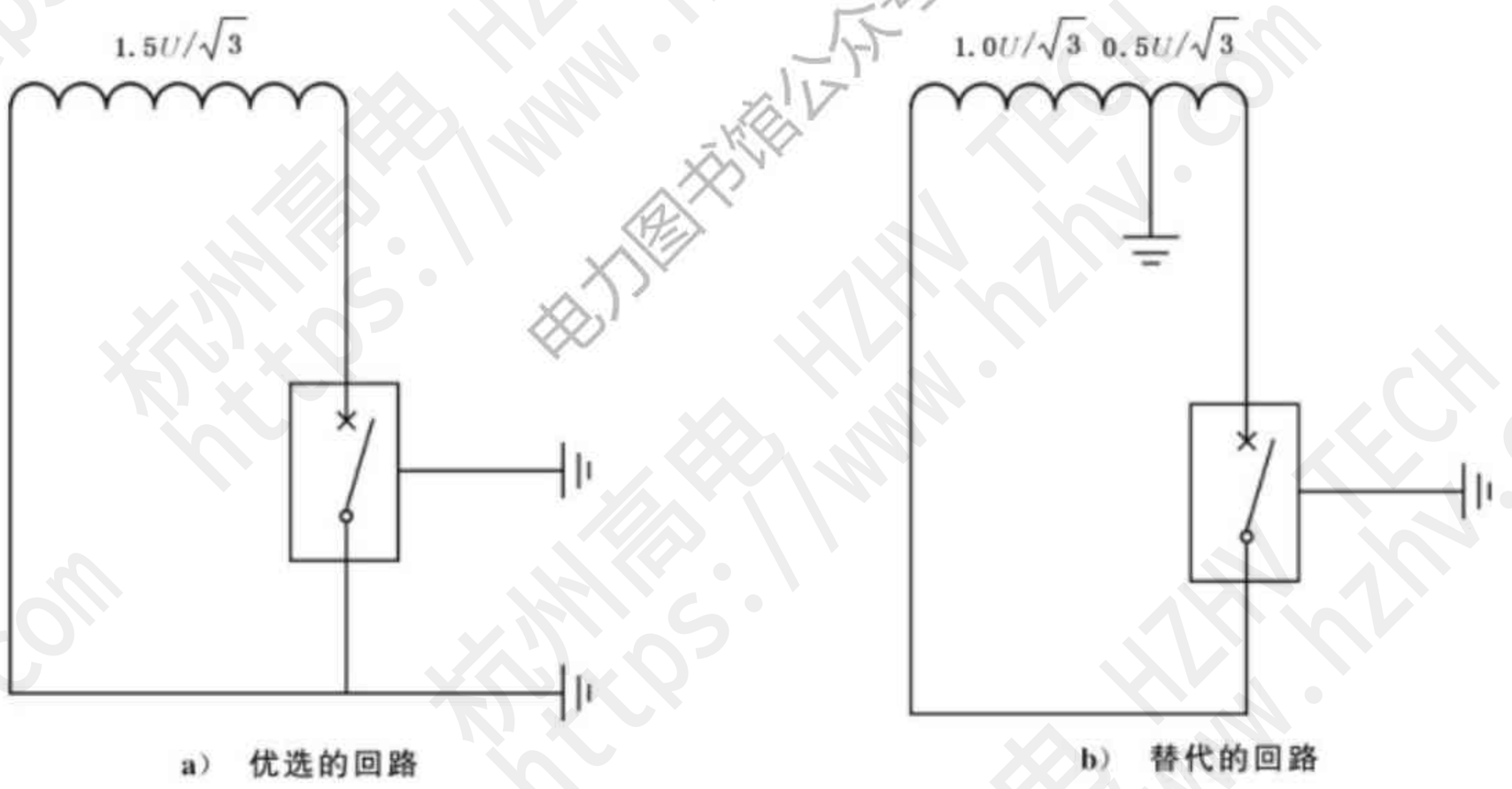
7.102.4.2.4 电压分布

通过对一极中各关合和开断单元间电压分布的分析来确定试验电压。

受大地影响，一极中各关合和开断单元之间的电压分布，应按整极试验的下述相关试验条件来确定：

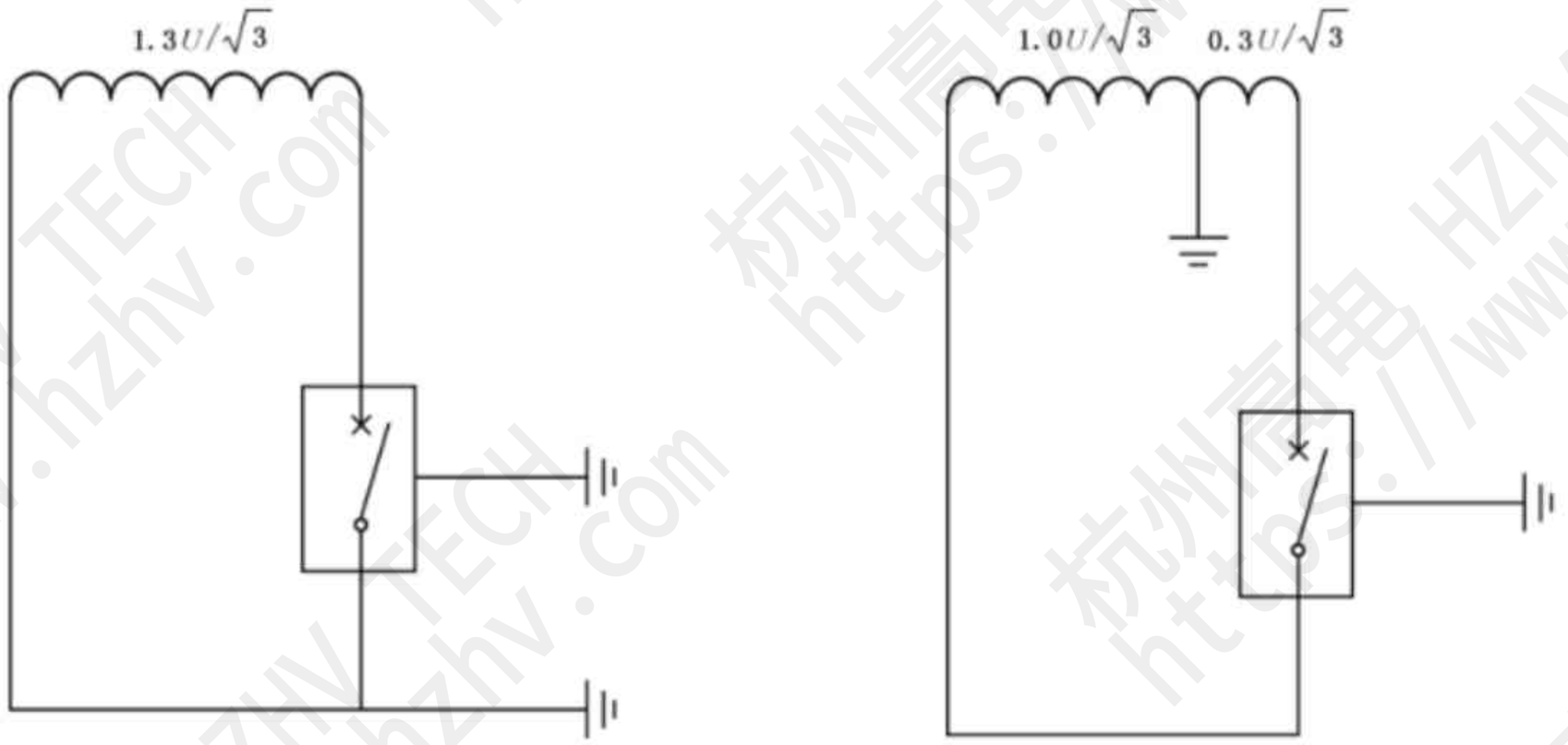
——对于端子故障条件，见 7.103.2.3c)和 d)以及图 19 和图 20；

注 1：图 19b)和图 20b)所示的试验回路，不适用于极间和/或对地绝缘比较关键的断路器(例如 GIS 断路器或外壳不带电断路器)。对于这些断路器，适当的试验方法在附录 D 和 GB/T 4473 中给出。



a) 优选的回路　　b) 替代的回路

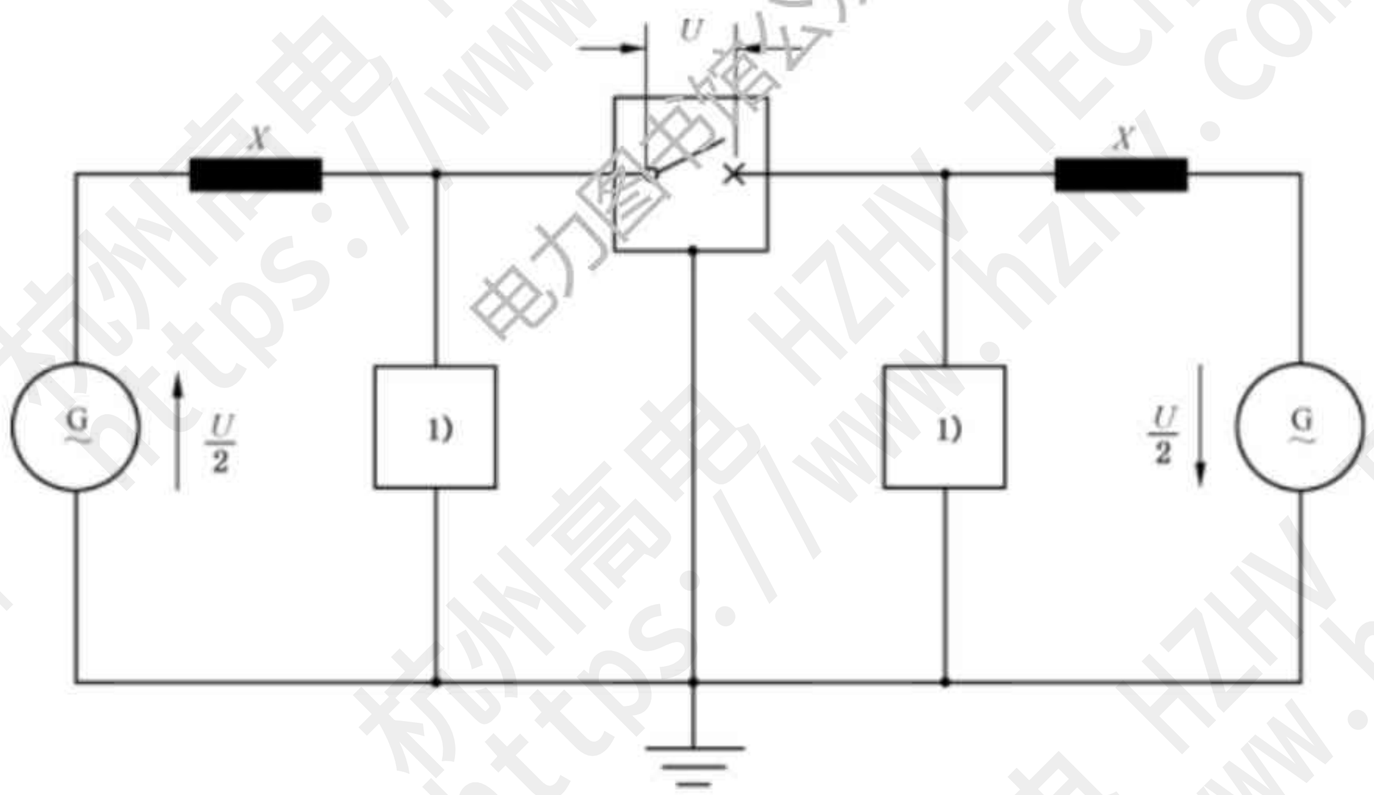
图 19 k_{pp}=1.5，单相短路试验的试验回路的接地



a) 优选的回路　　b) 替代的回路

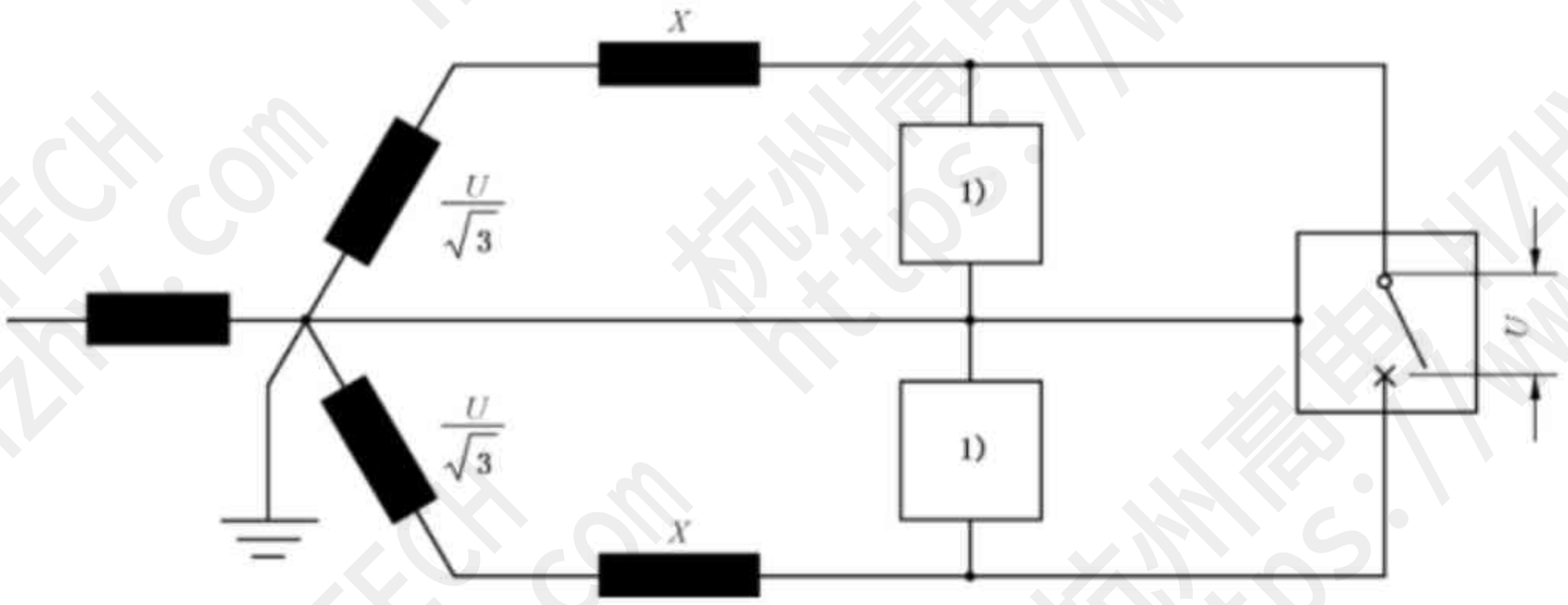
图 20　k_{pp}=1.3,单相短路试验的试验回路的接地

——对于近区故障条件,见 7.109.3;
——对于失步条件,见 7.110.1 以及图 21、图 22 和图 23;
——对于容性关合和开断条件,见 7.111.3、7.111.4 和 7.111.5。



标引序号说明:
1)——该方框表示 TRV 控制元件。

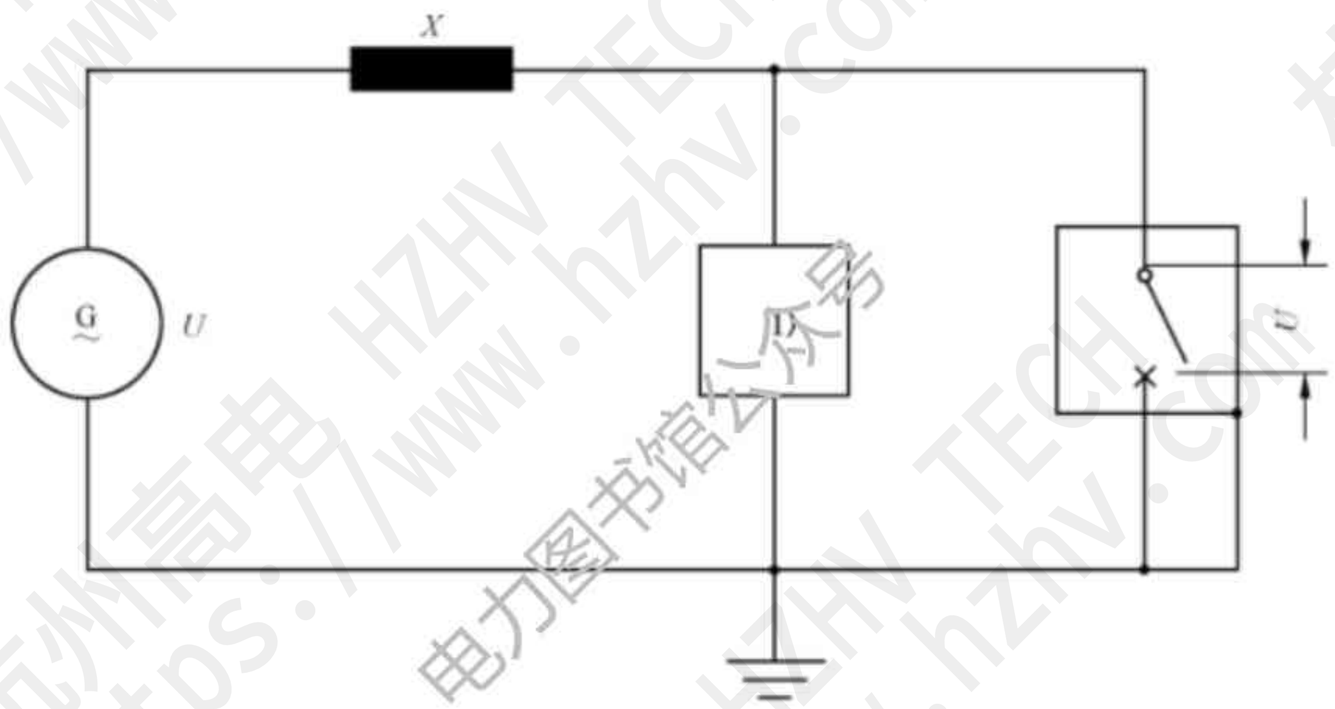
图 21　单相失步试验的试验回路



标引序号说明：

1)——该方框表示 TRV 控制元件。

图 22　利用两个相位差 120°的电压进行失步试验的试验回路



标引序号说明：

1)——该方框表示 TRV 控制元件。

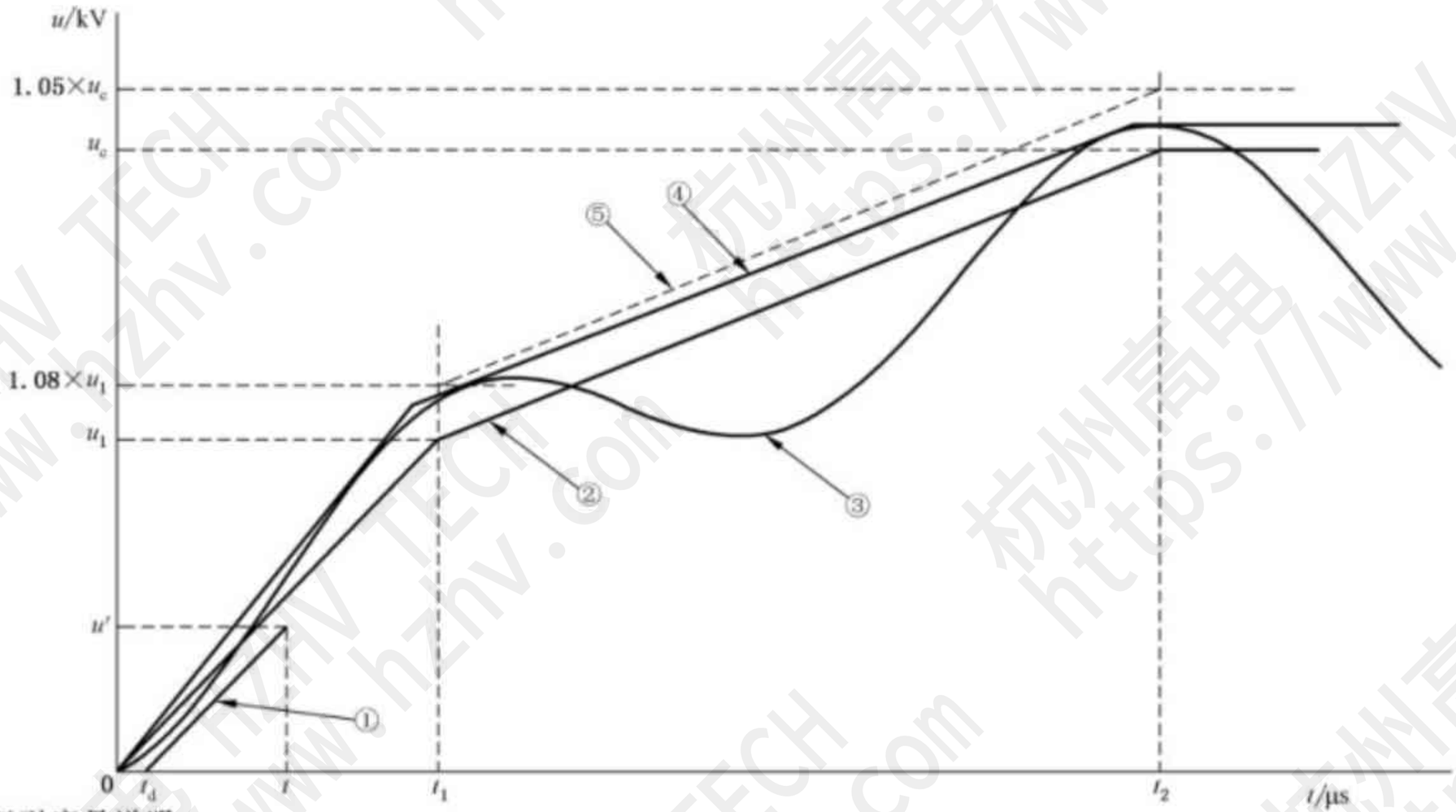
图 23　断路器一端接地时失步试验的试验回路(征得制造厂的同意)

当各关合和开断单元是非对称布置时，电压分布还应按方向相反的接线来确定。

电压分布既可通过测量也可通过计算来确定。计算时使用的数值，应以断路器的杂散电容的测量值为依据。制造厂有责任进行这种计算和测量支持，以验证计算中所用的假定条件。

如果断路器装有并联电阻器，电压分布应按 TRV 的等效频率进行计算或静态测量。

注 2：在四参数法情况下，认为等效频率等于 $1/(2t_1)$；在两参数法情况下，认为等效频率等于 $1/(2t_2)$(见图 24 和图 25)。



标引序号说明：

①——规定的 TRV 的时延线；

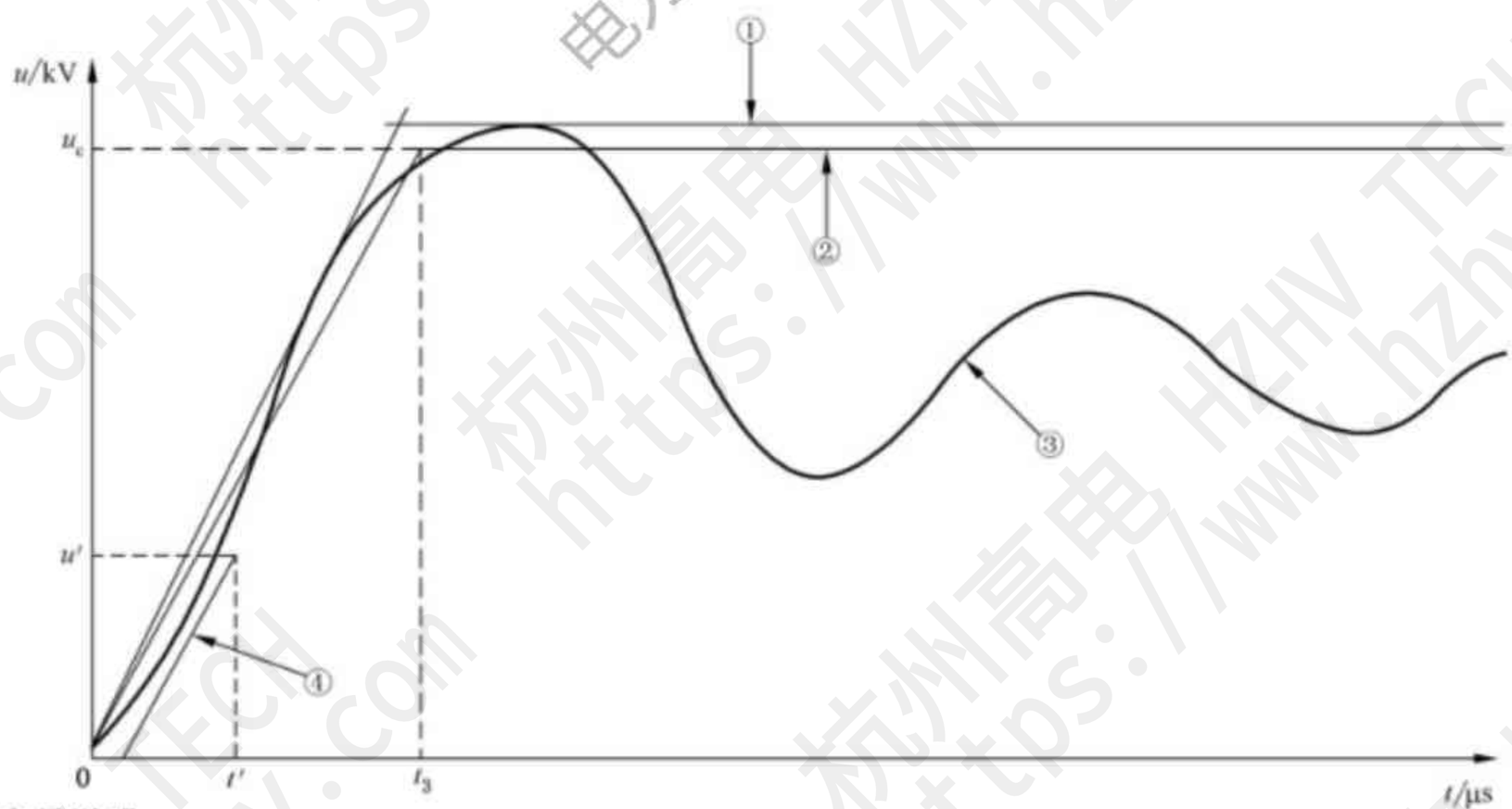
②——规定的 TRV 的参考线；

③——试验中的预期 TRV；

④——试验中预期 TRV 的包络线；

⑤——试验中预期 TRV 包络线的上限。

图 24　满足型式试验条件的、用四参数包络线表示的试验中的预期 TRV 示例：具有四参数参考线的规定的 TRV 的情况



标引序号说明：

①——试验中预期 TRV 的包络线；

②——规定的 TRV 的参考线；

③——试验中的预期 TRV；

④——规定的 TRV 的时延线。

图 25　满足型式试验条件的、用两参数包络线表示的试验中的预期 TRV 示例：具有两参数参考线的规定的 TRV 的情况

当近区故障试验以单元试验进行时，电源侧和线路侧的 TRV 应由同一个电压分布系数来确定，该分布系数与线路侧 TRV 的电压分布相对应。

如果仅用电容器均压，则电压分布可按工频进行计算或测量。

应考虑到电阻器和电容器在制造中的偏差，制造厂应规定这些偏差值。

注 3：考虑到失步和容性电流开断试验中的电压分布比端子故障或近区故障试验中的情况更为有利。在中性点有效接地系统中以不接地故障条件进行试验的例外情况下，这一点也适用。

注 4：在确定电压分布时，没有考虑污秽的影响。在某些情况下，污秽可能影响该电压分布。

7.102.4.2.5 单元试验的附加要求

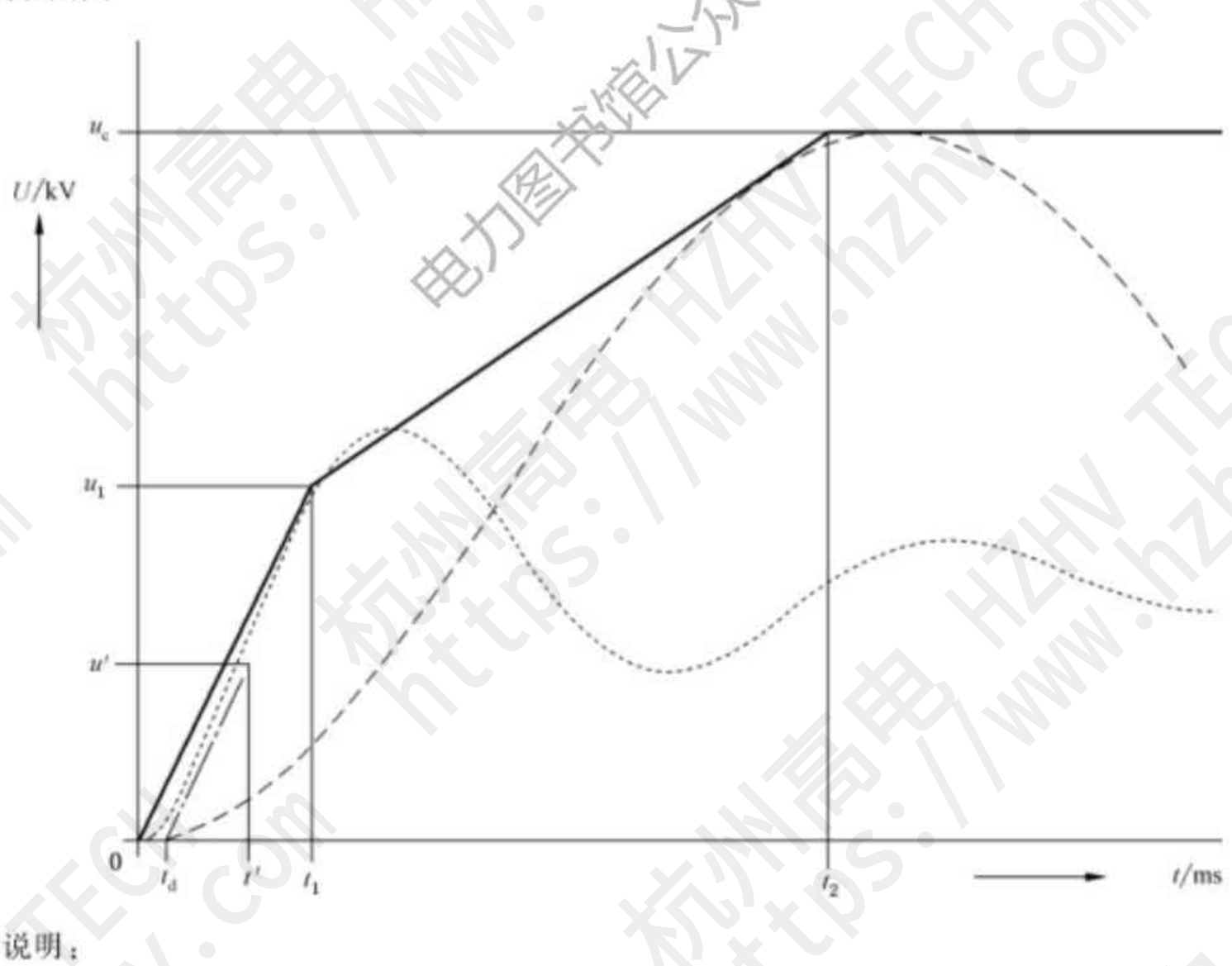
当进行单个关合和开断单元试验时，试验电压按 7.102.4.2.4 确定，应为断路器整极中作用电压最高的关合和开断单元上的电压。对于近区故障条件，该关合和开断单元是在线路侧瞬态恢复电压出现第一个峰值的规定时间内作用电压最高的单元。

当试验一组关合和开断单元时，该组中作用电压最高的关合和开断单元的端子上出现的电压应等于整极中作用电压最高的关合和开断单元上的电压，两者均应按 7.102.4.2.4 确定。

补充的导则在附录 D 中给出。

7.102.4.3 多部试验

对于给定的试验方式，如果所有的恢复电压要求不能同时得到满足，试验可分成两个连续的部分进行，见图 26 的图解。



标引序号说明：

———— 要求的四参数包络线；

…… 试验 TRV 第一部分；

———— 试验 TRV 第二部分；

—·—·— 时延线。

图 26 两部试验中预期的 TRV 波形以及它们组合的包络线的例子

用于第一部分的试验回路，瞬态恢复电压(TRV)的起始部分应满足直到电压 u_1、时间 t_1 规定的参

考线，且不应与时延确定的直线相交。

用于第二部分的试验回路，应获得电压 u_c、时间 t_2。

如 7.103.4 所述，单相试验代替三相试验时，在额定频率 1/2 周波后，可进行多部试验，以获得端子故障中 $u_c/\sqrt{3}$ 的工频恢复电压。

每一部分的试验次数应和该试验方式要求的次数相同，每一部分的燃弧时间应满足 7.104 的要求。作为多部试验一部分的独立试验的燃弧时间应相同，可有 ±1 ms 的偏差。此外，如果一部分的最短燃弧时间与其他部分的最短燃弧时间相差超过 1 ms 时，则这两部分均应采用的最长燃弧时间为两个最短燃弧时间中较长者所对应的最长燃弧时间。

当多部试验被分别用来满足 TRV 和工频恢复电压的要求时，在带有工频恢复电压的试验中没有必要去寻找最短燃弧时间。所有的燃弧时间都应基于在 TRV 下获得的最短燃弧时间。

在多部试验之间，断路器可按照 7.102.9.6 维修。

在极少数情况下，可能需要进行多于两部的试验。在这种情况下，上述原则同样适用。

7.102.5 合成试验

合成试验方法可用于进行 7.107～7.112 所规定的关合和开断试验。合成试验技术和方法在 GB/T 4473中阐述。

7.102.6 试验前的空载操作

在关合和开断试验开始前应进行 C 和 O 操作并记录机械特性，例如合闸时间和分闸时间的细节应被记录。对于这些空载试验，7.101.1.1 规定的条件适用。附加的空载操作也许是必要的(见 7.102.3.1)。

另外，应证明受试断路器的机械性能与 7.101.1.1 中要求的参考的机械行程特性一致。更换触头或任何方式的维护后，应重复进行这些空载试验来再次确认这些机械行程特性。

对于装有关合电流脱扣器的断路器，应验证其在空载时不动作。

关合和开断用的气体压力应整定到要实施的试验方式所对应的要求值。

对于电动或弹簧操作的断路器，在其合闸线圈或并联合闸脱扣器上施加 100%及 85%的合闸装置的额定供电电压；在其并联分闸脱扣器上施加 100%及 85%额定供电电压(交流)和 100%及 65%额定供电电压(直流)。

对于气动或液压操动机构，应在下列条件下进行操作：

a) 操作用的流体压力应整定在 GB/T 11022—2020 的 3.6.5.6 定义的最低功能压力且以 85%(交流)或 65%(直流)额定供电电压加于并联分闸脱扣器，以及 85%的额定供电电压加于并联合闸脱扣器；

b) 操作用的流体压力整定在 GB/T 11022—2020 的 3.6.5.2 定义的额定充入压力且以额定供电电压加于并联脱扣器。

7.102.7 替代的操动机构

在本条款中，认为采用某一操动机构的断路器按照本文件经过了全部型式试验，该断路器称为完全试验过的断路器。仅操动机构不同的其他版本断路器称为替代的操动机构(见 3.5.129)的断路器。

对于装有替代的操动机构的断路器，仅要求重复 T100s 和 T100a[如果符合下述 c)的要求]以证明其关合和开断能力。

综上，对于装有替代的操动机构的断路器要进行的试验如下。

a) 应按照 7.101.1.1 记录机械特性，且其与完全试验过的断路器的特性的比较结果应符合附录 C 中的要求。

b) 应进行试验方式 T100s。此外，应按照 7.101.1.1 中规定的方法将具有最长燃弧时间的开断操

作时的机械特性与完全试验过的断路器相应的机械特性进行对比，且符合附录C的要求。

c) 在特定情况下，如果最短开断时间（见3.7.149）落入一个更短的区间，则应进行试验方式T100a。

如果满足了上述a)～c)的要求，完全试验过的断路器的参考机械特性也适用于替代的操动机构的断路器。

7.102.8 试验中断路器的性能

关合和开断试验过程中，断路器不应：

——表现出损坏的迹象；

——表现出极间和对地有害的相互作用；

——表现出与相邻的试验设备之间有害的相互作用；

——表现出可能危及操作者的性能。

如果出现的故障不是持续的或不是由于设计上的缺陷造成的，而是由于装配或维护失误造成的，则该故障可纠正，断路器可重复进行相应的试验方式。在这些情况下，试验报告应包含无效试验的附注。

在开断后1/4工频周期以内，任何一个极的工频电流的重现应由断路器开断。在所有极的短路第一次开断后，超过1/4工频周期后工频电流的重现是开断失败。

开断操作后的恢复电压阶段可能会出现NSDD。但是，它们的出现并不是受试开关装置损坏的标志。因此，它们的次数对于解释受试装置的性能没有影响。为了将它们和重击穿区分开来，应在试验报告中予以报告。

此目的不是要求安装特殊的测量回路来检测NSDD，只有在波形图上看到时才应报告。

7.102.9 试验后断路器的状态

7.102.9.1 通则

断路器在每一个短路试验方式后，虽然其短路关合和开断性能可能有所下降，但仍应能在额定电压下关合和开断其额定连续电流。在任何一个试验方式或一系列试验方式后，应对断路器进行检查。其机械部件和绝缘件应基本上和试验前的状态相同。外观检查通常足以验证绝缘性能。在7.102.9.2规定的一些情况中，要求按照7.2.12进行状态检查试验以证明绝缘性能。

7.102.9.2 绝缘性能

对于终身密封断路器，在按照7.107～7.112进行试验后，按照7.2.12进行作为状态检查的电压试验是强制的，并应按以下要求进行：

——单相试验，只应对被试极进行状态检查试验；

——三相试验，三极都要进行状态检查试验。

在状态检查试验中，没有施加电压的端子应接地。

对于非终身密封断路器，作为状态检查的电压试验应在试验方式L90之后进行。如果不要求进行试验方式L90，则应在T100s试验后进行。

在所有其他试验方式后，外观检查足以验证其绝缘性能。内部绝缘部件不应有击穿、闪络的证据或痕迹，但灭弧装置中暴露于电弧的部件允许有适度的烧损。

如果在容性电流试验中出现一次或多次重击穿，且容性电流试验时的峰值恢复电压低于规定的作为状态检查的电压试验的峰值电压，则应在外观检查之前按照7.2.12进行作为状态检查的电压试验。紧接着的外观检查用来验证重击穿仅出现在弧触头之间。内部绝缘部件不应有击穿、闪络的证据或永久性痕迹。只要没有降低开断能力，则灭弧装置中暴露于电弧的部件允许烧损。此外，应检查主触头之

间的绝缘间隙(如果它们不同于弧触头),不应有任何重击穿的痕迹。

如果在容性电流试验中未发生重击穿,则外观检查已经足够。

7.102.9.3 置于绝缘流体中的关合和开断单元的完整性

如果关合和开断单元置于具有不同特性的绝缘流体中,而不是大气压力下的空气中(例如,真空灭弧室置于充有 SF_6 气体的外壳中),则在原始灭弧介质发生变化时也可能承受试验电压。在短路关合和开断试验后应进行 7.2.12.102 所要求的完整性检查试验。这在容性电流试验后是不需要的。

7.102.9.4 承载连续电流能力

主触头应处于这样一种状态,特别是关于磨损、接触区、压力和运动的自由度方面,应能承载断路器的额定连续电流且其温升不超出 GB/T 11022—2020 表 14 中规定的温升限值 10 K,而对于 C1 级断路器在容性电流试验后最大温升不超出 GB/T 11022—2020 表 14 中的规定值。触头在经过任何一个短路试验方式后,只有在接触点上保留有镀银层时,才被认为是"镀银的";否则,触头应按"未镀银的"来处理(见 GB/T 11022—2020 中 7.5.5.2 中的说明 6)。

对于非终身密封断路器,外观检查通常足以验证断路器承载其额定连续电流及在额定电压下关合和开断其额定连续电流的能力。

对于终身密封断路器,下列要求适用:

——为了验证断路器承载其额定连续电流及在额定电压下关合和开断其额定连续电流的能力,按照 7.4.4 进行的作为状态检查的电阻测量是强制的;

——如果电阻的增加超过了 100%,允许在最多 10 个空载 CO 操作循环后重复进行电阻测量;

——如果电阻的增加仍然超过了 100%,在施加不超过额定连续电流最长 15 min 的持续时间后允许重新进行测量,在测量电阻前允许有最长 30 min 的冷却时间。

注:电弧的作用会导致在触头表面产生非导电层,如果在有限的电流源下测量会显示一个高的阻值。这样的值也许并不能代表触头的真实载流能力,因为在额定连续电流流经时触头接触点上的非导电层可能会消失。

——如果电阻增加依然超过 100%,则需按照 7.5 进行连续电流试验以确定试品能否承载其额定连续电流。如果关合和开断单元的端子处记录到的最大温升不超出 GB/T 11022—2020 表 14 中规定的温升限值10 K,那么断路器通过了试验。

7.102.9.5 空载试验

只有当要更换触头或进行其他类型的维护时,在一个单独的试验方式后才有必要进行空载操作。空载操作应与按照 7.102.6 进行的对应操作相比较,并应在制造厂给出的偏差范围内。

为了在完成整个关合和开断试验系列后检查断路器的操作,应按照 7.102.6 重复空载操作顺序。这些空载试验应与按照 7.102.6 进行的对应操作相比较,结果应满足 7.101.1.1 及附录 C 的要求。断路器应能令人满意地合闸和扣锁。

7.102.9.6 关合和开断试验中的维修

对于某些断路器在进行完一个试验方式后有必要进行维护。维护工作后断路器将处于一种特定的新状态。也允许更换整个断路器或断路器的主要元件。在对经过维护、维修或新的断路器继续进行试验前应证明受试断路器的机械性能与 7.101.1.1 中要求的参考机械特性一致。

在满足下列要求的前提下,制造厂应规定断路器何时需要维护、维修或更换:

a) 端子故障试验方式、近区故障试验方式或失步关合和开断试验方式中,不准许在规定的试验操作顺序间对断路器进行维护、维修或更换;

b) C1 级断路器在容性电流试验方式 1 和方式 2 期间不准许对断路器进行维护、维修或更换;C2

级断路器在预备试验、容性电流试验方式1和方式2期间不准许对断路器进行维护、维修或更换；当对线路、电缆或电容器组进行容性电流试验方式组合时，或按照7.111.11.4进行重分级试验时，也不准许对断路器进行维护、维修或更换；

c) 用于非自动重合闸工况的E2级断路器，在7.107规定的端子故障试验方式期间不应对断路器进行维护、维修或更换；

d) 用于自动重合闸和快速自动重合闸工况的E2级断路器，在7.112.2规定的试验序列期间不应对断路器进行维护、维修或更换。

7.103 关合和开断试验的总则

7.103.1 通则

该条款对关合和开断试验的一些基本考虑进行了描述。制造厂应规定所要求的值。

带有分闸电阻器的断路器还应符合附录E的要求。

7.103.2 短路关合和开断试验的试验回路

7.103.2.1 功率因数

三相回路的功率因数应取各相功率因数的平均值。

试验时，此平均值不应超过0.15。

任意一相的功率因数与平均值之差不应超出平均值的±25%。

7.103.2.2 频率

断路器应在额定频率下进行试验，频率容差为±8%。

然而，为了试验方便，超出上述容差的偏差是允许的。例如额定频率为50 Hz的断路器在60 Hz下进行试验，反之亦然，但在解释试验结果时要谨慎，宜考虑到所有重要的因素，如断路器的类型和所进行试验的类型。

7.103.2.3 试验回路的接地

短路关合和开断试验时，试验回路的对地连接应符合下述a)～d)要求，并应在试验报告的试验回路图中予以指明[见B.2.4g)]。

a) 三极断路器的三相试验，$k_{pp}=1.5$。

断路器(其底座与运行时一样接地)应接到电源中性点绝缘且短路点接地的试验回路中，如图27a)所示；或者反过来，如图27b)所示，若试验仅能按后一种方式进行的话。

按照图27a)，电源中性点可通过电阻器接地，其电阻值应尽可能大，以欧姆表示，任何情况下不应小于$U/10$，其中U为试验回路的线电压的伏特数值。

如果采用图27b)所示的试验回路，在受试断路器一个端子接地故障的情况下，可能会产生危险的接地电流。因此，允许电源的中性点通过一个适当的阻抗接地。

b) 三极断路器的三相试验，$k_{pp}=1.3$。

断路器(其底座与运行时一样接地)应接到电源中性点通过适当的阻抗接地且短路点接地的试验回路中，如图28a)所示；或者反过来，如图28b)所示，若试验仅能按后一种方式进行的话。

中性点连接的阻抗应选择适当，以获得首开极系数1.3。假定$Z_0=3.25Z_1$，则中性点连接的阻抗的适当值为0.75倍的相阻抗。

注1：图28b)中所示的试验回路不适用于极间和/或极对地绝缘关键的断路器(例如GIS断路器或外壳不带电断路器)。对于这些断路器，适当的试验方法在附录D和GB/T 4473中给出。

c) 三极断路器单极的单相试验，$k_{pp}=1.5$。

试验回路和断路器底座应按图 19a)连接，以便使电弧熄灭后带电部件和底座间的电压条件和按图 27a)所示的试验回路进行试验时三极断路器的首开极的电压条件一样。

优选的试验回路如图 19a)所示。如果受试验站设备的限制，可采用图 19b)所示的试验回路。

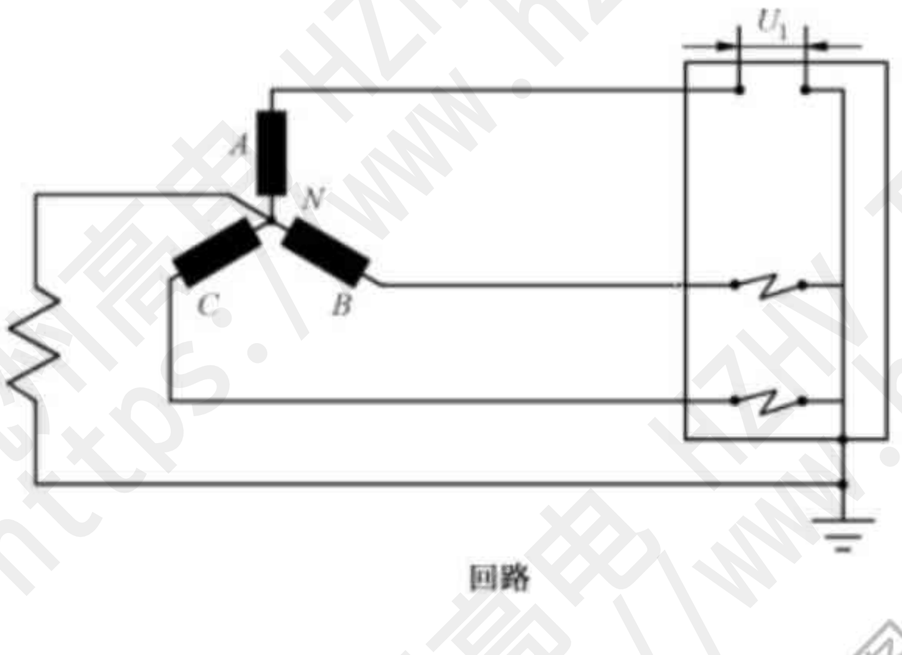
注 2：图 19b)中所示的试验回路不适用于极间和/或极对地绝缘关键的断路器(例如 GIS 断路器或外壳不带电断路器)。对于这些断路器，适当的试验方法在附录 D 和 GB/T 4473 中给出。

d) 三极断路器单极的单相试验，$k_{pp}=1.3$。

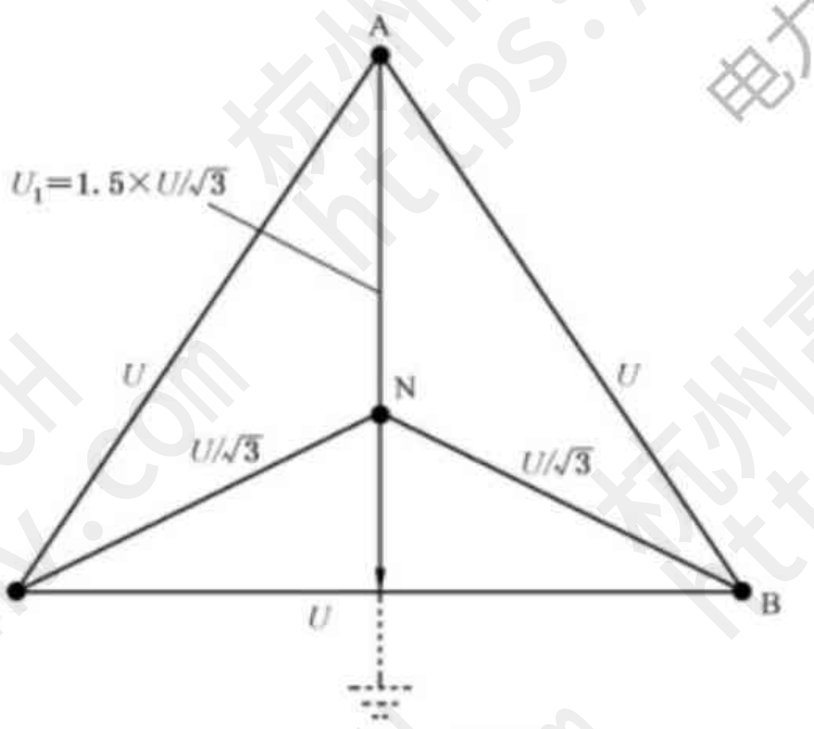
试验回路和断路器底座应按图 20a)连接，以便使电弧熄灭后带电部件和底座间的电压条件和按图 28a)所示的试验回路进行试验时三极断路器的首开极的电压条件一样。

优选的试验回路如图 20a)所示。如果受试验站设备的限制，可采用图 20b)所示的试验回路。

注 3：图 20b)中所示的试验回路不适用于极间和/或极对地绝缘关键的断路器(例如 GIS 断路器或外壳不带电断路器)。对于这些断路器，适当的试验方法在附录 D 和 GB/T 4473 中给出。

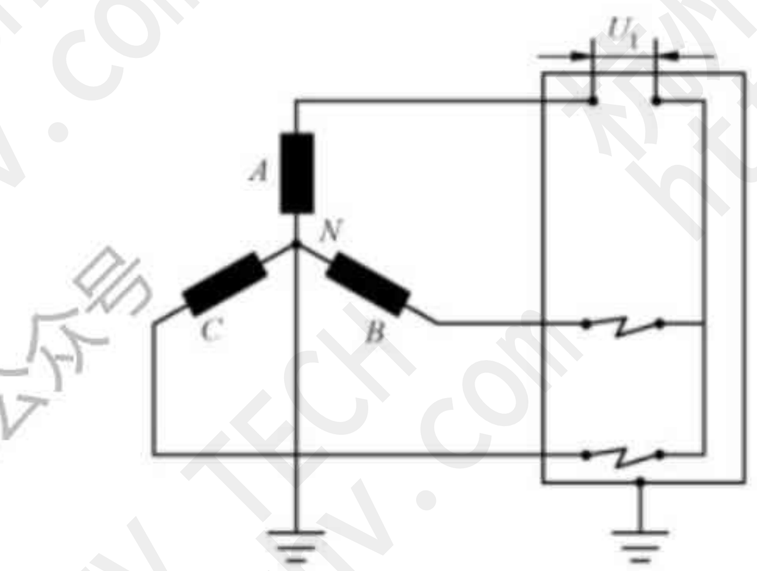


回路

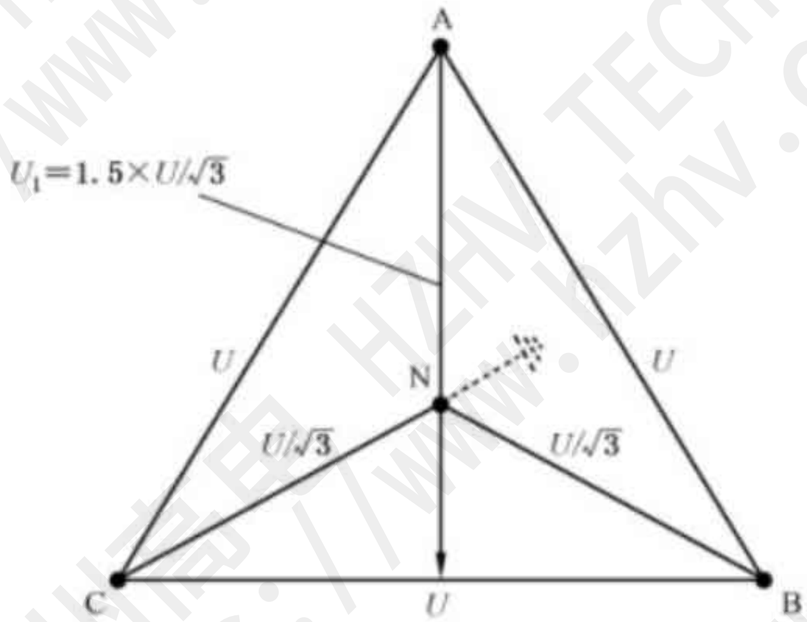


矢量图

a) 具有矢量图的优选回路



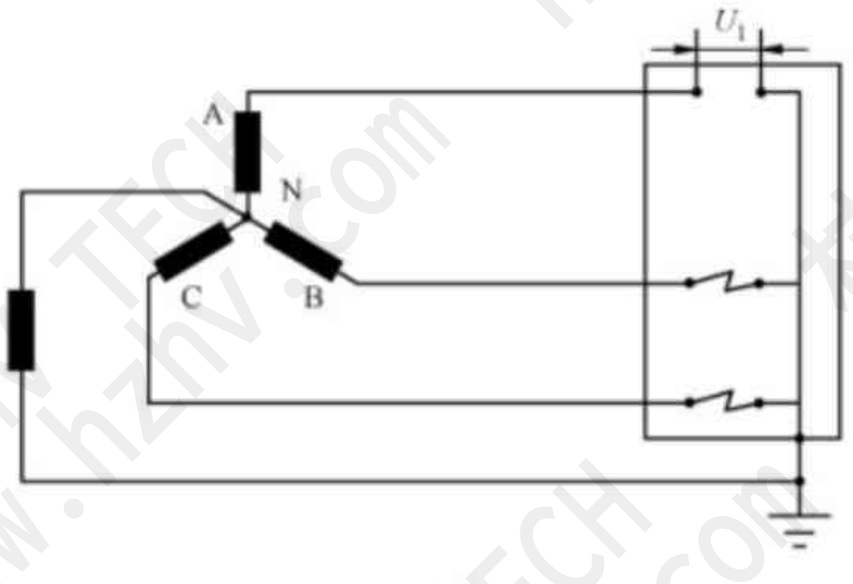
回路



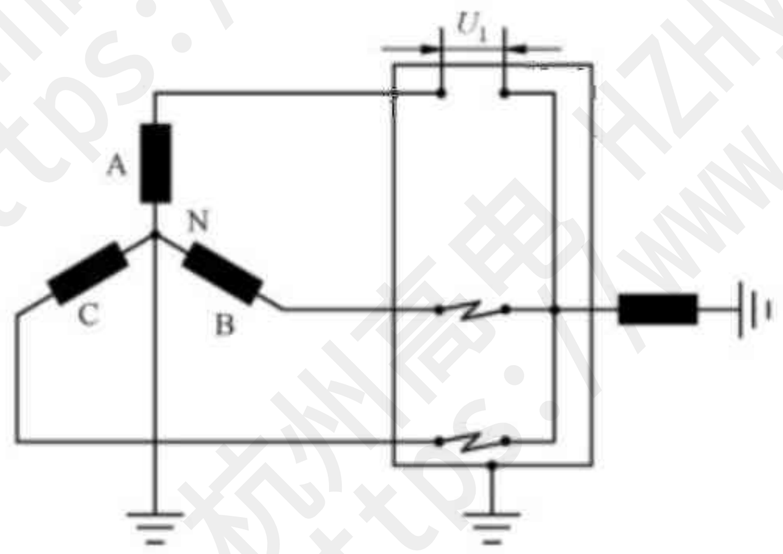
矢量图

b) 具有矢量图的替代回路

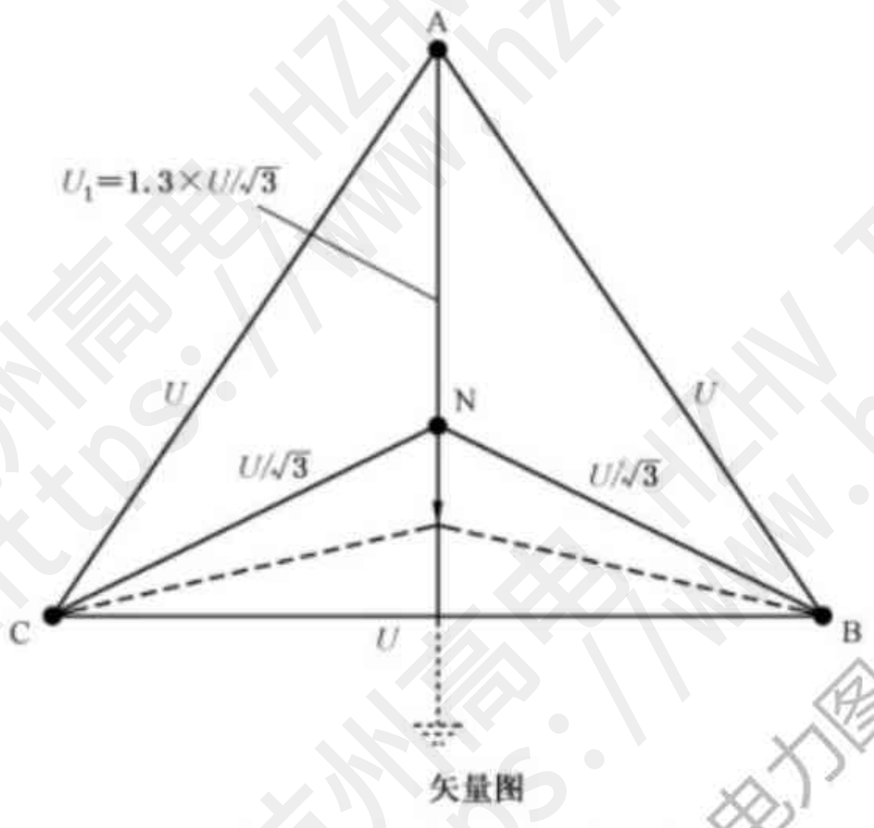
图 27 $k_{pp}=1.5$，三相短路试验的试验回路的接地



回路

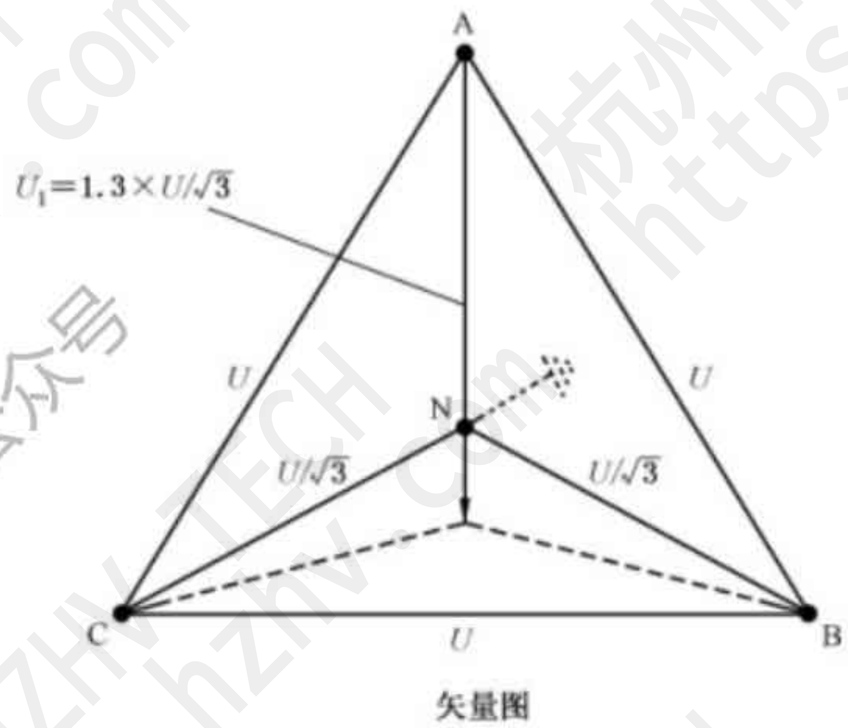


回路



矢量图

a) 具有矢量图的优选回路



矢量图

b) 具有矢量图的替代回路

图 28 $k_{pp}=1.3$，三相短路试验的试验回路的接地

7.103.2.4 试验回路与断路器的连接

如果断路器一侧的物理布置不同于另一侧的物理布置，试验时试验回路的带电侧应接到能给断路器施加在对地电压方面更严酷条件的一侧，除非断路器是仅从一侧供电的特殊设计。

若不能满意地验证哪种连接更严酷时，试验方式 T10 和 T30 应以相反的接线方式来进行，试验方式 T100s 和 T100a 亦如此。如果试验方式 T100a 省略，则试验方式 T100s 应对两种接线方式均进行试验。

7.103.3 试验期间 TRV 的测量

短路试验时，断路器的特性诸如电弧电压、弧后电导和分合闸电阻器（如装有的话）将对 TRV 产生影响。因此，试验中的 TRV 不同于以一定性能要求为基础的试验回路的预期 TRV 波形，这在一定程度上取决于断路器的特性。

TRV 特性的确定方法在附录 F 中给出。

应记录试验期间的 TRV。

7.103.4 工频恢复电压

试验回路的工频恢复电压可用下面规定的工频恢复电压百分数来表示。它应不小于规定值的95%，并应至少维持 0.3 s。

对于合成试验回路，细节和容差在 GB/T 4473 中给出。

对于 7.107 的端子故障试验方式，工频恢复电压应符合下述 a)、b)的要求。

a) 对于三极断路器的三相试验，工频恢复电压的平均值应等于断路器的额定电压 U_r 除以$\sqrt{3}$。

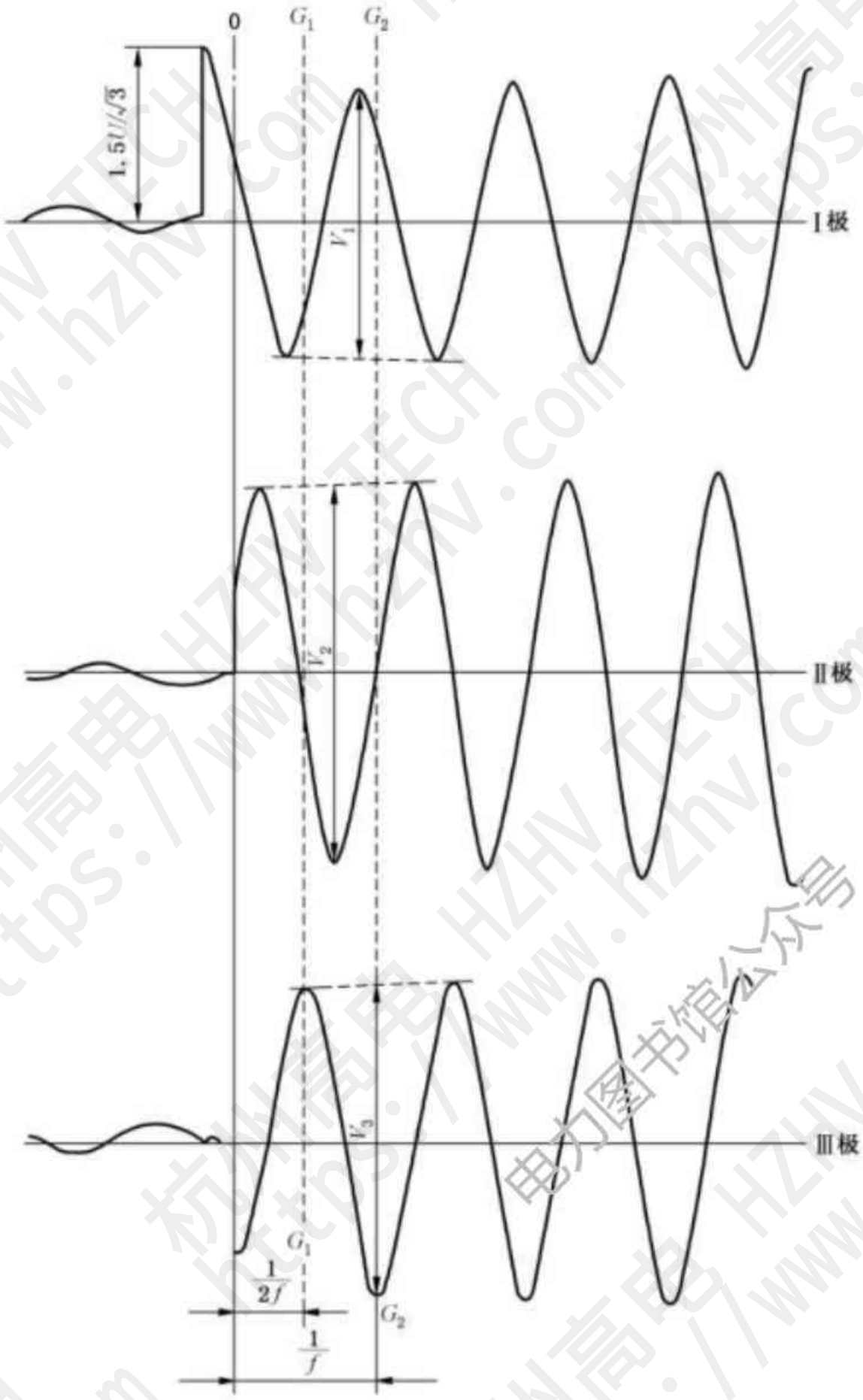
任一极的工频恢复电压在电压保持终了时刻与电压平均值的偏差不应超过 20%。

中性点有效接地系统中，应证明在断路器一极中绝缘强度的建立不充分时，不会导致燃弧延长或开断失败。应采用单相试验(7.108.2)进行验证。

b) 对于三极断路器的单相试验，其工频恢复电压应等于相对地电压值 $U_r/\sqrt{3}$ 与首开极系数(1.3或 1.5)的乘积；在额定频率 1/2 周波后工频恢复电压可降低到 $U_r/\sqrt{3}$。

工频恢复电压应在试验回路的每一相中断路器一极的端子间进行测量。其有效值应在示波图上电弧最终熄灭后试验频率的 1/2 周波和一个周波之间的时间间隔内确定，如图 29 所示。应测量出从第二半波的峰值至其前、后相应半波峰值间的连线间的垂直距离(分别为 V_1、V_2 和 V_3)，将这些值除以 $2\sqrt{2}$ 再乘以适当的标尺，即为所记录的工频恢复电压的有效值。

电力图书馆公众号



Ⅰ极——首开极；

00——所有相中电弧最终熄灭时刻；

G_1G_1——00后$\frac{1}{2f}$时刻；

G_2G_2——00后$\frac{1}{f}$时刻；

f——试验频率；

$\frac{V_1}{2\sqrt{2}}$——Ⅰ极工频恢复电压的数值；

$\frac{V_2}{2\sqrt{2}}$——Ⅱ极工频恢复电压的数值；

$\frac{V_3}{2\sqrt{2}}$——Ⅲ极工频恢复电压的数值。

在Ⅲ极中，电压峰值准确出现在G_1G_1时刻。在这种情况下，在后面的G_2G_2处测量。

$$\text{Ⅰ极、Ⅱ极和Ⅲ极的工频恢复电压的平均值}=\frac{\frac{V_1}{2\sqrt{2}}+\frac{V_2}{2\sqrt{2}}+\frac{V_3}{2\sqrt{2}}}{3}$$

该示例图解了三极断路器在中性点绝缘的三相试验回路[见图 27a)或图 27b)]中进行试验时获得的 3 个电压，导致首开极的恢复电压暂时提高 50%，如Ⅰ极所示。

图 29　工频恢复电压的确定

7.103.5　初始瞬态恢复电压(ITRV)

TRV 波形的每一部分都可能影响断路器的关合和开断能力。对某些类型的断路器，TRV 的初始部分变化可能是重要的。TRV 的这一部分叫做初始 TRV(ITRV)，是由沿着母线从第一个主要不连续点的反射波形成的低幅值的起始振荡引起的。表 10 给出了标准值。7.105.5.1 中给出了对 ITRV 参数的解释。

表 10　ITRV 的标准值——额定电压 126 kV 及以上

额定电压 U_r kV	确定 u_c 作为短路开断电流 I_{sc} 有效值的函数的乘数* f_c kV/kA	时间 t_c μs
	50 Hz	
126	0.046	0.4
252	0.069	0.6
363	0.092	0.8
550	0.116	1.0
800	0.159	1.1
1 100	0.173	1.2

* 实际的初始峰值电压由本列中的数值乘以短路电流的有效值获得。

注：这些数值覆盖了三相和单相故障并基于如下假定：母线，包括与其相连的元件（支撑件、电流和电压互感器、隔离开关等），额定电压低于 800 kV 时，粗略地用大约 260 Ω 波阻抗 Z_c 表征；额定电压为 800 kV 及以上时，粗略地用大约 325 Ω 波阻抗 Z_c 表征。f_c 和 t_c 之间的关系为：$f_c = t_c \times Z_c \times \omega \times \sqrt{2}$，式中 $\omega = 2\pi \times f_r$ 是与断路器额定频率 f_r 相应的角频率。

额定电压等于或小于 800 kV 的断路器，如果近区故障试验方式 L90 是用线路侧时延小于 100 ns（见 7.105.5.2 和 7.109.3）的试验回路进行的，且从电气的角度来看，断路器的两个端子相同，那么认为涵盖了 ITRV 的要求。如果从电气的角度来看，断路器的两个端子不同（例如，使用了 7.109.3 中提及的附加电容），那么可使用在断路器两端产生等效 TRV 的试验回路。

额定电压高于 800 kV 的断路器，如果近区故障试验方式 L90 是用线路侧时延小于 100 ns 且波阻抗为 450 Ω 进行的，且从电气的角度来看，断路器的两个端子相同，那么认为涵盖了 ITRV 的要求。如果从电气的角度来看，断路器的两个端子不同（例如，使用了 7.109.3 中提及的附加电容），那么可使用在断路器两端产生等效 TRV 的试验回路。

由于 ITRV 正比于母线波阻抗和电流，对于额定短路开断电流小于 25 kA 和额定电压小于 126 kV 的所有断路器，可忽略 ITRV 的要求。另外，GIS 断路器由于波阻抗较小，也可忽略 ITRV 的要求。对于直接和电源侧总电容值超过 800 pF 的母线相连接的断路器，ITRV 的要求也可忽略。

7.104　燃弧时间的说明

7.104.1　通则

本条款中描述的要求与预期燃弧时间的调整有关。实际的燃弧时间可能不同于预期的燃弧时间，只要实际的燃弧时间在附录 A 给出的容差范围内，则试验有效。

本条款中描述的燃弧时间足以覆盖断路器的极间不同期性所产生的影响。

下述符号的使用贯穿于本条款：

T　——额定频率一个周期的持续时间；

t_{a100s}　——在三相试验中，t_{a100s} 是试验方式 T100s 开断操作中任意首开极的最短燃弧时间；

在单相试验中，t_{a100s} 是试验方式 T100s 的最短燃弧时间；

$d\alpha = 18°$；

τ　——额定短路开断电流的直流时间常数；

$\hat{I}$　——开断前最后大半波或延长大半波的短路电流峰值的标幺值；

Δt_1 ——首开极最后大半波的持续时间；

Δt_2 ——$k_{pp}=1.5$ 时后开极延长大半波的持续时间；

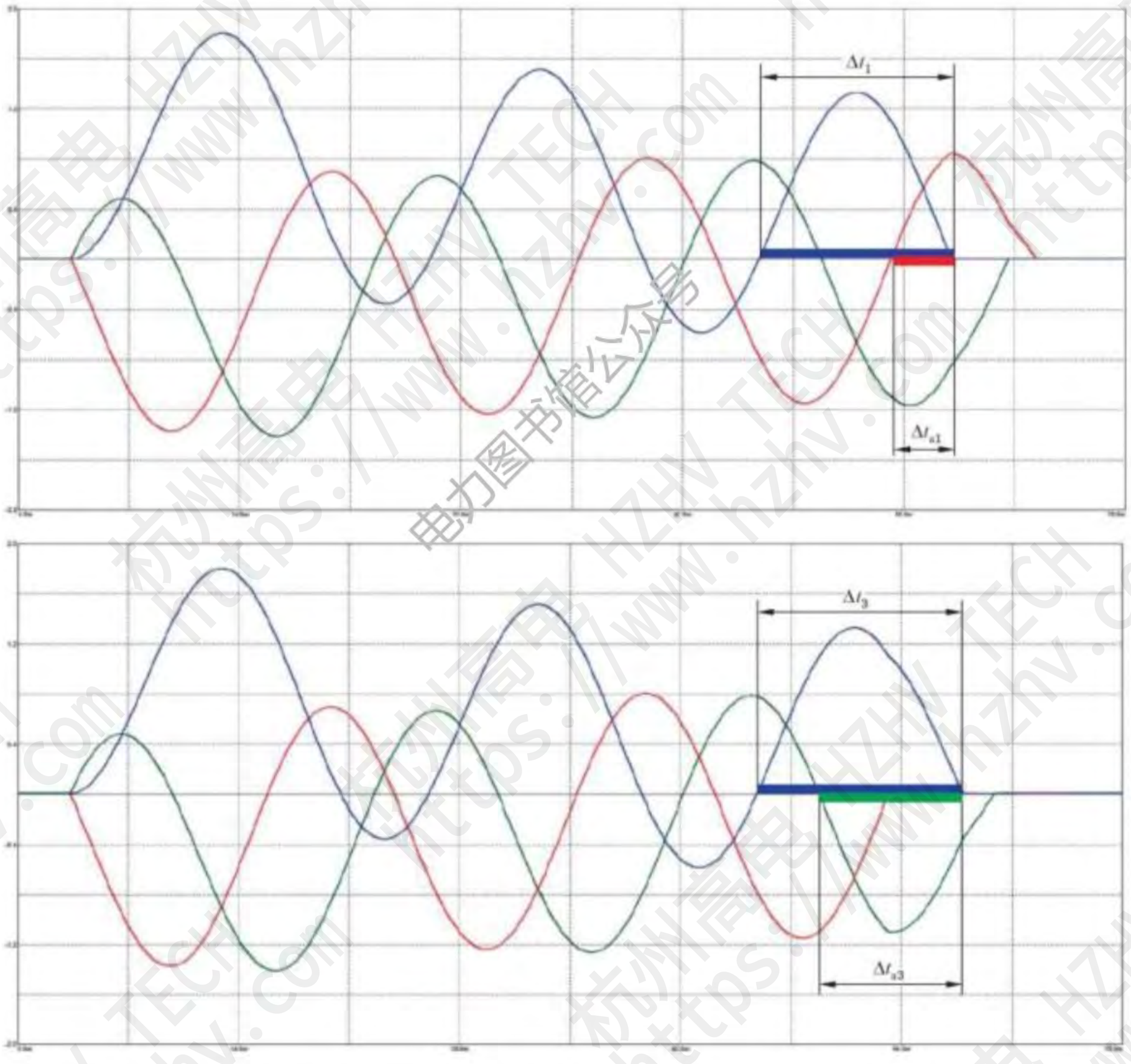
Δt_3 ——$k_{pp}=1.3$ 时第二开断极延长大半波的持续时间；

Δt_{a1} ——具有要求的非对称条件的首开极大半波电流开断时刻与之前第一个电流零点间的时间间隔；

Δt_{a2} ——$k_{pp}=1.5$ 时具有要求的非对称条件的后开极延长大半波电流开断时刻与之前第二个电流零点间的时间间隔；

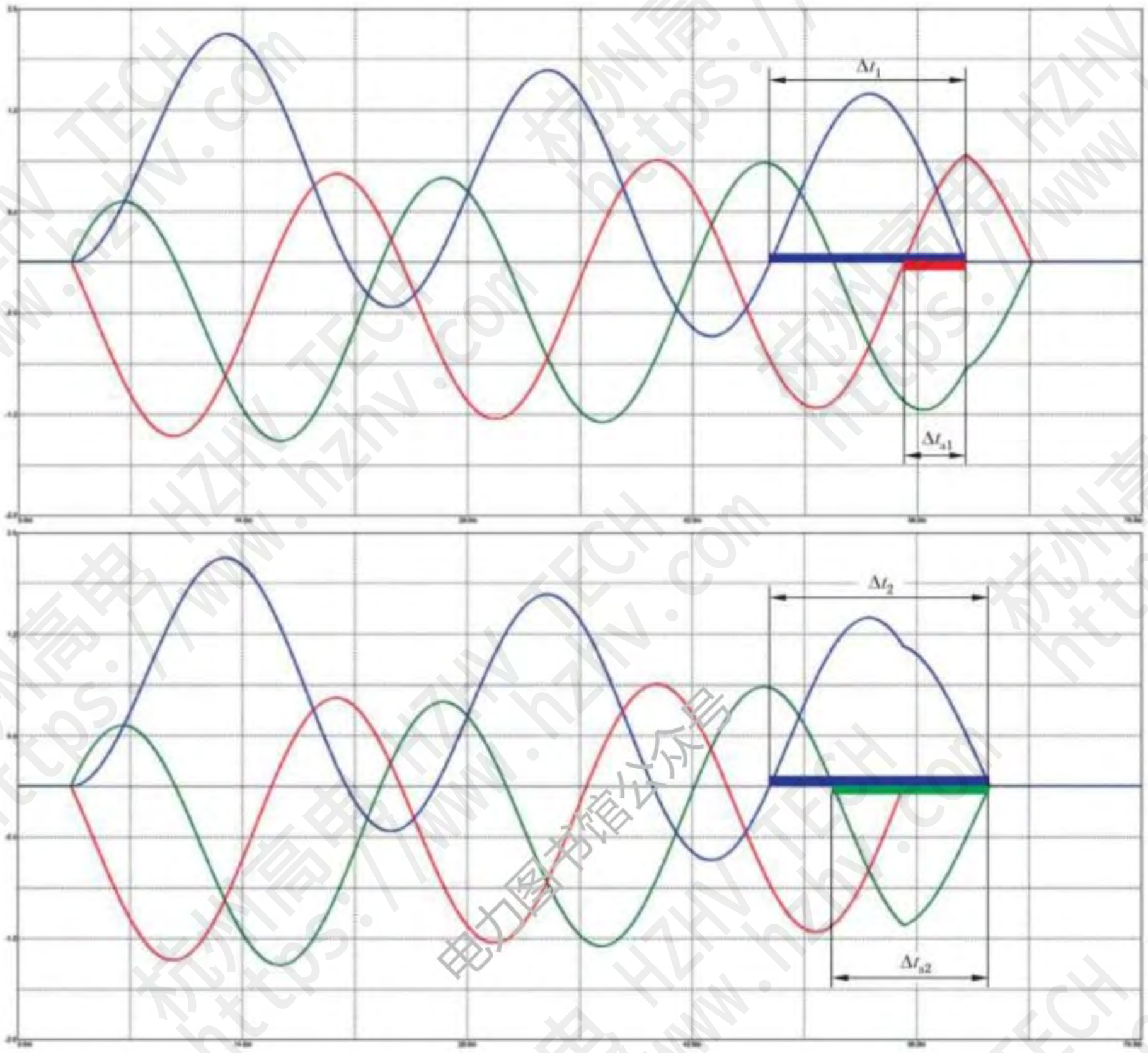
Δt_{a3} ——$k_{pp}=1.3$ 时具有要求的非对称条件的第二开断极延长大半波电流开断时刻与之前第二个电流零点间的时间间隔。

关于 Δt_1、Δt_2、Δt_3、Δt_{a1}、Δt_{a2} 和 Δt_{a3} 的解释见图 30。



a） $k_{pp}=1.3$ 时的时间参数

图 30 试验方式 T100a 三相试验燃弧时间的说明中时间参数的图例



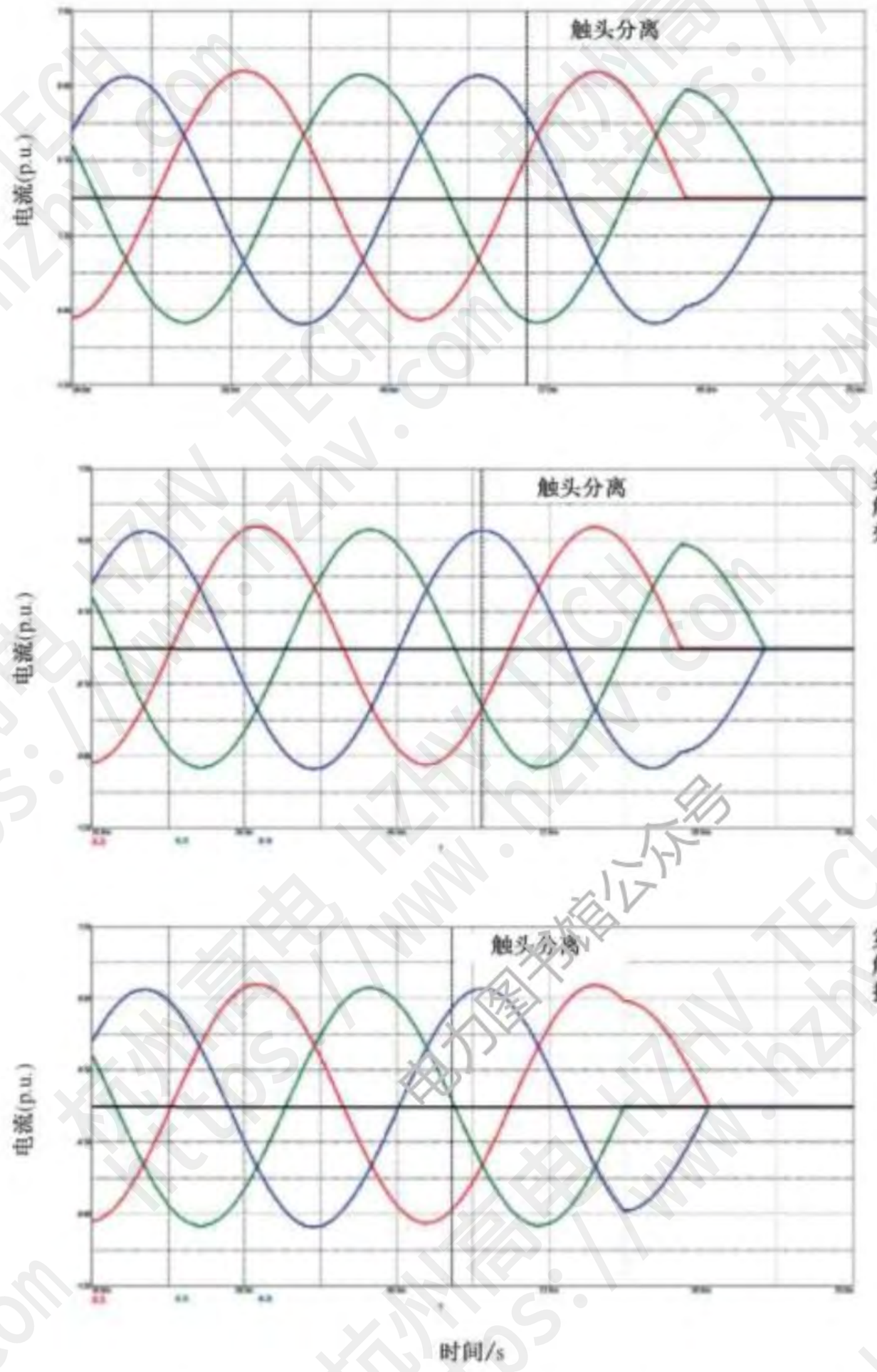
b) $k_{pp}=1.5$ 时的时间参数

图 30 试验方式 T100a 三相试验燃弧时间的说明中时间参数的图例（续）

7.104.2 三相试验

7.104.2.1 试验方式 T10、T30、T60、T100s、T100s(b)

对于这些试验，每个分闸操作间脱扣脉冲应提前 40 电角度(40°)。对于 T100s(b)，见 7.107.1。3 次有效开断操作的图例，对于 $k_{pp}=1.5$，在图 31 中给出；对于 $k_{pp}=1.3$，在图 32 中给出。

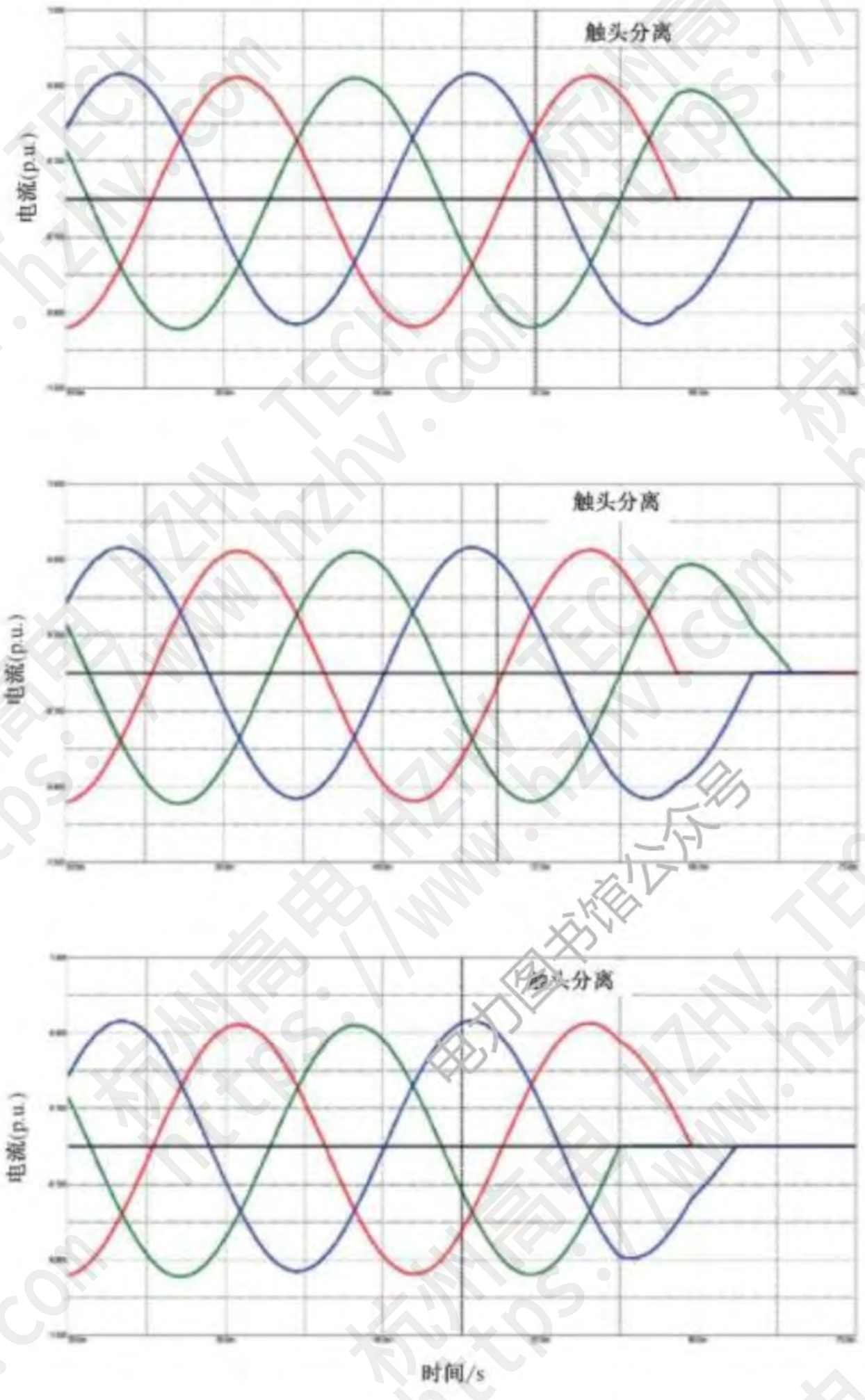


第一次有效开断操作

第二次有效开断操作
触头分离比第一次有效开断操作提前40°

第三次有效开断操作
触头分离比第二次有效开断操作提前40°

图 31　k_{pp} = 1.5.三相试验时 3 次有效对称开断操作的图例



第一次有效开断操作

第二次有效开断操作

触头分离比第一次有效开断操作提前40°

第三次有效开断操作

触头分离比第二次有效开断操作提前40°

图 32　k_{pp} = 1.3，三相试验时 3 次有效对称开断操作的图例

7.104.2.2　试验方式 T100a

为了使非对称的要求从一相转移到另一相，各次试验之间要调整短路起始相角。

如果预期电流满足下列非对称判据，则开断操作有效：

——开断前短路电流最后半波峰值 $\hat{I}$ 在要求值的 90%～110%，且开断前短路电流最后半波持续时间 Δt 在要求值的 90%～110%；

——开断前“$\hat{I} \times \Delta t$”的乘积在要求值的 90%～110%。

表 11 给出了开断前最后大半波应获得的短路电流峰值和半波持续时间的要求预期值。

表 11　与短路试验方式 T100a 相关的三相试验和单相试验替代三相条件中最后电流半波的参数(运行频率为 50 Hz)

τ	最短开断时间 t	$\hat{I}$	$k_{pp}=1.5$ 或 1.3		$k_{pp}=1.5$		$k_{pp}=1.3$	
			Δt_1	Δt_{a1}	Δt_2	Δt_{a2}	Δt_3	Δt_{a3}
ms	ms	p.u.	ms	ms	ms	ms	ms	ms
45	$10.0<t\leqslant27.0$	1.52	13.6	4.1	15.0	10.6	14.4	10.0
	$27.0<t\leqslant47.5$	1.33	12.2	3.8	13.7	9.8	13.1	9.1
	$47.5<t\leqslant68.0$	1.21	11.4	3.7	12.9	9.2	12.3	8.6
60	$10.0<t\leqslant27.0$	1.61	14.2	4.3	15.6	11.1	15.1	10.5
	$27.0<t\leqslant47.5$	1.44	12.9	4.0	14.3	10.2	13.8	9.6
	$47.5<t\leqslant67.5$	1.31	12.1	3.8	13.6	9.7	12.9	9.1
	$67.5<t\leqslant88.0$	1.22	11.4	3.7	13.0	9.3	12.3	8.6
75	$10.0<t\leqslant27.0$	1.67	14.8	4.4	16.1	11.3	15.6	10.8
	$27.0<t\leqslant47.5$	1.51	13.4	4.2	14.9	10.6	14.3	10.0
	$47.5<t\leqslant67.5$	1.39	12.6	3.9	14.1	10.1	13.4	9.4
	$67.5<t\leqslant87.5$	1.30	12.0	3.8	13.5	9.7	12.8	9.0
	$87.5<t\leqslant108.0$	1.23	11.5	3.7	13.1	9.3	12.4	8.7
120	$10.0<t\leqslant27.0$	1.78	15.8	4.8	17.0	11.9	16.6	11.4
	$27.0<t\leqslant47.5$	1.66	14.6	4.4	15.9	11.3	15.3	10.8
	$47.5<t\leqslant67.5$	1.56	13.8	4.3	15.2	10.8	14.6	10.3
	$67.5<t\leqslant87.5$	1.47	13.2	4.1	14.6	10.4	14.0	9.8
	$87.5<t\leqslant108.0$	1.40	12.6	4.0	14.1	10.1	13.5	9.5

当最后电流半波参数在规定容差范围内时，电流零点的直流分量、与之相关的 di/dt 以及随后的 TRV 峰值与用额定值进行计算的结果相比偏差在可接受的范围内。

试验的目的是获得 3 次有效试验，如果满足下述 a)～c)条件则认为通过了该试验方式。在证明 3 次有效试验中没有优选的顺序。

a)　一次操作的首开极熄弧时刻出现在电流大半波末且具有尽可能最长的燃弧时间以及所要求的非对称判据。

当满足下列要求时，就得到了首开极尽可能最长的燃弧时间 t_{arc1}：

$$t_{arc1}=\left(t_{a100s}-T\times\frac{d\alpha}{360^\circ}\right)+\Delta t_{a1}$$

b)　一次操作的后开极或第二开断极熄弧时刻出现在延长的电流大半波末且具有尽可能最长的燃弧时间以及所要求的非对称判据。

——当满足下列要求时，就得到了 $k_{pp}=1.5$ 的断路器后开极尽可能最长的燃弧时间 t_{arc2}：

$$t_{arc2}=\left(t_{a100s}-T\times\frac{d\alpha}{360^\circ}\right)+\Delta t_{a2}$$

——当满足下列要求时，就得到了 $k_{pp}=1.3$ 的断路器第二开断极尽可能最长的燃弧时间 t_{arc3}：

$$t_{arc3}=\left(t_{a100s}-T\times\frac{d\alpha}{360^\circ}\right)+\Delta t_{a3}$$

c) 如果已满足 a)和 b)中要求的条件，则第 3 次操作熄弧时刻可能发生在：

——首开极电流大半波末，或

——$k_{pp}=1.5$ 的断路器的后开极延长的电流大半波末，或

——$k_{pp}=1.3$ 的断路器的第二开断极延长的电流大半波末。

对燃弧时间没有要求。

Δt_{a1}、Δt_{a2} 和 Δt_{a3} 为从表 11 选取的相关时间参数。

对于 $k_{pp}=1.3$ 的断路器，T100a 最后开断极电流开断的条件被试验方式 T100s 所覆盖。

某些断路器在大半波或延长大半波末在要求的燃弧时间后未开断，但是，如果断路器在随后的小半波末开断并证明获得了尽可能最长的燃弧时间，则此次试验有效。

如果断路器的特性使得无法满足 a)和 b)要求的条件，那么应改变断路器脱扣命令 18°以继续试验。如果试验期间因为最短燃弧时间不同于 t_{a100s} 而无法获得要求的燃弧时间时，应证明可能获得的最长燃弧时间。当试图满足这些要求时，试验总次数限制为 6 次。6 次试验后，无论获得怎样的燃弧时间，都认为断路器通过了该试验方式。

在进行增加的操作之前，断路器可用可更换的部件进行维修(见 7.102.9.6)或用第二台试品替换。

3 次有效开断操作的图例，对于 $k_{pp}=1.5$，在图 33 中给出；对于 $k_{pp}=1.3$，在图 34 中给出。

电力图书馆公众号

电力工程资料

独家精华资料

电力工程技术方面 22G 3000多份精华资料集

资源合集内容为电力工程相关,包含电力工程设计、施工，
电气设备、电力电子等资源.非常全面!

长按二维码前往下载

可下载上万份电力行业精选资料

电力PPT培训课件

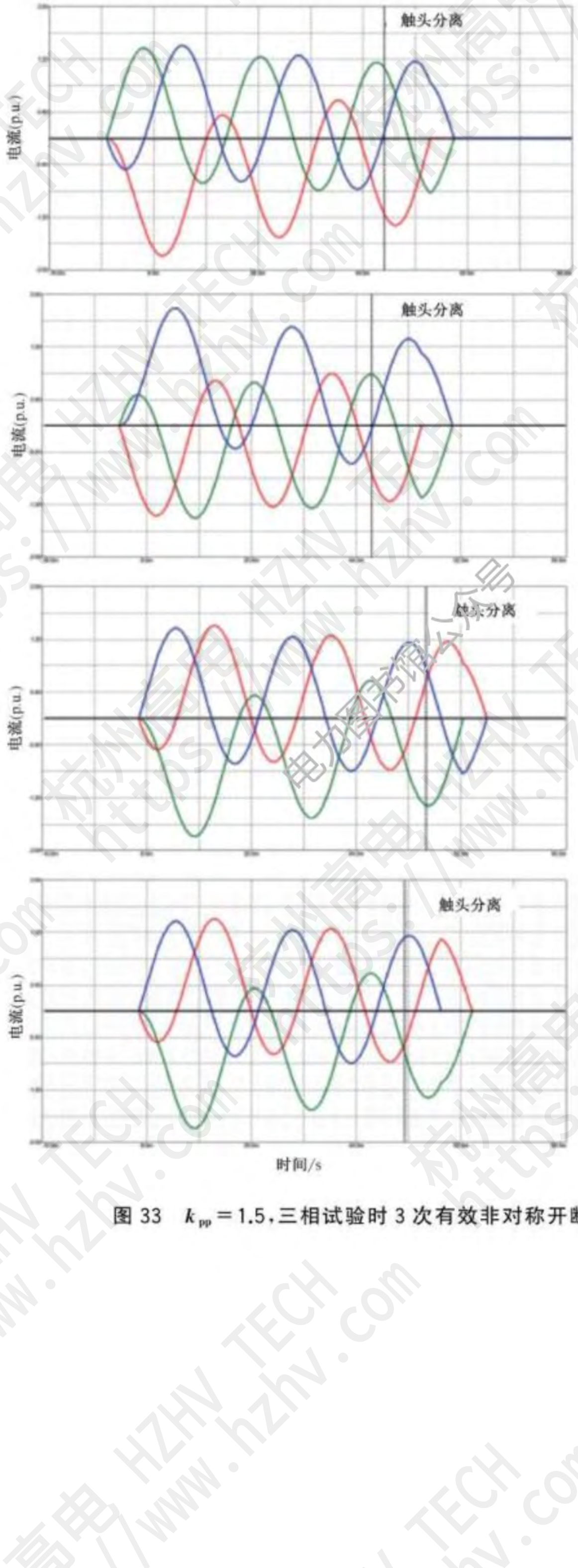
独家精华资料

平台七年所发布的PPT课件均已上传

平台七年所发布的PPT 6000份课件均已上传

长按二维码加入星球下载

已有9999+人加入学习



第一次有效开断

首开极大半波并具有要求的最长燃弧时间

(假定 t_{a100} = 5 ms)

第二次有效开断

电流起始时刻较第一次有效开断操作落后60°
后开极在延长大半波具有要求的最长燃弧时间

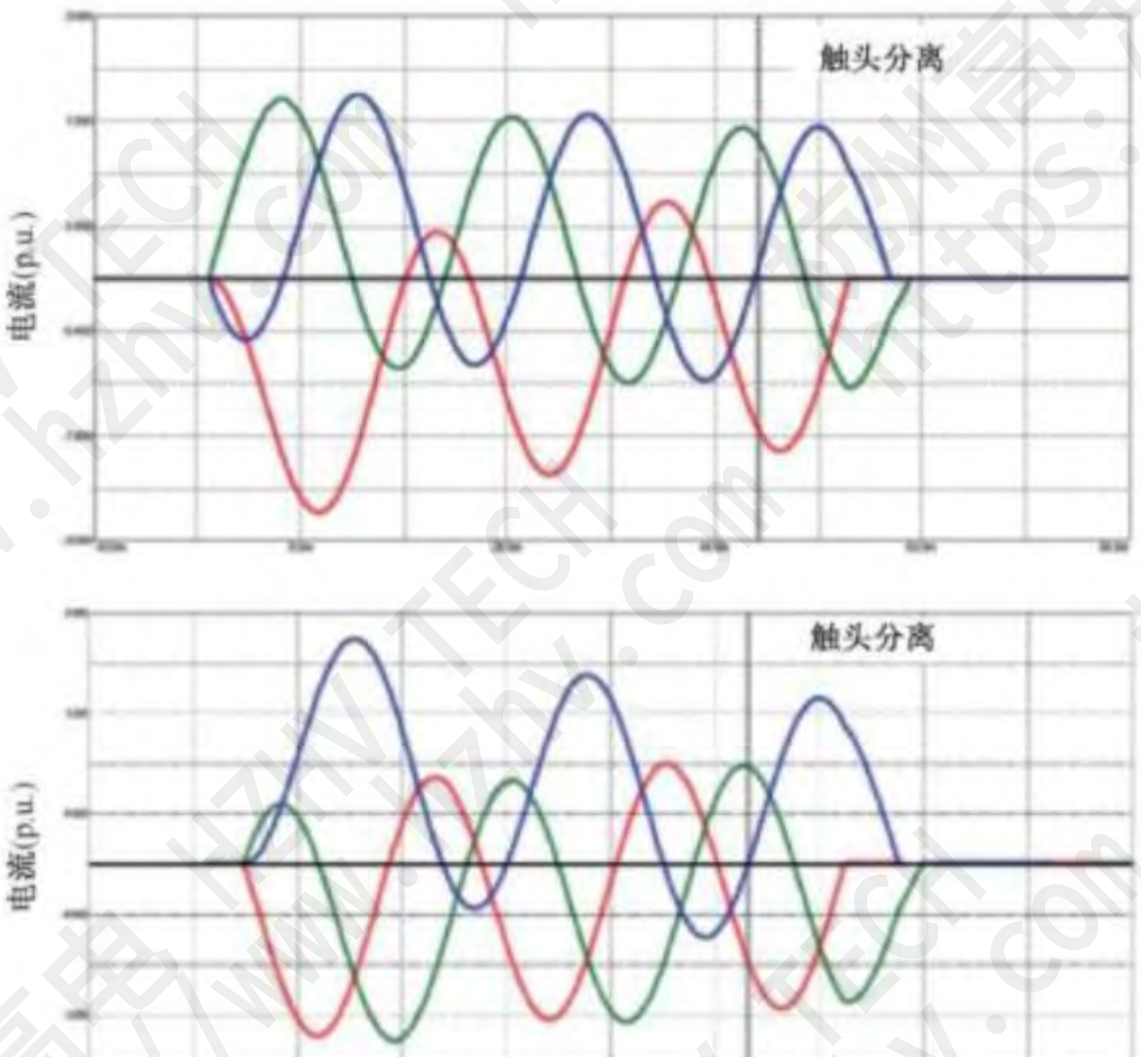
第三次有效开断操作 选项1

电流起始时刻较第二次有效开断操作落后60°，首开极大半波不要求燃弧时间

第三次有效开断操作 选项2

电流起始时刻较第二次有效开断落后60°，后开极延长大半波不要求燃弧时间

图 33 k_{pp} = 1.5，三相试验时 3 次有效非对称开断操作的图例



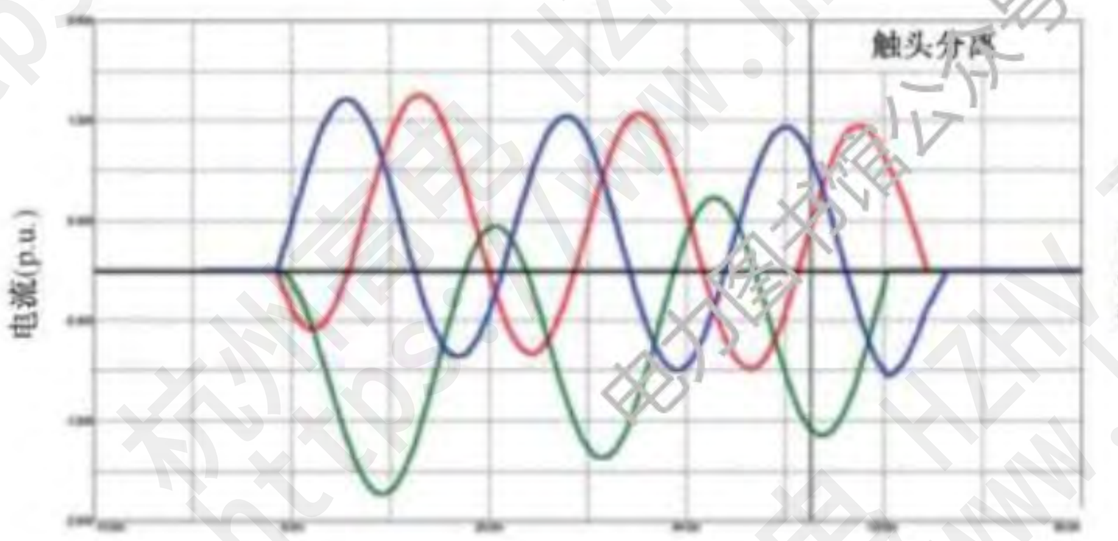
第一次有效开断操作

首开极大半波具有要求的最长燃弧时间

(假定 t_{a100s} = 5 ms)

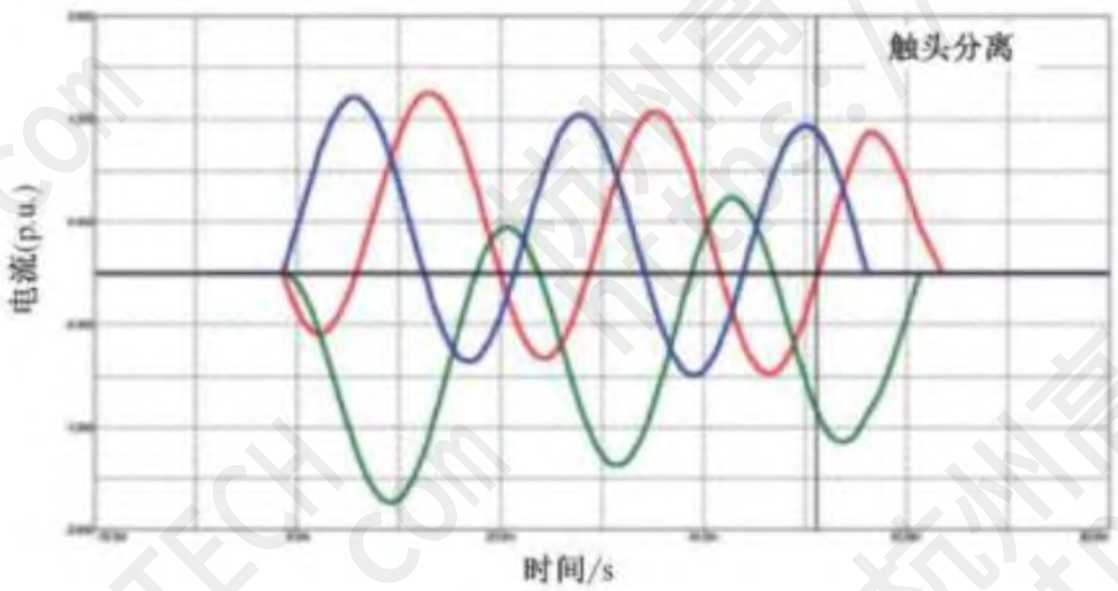
第二次有效开断操作

电流起始时刻较第一次有效开断操作落后60°，第二开断极延长大半波具有要求的最长燃弧时间



第三次有效开断操作 选项1

电流起始时刻较第二次有效开断操作落后60°，首开极大半波不要求燃弧时间



第三次有效开断操作 选项2

电流起始时刻较第二次有效开断落后60°，第二开断极延长大半波不要求燃弧时间

图 34 k_{pp} = 1.3，三相试验时 3 次有效非对称开断操作的图例

7.104.2.3 涵盖 k_{pp} = 1.3 和 k_{pp} = 1.5 条件的试验

为了涵盖 k_{pp} = 1.3 和 k_{pp} = 1.5 的性能，宜采用 7.103.2.3 中描述的具有规定接地的试验回路进行两个单独的试验系列。

如果已经完成了证明 k_{pp} = 1.5 的断路器性能的全部试验方式系列，没有必要重复标准要求的所有

端子故障试验方式以证明 $k_{pp}=1.3$ 的断路器的性能，应模拟 $k_{pp}=1.3$ 的试验回路（见 7.103.2.3）重复进行试验方式 T100s 和 T100a。

当三相试验不便实施时，作为替代，可用下述规定的附加的单相试验替代 $k_{pp}=1.3$ 的三相试验回路重复进行试验方式 T100s 和 T100a。在这种情况下，不要求依据 7.102.4.1 进行三相验证试验。该单相试验可用于除了共箱型金属封闭断路器（因为该类型的断路器气体会直接在相间相互作用，见 7.102.3.2和 D.4.1）外的其他所有类型的断路器。

试验应按照下述参数进行。

——第一次试验应证明在中性点有效接地系统中的对称故障条件下第二开断极的性能。燃弧时间应整定为：

$$t_{arc}=t_{a100s}+T\times\frac{119^\circ}{360^\circ}$$

TRV 参数应按照表 12 调整。

试验电压为 $1.26\times\frac{U_r}{\sqrt{3}}$，并且在电流开断后额定频率的 1/2 周期后电压可降低至 $\frac{U_r}{\sqrt{3}}$。

表 12　单相试验替代三相试验的预期 TRV 参数（验证 $k_{pp}=1.3$ 的第二开断极的开断）

k_{pp}	额定电压					
	$U_r<126$ kV 两参数 TRV		$U_r\geqslant126$ kV 四参数 TRV			
	$u_{c,sp}$	$t_{3,sp}$	$u_{1,sp}$	$t_{1,sp}$	$u_{c,sp}$	$t_{2,sp}$
1.3	$1.26\times k_{af}\times\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\times U_r$	$\frac{u_{c,sp}}{(u_c/t_3)\times0.95}$	$0.75\times\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\times U_r$	$\frac{u_{1,sp}}{(u_1/t_1)\times0.95}$	$1.26\times k_{af}\times\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\times U_r$	*
* 126 kV$\leqslant U_r\leqslant$800 kV 为 $4\times t_{1,sp}$，$U_r>$800 kV 为 $3\times t_{1,sp}$。						

——第二次试验应证明在中性点有效接地系统中的对称故障条件下第三开断极的性能。燃弧时间应整定为：

$$t_{arc}=t_{a100s}+T\times\frac{162^\circ}{360^\circ}$$

TRV 参数应按照表 13 调整。

试验电压为 $\frac{U_r}{\sqrt{3}}$。

表 13　单相试验替代三相试验的预期 TRV 参数（验证 $k_{pp}=1.3$ 的第三开断极的开断）

k_{pp}	额定电压					
	$U_r<126$ kV 两参数 TRV		$U_r\geqslant126$ kV 四参数 TRV			
	$u_{c,sp}$	$t_{3,sp}$	$u_{1,sp}$	$t_{1,sp}$	$u_{c,sp}$	$t_{2,sp}$
1.3	$k_{af}\times\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\times U_r$	$\frac{u_{c,sp}}{(u_c/t_3)\times0.7}$	$0.75\times\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\times U_r$	$\frac{u_{1,sp}}{(u_1/t_1)\times0.7}$	$k_{af}\times\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\times U_r$	*
* 126 kV$\leqslant U_r\leqslant$800 kV 为 $4\times t_{1,sp}$，$U_r>$800 kV 为 $3\times t_{1,sp}$。						

可用第二开断极要求的预期 TRV 峰值和第三开断极要求的燃弧时间组合的方式进行对称电流的

单相试验。

——应进行一次非对称电流满足 7.104.2.2 中规定的非对称判据的附加的单相故障试验。这个附加的单相试验应证明断路器在非对称故障电流延长大半波下第二和第三开断极的性能。

试验电压为 $1.26\times U_r/\sqrt{3}$，用以验证 $k_{pp}=1.3$ 并且在电流开断后额定频率的 1/4 周期后电压可降低至 $U_r/\sqrt{3}$。

当电流最后半波参数在要求的容差范围内时，电流零点的直流分量、与之相关的 di/dt 以及随后的 TRV 峰值与用额定值进行计算的结果相比偏差也在可接受的范围内。

燃弧时间应为以 $k_{pp}=1.5$ 的 T100s 试验方式中的最短燃弧时间为基础计算得到的三相条件的最长燃弧时间。

$$t_{arc}=\left(t_{a100s}-T\times\frac{da}{360^\circ}\right)+\Delta t_{a3}$$

其中，Δt_{a3} 为从表 11 选取的相关时间参数。

7.104.3 单相试验代替三相试验条件，失步和近区故障试验

7.104.3.1 通则

确定最短燃弧时间的程序可能导致最长燃弧时间或超过最长燃弧时间的试验。下述单相试验的目的是为了在同一试验回路中满足每一试验方式中首开极、第二开断极和后开极的条件。

如果额定操作顺序的所有操作满足 6.101 的要求，下述 7.104.3.2、7.104.3.3 给出的程序适用。

7.104.3.2 试验方式 T10、T30、T60、T100s、T100s(b)、OP1 和 OP2 、L90、L75 和 L60

每一试验方式应由 3 次有效开断操作组成。每一试验方式的开断操作顺序不做规定。

一次有效开断操作，应验证在尽可能短的燃弧时间时的开断性能，所产生的燃弧时间被称为最短燃弧时间(t_{arcmin})。它可通过这样的方法获得：触头分离相对于电流波形增加任一额外时延后，可导致在下一个电流零点开断。这个最短燃弧时间可通过步长为 18°改变脱扣命令的整定值来获得。

另一次有效开断操作，应验证在最长燃弧时间时的开断性能。要求的最长燃弧时间被称为 t_{arcmax}，并由以下方式确定：

——对于 $k_{pp}=1.3$(失步试验 $k_{pp}=2.0$)的断路器和近区故障试验，

$$t_{arcmax}=t_{arcmin}+T\times\frac{162^\circ}{360^\circ}$$

——对于 $k_{pp}=1.5$(失步试验 $k_{pp}=2.5$)的断路器，

$$t_{arcmax}=t_{arcmin}+T\times\frac{132^\circ}{360^\circ}$$

式中

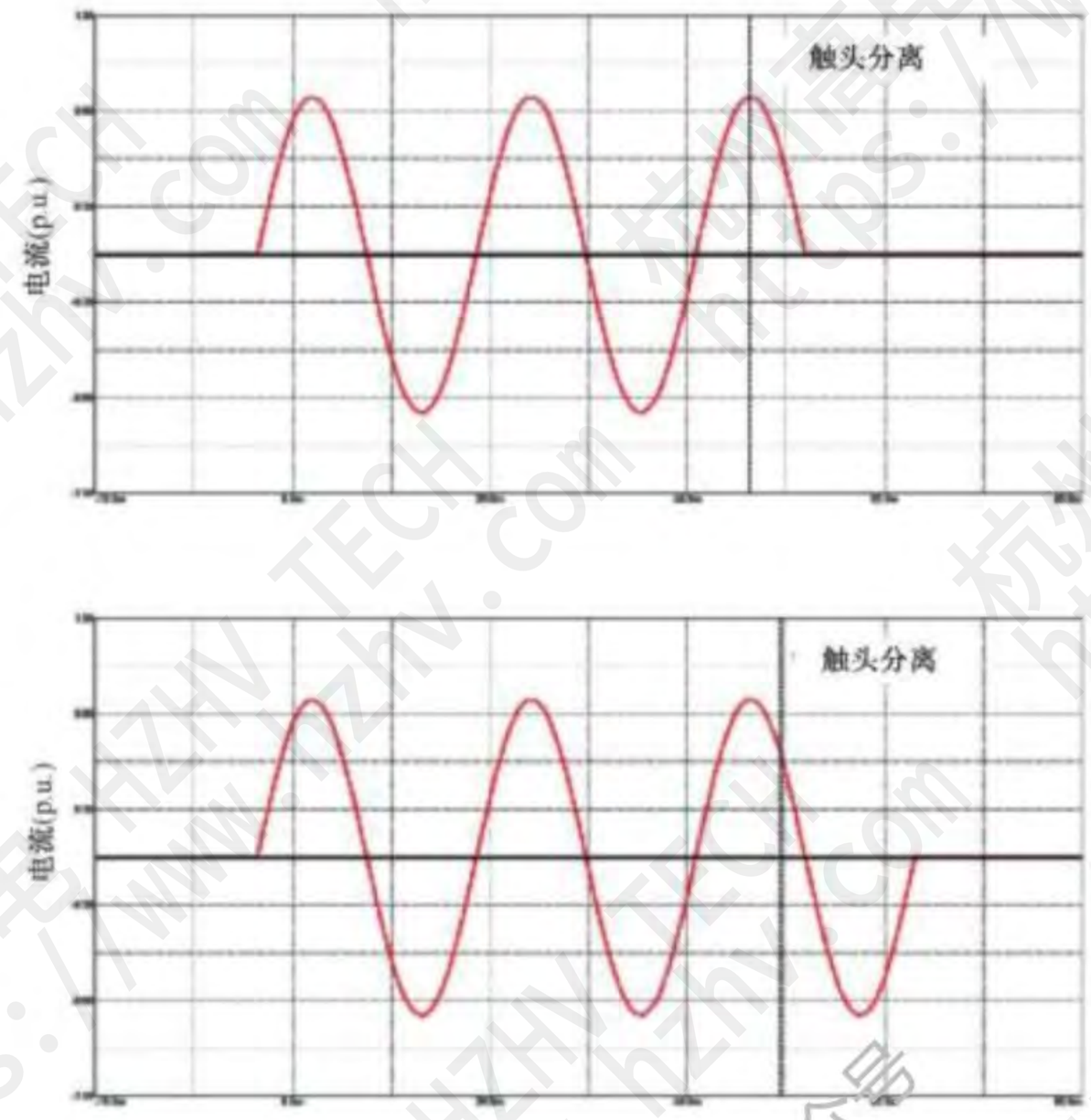
t_{arcmin}——第一次有效开断操作中获取的最短燃弧时间。

第三个有效开断操作，应验证在燃弧时间近似等于最短燃弧时间和要求的最长燃弧时间的平均值时的开断性能。该燃弧时间称为中燃弧时间(t_{arcmed})并由下式确定：

$$t_{arcmed}=(t_{arcmax}+t_{arcmin})/2$$

如果断路器没有在中燃弧和/或长燃弧时间预期电流零点开断而是在紧接着的下一个电流零点开断，不要求进行附加试验。

3 次有效开断操作的图例，对于 $k_{pp}=1.5$，在图 35 中给出；对于 $k_{pp}=1.3$，在图 36 中给出。



第一次有效开断操作

最短燃弧时间

第二次有效开断操作

最长燃弧时间

第三次有效开断操作

中燃弧时间

图 35　k_{pp}=1.5，单相试验代替三相条件时 3 次有效对称开断操作的图例

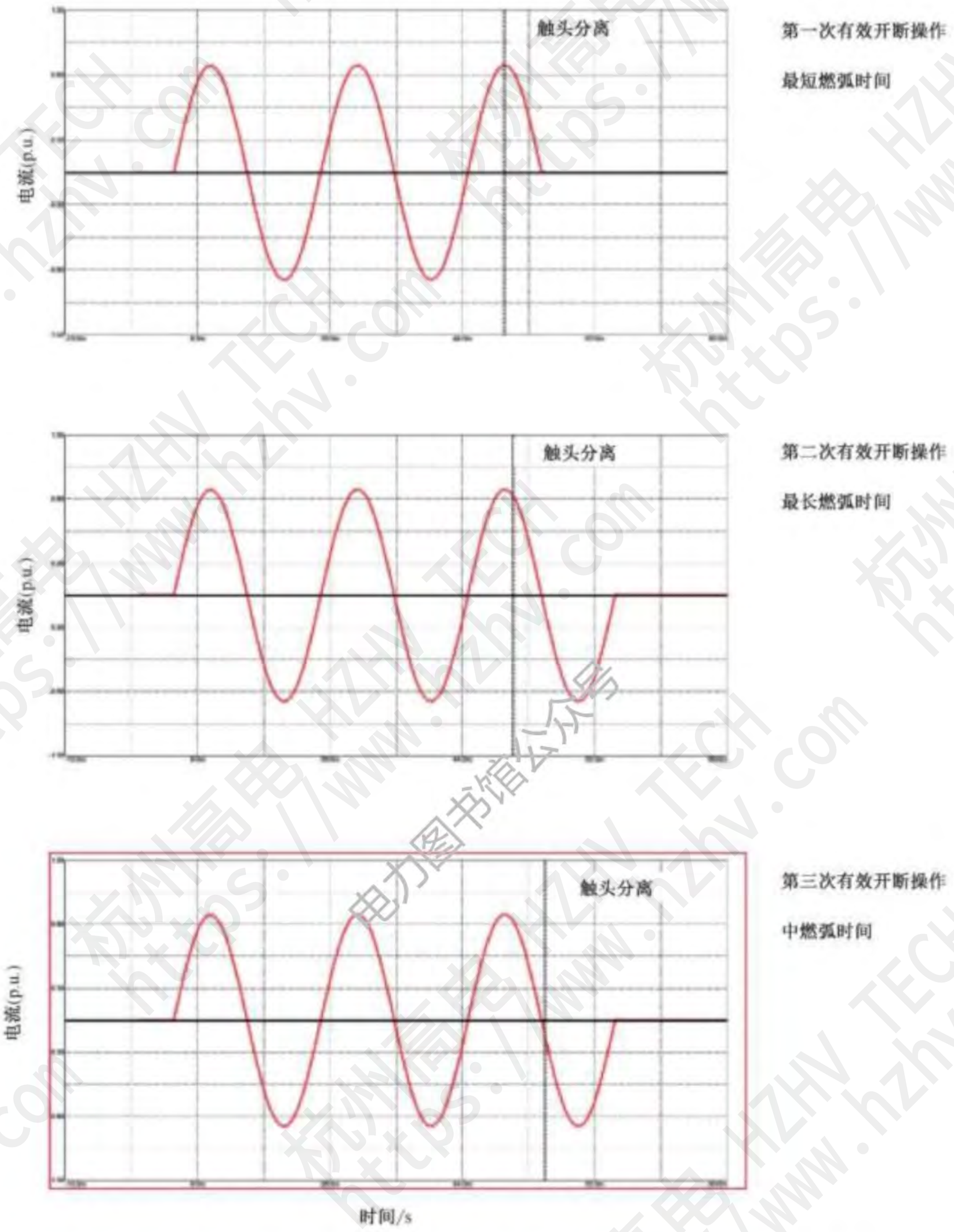


图 36 k_{pp}=1.3,单相试验代替三相条件时 3 次有效对称开断操作的图例

7.104.3.3 试验方式 T100a

如果预期电流满足 7.104.2.2 中规定的非对称判据则开断操作有效。表 11 给出了开断前最后半波应达到的短路电流峰值和持续时间的要求值。所有试验都应用首开极的电流参数来进行。

一次开断操作应验证在大半波末的开断,燃弧时间等于三相条件下首开极的最长燃弧时间 t_{arc1} 等。

当满足下列条件时,这就实现了:

$$t_{arc1}=t_{a100s}+\Delta t_{a1}-T\times\frac{d\alpha}{360^\circ}$$

另一次开断操作应验证在大半波末的开断,燃弧时间等于三相条件下延长大半波的最长燃弧时间。

——对于 $k_{pp}=1.5$ 的断路器，后开极燃弧时间 t_{arc2}，

当满足下列条件时，这就实现了：

$$t_{arc2}=t_{a100s}+\Delta t_{a2}-T\times\frac{d\alpha}{360^\circ}$$

——对于 $k_{pp}=1.3$ 的断路器，第二开断极燃弧时间 t_{arc3}，

当满足下列条件时，这就实现了：

$$t_{arc3}=t_{a100s}+\Delta t_{a3}-T\times\frac{d\alpha}{360^\circ}$$

Δt_{a1}、Δt_{a2} 和 Δt_{a3} 为从表 11 选取的相关时间参数。

第三次开断操作应证明，对 $k_{pp}=1.5$ 的断路器，在首开极大半波末或后开极延长大半波末的开断；或者对 $k_{pp}=1.3$ 的断路器，在首开极大半波末或第二开断极延长大半波末的开断。对燃弧时间没有要求。

如果断路器在要求的大半波末开断失败而在紧接着的小半波末成功开断，那么要求的最长燃弧时间就被这一小半波的持续时间所延长。

如果断路器的特性使得无法获得要求的燃弧时间，那么应改变断路器脱扣命令 18°以继续试验。如果试验期间因为最短燃弧时间不同于 T100s 而无法获得要求的燃弧时间时，应证明可能获得的最长燃弧时间。当试图满足这些要求时，试验总次数限制为 6 次。6 次试验后，无论获得怎样的燃弧时间，都认为该试验方式有效。

在进行增加的操作之前，断路器可用可更换的部件进行维修（见 7.102.9.6）或用另一个试品替换。

3 次有效开断操作的图例，对于 $k_{pp}=1.5$，在图 37 中给出；对于 $k_{pp}=1.3$，在图 38 中给出。

电力图书馆公众

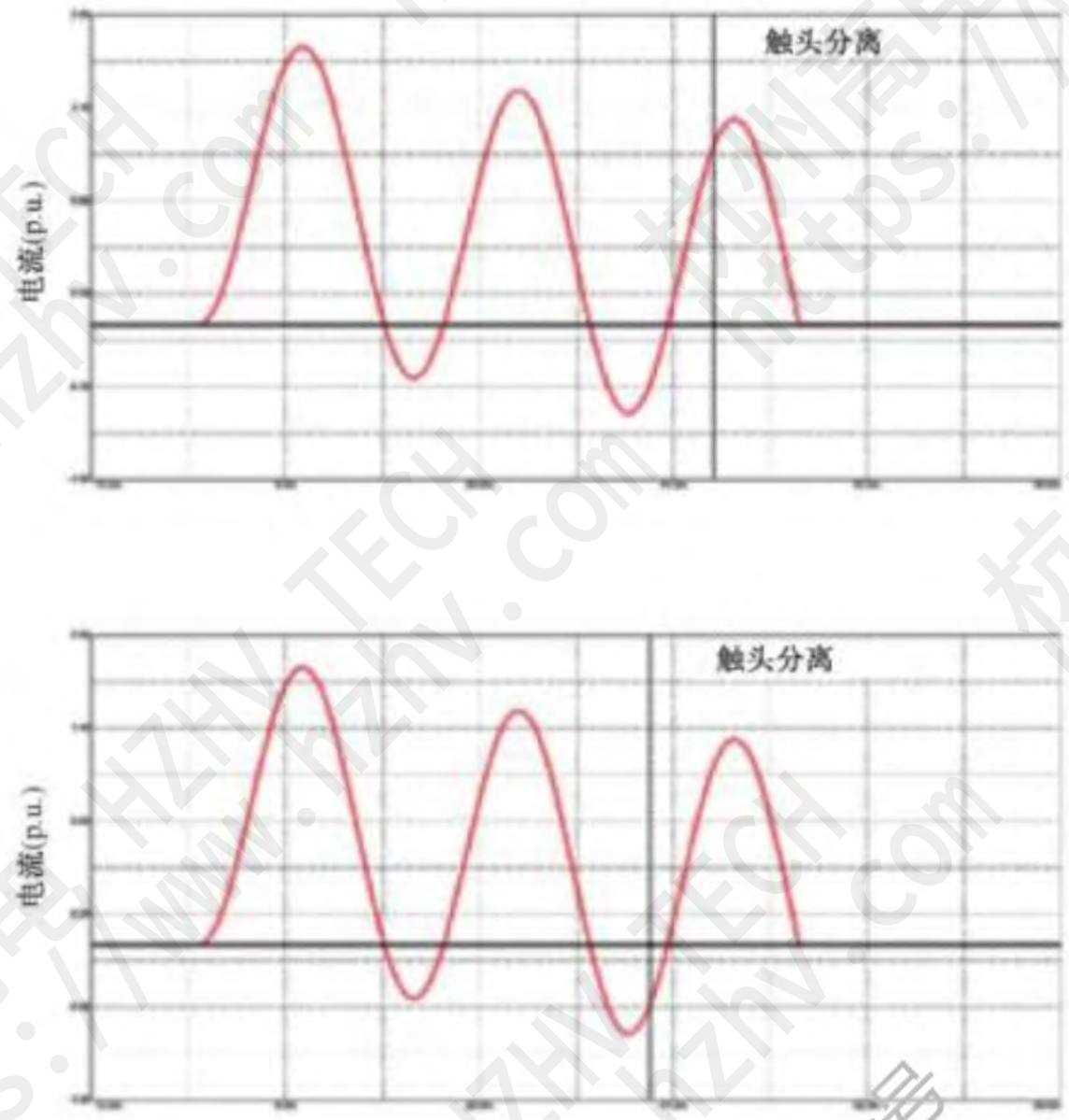


图 37　k_{pp} = 1.5，单相试验代替三相条件时 3 次有效非对称开断操作的图例

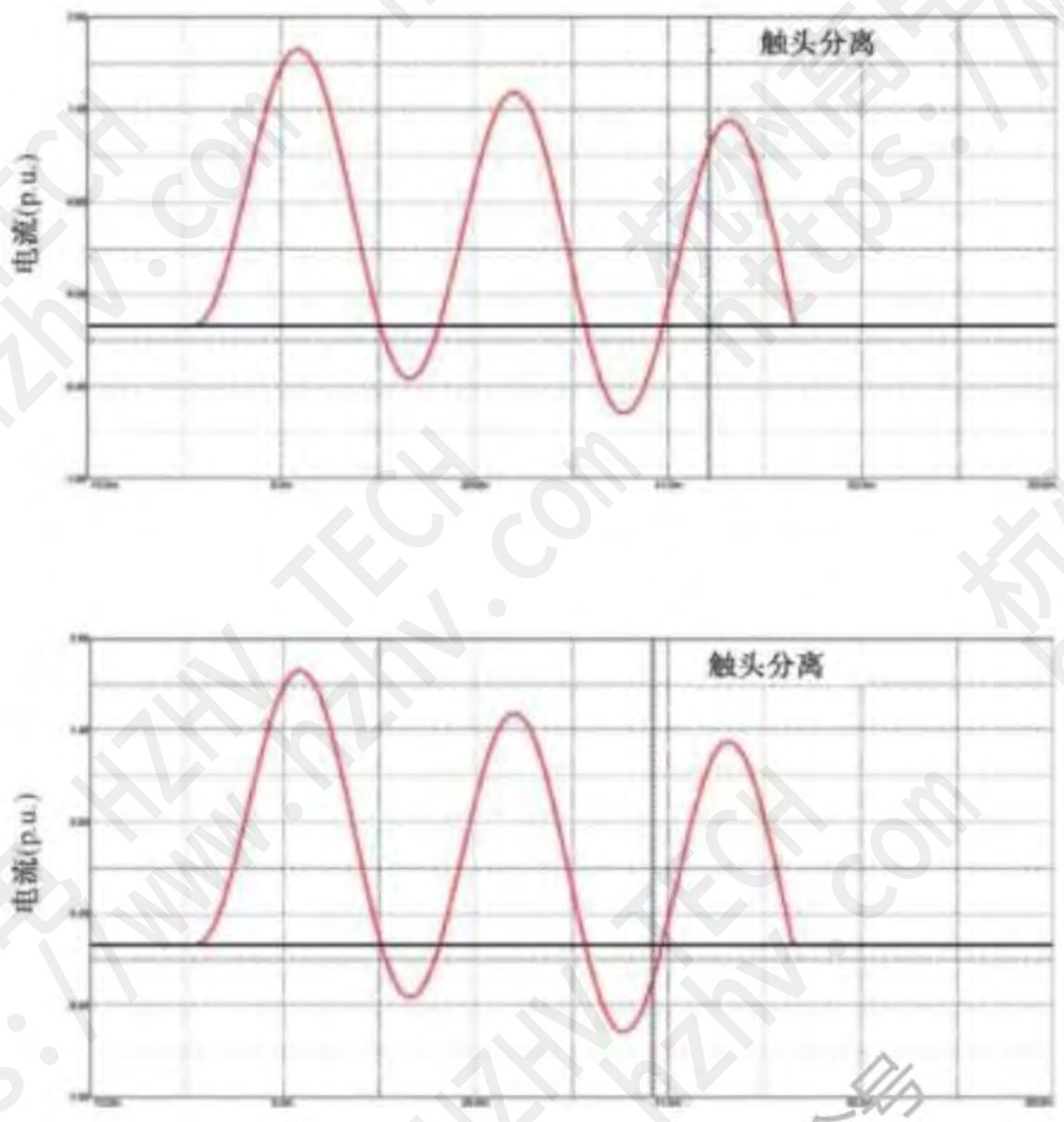


图 38　k_{pp}=1.3,单相试验代替三相条件时 3 次有效非对称开断操作的图例

7.104.3.4　涵盖 k_{pp}=1.3 和 k_{pp}=1.5 条件的试验

k_{pp}=1.5 和 k_{pp}=1.3 两种条件可合并成一个试验系列。所采用的工频和瞬态恢复电压应为中性点非有效接地系统所适用的;对于试验方式 T00a 燃弧时间应为非有效接地系统所适用的,对于其他试验方式燃弧时间应为中性点有效接地系统所适用的。

7.104.3.5　考虑到每一开断极相关的 TRV,试验系列中试验方式的分解

众所周知,代替三相条件的单相试验比三相试验更严酷,因为采用了后开极的燃弧时间和首开极的预期 TRV。作为替代的方法,制造厂可选择把每一个试验方式分成两个或三个独立的试验系列,每一个试验系列验证在每一个开断极相应的预期 TRV 以及最短、最长燃弧时间时的成功开断。表 14 中给出了第二、第三开断极预期 TRV 值的标准乘数。它们适用于试验方式 T10、T30、T60、T100s、OP1 和 OP2。

表 14　第二和第三开断极 TRV 值的标准乘数

首开极系数 k_{pp}	乘数			
	第二开断极		第三开断极	
	RRRV	u_c	RRRV	u_c
1.3(端子故障) 2.0(失步)	0.95	0.97	0.70	0.77
1.5(端子故障) 2.5(失步)	0.70	0.58	0.70	0.58

最少 3 次开断操作后允许对断路器进行维修，但应满足 7.102.9.6 的要求。

假定额定操作顺序中的所有操作的极间同期性都在 6.101 规定的容差范围内，且如果把具有最短燃弧时间的首开极的开断时刻作为参考，对称电流试验时每一相的燃弧窗口应在表 15 规定的区间内。燃弧窗口和决定各极 TRV 的电压系数 k_p 的图形表示，对于 k_{pp} 为 1.3 的系统在图 39 中给出，对于 k_{pp} 为 1.5 的系统在图 40 中给出。

表 15　对称电流试验时的燃弧窗口

首开极系数	首开极 (°)	第二开断极 (°)	第三开断极 (°)
1.3(端子故障) 2.0(失步)	0～42	77～119	120～162
1.5(端子故障) 2.5(失步)	0～42	90～132	90～132

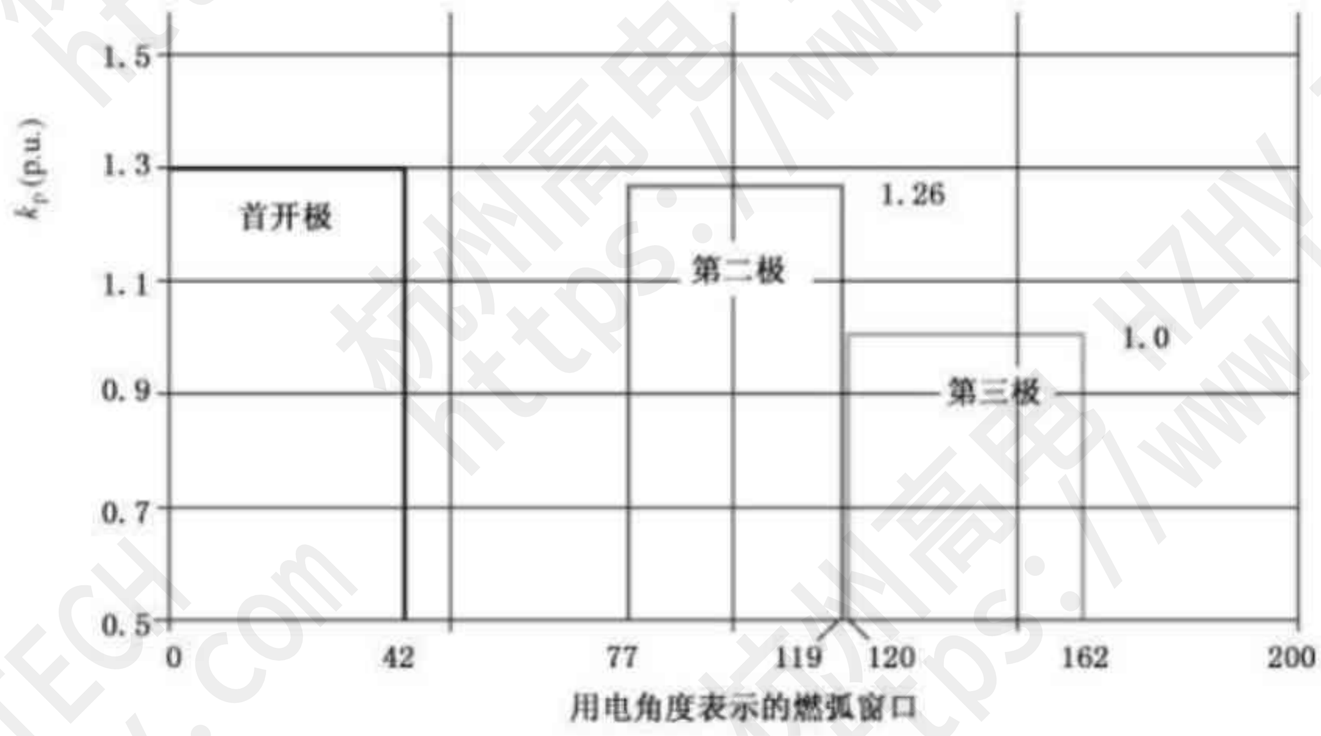


图 39　对于 k_{pp} 为 1.3 的系统，燃弧窗口和决定各极 TRV 的电压系数 k_p 的图形表示

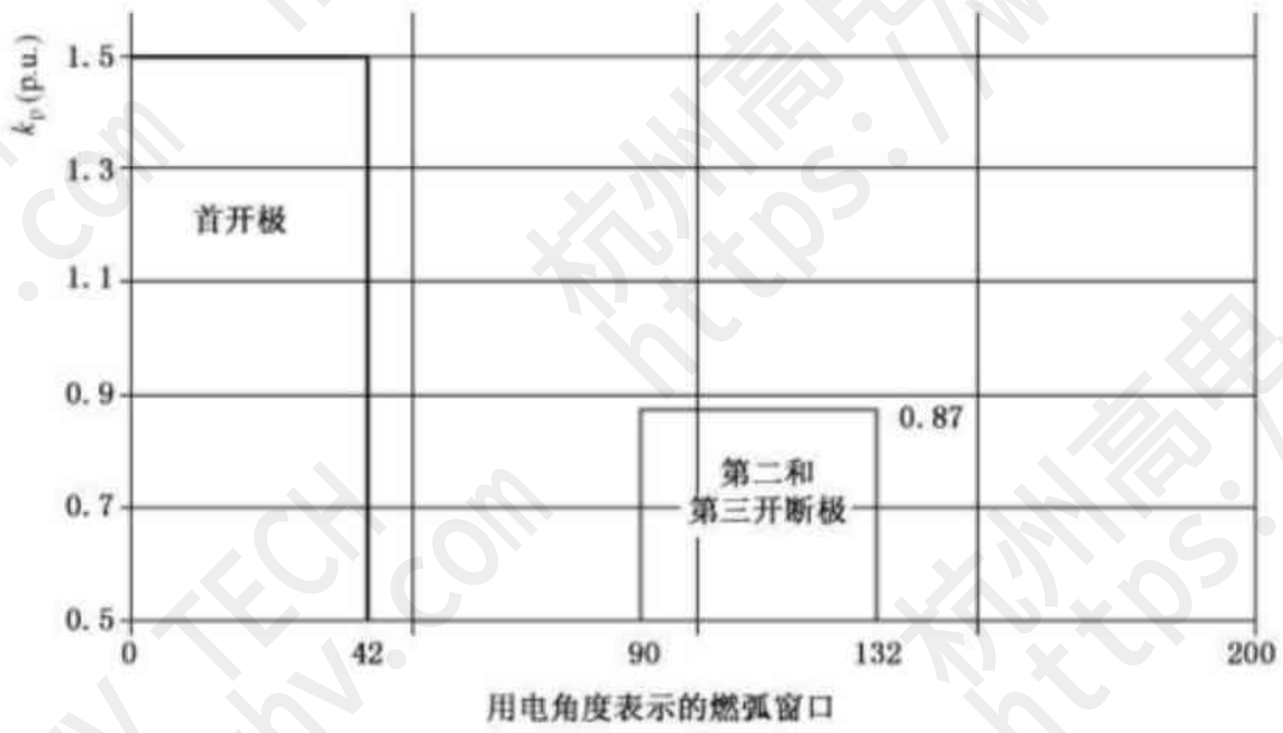


图 40　对于 k_{pp} 为 1.5 的系统，燃弧窗口和决定各极 TRV 的电压系数 k_p 的图形表示

7.105　短路试验参数

7.105.1　短路关合试验前的外施电压

对于 7.107 的短路关合试验，外施电压应符合 a)、b)的要求。

a)　对于三极断路器的三相试验，外施电压相间的平均值应不低于额定电压 U_r，且未经制造厂的同意不应超过该值的 10%。

各极的外施电压与平均值之差不应超过 5%。

b)　对于三极断路器的单相试验，外施电压应不低于相对地电压值 $\frac{U_r}{\sqrt{3}}$，且未经制造厂的同意不应超过该值的 10%。

为了试验的方便，在征得制造厂同意后，允许外施电压等于相对地电压与断路器的首开极系数(1.3 或 1.5)的乘积。

对于可供单极重合闸循环的断路器，在随后的三极合闸操作中各触头接触之间的最大时差超过额定频率的 1/4 周波(见 6.101 的注)时，则外施电压应等于相对地电压与断路器的首开极系数(1.3 或 1.5)的乘积。

7.105.2　短路关合电流

7.105.2.1　通则

断路器关合额定短路关合电流的能力在试验方式 T100s(见 7.107.5)中验证。

当在电压波的任一点发生预击穿电弧时，断路器应能关合该预击穿电流。两种极端的情况规定如下(见图 1)：

——在电压波的峰值处(在±15°范围内)关合，产生一个对称的短路电流以及最长的预击穿时间；

——在电压波的零点处关合，无预击穿，产生一个完全的非对称短路电流。

下文所述的试验程序旨在验证断路器满足以下两项要求的能力。

a)　断路器能够关合预击穿始于外施电压峰值处而产生的对称电流。该电流应为额定短路开断电流(见 5.101)的对称分量。

b)　断路器能够关合完全的非对称短路电流。该电流应为额定短路关合电流(见 5.103)。

电压低于额定电压时，断路器应能运行，且在该电压下断路器实际上关合的是完全的非对称电流。如有电压的下限值，该下限值应由制造厂规定。

关合时，由于极间不同期性，触头接触时刻可能不同，因而在一极中可能会引起更高的峰值关合电流(也可见 6.101)。特别当一极中开始流过电流的时间比其他两极滞后大约 1/4 周波且又没有预击穿时。在这种情况下，只要预期的关合电流在表 A.1 给出的容差范围内，如果断路器关合失败，则认为断路器未通过该试验方式。

7.105.2.2 试验程序

7.105.2.2.1 三相试验

对于三极断路器的三相试验，可认为 7.105.2.1a)和 b)的要求在试验方式 T100s 中已经得到充分的验证。

关合相角的控制，应使试验方式 T100s 的两个合—分(CO)操作循环中至少有一次获得额定短路关合电流。

当断路器呈现的预击穿达到这样的程度，以致试验方式 T100s 的第一次“合分”操作循环时未获得额定短路关合电流，并且调整关合相角后，在第二次“合分”操作循环中仍然未达到额定短路关合电流，则可在降低的电压下继续进行 CO 操作循环，直到关合电流满足要求。该操作循环之前，可对断路器进行维修(见 7.102.9.6)。

7.105.2.2.2 单相试验

对于单相试验，试验方式 T100s 或 T100s(a)(见 7.107.1)应以这样方法进行：即在一次关合操作中满足 7.105.2.1a)规定的要求，而在另一次关合操作中满足 7.105.2.1b)规定的要求。这些操作的顺序不作规定。如果 7.105.2.1a)、b)规定的要求之一未在试验方式 T100s 或 T100s(a)中充分地受到检验，则附加一次“合分”操作循环是必要的。该操作循环之前，可对断路器进行维修(见 7.102.9.6)。

根据正常的试验方式 T100s 或 T100s(a)中获得的结果，该附加的“合分”操作循环应验证下列要求之一：

——7.105.2.1a)或 b)中的要求，或

——表明所获得的短路关合电流代表了由于断路器的预击穿特性在运行中应满足的条件。

如果由于断路器的特性，在试验方式 T100s 或 T100s(a)中未获得额定短路关合电流，则可在降低的外施电压下进行附加的“合分”试验，直到关合电流满足要求。

如果试验方式 T100s 或 T100s(a)中未获得 7.105.2.1a)要求的对称电流，则可在 7.105.1 所述的外施电压容差范围内进行附加的“合分”试验。

7.105.3 短路开断电流

断路器所开断的短路电流，应按照图 8 在最后一极触头分离时刻确定，且应用下述值予以规定：

——各相交流分量有效值的平均值；

——对于试验方式 T100a，最后半波的持续时间和幅值。

在任何一相中交流分量的有效值与平均值的差异，应不大于平均值的 10%。

虽然短路开断电流是在相应于触头分离时刻测量的，但是，断路器的开断性能取决于最后燃弧半波中开断的电流值及其他因素。因此，短路电流的交流分量的衰减是十分重要的，特别是当燃弧为好几个电流半波的断路器试验时。为了避免试验条件的减轻，短路电流交流分量的衰减应是：在对应于最后开断极电流电弧最终熄灭时刻，预期电流的交流分量不应小于试验方式所规定的电流值的 90%。这一点可通过试验前的预期电流的记录来证明。

如果断路器的特性能使短路电流值减小到低于预期开断电流，或者如果在示波图上不能成功地把电流波的包络线画出来，则应认为短路开断电流就等于所有相的预期短路开断电流的平均值，且应在预

期电流的示波图上相应于触头分离的时刻进行测量。

触头分离的时刻，可根据试验站的经验和受试断路器的类型用不同的方法确定，例如，试验时记录触头行程、电弧电压或对断路器进行空载试验。

7.105.4 短路开断电流的直流分量

对于妨碍直流分量控制的断路器，例如在 7.102.3 规定的试验条件下的自脱扣断路器，直流分量可能大于 7.107 对试验方式 T10、T30、T60 和 T100s 所规定的值。

7.105.5 短路开断试验的 TRV

7.105.5.1 通则

试验回路的预期 TRV，应使用那种产生和测量 TRV 波形而对其无明显影响的方法来确定。应在与断路器连接的端子上进行测量，包括所有必需的试验测量装置，如分压器等。附录 G 中叙述了一些适当的方法(亦可见 7.103.3)。在不可能进行测量的情况下，允许计算预期的 TRV。附录 G 给出了导则。

对于三相回路，预期 TRV 是对按 7.103.3 的规定布置的一个合适的试验回路的首开极而言，即指一个分闸极两端的电压，而其余两极均合闸。

试验中所规定的 TRV，按照 7.103.5 和图 41～图 44 中与额定短路开断电流相关的 TRV 同样的方式，用一参考线、一时延线及 ITRV 的包络线来表示。

试验的预期 TRV 是由附录 F 所示的方法画出的包络线和它的起始部分来表示。

附录 H 涵盖了用小电容连接至变压器的断路器特殊情况。

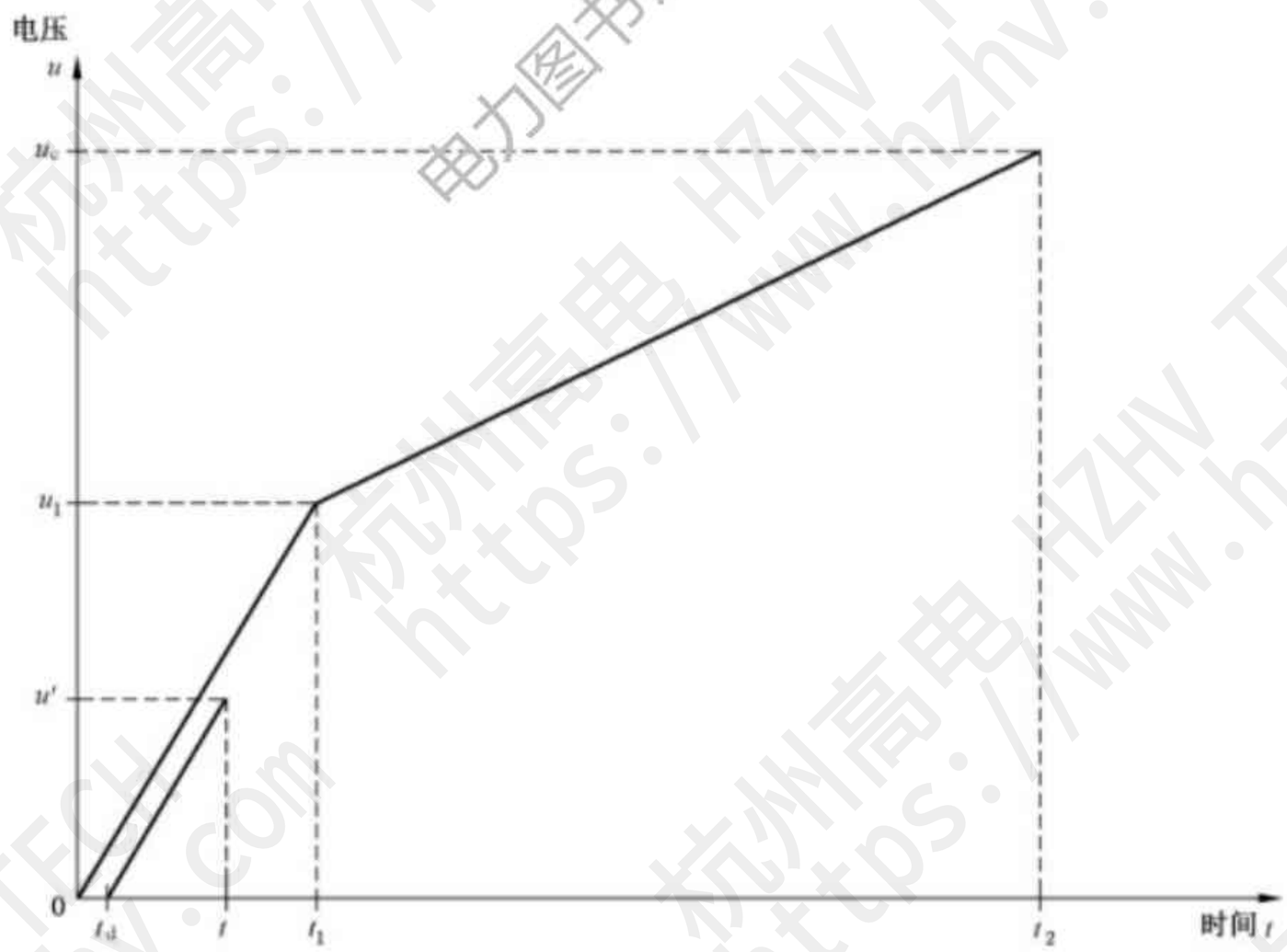


图 41 用四参数参考线和时延线对规定的 TRV 的表示

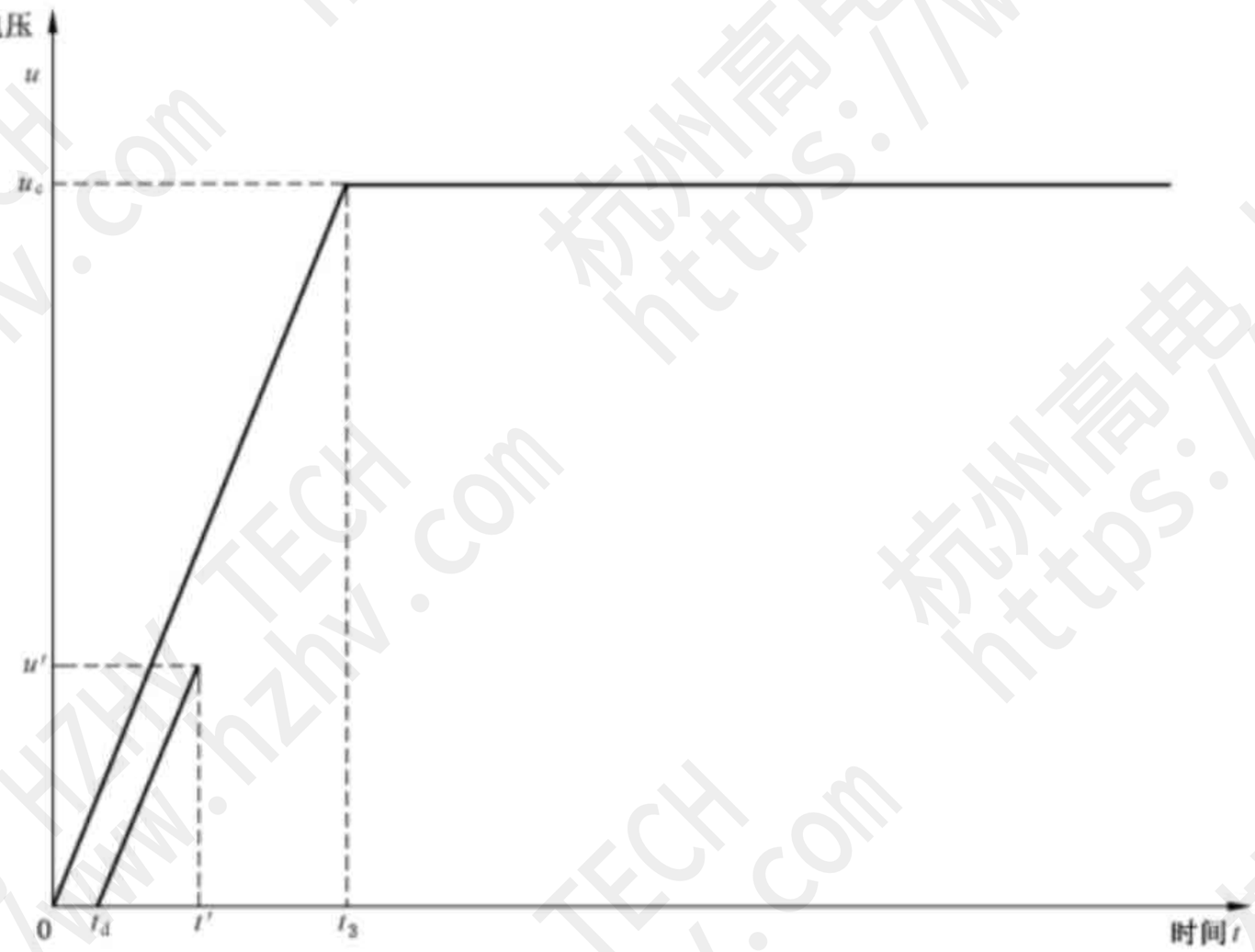
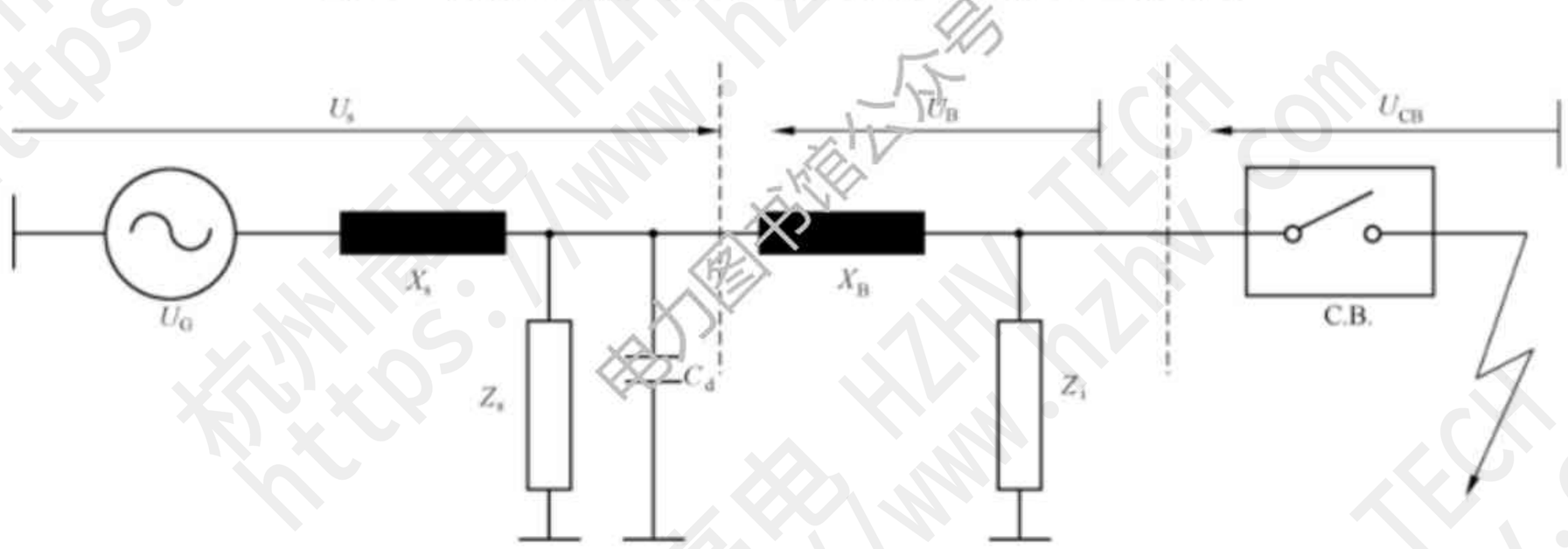


图 42　用两参数参考线和时延线对规定的 TRV 的表示



标引序号说明：

C.B.——断路器；　　C_d——电源侧的时延电容；

U_G——供电侧电压；　　Z_s——电源侧 TRV 控制元件；

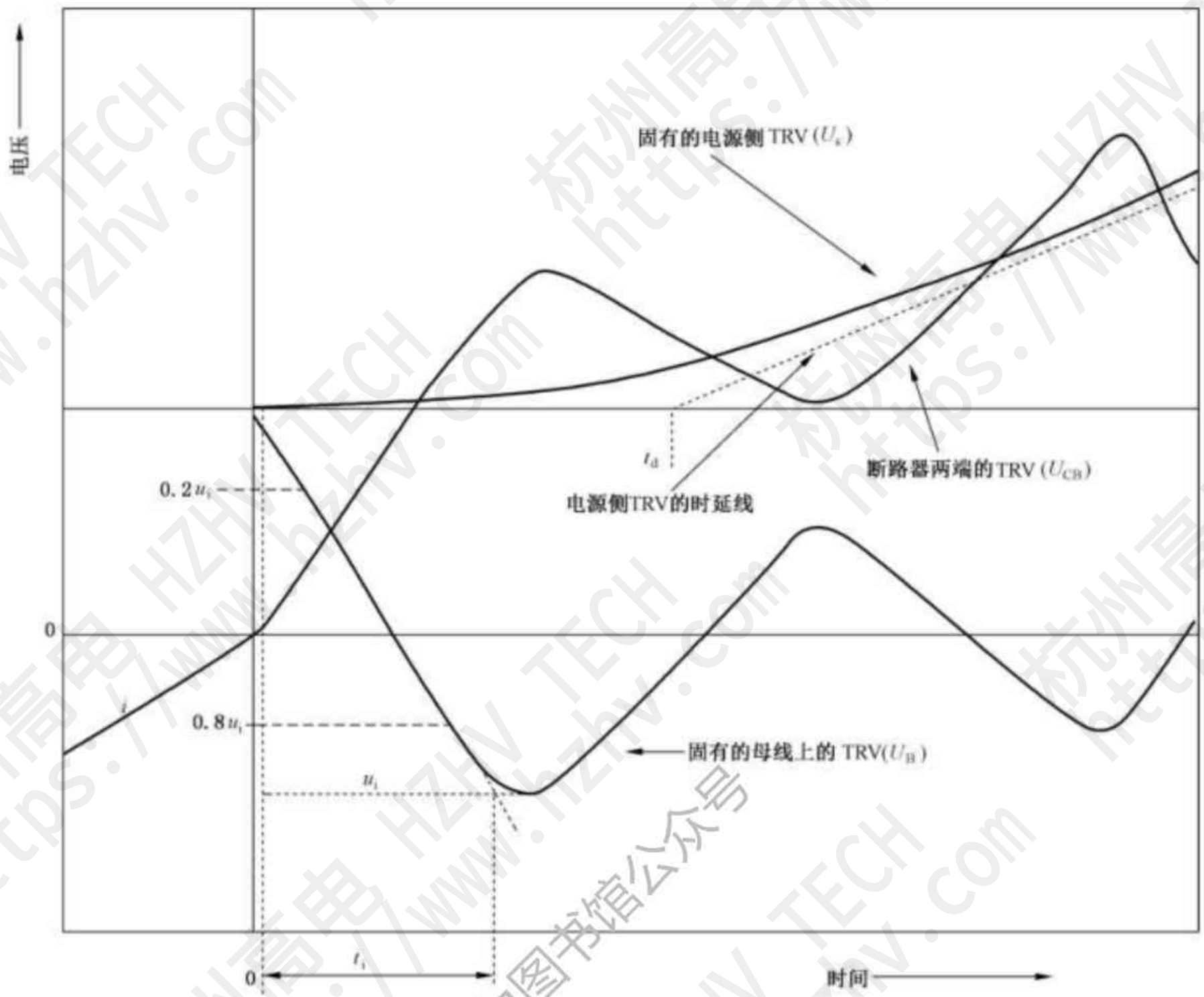
U_B——母线电压；　　Z_t——ITRV 控制元件；

U_{CB}——断路器两端的电压；　　X_s——电源侧工频电抗；

U_s——电源侧的电压；　　X_B——母线工频电抗。

注：如果 X_s 使用集中电感，则 ITRV 控制元件和该电感并联。

图 43　具有 ITRV 的端子故障的基本回路



u_i ——ITRV 的峰值电压；

t_i ——ITRV 的时间坐标。

图 44　ITRV 与 TRV 关系的表示

TRV 参数定义为额定电压(U_r)、首开极系数(k_{pp})和振幅系数(k_{af})的函数。k_{pp}和k_{af}的实际值在表 16～表 19 中规定，k_{pp}在 5.102 中给出解释。

a)　额定电压 126 kV 以下

用于所有试验方式的预期 TRV，用两参数表示。

——对于 S1 级断路器见表 16。

TRV 峰值$u_c = k_{pp} \times k_{af} \times U\sqrt{2}/\sqrt{3}$

其中k_{af}(振幅系数)：对于试验方式 T100，$k_{af}=1.4$；对于试验方式 T60，$k_{af}=1.5$；对于试验方式 T30，$k_{af}=1.6$；对于试验方式 T10，$k_{af}=1.7$；对于失步开断，$k_{af}=1.25$。

对于试验方式 T100，时间t_3取自表 16。对于试验方式 T60、T30 和 T10，时间t_3由试验方式 T100 的t_3分别乘以乘数 0.44(T60)、0.22(T30)和 0.22(T10)来获得。

——对于 S2 级断路器见表 17。

TRV 峰值$u_c = k_{pp} \times k_{af} \times U\sqrt{2}/\sqrt{3}$

其中k_{af}(振幅系数)：对于试验方式 T100 和近区故障的电源侧回路，$k_{af}=1.54$；对于试验方式 T60，$k_{af}=1.65$；对于试验方式 T30，$k_{af}=1.74$；对于试验方式 T10，$k_{af}=1.8$；对于失步开断，$k_{af}=1.25$。

对于试验方式 T100，时间t_3取自表 17。对于试验方式 T60、T30 和 T10，时间t_3由试验方

式 T100 的t_3分别乘以乘数 0.67(T60)、0.40(T30)和 0.40(T10)来获得。

近区故障电源侧回路的时间t_3由试验方式 T100 的时间t_3除以k_{pp}来获得，近区故障电源侧回路u_c/t_3的比值与试验方式 T100s 相同。

——试验方式 T100 的时延t_d：对于 S1 级断路器为 0.15 t_3；对于 S2 级断路器为 0.05 t_3；对于近区故障的电源侧回路为 0.05 t_3。

——对于试验方式 T60、T30、T10 和失步开断的时延t_d为 0.15 t_3。

——电压 $u'=u_c/t_3$。

——时间 t'是由图 42 中的 u'、t_3和t_d导出的，$t'=t_d+t_3/3$。

表 16　k_{pp}=1.5，S1 级断路器的预期 TRV 值

额定电压 U_r kV	试验方式	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{af} p.u.	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	u_c/t_3 kV/μs
3.6	T100	1.5	1.4	6.17	40.7	6.10	2.06	19.7	0.152
	T60	1.5	1.5	6.61	17.9	2.68	2.20	8.65	0.370
	T30	1.5	1.6	7.05	8.95	1.34	2.35	4.32	0.788
	T10	1.5	1.7	7.50	8.95	1.34	2.50	4.32	0.838
7.2	T100	1.5	1.4	12.3	51.5	7.73	4.12	24.9	0.240
	T60	1.5	1.5	13.2	22.7	3.40	4.41	11.0	0.584
	T30	1.5	1.6	14.1	11.3	1.70	4.70	5.48	1.24
	T10	1.5	1.7	15.0	11.3	1.70	5.00	5.48	1.32
12	T100	1.5	1.4	20.6	61.8	9.27	6.86	29.9	0.333
	T60	1.5	1.5	22.0	27.2	4.08	7.35	13.1	0.811
	T30	1.5	1.6	23.5	13.6	2.04	7.84	6.57	1.73
	T10	1.5	1.7	25.0	13.6	2.04	8.33	6.57	1.84
24	T100	1.5	1.4	41.2	85.0	12.7	13.7	41.1	0.484
	T60	1.5	1.5	44.1	37.4	5.61	14.7	18.1	1.18
	T30	1.5	1.6	47.0	18.7	2.80	15.7	9.04	2.52
	T10	1.5	1.7	50.0	18.7	2.80	16.7	9.04	2.67
40.5	T100	1.5	1.4	69.4	115	17.2	23.1	55.5	0.605
	T60	1.5	1.5	74.4	50.5	7.58	24.8	24.4	1.47
	T30	1.5	1.6	79.4	25.3	3.79	26.5	12.2	3.14
	T10	1.5	1.7	84.3	25.3	3.79	28.1	12.2	3.34
72.5	T100	1.5	1.4	124	166	24.9	41.4	80.1	0.750
	T60	1.5	1.5	133	72.9	10.9	44.4	35.2	1.83
	T30	1.5	1.6	142	36.5	5.47	47.4	17.6	3.90
	T10	1.5	1.7	151	36.5	5.47	50.3	17.6	4.14

注：规定k_{pp}=1.5 是为了涵盖变压器限制故障且 X_0/X_1大于 3.0 的故障条件(例如中性点有效接地系统中的非有效接地的变压器，或者变压器的一侧有效接地而另一侧与中性点非有效接地系统连接的情况)。规定的 TRV 也涵盖了中性点有效接地系统(k_{pp}=1.3)中的三相线路故障的工况，此时的相间耦合可能导致振幅系数达到 1.765。

表 17　k_{pp}=1.5，S2 级断路器的预期 TRV 值

额定电压 U_r kV	试验方式	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{af} p.u.	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	u_c/t_3 kV/μs
3.6	T100	1.5	1.54	6.79	11.5	0.57	2.26	4.40	0.591
	T60	1.5	1.65	7.27	7.70	1.15	2.42	3.72	0.945
	T30	1.5	1.74	7.67	4.59	0.689	2.56	2.22	1.67
	T10	1.5	1.80	7.94	4.59	0.689	2.65	2.22	1.73
7.2	T100	1.5	1.54	13.6	18.6	0.930	4.53	7.13	0.730
	T60	1.5	1.65	14.6	12.5	1.87	4.85	6.02	1.17
	T30	1.5	1.74	15.3	7.44	1.12	5.11	3.59	2.06
	T10	1.5	1.80	15.9	7.44	1.12	5.29	3.59	2.13
12	T100	1.5	1.54	22.6	26.5	1.33	7.54	10.2	0.854
	T60	1.5	1.65	24.3	17.8	2.67	8.08	8.59	1.36
	T30	1.5	1.74	25.6	10.6	1.59	8.52	5.13	2.41
	T10	1.5	1.80	26.5	10.6	1.59	8.82	5.13	2.49
24	T100	1.5	1.54	45.3	42.9	2.15 (6.44)	15.1	16.5 (20.7)	1.05
	T60	1.5	1.65	48.5	28.8	4.31	16.2	13.9	1.69
	T30	1.5	1.74	51.1	17.2	2.58	17.0	8.32	2.98
	T10	1.5	1.80	52.9	17.2	2.58	17.6	8.32	3.08
40.5	T100	1.5	1.54	76.4	61.8	3.09 (9.26)	25.5	23.7 (29.8)	1.24
	T60	1.5	1.65	81.8	41.4	6.21	27.3	20.0	1.98
	T30	1.5	1.74	86.3	24.7	3.71	28.8	11.9	3.49
	T10	1.5	1.80	89.3	24.7	3.71	29.8	11.9	3.61
72.5	T100	1.5	1.54	137	92.6	4.63 (13.9)	45.6	35.5 (44.7)	1.48
	T60	1.5	1.65	147	62.0	9.30	48.8	30.0	2.36
	T30	1.5	1.74	155	37.0	5.55	51.5	17.9	4.17
	T10	1.5	1.80	160	37.0	5.55	53.3	17.9	4.32

在 T100 一行中 t_d 和 t' 给出两个数值，通过括号分开，如果还要进行近区故障试验，则括号中的数值是 T100 时延的上限，对于这种情况，时延线终止于括号中给出的 t' 处。否则，则采用 t_d 和 t' 较小的数值。

b）　额定电压 126 kV～800 kV

试验方式 T100、T60、近区故障试验方式 L_{90} 和 L_{75} 的电源侧回路以及失步试验方式 OP1 和 OP2 的预期 TRV 用四参数法表示，试验方式 T10 和 T30 用两参数法表示。

——第一参考电压$u_1=0.75\times k_{pp}\times\frac{U_r\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$。

——时间t_1：对于端子故障试验方式，时间t_1是由u_1和上升率$\frac{u_1}{t_1}$的规定值导出的。对于 OP1 和 OP2，t_1是试验方式 T100 的t_1的两倍，上升率由u_1和t_1导出。对于近区故障的电源侧回路，时间t_1是由u_1和上升率$\frac{u_1}{t_1}$的规定值导出的，$\frac{u_1}{t_1}$的规定值与试验方式 T100 相同。

——TRV 峰值$u_c=k_{pp}\times k_{af}\times\frac{U_r\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$。

其中k_{af}（振幅系数）：对于试验方式 T100 和近区故障的电源侧回路，$k_{af}=1.4$；对于试验方式 T60，$k_{af}=1.5$；对于试验方式 T30，$k_{af}=1.54$；对于试验方式 T10，k_{pp}为 1.3 时，$k_{af}=1.765$，k_{pp}为 1.5 时，$k_{af}=0.9\times1.7$；对于失步开断，$k_{af}=1.25$。

——时间t_2：对于试验方式 T100 和近区故障的电源侧回路，$t_2=4\,t_1$；对于失步开断介于t_2（T100 的）和 2 t_2（T100 的）之间；对于 T60，$t_2=6\,t_1$。

——时间t_3：对于试验方式 T30 和 T10，时间t_3是由u_c和上升率$\frac{u_c}{t_3}$的规定值导出的。

——时延t_d：对于试验方式 T100，时延t_d为 2 μs，如果进行近区故障试验，T100 的时延t_d可扩展至$0.28t_1$；对于试验方式 T60，时延t_d在 2 μs 和 0.3 t_1之间；对于试验方式 T30 和 T10，时延t_d等于$0.15t_3$；对于试验方式 OP1 和 OP2，时延t_d在 2 μs 和 0.1 t_1之间；对于近区故障的电源侧回路，时延t_d等于 2 μs。试验中所用t_d的相应值在 7.105.5.2～7.105.5.6 中给出。

——对于试验方式 T100、T60、近区故障的电源侧回路以及失步开断试验，电压$u'=\frac{u_1}{2}$；对于试验方式 T30 和 T10，$u'=\frac{u_c}{3}$。

——对于试验方式 T100、T60、近区故障的电源侧回路以及失步开断试验，时间 t'按照图 41 由 u'、$\frac{u_1}{t_1}$和t_d导出；对于试验方式 T30 和 T10，时间 t'按照图 42 由 u'、$\frac{u_c}{t_3}$和t_d导出。

c) 额定电压大于 800 kV

试验方式 T100、T60、近区故障试验方式L_{90}和L_{75}的电源侧回路的预期 TRV 用四参数法表示，试验方式 T10、T30 以及失步试验方式 OP1 和 OP2 用两参数法表示。

——第一参考电压$u_1=0.75\times k_{pp}\times\frac{U_r\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$。

——时间t_1：对于端子故障试验方式，是由u_1和上升率$\frac{u_1}{t_1}$的规定值导出的；对于近区故障的电源侧回路，是由u_1和上升率$\frac{u_1}{t_1}$的规定值导出的，$\frac{u_1}{t_1}$的规定值与试验方式 T100 相同。

——TRV 峰值$u_c=k_{pp}\times k_{af}\times\frac{U_r\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$。

其中k_{af}（振幅系数）：对于试验方式 T100 和近区故障的电源侧回路，$k_{af}=1.5$；对于试验方式 T60，$k_{af}=1.5$；对于试验方式 T30，$k_{af}=1.54$；对于试验方式 T10，$k_{af}=1.765$；对于失步开断，$k_{af}=1.25$。

——时间t_2：对于试验方式 T100 和近区故障的电源侧回路，$t_2=3\,t_1$；对于 T60，$t_2=4.5\,t_1$。

——时间t_3：对于试验方式 T30、T10 和失步试验 OP1 和 OP2，时间t_3是由u_c和上升率$\frac{u_c}{t_3}$的规定值导出的。

——时延t_d：对于试验方式 T100，时延t_d为 2 μs，如果进行近区故障试验，T100 的时延t_d可扩展至$0.28t_1$；对于试验方式 T60，时延t_d在 2 μs 和 $0.3\ t_1$ 之间；对于试验方式 T30 和 T10，时延t_d等于$0.15t_3$；对于试验方式 OP1 和 OP2，时延t_d为$0.05t_3$；对于近区故障的电源侧回路，时延t_d等于 2 μs。试验中所用t_d的相应值在 7.105.5.2～7.105.5.6 中给出。

——对于试验方式 T100、T60、近区故障的电源侧回路，电压$u'=\frac{u_1}{2}$；对于试验方式 T30、T10 以及失步开断试验，$u'=\frac{u_c}{3}$。

——对于试验方式 T100、T60、近区故障的电源侧回路，时间t'按照图 41 由u'、$\frac{u_1}{t_1}$和t_d导出；

对于试验方式 T30、T10 以及失步开断试验，时间t'按照图 42 由u'、$\frac{u_c}{t_3}$和t_d导出。

额定电压 126 kV 及以上，TRV 的规定值在表 18 和表 19 中给出。

表 18　$k_{pp}=1.3$，额定电压 126 kV 及以上的断路器的预期 TRV 值

额定电压 U_r kV	试验方式	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{af} p.u.	第一参考电压 u_1 kV	时间 t_1 μs	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_2 或 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	u_1/t_1 u_c/t_3 kV/μs
126	T100	1.3	1.40	100	50	187	200	2(14)	50	27(39)	2
	T60	1.3	1.50	100	33	201	198	2～10	50	19～27	3
	T30	1.3	1.54	—	—	206	41	6	69	20	5
	T10	1.3	1.765	—	—	236	34	5	79	16	7
252	T100	1.3	1.40	201	100	374	400	2(28)	100	52(78)	2
	T60	1.3	1.50	201	67	401	402	2～20	100	35～53	3
	T30	1.3	1.54	—	—	412	82	12	137	39	5
	T10	1.3	1.765	—	—	472	67	10	157	32	7
363	T100	1.3	1.40	289	144	539	576	2(40)	144	74(112)	2
	T60	1.3	1.50	289	96	578	576	2～29	144	50～76	3
	T30	1.3	1.54	—	—	593	119	18	198	58	5
	T10	1.3	1.765	—	—	680	97	15	227	47	7
550	T100	1.3	1.40	438	219	817	876	2(61)	219	111(171)	2
	T60	1.3	1.50	438	146	876	876	2～44	219	75～117	3
	T30	1.3	1.54	—	—	899	180	27	300	87	5
	T10	1.3	1.765	—	—	1 031	147	22	344	71	7

表 18　k_{pp}=1.3，额定电压 126 kV 及以上的断路器的预期 TRV 值（续）

额定电压 U_r kV	试验方式	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{af} p.u.	第一参考电压 u_1 kV	时间 t_1 μs	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_2 或 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	u_1/t_1 u_c/t_3 kV/μs
800	T100	1.3	1.40	637	318	1 189	1 272	2(89)	318	161(248)	2
	T60	1.3	1.50	637	212	1 274	1 272	2～64	318	108～170	3
	T30	1.3	1.54	—	—	1 308	262	39	436	126	5
	T10	1.3	1.765	—	—	1 499	214	32	500	103	7
1100	T100	1.3	1.50	876	438	1 751	1 314	2(123)	438	221(342)	2
	T60	1.3	1.50	876	292	1 751	1 314	2～88	438	148～234	3
	T30	1.3	1.54	—	—	1 798	360	54	599	174	5
	T10	1.3	1.765	—	—	2 061	294	44	687	142	7

注 1：在 T100 一行中 t_d 和 t' 给出两个数值，通过括号分开，如果还要进行近区故障试验，则括号中的数值是 T100 时延的上限，对于这种情况，时延线终止于括号中给出的 t' 处。否则，则采用 t_d 和 t' 较小的数值。

在 T60 一行中 t_d 和 t' 给出两个数值的地方，这些值表示用于试验的上限和下限。在试验中的时延 t_d 和时间 t' 不宜短于它们相应的下限值，也不宜长于它们的上限值。

注 2：试验方式 T10 涵盖变压器限制故障且 X_0/X_1 大于 3.0 的故障条件（例如中性点有效接地系统中的非有效接地的变压器，或者变压器的一侧有效接地而另一侧与中性点非有效接地系统连接的情况）。规定的 TRV 也涵盖了中性点有效接地系统（k_{pp}=1.3）中的三相线路故障的工况，此时的相间耦合可能导致振幅系数达到 1.765。

表 19　k_{pp}=1.5，额定电压 126 kV 的断路器的预期 TRV 值

额定电压 U_r kV	试验方式	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{af} p.u.	第一参考电压 u_1 kV	时间 t_1 μs	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_2 或 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	u_1/t_1 u_c/t_3 kV/μs
126	T100	1.5	1.40	116	58	216	232	2(16)	58	31(45)	2
	T60	1.5	1.50	116	39	231	234	2～12	58	21～31	3
	T30	1.5	1.54	—	—	238	48	7	79	23	5
	T10	1.5	0.9×1.7	—	—	236	34	5	79	16	7

注 1：在 T100 一行中 t_d 和 t' 给出两个数值，通过括号分开，如果还要进行近区故障试验，则括号中的数值是 T100 时延的上限，对于这种情况，时延线终止于括号中给出的 t' 处。否则，则采用 t_d 和 t' 较小的数值。

在 T60 一行中 t_d 和 t' 给出两个数值的地方，这些值表示用于试验的上限和下限。在试验中的时延 t_d 和时间 t' 不宜短于它们相应的下限值，也不宜长于它们的上限值。

注 2：试验方式 T10 涵盖变压器限制故障且 X_0/X_1 大于 3.0 的故障条件（例如中性点有效接地系统中的非有效接地的变压器，或者变压器的一侧有效接地而另一侧与中性点非有效接地系统连接的情况）。

试验回路的预期 TRV 波形应满足以下两项要求。

——要求 a)

任何时候其包络线应不低于规定的参考线。

应强调，包络线超出规定的参考线的程度应得到制造厂的同意(见 7.105)；特别重要的是在规定的是四参数参考线而用两参数包络线的场合，以及当规定的是用两参数参考线而用四参数包络线的场合。

为了试验方便，允许对规定用四参数 TRV 的试验方式用两参数法进行试验，只要其恢复电压的上升率与$\frac{u_1}{t_1}$的标准值一致且电压峰值与 u_c 的标准值一致。该试验程序需得到制造厂的同意。

——要求 b)

其起始部分应满足规定的 ITRV 要求。ITRV 应像处理近区故障一样处理。因此，有必要按照传统的方法独立于电源侧测量 ITRV。ITRV 由峰值 u_i 和时间 t_i 确定(见图 44)。传统的波形大多应是由 ITRV 的起始点到 u_i 和 t_i 确定的点画参考直线。固有的 ITRV 波形应遵循要求的 $0.2u_i$ 和 $0.8u_i$ 间的参考直线。ITRV 的幅值低于 $0.2u_i$ 和高于 $0.8u_i$，与参考线的偏差是允许的。不应明显地高出上述的参考线。如果不显著地提高 ITRV 上升率就不能达到 $0.8u_i$ 点时，优选的方法是将 ITRV 的峰值 u_i 提高到规定值以上，以达到 $0.8u_i$ 点。不应提高 ITRV 的上升率，因为这样会使连接的阻抗产生变化继而导致试验的苛刻程度发生根本改变。对于 T100a、T100s 和 L_{90}，有必要在 ITRV 条件下进行试验。但是，如果额定电压等于或小于 800 kV 的断路器具有近区故障额定值，且采用了时延小于 100 ns 的线路进行近区故障 L_{90} 试验，则认为已覆盖了 ITRV 的要求(见 7.105.5.2)。

如果额定电压大于 800 kV 的断路器具有近区故障额定值，采用了时延小于 100 ns 且波阻抗为 450Ω 的线路进行近区故障试验，则认为已覆盖了 ITRV 的要求(见 7.105.5.2 和7.109.3)。

7.105.5.2 试验方式 T100s 和 T100a

对于额定电压 126 kV 以下，规定的标准值在下面给出：

——对于 S1 级断路器，见表 16；

——对于 S2 级断路器，见表 17。

对于额定电压 126 kV 及以上，规定的标准值在表 18 和表 19 中给出。

规定的参考线、时延线和 ITRV 的标准值在表 10、16、17、18 和表 19 中给出。

关于参考 ITRV，如果试验是在符合 7.105.5.1b)规定的和图 44 表示的参考线的 TRV 下进行的，则认为对断路器的影响与 7.105.5.1b)和图 44 确定的 ITRV 类似。

如果受试验站的限制，要在表 16～表 19 所规定的时延 t_d 方面满足 7.105.5.1b)的要求可能不可行。在还要进行近区故障试验的场合，用提高线路侧电压振荡的第一峰值(见 7.109.3)来补偿电源回路 TRV 的这些缺陷。电源回路的时延应尽可能的小，但在任何情况下不能超出表 17、表 18 或表 19 的括号中给出的数值。

在还要进行近区故障试验的场合，将 ITRV 和近区故障(SLF)在线路侧回路的要求综合起来考虑可能更方便。当 ITRV 与 7.109.3 规定的具有时延 t_{dL} 的短线的瞬态电压合并时，总的应力实际上与时延小于 100 ns 且波阻抗为 450 Ω 的短线的应力相等或被其所覆盖。因此，当用线路时延小于 100 ns 且波阻抗为 450 Ω 的线路进行 L90 时，认为试验方式 T100s 和 T100a 的 ITRV 要求已经被覆盖。

在用时延小于 100 ns 的近区故障试验方式 L90 来覆盖 ITRV 要求的情况下，线路侧暂态电压达到 $0.2u'_L$ 之前的部分不应与由 $0.2u'_L$ 到 $0.8u'_L$ 确定的参考线交叉，除非如图 45 所示的时延小于 100 ns。

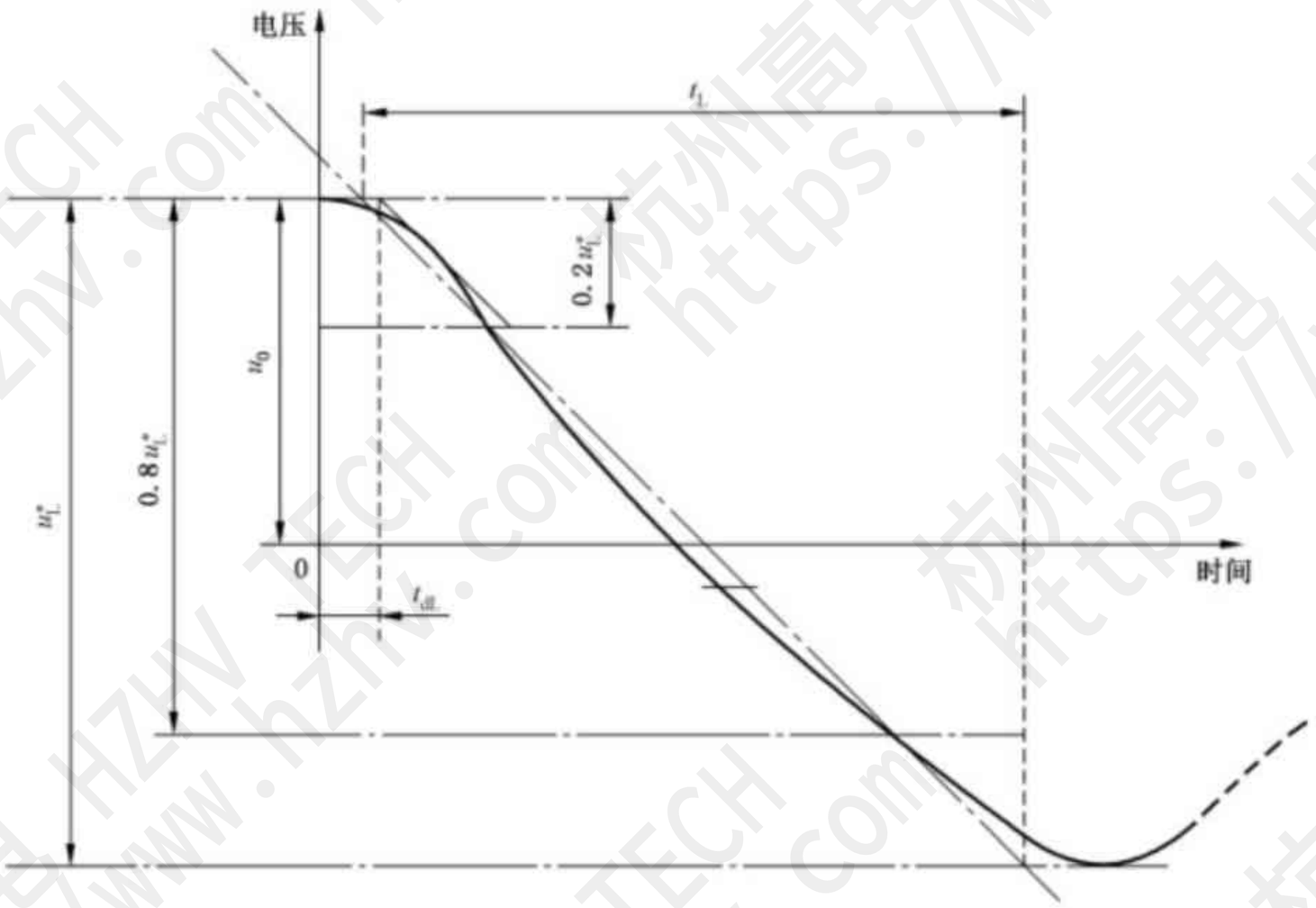


图 45　具有时延的线路瞬态电压呈非线性上升率的示例

7.105.5.3　试验方式 T60

对于额定电压 126 kV 以下，规定的标准值在下面给出：

——对于 S1 级断路器，见表 16；

——对于 S2 级断路器，见表 17。

对于额定电压 126 kV 及以上，规定的标准值在表 18 和表 19 中给出。

7.105.5.4　试验方式 T30

对于额定电压 126 kV 以下，规定的标准值在下面给出：

——对于 S1 级断路器，见表 16；

——对于 S2 级断路器，见表 17。

对于额定电压 126 kV 及以上，规定的标准值在表 18 和表 19 中给出。

当小的 t_3 值不能获得时，应采用所能达到的最小 t_3 值。所使用的数值应在试验报告中说明。

注：短路电流值较小时（如 T30 和 T10 条件），变压器阻抗对短路电流的影响相对较大。然而，对于额定电压 126 kV～800 kV，大多数系统为中性点有效接地系统。当系统和变压器中性点有效接地时，除 T10 外，首开极系数 1.3 适用于所有的试验方式，通常，首开极系数取 1.5 是为了考虑变压器馈入故障的工况。对于额定电压 1 100 kV，首开极系数 1.3 适用于所有的试验方式。

对于额定电压 126 kV 的某些系统，变压器在运行时中性点为非有效接地，即使系统的剩余部分为有效接地系统。认为此类系统为特殊工况且涵盖在表 19 中，其中规定的 TRV 对所有试验方式基于的首开极系数均为 1.5。对于额定电压 126 kV 以上的，认为所有的系统及其变压器的中性点是有效接地的。

7.105.5.5　试验方式 T10

对于额定电压 126 kV 以下，规定的标准值在下面给出：

——对于 S1 级断路器，见表 16；

——对于 S2 级断路器，见表 17。

对于额定电压 126 kV 及以上，规定的标准值在表 18 和表 19 中给出。时间 t_3 是变压器固有频率

的函数。

当小的 t_3 值不能获得时，应采用所能达到的最小 t_3 值。所使用的数值应在试验报告中说明。

7.105.5.6 试验方式 OP1 和 OP2

对于额定电压 126 kV 以下，规定的标准值在下面给出：

——对于 S1 级断路器，见表 20；

——对于 S2 级断路器，见表 21。

对于额定电压 126 kV 及以上，规定的标准值在表 22 和表 23 中给出。

表 20 k_{pp}=2.5，S1 级断路器失步试验的预期 TRV 值

额定电压 U_r kV	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{af} p.u.	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	u_c/t_3 kV/μs
3.6	2.5	1.25	9.19	81.3	12.2	3.06	39.3	0.113
7.2	2.5	1.25	18.4	103	15.5	6.12	49.8	0.178
12	2.5	1.25	30.6	124	18.5	10.2	59.7	0.248
24	2.5	1.25	61.2	170	25.5	20.4	82.1	0.360
40.5	2.5	1.25	103	229	34.5	34.4	111	0.450
72.5	2.5	1.25	185	332	49.7	61.7	160	0.558

表 21 k_{pp}=2.5，S2 级断路器失步试验的预期 TRV 值

额定电压 U_r kV	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{af} p.u.	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	u_c/t_3 kV/μs
3.6	2.5	1.25	9.19	23.0	3.45	3.06	11.1	0.400
7.2	2.5	1.25	18.4	37.2	5.58	6.12	18.0	0.494
12	2.5	1.25	30.6	53.0	7.96	10.2	25.6	0.577
24	2.5	1.25	61.2	85.9	12.9	20.4	41.5	0.713
40.5	2.5	1.25	103	124	18.5	34.5	59.7	0.837
72.5	2.5	1.25	185	185	27.8	61.7	89.5	0.999

表 22 k_{pp}=2.5，额定电压 126 kV 断路器失步试验的预期 TRV 值

额定电压 U_r kV	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{af} p.u.	第一参考电压 u_1 kV	时间 t_1 μs	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_2 或 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	u_1/t_1 u_c/t_3 kV/μs
126	2.5	1.25	193	115	321	232～464	2～11.5	97	60～70	1.67

注：时间 t_2、t_d 和 t' 这些值表示用于试验的上限和下限。在试验中的时延 t_d 和时间 t' 不宜短于它们各自的下限值，也不宜长于它们各自的上限值。

表 23　k_{pp}=2.0,额定电压 126 kV 及以上的断路器失步试验的预期 TRV 值

额定电压 U_r kV	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{af} p.u.	第一参考电压 u_1 kV	时间 t_1 μs	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_2 或 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	u_1/t_1 u_c/t_3 kV/μs
126	2	1.25	154	100	257	200～400	2～10	77	52～60	1.54
252	2	1.25	309	201	514	400～800	2～20	155	103～121	1.54
363	2	1.25	445	288	741	576～1 152	2～29	222	146～173	1.54
550	2	1.25	674	438	1 123	876～1 752	2～44	337	221～263	1.54
800	2	1.25	980	636	1 633	1 272～2 544	2～64	490	320～382	1.54
1 100	2	1.25	—	—	2 245	1 458	2～73	748	488～559	1.54

注：时间 t_2、t_d 和 t' 这些值表示用于试验的上限和下限。在试验中的时延 t_d 和时间 t' 不宜短于它们各自的下限值，也不宜长于它们各自的上限值。

7.105.6　第二和第三开断极的 TRV 乘数

TRV 是针对首开极定义的，为了获得第二和第三开断极的 RRRV 和 u_c，可采用一个标准乘数与相应首开极系数的首开极的 RRRV 和 u_c 相乘的方式来获得。这些标准乘数在表 14 中给出。

表 14 中给出的标准乘数是根据 IEC TR 62271-306:2012+AMD1:2018 中给出的假设计算的。

对于三相试验，所采用的试验回路应能够获得第二和第三开断极预期的 u_c，并非必须满足第二和第三开断极 RRRV 的要求。实际试验值应在报告中记录。

7.106　短路试验程序

7.106.1　试验间的时间间隔

一个试验顺序的各个操作之间的时间间隔应是 5.104 给出的断路器的额定操作顺序的时间间隔，对于关合-开断试验 7.106.3 适用。如果由于试验站的限制，不能进行额定操作顺序，以下规定适用。

a)　试验应在获得的最短的时间间隔 t' 下进行。获得的时间间隔应在试验报告中记录。如果时间间隔长于 10 min，该延时的原因应在试验报告中说明。

b)　对于不同的时间间隔 t，应遵循以下规定：

1)　t=0.3 s，时间间隔是强制性的；

2)　$t \geqslant$15 s，上述 a)适用。

延长的时间间隔不应是由断路器的故障操作引起的。

7.106.2　分闸脱扣器辅助电源的施加——开断试验

辅助电源应在短路起始后施加在分闸脱扣器上，但如果受试验站的限制而不可行时，可在短路起始前施加辅助电源(但有一个限制条件：触头不应在短路起始前开始移动)。

7.106.3　分闸脱扣器辅助电源的施加——关合—开断试验

在关合—开断试验中，不应在断路器到达合闸位置之前给分闸脱扣器施加辅助电源。在试验方式的合—分操作中，从触头接触瞬间开始，至少 1/2 周波后才能施加辅助电源。合—分时间应保持接近制

造厂规定的最小合—分时间，但为使非对称水平在允许限值内，允许断路器延迟分闸。

7.106.4 短路扣锁

当主载流触头在合闸位置静止、完全通电而且在没有机械或电气的脱扣之前应保持在该位置，断路器应扣锁。除非断路器装有关合电流脱扣器或等效装置，否则，应验证在合闸期间当电流的交流分量的衰减可忽略不计时，断路器能毫无迟滞的扣锁。

断路器对短路关合电流的扣锁能力在试验方式 T100s(见 7.107.5)或关合验证试验(见7.102.4.1)中验证。本试验过程中，下列情况适用：

——对于三极断路器的三相试验，合闸相角的控制宜使远离机构的极上出现峰值关合电流；

——如果进行单相试验，应注意施加在远离机构的极上的应力和三相试验时施加在该极上的外施电压以及流过该极的电流的方式相同。

如果试验设备的特性使得在 7.105.1 规定的外施电压的规定范围内进行试验方式 T100s 不可能时，应在降低的试验电压下，用一个能产生额定短路关合电流且交流分量衰减可忽略不计的回路重复进行此项试验。

有几种方法可用来确定断路器是否已合闸且扣锁，例如：

——记录辅助触头和触头的行程；

——关合试验完成后，目测检查扣锁的位置；

——通过记录装置的动作来检查锁扣(例如，适合于安装在机构上的微型开关)。

证明断路器满意扣锁所采用的方法应记录在试验报告中。

7.107 端子故障试验

7.107.1 通则

端子故障试验应由下面规定的试验方式 T10，T30，T60，T100s 和 T100a 组成。以快速自动重合闸完成的试验覆盖以非快速自动重合闸完成的试验。

在 7.107.5.1 说明的情况下，可能有必要把试验方式 T100s 分成关合试验和开断试验。此时，构成关合操作的部分称为 T100s(a)，构成开断操作的部分称为 T100s(b)。

在试验方式 T100s，T100s(b)和 T100a 的开断电流试验中，短路电流的峰值不应超出断路器额定短路关合电流的 110%。

为了试验方便，在试验方式 T10、T30 和 T60 中，关合操作可为空载合闸。各个开断操作之间的时间间隔，应是断路器额定操作顺序中的时间间隔(见 7.106.1)。

7.107.2 试验方式 T10

由额定操作顺序组成，其开断电流为 10%的额定短路开断电流，触头分离时刻的直流分量百分数不应超过交流分量的 20%，工频和瞬态恢复电压的规定见 7.103.4 和 7.105.5.5(也可见表 16～表 19)。

7.107.3 试验方式 T30

由额定操作顺序组成，其开断电流为 30%的额定短路开断电流，触头分离时刻的直流分量百分数不应超过交流分量的 20%，工频和瞬态恢复电压的规定见 7.103.4 和 7.105.5.4(也可见表 16～表 19)。

7.107.4 试验方式 T60

由额定操作顺序组成，其开断电流为 60%的额定短路开断电流，触头分离时刻的直流分量百分数

不应超过交流分量的 20%，工频和瞬态恢复电压的规定见 7.103.4 和 7.105.5.3(也可见表 16～表 19)。

7.107.5 试验方式 T100s

7.107.5.1 通则

试验方式 T100s 由额定操作顺序组成，其开断电流为额定短路开断电流并考虑 7.105.3 的规定，短路关合电流为额定短路关合电流并考虑 7.105.2 的规定，外施电压的规定见 7.105.1，工频和瞬态恢复电压的规定见 7.103.4 和 7.105.5.2(也可见表 16～表 19)。

对于本试验方式，触头分离时刻的直流分量百分数不应超过交流分量的 20%。

对三极断路器的一极进行单相试验时，或者当试验设备的特性不可能在 7.105.1 的外施电压、7.105.2的关合电流、7.105.3 的开断电流以及 7.103.4 和 7.105.5.2 的工频和瞬态恢复电压的规定限值内，并考虑到 7.106.3 和 7.106.4 的规定，实施试验方式 T100s 时，试验方式 T100s 中的关合和开断试验可分开进行。单独的关合操作中的短路电流应保持至少 100 ms。

7.107.5.2 试验回路的直流时间常数等于规定值

试验回路的直流时间常数等于由 5.101.3 确定的规定值时，进行试验方式 T100s 的替代试验方法如下。

a) 关合试验，试验方式 T100s(a)

按照 7.105.2 的规定，C—t'—C 顺序中一个关合操作应关合等于额定短路开断电流的对称电流，另一个关合操作应关合等于额定短路关合电流的完全非对称电流。对称电流的关合操作应在 7.105.1 规定的外施电压下进行；

b) 开断试验，试验方式 T100s(b)

紧接着 a)中述及的这些关合操作，应在额定短路开断电流及 7.103.4 和 7.105.5.2 规定的工频和瞬态恢复电压下进行 O—t—CO—t'—CO 操作。

本试验过程中，下列规定适用：

——a)和 b)之间不准许维护；

——如果在 b)中的一个关合操作已经达到额定短路关合电流，则 a)中的第二个关合操作可免去。

——对于合成试验，GB/T 4473 适用。

7.107.5.3 试验回路的直流时间常数小于规定值

试验回路的直流时间常数小于由 5.101.3 确定的规定值时，进行试验方式 T100s 的替代试验方法如下。

a) 关合试验，试验方式 T100s(a)

应进行一个符合 7.105.2 规定的额定短路关合电流的单合操作。该关合操作可在 7.105.2 规定范围内降低的电压下进行。

b) 开断试验，试验方式 T100s(b)

紧接着这个关合操作，应在额定短路开断电流、7.105.1 规定的外施电压以及 7.103.4 和 7.105.5.2规定的工频和瞬态恢复电压下进行 O—t—CO—t'—CO 操作。在这第二部分，其中一次关合操作应关合等于额定短路开断电流的对称电流。

注：由于采用了相对于规定值较小的试验回路直流时间常数进行额定短路开断电流试验，a)中的电流对称值需大于额定值。b)中的电流峰值，已经在 a)中验证过，由于同样的原因，就会小于额定短路关合电流。

本试验过程中，下列规定适用：

——a)和 b)之间不准许维护；

——对于合成试验，GB/T 4473 适用。

7.107.5.4 试验回路的直流时间常数大于规定值

试验回路的直流时间常数大于由 5.101.3 确定的规定值时，进行试验方式 T100s 的替代试验方法如下。

a) 关合试验，试验方式 T100s(a)

应进行一个符合 7.105.2 规定的额定短路关合电流的单合操作。该关合操作可在 7.105.2 规定范围内降低的电压下进行。

b) 应在额定短路开断电流、7.105.1 规定的外施电压以及 7.103.4 和 7.105.5.2 规定的工频和瞬态恢复电压下进行 O—t—CO—t'—CO 操作顺序。在这个操作顺序中，一个关合操作关合等于额定短路开断电流的对称电流，另一个关合操作关合完全的非对称电流。由于试验回路的直流时间常数大于 5.101.3 的规定值，非对称关合时的峰值电流将会大于额定短路关合电流，因此，应选相控制关合操作，以获得要求的额定短路关合电流。但是，按试验程序 b)进行试验应征得制造厂的同意。

注 1：因为在非对称关合操作中出现了较大的峰值电流，不需要进行 7.105.2 规定的额定短路关合电流下的单独的关合操作。

c) 作为上述试验程序 b)的替代方法，第一个关合操作关合等于额定短路开断电流的对称电流，第二个关合操作为空载操作。也就是说，在额定短路开断电流、7.105.1 规定的外施电压以及 7.103.4 和 7.105.5.2 规定的工频和瞬态恢复电压下，进行 O—t—CO—t'—O 操作。

在这种情况下，验证断路器能够进行额定操作顺序的能力通过重复试验程序 b)来实现，在相关的要求以及小于额定短路开断电流的对称电流的条件下，使得在一次合闸操作中得到额定短路关合电流。在这个重复的试验方式中，关合操作可在 7.105.2 规定范围内降低的电压下进行。

注 2：由于断路器关合额定短路关合电流的能力已在重复的试验方式中得到验证，因此，不需要进行 7.105.2 规定的额定短路关合电流下的单独的关合操作。

本试验过程中，下列规定适用：

——如果采用试验程序 c)，重复额定操作顺序之前允许维护；

——对于合成试验，GB/T 4473 适用。

7.107.5.5 试验回路交流分量的显著衰减

如果试验回路的交流分量的衰减显著时，可能需要在断路器大范围过负荷的情况下进行额定操作顺序试验。在此情况下，只要相应于交流分量衰减的试验回路交流分量的时间常数至少长于应用受试断路器的系统规定的直流时间常数 3 倍，允许把试验方式 T100s 中的关合和开断试验分开如下：

a) 关合试验，试验方式 T100s(a)

C—t'—C。

且应符合 7.105.2 规定的关合电流以及 7.105.1 规定的外施电压。对于各个试验之间的时间间隔，7.106.1 适用。

b) 开断试验，试验方式 T100s(b)

——在试验方式 T100s(a)的关合操作后，应在 7.105.3 规定的 100%额定短路开断电流以及 7.103.4 和 7.105.5.2 规定的工频和瞬态恢复电压下进行 O—t—CO—t'—CO 试验顺序。

对于各个试验之间的时间间隔，7.106.1 适用。

对于操作顺序 O—t—CO(额定操作顺序 O—t—CO—t'—CO 的初始部分)，可通过两个试验来验证。在此情况下，下述规定适用：

第一个试验，第一个开断操作应在 7.105.3 规定的 100%额定短路开断电流以及 7.103.4 和 7.105.5.2 规定的工频和瞬态恢复电压下进行。随后的关合和开断操作的关合电流、外施电压、开断电流以及工频和瞬态恢复电压，应尽可能分别接近试验方式 T100s 的规定值。

第二个试验，一个附加的 CO 操作循环，应在 7.105.3 规定的 100%额定短路开断电流以及 7.103.4和 7.105.5.2 规定的工频和瞬态恢复电压下进行。该 CO 操作循环之前应增加一个空载的分闸操作，以完成操作顺序 O—t—CO。对于合闸操作，7.105.1 和 7.105.2 的规定可免去，但是，关合电流和外施电压应尽可能地满足规定值。

CO 操作循环(额定操作顺序 O—t—CO—t'—CO 的最后一个部分)由另一个 CO 操作验证。该 CO 操作的开断操作应在 7.105.3 规定的 100%额定短路开断电流以及 7.103.4 和7.105.5.2 规定的工频和瞬态恢复电压下进行。对于关合操作，7.105.1 和 7.105.2 的规定可免去，但是关合电流和外施电压应尽可能地满足规定值。

——如果试验方式 T100s(b)中的关合操作已经满足上述 a)中给出的要求，则试验方式 T100s(a)中相应的关合操作可免去。为了不使断路器过负荷，试验方式 T100s(b)中有必要进行合闸控制。如果需要，可使用辅助断路器。如果由于分闸时间或合闸时间不稳定而不能满足规定的试验值，允许按脱扣器的最高动作电压供给其电源；在这种情况下，7.102.3.1关于合分闸装置的供电电压的规定可免去。

试验方式 T100s(a)和 T100s(b)之间不准许维护。如果该试验程序产生的实际应力超过了表 A.1 规定的限值，应征得制造厂的同意。

7.107.6 试验方式 T100a

试验方式 T100a 仅适用于制造厂规定的断路器的最短分闸时间 T_{op} 加继电器时间后触头分离时刻的直流分量大于 20%的情况。触头分离时刻的直流分量按下式确定：

$$\%\mathrm{dc} = 100 \times \mathrm{e}^{\frac{-(T_{op}+T_r)}{\tau}}$$

式中：

%dc ——触头分离时刻的直流分量百分数；

T_{op} ——制造厂声明的最短分闸时间；

T_r ——继电器时间(1/2 周波；对于 50 Hz 为 10 ms)；

τ ——额定短路电流的直流时间常数(45 ms、60 ms、75 ms 或 120 ms；见 5.101.3)。

试验方式 T100a 由在额定短路开断电流且最后大半波峰值和持续时间满足非对称判据、满足7.104 给出的燃弧时间以及 7.103.4 和 7.105.5.2 规定的对称条件下预期工频和瞬态恢复电压条件下的 3 个有效开断操作组成。

分闸和合闸脱扣器的变更不构成替代的操动机构。如果断路器的分闸时间因为采用了快速动作的脱扣器而减小，则对该脱扣器宜检查表 11 中规定的最短开断时间区间是否仍然被使用原始脱扣器的试验所涵盖。如果断路器落入一个更短的最短开断时间的区间，只要脱扣器已按照相关的条款和标准通过了试验，仅在该区间内重复试验方式 T100a 就足以，其余的型式试验仍然有效。

7.108 附加的短路试验

7.108.1 临界电流试验

7.108.1.1 适用性

这些试验是对 7.107 中的端子故障试验方式补充的短路试验，仅适用于具有临界电流的断路器。如果试验方式 T10、T30 或 T60 中的任一试验方式的最短燃弧时间超过相邻的一个试验方式的最短燃

弧时间 1/2 周波或更长，则认为属于这种情况。对于三相试验，考虑所有三相的燃弧时间。

7.108.1.2 试验电流

适用时，应在两个试验方式中对断路器的临界电流性能进行试验。

a) 一个试验方式：试验电流应等于相应于出现延长的燃弧时间的试验方式（见 7.108.1.1）的开断电流和相邻的较高开断电流的平均值。

b) 另一个试验方式：试验电流应等于相应于出现延长的燃弧时间的试验方式（见 7.108.1.1）的开断电流和相邻的较低开断电流的平均值。

如果延长的燃弧时间出现在试验方式 T10 中，临界电流开断试验应在 20%额定短路开断电流下进行一个方式，在 5%额定短路开断电流下进行另一个试验方式。

7.108.1.3 临界电流试验方式

临界电流试验方式是由 7.108.1.2 规定的电流且触头分离时刻直流分量小于 20%的额定操作顺序构成。其工频和瞬态恢复电压与端子故障试验方式中下一个较高开断电流的试验方式的一致。

临界电流试验方式可在维修过的断路器上进行。

7.108.2 单相接地故障和异相接地故障试验

7.108.2.1 适用性

断路器应能开断出现在下述两种不同情况下的单相短路电流：

——中性点有效接地系统中的单相接地故障；或

——中性点非有效接地系统中的异相接地故障，即接地故障出现在不同的相，一个接地点在断路器的一侧，另一个接地点在断路器的另一侧。

根据使用断路器的系统的中性点接地条件、断路器操动机构的设计（单极或三极操作）以及试验方式 T100s 进行的是单相试验还是三相试验，可能有必要进行附加的单相开断试验（见图 46）。

这些试验是为了证明：

——断路器在相应参数时能够开断单相接地故障电流；

——对于三极共用一个操动机构且装有一个共用的分闸脱扣器的断路器，单相接地故障电流产生的不平衡应力对断路器的运行不产生负面影响。

单相接地故障试验应在对操动机构的极间连杆产生最大应力的边极上进行，而异相接地故障试验可在任一极上进行。

注：如果单相接地故障和异相接地故障试验在一台三极共操动机构的断路器上进行，为了防止一极过负荷，试验在两个不同的极上进行。

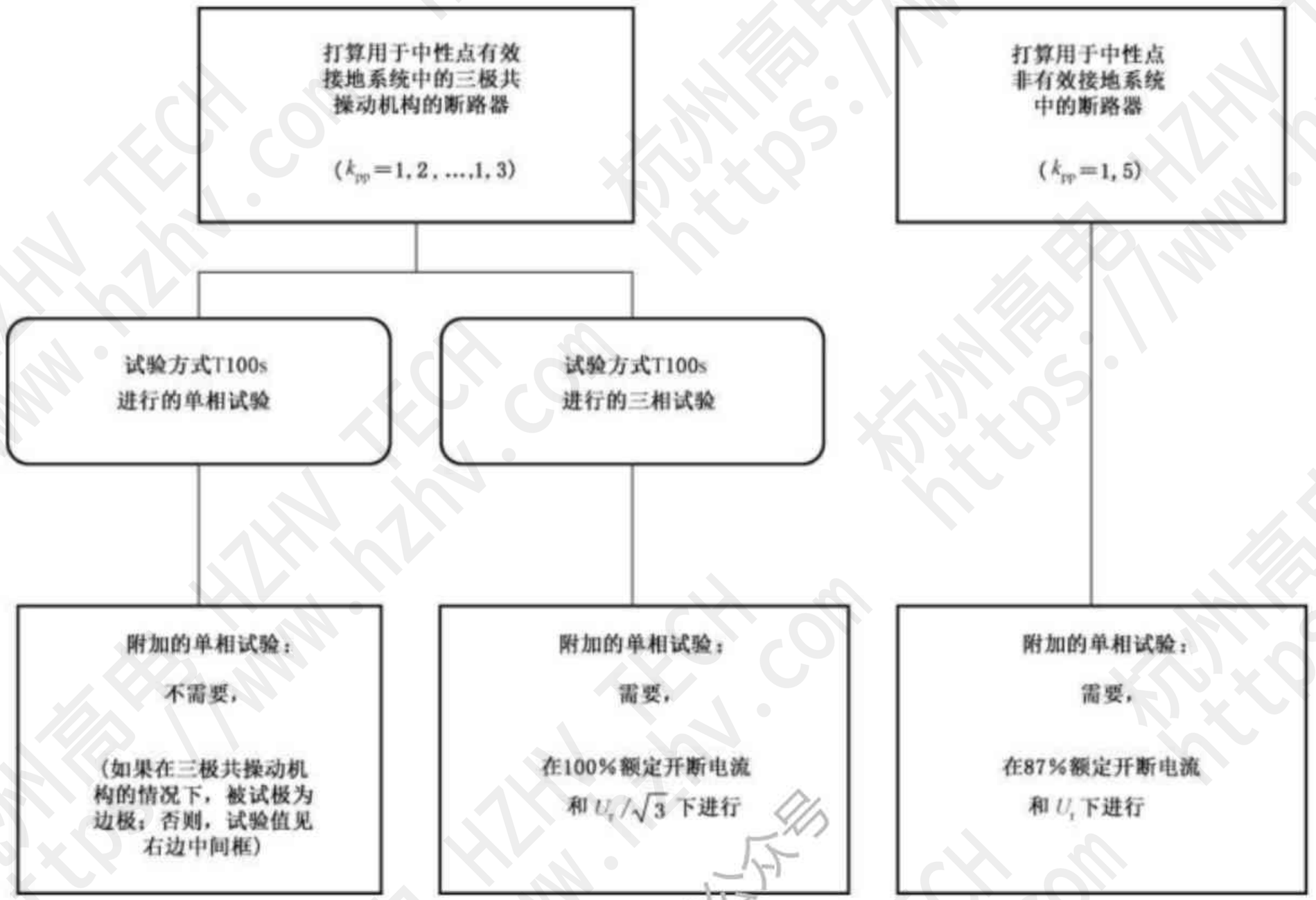


图 46　附加的单相试验的必要性和试验要求

7.108.2.2　试验电流和恢复电压

附加的单相开断试验的开断电流和恢复电压如图 46 所示。

触头分离时刻开断电流的直流分量不应超过交流分量的 20%。TRV 应满足 7.105.5.1a)～c)的要求，标准值应从表 16～表 19 中导出。用于单相接地故障和异相接地故障试验的数值在表 24 中给出，并标有角标(sp)。

表 24　单相接地故障和异相接地故障试验的预期 TRV 参数

系统中性点	额定电压					
	U_r<126 kV 两参数 TRV		U_r≥126 kV 四参数 TRV			
	$u_{c,sp}$	$t_{3,sp}$	$u_{1,sp}$	$t_{1,sp}$	$u_{c,sp}$	$t_{2,sp}$
有效接地	$k_{af}\times\frac{U_r\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	$t_3\times\frac{u_{c,sp}}{u_c}$	$0.75\times\frac{U_r\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	$t_1\times\frac{u_{1,sp}}{u_1}$	$k_{af}\times\frac{u_{1,sp}}{0.75}$	[a]
非有效接地	$k_{af}\times U_r\sqrt{2}$		$0.75\times U_r\sqrt{2}$			
[a] 对于额定电压 126 kV～800 kV 为$4\times t_{1,sp}$，对于额定电压 1 100 kV 为$3\times t_{1,sp}$。						

与$u_{1,sp}$、$u_{c,sp}$、$t_{1,sp}$和$t_{3,sp}$相关的其他参数见 7.105.5.1 中关于试验方式 T100 的定义。必要时，可优先采用 7.105.5.2 中关于试验站条件限制方面的措施。

7.108.2.3 试验方式

对于两种规定的故障情况的每一种情况，试验方式应由一个额定操作顺序组成。

开断操作时的燃弧区间按照 7.104.3.2。

为了减少试验次数，允许用一次试验代替两次试验，只要两个试验条件同时满足。该替代的允许条件仅限于制造厂的同意。

7.109 近区故障试验

7.109.1 适用性

近区故障试验仅适用于直接和架空线连接的、额定电压 24 kV 及以上且额定短路开断电流超过 12.5kA 的断路器。

近区故障试验是对 7.107 中的端子故障试验方式补充的短路试验。进行这些试验的目的是确定断路器在近区故障条件下(TRV 由电源侧和线路侧组合)开断短路电流的能力。

近区故障电流是指在本文件要求的使用和性能条件下、在具有 7.109 规定的恢复电压的回路中，断路器应能开断的短路电流。

7.109.2 试验电流

试验电流应计及电源侧和线路侧的阻抗。电源侧的阻抗应是相应于近似 100%额定短路开断电流 I_{sc} 和额定电压 U_r 的相对地值时的阻抗值。

线路侧阻抗的标准值分别规定为相应于额定短路开断电流交流分量减少到：

——对于额定电压高于 40.5 kV 的断路器，90%(L_{90})和 75%(L_{75})；

——对于额定电压 24 kV 和 40.5 kV 的断路器，75%(L_{75})。

试验中，代表断路器线路侧的线路长度可能不同于电流等于额定短路开断电流的 90%和 75%相应的线路长度。

对于额定电压高于 40.5 kV 的断路器，线路长度与这些标准长度的偏差，对 90%额定短路开断电流为−20%～0%，对 75%额定短路开断电流为±20%。

对于额定电压 24 kV 和 40.5 kV 的断路器，线路长度与这些标准长度的偏差，对 75%额定短路开断电流为−20%～0%。

线路长度的这些偏差导出了短路电流的下述偏差：

——L_{90} 线路长度偏差在 0%时：$I_L = 90\% I_{sc}$；

——L_{90} 线路长度偏差在−20%时：$I_L = 92\% I_{sc}$；

——L_{75} 线路长度偏差在+20%时：$I_L = 71\% I_{sc}$；

——L_{75} 线路长度偏差在 0%时：$I_L = 75\% I_{sc}$；

——L_{75} 线路长度偏差在−20%时：$I_L = 79\% I_{sc}$。

对于 7.109.4c)规定的情况，要求在 60%额定短路开断电流时进行另一次试验(L_{60})。相应标准线路长度的偏差为±20%。这样导出短路电流的偏差为：

——L_{60} 线路长度偏差在+20%时：$I_L = 55\% I_{sc}$；

——L_{60} 线路长度偏差在−20%时：$I_L = 65\% I_{sc}$。

更详细的资料，见 IEC TR 62271-306:2012+AMD1:2018。

7.109.3 试验回路

试验回路应是单相的，且由电源回路和线路回路(见图 47～图 49)组成。电源侧 TRV 的首开极系

数为 1.0，线路侧特征值由表 25 给出。基本要求如下所示。

——RRRV 系数、线路波阻抗 Z、峰值系数 k 和线路侧时延 t_{dL} 由表 25 给出。线路侧时延和线路侧电压上升率的确定见图 45 和图 50。

——根据特性计算 TRV 的方法由附录 I 给出。

表 25　近区故障线路特性的标准值

额定电压 U_r (kV)	波阻抗 Z (Ω)	峰值系数 k	RRRV 系数		时延 t_{dL} (μs)
			50 Hz	S^b (kV/μs)/kA	
$24 \leqslant U_r \leqslant 40.5$	450	1.6	0.200		0.1
$72.5 \leqslant U_r \leqslant 126$	450	1.6	0.200		0.2
$252 \leqslant U_r \leqslant 800$	450	1.6	0.200		0.5
$U_r > 800$	330[a]	1.6	0.147		0.5

注：这些数值覆盖了本文件中涉及的近区故障。对于非常短的线路（$t_L < 5t_{dL}$），不是本表中的所有要求都可满足。处理非常短的线路的程序在 IEC TR 62271-306:2012+AMD1:2018 中给出。

[a] 试验期间可用 450 Ω 的值覆盖 ITRV 的要求。

[b] 关于 RRRV 系数 S，见附录 I。

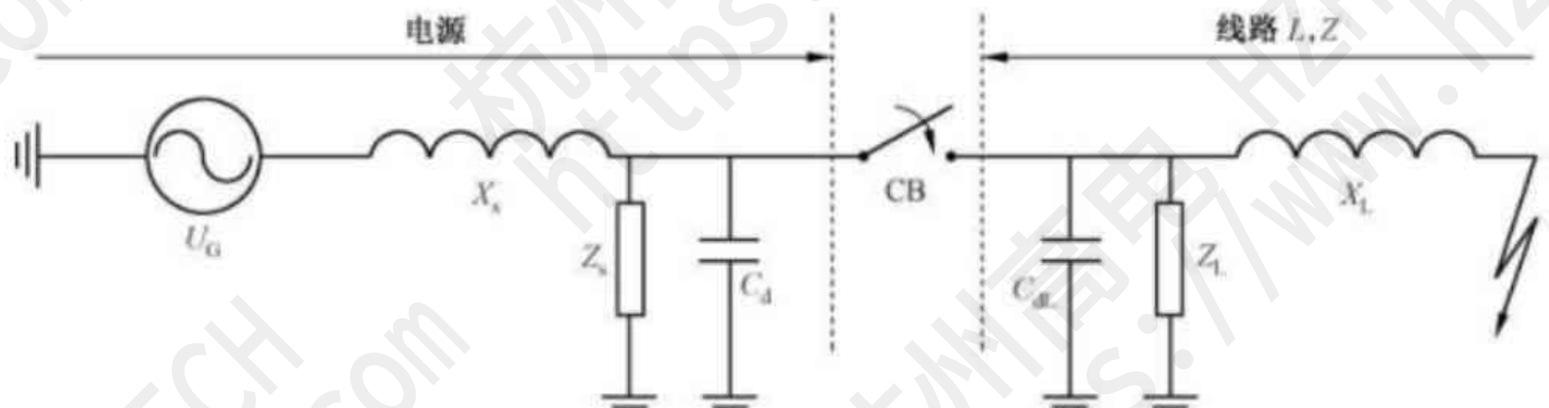
考虑到电源侧和线路侧的时延以及 ITRV（见 7.103.5），规定了两项主要要求且应把它们区分开来：

a)　电源侧：有时延（t_d）而无 ITRV；
　　线路侧：有时延（t_{dL}）；

b1)　电源侧：有 ITRV；
　　线路侧：有时延（t_{dL}）；

b2)　电源侧：有时延（t_d）；
　　线路侧：时延（t_{dL}）小于 100 ns。

如果线路侧采用时延小于 100 ns 的振荡，则代表电源侧的 ITRV 可忽略。



标引序号说明：

U_G ——电源电压，相对地值；
X_s ——电源侧工频电抗；
Z_s ——电源侧 TRV 控制元件；
C_d ——电源侧时延电容；
CB ——断路器；
X_L ——线路侧工频电抗；
Z_L ——线路侧 TRV 控制元件；
C_{dL} ——线路侧时延电容；
Z ——线路波阻抗；
L ——至故障点的线路长度。

图 47　符合 7.109.3 的近区故障试验的基本回路布置和 a)类预期 TRV 回路：电源侧和线路侧均有时延

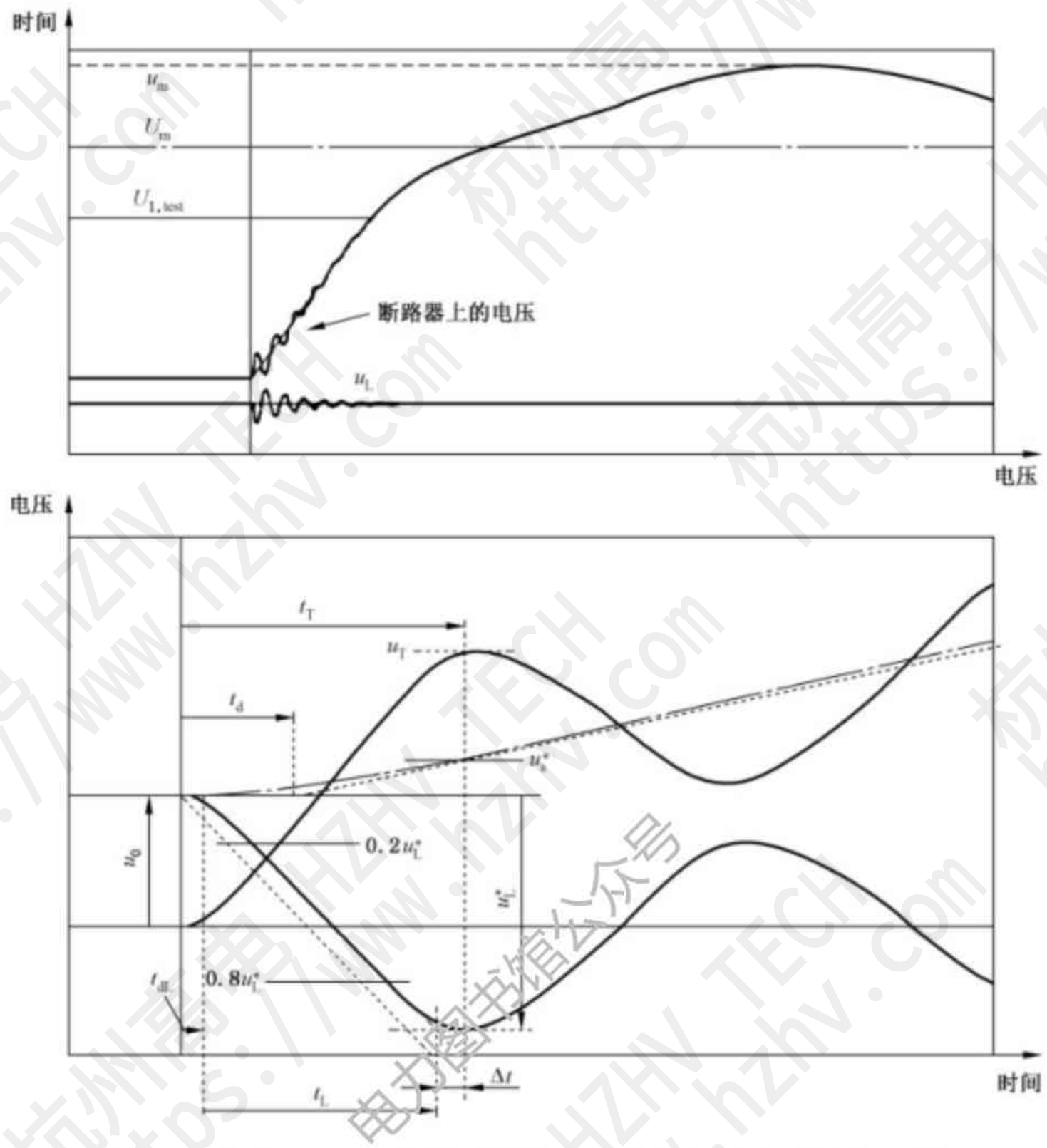
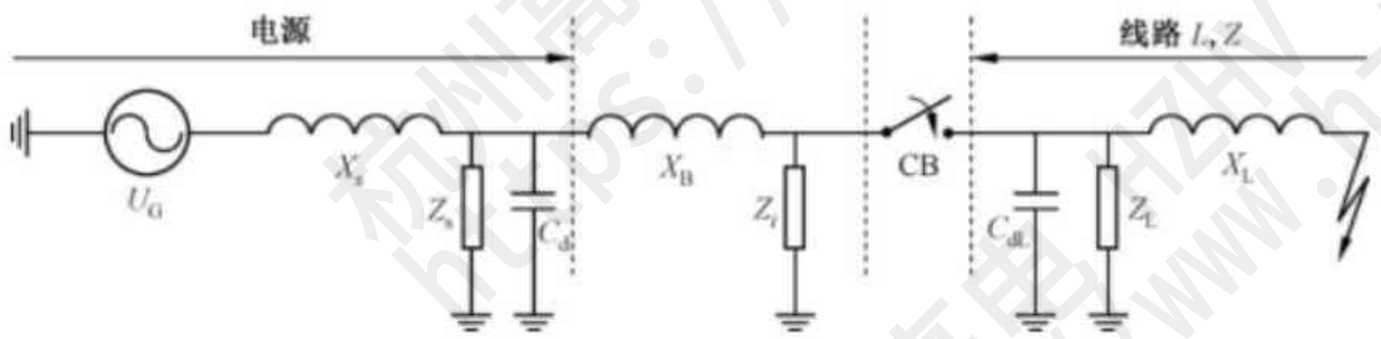


图 47　符合 7.109.3 的近区故障试验的基本回路布置和 a)类预期 TRV 回路：电源侧和线路侧均有时延（续）



标引序号说明：

U_G ——电源电压，相对地值；

X_s ——电源侧工频电抗；

Z_s ——电源侧 TRV 控制元件；

C_d ——电源侧时延电容；

CB ——断路器；

X_B ——母线工频电抗；

X_L ——线路侧工频电抗；

Z_L ——线路侧 TRV 控制元件；

C_{dL} ——线路侧时延电容；

Z ——线路波阻抗；

L ——至故障点的线路长度；

Z_i ——ITRV 控制元件。

图 48　符合 7.109.3 的近区故障试验的基本回路布置和 b1）类预期 TRV 回路：电源侧有 ITRV 和线路侧有时延

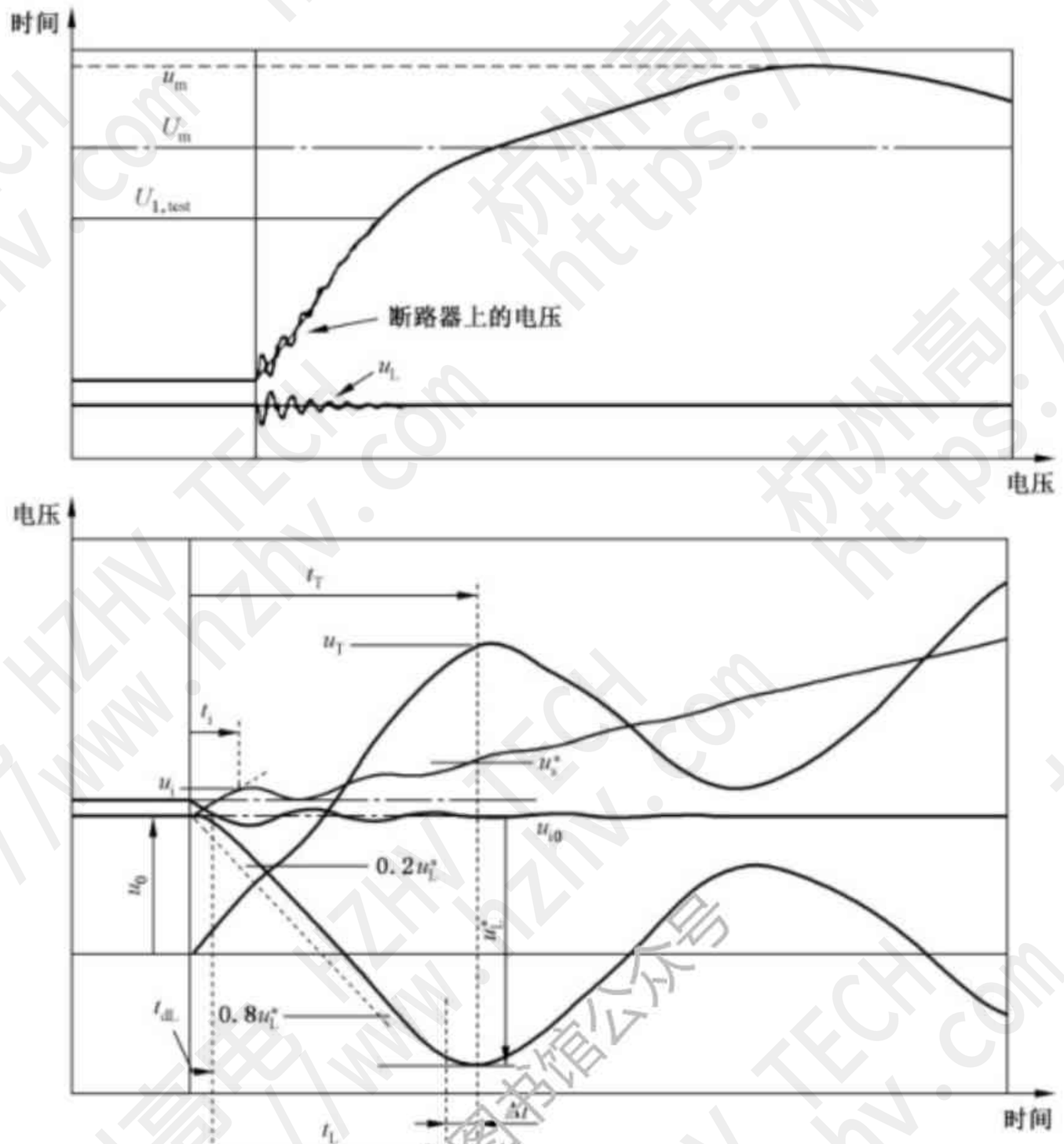
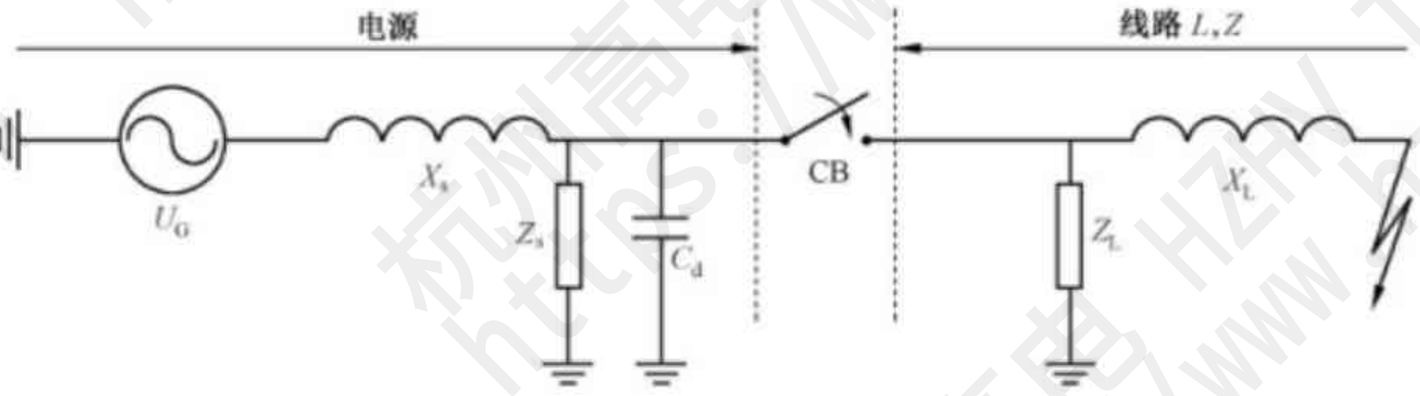


图 48　符合 7.109.3 的近区故障试验的基本回路布置和 b1）类预期 TRV 回路：电源侧有 ITRV 和线路侧有时延（续）



标引序号说明：

U_G——电源电压，相对地值；

X_s——电源侧工频电抗；

Z_s——电源侧 TRV 控制元件；

C_d——电源侧时延电容；

CB——断路器；

X_L——线路侧工频电抗；

Z_L——线路侧 TRV 控制元件；

Z——线路波阻抗；

L——至故障点的线路长度。

图 49　符合 7.109.3 的近区故障试验的基本回路布置和 b2）类预期 TRV 回路：电源侧有时延和线路侧无时延

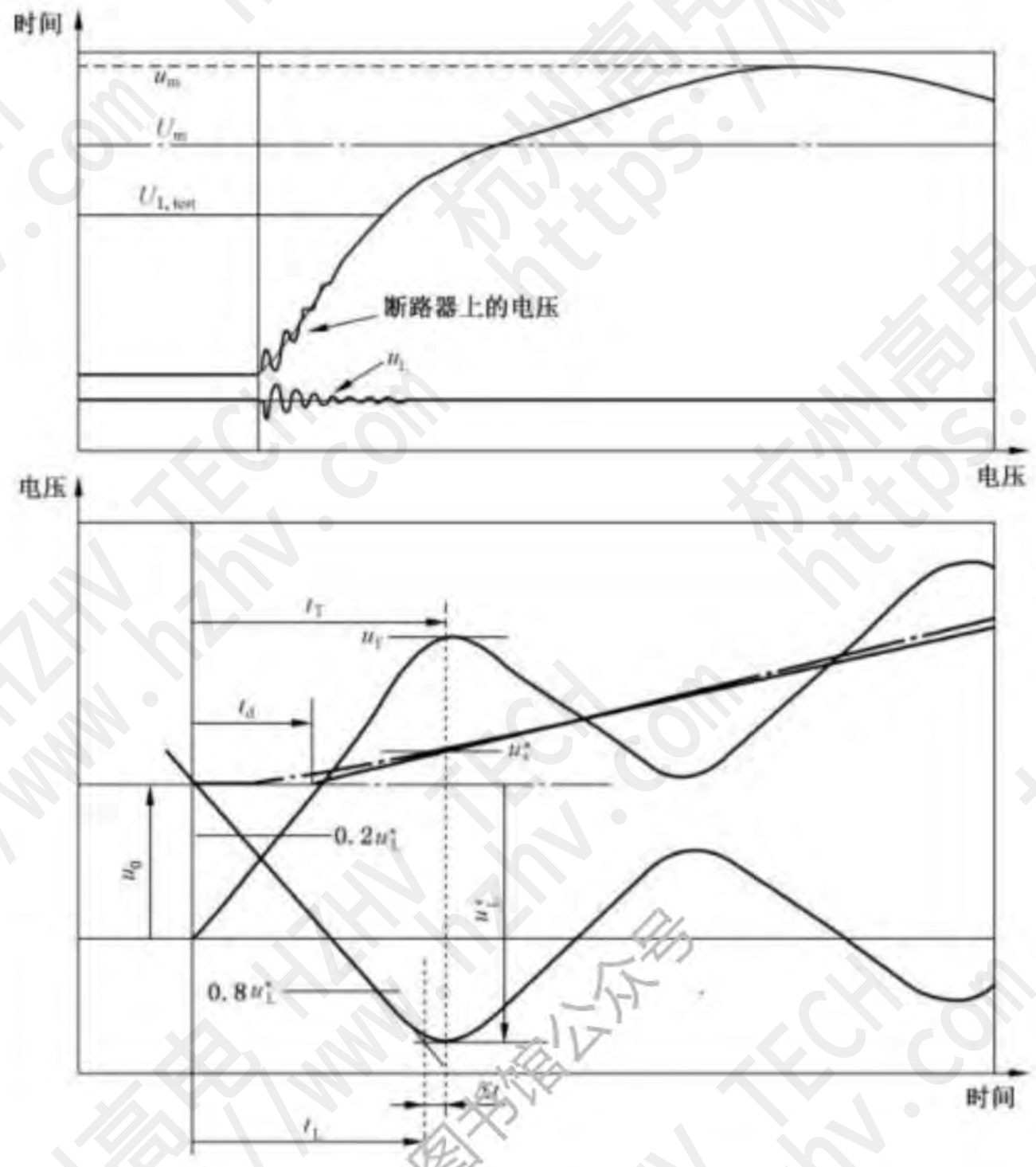


图 49　符合 7.109.3 的近区故障试验的基本回路布置和 b2）类预期 TRV 回路：电源侧有时延和线路侧无时延（续）

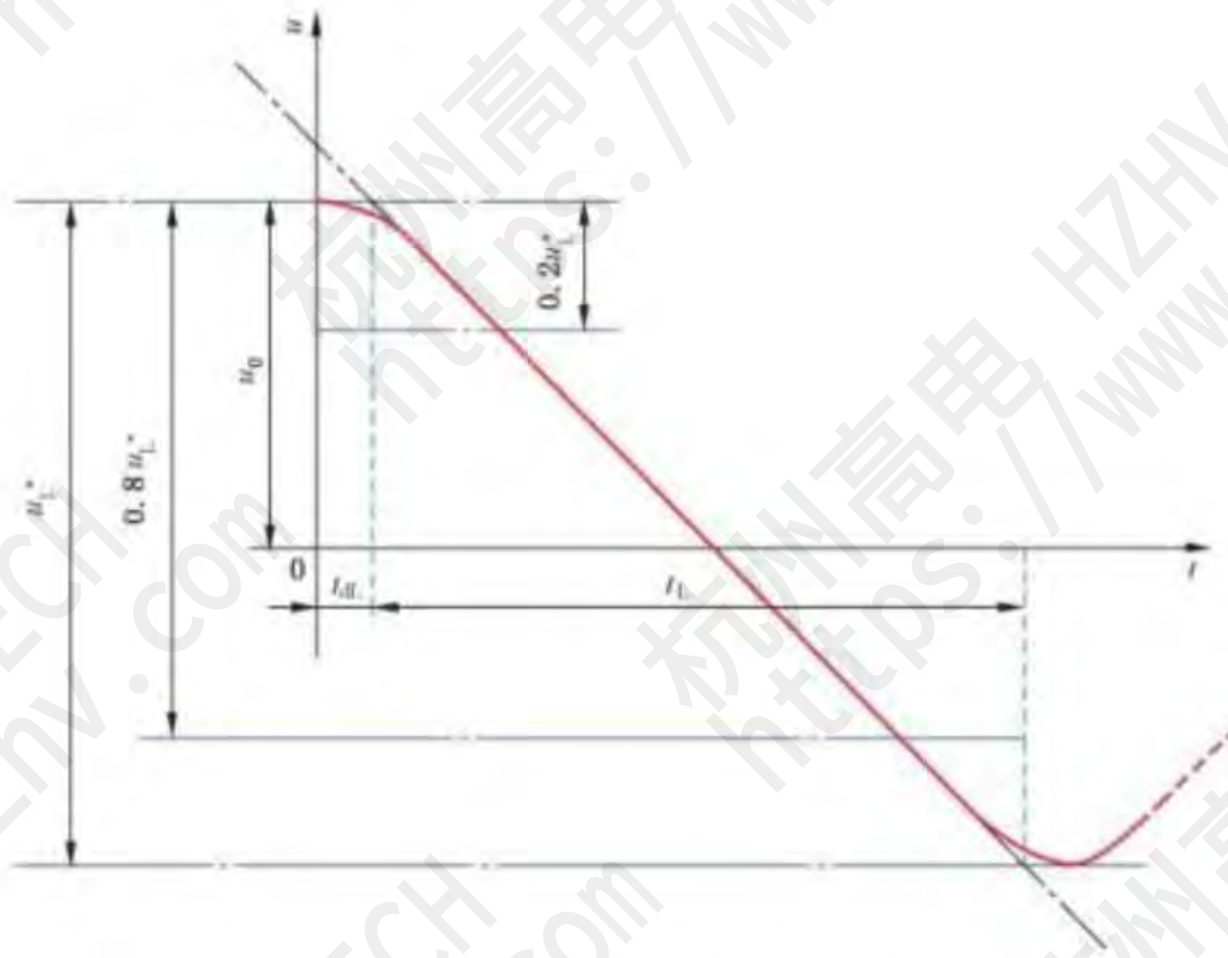


图 50　有时延的线路侧瞬态恢复电压的示例

如果线路侧电压上升为非线性，图 45 给出了线路侧时延的确定方法。

线路侧时延定义为线路侧 TRV 起始点与由 $0.2U_L^*$ 和 $0.8\,U_L^*$ 确定的直线与线路侧 TRV 起始部分切线的交点之间的时间(见图 50)。也可见 IEC TR 62271-306:2012+AMD1:2018 的 7.3.1.1。

考虑到这些规定,根据它们的时延表征的 3 种试验回路适用于近区故障试验。

——SLF 回路 a):电源侧有时延(t_d)且线路侧有时延(t_{dL})(见表 I.2);回路如图 47 所示。

——SLF 回路 b1):电源侧有 ITRV 且线路侧有时延(t_{dL})(见表 I.3);回路如图 48 所示。

——SLF 回路 b2):电源侧有时延(t_d)且线路侧时延(t_{dL})小于 100ns(见表 I.4);回路如图 49 所示。

回路 a)仅适用于没有 ITRV 要求的场合。若断路器的两个端子在电气上一样,则回路 b2)可作为回路 b1)的替代回路。

试验回路的选择见图 51 的流程图。

试验回路电源侧和线路侧的其他特征应与附录 I 中给出的解释和计算一致。

当适用时,对于额定电压大于 800 kV 的断路器,可用线路侧时延小于 100 ns、波阻抗为 450 Ω(见 7.105.5.1)的试验回路对其进行试验。如果在此试验过程中断路器在 ITRV 第一个峰值后开断失败,可用符合规定的 ITRV、330 Ω 波阻抗和规定时延 t_{dL} 的试验回路重复该试验。对于这两种情况,在 T100s 和 T100a 中无需再施加额定 ITRV 试验条件。

如果由于试验室条件的限制,电源侧的 TRV 要求不能满足时,电源侧 TRV 时延过长的缺陷可通过提高线路侧电压的幅值来补偿。线路侧电压的提高值 $u_{L,mod}^*$ 可按下述方法计算(也可见图 45、图 50 和图 52):

$$t_d < t'_d \leqslant t_L \quad u_{L,mod}^* = u_L^* + L_f \times RRRV \times (t'_d - t_d)$$

$$t_d < t_L \leqslant t'_d \quad u_{L,mod}^* = u_L^* + L_f \times RRRV \times (t_L - t_d)$$

式中:

$RRRV$ ——要求的电源侧恢复电压上升率$\left(\frac{kV}{\mu s}\right)$;

L_f ——SLF 的电流系数$\frac{I_L}{I_{sc}}$ (0.9 或 0.75 或 0.60);

t_d ——要求的电源侧时延,单位为微秒(μs);

t'_d ——电源侧的实际时延,单位为微秒(μs);

t_L ——线路侧瞬态电压到达峰值电压u_L^* 的时间,单位为微秒(μs);

u_L^* ——要求的线路侧峰值电压,单位为千伏(kV);

$u_{L,mod}^*$ ——调节的线路侧峰值电压,单位为千伏(kV)。

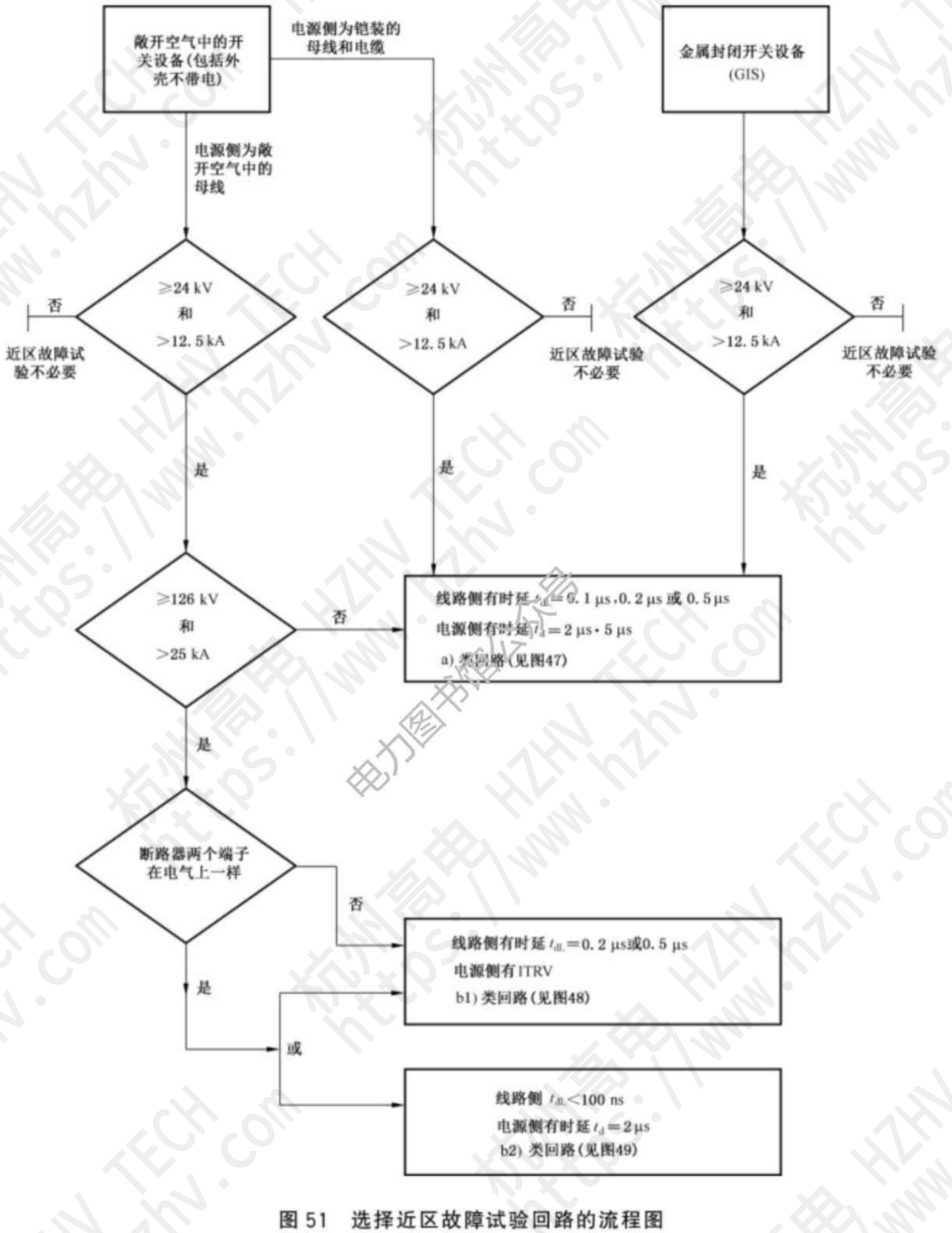


图 51　选择近区故障试验回路的流程图

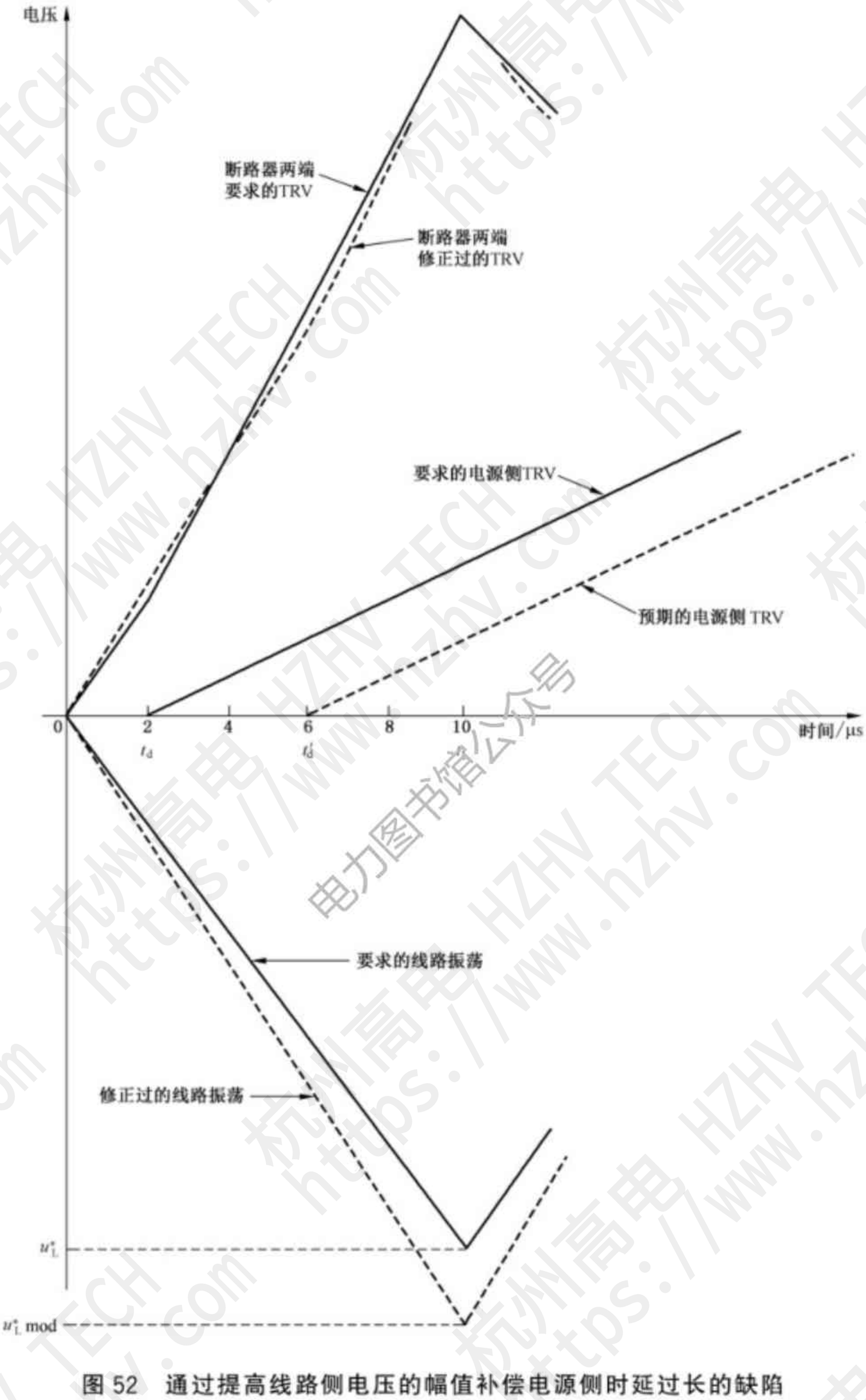


图 52 通过提高线路侧电压的幅值补偿电源侧时延过长的缺陷

如果试验是在断路器一个端子接地的情况下进行的，如在合成试验时，应对线路侧和电源侧振荡的电压分布系数进行测量或计算。线路侧振荡较高应力的关合和开断单元就是电源侧振荡较低应力的关合和开断单元，认为更显著的作用来自线路侧。单元试验和多单元试验的电压分布系数应分别如下所述。

——单元试验：应测量或计算线路侧关合和开断单元的系数。

——多单元试验：应测量或计算邻近线路侧的多关合和开断单元的系数。宜注意到在多个关合和

开断单元内电压的分布不使断路器过负荷。对受试部分应采用新的测量或计算方法。

测量预期 TRV 时，应把线路连接到实际的回路中以便考虑到试验回路中分压器、杂散电容和电感产生的所有影响。

可在断路器的线路侧或电源侧或断路器的断口间接上一个附加的电容，用来调节试验回路中各个部分的时延。

注 1：术语“实际的”是用来和标称值(90%、75%、60%)相区别；不排除使用 7.105.3 规定的预期短路开断电流。

注 2：如果为了调节线路侧的时延使其达到表 25 中的标准值而接入了附加的电容，则在该电容的延时效应衰减后，线路侧 TRV 的上升率将达到其标准值($du_L/dt = -s \times I_L$)。

当断路器的开断能力不足以开断近区故障时，不论在试验或运行时，可在断路器的线路侧或断路器断口间使用一个附加的并联电容。通过这个方法可降低断路器所承受的应力。试验中所使用的附加电容的电容值和位置都应在试验报告中表示出来。

对于大容量的附加电容，由于该附加电容的效应，线路侧的波阻抗和线路侧的延时可能会降低。然而，线路自身的波阻抗(事先已按表 25 中给出的标准值调整过)保持不变。因为附加电容的延时效应的衰减时间可能长于到达线路侧 TRV 第一峰值的时间，所以，TRV 上升阶段的较低的上升率可能被误解为线路侧减小的波阻抗。因此，对于接有附加电容的线路，计算的时延和波阻抗值与试验无关。

试验报告宜给出适合于断路器额定值的规定的 TRV，且为了比较起见，还宜给出所用的试验回路的预期 TRV。

7.109.4 试验方式

近区故障试验应为单相试验，试验方式的系列规定如下。每一试验方式由额定操作顺序组成。为了便于试验，关合操作可为空载操作。

试验回路应符合 7.109.3。

电源侧预期 TRV 应符合表 26。

表 26 近区故障电源侧回路预期 TRV 的标准值

额定电压 U_r kV	首开极系数 k_{pp} p.u.	振幅系数 k_{af} p.u.	第一参考电压 u_1 kV	时间 t_1 μs	TRV 峰值 u_c kV	时间 t_2 或 t_3 μs	时延 t_d μs	电压 u' kV	时间 t' μs	u_1/t_1 u_c/t_3 kV/μs
24	1	1.54	—	—	30.2	28.6	1.43	10.1	11.0	1.05
40.5	1	1.54	—	—	50.9	41.2	2.06	17.0	15.8	1.24
72.5	1	1.54	—	—	91.2	62.2	3.11	30.4	23.8	1.47
126	1	1.40	77	39	144	156	2	39	22	2.0
252	1	1.40	154	77	288	308	2	77	41	2.0
363	1	1.40	222	111	414	444	2	111	57	2.0
550	1	1.40	337	168	629	672	2	168	86	2.0
800	1	1.40	490	245	914	980	2	245	124	2.0
1 100	1	1.50	674	337	1 347	1011	2	337	170	2.0

对于这些试验方式，触头分离时刻的直流分量百分数应小于交流分量的 20%。

与符合 7.109.2 的试验电流相关的试验方式如下。

a) 试验方式 L_{90}

在 7.109.2 给出的 L_{90} 的电流和适当的预期 TRV 下进行。

该试验方式仅对额定电压高于 40.5 kV 的断路器是强制性的。

b) 试验方式 L_{75}

在 7.109.2 给出的 L_{75} 的电流和适当的预期 TRV 下进行。

c) 试验方式 L_{60}

在 7.109.2 给出的 L_{60} 的电流和适当的预期 TRV 下进行。

仅对额定电压高于 40.5 kV 的断路器且仅当试验方式 L_{75} 中获得的最短燃弧时间长于试验方式 L_{90} 中的最短燃弧时间 1/4 周波或更多时，这个试验方式才是强制性的。

7.109.5 用容量有限的试验电源进行近区故障试验

当试验站可供利用的最大短路容量不足以对断路器整极进行近区故障试验时，允许进行单元试验(见 7.102.4.2)。

当放宽 7.109.3 的规定时，近区故障试验也可在降低的工频电压下进行。应尽可能地满足这些规定，且 TRV 应至少在 3 倍于线路侧恢复电压第一幅值的规定时间内予以满足。如果 7.107 中的端子故障试验方式已满足，且假定断路器在 TRV 的峰值附近的介质强度与电流过零后施加在其上的电压无关，就可使用这一方法。这个试验方法也可和单元试验结合使用。

如果近区故障试验是在降低的工频电压下进行的，且任何一个近区故障试验方式按照 7.104.3.2 确定的最长燃弧时间长于试验方式 T100s 的最长燃弧时间 2 ms，则应在端子故障 T100s 的试验条件下进行一个具有近区故障试验获得的最长燃弧时间的分闸操作。这个附加操作的 TRV 参数可降低到相应于首开极系数为 1.0 和正常的近区故障试验相同的值。如果附加的分闸操作成功地开断了电流，则认为断路器仅通过了近区故障试验。

7.110 失步关合和开断试验

7.110.1 试验回路

试验通常在单相试验回路中进行，因此，本条款仅涉及单相试验程序。

除了单相试验外，也允许三相试验。如果进行三相试验，试验程序应按照制造厂和用户之间的协议。

试验回路宜这样布置，约有一半的外施电压和恢复电压施加在断路器的每一侧(见图 21)。

如果在试验站使用这种回路不现实时，征得制造厂的同意，只要断路器两端的总电压符合 7.110.2 中的规定，可采用相差 120°的两个相同的电压代替 180°(见图 22)。

制造厂同意时，允许断路器的一端接地(见图 23)。

7.110.2 试验电压

下述内容适用于关合和开断操作期间使用的试验电压：

a) 对用于中性点有效接地系统中的断路器，外施电压和工频恢复电压应为 $(2u_r)/\sqrt{3}$；

b) 对用于中性点非有效接地系统中的断路器，关合操作期间的外施电压应为 $(2u_r)/\sqrt{3}$，工频恢复电压应为 $(2.5u_r)/\sqrt{3}$。

TRV 应符合 7.105.5.6。

7.110.3 试验方式

应进行的试验方式列于表 27 中。燃弧时间见 7.104.3。

表 27　验证失步额定值的试验方式

试验方式	操作顺序	开断电流占额定失步开断电流的百分数
OP1	O—O—O	30
OP2	CO—O—O 或替代的 C' —C'' O—O—O C' :全电压下的 C; C'' :空载时的 C	100

注 1：装有合闸电阻的断路器，合闸电阻的热耐受能力根据制造厂和用户的协议单独试验。

注 2：按照 7.108.1 规定的临界电流试验，若试验方式 T10 不发生临界电流现象，则试验方式 OP1 可免去。

对于每一个试验方式的开断操作，触头分离时刻开断电流的直流分量百分数应小于交流分量的 20%。

对于试验方式 OP2 中的合—分操作循环中的关合操作。

a) 外施电压应为$\frac{2u_r}{\sqrt{3}}$；为了便于试验，用于中性点非有效接地系统中的断路器的外施电压在征得制造厂的同意后可提高到$\frac{2.5u_r}{\sqrt{3}}$。

注 1：2.0 p.u 的工频电压规定为关合时首先合闸极（最长预击穿时间作用的极）的正常出现的最高值。

注 2：对中性点有效接地系统和中性点非有效接地系统中的开断规定的工频恢复电压对应的失步电压系数分别为 2.0 和 2.5.，它们涵盖了失步关合和开断条件下断路器应用的绝大多数场合（见 9.103.3）。在中性点有效接地系统中，当额定电压在 800 kV 及以下时，对应于 2.0 p.u.的失步相角约为 105°，当额定电压大于 800 kV 时，失步相角约为 115°。在中性点非有效接地系统中对应于 2.5 p.u.的失步相角约为 115°。然而，考虑到其他因素，例如电压峰值非同期性、较低的κ_{pp}（见 IEC TR 62271-306:2012+AMD1:2018），认为此试验条件已经覆盖了更大的相角。

b) 关合应发生在外施电压峰值的±15°内。

c) 关合操作应产生具有最长预击穿时间的对称电流。关合电流应等于额定失步关合电流。

如果关合在外施电压峰值处的预击穿时间小于或等于工频周波的 1/2，则关合电流可降低到任何较小的值，但不应小于 1 kA。

如果关合在外施电压峰值处的预击穿时间不超过工频周波的 1/4（偏差为 20%），由于试验设施可能的制约允许将 OP2 中的 CO 操作循环按下述顺序替代：

——C　在全电压下；

——CO　空载合闸。

7.111　容性电流试验

7.111.1　通则

本章节介绍在 5.106 中定义的不同额定值的容性电流试验程序以及与它们相关的重击穿级别。

在相同的接地条件下，对背对背电容器组证明的断路器额定值和重击穿级别，也适用于单个电容器组。

在 60 Hz 下进行的试验覆盖了同样重击穿概率级别的 50 Hz 的试验。

如果断路器断口间的恢复电压在第一个 8.3 ms 内不低于 60 Hz 下的电压值，那么 50 Hz 下的试验可覆盖 60 Hz。该试验方法应征得制造厂的同意。

7.111.2 适用性

容性电流开合试验适用于规定有下述一个或多个额定值的所有断路器：

——额定线路充电开断电流；

——额定电缆充电开断电流；

——额定单个电容器组开断电流；

——额定背对背电容器组开断电流和关合涌流。

额定容性电流的优选值在表 1 中给出。

对应这些额定值规定的试验是单独的型式试验，每个试验序列包含了两个试验方式。

注 1：开合容性负载时过电压的确定不在本文件的范围内。

注 2：关于容性负载开合的解释性的注解在 IEC TR 62271-306:2012+AMD1:2018 中给出。

当选相合闸用于背对背电容器组关合试验时，GB/T 30846 适用。

7.111.3 电源回路特性

试验回路应满足下述要求。

a) 在开合时，试验回路的特性宜为：开断时工频电压的变化，对试验方式 1(LC1、CC1 和 BC1)小于 2%；对试验方式 2(LC2、CC2 和 BC2)小于 5%。如果电压变化超过规定值，允许使用规定恢复电压的试验(7.111.10)或合成试验来替代进行试验。

b) 电源回路的阻抗不应低至使其短路电流超过断路器的额定短路开断电流。

对于线路充电、电缆充电或单个电容器组电流试验，电源回路的预期 TRV 不应比 7.105.5.2 中对试验方式 T100s 规定的 TRV 更严酷。

对于背对背电容器组关合和开断试验，电源回路的电容以及电源侧电容和负载侧电容之间的阻抗，应使得在 100%额定背对背电容器组开断电流试验时达到额定背对背电容器组关合涌流。

对于背对背电容器组关合和开断试验，如果关合试验单独进行，可为开断试验选择较低的电源回路电容。但该电容值不宜太低以使得电源侧的预期 TRV 超过 7.105.5.2 中对试验方式 T100s 所规定的值。

试验回路的频率应为额定频率，容差为±2%。

7.111.4 试验回路的接地

7.111.4.1 电源回路

对于试验室单相试验，单相电源回路的任一端可接地。但是，如果必须保证断路器各关合和开断单元之间正确的电压分布，电源回路的另一端可接地。

三相试验，电源回路应按下列规定接地。

a) 对于电容器组关合和开断试验，电源回路的中性点应接地。对于中性点有效接地的电容器组，零序阻抗应不大于 3 倍的正序阻抗；对于中性点绝缘的电容器组，与该比值无关。就开合容性负载而言，中性点高阻抗接地系统被认为属于中性点有效接地系统。

注：中性点高阻抗接地系统的条件仅适用于容性负载开合试验。

b) 对于线路充电电流和电缆充电电流试验，电源回路的接地宜相应于断路器使用时回路的接地条件。

——对用于中性点有效接地系统中的断路器的三相试验，电源回路的中性点应接地，其零序阻抗应不大于 3 倍的正序阻抗。

——对用于中性点非有效接地系统中的断路器的三相试验，电源侧的中性点应绝缘。

为了试验方便，只要能获取表 D.1 和表 D.2 给出的恢复电压值的等价值，可使用替代的试验回路。

另外，应注意 TRV 控制电容对恢复电压值的影响，尤其是对小的容性电流。表 28 中给出了要求的恢复电压值。

表 28　u_1、t_1、u_c 和 t_2 的规定值

试验方式	与试验电压峰值有关的图 53 中的恢复电压值		图 53 中的时间值	
	u_c p.u.	u_1 p.u.	t_1	t_2
1	≥1.98	≤0.02×k_{af}[a]	≥t_1 或 t_2(7.105.5.1 中为试验方式 T100 规定的值)	8.7 ms (50 Hz)
2	≥1.95	≤0.05×k_{af}[a]		
注：对于具有规定恢复电压的试验，根据相应单相直接试验的试验电压计算预期恢复电压。				
[a] 对于额定电压 126 kV～800 kV 的断路器以及 S1 级断路器，k_{af}=1.4(见表 16、表 18 和表 19)。 对于额定电压大于 800 kV 的断路器，k_{af}=1.5(见表 18)。 对于 S2 级断路器，k_{af}=1.54(见表 17)。				

7.111.4.2　三相电容器组电流试验的负载回路

断路器在电容器组中性点绝缘完成的试验可覆盖其在电容器组中性点接地系统中的开合性能。但是断路器在电源回路接地和电容器组中性点接地完成的试验无法证明其在电容器组中性点绝缘系统中的开合性能。

7.111.5　被开合的容性回路的特性

7.111.5.1　通则

被开合的容性回路有下述 3 种可能性。

a) 三相试验，在线路充电和电缆充电电流试验的情况下，允许采用并联线路或电缆，或者用集中电容器组部分地或全部地替代实际的三相线路或电缆。对于额定电压 72.5 kV 以上，其最终的正序电容应等于 2 倍的零序电容以再现三芯铠装电缆；对于额定电压 72.5 kV 及以下，其正序电容应等于 3 倍的零序电容。

b) 用三相试验回路进行单相试验，容性回路的两相直接连接到三相电源回路，而另一相通过断路器的被试极连接到电源回路。

c) 试验室单相试验，在电缆充电或线路充电电流试验的情况下，允许用集中电容器组部分地或全部地取代实际的线路或电缆，也允许采用几条不同相的导线并联连接，电流通过地或一个导线返回。

包括所有必需的测量装置如分压器在内的容性回路特性，应为在电弧最终熄灭后 300 ms 时负载侧电压的衰减不超过 10%。但在 LC1 和/或 CC1 无此要求，因为在表 28 试验方式 2 中已经证明了断路器在 300 ms 内耐受恢复电压的能力。

在试验室试验中，线路和电缆可部分或全部由电容器、电抗器或电阻器等集中参数元件组成的人工回路代替。

7.111.5.2　线路充电和电缆充电电流试验

当利用电容器模拟架空线路或电缆时，可用一个最大值为 5%容抗的无感电阻器与电容器串联。更高的电阻值可能会过分地影响恢复电压。如果串联这个电阻器后，涌流峰值仍然高得不可接受，可用

一个替代阻抗(例如 LR)来替代电阻器。

采用该替代阻抗应注意,因为该阻抗在重燃后会产生过电压,将可能导致更进一步重燃或重击穿。

7.111.5.3 电容器组电流关合和开断试验

如果满足下述条件就涵盖了背对背电容器组的关合性能:

——预期的峰值关合涌流等于或大于额定值;

——试验的涌流频率为 4 250 Hz,其容差见表 A.1。

在背对背电容器组关合试验中,关合涌流预期的阻尼系数,即同极性第二个电流峰值和第一个电流峰值的比值,对于额定电压 72.5 kV 及以下的断路器,不应小于 0.75;对于额定电压 72.5 kV 以上的断路器,不应小于 0.85。

在单个电容器组电流关合和开断试验及背对背电容器组电流开断试验中,可用一个最大值为 5% 容抗的无感电阻器与电容器串联。更高的电阻值可能会过分地影响恢复电压和关合涌流。

7.111.6 电流波形

被开断电流的波形宜尽可能地接近正弦波。如果电流有效值与其基波分量有效值之比不超过 1.2,则认为满足该条件。

被开断电流在每个工频半波中过零不应多于一次。

7.111.7 试验电压

对于三相直接试验和被开合的容性回路按照 7.111.5.1b)布置的单相试验,试验电压应在断路器临分闸前,于容性负载回路的相间测得,应不小于断路器的额定电压 U_r。

对于试验室单相直接试验,在断路器临分闸前,于断路器所在处测得的试验电压应不小于 $\frac{U_r}{\sqrt{3}}$ 与下列容性电压系数 k_c 的乘积。

a) $k_c=1.0$

适用的试验相应于中性点有效接地系统的正常运行条件,且容性回路相邻的相间无明显的相互影响,典型的回路如中性点接地的电容器组和分相屏蔽电缆。

b) $k_c=1.2$

适用于按 7.111.5.1c)规定的相应于额定电压 126 kV～800 kV 的中性点有效接地系统中正常运行条件下铠装电缆和线路充电电流开合试验。该条件也适用于中性点高阻抗系统。

注 1:中性点高阻抗接地系统的条件仅适用于容性负载开合试验。

注 2:确定中性点高阻抗接地系统中中性点阻抗的选择,使保护继电器能在短时间内工作,以检测单相接地故障。阻抗值通常在几百欧姆左右。

c) $k_c=1.3$

适用于按 7.111.5.1c)规定的相应于额定电压 800 kV 以上的中性点有效接地系统中正常运行条件下铠装电缆和线路充电电流开合试验。该条件也适用于中性点高阻抗系统。

注 3:中性点高阻抗接地系统的条件仅适用于容性负载开合试验。

注 4:确定中性点高阻抗接地系统中中性点阻抗的选择,使保护继电器能在短时间内工作,以检测单相接地故障。阻抗值通常在几百欧姆左右。

d) $k_c=1.4$

适用的这类试验相应于以下情况:

——中性点非有效接地系统中的正常运行条件下的开断;

——中性点绝缘的电容器组的开断。

另外，k_c=1.4 也适用于按照 7.111.5.1c)规定的相应于额定电压 72.5 kV 及以下，中性点有效接地系统中正常使用条件下铠装电缆和线路充电电流开合试验。

对于单元试验，其试验电压应选定为相应于断路器整极中承受电压最高的关合和开断单元的电压。

容性回路上的工频试验电压和由残余电荷产生的直流电压在开断后应保持至少 0.3 s。

注 5：上述 b)、c)和 d)中的电压系数适用于单回线路结构。多回架空线路结构的试验要求可能大于这些系数。

接地故障条件下的容性电流的关合和开断在附录 J 中介绍。

7.111.8 试验电流

不同试验方式的试验电流可由表 29 导出。

表 29 试验方式的共用要求

试验方式	脱扣器的操作电压	操作及关合和开断用的压力	试验电流作为额定容性开断电流的百分比/%	操作类型或操作顺序
LC1、CC1 和 BC1	最高电压	最低功能压力	10～40	O
LC2、CC2 和 BC2	最高电压	额定压力[a]	不小于 100	O 和 CO 或 CO
注：在脱扣器的最高操作电压下进行试验是为了便于稳定地控制操作。				
[a] 对于密封压力系统中的真空断路器，试验应在最小功能压力下进行。				

7.111.9 试验方式

7.111.9.1 通则

LC、CC 或 BC 的两个试验方式应在不经任何维修的一台试品上进行。试验方式采用下述缩写：

——线路充电电流，试验方式 1：LC1；

——线路充电电流，试验方式 2：LC2；

——电缆充电电流，试验方式 1：CC1；

——电缆充电电流，试验方式 2：CC2；

——电容器组电流，试验方式 1：BC1；

——电容器组电流，试验方式 2：BC2。

如果进行背对背电容器组开合试验，那么不要求进行相同开断电流的单个电容器组开合试验。

为了验证断路器涵盖几种额定值(例如 LC 和/或 CC 和/或 BC)的性能，重击穿性能相同的这些试验方式可合并。如果采用合并的方法，下述原则适用。

——试验电压应等于 7.111.7 中规定的验证断路器性能所需的最高值。

——试验方式和试验电流如下。

1) 试验方式 2，涵盖组合的所有试验方式 2，电流不小于需要验证的最高容性电流额定值的 100%。
2) 试验方式 1 的电流为需要验证的最高容性电流额定值的 10%～40%。
3) 如果额定值的 10%～40%没有被先前的试验方式 1 涵盖，则对每一个较低容性电流额定值进行试验方式 1。
4) 各个试验方式的所有其他要求(例如操作的类型、顺序和次数，压力条件和试验回路)也应

满足。如果对一种应用规定了 CO 操作，对另一种应用规定了 O 操作，如果试验条件相同，认为 CO 操作涵盖 O 操作。

注：IEC TR 62271-306:2012+AMD1:2018 提供了合并试验方式规则的应用例子。

7.111.9.2 C1 级和 C2 级性能的共用试验条件

对于关合—开断试验，瞬态电流消失之前断路器的触头不应分离。为此，可能需要调节合闸和分闸之间的时间间隔，但应保持 3.7.139 规定的合—分时间。

容性电流试验方式的共用要求见表 29。

对于真空断路器，关合和开断的压力条件不适用。

关合操作之前，容性回路上不应有明显的电荷存在。

在电源侧和/或负载侧非有效接地的三相背对背电容器组电流关合和开断试验中，如果满足以下要求，则认为关合操作是有效的：

——如果目标相涉及两相同时关合，关合应发生在该两相线电压峰值的±25°范围内；或

——如果是三相同时关合，目标相的关合应发生在该相外施电压峰值±25°范围内。

对于单相背对背电容器组关合试验，关合相角应在外施电压峰值的±25°以内，并且两个极性均匀分布。

对于线路充电和电缆充电电流试验，合闸操作可为空载操作。对于单个电容器组试验中的合闸操作，认为试验回路提供的关合电流已经足够。

在背对背电容器组关合和开断试验的情况下，如果不能在 CO 操作循环中满足这些要求，则允许把试验方式 2(BC2)的要求按照一系列单独的关合试验，随后再进行一系列 CO 试验，此时合闸操作可为空载操作。

也允许不把单独的 C 操作和 CO 操作完全的拆分为两部分进行试验(即一部分由所有的 C 操作组成而另一部分由所有的 CO 操作组成)，只要本试验期间任何时刻关合操作的次数大于或等于开断操作的次数，可将 C 和 CO 操作混合。80 次有效关合操作后，剩余的开断操作可按 CO 进行，此时合闸操作可为空载操作。

本试验序列中单独的关合试验应包括：

——相同的操作次数，进行背对背电容器组关合和开断试验时，预期的关合涌流应至少等于额定背对背电容器组关合涌流；

——如果目标相涉及两相同时关合，关合应发生在该两相线电压峰值的±25°范围内；或

——如果是三相同时关合，目标相的关合应发生在该相外施电压峰值±25°范围内。

试验电压应为相对地电压。

单独的关合操作后，CO 操作应在与关合操作相同的极上进行且不应进行中间维修，并应在空载条件下合闸。

关合和开断容性电流时，CO 操作循环中的分闸操作不会受到前面的合闸操作时预击穿的影响，但可能会受到由合闸操作引起的关合和开断用流体的实际性能(如密度、湍流和流体运动的局部差异)的影响。因此，仅考虑电气强度而没有考虑关合和开断用流体的运动条件，上述提到的合闸和分闸操作可分开进行。正因为这些原因，才有必要在分闸操作前进行空载合闸操作。

对于分闸操作，通过改变触头分离时刻的整定值，依次大约 6°，来确定最短燃弧时间。采用该方法，可能需要进行几次试验，以验证最短燃弧时间。

如果得到了与预期最短燃弧时间不同的燃弧时间，本次操作为有效试验并应计入要求的总次数中。在这种情况下，有必要：

——提前脱扣脉冲控制的整定值 6°，重复该试验。新的整定值可用于最短燃弧时间的其他试验；

——少做一次分闸操作以保证总的试验次数。

随后一个电流零点开断的重燃应被视为长燃弧时间时的开断操作。

规定的燃弧时间通常是针对首开极的。对于附加试验的燃弧时间不作要求。

所有要求的最短燃弧时间均应在同一极上获得。在背对背电容器组电流关合试验中，关合涌流也应在上述的同一极上获得。在每一个试验方式中，7.111.9.3.2、7.111.9.3.3 和 7.111.9.4.2～7.111.9.4.5 的操作次序不是强制性的。

对于电流路径不对称的断路器，端子接线应在试验方式 1(LC1、CC1 和 BC1)和试验方式 2(LC2、CC2 和 BC2)间倒换。试验的布置宜在两个试验方式间不干涉断路器。然而，如果该条件无法满足，允许对断路器气体进行回收降低气体压力后改变进线方式，这种情况下，应将至少 50%已用过的气体重新充入断路器内。

7.111.9.3 C1 级试验方式

7.111.9.3.1 通则

如果由于断路器的特性妨碍了燃弧时间的精确控制，每个试验方式总次数不应超过 36 次。

试验方式 1(LC1 或 CC1 或 BC1)和试验方式 2(LC2 或 CC2 或 BC2)没有优选的试验顺序。

7.111.9.3.2 三相容性电流试验

试验方式 1(LC1、CC1 和 BC1)包括总计 24 次分闸操作试验。试验方式 2(LC2、CC2 和 BC2)包括总计 24 次合分操作试验。

试验方式 1(LC1、CC1 和 BC1)：

——6 个 O，分布在一个极性上(步长：10°)；

——3 个 O，在一个极性上的最短燃弧时间；

——6 个 O，分布在另一个极性上(步长：10°)；

——3 个 O，在另一个极性上的最短燃弧时间；

——其余的试验应达到总计 24 次分闸操作，尽可能均匀分布。

试验方式 2(LC2、CC2 和 BC2)：

——6 个 CO，分布在一个极性上(步长：10°)；

——3 个 CO，在一个极性上的最短燃弧时间；

——6 个 CO，分布在另一个极性上(步长：10°)；

——3 个 CO，在另一个极性上的最短燃弧时间；

——其余的试验应达到总计 24 次合分操作，尽可能均匀分布。

7.111.9.3.3 单相容性电流试验

试验方式 1(LC1、CC1 和 BC1)包括总计 24 次分闸操作试验。试验方式 2(LC2、CC2 和 BC2)包括总计 24 次合分操作试验。

试验方式 1(LC1、CC1 和 BC1)：

——6 个 O，分布在一个极性上(步长：30°)；

——3 个 O，在一个极性上的最短燃弧时间；

——6 个 O，分布在另一个极性上(步长：30°)；

——3 个 O，在另一个极性上的最短燃弧时间；

——其余的试验应达到总计 24 次分闸操作，尽可能均匀分布。

试验方式 2(LC2、CC2 和 BC2)：

——6 个 CO，分布在一个极性上(步长：30°)；

——3 个 CO，在一个极性上的最短燃弧时间；
——6 个 CO，分布在另一个极性上（步长：30°）；
——3 个 CO，在另一个极性上的最短燃弧时间；
——其余的试验应达到总计 24 次合分操作，尽可能均匀分布。

7.111.9.4 C2 级试验方式

7.111.9.4.1 通则

C2 级断路器的容性电流试验应在断路器完成了作为预备试验的试验方式 T60（T60 与额定短路开断电流的交流分量有关）后进行。

作为替代，预备试验可在下列条件下进行：
——和试验方式 T60 相同的电流；
——降低的电压且不规定 TRV；
——3 次开断操作；
——燃弧时间：和制造厂给出的 T60 的燃弧时间值相同；
——操作及关合和开断的额定或最低功能压力。

注：出于实际原因，制造厂选择对 T60 预备试验增加其他试验方式。

如果几个容性电流试验如线路充电、电缆充电和电容器组电流试验在同一台断路器上进行且不经维修，则 T60 预备试验仅需在容性电流试验开始时进行一次。

对于线路充电或电缆充电电流，试验方式 1 和试验方式 2 之间没有优选的试验顺序。

对于电容器组（单个或背对背）关合和开断试验的强制性顺序如下：
——试验方式 2（BC2）；
——试验方式 1（BC1）。

7.111.9.4.2 三相线路充电和电缆充电电流试验

每个试验方式包括下述要求的 24 次操作或操作循环。

试验方式 1（LC1 和 CC1）：
——4 个 O，分布在一个极性上（步长：15°）；
——6 个 O，在一个极性上的最短燃弧时间；
——4 个 O，分布在另一个极性上（步长：15°）；
——6 个 O，在另一个极性上的最短燃弧时间；
——其余的试验应达到总计 24 次分闸操作，尽可能均匀分布。

试验方式 2（LC2 和 CC2）：
——4 个 CO，分布在一个极性上（步长：15°）；
——6 个 CO，在一个极性上的最短燃弧时间；
——4 个 CO，分布在另一个极性上（步长：15°）；
——6 个 CO，在另一个极性上的最短燃弧时间；
——其余的试验应达到总计 24 次合分操作，尽可能均匀分布。

如果由于断路器的特性妨碍了燃弧时间的精确控制，每个试验方式总次数不应超过 36 次，与燃弧时间无关。

7.111.9.4.3 单相线路充电和电缆充电电流试验

每个试验方式包括下述要求的 48 次操作或操作循环：

试验方式 1(LC1 和 CC1)：

——12 个 O，分布在一个极性上(步长：15°)；

——6 个 O，在一个极性上的最短燃弧时间；

——12 个 O，分布在另一个极性上(步长：15°)；

——6 个 O，在另一个极性上的最短燃弧时间；

——其余的试验应达到总计 48 次分闸操作，尽可能均匀分布。

如果由于断路器的特性妨碍了燃弧时间的精确控制，试验总次数不应超过 72 次，与燃弧时间无关。

试验方式 2(LC2 和 CC2)：

——6 个 O 和 6 个 CO，分布在一个极性上(步长：30°)；

——3 个 O 和 3 个 CO，在一个极性上的最短燃弧时间；

——6 个 O 和 6 个 CO，分布在另一个极性上(步长：30°)；

——3 个 O 和 3 个 CO，在另一个极性上的最短燃弧时间；

——其余的试验应达到总计 24 次分闸操作和 24 次合分操作，尽可能均匀分布。

如果由于断路器的特性妨碍了燃弧时间的精确控制，试验总次数不应超过 36 次单分和 36 次合分，与燃弧时间无关。

7.111.9.4.4 三相电容器组(单个或背对背)关合和开断试验

试验方式 1(BC1)应包括总计 24 次分闸操作，试验方式 2(BC2)应包括总计 80 次合分操作。

试验方式 1(BC1)：

——4 个 O，分布在一个极性上(步长：15°)；

——6 个 O，在一个极性上的最短燃弧时间；

——4 个 O，分布在另一个极性上(步长：15°)；

——6 个 O，在另一个极性上的最短燃弧时间；

——其余的试验应达到总计 24 次分闸操作，尽可能均匀分布。

如果由于断路器的特性妨碍了燃弧时间的精确控制，试验总次数不应超过 36 次，与燃弧时间无关。

试验方式 2(BC2)：

——4 个 CO，分布在一个极性上(步长：15°)；

——32 个 CO，在一个极性上的最短燃弧时间；

——4 个 CO，分布在另一个极性上(步长：15°)；

——32 个 CO，在另一个极性上的最短燃弧时间；

——其余的试验应达到总计 80 次合分操作，尽可能均匀分布。

如果由于断路器的特性妨碍了燃弧时间的精确控制，试验总次数不应超过 100 次，与燃弧时间和关合条件无关。

7.111.9.4.5 单相电容器组(单个或背对背)关合和开断试验

试验方式 1(BC1)应包括总计 48 次分闸操作的试验。试验方式 2(BC2)应包括在外施电压下关合且燃弧时间为最短燃弧时间的总计 80 次合分操作，和可空载合闸的总计 40 次的合分操作。对于背对背关合和开断试验，关合相角应在外施电压峰值的±25°以内。

试验方式 1(BC1)：

——12 个 O，分布在一个极性上(步长：15°)；

——6 个 O，在一个极性上的最短燃弧时间；

——12 个 O，分布在另一个极性上(步长：15°)；

——6 个 O，在另一个极性上的最短燃弧时间；

——其余的试验应达到总计 48 次分闸操作，尽可能均匀分布。

如果由于断路器的特性妨碍了燃弧时间的精确控制，试验总次数不应超过 72 次，与燃弧时间无关。

试验方式 2(BC2)：

——12 个 CO，分布在一个极性上(步长：15°)；

——40 个 CO，在一个极性上的最短燃弧时间；

——12 个 CO，分布在另一个极性上(步长：15°)；

——40 个 CO，在另一个极性上的最短燃弧时间；

——其余的试验应达到总计 120 次合分操作，尽可能均匀分布。

如果由于断路器的特性妨碍了燃弧时间的精确控制，满足关合相角要求的试验次数不应超过 100 次；总试验次数不应超过 158 次，与燃弧时间无关。

7.111.10 规定 TRV 的试验

作为采用 7.111.3～7.111.5 中确定的试验回路的替代回路，试验可在预期恢复电压满足下述要求的回路中进行：

——试验预期恢复电压的包络线确定为(见图 53)：

$$u'_c \geqslant u_c$$

$$t'_2 \leqslant t_2$$

——作为补充，预期恢复电压的初始部分应保持在原点到 u_1 和 t_1 确定的点组成的线段以下；

——宜注意保证实际的恢复电压不超过相应于单相直接试验(1-cos 波形)的理论上的试验电压峰值的 6%(即约为图 53 中所示的峰值恢复电压 u_c 的 3%)。

注：负载回路中采用串联电阻器(7.111.5.2 和 7.111.5.3)产生的相位移可能会导致超出上面给出的限值。在这些情况下，可降低电阻的数值或者采用适当的 LR 回路代替(7.111.5.2 和 7.111.5.3)。

单相试验 u_1、t_1、u_c 和 t_2 的规定值在表 28 中给出。

对于三相试验，上述同样的原则可用来规定首开极恢复电压的起始部分。

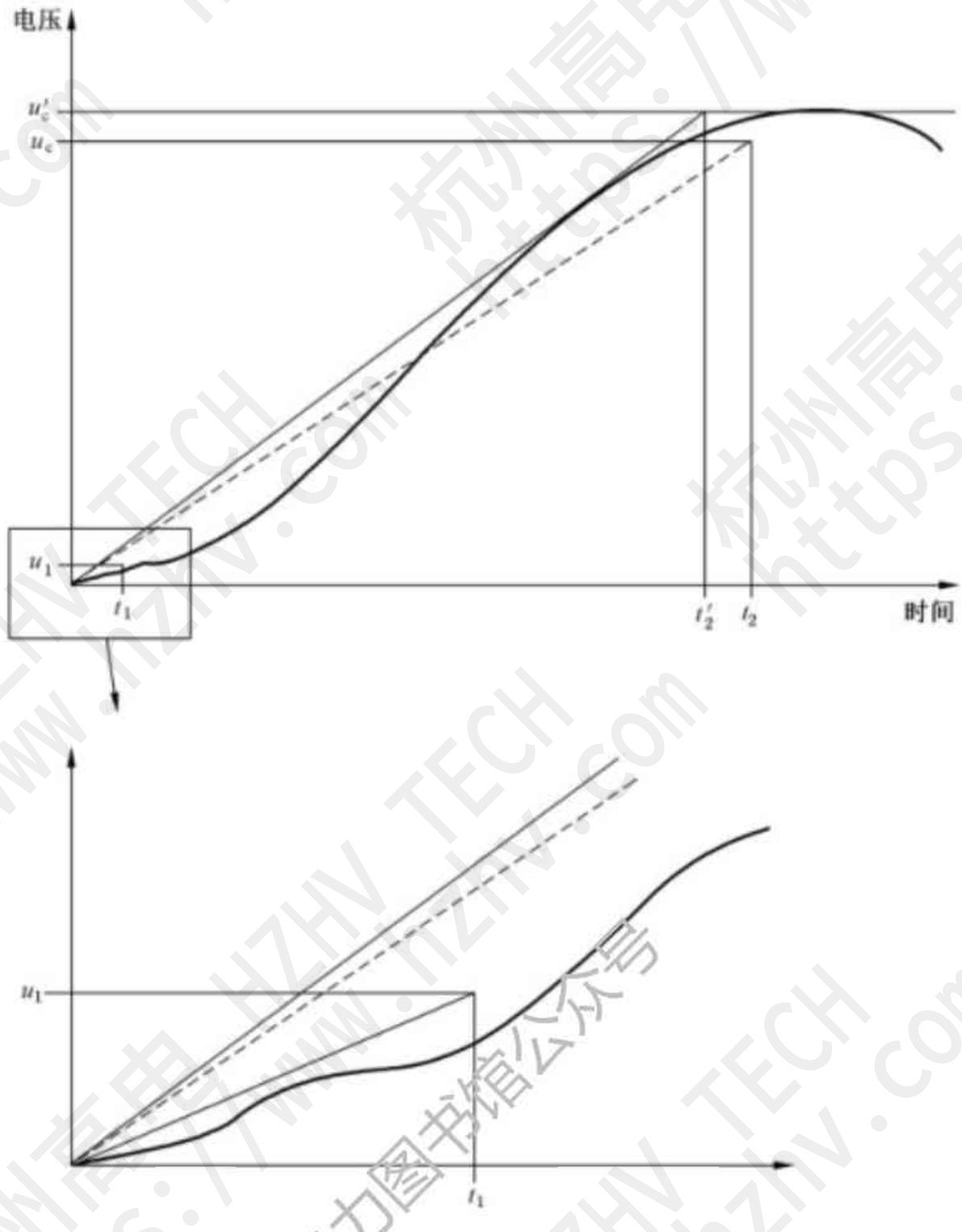


图 53 容性电流开断试验的恢复电压

7.111.11 通过试验的判据

7.111.11.1 通则

如果满足下述条件，各个等级的断路器就成功地通过了试验。

a) 在所有要求的试验方式中，断路器在开断和关合容性电流期间的性能满足 7.102.8 给出的条件。

b) 试验后断路器的状态相应于 7.102.9.2 中给出的状态。如果在试验方式 1(LC1、CC1 或 BC1)和试验方式 2(LC2、CC2 或 BC2)中未出现重击穿，外观检查就已足够。

如果进行的是符合 7.111.9.1 的组合试验，通过试验的判据适用于与涵盖的额定值所进行的试验相关的试验方式 1 和试验方式 2 的每一种组合。

7.111.11.2 C1 级断路器性能

如果在整个试验方式 1(LC1、CC1 或 BC1)和试验方式 2(LC2、CC2 或 BC2)中出现的重击穿次数不超过 1 次，断路器就成功地通过了试验。

如果在整个试验方式 1(LC1、CC1 或 BC1)和试验方式 2(LC2、CC2 或 BC2)中出现 2 次重击穿，则两个试验方式均应在未经维护的同一台断路器上重复进行。如果在该延长的试验系列中出现的重击穿不超过 1 次，则断路器就成功地通过了试验。不应发生外部闪络和相对地闪络。

在按照 7.111.9.1 进行合并试验的情况下，对于那些额定值，进行试验方式 2 和匹配的试验方式 1

时出现的重击穿总次数不超过1次，则断路器应通过了试验。当试验出现2次重击穿时该试验方式应重复进行，匹配的试验方式(试验方式1和试验方式2)的受影响的部分应予以重复。如果在多于一个试验方式1中出现1次重击穿，它们中的每一个试验方式1应与一个单独的试验方式2一起重复进行。如果仅在试验方式2中出现了2次重击穿，则该试验方式2和任一个试验方式1应予以重复。

7.111.11.3 C2级断路器性能

如果在整个试验方式1(LC1、CC1或BC1)和试验方式2(LC2、CC2或BC2)中未出现重击穿，则断路器就成功地通过了试验。

如果在整个试验方式1(LC1、CC1或BC1)和试验方式2(LC2、CC2或BC2)中出现1次重击穿，则两个试验方式均应在未经维护的同一台断路器上重复进行。如果在该延长的试验系列中没有出现重击穿，则断路器就成功地通过了试验。不应发生外部闪络和相对地闪络。

在按照7.111.9.1进行合并试验的情况下，对于那些额定值，进行试验方式2和匹配的试验方式1时没有出现重击穿，则断路器应通过了试验。如果因为出现重击穿的试验方式应重复进行，匹配的试验方式(试验方式1和试验方式2)的受影响的部分应予以重复。如果在多于一个试验方式1中出现1次重击穿，它们中的每一个试验方式1应与一个单独的试验方式2一起重复进行。如果在试验方式2中出现1次重击穿，则该试验方式2和任一个试验方式1应予以重复。

7.111.11.4 从C2级性能重新划分为C1级的判据

对于特定试验方式(LC，CC，BC)，如果断路器已满足C2级的性能要求，对于同样的方式不需要进一步试验可划分为C1级。

按C2级试验程序进行试验但未达到C2级性能要求的断路器，如果满足7.111.11.1的要求，并满足下述条件，则可看作C1级断路器。

a) 线路或电缆充电电流试验

在试验操作的第一个系列中，即三相试验时的48次和单相试验时的96次，分别见7.111.9.4.2和7.111.9.4.3，在线路充电电流试验(LC1和LC2)或电缆充电电流试验(CC1和CC2)期间总的重击穿次数不超过2次。在第一个试验系列出现一次重击穿则可能按照7.111.11.3进行重复试验系列。断路器在重复试验系列中的性能与等级的重新划分无关。如果在这个重复系列中发生了一次重击穿，则不需要进一步试验。

b) 电容器组电流试验

在试验操作的第一个系列中，即三相试验时的104次和单相试验时的168次，分别见7.111.9.4.4和7.111.9.4.5，在电容器组电流试验(BC1和BC2)期间总的重击穿次数不超过5次。在第一个试验系列出现一次重击穿则可能按照7.111.11.3进行重复试验系列。断路器在重复试验系列中的性能与等级的重新划分无关。如果在这个重复系列中发生了一次重击穿，则不需要进一步试验。

重新划分等级的程序如图54和图55所示。

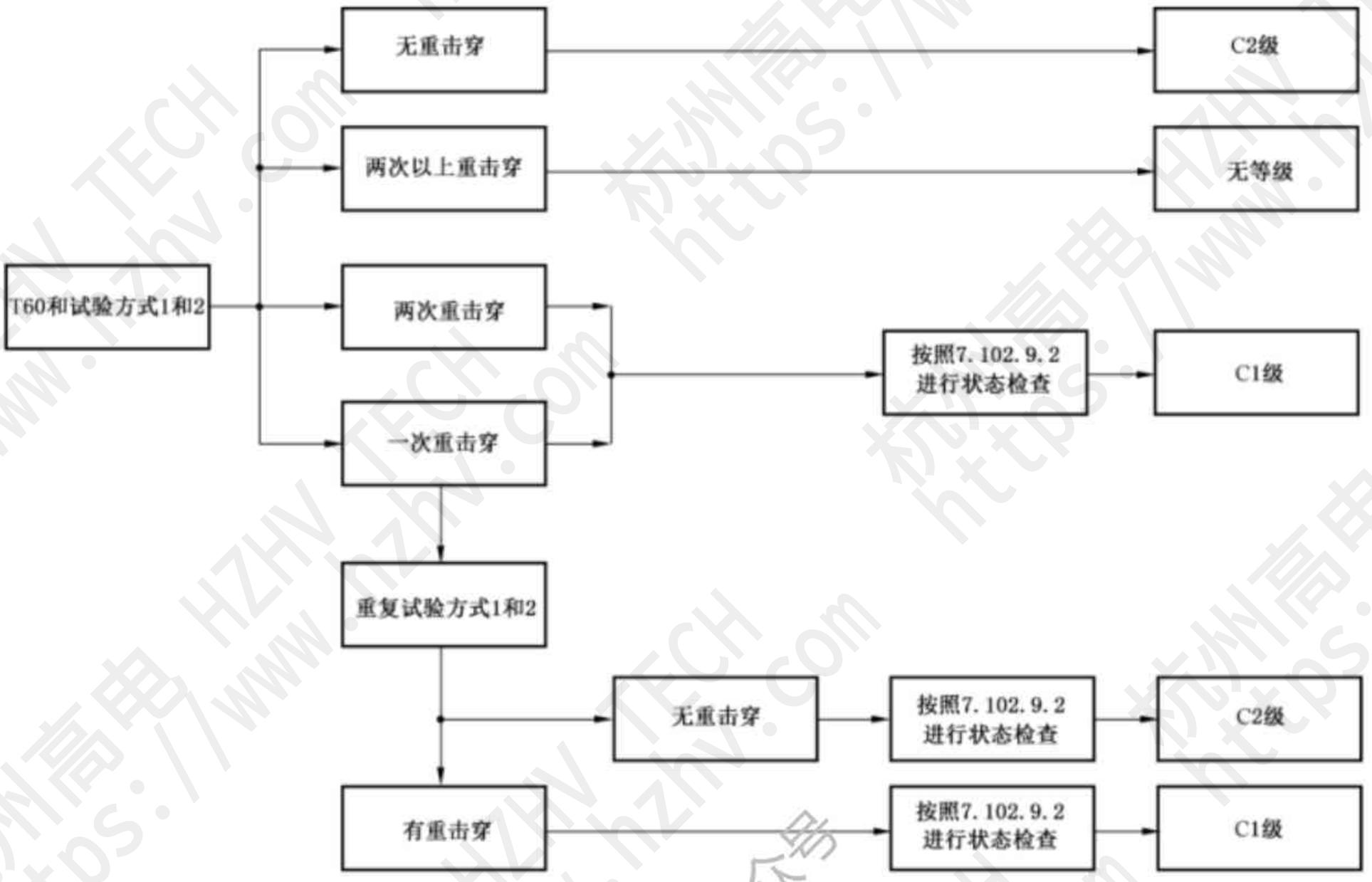


图 54　线路和电缆充电电流试验的重新分级程序

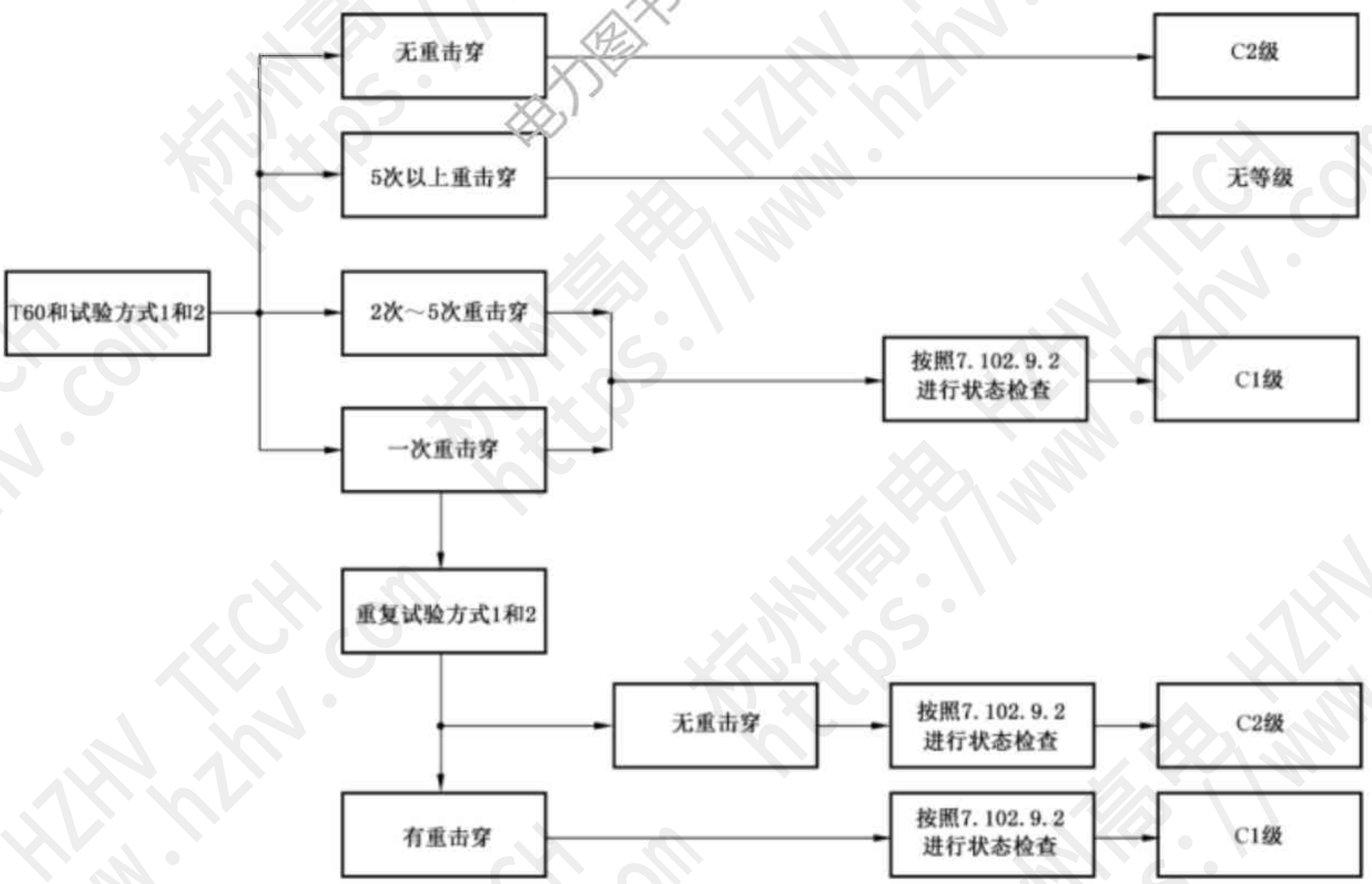


图 55　电容器组电流开合试验的重新分级程序

7.112 额定电压 40.5 kV 及以下 E2 级断路器关合和开断试验的要求

7.112.1 不用于自动重合闸方式的 E2 级断路器

不打算用于自动重合闸方式的断路器的电寿命能力，是通过不进行中间维护完成 7.107 规定的端子故障试验方式来验证。不要求进行附加的试验。

7.112.2 用于自动重合闸方式的 E2 级断路器

试验应按表 30 进行。

试验应在与 7.107 规定的端子故障试验同样的、干净的、新的断路器上进行。在表 30 规定的试验期间，不应进行中间维护。试验参数应按 7.107 的规定，但下述情况除外：

a) 试验应在合闸和分闸装置以及辅助和控制回路的额定供电电压和操作用的额定充入压力下进行；

b) 试验应在绝缘和/或关合和开断用的额定充入压力下进行，适用时；

c) 应选取对试验方便的 t' 值；

d) 试验操作顺序间的最短时间间隔宜由制造厂规定。

对于试验电流为 $10\%I_{sc}$ 和 $30\%I_{sc}$ 的试验，燃弧时间应是随机的；对于试验电流为 $60\%I_{sc}$ 和 $100\%I_{sc}$ 的试验，脱扣命令应按照 7.104 进行调整。

试验后断路器的状态应满足 7.102.9 的规定。

如果断路器已通过了 $k_{pp}=1.3$ 和 $k_{pp}=1.5$ 的试验，则用 $k_{pp}=1.3$ 或 $k_{pp}=1.5$ 进行 E2 级试验涵盖了这两种情况。

表 30 用于自动重合闸方式的 E2 级断路器电寿命试验的操作顺序

试验电流(额定短路开断电流的百分数)/%	操作顺序	操作顺序的次数					
		(序列 1)[a]	(序列 2)[a]	(序列 3)[a]	(序列 4)[a]		
					系列 1	系列 2	系列 3
10	O	84	12	—	—		
	O—t—CO	14	6	—			
	O—t—CO—t'—CO	6[b]	4[b]	1[b]			
30	O	84	12	—	—		
	O—t—CO	14	6	—			
	O—t—CO—t'—CO	6[b]	4[b]	1[b]			
60	O	2	8	15	—		
	O—t—CO—t'—CO	2[b]	8[b]	15[b]			
100	O—t—CO—t'—CO	2[b]	4[b]	2[b]	1[b]		
	O	—	—	—	8	13	23
	CO	—	—	—	6	11	21
	O—t—CO—t'—CO	—	—	—	1		

[a] 序列 1 是优选的，序列 2 是适用于中性点有效接地系统中断路器所用的序列 1 的替代。基于 IEC TR 62271-310 进行了计算，这些计算适用于某些断路器类型(单压式 SF_6 断路器)。对于其他类型的断路器，计算结果可能不同。采用这些计算和整定值，序列 1 注入的能量为 100%，序列 2 注入的能量为 125%，序列 3 注入的能量为 134%。因此，序列 3 可用来代替序列 1 和序列 2 以减少不同试验回路的次数。

[b] 在端子故障试验后和试验期间，断路器未经维修时，为满足本表的要求，确定附加试验的次数时，应考虑已进行过的试验。实际上，这就意味着标有[b]的数字减去 1。

7.113 噪声水平试验

用户有要求时，制造厂应提供噪声水平试验报告，试验程序见 GB/T 33981。

具体噪声水平限值由用户和制造厂协商，并满足当地法律法规的要求。

8 出厂试验

8.1 通则

GB/T 11022—2020 的 8.1 适用，并作如下补充：

f) 机械操作试验，按 8.101。

8.2 主回路的绝缘试验

GB/T 11022—2020 的 8.2 适用，并作如下补充：

如果断路器由相同的关合和开断单元串联组成，在分闸状态时加于每个关合和开断单元上的试验电压应是断路器完全分开且一端接地时，由实际工频电压分布得出的在总耐受电压中占较高分压比的单元上的电压。

见 GB/T 11022—2020 中图 2 所示的三极断路器，试验电压应按表 31 施加。

表 31 主回路绝缘试验电压的施加

试验条件序号	断路器状态	电压施加于	接地于
1	分闸状态	ABC	abcF
2	合闸状态	AaCc	BbF
3	合闸状态	Bb	AaCcF

注 1：仅对金属封闭断路器要求进行合闸状态的试验。

注 2：如果极间绝缘是在大气压下的空气，则试验条件序号 2 和序号 3 可合并，试验电压加在连接在一起的主回路的各部分和底座之间。

进行主回路绝缘试验时，采用压缩气体作为绝缘的断路器，对于封闭压力系统，气体压力应为关合和开断及绝缘的最低功能压力；对密封压力系统，气体压力应为关合和开断及绝缘的额定充入压力。

如果断路器使用混合气体（例如 SF_6/CF_4 或 SF_6/N_2），则可在声明的混合气体的最低功能压力或者总绝对压力不超过等效气体压力（P_{test}）的纯 SF_6 下进行试验，P_{test} 计算公式如下：（见 CIGRE TB 163）的图 4.1）

断路器使用 SF_6/N_2 混合气体：$P_{test}=P_{SF6}+0.7\times P_{add\ N2}$。该公式对具有至少 30%$SF_6$ 气体体积的混合气体有效（见注）。

断路器使用 SF_6/CF_4 混合气体：$P_{test}=P_{SF6}+0.45\times P_{add\ CF4}$。

式中：

P_{test}——主回路的出厂绝缘试验时 SF_6 总绝对压力（在 $T=20$ ℃时）；

P_{SF6}——依据声明的混合气体，在关合和开断及绝缘的最低功能压力下的 SF_6 部分的压力（在 $T=20$ ℃时）；

P_{add}——依据声明的混合气体，在关合和开断及绝缘的最低功能压力下的 CF_4 或 N_2 部分的压力（在 $T=20$ ℃时）。

注：混合气体中 SF_6 气体体积小于 30%时详见 CIGRE TB 163。

8.2.101 局部放电测量

对于GIS断路器和外壳不带电断路器，应按照7.2.10进行局部放电测量，以检测这些固体绝缘部件中可能存在的材料和制造缺陷。

局部放电测量宜在完整的断路器上进行。在这种情况下，局部放电测量应在8.2绝缘试验期间进行，宜在8.101机械操作试验之后进行。

如果无法对完整的断路器进行试验，则允许在组装之前通过对单个元件(例如套管，绝缘子，隔板，绝缘的操作杆等)进行的局部放电测量来代替对完整断路器的试验。对于套管的局部放电测量，GB/T 4109—2022的9.5适用。

8.3 辅助和控制回路的试验

GB/T 11022—2020的8.3适用。

8.4 主回路电阻的测量

GB/T 11022—2020的8.4适用。

8.5 密封试验

GB/T 11022—2020的8.5适用。

8.6 设计检查和外观检查

GB/T 11022—2020的8.6适用，并作如下补充：

适用时，应对下列项目进行检查：

——铭牌上的语言和数据；

——所有辅助设备的确认；

——油漆的颜色和质量以及金属表面的防腐蚀保护；

——连接到主回路的电容器和电阻器的值。

8.101 机械操作试验

机械操作试验应在所有的脱扣器上进行并应包括：

a) 在操动机构以及辅助和控制回路的最高供电电压和操作用的最高压力下(适用时)：

——5次合闸操作；

——5次分闸操作。

b) 在操动机构以及辅助和控制回路的最低供电电压和操作用的最低功能压力下(适用时)：

——5次合闸操作；

——5次分闸操作。

c) 在操动机构以及辅助和控制回路的额定供电电压和操作用的额定充入压力下(适用时)：

——进行5次C—O操作循环，具有尽可能短的C—O时间，使得断路器在分闸之前达到完全合闸和锁定位置；

——此外，对于用作快速自动重合闸的断路器(见5.104)，则进行5次O—t—C的操作循环，其中t应不大于对额定操作顺序规定的时间间隔。

机械操作试验应在完整的断路器上进行。但是，如果断路器分成关合和开断单元装配和运输，可按照7.101.1.2对元件进行出厂试验。在这种情况下，制造厂应给出在现场使用的交接试验的程序，以保证这样的关合和开断单元试验和装配整台断路器的一致性。交接试验的导则在11.3.101中给出。

对所有要求的操作顺序，对合分闸操作都应进行下述记录：

——动作时间测量；

——适用时，操作过程中流体损耗量的测量，例如压力差。

应有证据证明断路器出厂试验的机械性能与型式试验使用的试品的机械性能一致。例如，在出厂试验结束时还应进行一次如 7.101.1.1 中规定的空载操作循环，以记录空载机械行程特性曲线。如果进行了该操作，分闸操作时从触头分离时刻到触头运动终止，以及合闸操作时从触头开始运动到触头接触时刻，该曲线应在 7.101.1.1 定义的参考机械行程特性规定的包络线内。

如果出厂机械试验是在分装件上进行的，在现场交接试验结束时，应确认参考机械行程特性是正确的，如上所述。

如果在现场进行测量，制造厂应规定出优选的测量程序。如果采用其他测量程序，可能导致测量结果不同且不可能对触头瞬时运动轨迹进行比较。

采用一个行程传感器或断路器触头系统中的或与驱动触头系统直接连接的方便位置安装的类似装置，可直接记录到机械行程特性，并且可得到具有代表性的触头运动轨迹。优选的机械行程特性应是如图 14 所示的连续曲线。如果在现场进行测量，也可采用其他方法记录操作期间的行程点。

在这种情况下，记录点的数量应足够多以便能导出触头接触和触头分离的时间和触头速度以及整个行程时间。

在完成要求的操作顺序后，应进行下列试验和检查(适用时)：

——检查连接；

——控制和/或辅助开关应正确指示断路器的分合闸位置；

——所有辅助设备在操动机构以及辅助和控制回路的供电电压和/或操作压力的限值时应正确动作。

此外，还应进行下列试验和检查(适用时)：

——加热器(如有的话)电阻和控制线圈电阻的测量；

——按订货技术要求，检查控制的连接线，加热器和辅助设备的回路，并检查辅助触头的数量；

——控制柜(电气、机械、气动和液压系统)的检查；

——储能时间(s)；

——操动机构压力释放阀的功能特性；

——电气、机械、气动或液压的联锁和信号装置的动作；

——防跳装置的动作；

——在供电电压要求的容差范围内设备的一般性能；

——断路器接地端子的检查。

对于自脱扣断路器，脱扣器或继电器应整定在电流整定值范围内的最小刻度上。

应证明经过主回路的电流不超过电流整定值范围内最小脱扣电流的 110%时，过电流脱扣器或继电器应能正确启动断路器分闸。可使用二次注入试验作为替代。

对于这些试验，通过过电流脱扣器或电流互感器的电流可由适当的低压电源提供。

对于装有欠压分闸脱扣器的断路器，应证明，当脱扣器上施加的电压在规定的限定值内时，断路器应能分闸并能被合闸(见 GB/T 11022—2020 的 6.9.5)。

如果在机械操作试验过程中需要调整，则在调整后应重复进行完整的试验顺序。

9 断路器的选用导则

GB/T 11022—2020 的第 9 章适用，并作如下补充：

9.101 通则

选择适合于给定运行方式的断路器时，宜考虑到负载条件和故障条件要求的各个额定值。

完整的额定特性的清单在第5章中给出。本章中仅涉及下列额定值：

额定值和特性的类型	条款
——额定电压	9.102.1
——额定绝缘水平	9.102.2
——额定频率	9.102.3
——额定连续电流	9.102.4
——额定短路开断电流	9.103.1
——额定首开极系数	9.103.2
——额定失步关合和开断电流	9.103.3
——额定短路关合电流	9.103.4
——额定操作顺序	9.103.5
——额定短路持续时间	9.103.6
——电寿命的分级[E1或E2级(有/无自动重合闸方式)(适用时)]	9.104

对于在本章中未涉及的额定特性，适用时，宜参考如下部分：

额定值和特性的类型	条款
——额定短时耐受电流	5.6
——额定峰值耐受电流	5.7
——辅助和控制回路的额定供电电压	5.9
——辅助回路的供电电压的额定频率	5.10
——可控压力系统用压缩气源的额定压力	5.11
——近区故障电流	7.109
——重击穿特性(C1或C2级)	6.107.4
——容性负载开合特性(如接地条件，容性负载的类型等)	5.106
——额定线路充电开断电流	5.106.2
——额定电缆充电开断电流	5.106.3
——额定单个电容器组开断电流	5.106.4
——额定背对背电容器组开断电流	5.106.5
——额定背对背电容器组关合涌流	5.106.6
——机械操作的次数(M1或M2级)	6.107.2
——按与电网连接相关的分级(S1或S2级)	6.107.3

选用断路器时需考虑的其他参数，例如：

——当地的大气条件和气候条件	9.102.5
——使用于高海拔地区	9.102.6
——分闸时间	9.103.1

断路器在故障条件下所需承担的任务，应根据某些公认的计算方法，通过计算断路器在电力系统中安装地点的故障电流来确定。

选择断路器时，宜充分考虑电力系统整体的未来发展，使断路器不仅可满足当前的需要，也可满足未来的要求。

对额定值(即电压、连续电流、关合和/或开断电流)相配合圆满地完成了型式试验的断路器，适用于任何较低的额定值(额定频率除外)，无需进一步试验。感性负载(变压器的励磁电流、高压电动机和并

联电抗器)开合在 GB/T 29489 中规定。

注：某些故障条件如发展性故障和某些运行条件如电弧炉的开合，本文件不涉及，作为制造厂和用户协商的特殊条件来考虑。

同样的原则也适用于这样的断路器：由于某种操作导致工频恢复电压高于断路器额定电压相应的值。这种情况可能发生在系统的某些点上，特别是在长线路的末端。在这种特殊情况下，当断路器分闸时，在断路器两端可能出现的最高电压下的开断电流值遵循类似的规定。

9.102 运行条件下额定值的选择

9.102.1 额定电压的选择

选择的断路器的额定电压至少应等于断路器安装处系统的最高电压。

断路器的额定电压宜从 GB/T 11022—2020 的 5.2 给出的标准值中选取。

选择额定电压时宜考虑 5.3 规定的相应的绝缘水平(也可见 9.102.2)。

9.102.2 绝缘配合

断路器的额定绝缘水平宜按 5.3 选取。

这些表中的规定值适用于户内和户外断路器。宜在询问单中明确断路器是用于户内还是户外。

电力系统的绝缘配合用来减少过电压对电力设备的危害，并有助于将闪络点(当不能经济地避免时)限制在不产生危害的地方。

应采取预防措施将断路器端子上的过电压限制到绝缘水平以下的规定值(见 GB/T 311.2)。

要求断路器用在绝缘水平较高的地方时，宜在询问单中说明(见 10.2)。

对于 363 kV 及以上，用于同步操作，同时具有显著的瞬态或暂时过电压的断路器，标准断路器的绝缘强度可能不足。在这种情况下，建议使用具有较高额定电压的标准断路器或使用提高断路器断口间试验严酷程度的特殊断路器。该试验的试验程序在 GB/T 11022—2020 的 7.2.6.3 中进行了描述。GB/T 11022—2020 表 4 的栏(3)和(6)分别给出了分闸状态下开关设备两端额定短时工频和额定操作冲击耐受电压的标准值。

选用断路器时，还有必要考虑其相应于瞬态现象和过电压的特性。经验表明，在某些临界的使用情况下，瞬态现象的不良影响和过电压的危害可通过下述方法减少：

——适当选择断路器的类型；

——系统变更或采用阻尼和限制瞬态现象的附加设备(如 RC 回路，避雷器，非线性电阻等)。

对于各种情况的这些预防措施应和制造厂协商。选择方案的评估可通过协议的特殊试验来进行。

9.102.3 额定频率

如果断路器使用在额定频率(见 GB/T 11022—2020 的 5.4)以外的其他频率时，应向制造厂咨询。

当额定频率为 50 Hz 的断路器在 60 Hz 下进行试验，或者相反，在解释试验结果时要谨慎，要考虑到所有重要因素，如断路器的类型和所进行试验的类型。

9.102.4 额定连续电流的选择

断路器的额定连续电流宜从 5.5 给出的标准值中选取。

宜注意，没有规定断路器的连续过电流能力。所以当选择断路器时，宜使其额定连续电流适应于运行中可能出现的任何负载电流。在有频繁的和严重的间歇过电流的场合，宜向制造厂咨询。

9.102.5 当地的大气条件和气侯条件

断路器的正常大气条件和气候条件在第 4 章中给出。

对于户外断路器，由于烟尘，化学烟雾，盐雾和类似情况，某些地区的大气条件是不利的。如果知道存在这些不利条件，对通常暴露在大气中的断路器部件（特别是绝缘子）的设计宜给予特殊考虑。

在这类大气中，绝缘子的性能也取决于清洗或清扫的频度和雨的自然清洗频度。由于在这些条件下，由于绝缘子的性能取决于许多因素，因而不可能对正常污秽和严重污秽的大气作出准确的定义。该地区使用绝缘子的经验是最好的导则。

当断路器安装处的风速超过 34 m/s 时，宜向制造厂咨询。

如果断路器安装在预期覆冰厚度超过 20 mm 的地方，要使断路器在此条件下能够正常运行，则需经制造厂和用户协商。

适用时，抗震要求水平宜由用户指定，宜考虑到 GB/T 11022—2020 的 4.2.5 中规定。

对户内设施，湿度条件在 GB/T 11022—2020 的 4.1.2 e）中给出。选用断路器时，要求有高的湿度和可能出现凝露的场合，宜说明具体使用条件。

对户内断路器，任何特殊运行条件，例如存在化学烟雾、腐蚀性大气、盐雾等时，宜向制造厂咨询。

9.102.6 使用于高海拔地区

GB/T 11022—2020 的第 4 章规定的正常运行条件，适用于海拔不超过 1 000 m 的断路器。

对安装于海拔 1 000 m 以上的断路器，GB/T 11022—2020 的 4.2.2 适用。

9.103 故障条件下额定值的选择

9.103.1 额定短路开断电流的选择

如 5.101 规定的，额定短路开断电流由两个数值表示：

a） 交流分量有效值；

b） 额定短路开断电流的直流时间常数。

额定短路开断电流宜从 5.101.2 给出的标准值中选择。

如图 9 所示，直流分量百分数随着距短路开始的时间和相应的额定短路开断电流的直流时间常数而变化。触头分离时的直流分量百分数可应用 7.107.6 中给出的公式确定。标准直流时间常数在 5.101.3中规定。表 11 中定义了在最短开断时间范围内相应的最后电流半波参数。最短开断时间的定义见 3.7.149。

图 9 中的曲线基于恒定交流分量和直流时间常数 τ=45 ms，60 ms，75 ms 和 120 ms。

断路器用较高的直流时间常数进行的试验可覆盖较低直流时间常数的应用。

可选用端子故障试验方式（7.107），以及适用时的临界电流试验（7.108.1）和近区故障试验（7.109），来验证断路器在各种电流值直至额定短路开断电流时的性能。所以，当网络预期的短路电流较低时，不必进行基于较低的额定短路开断电流的一系列短路试验。

当断路器临近发电中心时，交流分量可能比正常情况衰减得更快。短路电流甚至可以几个周波不过零。在这种情况下，断路器的任务可通过延迟分闸或由另外一个断路器接入附加的阻尼装置并使断路器依次分闸来减轻。如果不能遵守标准或特殊工况的直流时间常数，则所要求的百分数宜在询问单中规定，并应根据制造厂和用户之间的协议来试验。

注：电流零点可能由于断路器电弧电压和/或在电流过零较早的其他相的短路电流的关合和开断的影响而提前。在这种情况下，进一步仔细研究标准断路器的适用性。

9.103.2 端子故障的 TRV，k_{pp} 和近区故障特性的选择

电力系统的预期 TRV 不宜超过对断路器所规定的表示 TRV 的参考线。TRV 在接近于零电压时与规定的时延线相交，但以后不宜与它再相交（7.105.5）。标准值见 7.105.5。

注 1：当开断最大短路电流时，出现的瞬态恢复电压未必比其他情况下出现的更严酷。例如，当开断较小的短路电流时可能有较高的瞬态恢复电压上升率。

在额定电压 3.6 kV～72.5 kV，为了涵盖所有类型的网络（配电、工业和次输电网络）且为了标准化的目的，根据断路器所连接的网络确定了两个级别的断路器（6.107.3）。

下列注意事项有助于用户选择 S1 级或 S2 级断路器：

——S1 级的 TRV 的标准值在表 16 中给出；

——除了下述 a）、b）和 c）提及的情况外，为了涵盖 S1 级和 S2 级应用，规定了断路器的 S2 级（TRV 的标准值在表 17 中给出）。

注 2：断路器电源侧电缆的总长度（或者存在电容器时的等效长度）在 20 m～100 m 时，除非能够通过计算证明实际的 TRV 由表 16 确定的包络线所涵盖，否则，认为该系统为线路系统。如果实际系统的 TRV 由表 16 确定的包络线所涵盖，则认为是电缆系统。

对于额定电压小于 126 kV，适用的额定 k_{pp} 为 1.5。对于额定电压为 126 kV～1 100 kV，适用的额定 k_{pp} 为 1.3，因为 126 kV 及以上的系统大部分是中性点有效接地的。对额定电压 126 kV，如果对于中性点非有效接地系统的特殊情况（也可见 7.105.5.4 的注），选择的 k_{pp} 为 1.5。

k_{pp} 为 1.3 是基于中性点有效接地的系统，且认为不接地的三相故障是根本不可能的。对于中性点非有效接地的系统，宜采用的 k_{pp} 为 1.5。对于出现三相不接地故障的可能性不容忽视的中性点有效接地系统的应用以及除中性点有效接地系统之外的系统的应用，有必要采用的 k_{pp} 应为 1.5。

通常不必考虑替代的 TRV，因为规定的标准值已经覆盖了大多数的实际情况。

在某些情况下可能出现更严酷的条件，例如下述 a）～c）的情况。

a） 一种情况是短路出现在靠近变压器但在断路器出线侧时，且变压器和断路器之间无任何显著的附加电容。在这种情况下，TRV 的峰值和上升率都可能超出本文件的规定值。

也宜注意，为变压器一次侧选择的断路器可能需要开断变压器二次侧出现的短路。

此类工况涵盖在附录 H 中。

b） 紧挨限流电抗器的断路器，该电抗器的固有频率较高，可能会使断路器开断失败（见 9.103.7）。

c） 靠近发电机的断路器出现短路时，TRV 的上升率可能会超出本文件的规定值。

在这些情况下，有必要由用户和制造厂协商确定特殊的 TRV 特性。

当断路器要求用于具有额定近区故障特性的地点时，断路器安装处的线路的波阻抗和峰值系数应不大于且时延不小于表 25 中给出的额定线路特性的标准值。然而，如果实际的条件不同，则标准的断路器仍然有可能是适用的，特别是当电力系统的短路电流小于断路器的额定短路开断电流时。关于这一点，可通过附录 I 中给出的方法，根据额定特性计算近区故障的预期 TRV，并与系统的实际特性导出的预期 TRV 进行比较。

如果要求特殊的近区故障特性，则宜由用户和制造厂协商。

如果断路器的一个端子和变压器连接，可能出现比表 16～表 19 规定更高的上升率。如果它们满足了端子故障试验的试验方式 T30（见 7.107.3），则认为按照本文件进行试验的断路器满足该较高的上升率要求。

9.103.3 失步特性的选择

本文件的失步要求满足了在失步条件下断路器的大多数使用条件。几种情况合并起来才能产生超出本文件特定试验所涵盖的严酷度，而且，失步条件是很少的，所以，按最极端的条件去设计断路器是很不经济的。

当预期有经常性的失步开合，或可能存在过负荷时，则宜考虑实际的系统条件。

有时候可能需要特殊的断路器或较高额定电压的断路器。作为替代方案，在一些系统中，可用配有

阻抗敏感元件的继电器来控制脱扣时刻，以便使开断出现在显著地提前或滞后相位达到 180°的时刻，从而减轻失步开合的严酷度。

对于额定电压大于 800 kV 的断路器，本文件的特定试验涵盖了约 115°的失步角；但是，在考虑其他因素（例如电压峰值的非同步性，较低的 k_{pp}）时，可覆盖较高的角度值（见 IEC TR 62271-306:2012+AMD1:2018）。

9.103.4 额定短路关合电流的选择

如 5.103 规定的，额定短路关合电流由额定短路开断电流的交流分量导出，与额定频率和额定短路开断电流的直流时间常数相关。当额定频率为 50 Hz 和直流时间常数 τ=45 ms 其值为断路器额定短路开断电流交流分量的 2.5 倍（即，近似为 1.8$\sqrt{2}$ 倍）。当额定频率为 60 Hz 和直流时间常数 τ=45 ms，其值为断路器额定短路开断电流交流分量的 2.6 倍。

如果 5.101.3 中规定的其他直流时间常数（60 ms、75 ms 或 120 ms）适用，考虑到 IEC TR 62271-306:2012+AMD1:2018 附录 A 给出的解释，额定短路关合电流为断路器的额定短路开断电流交流分量的 2.7 倍，对 50 Hz 和 60 Hz 均适用。

选择的断路器的额定短路关合电流宜不小于使用地点的预期短路电流的最大峰值。

在某些情况下，例如在电气上接近感应电动机时，故障电流的最大峰值可能会大于短路电流的交流分量与上述系数的乘积。在这种情况下，宜避免采用特殊设计，而选择具有适当额定短路关合电流的标准断路器。

9.103.5 运行中的操作顺序的选择

断路器的额定操作顺序在 5.104 中给出。

如果运行中的操作顺序比本文件规定的更苛刻，用户宜在其询问单和/或订单中予以规定，以使制造厂可适当地修正断路器的额定值。特殊方式下工作的断路器如：用于控制电弧炉、电极锅炉和在某些情况下控制整流器的断路器。多极断路器的单极操作，例如单相关合和开断，也属于特殊工作方式。

9.103.6 额定短路持续时间的选择

额定短路持续时间的优选值为 2 s（GB/T 11022—2020 的 5.8）。

然而，如果需要较高或较低的持续时间，宜选择推荐的值：1 s 和 3 s 作为额定值。

当短路持续时间大于额定短路持续时间时，除非制造厂另有规定，否则电流和时间的关系按下列公式计算：

$$I^2 \times t = 常数$$

9.103.7 限流电抗器存在时的故障

由于一些限流电抗器的固有电容非常小，涉及这些电抗器的瞬态固有频率可能非常高。直接与此类电抗器串联的断路器在开断端子故障（电抗器在断路器的电源侧）和电抗器后面的故障（电抗器在断路器的负载侧）时将面临高频率的 TRV。最终的 TRV 频率通常远远超过标准的 TRV 数值。

在这些情况下，有必要采取调节措施，例如采用电容器和电抗器并联或者接地。该调节方法非常有效且经济。除非能够通过试验证明断路器能够成功开断具有要求的高频率 TRV 的故障，否则强烈建议使用这些调节措施。

调节方法宜如此：如将串联电抗器所限制的故障电流的 TRV 的上升率降低到根据断路器的额定值确定的标准值（在表 16～表 19 中给出）以下。应认为故障电流可能接近断路器额定值的 100%。

基于前面的考虑，对于这种故障情况，没有规定额定的 TRV 数值以及特别的试验方式。

9.104 电寿命的选择

E2 级断路器(见 6.107.5)的电寿命能力通过进行 7.107 的端子故障试验方式且不经中间维护来验证,这种电寿命对不用于自动重合闸的电缆连接的网络的断路器已经足够。如果允许进行中间维护,则可选择 E1 级断路器(见 6.107.5)。

对于架空线连接网络更严酷的使用条件、包括用于自动重合闸方式,推荐使用 E2 级断路器。用于 3 kV～35 kV 网络中的 E2 级断路器选择满足 7.112 规定的电寿命要求的断路器。

用于 35 kV 以上网络中的 E2 级断路器选择满足 JB/T 3855 或 JB/T 9694 的相关要求的断路器。

9.105 容性负载开合的选择

在使用电缆的变电站安装电容器组时应注意,反之亦然,因为这可能使这些线路开合电容器组的断路器承受背对背开断和关合方式。该背对背方式可能与 6.107.4 中描述的类似。

10 与询问单、标书和订单一起提供的资料

10.1 通则

GB/T 11022—2020 的 10.1 适用。

10.2 与询问单和订单一起提供的资料

GB/T 11022—2020 的 10.2 适用,并作如下补充:

当询问或订购断路器时,询问者宜提供下列特征信息。

a) 电力系统的特征信息,即标称电压和最高电压、频率、相数和中性点接地情况的详细说明。

b) 运行条件,包括最低和最高周围空气温度,高于 1 000 m 时的海拔,以及可能存在或出现的任何特殊条件,例如过度地暴露在水蒸气、湿气、烟雾、爆炸性气体、过量灰尘或含盐的空气中(见 9.102.5 和 9.102.6)。

c) 断路器的特性。

宜提供的断路器特性见表 32。

表 32 宜提供的断路器特性

资料的类型	参见
1) 极数	—
2) 户内或户外	9.102.5
3) 额定电压	9.102.1
4) 额定绝缘水平,在与给定的额定电压对应的几个不同的绝缘水平中选择,或者如果是非标的,则应为要求的绝缘水平	9.102.2
5) 额定频率	9.102.3
6) 额定连续电流	9.102.4
7) 额定短路开断电流	9.103.1
8) 额定首开极系数	9.103.2
9) 额定操作顺序	9.103.5

表 32　宜提供的断路器特性（续）

资料的类型	参见
10）　机械操作次数(M1 或 M2 级)	6.107.2
11）　特殊要求下规定的型式试验(例如:人工污秽试验和无线电干扰电压试验等)	7.2.9 和 7.3
如果要求的信息是非标准的,宜给出下列信息	—
12）　要求的端子故障 TRV	9.103.2
13）　要求的近区故障特性	9.103.2
14）　要求的短路关合电流	9.103.4
15）　要求的短路持续时间	9.103.6
适用时,宜给出下列信息	—
16）　近区故障电流	7.109
17）　额定失步关合和开断电流	5.105
18）　重击穿性能(C1 或 C2 级)	6.107.4
19）　容性负载的特性(如接地条件,容性负载的类型等)	5.106
20）　额定线路充电开断电流	5.106.2
21）　额定电缆充电开断电流	5.106.3
22）　额定单个电容器组开断电流	5.106.4
23）　额定背对背电容器组开断电流	5.106.5
24）　额定背对背电容器组关合涌流	5.106.6
25）　电寿命特性(E1 或 E2 级(有/无自动重合闸方式))	6.107.5
26）　超出标准的型式试验、出厂试验和交接试验	—

d）　断路器的操动机构和辅助设备的特性,特别是:

1）　操作的方法,人力的或动力的;

2）　备用辅助开关的数量和型式;

3）　额定供电电压和频率;

4）　如果多于一个,分闸脱扣器的数量;

5）　如果多于一个,合闸脱扣器的数量。

e）　有关压缩气体的使用要求和压力容器的设计与试验要求。

除上述内容外,询问者应提供可能影响投标和订货的特殊条件的资料(也可见 9.101 的注)。

10.3　与标书一起提供的资料

GB/T 11022—2020 的 10.3 适用,并作如下补充:

当询问者要求断路器的技术特征时,制造厂宜提供下列资料(适用的部分),并附有说明和图纸:

a）　额定值和特性见表 33。

表 33　额定值和特性

资料的类型	参见
1)　极数	—
2)　户内或户外、温度、覆冰	9.102.5
3)　额定电压	9.102.1
4)　额定绝缘水平	9.102.2
5)　额定频率	9.102.3
6)　额定连续电流	9.102.4
7)　额定短路开断电流	9.103.1
8)　额定首开极系数	9.103.2
9)　额定操作顺序	9.103.5
10)　分闸时间、开断时间和合闸时间	6.105
11)　机械操作次数(M1 或 M2 级)	6.107.2
12)　特殊要求下规定的型式试验(例如:人工污秽试验和无线电干扰电压试验等)	7.2.9 和 7.3
如果要求的信息是非标准的,宜给出下列信息	—
13)　端子故障 TRV	9.103.2
14)　近区故障特性	9.103.2
15)　额定短路关合电流	9.103.4
16)　额定短路持续时间	9.103.6
适用时,宜给出下列信息	—
17)　额定失步关合和开断电流	5.105
18)　重击穿性能(C1 或 C2 级)	6.107.4
19)　容性电流条件的特性	5.106
20)　额定线路充电开断电流	5.106.2
21)　额定电缆充电开断电流	5.106.3
22)　额定单个电容器组开断电流	5.106.4
23)　额定背对背电容器组开断电流	5.106.5
24)　额定背对背电容器组关合涌流	5.106.6
25)　S1 级或 S2 级断路器(额定电压小于 126 kV 的断路器)	6.107.3
26)　电寿命特性[E1 级或 E2 级(有/无自动重合闸方式)]	6.107.5
27)　超出标准的型式试验、出厂试验和交接试验	—

b)　型式试验:

根据要求提供的证书或报告。

c) 结构特点：

如果适用于断路器的设计，应提供下列详细资料：

1) 不包括绝缘、关合和开断及操作用的流体时整台断路器的质量；

2) 绝缘用的流体的质量/体积，其质量和工作的范围，包括最低功能值；

3) 关合和开断用的流体[不同于2)和/或4)中述及的流体]的质量/体积，其质量和工作的范围，包括最低功能值；

4) 操作用的流体[不同于2)和/或3)中述及的流体]的质量/体积，其质量和工作的范围，包括最低功能值；

5) 密封性的规定；

6) 在运输和储存过程中，足以防止内部元件性能劣化，每一极中需要充入的流体的质量/体积；

7) 每一极中串联的关合和开断单元数量；

8) 最小空气间隙：

——极间，

——对地，

——对于向外喷射游离气体和火焰的断路器，开断操作时的安全边界；

9) 在所要求的周围空气温度下，为保持断路器的额定特性而采取的任何特别措施(例如加热或冷却)。

d) 断路器的操动机构和辅助设备：

1) 操动机构的类型；

2) 断路器是否适用于自由脱扣或固定脱扣操作，以及是否具有防止合闸的闭锁装置；

3) 合闸机构的额定供电电压和/或额定压力，不同或超出10.3的c)4)时的压力限值；

4) 额定供电电压下断路器合闸要求的电流；

5) 断路器合闸时的能量消耗，例如，压力降的测量；

6) 并联分闸脱扣器的额定供电电压；

7) 在额定供电电压下并联分闸脱扣器要求的电流；

8) 备用辅助开关的数量和类型；

9) 在额定供电电压下其他辅助设备要求的电流；

10) 高低压闭锁装置的整定值；

11) 多于一个时，分闸脱扣器的数量；

12) 多于一个时，合闸脱扣器的数量。

e) 外形尺寸和其他资料：

制造厂宜提供有关断路器外形尺寸的资料和基础设计必需的细节。

宜提供断路器维护及连接的一般资料。

11 运输、储存、安装、运行和维护规则

11.1 通则

GB/T 11022—2020的11.1适用。

11.2 运输、储存和安装时的条件

GB/T 11022—2020的11.2适用。

11.3 安装

GB/T 11022—2020 的 11.3 适用，并作如下补充：

11.3.101 交接试验

11.3.101.1 通则

断路器安装完好并完成所有的连接后，推荐进行交接试验。这些试验的目的是确认断路器没有因运输和储存而损坏。此外，当安装和/或调整的大部分工作是在现场进行时，如 8.101 所确定的，要求在交接试验中确认现场工作和由它决定的功能特征的满意性和与分装件的兼容性。

作为对 11.3.102 中要求的补充，对于主要分装是在现场组装的且没有在整台断路器上做过出厂试验的断路器应在现场进行最少 50 次空载操作。这些操作应在装配、所有的连接和检查后及交接试验程序完成后进行。这些操作包括现场调整和密封检查完成后形成交接试验程序一部分的延缓的出厂试验操作。这些试验的目的是为了减少断路器运行寿命期间的早期故障和误操作。

制造厂应给出现场进行交接检查和试验的程序。应避免完全重复进行工厂做过的出厂试验程序。交接试验是为了确认：

——无损坏；

——各个关合和开断单元的兼容性；

——正确的装配；

——装配完整的断路器的正确特性。

一般地，当交接试验包括但又不限于 11.3.102 中给出的程序时，可实现这一目标。试验结果应记录在试验报告中。

11.3.102 交接检查和试验程序

11.3.102.1 安装后的检查

11.3.102.1.1 通则

11.3.101 要求制造厂给出交接检查和试验程序。该程序宜基于但又不限于本条款中给出的检查和试验程序。

11.3.102.1.2 一般检查

包括下述检查项目：

——装配符合制造厂的图纸和说明书；

——断路器的密封性，断路器的紧固件、流体系统和控制装置；

——外绝缘以及(适用时的)内绝缘未被损坏且干净；

——油漆和其他防腐保护完好；

——操动机构，尤其是动作脱扣器应没有污损；

——足够和完整的接地连接以及和变电站接地系统连接的接口；

以及，适用时：

——应记录交付时动作计数器的数字；

——记录所有现场试验完成后动作计数器的数字；

——记录第一次送电时动作计数器的数字。

11.3.102.1.3 电路检查

包括下述检查项目：

——与接线图的一致性；

——信号装置(位置、报警、闭锁等)的正确工作；

——加热和照明装置的正确工作。

11.3.102.1.4 绝缘和/或关合和开断用流体的检查

包括下述检查项目：

——油：类型、绝缘强度(GB 2536)、油位。

——气体：充入的压力/密度和质量检查，以确定和 IEC 60376、GB/T 8905 和 GB/T 28534 的接受水平一致。对于密封设备和密封瓶中取出的新气体，这些质量检查不要求。应进行露点和杂质总含量的检查，以确定达到制造厂的接受水平。

——混合气体：送电前应确认其质量。

——压缩空气：质量(适用时)和压力。

11.3.102.1.5 现场充入的或增补的操作流体的检查

包括下述检查项目：

——液压油：除非另有协议，油位和含水量应足够低以防止内部腐蚀或对液压系统的其他损坏；

——氮气：充入压力和纯净度(例如不含氧气或 1% 的示踪气体)。

11.3.102.1.6 现场操作

应确认完成了 8.101 要求的交接检查和试验的程序，并在适用时，应按 11.3.101 的要求另外进行 50 次附加的操作试验。

11.3.102.2 机械试验和测量

11.3.102.2.1 绝缘和/或关合和开断用流体压力特性的测量(适用时)

应进行下列测量，以便把它们和出厂试验记录的值及制造厂所保证的值进行比较。这些值可作为将来维护和其他检查的参考，并能检测到操作特性的任何变化。

这些测量的目的是验证用于发送信号、报警和闭锁的压力或密度开关的预置压力(密度)水平(如适用)是否在操作容差内。根据制造厂的说明这些测量应在升压和/或降压时进行，以检查压力(或密度)装置的动作特性。预置压力(密度)水平的容差应由制造厂提供。

11.3.102.2.2 操作用流体压力特性的测量(适用时)

11.3.102.2.2.1 通则

宜进行下列测量(必要时可调整清单)，以便把它们和出厂试验记录的值及制造厂所保证的值进行比较。这些值可作为后期检查(维护)期间的参考，并能检测到操作特性的任何变化。

适用时，这些测量包括报警和闭锁装置(压力开关、继电器等)动作的检查。

11.3.102.2.2.2 应进行的测量

应进行的测量包括下述内容：

a) 泵装置(泵、压缩机、控制阀等)运行时的压力上升阶段；

——分闸闭锁的复位值；
——合闸闭锁的复位值；
——自动重合闸闭锁的复位值(适用时)；
——低压力报警解除值；
——泵装置的切除；
——安全阀的打开(适用时)。

注：这些测量可和操动机构的储能时间的测量合并进行(见 11.3.102.2.5.2)。

b) 泵装置停止时的压力下降阶段：
——安全阀的关闭(适用时)；
——泵装置的启动；
——低压力报警值；
——自动重合闸闭锁(适用时)；
——合闸闭锁；
——分闸闭锁。

对于液压控制，应在试验前指明储压筒的预充压力以及周围空气温度。

11.3.102.2.3 操作过程中损耗的测量(适用时)

关掉泵装置，且各个储压筒处于泵装置的接入压力，宜确定下述每一个操作或操作顺序时的损耗值：
——三极分闸；
——三极合闸；
——三极分—0.3 s—合分(适用时)。

宜记录每个操作或操作顺序后的稳态压力。

11.3.102.2.4 额定操作顺序的验证

宜验证断路器完成其规定的额定操作顺序的能力。该试验宜在储能装置工作的情况下进行，使用现场的供电电压，并在适用时，从泵装置的接入压力开始，如 11.3.102.2.3。

宜提供证据证明联锁装置的干预水平和在额定操作顺序过程中测到的最低操作压力间的配合。

现场供电电压是断路器从正常现场电源获得的负载电压，且应与辅助和控制回路的额定供电电压兼容。

11.3.102.2.5 时间参量的测量

11.3.102.2.5.1 断路器的时间参量特性

断路器的时间参量特性测量包括下述内容。

a) 合闸和分闸时间，时间的分散性

在辅助和控制回路的供电电压和最大压力(切断泵装置时)下、在供电电压的典型负载条件时于设备端子处进行下列测量：
——每一极的合闸时间，极间的时间分散性和可能时每一极的关合和开断单元或各关合和开断单元组之间的时间分散性；
——每一极的分闸时间，极间的时间分散性和可能时每一极的关合和开断单元或各关合和开断单元组之间的时间分散性。

这些测量宜针对独立的分闸操作和合闸操作以及 CO 操作，或者在断路器的额定操作顺序为

O—t—CO—t'—CO 时的 O—t—CO 操作顺序。

在多个脱扣线圈的情况下，宜对所有的脱扣线圈进行试验并记录每一个的时间。

宜记录操作前和操作中的供电电压。如有三极控制继电器的话，也宜记录其带电时刻，以便能够计算出三极操作时总的时间(继电器时间加上合闸或分闸时间)。

如果断路器装有合闸或分闸电阻器，宜记录电阻器的接入时间。

b) 控制和辅助触头的动作

断路器分闸和合闸时，宜确定与主触头操作相关的每一种控制和辅助触头的动作(关合和开断)时间。

11.3.102.2.5.2 操动机构的储能时间

操动机构的储能时间按照下述内容进行测量。

a) 流体操动机构

宜测量泵装置(泵、压缩机、控制阀等)的动作时间：

——最低和最高压力之间(泵装置的接入和切断)；

——在下列操作或操作顺序过程中，每次从最低压力(接入泵装置时)开始：

- 三极合闸；
- 三极分闸；
- 三极分—0.3 s—合分(适用时)。

b) 弹簧操动机构

在现场供电电压下，宜测量在合闸操作后电动机的储能时间。

11.3.102.2.6 机械行程特性的记录

按照 8.101 的要求，断路器首次在现场装配完整时或所有或部分出厂试验在现场进行时，应记录机械行程特性。通过和 7.101.1.1 中的参考空载试验得到的参考机械行程特性比较，记录到的机械行程特性应与其一致。

11.3.102.2.7 某些特定操作的检查

11.3.102.2.7.1 在操作用的最低功能压力时的自动重合闸操作(适用时)

当泵装置不工作时，把控制压力降低到自动重合闸时的闭锁值，进行自动重合闸操作顺序(在现场条件下，可能需要一个独立的时序装置来实施重合闸操作)。试验宜在操动装置流过满负荷电流时的供电电压下进行。宜记录操作前和操作中的供电电压。宜记录最终的压力并应保证对分闸操作的最低功能压力留有足够的安全裕度，作为对压力开关分散性和瞬态压力的保护。

如有怀疑时，可采用上述方法的替代方法，从低于自动重合闸(短路的触头)操作用的最低功能压力的压力值开始，并验证分闸操作仍然是可行的。

11.3.102.2.7.2 在操作用的最低功能压力时的合闸操作(适用时)

当泵装置不工作时，把控制压力尽量降低到合闸时的闭锁值，进行合闸操作。试验宜在操动装置流过满负荷电流时的供电电压下进行。宜记录操作前和操作中的供电电压。宜记录最终的压力并应保证对合闸操作的最低功能压力留有足够的安全裕度。

如有怀疑时，可采用上述方法的替代方法，从低于合闸(短路的触头)操作用的最低功能压力的压力开始，并验证合闸操作仍然是可行的。

11.3.102.2.7.3 在操作用的最低功能压力时的分闸操作(适用时)

当泵装置不工作时，把控制压力尽量降低到分闸时的闭锁值，进行分闸操作。试验宜在操动装置流

过满负荷电流时的供电电压下进行。宜记录操作前和操作中的供电电压。宜记录最终的压力。

11.3.102.2.7.4 故障关合操作的模拟和防跳装置的检查

断路器进行CO操作循环且辅助触头闭合使脱扣回路带电时，宜测量断路器保持在合闸位置的时间。

该试验也可对防跳装置的动作及由于分闸命令的过早施加导致的机械的、液压的或气动的原因引起的任何误动作进行检查。

为了能检查防跳装置的有效动作，合闸命令宜保持1 s～2 s。

注：在采用现场的控制设施进行简化的防跳试验时，在这种情况下，施加并保持合闸命令，继而再施加分闸命令。

11.3.102.2.7.5 存在分闸命令时施加合闸命令后断路器的性能

宜验证断路器在预先施加并维持有分闸命令后，再出现合闸命令时能够满足技术条件的要求。

11.3.102.2.7.6 对两个脱扣器同时施加分闸命令(适用时)

有可能出现两个脱扣器(正常的和紧急的)同时(或几乎同时)带电的情况。

特别是，如果脱扣器不在同一个水平时动作，宜保证断路器的动作不受任何机械的、液压的或气动的干扰。

11.3.102.2.7.7 极间不同期的防护(适用时)

极间不同期的防护措施宜通过下列任一试验来检查：

——断路器处于分闸状态，一极的合闸脱扣器带电，以检查断路器是否先合闸后分闸；

——断路器处于合闸状态，一极的分闸脱扣器带电，以检查断路器的其他两极是否分闸。

11.3.102.3 电气试验和测量

11.3.102.3.1 绝缘试验

应对辅助回路进行绝缘试验，以确认断路器的运输和储存没有损坏这些回路。然而，应认识到这些回路中包含脆弱的分装元件，施加全部的试验电压并保持全部的持续时间可能会导致损坏。为了避免出现这种情况，也为了避免试验连接线的临时移开，供应商应详细规定说明不会出现损坏的试验程序以及根据本试验程序记录试验结果的方法。

对于金属封闭开关设备和控制设备主回路的绝缘试验，GB/T 3906 和 GB/T 7674—2020 适用。

11.3.102.3.2 主回路电阻的测量

仅应对在现场装配的关合和开断单元进行主回路电阻测量。测量应按照 GB/T 11022—2020 中8.4规定，在直流下进行。

注：对于某些设计的断路器，动态电阻测量(DRM)作为在整个寿命周期内评估断路器状态的附加手段。

11.4 运行

GB/T 11022—2020 的 11.4 适用。

11.5 维护

GB/T 11022—2020 的 11.5 适用，并作如下补充：

另外，制造厂宜给出关于断路器进行下列操作后的维护资料：

a) 短路操作；

b) 正常运行时的操作。

这些资料宜包括按照 a)和 b)操作的次数,然后对断路器将进行大修。

11.3.102.1 中要求的检查适用。

11.101 电阻器和电容器

检查电阻器和电容器时宜给出数值的允许偏差。用户宜注意因 Garton 效应导致的错误的 tanδ 值的情况,参考 CIGRE TB 368。

12 安全

GB/T 11022—2020 的第 12 章适用,并作如下补充:

任何已知的化学危害和环境危害宜在制造厂的使用说明书中明确。

13 产品对环境的影响

GB/T 11022—2020 的第 13 章适用。

电力图书馆公众号

附 录 A
（规范性）
试验期间试验参量的容差

在型式试验中，通常应区分下述类型的容差：

——直接决定试品承受应力的试验参量的容差；

——与试品在试验前后的状态及性能相关的容差；

——试验条件的容差；

——与使用的测量设备参数相关的容差。

在后面的表 A.1 中，仅考虑试验参量的容差。

容差定义为本文件中规定的试验值的范围，测量到的试验值应在该范围内，本次试验方有效。在某些情况（见表 6）下，即使测量到的数值落在容差以外，试验仍然可能有效。

在此，不考虑因测量不确定度所引起的测量到的试验值与真实试验值的任何偏差。

型式试验中，应用试验参量容差的基本规则如下。

a) 只要有可能，试验站的目标应是标准规定的试验值。

b) 试验站应遵守规定的试验参量的容差。仅当制造厂同意时，才允许断路器承受的应力超过这些容差的较高值。试品承受较低的应力会导致试验无效。

c) 当本文件或其他适用的标准没有给出试验参量的容差时，型式试验应在不比规定值欠严的数值下进行。其上限应力值应征得制造厂的同意。

d) 若只给出某试验参量一侧的限值，则认为另一侧限值应尽可能地接近规定值。

电力图书馆

表 A.1　型式试验时试验参量的容差

条款号	试验名称	试验参量	规定的试验数值	试验容差/试验数值的限值	参考标准
7.2	绝缘试验				
7.2.7.2 和 7.2.8.2	工频电压试验	试验电压(有效值)	额定短时工频耐受电压	±1%	GB/T 11022—2020 GB/T 16927.1—2011
		频率	—	45 Hz～55 Hz	GB/T 16927.1—2011
		波形	峰值/有效值=$\sqrt{2}$	±5%	
7.2.7.3 和 7.2.8.4	雷电冲击电压试验	峰值	额定雷电冲击耐受电压	±3%	
		波前时间	1.2 μs	±30%	
		半峰值时间	50 μs	±20%	
7.2.8.3	操作冲击电压试验	峰值	额定操作冲击耐受电压	±3%	
		波前时间	250 μs	±20%	
		半峰值时间	2 500 μs	±60%	
7.2.12	用标准操作冲击电压进行状态检查的电压试验	操作冲击电压的峰值	见 7.2.12	±3%	GB/T 16927.1—2011
		波前时间	250 μs	±20%	
		半峰值时间	2 500 μs	±60%	
	用 T10 的 TRV 回路进行状态检查的电压试验	操作冲击电压的峰值	见 7.2.12	±3%	
		到达峰值的时间	T10 的标准值	$^{+200}_{-10}$ %	
7.3	无线电干扰电压试验	试验电压	见 GB/T 11022—2020 的 7.3	±1%	GB/T 16927.1—2011
7.4	主回路电阻测量	直流试验电流：I_{DC}	—	100 A≤I_{DC}≤额定连续电流，或者，如果 I_r<100 A 时，$I_{DC}=I_r{}^{+0}_{-20}$ %	

电力图书馆公众号

表 A.1　型式试验时试验参量的容差（续）

条款号	试验名称	试验参量	规定的试验数值	试验容差/试验数值的限值	参考标准
7.5	连续电流试验	周围空气速度	—	≤0.5 m/s	GB/T 11022—2020
		试验电流频率	额定频率	$^{+2}_{-5}$%	
		试验电流	额定连续电流	$^{+2}_{0}$% 这些限值只应在试验阶段的最后 2 h 保持	
		周围空气温度 T	—	+10 ℃<T≤40 ℃	
7.6	短时耐受电流和峰值耐受电流试验	试验频率	额定频率	试验开始时±10%，试验结束时$^{+10}_{-20}$%	GB/T 11022—2020
		峰值电流(在一个边相上)	额定峰值耐受电流	$^{+5}_{0}$%	
		三相试验电流交流分量的平均值	额定短时耐受电流	见 7.6.3 中 I^2t 的容差	
		任一相试验电流交流分量/平均值	1	±10%	
		短路电流持续时间	额定短路持续时间	最长 5 s	
		I^2t 的值	I^2t 额定值	$^{+10}_{0}$%	
7.101.3	高低温试验	在试品高度方向周围空气温度的偏差	—	≤5 K	
		试验前记录特性的周围空气温度	20 ℃	±5 K	
		试验过程中周围空气温度的最大值和最小值	根据断路器的运行条件（见 GB/T 11022—2020）	±3 K	
7.101.3.2	高低温试验	垂直风速(如适用)	规定的平均试验值	±10%	
			每一测量点单独测到的风速与平均风速的偏差	±50%	
7.101.4	湿度试验	每个循环的最低温度	25 ℃	±3 K	
		每个循环的最高温度	40 ℃	±2 K	

表 A.1　型式试验时试验参量的容差（续）

条款号	试验名称	试验参量	规定的试验数值	试验容差/试验数值的限值	参考标准
7.103	关合和开断试验	功率因数(平均值)	—	≤0.15	
		任一相的功率因数/平均功率因数	—	±25%	
		频率	额定频率	±8%	
7.103.4	工频恢复电压(RV)	工频恢复电压	规定值	±5%	
		恢复电压持续时间末任一极 RV/平均值	1	±20%	
7.104	燃弧时间的说明				
7.104.2.2	T100a,三相试验	t_{arc1}:T100a 首开极的最长燃弧时间	t_{arc1}	>(t_{arc1} −1 ms)	
		t_{arc2}:k_{pp}=1.5,T100a 后开极的最长燃弧时间	t_{arc2}	>(t_{arc2} −1 ms)	
		t_{arc3}:k_{pp}=1.3,T100a 第二开断极的最长燃弧时间	t_{arc3}	>(t_{arc3} −1 ms)	
7.104.2.3	涵盖 k_{pp}=1.3 和 k_{pp}=1.5 条件的试验	t_{arc}:考虑到在 k_{pp}=1.5 的 T100s 中发现的最短燃弧时间值,在三相条件下计算的最大可能燃弧时间	t_{arc}	>(t_{arc} −1 ms)	
7.104.3.2	T10,T30,T60,T100s,T100s(b),OP1,OP2,L90,L75 及 L60,单相试验	$t_{arc\ max}$	$t_{arc\ max}$	>($t_{arc\ max}$ −1 ms)	
		$t_{arc\ med}$	$t_{arc\ med}$	>($t_{arc\ med}$ −1 ms)	
7.104.3.3	T100a,单相试验	t_{arc1}:T100a 首开极的最长燃弧时间	t_{arc1}	>(t_{arc1} −1 ms)	
		t_{arc2}:k_{pp}=1.5,T100a 后开极的最长燃弧时间	t_{arc2}	>(t_{arc2} −1 ms)	
		t_{arc3}:k_{pp}=1.3,T100a 第二开断极的最长燃弧时间	t_{arc3}	>(t_{arc3} −1 ms)	

电力图书馆公众号

表 A.1　型式试验时试验参量的容差（续）

条款号	试验名称	试验参量		规定的试验数值	试验容差/试验数值的限值	参考标准
7.104.3.4	涵盖 $k_{pp}=1.3$ 和 $k_{pp}=1.5$ 条件的试验	t_{arc}：在对称故障条件下，第二开断极和第三开断极的性能说明		t_{arc}	$>(t_{arc}-1\ ms)$	
		t_{arc}：考虑到在 $k_{pp}=1.5$ 的 T100s 中发现的最短燃弧时间值，在三相条件下计算的最大可能燃弧时间		t_{arc}	$>(t_{arc}-1\ ms)$	
7.105	短路试验参量					
7.105.1	短路关合试验前的外施电压	外施电压		见 7.105.1	$^{+10}_{0}$%	
		施加的相电压/(三相)平均电压		1	±5%	
7.105.3	短路开断电流	任一相的交流分量/平均交流分量		1	±10%	
		最后开断极电弧熄灭时预期电流的交流分量		相关试验方式开断电流的规定值	≥90%	
7.105.4	短路开断电流的直流分量	T10、T30、T60、T100s 中的直流分量			≤20%	
		T100a 开断前最后半波短路电流的峰值		见表 11	±10%	
		T100a 开断前短路电流半波的持续时间 Δt		见表 11	±10%	
7.105.5	短路开断试验的 TRV	TRV 峰值	$U_r\leqslant 72.5$ kV	见表 16 和表 17	$^{+10}_{0}$%	
			$U_r>72.5$ kV	见表 18 和表 19	$^{+3}_{0}$%	
		TRV 上升率	$U_r\leqslant 72.5$ kV	见表 16 和表 17	$^{+15}_{0}$%[1)]	
			$U_r>72.5$ kV	见表 18 和表 19	$^{+8}_{0}$%	
		时延 t_d		见表 16 到表 19	±20%	
		持续时间末任一极的恢复电压/恢复电压的平均值		1	±20%	

表 A.1　型式试验时试验参量的容差（续）

条款号	试验名称	试验参量		规定的试验数值	试验容差/试验数值的限值	参考标准
7.107	端子故障试验	T10 的开断电流		额定短路开断电流的 10%	±20%	
		T30 的开断电流		额定短路开断电流的 30%	±20%	
		T60 的开断电流		额定短路开断电流的 60%	±10%	
		T100s 的开断电流		额定短路开断电流的 100%	$^{+3}_{0}$%	
		T100a 的开断电流		额定短路开断电流的 100%	±10%	
		T100s 的短路关合电流		额定短路关合电流	$^{+10}_{0}$%	
		T100a 的短路电流峰值		额定峰值耐受电流	≤110%	
7.108.1	临界电流试验	开断电流		见 7.108.1.2	±20%	
		开断电流的直流分量		≤20%	上限 25%	
7.108.2	单相接地故障和异相接地故障试验	开断电流		见图 46[1]	$^{+5}_{0}$%	
		开断电流的直流分量		≤20%		
		TRV 峰值	U_r≤72.5 kV	见 7.108.2 及表 16 和表 17	$^{+10}_{0}$%	
			U_r>72.5 kV	见 7.108.2 及表 18 和表 19	$^{+5}_{0}$%	
		TRV 上升率	U_r≤72.5 kV	见 7.108.2 及表 16 和表 17	$^{+15}_{0}$%	
			U_r>72.5 kV	见 7.108.2 及表 18 和表 19	$^{+8}_{0}$%	
7.109	近区故障试验	开断电流直流分量		≤20%		
		开断电流 L_{90}		90%额定短路开断电流	90%～92%	
		开断电流 L_{75}		75%额定短路开断电流	12 kV<U_r≤72.5 kV，75%～79%	
					U_r>72.5 kV，71%～79%	
		开断电流 L_{60}		60%额定短路开断电流	55%～65%	
		波阻抗 Z		见表 25	±3%	见注

表 A.1　型式试验时试验参量的容差（续）

条款号	试验名称	试验参量		规定的试验数值	试验容差/试验数值的限值	参考标准
7.109	近区故障试验	线路侧电压峰值		见表 25	$^{+20}_{0}$ %	
		线路侧电压上升率		见表 25 和附录 I	$^{+5}_{0}$ %	
		时延 t_{dL}		见表 25	$^{0}_{-10}$ %	
7.110	失步关合和开断试验	开断电流的直流分量		≤20%		
		外施电压和工频恢复电压		见 7.110.2 的规定	±5%	
		TRV 峰值	U_r≤72.5 kV	见表 20 和表 21	$^{+10}_{0}$ %	
			U_r>72.5 kV	见表 22 和表 23	$^{+5}_{0}$ %	
		TRV 上升率	U_r≤72.5 kV	见表 20 和表 21	$^{+15}_{0}$ %	
			U_r>72.5 kV	见表 22 和表 23	$^{+8}_{0}$ %	
		OP2 的合闸时刻		在一级外施电压的峰值处	±15°	
		OP1 的开断电流		额定失步开断电流的 30%	规定值的±20%	
		OP2 的开断电流		额定失步开断电流的 100%	$^{+10}_{0}$ %	
7.111	容性电流开合试验	工频电压变化： ——对 LC1、CC1 和 BC1 ——对 LC2、CC2 和 BC2		—	 ≤2% ≤5%	
		电弧熄灭后 300 ms 工频恢复电压衰减		—	≤10%	
		有效值/基波分量有效值		—	≤1.2	
		试验电压		见 7.111.7 的规定	$^{+1}_{0}$ %	
		恢复电压的频率		额定频率	±2%	
		开断电流/额定容性开断电流		LC1，CC1，BC1 LC2，CC2，BC2	10%～40% ≥100%	

表 A.1　型式试验时试验参量的容差（续）

条款号	试验名称	试验参量	规定的试验数值	试验容差/试验数值的限值	参考标准
7.111	容性电流开合试验	涌流的阻尼系数	$U_r \leqslant 72.5$ kV	≥0.75	
			$U_r > 72.5$ kV	≥0.85	
		背对背电容器组关合涌流的固有峰值	BC2	$^{+10}_{0}$ %	
		背对背电容器组关合涌流的频率	BC2	3 400 Hz～6 000 Hz	
7.111	规定 TRV 的容性电流开断试验	恢复电压的波形	相应的单相直接试验的理论试验电压波形（1－cos 曲线）	试验电压峰值的 $^{+6}_{0}$ %（即近似于图 53 中恢复电压 u_c 峰值的 3%）	
附录 H	预期 TRV 标准值，中性点非有效接地系统中额定电压大于或等于 3.6kV，小于 126 kV，与连有小电容的变压器相连的断路器的试验方式 T30	TRV 的峰值	见表 H.1	$^{+10}_{0}$ %	
		TRV 的上升率		$^{+5}_{-10}$ %	
1）如果由于实验室的限制，T10 和 T30 的上升率低于规定值，则应使用可达到的最高值，使 TRV 的峰值保持在给定的限值范围内。					
注：近区故障试验的优先参数是线路侧电压的波形，而不是线路的波阻抗。					

电力图书馆公众号

附 录 B
（规范性）
型式试验的记录及报告

B.1 应记录的资料及结果

型式试验报告中应包括所有相关的型式试验资料及结果。

应记录所有符合 B.2 的短路操作、失步关合和开断操作、容性电流开合操作和空载操作的示波图。

型式试验报告应包括试验用测量系统不确定度相关的叙述。该叙述应参考试验室内部程序，通过该程序可建立测量不确定度的溯源性。

型式试验报告应包括每一试验方式中断路器性能及每一试验方式后（在检查范围内）和一系列试验方式结束时断路器状态的叙述。叙述应包括下列内容。

a) 断路器的状态，给出所做的所有替换或调整的细节以及触头、灭弧室和油（包括油量的减少）的状态。电弧屏蔽、外壳、绝缘子及套管损坏情况的描述。

b) 试验方式中性能的描述，包括油、气体或火焰的喷出的观察。

B.2 型式试验报告包括的内容

B.2.1 概述

应包括下述信息：

a) 试验日期；

b) 参考的报告编号；

c) 试验个数；

d) 示波图个数。

B.2.2 试品

GB/T 11022—2020 的 7.1.3 及其附录 G 以及下列条件适用：

试验报告中给出的参考图号应指明制造厂的参考编号、修订编号和相关内容。

适用时，应包含参考机械行程特性，或通过用参考图号或等效的方法记录在试验报告中。

B.2.3 断路器，包括其操动机构和辅助设备的额定参数

制造厂应给出第 5 章中规定的额定参数值及最短分闸时间。

B.2.4 试验条件（对试验的每个系列）

应包括下述试验条件：

a) 极数；

b) 功率因数；

c) 频率，Hz；

d) 发电机中性点（接地或绝缘）；

e) 变压器中性点（接地或绝缘）；

f) 短路点或负载侧中性点（接地或绝缘）；

g) 包括接地的试验回路图；

h) 断路器接入试验回路的细节(例如,方向);
i) 绝缘和/或关合和开断用流体的压力;
j) 操作用流体的压力。

B.2.5 短路关合和开断试验

应包括下述参量和信息:
a) 操作顺序和时间间隔。
b) 外施电压,kV。
c) 关合电流(峰值),kA。
d) 开断电流:
1) 每相及平均的交流分量有效值,kA;
2) 最后电流半波的电流峰值(仅适用于 T100a,且针对具有最大直流分量的那一相);
3) 最后电流半波的持续时间(仅适用于 T100a,且针对具有最大直流分量及首开的那一相,对于延长的大半波,预期的半波持续时间,应根据预期电流校验试验确定)。
e) 工频恢复电压,kV。
f) 预期 TRV:
1) 按照 7.105.5.1 的要求 a),可引用电压和时间坐标;
2) 按照 7.105.5.1 的要求 b)。
g) 燃弧时间,ms。
h) 分闸时间,ms。
i) 开断时间,ms。
如适用,应给出直到主电弧熄灭瞬间的开断时间和直到阻性电流开断瞬间的开断时间。
j) 合闸时间,ms。
k) 关合时间,ms。
l) 试验中断路器的状态,适用时,包括喷出的火焰、气体、油等;应记录发生的 NSDD。
m) 试验后的状态。
n) 试验期间零部件的更新和修复。

B.2.6 短时耐受电流试验

应包括下述参量和信息:
a) 电流:
1) 有效值,kA;
2) 峰值,kA。
b) 持续时间,s。
c) 试验期间断路器的性能。
d) 试验后的状态。
e) 试验前后断路器主回路的电阻,$\mu\Omega$。

B.2.7 空载操作

应包括下述的空载操作:
a) 关合和开断试验前(见 7.102.6);
b) 关合和开断试验后(见 7.102.9.5)。

B.2.8 失步关合和开断试验

应包括下述参量和信息：

a) 开断电流，kA；
b) 关合电流，kA；
c) 电压，kV；
d) 预期 TRV；
e) 燃弧时间，ms；
f) 分闸时间，ms；
g) 开断时间，ms；
h) 合闸时间，ms；
i) 关合时间，ms；
j) 阻性电流持续时间(如果适用的话)，ms；
k) 试验中断路器的状态，适用时，包括喷出的火焰、气体、油等，应记录发生的 NSDD；
l) 试验后的状态。

B.2.9 容性电流试验

应包括下述参量和信息：

a) 试验电压，kV。
b) 每相的开断电流，A。
c) 每相的关合电流，kA。
d) 涌流频率，适用时。
e) 相对地间电压的峰值，kV：
   1) 断路器的电源侧；
   2) 断路器的负载侧。
f) 重击穿(如果有的话)的次数；应记录发生的 NSDD(如果有的话)。
g) 选相整定的详细情况，燃弧时间，ms。
h) 分闸时间，ms。
i) 合闸时间，ms。
j) 关合时间，ms。
k) 试验中断路器的状态。
l) 试验后的状态。

B.2.10 示波图和其他记录

应记录整个操作的示波图。应记录下述参量。其中某些量可能需要与示波图分开记录，可能需要多个具有不同时间刻度的示波图。

a) 外施电压；
b) 每极中的电流；
c) 恢复电压(充电电流试验时断路器电源侧及负载侧的电压)；
d) 合闸线圈中的电流；
e) 分闸线圈中的电流；
f) 适用于要求准确度的恰当的幅值和时间刻度；
g) 机械行程特性(适用时)。

不能严格满足本文件要求的全部情况及所有偏差应在试验报告的开始部分明确指出。

附 录 C
（规范性）
机械特性的使用和相关要求

型式试验前，应建立断路器的机械特性，例如，通过记录空载机械行程特性曲线和/或定义附加额外的特性参数，例如，适用时在某一时刻的瞬时速度，合闸和分闸时间，阻尼时间等。适用于这些附加参数的容差也应由制造厂定义和声明。机械特性将作为表征断路器机械性能的参考。

机械特性应被用来确认在机械、关合和开断试验中使用的不同试品的机械性能相似。用于机械、关合和开断型式试验的所有试品的空载机械行程特性曲线应在下述包络线内。如果因为不同的试验室所用的测量方法不同，而不能对包络线进行直接比较时，在解释这些曲线时宜谨慎。参考机械特性还用于确认生产单元的机械性能与型式试验期间使用的试品的机械性能相似。

在试验报告中，应注明用于记录机械行程特性的传感器的类型和位置。机械行程特性曲线可在动力传动链的任一部分测量，并可被连续地或离散地记录。若离散测量，对于完整的行程至少宜给出 20 个离散数值。

空载机械行程特性曲线应用来确定：该参考曲线上下允许偏差的限值。根据该参考曲线，对于分闸操作，应从触头分离时刻到触头行程终止时刻，以及对于合闸操作，应从触头运动开始到触头接触时刻，画出两条包络线。两条包络线距初始曲线的距离应在总行程的 5% 范围内，如图 15 所示。断路器的总行程为 40 mm 或更小时，两条包络线距初始曲线的距离应为 2 mm。已经发现，对于某些断路器的设计，这些方法不适用，例如真空断路器或某些额定电压 40.5 kV 及以下的断路器。在这种情况下，制造厂应规定证明断路器能正确操作的适当方法。

如果要使用不同于空载机械行程特性曲线的机械特性，制造厂应规定替代方法和使用的容差。

图 14 到图 17 是为了图解的目的，且仅说明了分闸操作。这些都是理想的，没有考虑到触头的摩擦效应或行程终止时阻尼引起的外形变化。尤其重要的是，应注意到这些图中并没有表示出阻尼效应。行程终止时产生的振荡取决于驱动系统的阻尼效应。这些振荡的形状可以是设计的结果，可在不同的试品之间略有不同。因此，行程终止时曲线上的任何超出包络线容差范围的偏差，为了表明与参考曲线的等效性，在放弃或接受该曲线之前，对其作出完整的解释和推断是很重要的。通常，宜接受所有包络线范围内的曲线。

所有生产单元的机械行程特性应在参考机械行程特性总允许容差的 10% 以内。参考机械行程特性可位于定义容差带内的任何点，但一旦定义了 10% 容差带，参数应保持不变。这就分别给出和参考机械行程特性曲线的最大允许偏差分别为 −0%、+10% 和 −10%、+0%（见图 16 和图 17）。

附 录 D
（规范性）
金属封闭断路器和外壳不带电断路器关合和开断试验程序的要求

D.1 通则

本附录包含与金属封闭断路器和外壳不带电断路器短路关合和开断性能有关的试验回路和型式试验程序。能给断路器提供正确的应力的其他方法，也可采用。

本附录评价了各种试验情况，并给出了试验回路，或为外壳带电断路器开发的试验回路所要求的特殊措施。上述试验可用直接试验回路和合成试验回路进行，合成试验见 GB/T 4473。

金属封闭断路器应在与外壳带电断路器不同的条件下完成其职能。

对关合和开断试验有某些影响的主要特征如下。

a) 关合和开断单元是给定变电站设计的组成部分，因此，当确定试验条件时，应考虑变电站的周围元件。

b) 一个极，甚至所有三个极的几个关合和开断单元可能安装在一个共用外壳内。由于变电站关合和开断单元的各元件以及其他的带电和接地部件都离的很近。这将在绝缘介质上造成高介电应力，并可能导致关合和开断单元的部件与其周围部件之间，引起强烈的相互作用。同样会导致被试部件和周围部件间的电容较高而电感较低。

在确定试验要求时，应考虑这些相互作用的影响。

c) 在金属封闭开关设备内，绝缘表面受到较高的电场作用，这可能使得它们对沉积物敏感。

D.2 试验用关合和开断单元的降低数

由于试验设备的限制，可能无法对一个完整的断路器进行试验。在这些情况下，如果考虑到以下要求，可使用替代程序。

随着替代程序的不同，应分析试验部件和被省略部件之间的相互影响：

——断路器和变电站的周围部件之间；

——极间或各极和外壳之间；

——不同的关合和开断单元之间或关合和开断单元与外壳之间。

也有必要区分两个不同负荷（通常可分别处理）之间：

——关合和开断间隙的负荷；

——极间或各极和外壳间的绝缘负荷。

D.3 单极在一个外壳内的试验

D.3.1 通则

应满足 7.102 的条件。

D.3.2 端子故障试验

D.3.2.1 通则

当短路电流大于额定短路开断电流的 60%时，试验回路应符合图 27a)或图 28a)。

在接地故障条件下，图 27b)和图 28b)中给出的试验回路不能正确地对金属封闭断路器和外壳不带电断路器施加应力，但短路电流等于或小于额定短路开断电流的 60%时是可接受的。

D.3.2.2 单元试验

7.102.4.2 适用，并作如下补充：

为了验证金属封闭断路器带电部件和外壳之间的绝缘性能，应进行附加试验：

——在最长燃弧时间下，所有关合和开断单元开断额定短路开断电流；

——T100s 和 T100a 试验方式时，进线端和罐体之间施加相应的电压。

一次开断操作就足以证明这种性能。在这个附加试验之前可对断路器进行检修。

D.3.3 容性电流试验

D.3.3.1 概述

试验程序应与 7.111 一致。

表 D.1 给出了在实际运行条件下及用于三相试验时，三相容性电流开断时电源侧和负载侧电压以及恢复电压。

表 D.2 给出了在单相容性电流开断试验时电源侧、负载侧以及恢复电压的对应值。

表 D.1 运行条件下三相容性电流开断：电源侧电压、负载侧电压和恢复电压

断路器端子上的电压	中性点有效接地系统的电压值			中性点非有效接地系统的电压值
	不接地的电容器	接地电容器组和屏蔽电缆	线路	所有情况
U_{CE}	$U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$
$U_{C'E}$	$1.5\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1.2\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$1.5\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$
$U_{CC'}$	$2.5\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2.2\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$	$2.5\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$

假定 C 极为首开极。

C ——电源侧；

C' ——负载侧；

C/C'——分闸触头间；

U_r ——额定电压；

U_{CE} ——电源侧端子对地电压；

$U_{C'E}$ ——负载侧端子对地电压；

$U_{CC'}$ ——分闸触头间电压。

注 1：极的名称在图 D.1 中说明。

注 2：所给出的值不考虑开断后电源侧的电压降。

如果对于单相试验来说，根据 7.111.7，带电部件和外壳之间的介电应力不能正确再现。应按照表 D.2对外壳施加负载侧的介电应力进行附加的绝缘试验。负载侧电压应以两个极性施加在断路器的每个端子上，并保持 0.3 s。

除了表 D.1 和表 D.2 的条件之外，下列各段给出了关于接地故障情况下容性负载开合(见附录 J)的资料。

当电源的中性点有效接地和存在单相或两相接地故障时，健全相的电压可达到$1.4\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$。精确值取决于零相序阻抗。在这种情况下，电源侧和负载侧端子对地电压值应是：

——$U_{CE}=U_{C'E}=1.4\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$

——$U_{C/C'}=2.8\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$(恢复电压)

当电源的中性点非有效接地和存在单相或两相接地故障时，健全相的电压可达到约$1.7\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$。这种情况下，电源侧和负载侧端子对地电压值应是：

——$U_{CE}=U_{C'E}=1.7\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$

——$U_{C/C'}=3.4\times U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$(恢复电压)

D.3.3.3 单元试验

只有当一个端子上的对地电压与整极试验中负载侧对地电压相等时，才允许单元试验。此条件可用下列方法满足：

——用适当电压将对地绝缘的断路器外壳通电；或

——在每极两个串联连接的关合和开断单元的情况下，在两种电压(交流和直流)叠加在一个端子上面该半极的另一个端子接地的条件下进行半极试验。

D.4 三极在一个外壳内的试验

D.4.1 端子故障试验

当短路电流大于额定短路开断电流的 60%时，试验回路应符合图 27a)或图 28a)。

在接地故障条件下，图 27b)和图 28b)中给出的试验回路不能正确地对金属封闭断路器和外壳不带电断路器施加应力，但短路电流等于或小于额定短路开断电流的 60%时是可接受的。

D.4.2 容性电流试验

单相试验情况下，对地绝缘和极间绝缘的介电应力不能正确再现，附加的绝缘试验是必需的。如果无法验证，应通过在两个极性上施加表 D.3 中所述的应力来验证，且直流电压和交流电压的持续时间均至少为 0.3 s。两个端子上的直流电压应具有相反的极性。交流和直流电压的电压分布，见表 D.1。不进行试验的所有端子都应接地。

根据断路器的布置(例如，极间的对称性和/或外壳)，某些试验是多余的，不应进行。

对某个设计的断路器，仅验证一次对地和极间绝缘强度是足够的。如果覆盖不同的容性额定值，应验证最大恢复电压对应的绝缘强度。如果要涵盖 C2 级，7.111.9.4.1 中 T60 预备试验应在绝缘强度之前进行。

表 D.3　实际运行条件下容性电流开断：最大标准电压值

端子间电压	中性点有效接地系统			中性点非有效接地系统
	不接地电容器组	接地电容器组	线路	
	p.u	p.u	p.u	p.u
A 对地	1.0	1.0	1.0	1.5
A′对地	1.5	1.0	1.2	1.0
A—A′	2.5	2.0	2.2	2.5
A′—B′	≤1.73	≤1.73	≤1.73	≤1.73
A′—C′	2.37	2.0	2.1	2.37
B′—C′	≤1.73	2.0	1.9	≤1.73
A—B′	1.87	2.0	2.0	1.87
A—C′	1.87	2.0	1.9	1.87
B—A′	2.5	2.0	2.2	2.5
B—C′	1.87	2.0	1.9	1.87
C—A′	2.5	2.0	2.2	2.5
C—B′	1.87	2.0	2.0	1.87

A—A′：首开极；A：电源侧；A′：负载侧。

注 1：如果电源侧零序电容相比于负载侧可忽略不计，则采用中性点非有效接地系统所示的值。

注 2：1 $p.u.=U_r\sqrt{2}/\sqrt{3}$。

注 3：A 极开断后的第一次电流过零时，B 极和 C 极开断。

注 4：在所有情况下，A—B、A—C 和 B—C 之间的电压值等于 $U_r\sqrt{2}$。

注 5：表中不包括 B 对地、B′对地、B—B′和 C 对地、C′对地和 C—C′的电压值，因为它们的电压值低于 A 极相应的值。

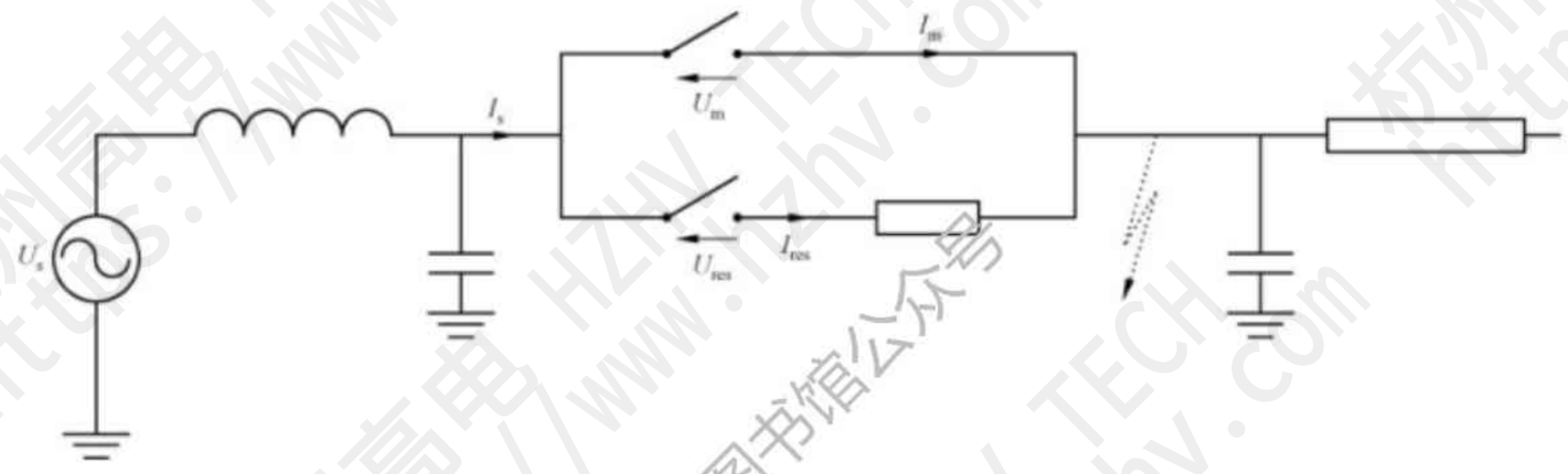
附 录 E
（规范性）
带有分闸电阻器的断路器的要求

E.1 通则

本附录适用于接有与被断开回路串联的电阻器的断路器。至少对开断操作，此电阻器与关合和开断单元并联。开断过程中，关合和开断单元将电流转换到电阻器，然后与电阻器串联的电阻器开关开断剩余电流。

带有分闸电阻器的断路器应满足本文件正文的所有要求。考虑分闸电阻器的存在，本附录补充了正文并且规定了具体的设计和试验要求。

典型的系统结构在图 E.1 中给出。



标引序号说明：

I_m ——通过关合和开断单元的电流；　　U_m ——关合和开断单元的电压；

I_{mrs} ——通过电阻器开关的电流；　　U_{mrs} ——电阻器开关两端的电压；

I_s ——电源测电流；　　U_s ——电源测电压。

图 E.1 由带分闸电阻器的断路器开断的典型系统结构

E.2 开合性能验证

E.2.1 通则

如果使用直接试验方法，则带有分闸电阻器的断路器的开合性能会得到充分验证。若受试验设备限制，应使用合成试验方法，见 GB/T 4473。

应获得适当的机械的和电气的操作时间，包括关合和开断单元和电阻器开关的预击穿时间和燃弧时间。

注 1：试验和运行期间连续操作的次数，受限于该电阻的热容量和冷却时间常数。

试验宜优先选择带分闸电阻器进行。作为替代，若关合和开断单元开断不受电阻器断口的影响或影响电阻器断口，试验也可不带分闸电阻器进行。通过对电阻器施加在开断条件下计算的修正电流和电压参数予以考虑。

如果在不带分闸电阻器的情况下进行试验，则宜根据运行条件（例如短路电流和分闸电阻器的电阻欧姆值）对修正的 TRV 数值进行具体计算。宜用暂态计算程序进行 TRV 计算。这种情况下修正的 TRV 的值宜由系统设计者规定。

修正的 TRV 参数也可通过计算电阻器对带有集中元件（未对 TRV 产生影响）回路的影响而得到。

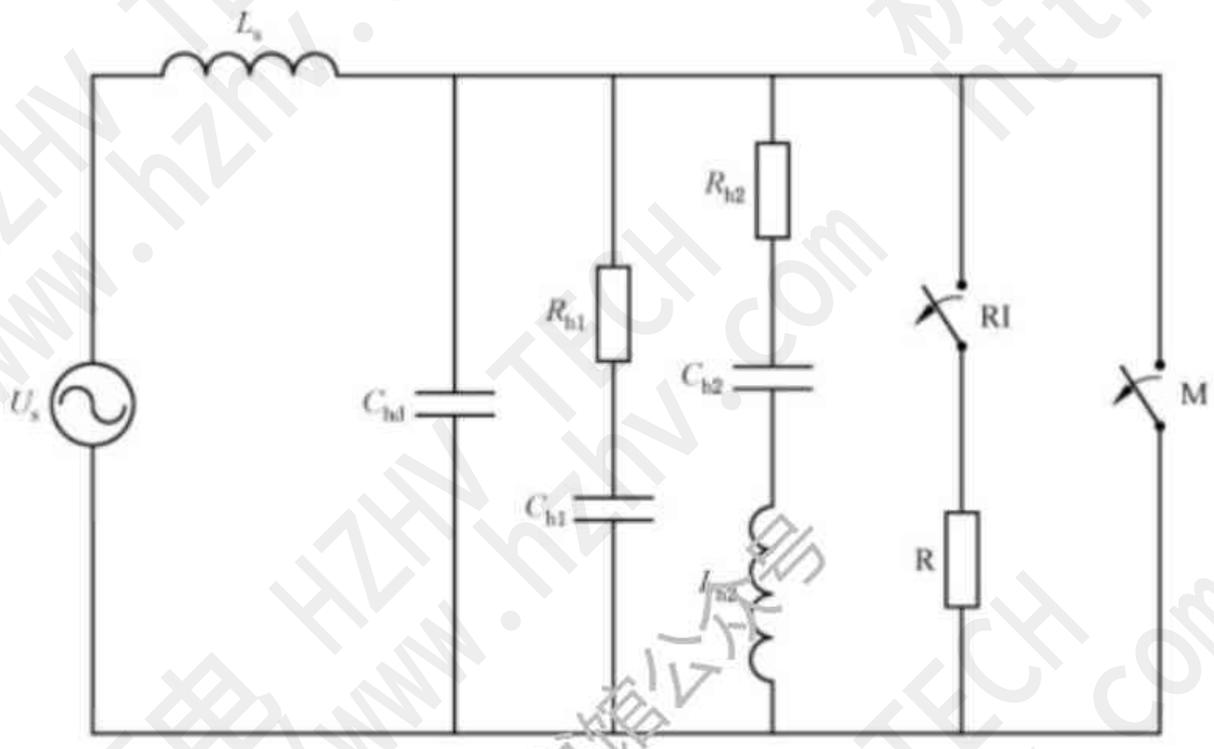
注 2：通常不带分闸电阻器进行关合和开断试验，考虑到该电阻器对被开断电流的影响以及对关合和开断单元及电阻器断口的恢复电压的影响来调整试验参数。

注 3：在不带分闸电阻器进行试验时，关合和开断单元及电阻器开关的操作和性能不会相互影响（例如热气的影响）是至关重要的。

E.2.2 关合和开断单元的试验

E.2.2.1 短路关合和开断试验

试验方式 T60 和 T100 的试验回路示例在图 E.2 中给出。试验方式 T10、T30 和 OP2 的试验回路示例在图 E.3 中给出。



标引序号说明：

U_s ——电源测电压；

L_s ——电源电感；

C_{hd} ——时延电容；

R_{h1} ——第 1 部分 TRV 电阻；

C_{h1} ——第 1 部分 TRV 电容；

R_{h2} ——第 2 部分 TRV 电阻；

C_{h2} ——第 2 部分 TRV 电容；

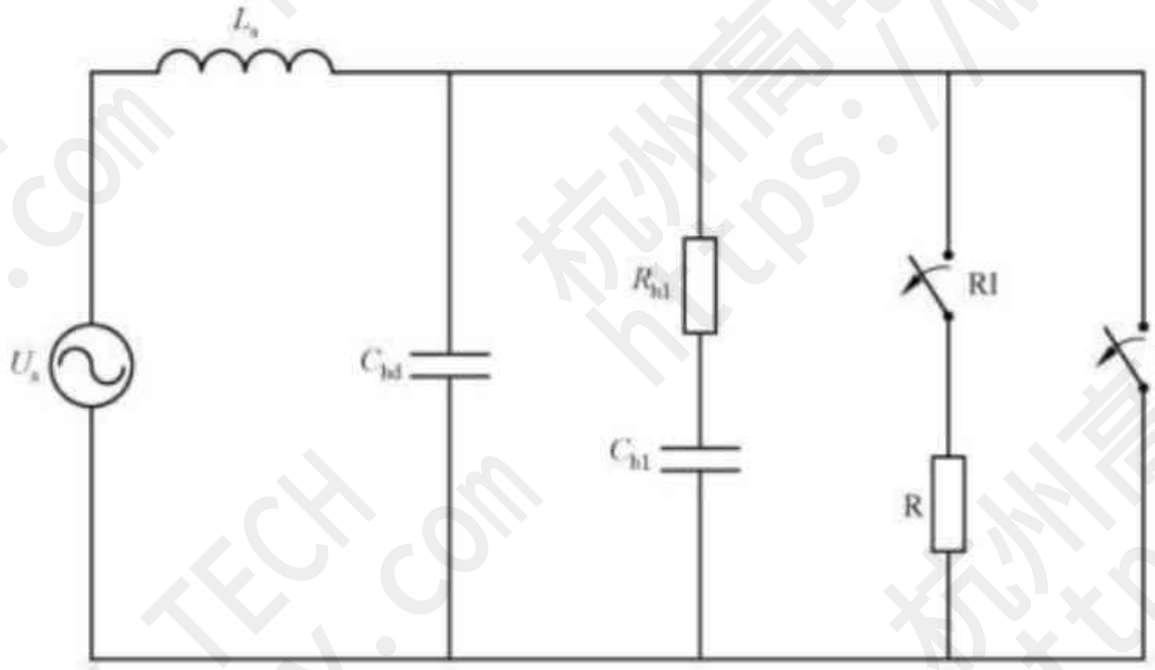
L_{h2} ——TRV 电感；

RI ——电阻器开关；

R ——电阻；

M ——主触头。

图 E.2 试验方式 T60 和 T100 的试验回路



标引序号说明：

U_s——电源测电压；
L_s——电源电感；
C_{hd}——时延电容；
R_{h1}——TRV 电阻；
C_{h1}——TRV 电容；
RI——电阻器开关；
R——电阻；
M——主触头。

图 E.3　试验方式 T10、T30 和 OP2 的试验回路

参数计算：

$$U_s = k_{pp} \times U_r / \sqrt{3}$$

$$L_s = (U_s / I_s) / \omega$$

试验方式 T100 的 TRV 元件的计算：

$$R_{h1} \approx (\mathrm{d}u/\mathrm{d}t)/(\mathrm{d}i/\mathrm{d}t)$$

$$C_{h1} \approx 0.31 \times L_s / R_{h1}^2$$

$$R_{h2} \approx 0.32 \times R_{h1}$$

$$C_{h2} \approx 0.7 \times C_{h1}$$

$$L_{h2} \approx 1.15 \times L_s$$

$$C_{hd} \approx t_d / R_{h1}$$

试验方式 T60 的 TRV 元件的计算：

$$R_{h1} \approx 0.9 \times (\mathrm{d}u/\mathrm{d}t)/(\mathrm{d}i/\mathrm{d}t)$$

$$C_{h1} \approx 0.3 \times L_s / R_{h1}^2$$

$$R_{h2} \approx 0.1 \times R_{h1}$$

$$C_{h2} \approx 1.16 \times C_{h1}$$

$$L_{h2} \approx 1.38 \times L_s$$

$$C_{hd} \approx t_d / R_{h1}$$

试验方式 T30 的 TRV 元件的计算：

$$R_{h1} \approx (\mathrm{d}u/\mathrm{d}t)/(\mathrm{d}i/\mathrm{d}t)$$

$$C_{h1} \approx 0.42 \times L_s / R_{h1}^2$$

$$C_{hd} \approx t_d / R_{h1}$$

试验方式 T10 的 TRV 元件的计算：

$$R_{h1} \approx 1.3 \times (\mathrm{d}u/\mathrm{d}t)/(\mathrm{d}i/\mathrm{d}t)$$

$$C_{h1} \approx 0.42 \times L_s / R_{h1}^2$$

$$C_{hd} \approx t_d / R_{h1}$$

试验方式 OP2 的 TRV 元件的计算：

$$R_{hl} \approx 1.85 \times (du/dt)/(di/dt)$$

$$C_{hl} \approx 2.55 \times L_s / R_{hl}^2$$

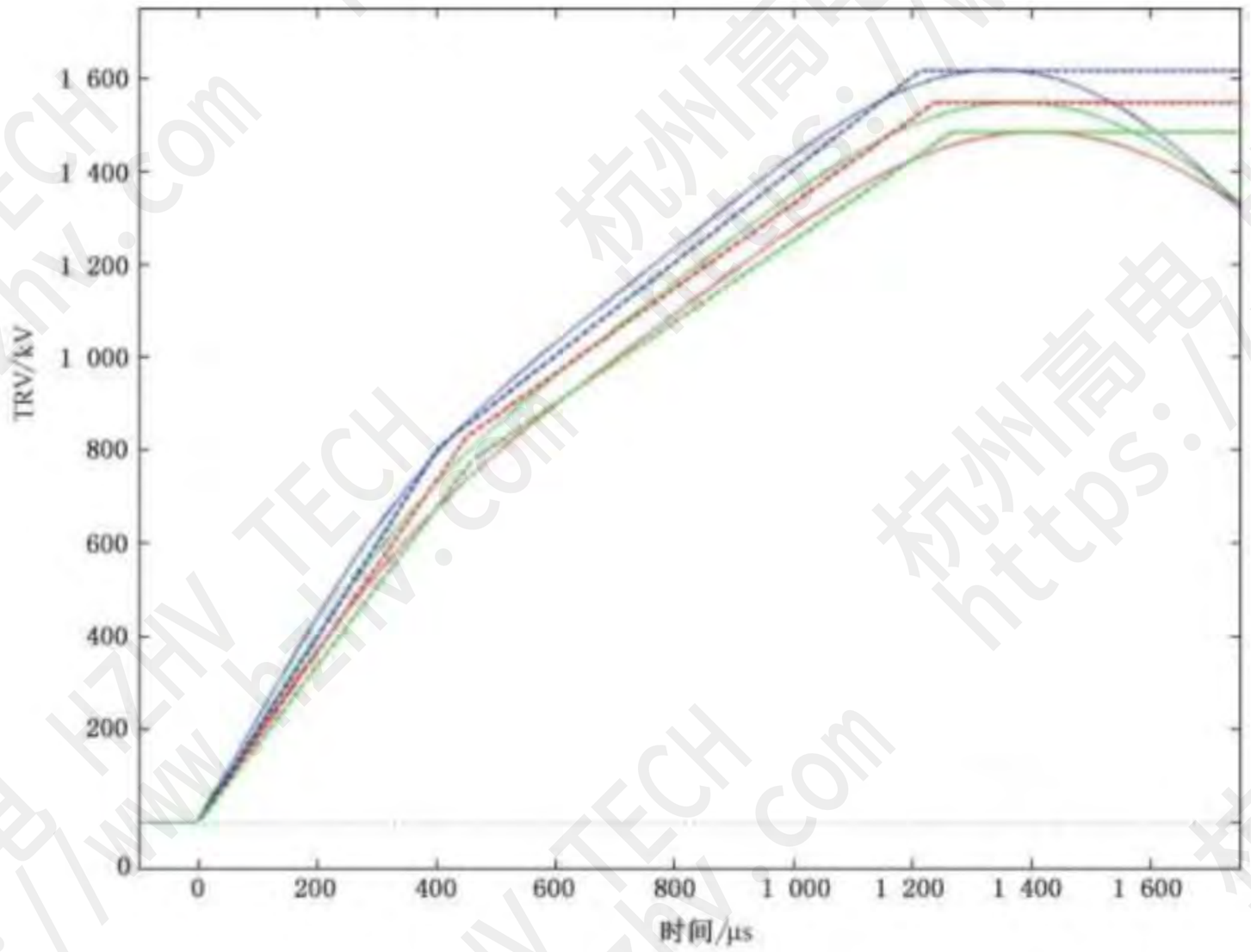
$$C_{hd} \approx t_d / R_{hl}$$

表 E.1 给出了使用两个回路得出的计算结果。TRV_{peak}的下降率列于 u_{cred}栏下。

表 E.1 端子故障和失步 TRV 的计算结果

U_r kV	I_{sc} kA	f Hz	试验方式	R Ω	u_1 kV	t_1 μs	u_c kV	t_2或t_3 μs	u_{cred} %	结果
1 100	50	50	T100s(b)	∞	808	404	1 617	1 212	0	—
1 100	50	50	T100s(b)	1 000	830	451	1 549	1 238	−4	欠阻尼的
1 100	50	50	T100s(b)	500	780	461	1 485	1 267	−8	欠阻尼的
1 100	50	50	T60	∞	808	269	1 617	1 212	0	—
1 100	50	50	T60	1 000	740	320	1 508	1 210	−7	欠阻尼的
1 100	50	50	T60	500	660	340	1 410	1 237	−13	欠阻尼的
1 100	50	50	T30	∞	—	—	1 660	332	0	—
1 100	50	50	T30	1 000	—	—	1 163	407	−30	欠阻尼的
1 100	50	50	T30	500	—	—	1 036	531	−38	过阻尼的
1 100	50	50	T10	∞	—	—	1 897	271	0	—
1 100	50	50	T10	1 000	—	—	971	624	−49	过阻尼的
1 100	50	50	T10	500	—	—	853	935	−55	过阻尼的
1 100	50	50	OP2	∞	—	—	2 245	1 344	0	—
1 100	50	50	OP2	1 000	—	—	1 877	1 435	−16	欠阻尼的
1 100	50	50	OP2	500	—	—	1 639	1 502	−27	过阻尼的

图 E.4 和图 E.5 分别为欠阻尼的 TRV 和过阻尼的 TRV 的示例。



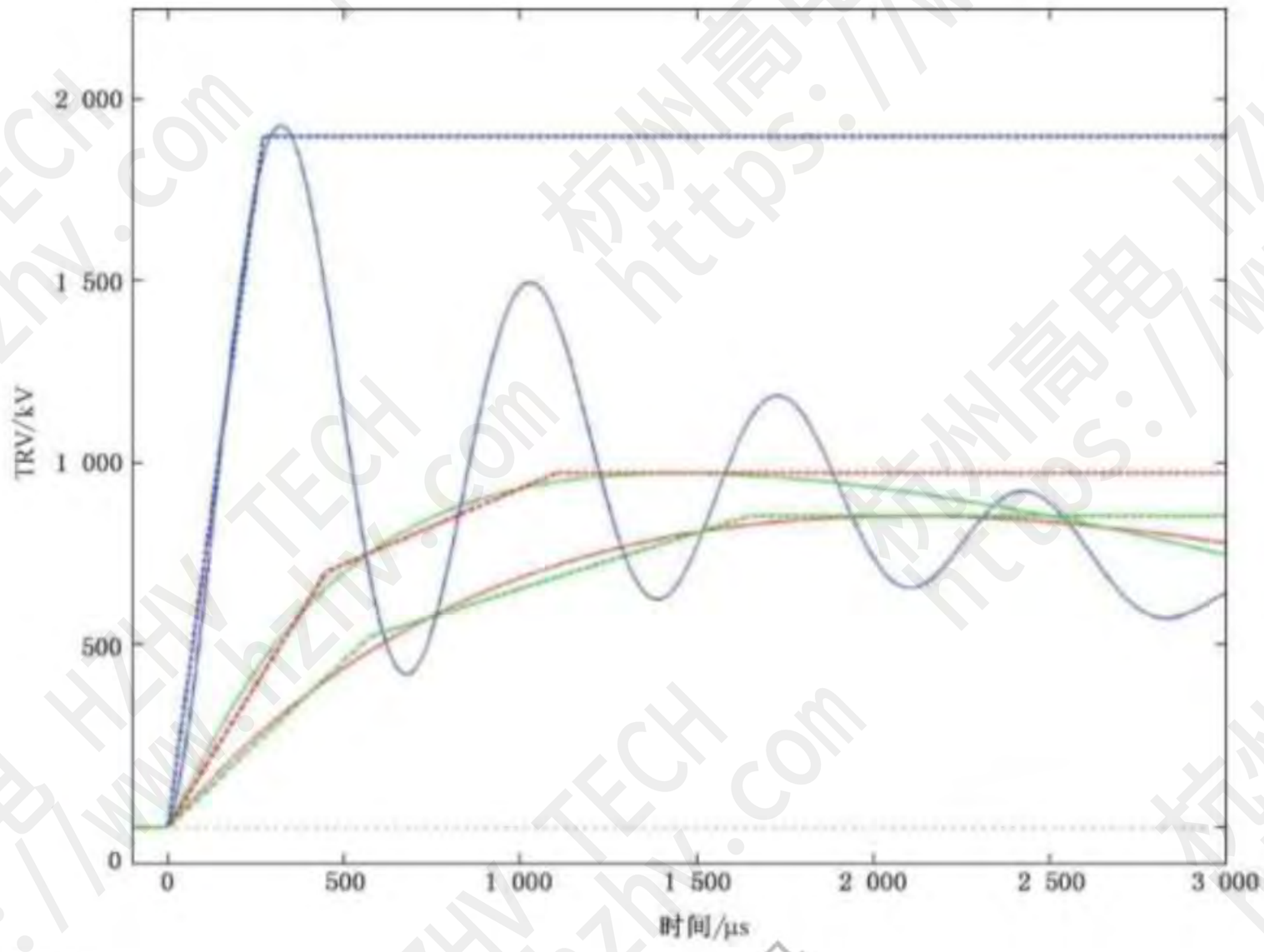
标引序号说明：

蓝线——$R=\infty$；

红线——$R=1\ 000\ \Omega$；

绿线——$R=500\ \Omega$。

图 E.4　U_r=1 100 kV、I_{sc}=50 kA、f_r=50 Hz，试验方式 T100s(b)，欠阻尼的 TRV 的示例



标引序号说明：

蓝线——$R=\infty$；

红线——$R=1\ 000\ \Omega$；

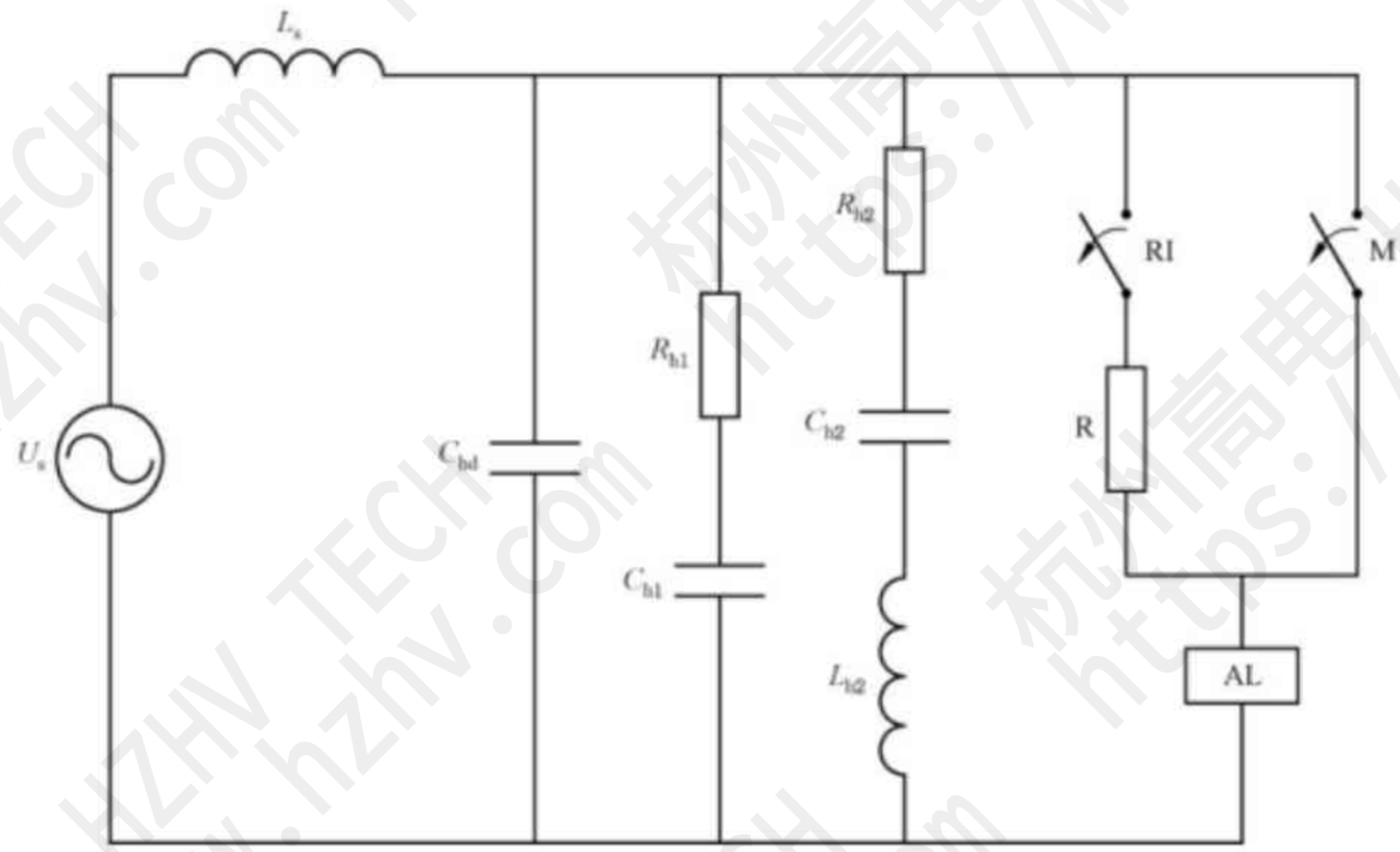
绿线——$R=500\ \Omega$。

图 E.5　U_r=1 100 kV、I_{sc}=50 kA、f_r=50 Hz，试验方式 T10，过阻尼的 TRV 的示例

E.2.2.2　近区故障试验

试验方式 L_{90} 的试验回路示例在图 E.6 中给出。

等效的线路侧 TRV 应通过模拟具有规定波阻抗的至少 10 个 π 型链路来计算。图 E.7 给出了这个计算的示例。



标引序号说明：

U_s——电源测电压；

L_s——电源电感；

C_{bd}——时延电容；

R_{h1}——第 1 部分 TRV 电阻；

C_{h1}——第 1 部分 TRV 电容；

R_{h2}——第 2 部分 TRV 电阻；

C_{h2}——第 2 部分 TRV 电容；

L_{h2}——TRV 电感；

RI——电阻器开关；

R——电阻；

M——主触头；

AL——人工线路。

图 E.6　近区故障试验方式 L_{90} 的试验回路示例

表 E.2 给出了使用图 E.6 中试验回路得出的计算结果。TRV_{peak} 的下降率列于 u_{cred} 栏下。

试验方式 L_{90} 的 TRV 元件的计算：

电源侧

$$R_{h1} \approx (du/dt)/(di/dt)$$

$$C_{h1} \approx 0.31 \times L_s / R_{h1}^2$$

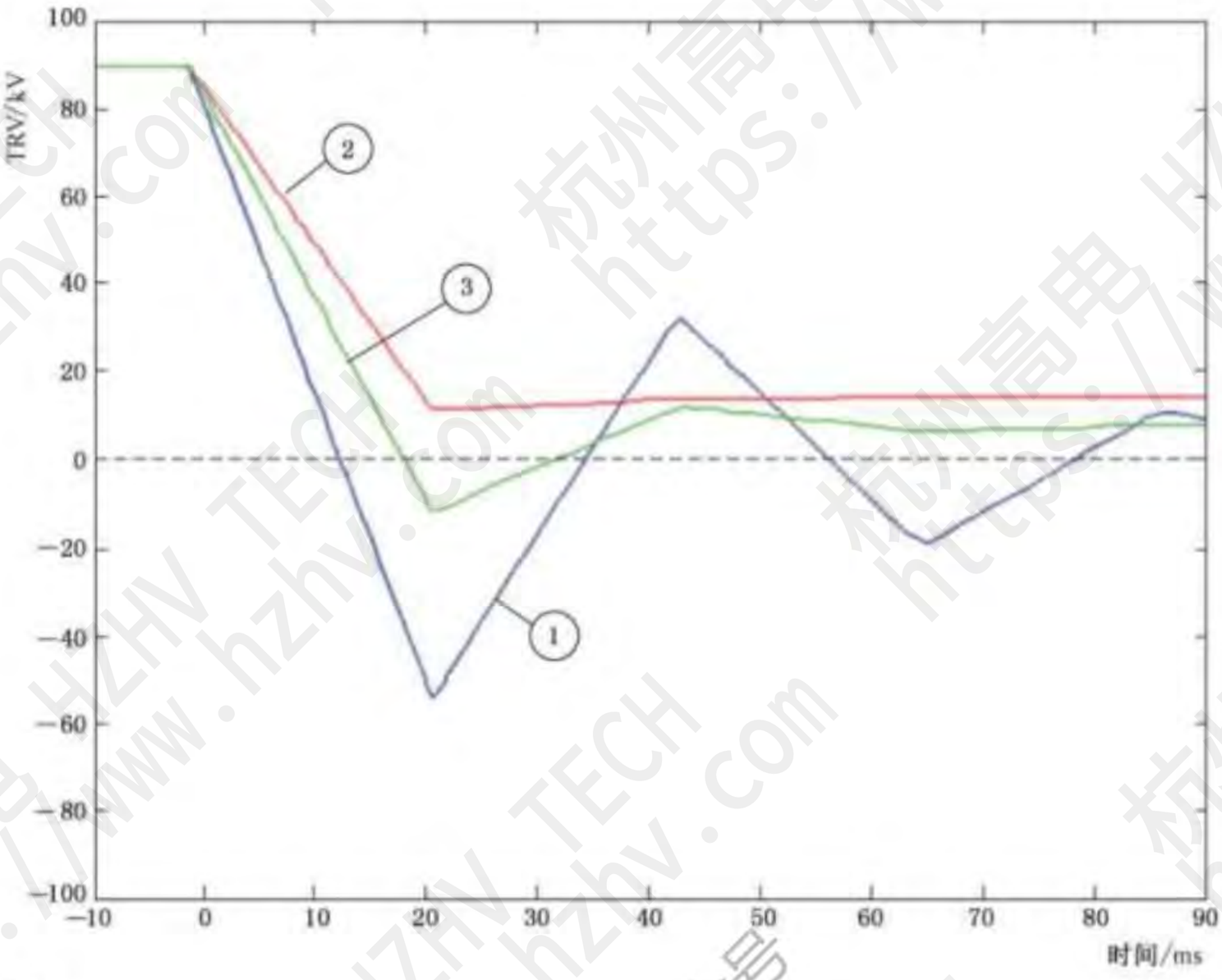
$$R_{h2} \approx 0.32 \times R_{h1}$$

$$C_{h2} \approx 0.7 \times C_{h1}$$

$$L_{h2} \approx 1.15 \times L_s$$

$$C_{bd} \approx t_d / R_{h1}$$

线路侧实际线路模拟见图 E.7：



标引序号说明：

1——($R=\infty$)；$k=1.6$ 和 $Z=330\ \Omega$；

2——$R=500\ \Omega$；$k=0.87$ 和 $Z=173\ \Omega$；

3——$R=1\ 000\ \Omega$；$k=1.13$ 和 $Z=224\ \Omega$。

图 E.7　基于 $U_r=1\ 100$ kV、$I_{sc}=50$ kA、$f_r=50$ Hz，近区故障试验方式 L_{90} 真实线路模拟的示例

表 E.2　试验方式 L_{90} 的 TRV 计算的结果

U_r kV	I_{sc} kA	f Hz	试验方式	R Ω	u_1 kV	t_1 μs	u_c kV	t_2或t_3 μs	u_{creel} %	k	Z Ω
					电源侧					线路侧	
1 100	50	50	L_{90}	∞	674	337	1 347	1 011	0	1.6	330
1 100	50	50	L_{90}	1 000	635	350	1 302	1 050	−3	1.13	224
1 100	50	50	L_{90}	500	605	360	1 251	1 076	−7	0.87	173

E.2.2.3　容性电流试验

带有分闸电阻器的断路器的使用仅限开合架空线路。接入阶段恢复电压波形可表示如下：

$$U(t)=\frac{\sqrt{2}U_cR}{Z}[\cos\varphi\times e^{-(1/RC)t}-\cos(\omega t+\varphi)] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(E.1)$$

式中：

U_c——电源测电压，包括容性电压因数 K_c，以有效值(kV)形式表述；

C——线路侧电容(F)；

R——分闸电阻值(Ω)；

$Z=\sqrt{R^2+(1/\omega C)^2}$；

$\varphi=\tan^{-1}(1/\omega RC)$。

关合和开断单元的线路充电电流开断试验分两部分进行：

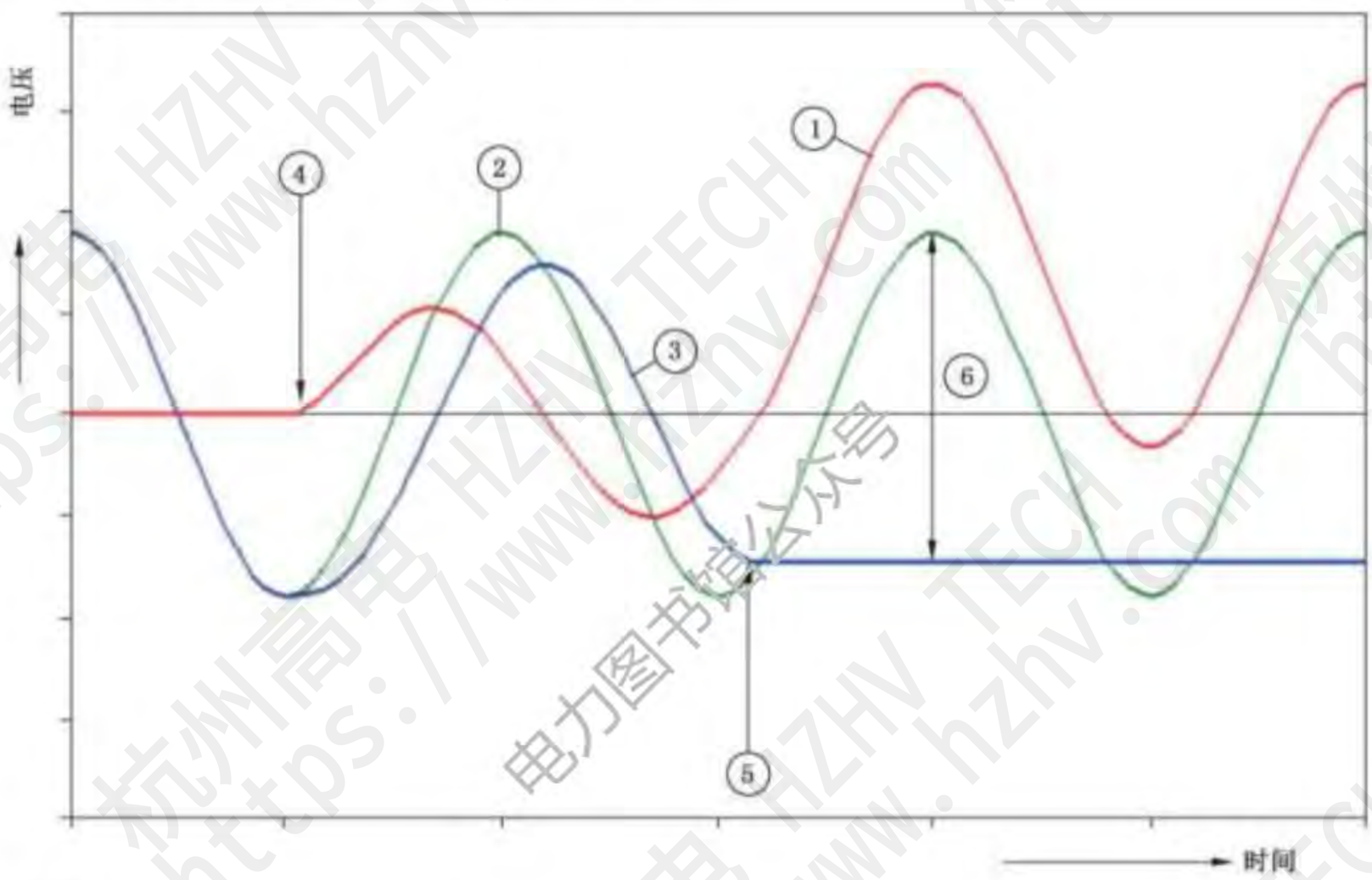
a) 带有正弦恢复电压的试验方式 LC2 用来验证在电阻器接入期间没有重击穿或重燃。如果发生重燃，则认为试验无效且应进行直接试验确认关合和开断单元的适当性能；

b) 带有修正的“1－cos”波形的试验方式 LC1 用来验证最大恢复电压峰值的电压耐受。修正的“1－cos”波形应在电流零点后等于或小于额定分闸电阻器接入时间的时刻施加。

注：认为接入期间之后的恢复电压波形没有减小。可选的方法是通过一个试验进行此试验，用 7.111.9 描述的相同次数的试验来涵盖这两种情况。

关合和开断单元的重击穿性能应符合 7.111.11。

容性电流开断的典型恢复电压波形见图 E.8。



标引序号说明：

1——关合和开断单元端子两端的电压 U_m；

2——电源侧电压 U_s；

3——负载侧电压 U_l；

4——关合和开断单元开断；

5——电阻器开关开断；

6——电阻器开关端子两端的电压 U_{ms}。

图 E.8 带分闸电阻器的断路器容性电流开断的典型恢复电压波形

E.2.3 电阻器开关试验

E.2.3.1 短路关合和开断试验

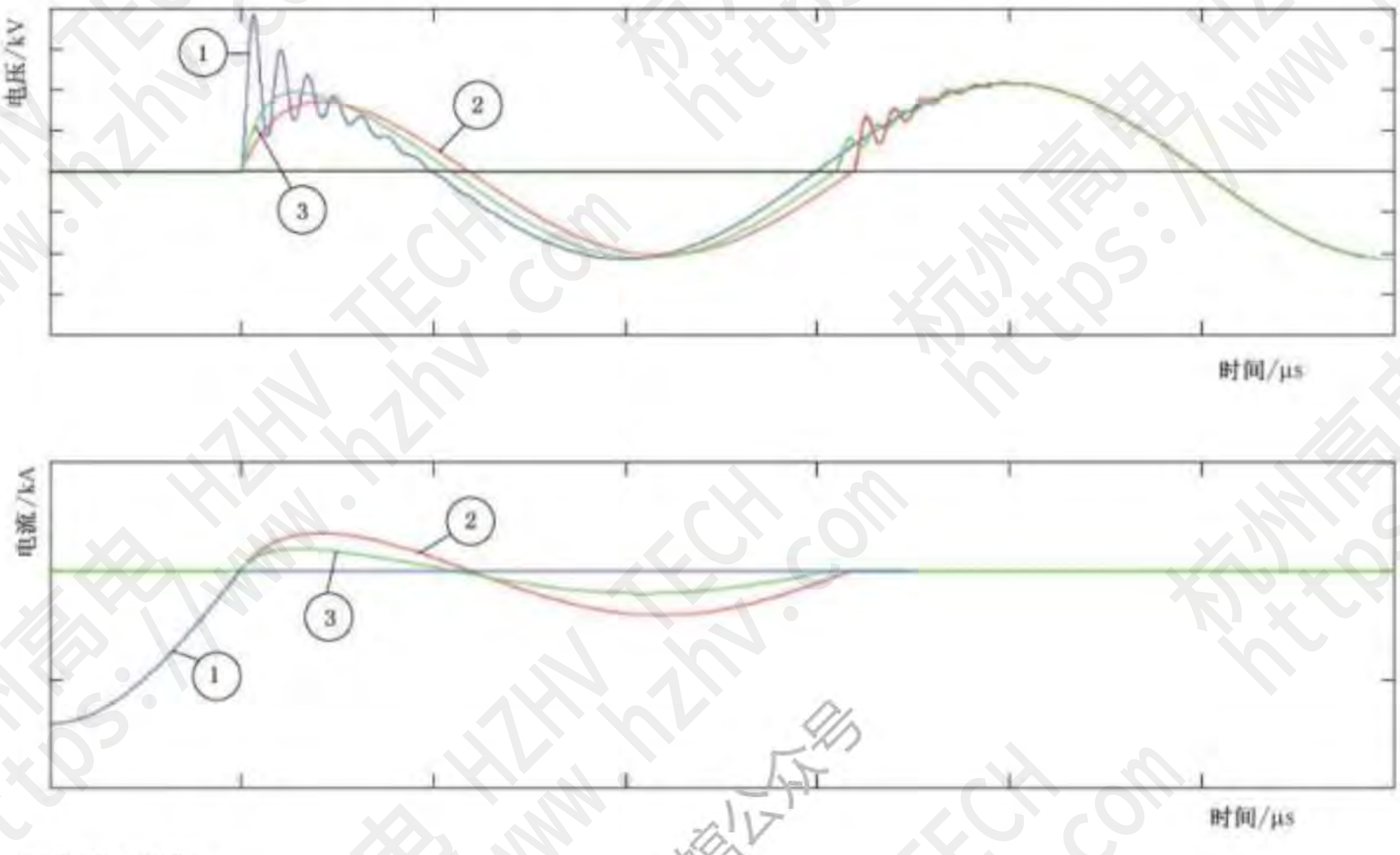
在额定电压高于 800 kV 的情况下，由于分闸电阻值在 500 Ω～2 000 Ω 范围内，电阻器开关的开断电流值通常约为 1.5 kA 或更小。假定短路电流在 40 kA～63 kA 范围内，则流经电阻器开关的电流约为额定短路开断电流的 1%～4%。仅在失步的情况下，电流可约为 3 kA。

与关合和开断单元一样，应对每种特定情况计算修正的 TRV。

可通过使用一个适当的电磁暂态计算程序计算 TRV。

修正的 TRV 参数也可通过计算电阻器对带有集中元件的回路的影响来获得。试验回路示例在图 E.3 中给出。

典型的恢复电压波形和经过电阻器开关的电流见图 E.9。



标引序号说明：

1——关合和开断单元，$R=\infty$；

2——$R=500\ \Omega$；

3——$R=1\ 000\ \Omega$。

图 E.9　带有分闸电阻器的断路器的电阻器开关上的 T10（基于 $U_r=1\ 100$ kV、$I_{sc}=50$ kA、$f_r=50$ Hz）的典型恢复电压波形

表 E.3 给出了使用图 E.3 中试验回路得出的计算结果。

表 E.3　试验方式 T10 的 TRV 计算的结果

U_r kV	I_{sc} kA	f Hz	试验方式	R Ω	u_c kV	t_3 μs	I_r kA
1 100	50	50	T10	∞	—	—	—
1 100	50	50	T10	1 000	408	295	0.75
1 100	50	50	T10	500	673	287	1.46

如果进行了端子故障试验方式 T10，则不需要在电阻器开关上重复其他端子故障试验方式（T30、T60、T100a 和 T100s）。

E.2.3.2　近区故障试验

电阻器开关的开断电流值见 E.2.3.1。

与关合和开断单元一样，应对每种特定情况计算修正的 TRV。

可通过使用一个适当的电磁暂态计算程序计算 TRV。

如果进行了端子故障试验方式 T10，则电阻器开关不要求进行近区故障试验。

E.2.3.3 容性电流试验

要求进行两个系列的线路充电电流开断试验。

a) LC1：对未装分闸电阻器的断路器，使用规定的“1－cos”波形。

b) LC2：对装有分闸电阻器的断路器，使用修正的“1－cos”波形。公式(E.2)给出了修正时刻和在串有电阻器 R 的电路中的电阻器开关的峰值恢复电压：

$$U(t)=\sqrt{2}U_c[\cos(\theta)-\cos(\omega t+\theta)] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{E.2})$$

其中 $\theta=\tan^{-1}(\omega CR)$。

电阻器开关的重击穿性能应符合 7.111.11。

E.2.4 电阻器组的试验

电阻器组应承受电阻接入期间流经电阻器的电流产生的热应力。这可通过进行一次 T100s 的开断操作，随后进行一个失步关合和开断试验方式(CO 操作)验证。试验期间，应在电阻元件中获得能量和电流水平。经制造厂同意，在失步条件下，如果实际试验使用的电流高于流过电阻器的电流，则允许减小电流持续的时间。这些试验可用实际的断路器触头或一个辅助断路器进行。

可对包含至少 20 个串联电阻器元件的热比例分段进行试验。按比例分配的电阻器段应模拟等于完整电阻器组或比完整电阻器组更严酷的热和绝缘的条件。

认为预接入时间是，关合操作 10 ms 和开断操作 30 ms。

注：如果规定的接入时间与上述提及的不同，使用不同的接入时间。

两个额定能量注入之间的持续时间应由制造厂规定。

为了验证电阻器组的热容量，应在规定的冷却持续时间后进行第二个试验方式。电阻器组在两个试验方式之间的冷却不应比运行条件有利。第二个试验方式之后，电阻器元件不应有明显的劣化。

电阻器组和每个单独的电阻器元件的测量值应是，试验后且经过足够的冷却时间后，电阻值变化不应超过试验前测量值的 2.5%。

E.3 电阻器的接入时间

电阻器应在开断操作期间的一段时间后接入回路。电阻器的机械接入时间应长于关合和开断单元的最长燃弧时间，30 ms 左右的数值一般是足够的(也应考虑电阻器开关的燃弧时间)。

取决于设计，相同的电阻器和成套电阻器开关可用于合闸和分闸。电阻器应在 3.7.141 定义的预接入时间内接入回路，并考虑电阻器开关和关合和开断单元的预击穿。

E.4 电流承载性能

电阻器应能在规定时间内承载其电流，且没有任何异常情况，例如燃弧、对邻近部件闪络、开裂或任何机械损坏。其电气接触表面不应显示任何起弧迹象，例如灼烧痕迹。

支撑电阻器元件的绝缘材料，如果有，应耐受开断和关合操作期间流经电阻器电流引起的热和电气应力。

E.5 绝缘性能

见 7.2。

E.6 机械性能

机械操作试验(见 7.101.2)应在装配有关合和开断单元、电阻器开关及电阻器组件的断路器的一个

极或多极上进行。

在机械操作试验期间和试验后，电阻器元件应满足 7.101.1.4 规定的状态。另外，电阻器元件不应显示任何损坏，例如破碎、裂缝等。试验后测量的电阻器组件的电阻值变化不应超过试验前测量值的 2.5%。

E.7 分闸电阻器技术规范的要求

对带有分闸电阻器的断路器，应规定下述内容：

——电阻值；

——电阻器的接入时间；

——工作周期。

两个连续的 E.2.4 中规定的工作周期(一个工作周期是指端子故障下的一个 O 和失步下的一个 CO)之间的时间应由制造厂规定。

E.8 恢复电压波形的例子

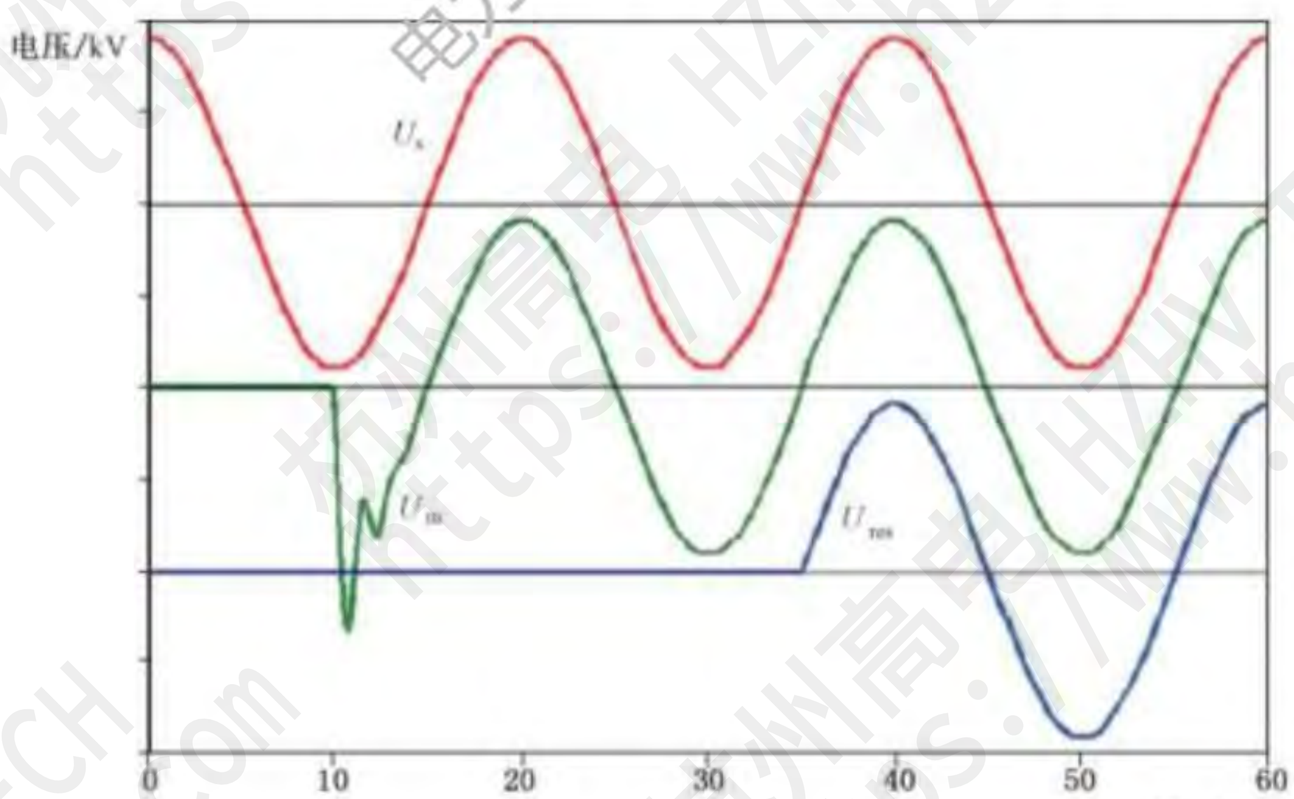
E.8.1 概述

图 E.10～图 E.15 给出了不同关合和开断条件下的波形。目的是给出图形说明并图解分闸电阻器的作用。

E.8.2 端子故障

开断大短路电流的情况例如 T100s，关合和开断单元及电阻器开关波形的典型示例在图 E.10 中给出，相应的电流见图 E.11。

相比小短路电流的情况例如 T30 和 T10，TRV 波形见图 E.12，电流波形见图 E.13。



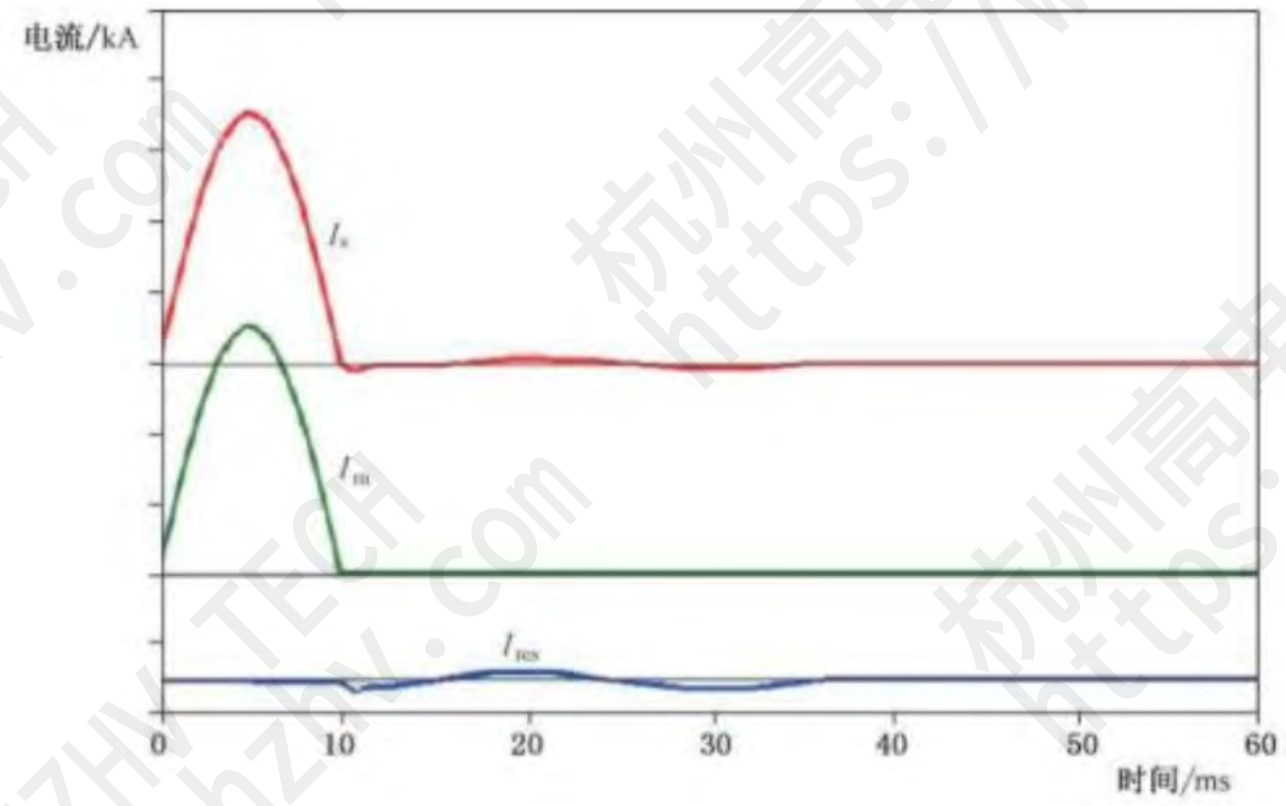
标引序号说明：

U_m——关合和开断单元两端的电压；

U_{ms}——电阻器开关两端的电压；

U_s——电源电压。

图 E.10 大短路电流开断操作的 TRV 波形



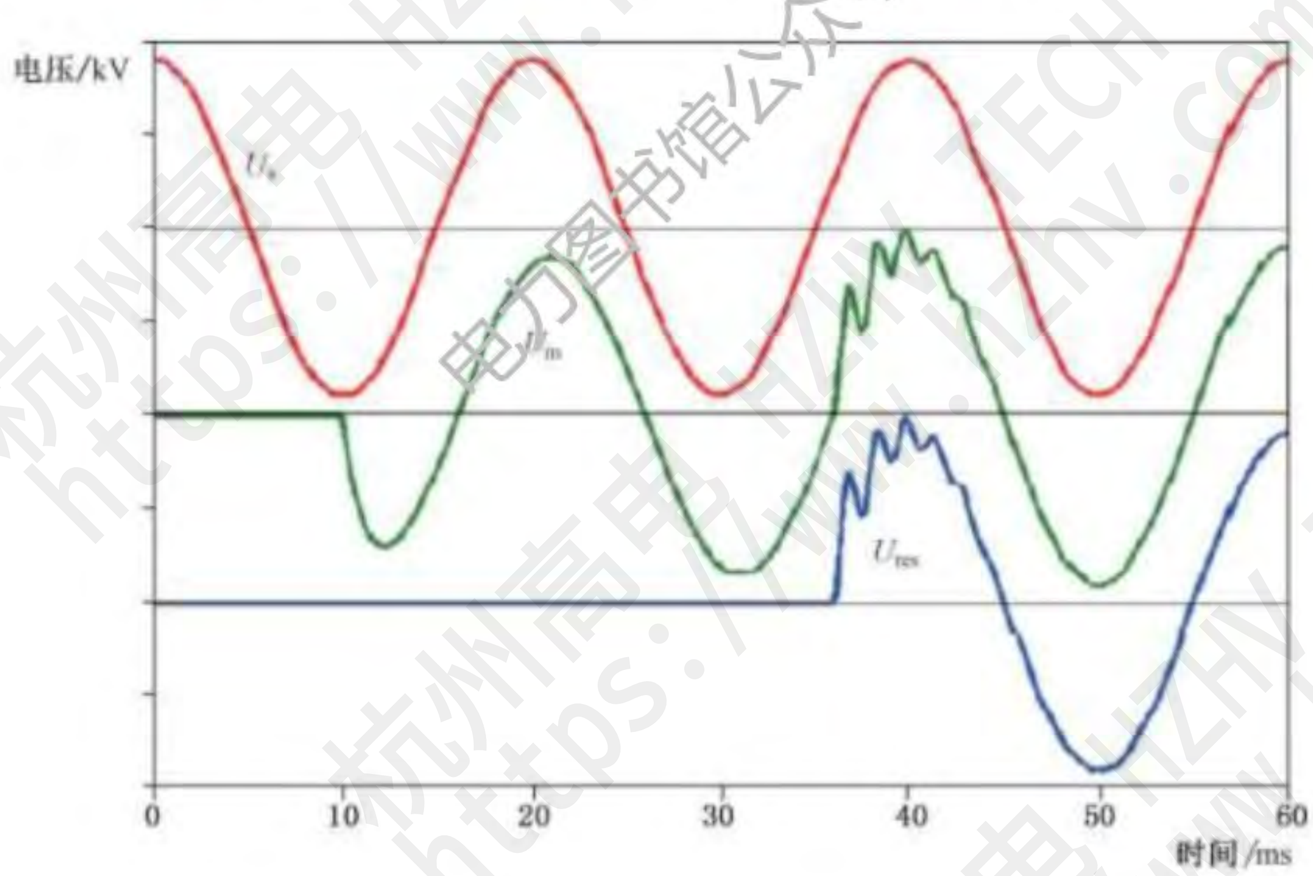
标引序号说明：

I_m——流经关合和开断单元的电流；

I_{res}——流经电阻器开关的电流；

I_s——电源电流。

图 E.11　大短路电流开断操作情况下的电流



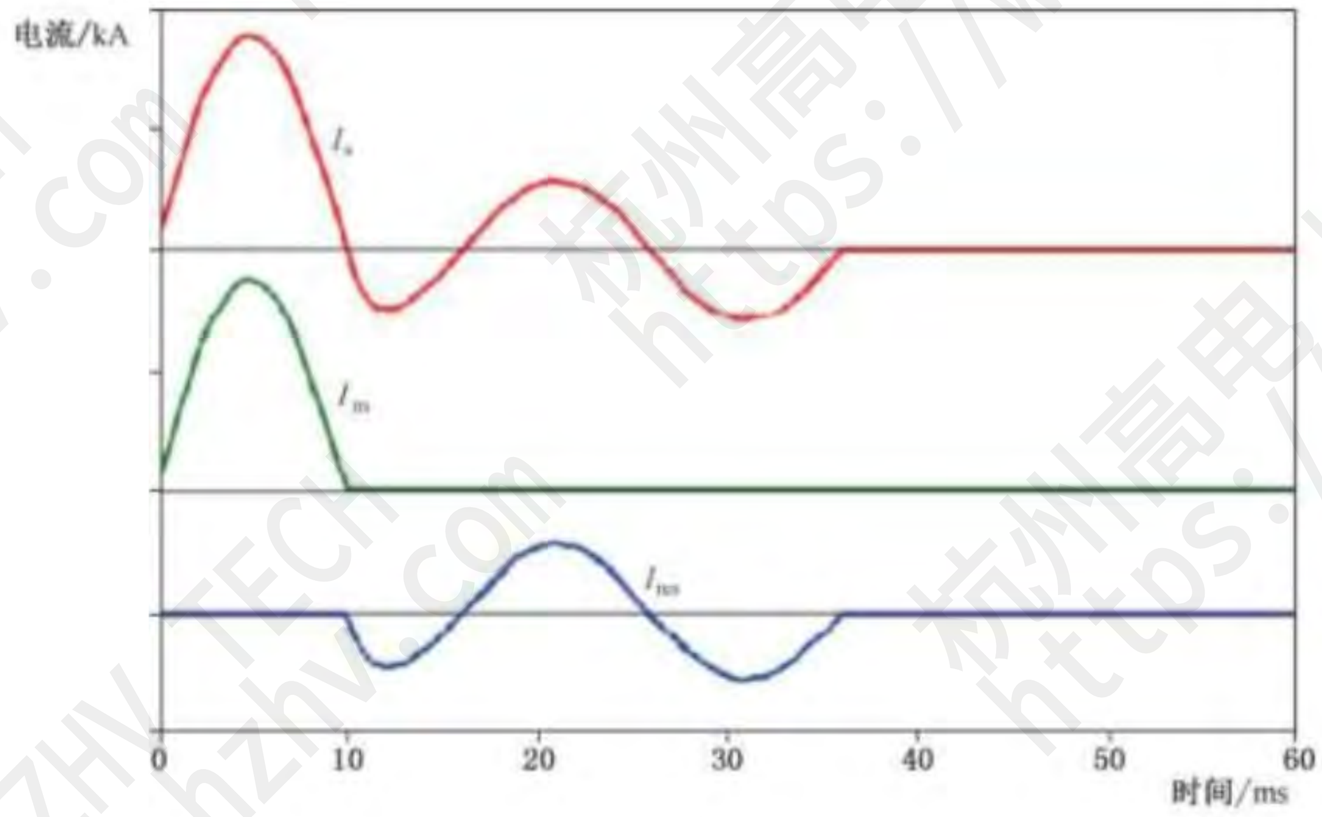
标引序号说明：

U_m——关合和开断单元两端的电压；

U_{res}——电阻器开关两端的电压；

U_s——电源电压。

图 E.12　小短路电流开断操作的 TRV 波形



标引序号说明：

I_m——流经关合和开断单元的电流；

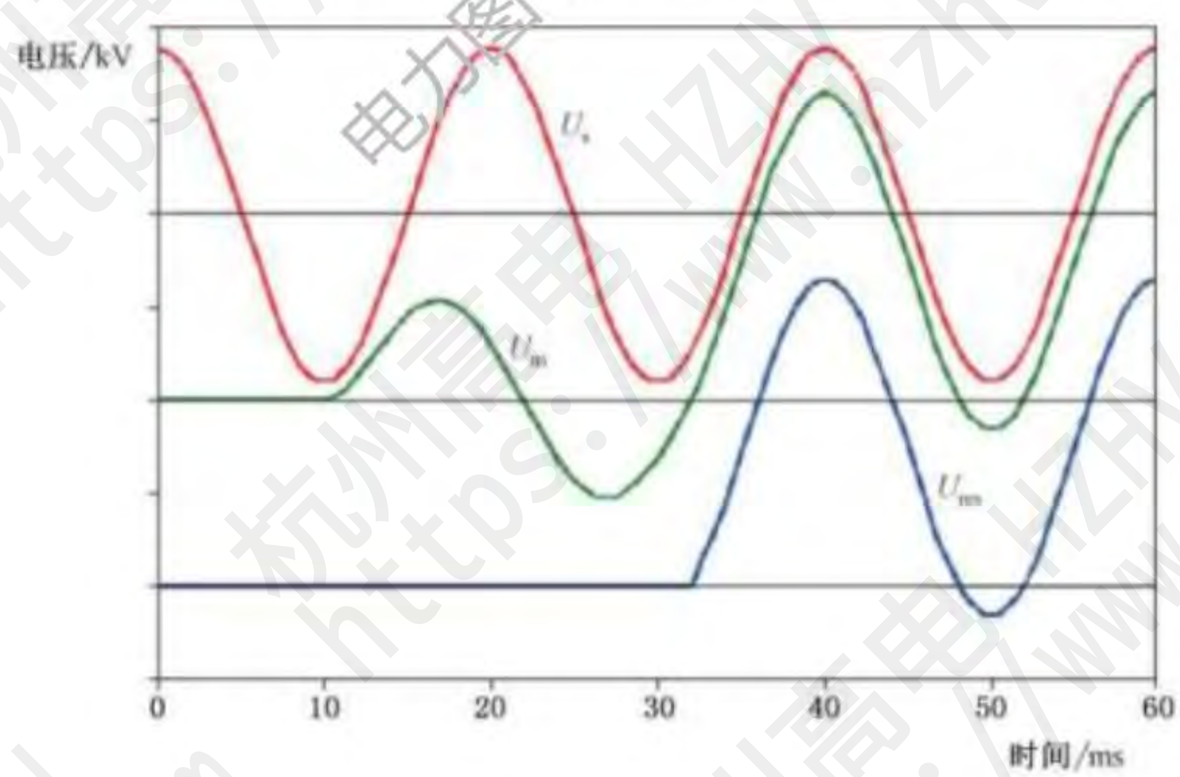
I_{ms}——流经电阻器开关的电流；

I_s——电源电流。

图 E.13　小短路电流开断操作情况下的电流

E.8.3　线路充电电流开断

线路充电电流开断操作的典型恢复电压波形见图 E.14，电流波形见图 E.15。



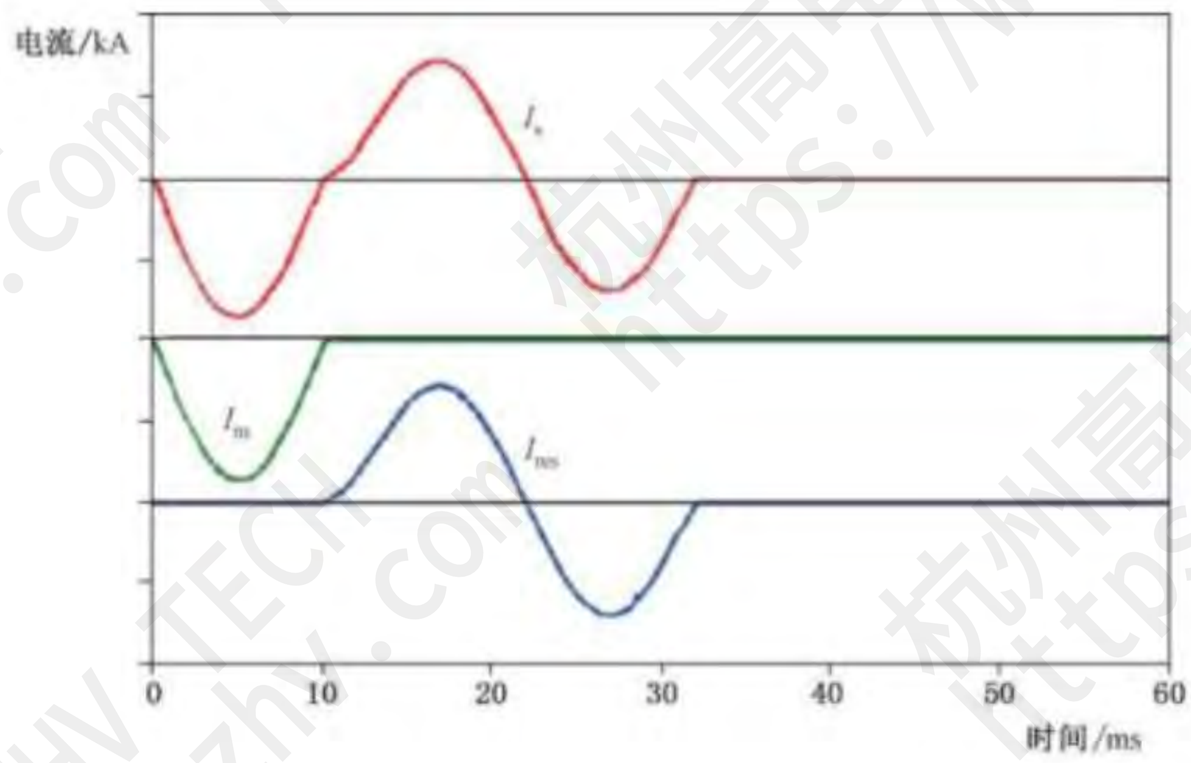
标引序号说明：

U_m——关合和开断单元两端的电压；

U_{ms}——电阻器开关两端的电压；

U_s——电源电压。

图 E.14　线路充电电流开断操作的电压波形



标引序号说明：

I_m——流经关合和开断单元的电流；

I_{ms}——流经电阻器开关的电流；

I_s——电源电流。

图 E.15　线路充电电流开断操作的电流波形

电力图书馆公众号

附 录 F
（规范性）
预期 TRV 的确定方法

F.1 通则

TRV 可能具有不同的波形，振荡的和非振荡的都有。

TRV 波形随实际电路的布置而变化。根据额定电压和短路电流水平定义了两种 TRV 波形。

a) 两参数法用于 U_r<126 kV 的断路器、U_r≥126 kV 的断路器当短路电流等于或小于 30%的额定短路开断电流时，以及 U_r>800 kV 的断路器的失步条件。

两参数法参考线见图 42。

u_c=参考电压(TRV 峰值)，kV；

t_3=时间，μs；

RRRV=u_c/t_3，kV/μs。

b) 四参数法用于 U_r≥126 kV 的断路器当短路电流大于 30%的额定短路开断电流时、126 kV≤U_r≤800 kV 的断路器的失步条件。

四参数法参考线见图 41。

u_1=第一参考电压，kV；

t_1=到达 u_1 的时间，μs；

u_c=第二参考电压(TRV 峰值)，kV；

t_2=到达 u_c 的时间，μs；

RRRV=u_1/t_1，kV/μs。由于局部电容对断路器电源侧的影响，在 TRV 的最初几个微秒内产生了一个较低的电压上升率，这可通过引入时延来考虑。

可通过由三条连续线段构成的包络线来定义波形：当波形接近单频阻尼振荡时，包络线变为两个连续的线段。在所有情况下，包络线均应尽可能准确地反映 TRV 的实际波形。这里所述的方法在大多数实际情况下可足够近似地达到这一目的。

注：某些情况，所选择的回路在第一个 TRV 峰值后会导致断路器过载。

F.2 画包络线

用下述方法画预期 TRV 曲线包络线的构成线段。

a) 第一条线段通过原点 O 和曲线相切，但不和曲线相交(见图 F.1～图 F.3 的线段 OB 和图 F.4 的线段 OA)。

当曲线的初始部分朝左凹进时，切点常常在第一峰值附近(见图 F.1 和图 F.2 的线段 OB)。

如果朝右凹进时，如指数曲线，切点在原点附近(见图 F.3 的线段 OB)。

b) 第二条线段在曲线的最高峰值处同曲线水平相切(见图 F.1～图 F.4 的线段 AC)。

c) 第三条线段在前面两个切点之间的一个或多个点同曲线相切，但不和曲线相交。

最后一条线段有三种可能的画法。

1) 画一条线段同曲线切于两点(或可能多于两点)。

在这种情况下，就构成了部分包络线(见图 F.1 的线段 BA)。

这样，就获得四参数包络线 O，B，A，C。

2) 可能画出多条同曲线切于两点(或多于两点)但不相交的线段。

在这种情况下，用于包络线的线段与曲线只有一个切点。线段的位置应使得切点两边曲

线和包络线之间区域的面积近似相等(见图 F.2 的线段 BA)。

这样,就获得四参数包络线 O,B,A,C。

3) 画不出一条同曲线切于多于一点但不相交的线段:

这种情况下,应作如下区别。

i) 第一线段的切点远离最高峰值点,这是指数曲线或近似指数曲线的典型情况。

这种情况下,线段与曲线切于一点,使得切点两边曲线和包络线之间区域的面积近似相等,如 F.2 的 c)2)(见图 F.3 的线段 BA)。

这样,就获得四参数包络线 O,B,A,C。

ii) 第一线段的切点靠近最高峰值点。

这是单频阻尼振荡或类似形状波形的情况。

这种情况下,不画第三线段,采用与起初的两个线段对应的两参数表示(见图 F.4)。

这样,就获得两参数包络线 O,A,C。

F.3 参数的确定

根据定义,特征参数就是构成包络线各线段交点的坐标。

当包络线由三条线段组成时,交点 B 和 A 的坐标就是图 F.1、图 F.2、和图 F.3 中所表示的四参数 u_1、t_1、u_c 和 t_2。

当包络线仅由两条线段组成时,交点 A 的坐标就是图 F.4 中所表示的两参数 u_c 和 t_3。

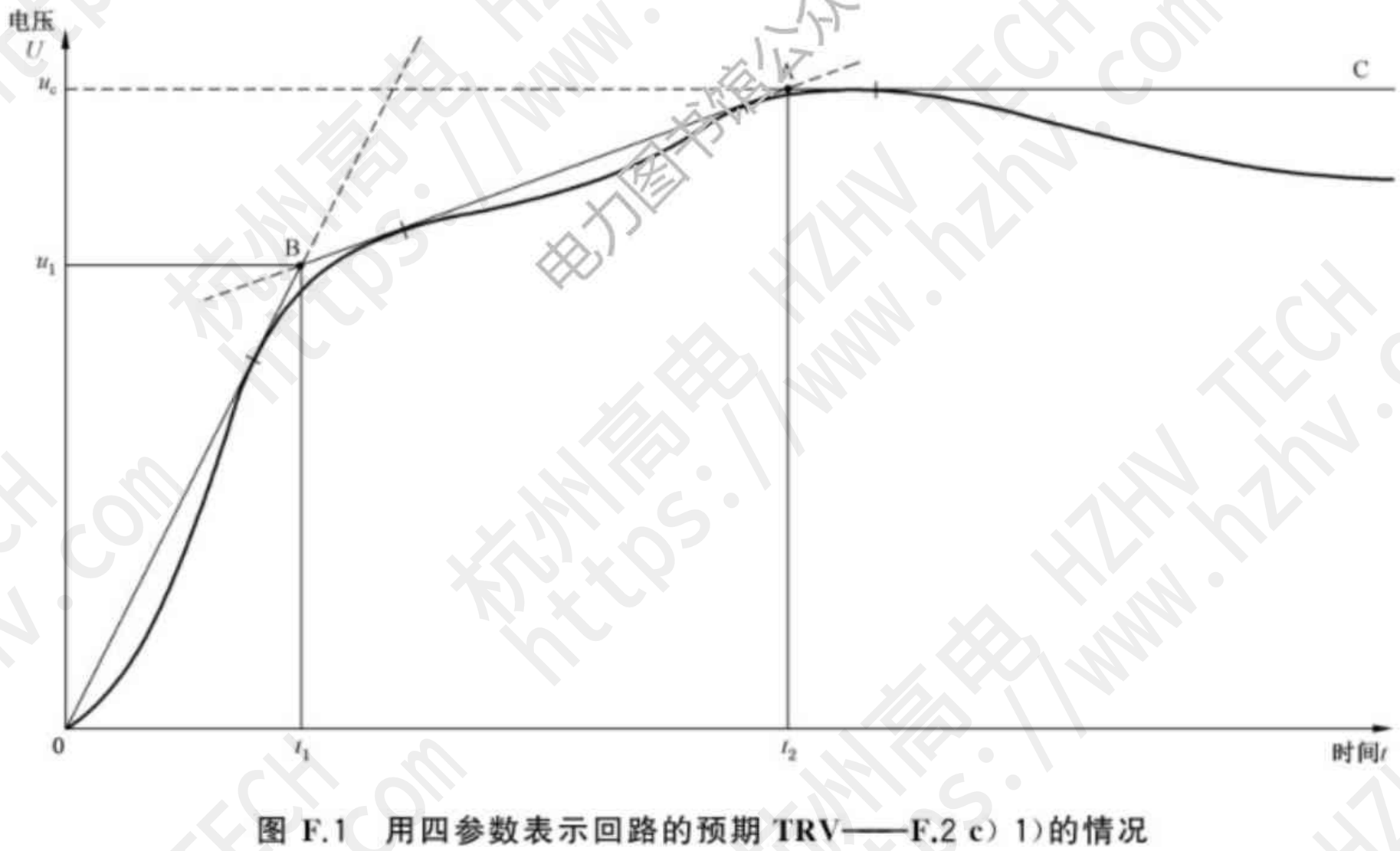


图 F.1 用四参数表示回路的预期 TRV——F.2 c) 1)的情况

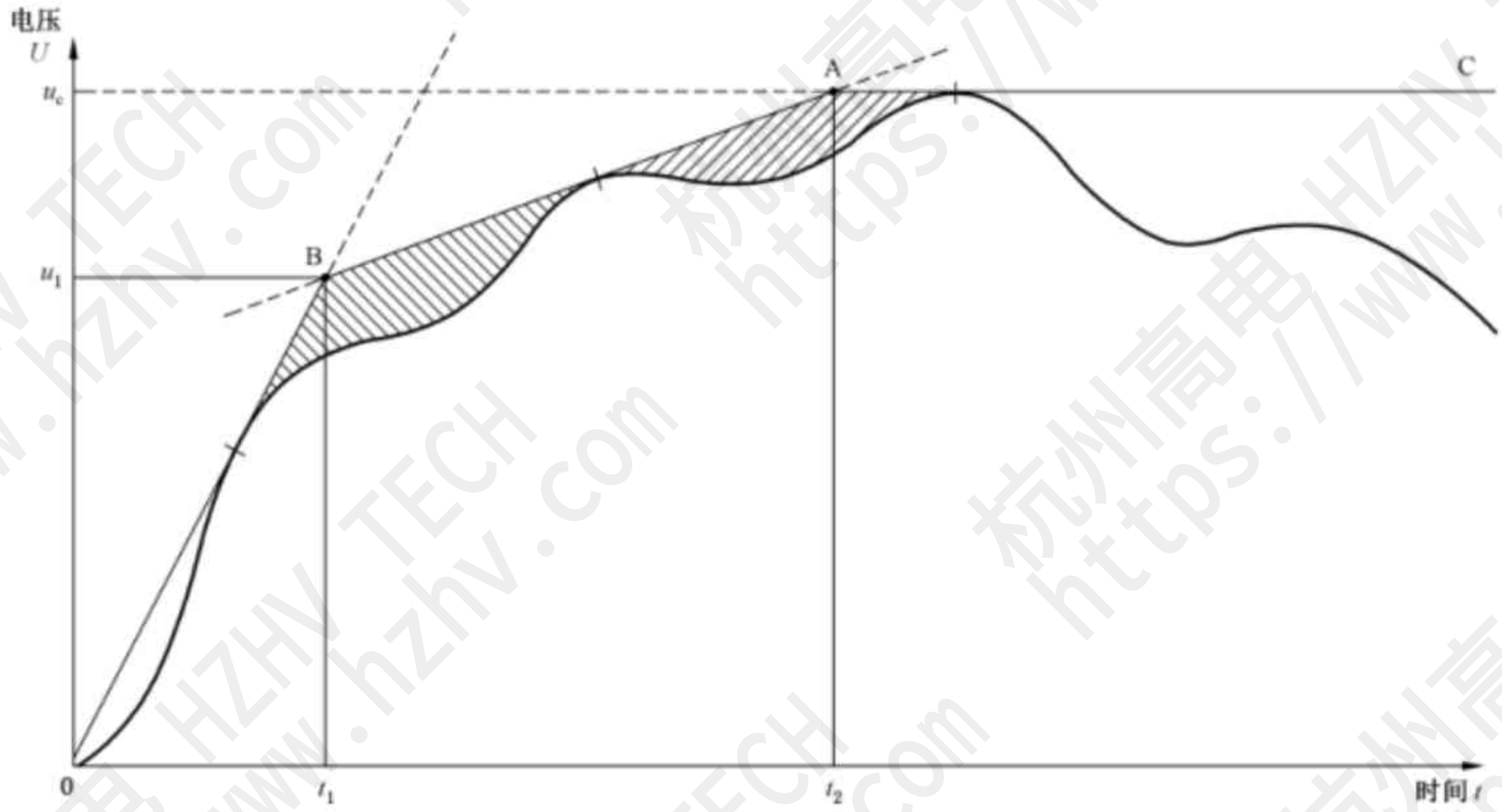


图 F.2　用四参数表示回路的预期 TRV——F.2 c) 2)的情况

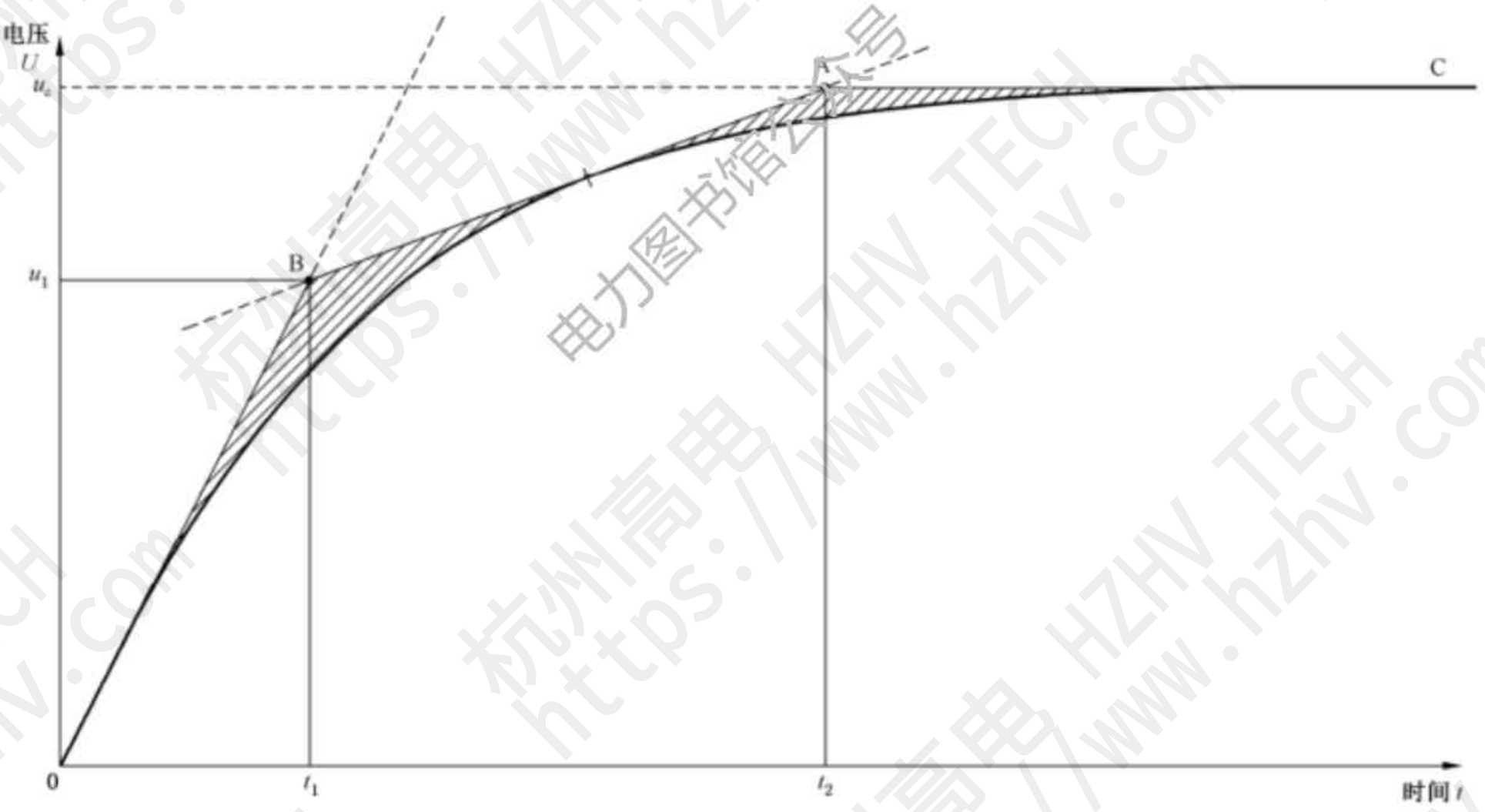


图 F.3　用四参数表示回路的预期 TRV——F.2 c) 3) i)的情况

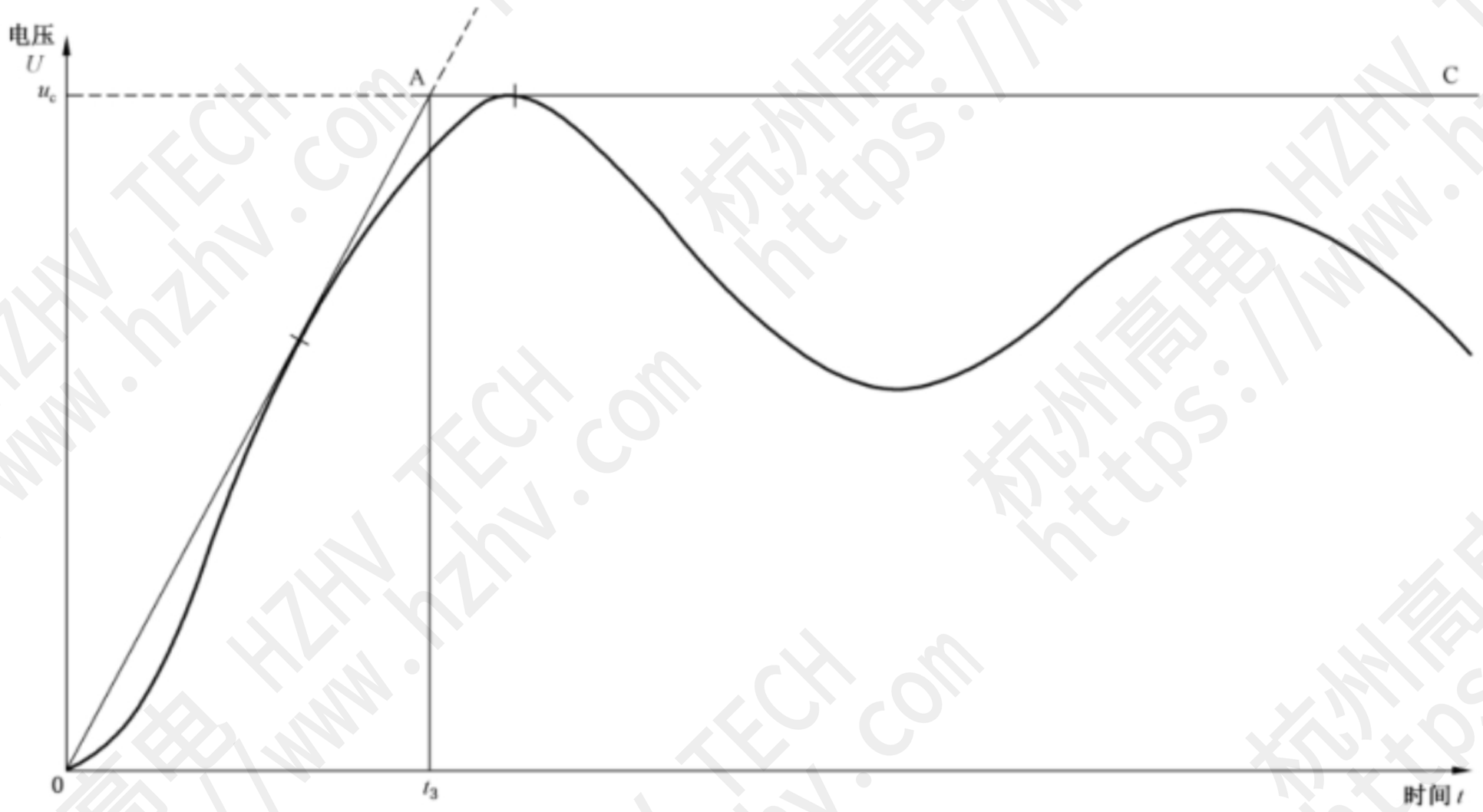


图 F.4　用两参数表示回路的预期 TRV——F.2 c）3）ⅱ）的情况

附 录 G
（规范性）
确定预期 TRV 波形的方法

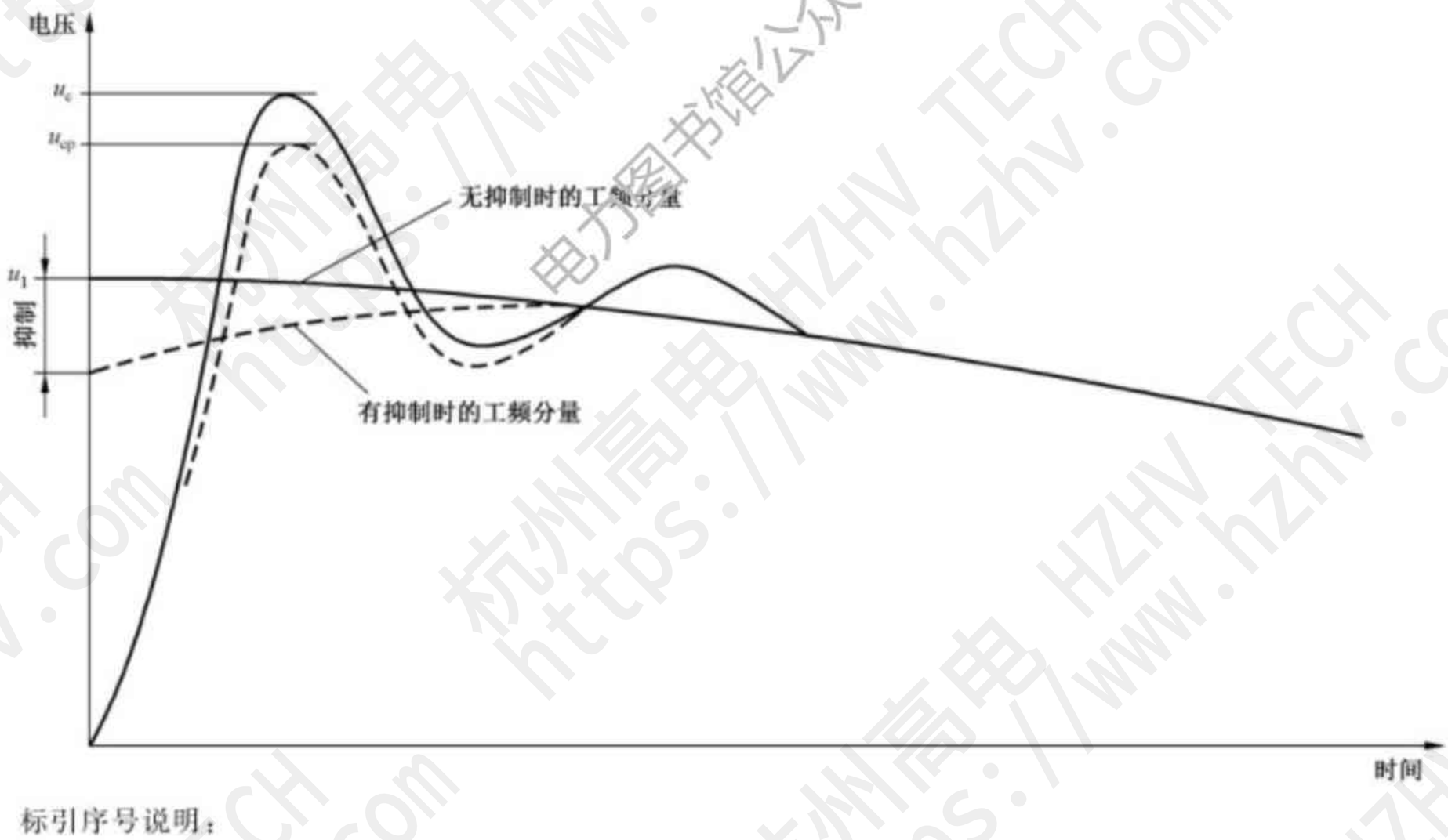
G.1 通则

开断短路电流产生的 TRV 波形主要取决于两个方面的因素，即回路参数（电感、电容、电阻、波阻抗等）决定的因素和断路器特性（电弧电压、弧后电导、电容器和开合电阻器等）决定的因素。

推荐的方法是确定仅由回路参数确定的 TRV，即“预期 TRV”波形的方法。

由于任何测量设备都会对预期 TRV 的波形产生一定的影响，因此，有必要采取适当的预防措施和可能的校正措施。

确定试验站短路试验回路和电力系统的预期 TRV 的方法有多种，这里列举并简介推荐的方法，同时考虑到为额定值和试验而规定的 TRV 特性。试验站和电力系统的经验表明：开断短路电流后，叠加在工频电压波上的不仅有单频或多频的振荡波，还有幅值和持续时间相当大的指数波。后者的时间常数取决于回路元件的特性，例如发电机、变压器、线路等的特性。这些指数分量具有抑制 TRV 峰值和上升率的作用，使这些值低于只有振荡分量叠加在工频电压上时可能出现的值。如图 G.1 所示，测量的所有方法均宜考虑这一效应。



标引序号说明：

u_c ——规定 TRV 的峰值；

u_{cp} ——有抑制作用时测得的 TRV 的峰值；

u_1 ——无抑制作用时工频电压的峰值。

图 G.1 抑制对 TRV 峰值的影响

测量表明：由于导体、大地和磁回路内部涡流的屏蔽作用，各种回路元件的电感都随频率而变化。加上有助于减小瞬态电压的其他因素，在此引入一个时间常数，它由发电机的几百微秒下降到变压器的几十微秒，其准确值取决于特定设备的设计及 TRV 分量的频率。在某些情况下，这会导致 TRV 峰值降低 25%之多。因此，确定试验站或系统预期 TRV 时，考虑到这些因素很重要，并给出了与推荐方法

有关的导则。

不论采用那种方法，试验站预期 TRV 的实测值应与本文件的规定值一致。

如果 TRV 到达峰值时间 t_2 超过比如说 1 250 μs 时，除了上述效应外，在任何情况下，瞬时工频电压，50 Hz 时降低了 6%以上，60 Hz 时降低了 10%以上。因此，当使用确定包括工频恢复电压的预期 TRV 的方法时，或用回路常数进行计算时，还应考虑这些影响。

电流过零后工频分量的瞬时值也与短路功率因数和电流最后半波的直流分量百分数有关，这样，就可能小于全峰值。对于对称电流及短路功率因数为 0.15 或更小的情况，降低量不超过 1.5%，所以，它对试验站的试验回路并不重要。但是，因为运行中可能存在较高的功率因数，降低量可能会很明显。

对于端子故障的 TRV(见 7.105.5)，考虑到局部电容对断路器电源侧的影响，引入了一个时延。也规定了相关试验回路相应的时延，TRV 的测量方法宜能分辨出这一时延。

对一些断路器，还规定了近区故障的特性(见 7.109)及近区故障试验期间产生的 TRV。断路器和线路之间的局部电容也会在线路侧 TRV 分量中产生时延。试验期间，希望测量和记录线路侧的时延，所用的方法宜适于测到此值。

G.2 推荐方法简述

确定预期 TRV 的基本方法分类如下：

——第 1 组：直接短路开断法；

——第 2 组：工频电流注入法；

——第 3 组：电容电流注入法；

——第 4 组：模型网络法；

——第 5 组：回路参数计算法；

——第 6 组：空载开合包括变压器的试验回路；

——第 7 组：不同方法的组合。

第 1、4 和 5 组推荐用于电力系统。

第 2 和 3 组可用于电力系统的局部。

仅第 1～3 组或它们的组合适用于确定短路试验站试验回路的预期 TRV。

当使用第 1、2、3、4、6 或 7 组时，宜仔细检查电压记录回路，确保在所要记录的 TRV 频率范围内总的校准刻度是恒定的，且时间的偏转是线性的。然后，宜根据已知电压对瞬态记录仪和任何分压器进行校准。

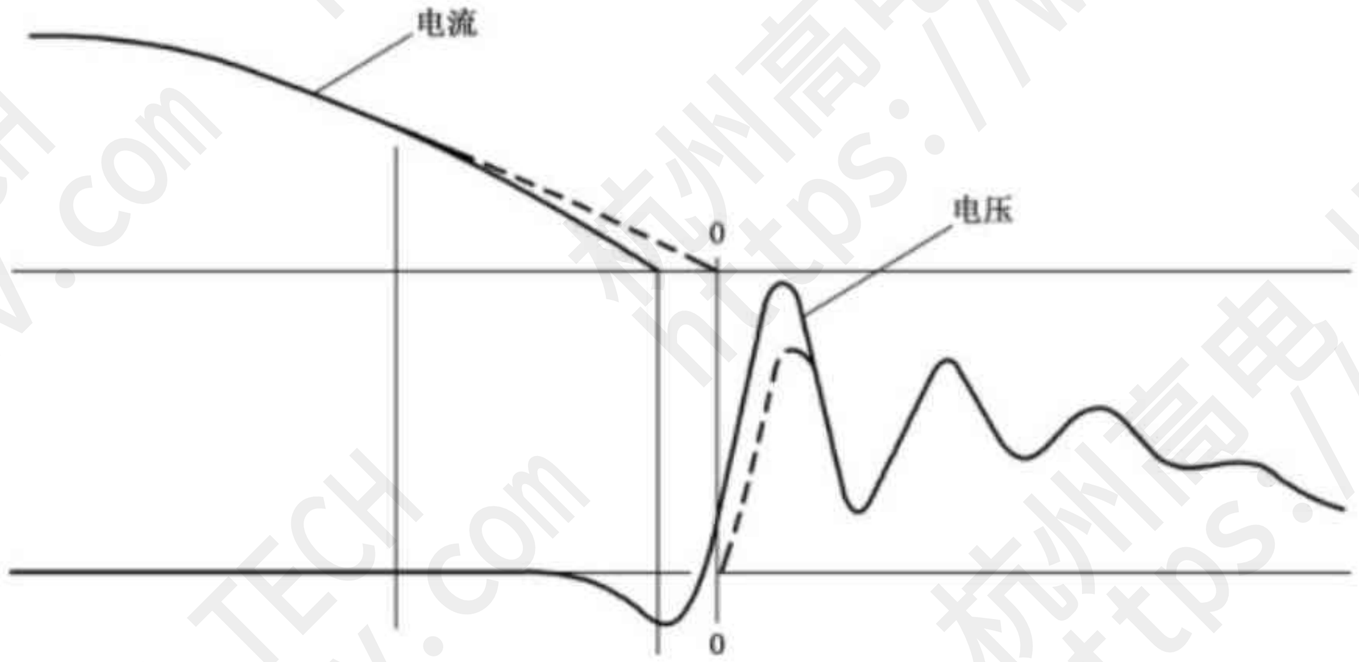
适用时，宜采用具有合适的采样率来记录注入电流和所研究的回路两端的电压，宜以适当的灵敏度记录 TRV。

G.3 推荐方法的细节

G.3.1 第 1 组：直接短路开断法

这一方法包括开断在所研究系统中通过金属连接建立的实际短路电流并记录产生的 TRV。理想状况下，开断电流应是对称的。如果有明显的不对称，则应考虑到 di/dt 的变化。对这种方法，不可忽略断路器的影响。这方面最重要的特性为电弧电压和弧后电导。

由于电弧电压，断路器触头间的电压在开断电流的瞬间可能不为零，因此，TRV 不是从零电压而是从电流零点的电弧电压值开始上升。这样，TRV 开始低于电压零线然后与电压零线相交(见图 G.2)。



注：电弧、提前的电流零点以及弧后电导对 TRV 的影响。虚线部分表示理想开断时的特性。

图 G.2　存在电弧电压时的开断

因此，峰值电压比理想断路器（零电弧电压）的情况（见图 G.3）要高。一个类似但更显著的效果是在电流很小的情况下，电流零点可能明显提前（电流截断）（见图 G.4）。此外，如果预期 TRV 包括多个振荡分量，电流截断产生的波形会与用“理想”断路器得到的波形明显不同。

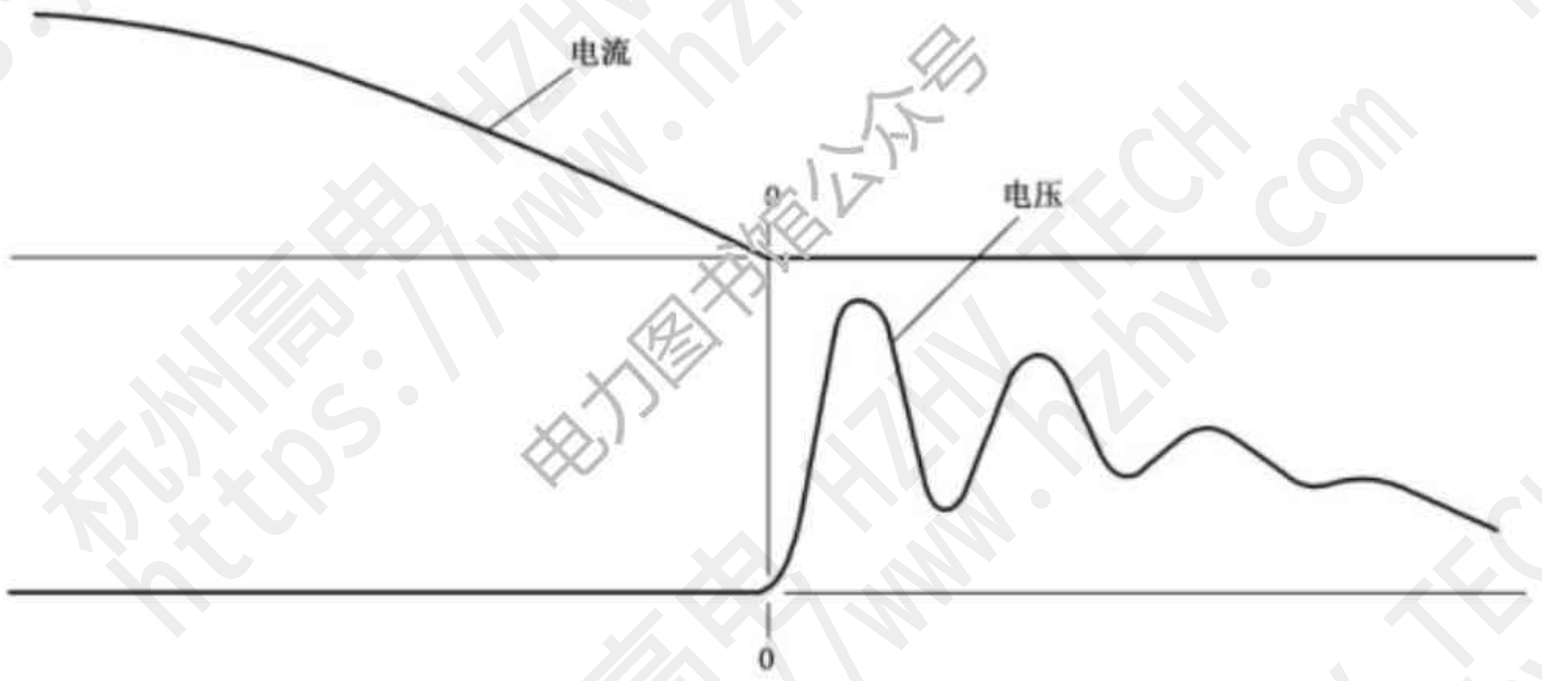
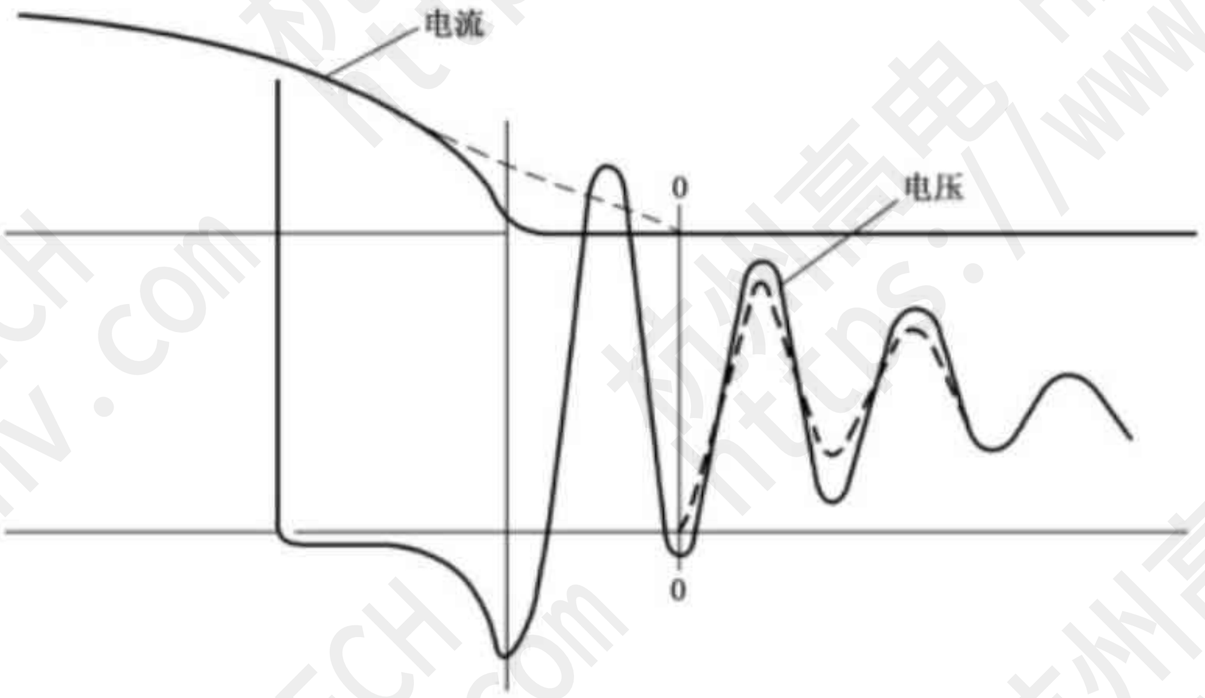


图 G.3　理想开断时的 TRV

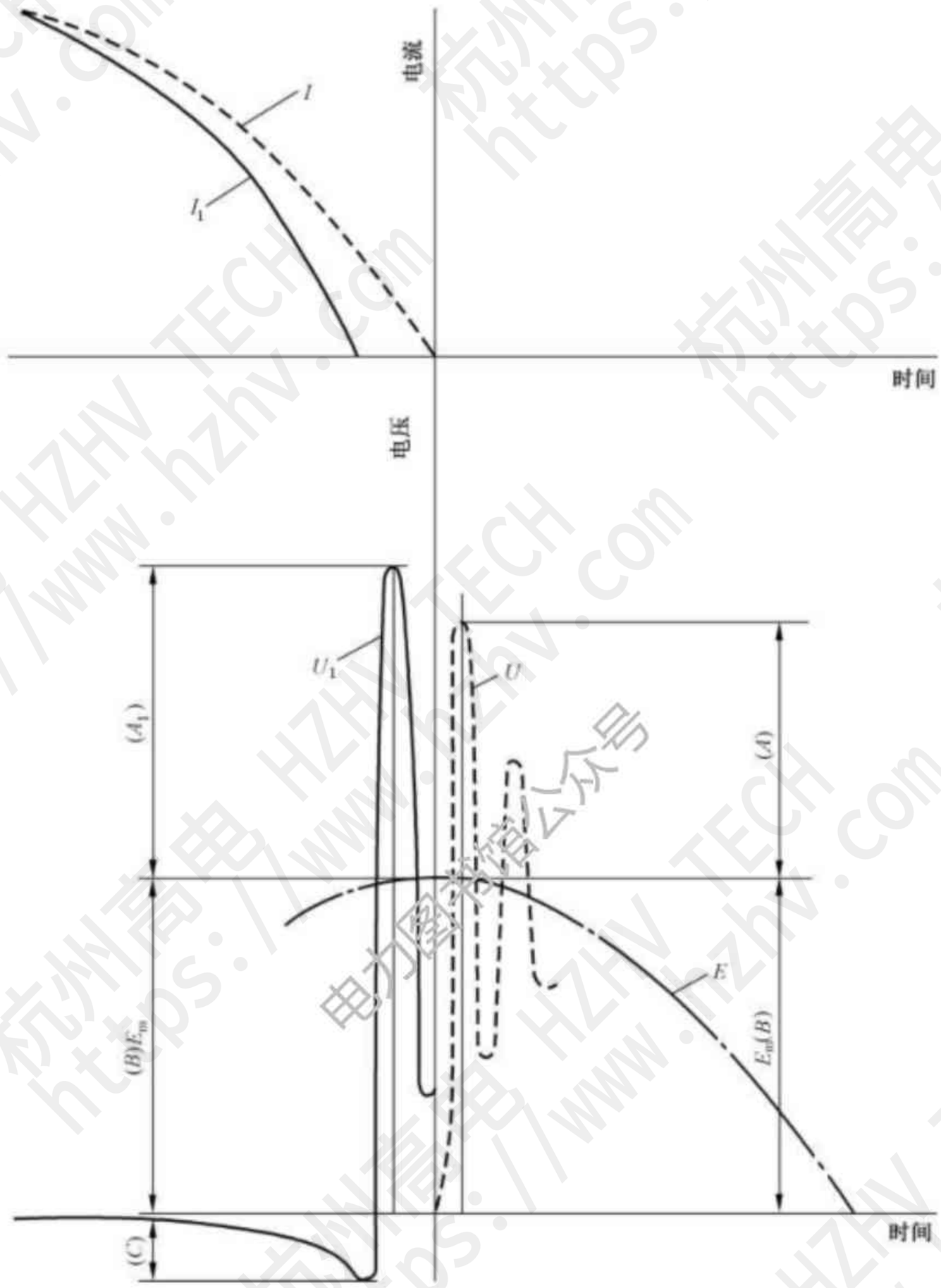


注：电弧、提前的电流零点以及弧后电导对 TRV 的影响。虚线部分表示理想开断时的特性。

图 G.4　电流零点显著提前时的开断

因此，电流零点前的电弧电压低和不截流的断路器最适合用于直接短路开断。

电弧电压的影响可补偿，如图 G.5 所示。



标引序号说明：

I_1、U_1——分别为试验中获得的电流和电压；

I、U ——分别为系统的预期电流和电压；

E ——工频恢复电压；

$A+B=A_1\dfrac{B}{B+C}+B$ TRV 的峰值。

注：电弧、提前的电流零点以及弧后电导对 TRV 的影响。虚线部分表示理想开断时的特性。

图 G.5 试验中出现的和系统预期的电流值与 TRV 间的关系

原则上，电弧电压补偿仅适合于具有单频瞬态分量的 TRV，但是，对具有多频瞬态分量的 TRV，如果主振荡分量的幅值占主流，作为一个好的近似方法也可使用它。

弧后电流，即 TRV 上升期间电弧间隙流过的电流，由于阻尼作用会影响 TRV 的波形，这样，降低了它的上升率和峰值(见图 G.6)。使用与断路器开断和关合单元并联的电阻器会产生类似的效果。

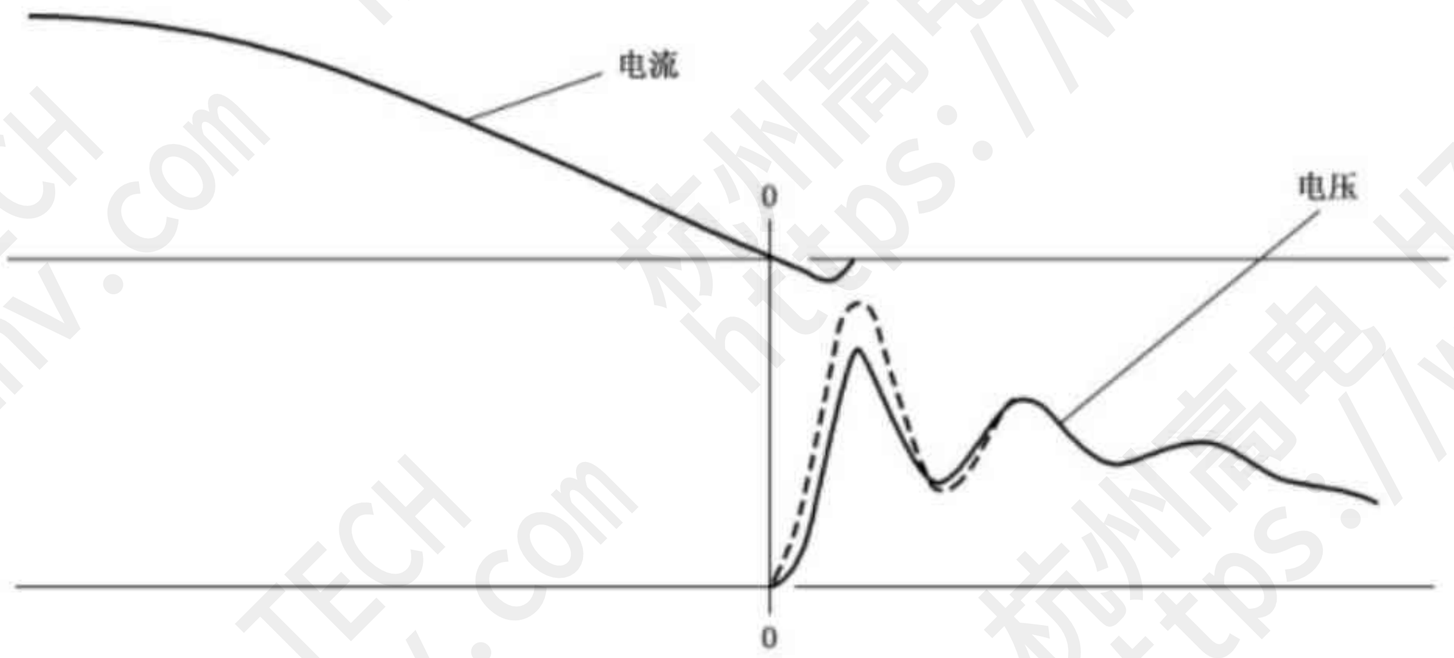


图 G.6　有弧后电流时的开断

所以，除了与低电弧电压和无电流截断相关的要求外，直接短路开断方法所用断路器不应安装并联电阻器且不应有明显的弧后电导。

特别是当试验站可在适当降低励磁运行的条件下，真空断路器通常近似用做“理想”断路器。但是，宜确定所用的任何装置不会在研究的具体回路中有明显的电流截断。

用于直接短路开断的断路器特性有时可做适当地改进，例如延迟触头分离的时间以缩短电弧持续时间和降低电弧电压。

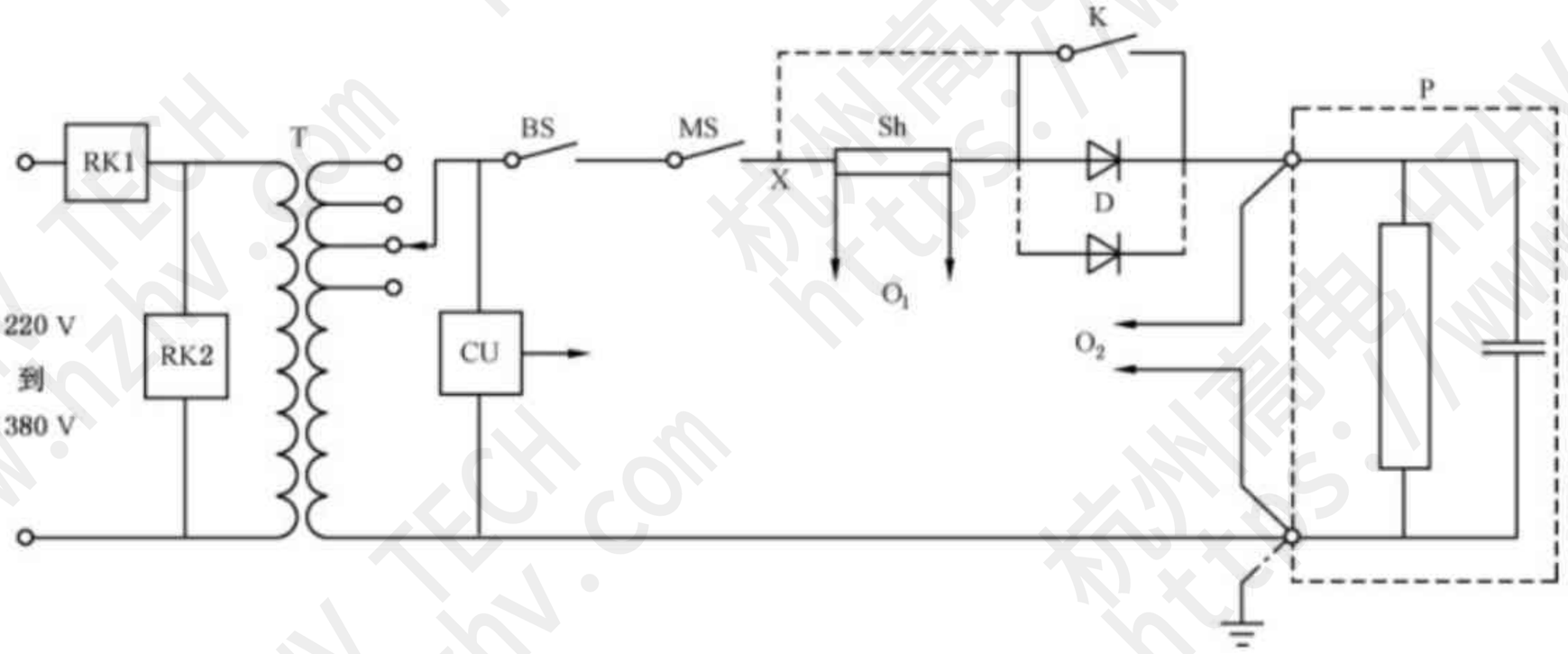
这一方法在开断所研究回路中的实际短路电流以及记录的 TRV，应或多或少地考虑到恢复电压抑制的效应。因此，直接短路开断方法可能是确定预期 TRV 最合适的方法（这与断路器的特性有关），常被用做检查其他方法的基础。但是，直接短路开断方法不适合于测量时延，尤其是在近区故障情况下的线路侧 TRV 的时延。

G.3.2　第 2 组：工频电流注入法

本方法仅用于不带电回路，所以，大多数用于试验站或者在不带电时分析的系统的一部分。本方法不考虑电晕或磁饱和现象。

本方法的基础是向回路中注入一较小电流，并记录由理想开关装置（即可忽略电弧电压和弧后电流的装置）开断这一电流时回路的响应。

合适的注入电流源是由当地低压主网供电的单相变压器，二次输出一系列电压和电流，例如，在 200 V 时的 2 A 和 25 V 时的 300 A 之间。这一系列覆盖了需要确定的大多数回路的阻抗。本方法使用的示例原理图见图 G.7，并附有元件的详细说明。图 G.8 表示其操作顺序。



标引序号说明：

RK1，RK2——如果有要求，用于抑制谐波的串联和并联谐振电路；

T——把注入回路和电源隔离并提供可调节的输出电压的变压器；

BS——备用开关；

MS——合闸开关；

K——二极管旁路开关；

X——K 的替代连接，允许使用具有较低时间电流额定值的分流器；

D——多达 5 个快速硅开关二极管的并联连接；

Sh——测量电流的分流器；

O_1——瞬态记录仪，通道 1 记录用于检查二极管动作的电流的幅值和线性度；

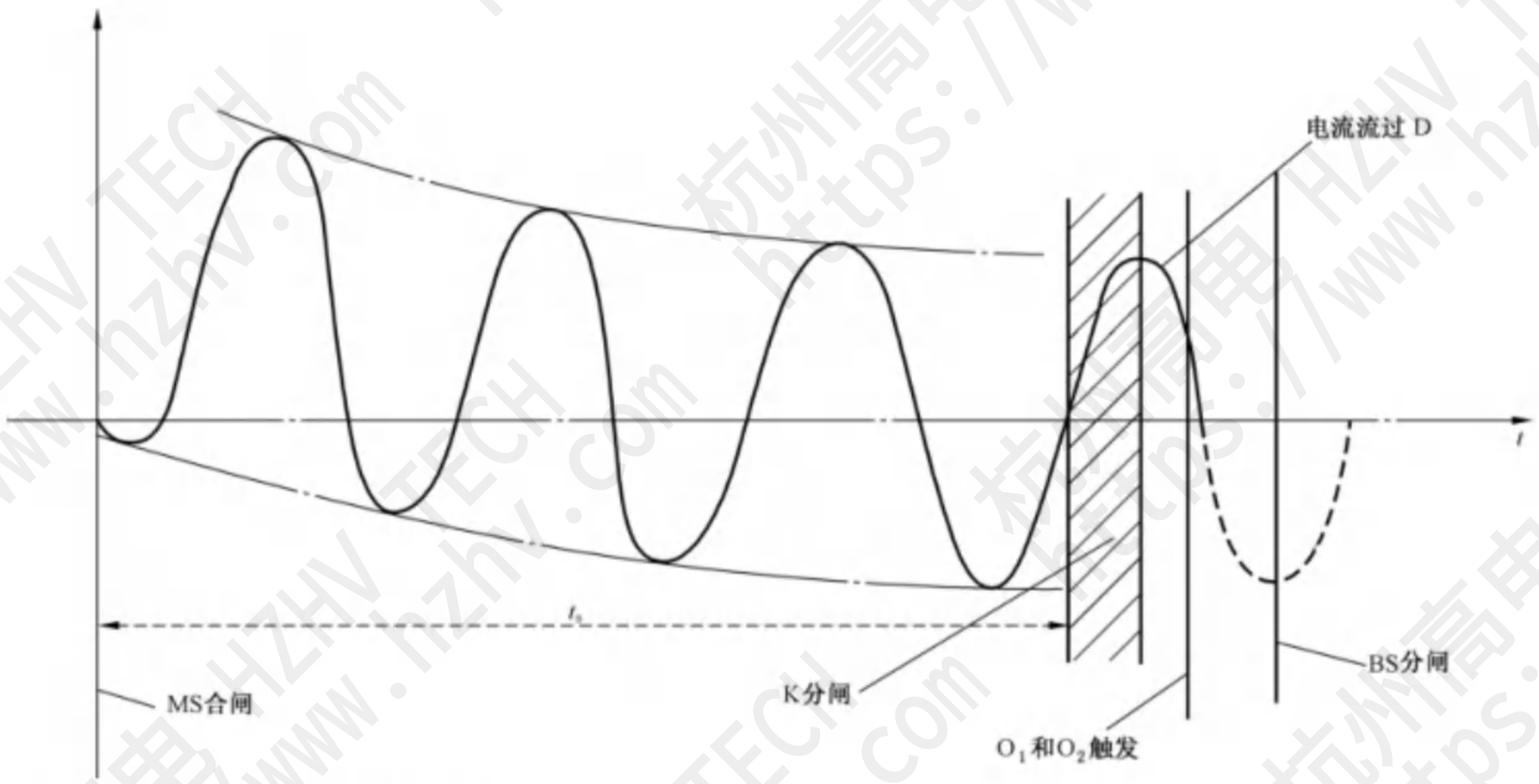
O_2——瞬态记录仪，通道 2 记录回路的响应；

P——需要测量的预期 TRV 的回路；

CU——提供图 G.8 中所示操作顺序的控制单元。

注：注入电流的测量也在地电位处同样进行。

图 G.7　工频电流注入装置的原理图



静止状态——BS 和 K 合闸，MS 分闸。

t_c ——开关 K 动作前的通流时间。

注入电流的典型值在 10～20 周波之间。

主要的判据是电流的直流分量，如果有的话，应衰减到等于或小于交流分量的 20%。

图 G.8 工频电流注入装置的操作顺序

宜注意确保电源及测量装置的固有电容不影响测量结果。

宜在回路的输入端测量电压响应，适用时，回路的一端宜接地。回路的一端不接地时，测量和注入设备应完全与地绝缘。这可通过使用一个与地绝缘且对地电容可忽略的辅助发电机来实现。

用于这一方案最方便的开关装置是半导体二极管。通常，反向恢复时间不超过 100 ns 的半导体二极管是很适合的。当 TRV 具有低的等效固有频率时，时间稍长也可接受。为了得到正确的载流能力，几个二极管可并联运行。

注：二极管的特性与多个因素有关，例如，正向电流值、反向电压的波形和值以及与确定其特性所使用的方法有关的工厂数据。

为了获得对称的电流波形，可能需要通流达 20 个周波。在这一时间的大部分中，二极管被一开关旁路，这一开关在该段时间末分开，使得电流流过二极管，在随后的电流零点二极管开断回路电流。

为了准确地确定时延，需要放大波形初始部分的电压和时间刻度。

较低速记录电流可表明开断电流是否对称，高速记录可给出电流零前的变化率 di/dt，这也可表明是否有引起 TRV 衰减的明显的弧后电流，或有影响 TRV 幅值的明显的电流抑制。

记录的 TRV 可再现所研究的回路的固有瞬态振荡，还有引起电压衰减的诸多因素。

回路满载时，采用电压校准可确定其数值。详细内容见 G.3.4。

G.3.3 第 3 组：电容电流注入法

本方法除了流过回路的电流来自于电容器放电外，其余类似于第 2 组。这样，注入电流的频率取决于回路的电容值和电感值。

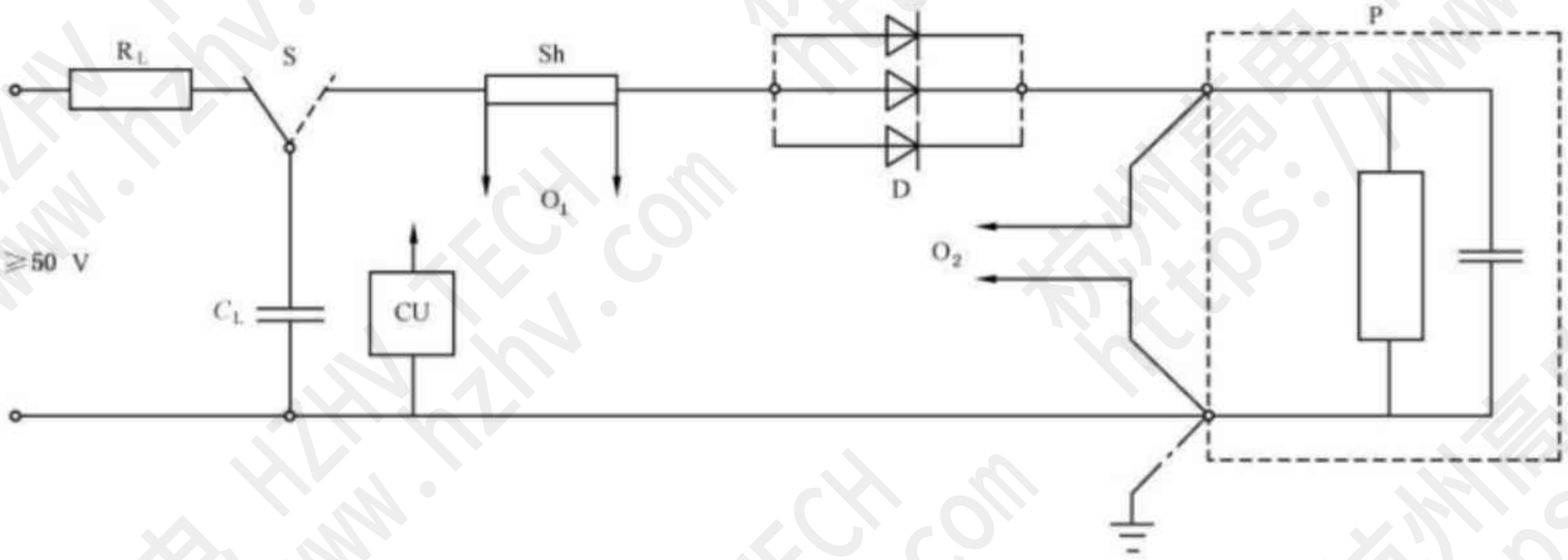
由于注入电流的频率通常远高于工频，所以，本方法不考虑引起电压衰减的因素。

由于放电电流的频率宜为回路等效固有频率的 1/8，这意味着这种方法适合于测量包含高固有频率分量回路的 TRV。这种方法对近区故障试验回路线路侧分量特性的测量特别有用，这种回路的固有

频率很高，且时延相当小。

图 G.9 提供了电容电流注入回路的一个原理图例以及各元件的详细信息。图 G.10 为该方法的操作顺序。

校准方法和注意事项同第 2 组，详细内容见 G.3.4。



标引序号说明：

R_L ——充电电阻器；

S ——开关继电器；

C_L ——电源电容；

Sh ——测量电流的分流器；

O_1 ——瞬态记录仪，通道 1 记录用于检查二极管动作的电流的幅值和线性度；

O_2 ——瞬态记录仪，通道 2 记录回路的响应；

D ——多达 100 个快速硅开关二极管的并联连接；

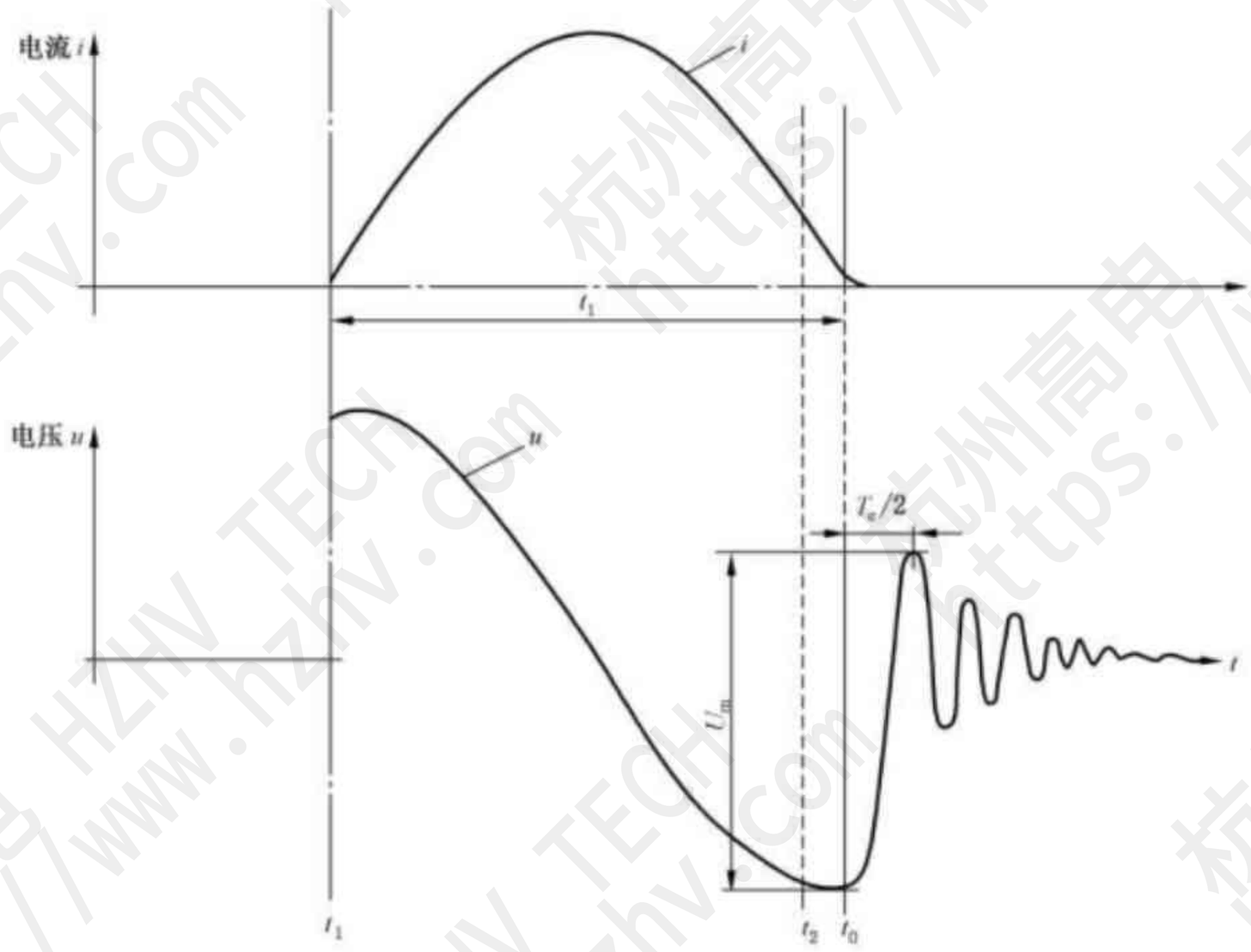
P ——需要测量的预期 TRV 的回路；

CU ——提供图 G.10 所示操作顺序的控制单元。

注 1：如果充电电容 C_L 通过开关继电器 S 连接到回路 P，流过频率为 f_1 的振荡电流。调节 C_L 的值使得：$f_1 \leqslant \frac{f_c}{8}$，这里 f_c 是回路 P 的固有频率，$f_c = \frac{1}{2T_c/2}$。f_1 使叠加的电流振幅在电流零点之前消失。

注 2：注入电流的测量也在地电位处同样进行。

图 G.9 电容注入装置的原理图



标引序号说明：

t_1 ——S 的开合；

t_2 ——阴极射线示波器的触发；

u ——回路 P 两端的电压波形；

i ——注入电流的波形；

U_m ——二极管上的最高电压；

t_0 ——电流过零时刻(TRV 振荡开始)；

t_i ——电流流过二极管 D 的持续时间，$t_i=1/(2f_i)$；

$T_c/2$ ——TRV 半波的持续时间。

图 G.10 电容注入装置的操作顺序

G.3.4 第 2 组和第 3 组：校准方法

由电流零点前注入电流的变化率 di/dt 的测量值计算注入电流的等效有效值 I_i：

$$I_i=\frac{\dfrac{di_i}{dt}}{2\pi f_i\sqrt{2}} \qquad \cdots\cdots(G.1)$$

式中：

f_i——注入电流的频率。

该公式假定：

$$i_i=I_i\sqrt{2}\sin(2\pi f_i t)\cong I_i\sqrt{2}\pi f_i t \qquad \cdots\cdots(G.2)$$

当 $t_2<1\,250\ \mu s$ 时(或在 60 Hz，$t_2<1\,000\ \mu s$ 时)，该假定近似有效。

基于上述近似值，可得出如下规律：

注入电流的频率宜小于或等于被测量回路等效固有频率的 1/8。对于预期 TRV 的 t_2 大于 1 250 μs (60 Hz，t_2 大于 1 000 μs 时)的情况，注入电流的频率宜等于额定频率。

注：如果系数为 1/8，在(t_2-t_0)阶段，注入电流的斜率与直线的最大偏差达 15%；系数为 1/14 时，最大偏差为 5%。

如果回路的最大短路电流的有效值为 I_{sc}，则对应于 I_{sc} 的 TRV 电压校准 V_{sc} 为：

$$V_{sc}=V_i(I_{sc}/I_i)(f_{sc}/f_i) \quad \cdots\cdots(G.3)$$

式中：

f_{sc}——短路电流的频率。

根据上述关于具有较长 t_2 时的预期 TRV 的规定，当电流曲线与对称的正弦曲线的偏差过大而不可忽略时，宜使用下述基本公式：

$$V_{sc}=V_i\frac{\left(\frac{di_{sc}}{dt}\right)_{i_{sc}\to 0}}{\left(\frac{di_i}{dt}\right)_{i_i\to 0}} \quad \cdots\cdots(G.4)$$

式中：

$\left(\frac{di_{sc}}{dt}\right)_{i_{sc}\to 0}$——电流零点的工频短路电流的变化率，电流的函数为：

$$i_{sc}=I_{sc}\sqrt{2}\sin(2\pi f_{sc}t)\cong I_{sc}\sqrt{2}\times 2\pi f_{sc}t \quad \cdots\cdots(G.5)$$

公式(G.5)特别适用于电流为轻微衰减振荡形式的电容电流注入法。

确定近区故障试验的校准时，下述方法比较合适：

从高速记录测量：

$\frac{du_i}{dt}$——注入电流零点 TRV 的 RRRV；

u_i——由注入电流引起的的第一电压峰值；

$\left(\frac{di_i}{dt}\right)_{i_i\to 0}$——注入电流在其零点的变化率。

然后，通过公式(G.6)计算可得到波阻抗 Z 的值：

$$Z=\frac{\frac{du_i}{dt}}{\left(\frac{di_i}{dt}\right)_{i_i\to 0}} \quad \cdots\cdots(G.6)$$

G.3.5 第 4 组：模型网络法

在这种方法中，模型网络由能真正代表整个回路元件的单元组成。通常需要采用具有集中参数的模型单元来模拟具有分布参数的实际回路元件。另外，模型单元的阻抗(特别是电抗和电阻)特性应真实地模拟实际元件在频率高到至少和考虑中的 TRV 频率相当情况下的阻抗特性。

这种方法的准确性取决于被模拟回路参数的准确值，这些数据经常很难获得，也难在一个小的模型网络上模拟。

这种方法特别适用于随频率变化的参数，所以，本方法通常不直接考虑 TRV 的衰减，用它求得的值比在实际系统上直接短路得到的值稍高。

本方法主要用于研究电力系统，由于它不需要系统停止运行，如果认识到其局限性，也可给出有用的导则。

G.3.6 第 5 组：回路参数计算法

如果知道与回路元件参数有关的数据，和第 4 组一样，特别是在回路不太复杂时，TRV 波形的计算常常很方便。

通常，这一方法不考虑衰减效应，如果已知回路的相关数据，可做一些修正；类似于工频分量的减少，对那些时间 t_2 大于 1 250 μs (60 Hz，t_2 大于 1 000 μs 时)的 TRV，也可考虑衰减效应。

本方法受到第 4 组的制约，除非在使用第 1、2、3 或 6 组的技术从试验中获得的实际 TRV 波形检查

结果方面已经有经验，加上计算中的固有误差。

G.3.7 第 6 组：空载开合包括变压器的试验回路

本方法由连接开路回路中的试验变压器和记录二次回路的开路间隙上瞬态电压特性的示波器组成。

在由发电机产生短路电流的试验站，这种方法特别有用。但是，用于开合的断路器应没有并联电阻，且没有明显的预击穿，安装位置紧靠受试断路器。本方法仅限用于产生单频 TRV、不再产生与涡流相关的指数分量的回路。

G.3.8 第 7 组：不同方法的组合

根据试验回路的不同，G.3.1～G.3.7 所提出的方法的组合可能是必要的。如果 TRV 上叠加不同电源（通常多达 3 个不同的电源）的输出，通常就是这种情况。例如，在电压注入试验回路中，可能由电流源来校核 TRV，但电流源与电压注入回路产生的 TRV 无关。也就是说，每个单独回路用一种推荐方法来校核。不同的回路可采用不同的方法。可由数学方法得出总的 TRV（不同回路产生的 TRV 总和）。如果用数字记录仪，通过综合不同方法得到的数据也可能得出总的 TRV。

表 G.1 给出了这些方法的具体制约因素，组合使用这些方法时加以考虑。

G.4 各种方法的比较

各种方法的特征及其优缺点列于表 G.1。

表 G.1 确定预期 TRV 的各种方法

方法	理论上的制约因素	实际上的制约因素
G.1.1 用理想断路器进行实际试验	没有。所有现象都能正确再现	不存在可满足全部要求的理想断路器
G.1.2 全电压且有限流干扰时的工频试验（理想断路器试验或“合闸”试验均可）	不必考虑试验回路中可能存在的非线性，即在一特定频率下，电流和电压间不存在线性关系（不要和与时间有关的回路元件的影响相混淆）	不存在可满足全部要求的理想断路器。分离出 TRV，需要熟练的测量技术；否则，存在大的工频分量时很难解释试验结果。 对于关合试验，最合适的限流装置是电感；否则，适用时试验回路的其他元件（如电阻器、电容器）也可使用。 所用元件可能体积庞大或价钱昂贵
G.1.3 用理想断路器在其他都不变的试验回路中降压进行的工频试验（即低励磁试验）	不用考虑试验回路中可能存在的非线性，即在一特定频率下，电流和电压间不存在线性关系（不要和与时间有关的回路元件的影响相混淆）	当还不存在可满足全部要求的理想断路器时，所用理想断路器的选择受到限制。 当回路使用一台以上的发电机时，同步很难满足。 励磁应足够高以防波形畸变。 一般在网络试验站不可能

表 G.1　确定预期 TRV 的各种方法（续）

方法	理论上的制约因素	实际上的制约因素
G.1.4　用普通断路器在实际试验回路中进行试验	难于从试验中记录的 TRV 特性中分离出断路器的影响	选择具有低的电弧电压、在电流零点产生的电流畸变可忽略、弧后电流可忽略、没有并联阻抗的断路器。 当不能做到上述这些时，会产生误差，试验站之间由于使用了具有不同特性的断路器而又可能缺乏一致性
G.2　在“不带电”回路中注入工频电流的理想断路器试验	不必考虑试验回路中可能存在的非线性，即在一特定频率下，电流和电压间不存在线性关系（不要和与时间有关的回路元件的影响相混淆）	在网络供电的试验站，仅适用于“不带电”的回路元件，例如，近区故障元件，或网络阻抗与回路阻抗的剩余部分相比可忽略的情况。 发电机应停止工作以防残压。 如果直轴和交轴电抗间的差异很大，则转子的位置可能很重要。 用以代替理想断路器、能够承载需要注入的工频电流的开关二极管的反向恢复时间可能影响包括高频分量的 TRV，例如，在近区故障试验回路中。 由于回路阻抗低，测量电压相对较小时，外界电源在“不带电”回路中感应引起的干扰可能影响 TRV，例如，与近区故障相关的
G.3.2　工频电流注入法	不必考虑试验回路中可能存在的非线性。 不能直接给出工频阻抗。 假如注入电源的频率高于工频但远低于 TRV 的频率，只能给出单频或多频回路的 TRV 由零到第一最大值的正确波形和数值。不可能正确地确定振幅系数	在网络供电的试验站，仅适用于“不带电”的回路元件，例如，近区故障元件，或网络阻抗与回路阻抗的剩余部分相比可忽略的情况。 发电机应停止工作以防残压。 如果直轴和交轴电抗间的差异很大，则转子的位置可能很重要
G.3.5　模型网络法	并非能经常得到网络的非线性及与频率相关特性的准确资料。 需要回路元件及其杂散参数的准确情况	需要充分表现瞬态网络分析元件中的回路元件的特性，包括其非线性和与时间有关的特性
G.3.6　回路参数计算法	并非能经常得到电网的非线性及与频率相关特性的准确资料。 需要回路元件及其杂散参数的准确情况	网络阻抗与试验站阻抗相比不可忽略时，需要与瞬态网络条件相关的全部知识。 准确或充分地表现回路元件的特性，包括它们的非线性以及与时间有关的特性，特别是杂散参数
G.3.7　空载开合试验变压器	除非在电压波的峰值附近使变压器带电，否则，需要校正 TRV 的峰值	要求实际的短路试验回路。 仅适用于单频回路。 不能用于确定 TRV 时延。通常，这种方法会高估时延（例如，比实际值长）

附 录 H
（资料性）
断路器开断变压器限制的故障的要求

H.1 概述

图 H.1 和图 H.2 给出了变压器限制的故障的两个典型事例。这些故障类型可分为：

——变压器馈电故障(图 H.1)；

——变压器二次侧故障(图 H.2)。

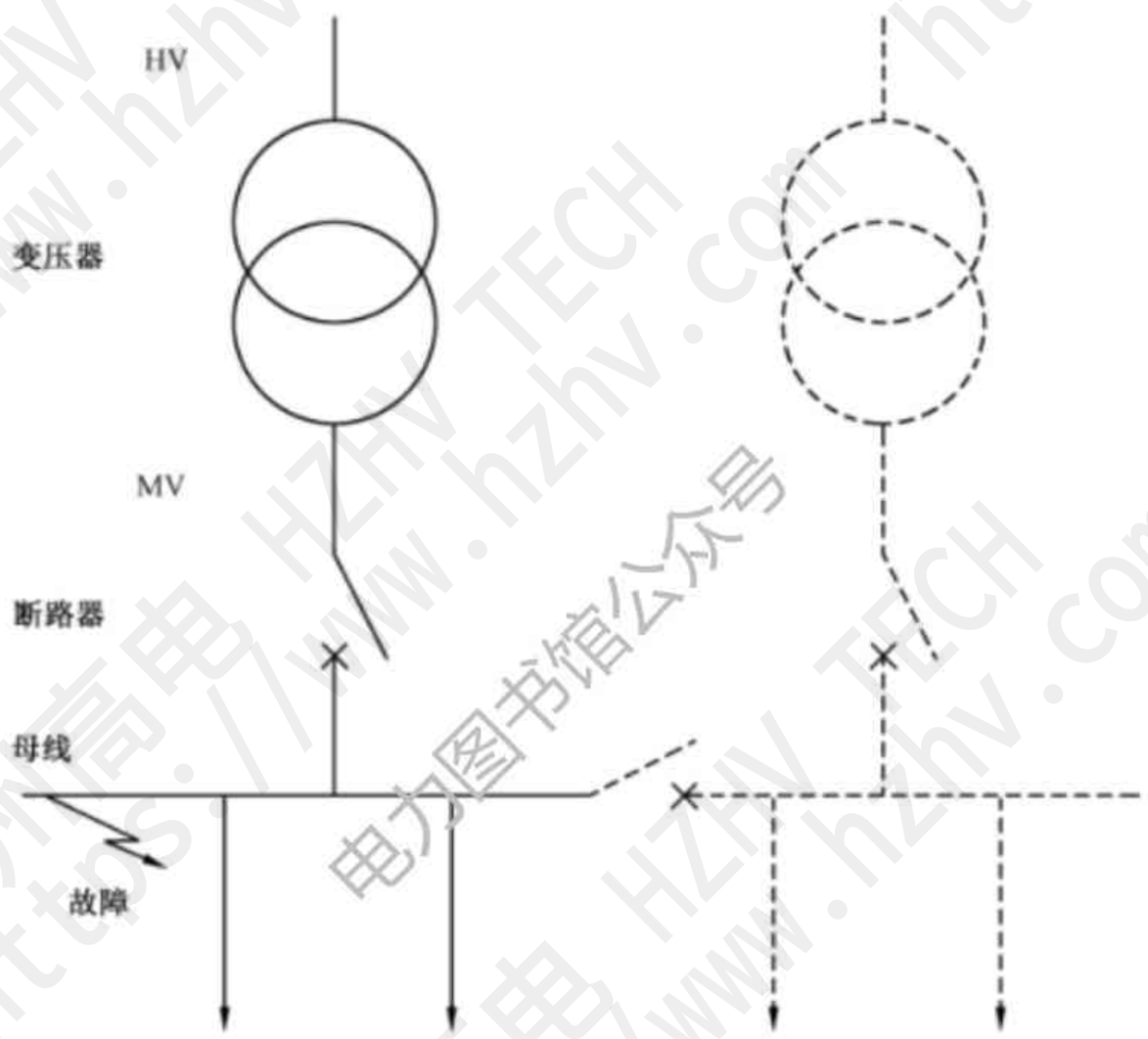


图 H.1 变压器限制的故障的第一个事例(也称为变压器馈电故障)

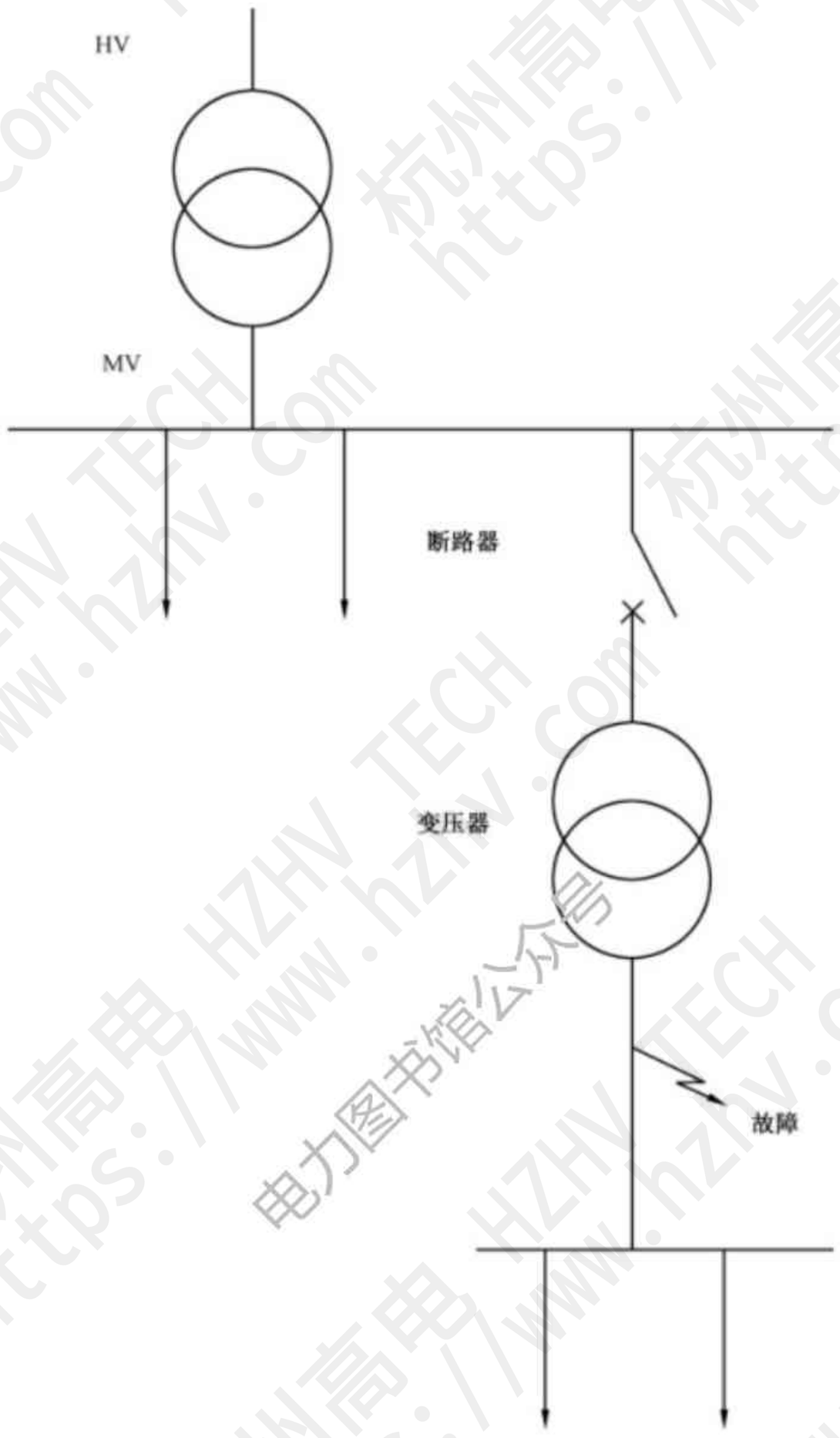


图 H.2　变压器限制的故障的第二个事例(也称为变压器二次侧故障)

H.2　额定电压小于 126 kV 的断路器

因为绝大多数的变电站都有不止一台变压器,所以变压器断路器的开断电流仅是变电站全部短路电流的一小部分。通常,即使所需的开断容量很不相同,但变压器断路器和输出馈线断路器也规定了相同的开断容量。对于这种过分的要求,有两个原因:变电站内的所有断路器具有一致性,以及事实上变压器断路器所必需的大的额定连续电流;额定值之间的标准配合可能意味着额定短路开断容量要高于必要值。因此,为了标准化,规定用试验方式 T30 来验证开断变压器限制的故障时断路器的能力。

考虑以下两种应用情况。

a) 在变压器和断路器之间有足够的对地电容的情况下,T30 可涵盖变压器限制的故障,对于 S1 级断路器 TRV 参数值在表 16 中给出,对于 S2 级断路器 TRV 参数值在表 17 中给出。在使用电缆和绝缘母线的场合,变压器和断路器连接的对地电容一般超过要求值。

计算表明,附加电容(对于将变压器固有频率降低到表 16 和表 17 规定的 T30 的 TRV 频率是必需的)与额定电压无关且与额定短路电流成正比。附加的对地电容至少应为:

$$C_0 = 0.6 \times I_{30}(50\ \text{Hz}) \text{或} 0.7 \times I_{30}(60\ \text{Hz})$$

式中：

I_{30}——额定短路开断电流的30%，单位为千安(kA)；

C_0——附加的对地电容，单位为纳法(nF)。

标准电缆(0.3 nF/m～0.5 nF/m)很容易提供需要的附加电容值。

例如：频率50 Hz、额定短路开断电流31.5 kA的断路器，对于型式试验T30涵盖的开断变压器限制的故障，电缆的最短长度是(0.6×0.3×31.5)/0.3=19 m，假定电容值为0.3 nF/m。

b) 在变压器和断路器之间连接的电容低于上述a)中确定的C_0值的特殊情况，可用表H.1中规定的TRV对断路器规定专门的试验方式T30。对于中性点有效接地系统的应用，如果该试验方式T30为三相，则宜在工频下进行一次附加的单相试验，其$k_{pp}=1.5$，且燃弧时间=0.7倍半周期。或者，宜增加电容，以便允许使用S1级或S2级断路器。

注：可能存在变电站只有一台变压器馈电且变压器断路器的短路电流等于其额定短路开断电流的特殊应用情况。在这种情况下，当连接有足够的电容，即上述项a)说明的，或者增加电容来获得由表16或表17中的数值涵盖的TRV参数时，进行试验方式T100验证开断性能。

表H.1 预期TRV标准值，中性点非有效接地系统中额定电压大于或等于3.6 kV，小于126 kV，与连有小电容的变压器相连的断路器的试验方式T30

U_r kV	试验方式	k_{pp} p.u.	k_{af} p.u.	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/μs
3.6	T30	1.5	1.6	7.05	4.47	0.671	2.35	2.16	1.58
7.2	T30	1.5	1.6	14.1	5.67	0.850	4.70	2.74	2.49
12	T30	1.5	1.6	23.5	6.80	1.02	7.84	3.26	3.46
24	T30	1.5	1.6	47.0	9.35	1.40	15.7	4.52	5.03
40.5	T30	1.5	1.6	79.4	12.6	1.90	26.5	6.11	6.30
72.5	T30	1.5	1.6	142	18.2	2.73	47.4	8.81	7.80

H.3 额定电压大于或等于126 kV，小于或等于800 kV的断路器

预期TRV的标准值CIGRE正在考虑中，因此没有规定试验要求。

H.4 额定电压大于800 kV的断路器

当变压器和断路器之间没有任何明显电容时，短路可能出现严酷TRV的情况。这种情况下，RRRV超过端子故障试验方式规定的值。这是因为变压器的对地电容相对较小的事实，800 kV以上的这种应用，也就是9 000 pF。变压器相应的固有频率导致TRV的上升率大约是T10的2倍。

系统的TRV可通过电容进行修改，使其处于标准TRV包络线内。作为替代，用户可选择指定变压器限制故障(TLF)电流开断能力。

TLF开断电流从R10系列中选取以限制可能的试验值的数量。对于额定电压800 kV以上的应用，优选值是10 kA和12.5 kA。

TRV参数(见表H.2)由TLF电流、额定电压和变压器电容为9 nF算出。这种故障类型相应的首开极系数为1.3。对振幅系数和变压器两端的电压降采用保守值，分别为1.7和0.9，有待进一步研究。

表 H.2　预期 TRV 标准值，额定电压 800 kV 以上与连有小电容的变压器相连的断路器

U_r kV	TLF 电流	k_{pp} p.u.	k_{af} p.u.	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/μs
1 100	10	1.3	1.7×0.9	1 786	116	17.4	595	56	15.4
1 100	12.5	1.3	1.7×0.9	1 786	104	15.6	595	50	17.2

附 录 I
（规范性）
根据额定特性对近区故障的瞬态恢复电压的计算

I.1 基本方法

为了确定额定参数和进行试验，决定只考虑中性点接地系统中单相接地的近区故障且其首开极系数等于1.0，其严酷程度足以覆盖其他情况，系统参数可能比标准值更严酷的特殊情况除外。

简化的单相回路可用图47、图48和图49表示。

在短路时，电源电压U_G为：

$$U_G = U_r / \sqrt{3} \qquad \text{(I.1)}$$

此处，U_r是断路器的额定电压。

电压U_G使电流I_L流经由电抗X_S、X_B（如果有的话）和X_L串联组成的回路。

式中：

X_S——电源侧电抗；

X_B——电源侧母线电抗；

X_L——线路侧电抗。

相应的电感为：

$$L_S = X_S / \omega \qquad \text{(I.2)}$$

$$L_B = X_B / \omega \qquad \text{(I.3)}$$

$$L_L = X_L / \omega \qquad \text{(I.4)}$$

不考虑X_B，因为其数值较小，电源侧电压降的有效值为：

$$U_S = I_L \times X_S = U_G \frac{I_L}{I_{SC}} \qquad \text{(I.5)}$$

式中：

I_{SC}——额定短路开断电流；

I_L——近区故障开断电流。

沿线路的电压降的有效值为：

$$U_L = I_L \times X_L = U_G \left(1 - \frac{I_L}{I_{SC}}\right) \qquad \text{(I.6)}$$

电流开断瞬时，线路电感上感应的电压降为：

$$u_0 = U_L \sqrt{2} = L_L \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \qquad \text{(I.7)}$$

对称电流时：

$$u_0 = \omega \times L_L \times I_L \sqrt{2} \qquad \text{(I.8)}$$

该电压降经过在断路器和故障点之间的沿线路的一系列行波来回反射，然后降到零，在线路上产生了衰减的锯齿形振荡形式的瞬态电压[1]。

电流开断瞬时，电源侧电感上感应的电压降为：

1) 实际上，由于断路器端子上有集中参数电容（电压互感器、电流互感器等的电容）的存在而产生时延，从而使锯齿波在一定程度上畸变，振荡波顶部轻微变圆。

$$u_X = U_X\sqrt{2} = L_S\frac{di}{dt} \quad \cdots\cdots(I.9)$$

对称电流时：

$$u_X = \omega \times L_S \times I_L\sqrt{2} \quad \cdots\cdots(I.10)$$

该电压经过一系列振荡后衰减到零。它叠加在电源电压上共同形成断路器电源侧的电压 u_S。

电流开断瞬时，总的感应电压的峰值 U_m 为：

$$U_m = u_0 + u_X = (L_L + L_S)\frac{di}{dt} \quad \cdots\cdots(I.11)$$

对称电流时：

$$U_m = \omega(L_L + L_S)I_L\sqrt{2} = U_G\sqrt{2} = U_r\sqrt{2}/\sqrt{3} \quad \cdots\cdots(I.12)$$

断路器电源侧端子上的电压是电源电压和电抗 X_S 上电压降的差。近区故障时出现在断路器两端的规定的瞬态恢复电压是图 I.1 中所示的电源侧瞬态电压 u_S 和线路侧瞬态电压 u_L 之差。

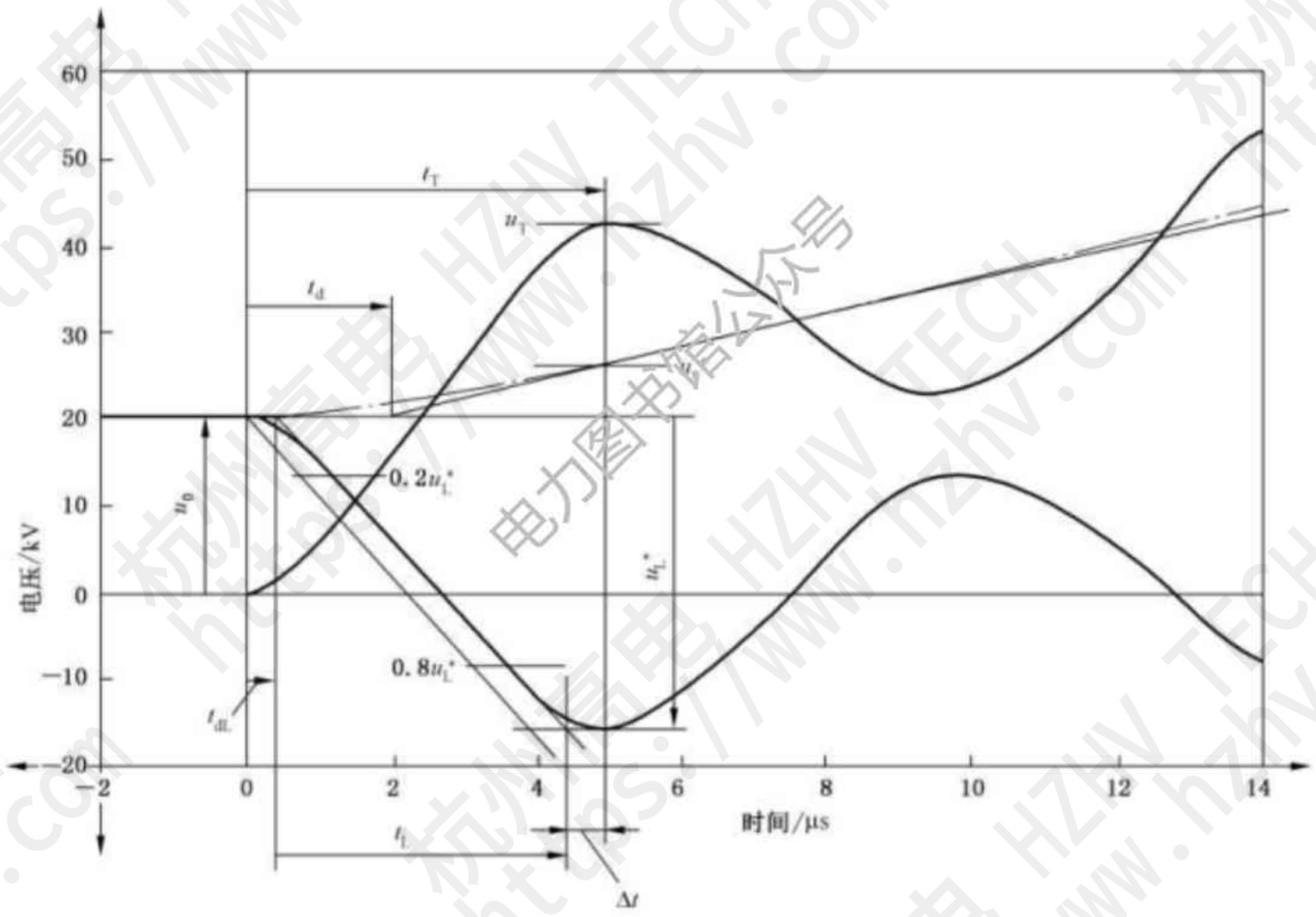


图 I.1　线路侧和电源侧 TRV 参数的典型图示—线路侧和电源侧均有时延

开断瞬间的电压 u_0 和电源电压的峰值 U_m 之比决定于线路侧电感两端与电源侧电感两端电压降之比，因此：

$$u_0/U_m = u_0/(u_0 + u_X) = L_L/(L_L + L_S) = 1 - I_L/I_{SC} \quad \cdots\cdots(I.13)$$

近区故障电流的标准比值关系如表 I.1 所示。

表 I.1 电压降和电源侧 TRV 之比

U_r	I_L/I_{sc}	u_0/U_m	u_m/U_m	$u_{1,test}/u_1$
<126 kV	0.90	0.10	1.49	—
	0.75	0.25	1.41	—
	0.60	0.40	1.32	—
≥126 kV	0.90	0.10	1.36	1.033
	0.75	0.25	1.30	1.083
	0.60	0.40	1.24	1.133

I.2 线路侧瞬态电压

只有对线路侧预期 TRV 进行单独测量，才能评估回路是否满足本文件中的要求。

线路侧回路的预期 TRV 应与电源侧回路的预期 TRV 分开测量，由此产生的线路侧 TRV 上升率 du_L/dt、t_{dL}、u_L^* 以及波阻抗 Z 应在附录 A 的容差范围内。

线路侧瞬态电压第一个波峰的峰值电压 u_L^* 可用电压 u_0 乘以峰值系数 k 获得：

$$u_L^* = ku_0 = kL_L\frac{di}{dt} \quad \cdots\cdots(I.14)$$

时间 t_L 可用线路侧瞬态电压 u_L 的上升率 du_L/dt 及其峰值 u_L^* 求得：

$$du_L/dt = sI_L = Z\frac{di}{dt} \quad \cdots\cdots(I.15)$$

然后

$$t_L = \frac{u_L^*}{\frac{du_L}{dt}} = \frac{u_L^*}{sI_L} = kL_L/Z \quad \cdots\cdots(I.16)$$

式中：

s——恢复电压上升率(RRRV)的系数(kV/μs/kA)；

Z——线路波阻抗；

f——额定频率。

额定线路参数 Z，k 和 s 在表 25 中给出(见 7.109.3)。

注：对给定的近区故障，线路长度的近似值可用下式获得：

$$l = c \times t_L/2 \quad \cdots\cdots(I.17)$$

式中的 c 为行波传播速度，假定 $c=0.3$ km/μs。

I.3 电源侧瞬态电压

I.3.1 额定电压 126 kV 及以上

从初始值 u_0 到峰值 u_m 的电源侧瞬态电压过程可由表 26 导出。表中给出的 t_1、t_2、t_3 和 t_d 可直接引用。表 26 中的电压 u_1 等于感应电压 U_m(电源电压的瞬时值)的 0.75 倍，在电流开断瞬间上升到更高的值 $U_{1,test}$：

$$U_{1,test} = u_1 \times \left[1 + \frac{1}{3} \times \left(1 - \frac{I_L}{I_{sc}}\right)\right] \quad \cdots\cdots(I.18)$$

$u_{1,test}/u_1$ 的实际值在表 I.1 中给出。

TRV 的峰值电压 u_c 下降到一个较低的值 u_m：

$$u_m = u_0 + k_{af} u_X \quad \cdots\cdots (I.19)$$

所以

$$u_m / U_m = (u_0 + k_{af} u_X) / U_m \quad \cdots\cdots (I.20)$$

使用公式(I.13)后：

$$u_m / U_m = 1 + (k_{af} - 1) I_L / I_{SC} \quad \cdots\cdots (I.21)$$

如表 I.1 中给出的。

电源侧 TRV 的实际上升率低于表 26 给出的相关的近区故障的 RRRV 标准值，用公式(I.22)表示：

$$RRRV_{SLF} = RRRV \times \frac{I_L}{I_{SC}} \quad \cdots\cdots (I.22)$$

达到电压 U_m 的时间为：

$$t_m = t_1 \times \frac{k_{af}}{k_{af} - 3/4} \quad \cdots\cdots (I.23)$$

通常，在时间 t_2(或 t_3)之前，只要线路上振荡电压已经降到零，则电源侧瞬态恢复电压峰值 u_m 就是断路器两端的瞬态恢复电压的峰值。电源侧 TRV 的生成过程在图 I.2 中表示。

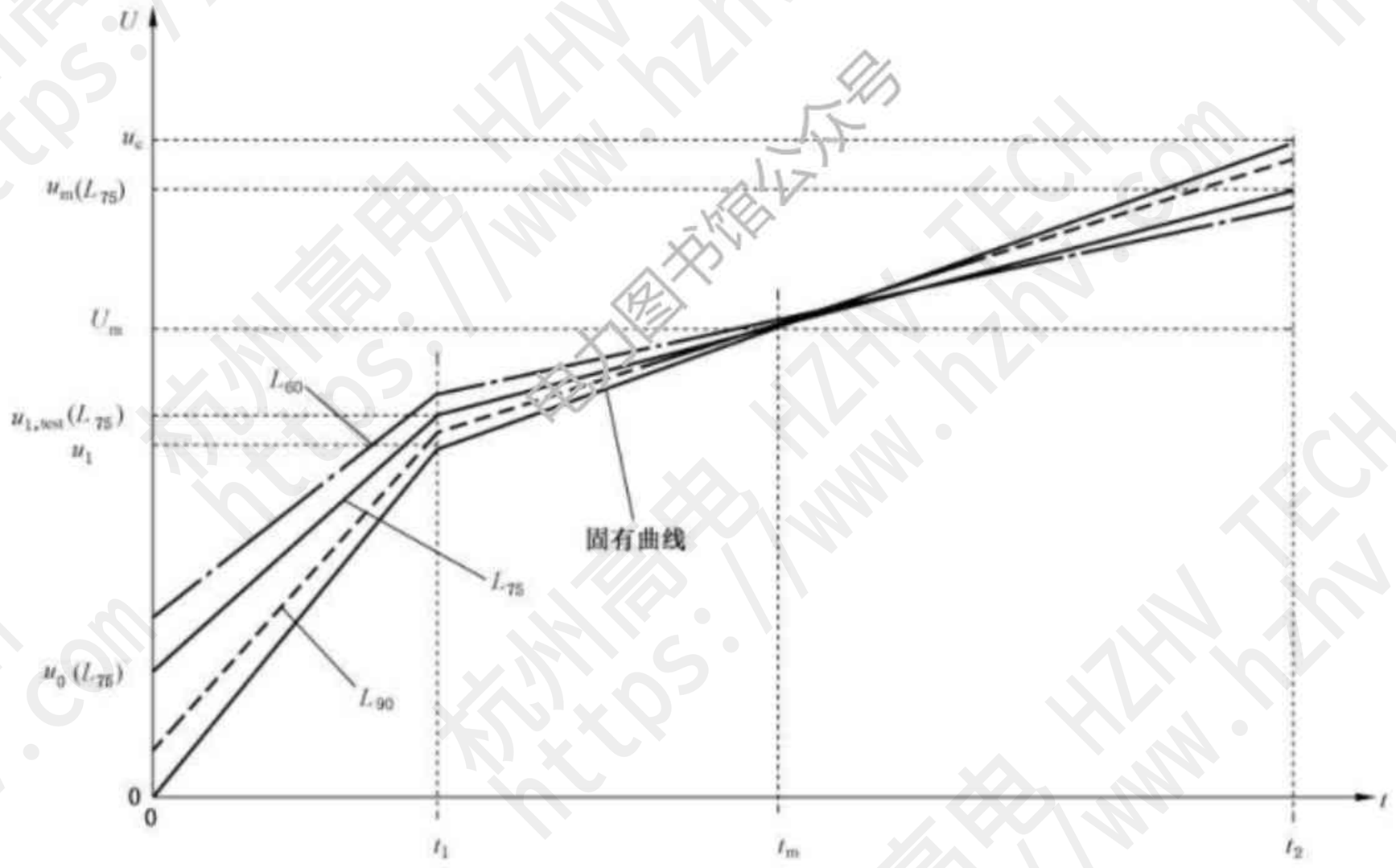


图 I.2 近区故障 L_{90}、L_{75} 和 L_{60} 电源侧 TRV 的实际曲线

瞬态恢复电压最重要的部分是经过时间 $t_T = t_{dL} + t_L + \Delta t$ 后线路侧瞬态恢复电压上升到的第一个峰值 u_L'，其中：

$$\Delta t = t_{dL}$$

对于线路侧时延小于 100 ns(见图 49)，计算时 t_{dL} 和 Δt 取 0.1 μs。

注：与通过包络线确定瞬态恢复电压的一般程序相反，为了估计线路侧电压到达第一峰值 u_L' 瞬间断路器两端的总电压，使用实际的波形。应用这一修改后的程序是由于包络线方法会在断路器两端总电压峰值稍前的 TRV 上升沿产生一个中间电压，而不是断路器两端总电压的实际峰值，这与试验条件的评估有关。如果瞬态恢复电压波上不叠加两种或两种以上其他电压分量，包络线法完全满足。在此情况下，估算断路器两端总的瞬态恢复电压时，考虑到 3 种不同分量：电源侧 TRV、电源侧 ITRV 和线路侧 TRV。

计算 t_T 时刻电源侧电压 u_s^*，应区分两种不同情况：

a) 无 ITRV 要求(见图 I.1)

$$u_s^* = RRRV_{SLF} \times (t_{dL} + t_L + \Delta t - t_d) \quad \text{(I.24)}$$

在 t_T 时断路器两端的恢复电压 u_T 为 u_L^* 与 u_s^* 之和，即：

$$u_T = u_L^* + u_s^* \quad \text{(I.25)}$$

b) 有 ITRV 要求(见图 I.3)

$$u_s^* = u_{i0} + RRRV_{SLF} \times (t_{dL} + t_L + \Delta t - t_d) \quad \text{(I.26)}$$

在 t_T 时断路器两端的恢复电压 u_T 为 u_L^* 与 u_s^* 之和，即：

$$u_T = u_L^* + u_s^* \quad \text{(I.27)}$$

对于有 ITRV 要求的情况(如表 10 中给出的)，下面公式适用：

$$u_i = f_i \times I_L = k_i \times L_B \frac{di}{dt} \quad \text{(I.28)}$$

式中：

k_i——1.4(峰值系数)；

f_i——表 10 中的乘数。

那么，母线的电压降为：

$$u_{i0} = u_i / k_i \quad \text{(I.29)}$$

且母线的电感为：

$$L_B = u_{i0} / (di/dt) \quad \text{(I.30)}$$

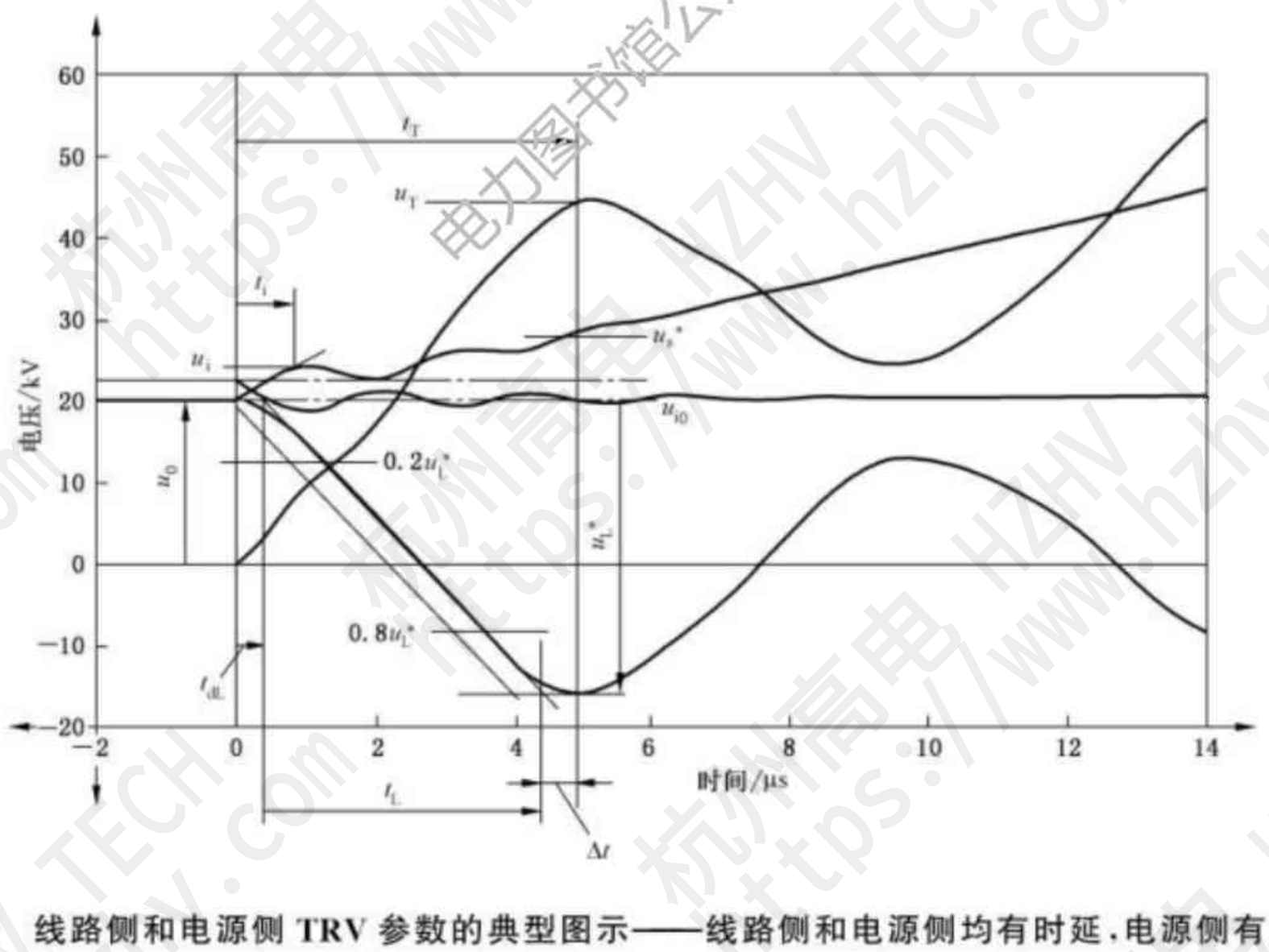


图 I.3 线路侧和电源侧 TRV 参数的典型图示——线路侧和电源侧均有时延，电源侧有 ITRV

I.3.2 额定电压大于或等于 24 kV，小于 126 kV

I.3.1 适用，除了下列情况：

电源侧瞬态电压从起始值 u_0 到峰值 u_m 的过程见表 17。表中给出的时间坐标 t_3 和 t_d 可直接使用，TRV 峰值 u_c 导致更低的 u_m 值：

$$u_m = u_0 + k_{af} u_x \quad \text{(I.31)}$$

然后

$$u_m/U_m=(u_0+k_{af}u_x)/U_m \quad \cdots\cdots(I.32)$$

I.4 计算示例

以试验回路(见 7.109.3)的 3 个基本类型为例进行计算,结果在表 I.2～表 I.4 中给出:

表 I.2 电源侧和线路侧均有时延(252 kV、50 kA、50 Hz 时的 L_{90}、L_{75})

参数名称	公式	试验参数		
		单位	L_{90}	L_{75}
电源侧工频				
额定电压 U_r	—	kV	252	252
额定短路电流 I_{sc}	—	kA	50	50
额定频率 f_r	—	Hz	50	50
电源电压 U_G	I.1	kV	145.5	145.5
电源侧电抗 X_s	—	Ω	2.91	2.91
电源侧电感 L_s	I.2	mH	9.27	9.27
线路侧工频				
规定的线路设置		%	90	75
近区故障开断电流 I_L	—	kA	45	37.5
电流开断时刻 di/dt	—	A/μs	20	16.7
线路侧电压 U_L	I.6	kV	14.6	36.4
线路侧电抗 X_L	—	Ω	0.32	0.97
线路侧电感 L_L	I.4	mH	1.0	3.1
线路侧 TRV 参数				
电流开断时刻电压 u_0	I.13	kV	20.6	51.5
峰值系数 k(见表 25)	—	p.u.	1.6	1.6
线路侧 TRV 的第一峰值 u_L'	I.14	kV	33	82.4
时延 $t_{达}$(见表 25)	—	μs	0.5	0.5
线路侧 TRV 的上升率 du_L/dt	I.15	kV/μs	9	7.5
规定的线路波阻抗 Z(见表 25)	—	Ω	450	450
电源侧 TRV 参数				
时延 t_d	—	μs	2	2
额定短路开断电流 I_{sc} 时的电压上升率(RRRV)	—	kV/μs	2	2

表 I.2　电源侧和线路侧均有时延(252 kV、50 kA、50 Hz 时的 L_{90}、L_{75})(续)

参数名称	公式	试验参数		
		单位	L_{90}	L_{75}
近区故障开断电流 I_L 时的电压上升率($RRRV_{SLF}$)	I.22	kV/μs	1.8	1.5
电流开断时刻的电压 u_c	I.11	kV	185	154
t_1 时的电压 $u_{1,test}$	I.18	kV	159	166.8
达到 U_m 的时间 t_m	I.23	μs	166	166
瞬态峰值电压 u_m	I.19	kV	280	267
瞬态系数 u_m/U_m	I.20	p.u.	1.36	1.3
断路器两端的第一峰值				
到达第一峰值的时间 t_T		μs	4.66	12.0
t_T 时刻电源侧 TRV 的电压增量 u_s'	I.24	kV	4.8	15.0
第一峰值电压 u_T	I.25	kV	37.8	97.4

表 I.3　电源侧有 ITRV,线路侧有时延(252 kV、50 kA、50 Hz 时的 L_{90})

参数名称	公式	试验参数	
		单位	L_{90}
电源侧工频	同表 I.2		
线路侧工频	同表 I.2		
线路侧 TRV 参数	同表 I.2		
电源侧 TRV 参数	同表 I.2		
电源侧 ITRV 参数			
时间 t_1	表 10	μs	0.6
乘数 f_1	表 10	kV/kA	0.069
初始峰值电压 u_i	I.28	kV	3.1
母线电压降 u_b	I.29	kV	2.21
母线电感 L_B	I.30	μH	111
断路器两端的第一峰值电压			
到达第一峰值的时间 t_T		μs	4.66
时间 t_T 时电源侧的电压增量 u_s'	I.26	kV	7
第一峰值电压 u_T	I.27	kV	40

表 I.4　电源侧有时延，线路侧无时延（252 kV、50 kA、50 Hz 时的 L_{90}）——简化方法的计算

参数名称	公式	试验参数	
		单位	L_{90}
电源侧工频	同表 I.2		
线路侧工频	同表 I.2		
线路侧 TRV 参数	同表 I.2		
电源侧 TRV 参数	同表 I.2		
断路器两端的第一峰值电压			
到达第一峰值的时间 t_T		μs	4.16
时间 t_T 时电源侧的电压增量 u'_r	I.24	kV	3.9
第一峰值电压 u_T	I.25	kV	36.9

电力图书馆公众号

附 录 J
（规范性）
存在单相或两相接地故障时容性电流开断的验证

J.1 通则

在单相或两相接地故障的情况下，分闸的断路器和接地之间的较高电压将出现在健全相。根据7.111，这些值不包括在型式试验中。

本附录适用于用户要求在存在单相或两相接地故障时开断容性电流的情况。因为这种情况发生的概率很低，所以认为基于C1级的试验程序是足够的。

如果在按照7.111.9进行的试验期间，满足了本附录中关于试验电压、试验电流和试验次数的要求，则无需进行进一步的试验来验证单相或两相接地故障情况下的容性电流开断。

根据J.4，只能进行有限数量的单相试验室试验，试验电压应如J.2所示，容性电流应如J.3所示。不需要进行预备试验。

7.111.1～7.111.3、7.111.5和7.111.6适用于本附录的试验。

J.2 试验电压

在断路器临分闸前，于断路器所在处测量的试验电压应不小于$U_r/\sqrt{3}$和以下容性电压系数k_c的乘积：

——1.4，在中性点有效接地系统中存在单相或两相接地故障情况下相应的开断试验；

——1.7，在中性点非有效接地系统中存在单相或两相接地故障情况下相应的开断试验。

对于单元试验，试验电压的选择应为断路器整极中承受最高电压的关合和开断单元。

开断后，工频试验电压和容性回路上出现残余电荷产生的直流电压应保持至少0.3 s。

金属封闭断路器的试验也可参考附录D。

J.3 试验电流

对于存在接地故障时的容性电流开断，试验电流应为：

——中性点有效接地系统中，额定容性开断电流的1.25倍；

——中性点非有效接地系统中，额定容性开断电流的1.7倍。

J.4 试验方式

7.111.9.1和7.111.9.2适用，但仅限于试验方式2。对于线路充电、电缆充电和单个电容器组电流试验，关合操作可为空载操作。对于背对背电容器组电流试验，可在相对地电压下单独进行关合操作。

——6CO，分布在一个极性（步长：30°）；

——3CO，在一个极性上的最短燃弧时间；

——6CO，分布在另一个极性上（步长：30°）；

——3CO，在另一个极性上的最短燃弧时间；

——其余的试验应达到总计24次CO。

如果断路器的特性妨碍了燃弧时间的精确控制，试验总次数控制在36次以内。

J.5 通过试验的判据

如果满足如下判据，则断路器成功地通过了试验：

出现一次重击穿不需进行附加试验。如果出现两次重击穿，则应在同一试品上重复试验，不能对试品进行任何维护。如果在重复试验过程中没有再发生重击穿，则断路器通过了试验。

试验期间断路器的性能和试验后的状态应满足7.102.8、7.102.9。

电力图书馆公众号

参 考 文 献

[1] GB/T 311.2 绝缘配合 第2部分:使用导则(IEC 60071-2:1996,MOD)

[2] GB/T 2900.10—2013 电工术语 电缆(IEC 60050-461:2007,IDT)

[3] GB/T 2900.50—2008 电工术语 发电、输电及配电 通用术语(IEC 60050-601:1985,MOD)

[4] GB/T 2900.57—2008 电工术语 发电、输电及配电 运行(IEC 60050-604:1987,MOD)

[5] GB/T 2900.74—2008 电工术语 电路理论(IEC 60050-131:2002,MOD)

[6] GB/T 2900.83—2008 电工术语 电的和磁的器件(IEC 60050-151:2001,IDT)

[7] GB/T 7674—2020 额定电压72.5 kV及以上气体绝缘金属封闭开关设备(IEC 62271-203:2011,MOD)

[8] GB/T 13540 高压开关设备和控制设备的抗震要求(IEC 62271-2:2003,MOD)

[9] GB/T 14824 高压交流发电机断路器

[10] GB/T 25284 12 kV～40.5 kV高压交流自动重合器

[11] GB/T 33981 高压交流断路器声压级测量的标准规程(IEC/IEEE 62271-37-082:2012,MOD)

[12] GB/T 35698.1 短路电流效应计算 第1部分:定义和计算方法(IEC 60865-1:2011,IDT)

[13] IEC 60050-441:1984 International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Part 441:Switchgear,controlgear and fuses

[14] IEC 60071-1 Insulation co-ordination—Part 1:Definitions,principles and rules

[15] IEC 60071-2 Insulation co-ordination—Part 2:Application guidelines

[16] IEC 60099-4 Surge arresters—Part 4:Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c.systems

[17] IEC 60137:2017 Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V

[18] IEC 60143-2 Series capacitors for power systems—Part 2:Protective equipment for series capacitor banks

[19] IEC 60296 Fluids for electrotechnical applications—Mineral insulating oils for electricalequipment

[20] IEC 60376 Specification of technical grade sulphur hexafluoride (SF 6) and complementary gases to be used in its mixtures for use in electrical equipment

[21] IEC 60480 Specifications for the re-use of sulphur hexafluoride (SF 6) and its mixtures in electrical equipment

[22] IEC 60529 Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)

[23] IEC 60865-1:2011 Short-circuit currents—Calculation of effects—Part 1:Definitions and calculation methods

[24] IEC 61869 (all parts) Instrument transformers

[25] IEC 61869-1 Instrument transformers—Part 1:General requirements

[26] IEC 61869-3 Instrument transformers—Part 3:Additional requirements for inductive voltage transformers

[27] IEC 62262 Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)

[28] IEC 62271-4 High-voltage switchgear and controlgear—Part 4:Handling procedures for

sulphur hexafluoride (SF 6) and its mixtures

[29] IEC 62271-37-013 High-voltage switchgear and controlgear—Part 37-013: Alternating-current generator circuit-breakers

[30] IEC 62271-100:2001+AMD1:2024 CSV High-voltage switchgear and controlgear—Part 100: Alternating-current circuit-breakers

[31] IEC 62271-109 High-voltage switchgear and controlgear—Part 109: Alternating-current series capacitor by-pass switches

[32] IEC 62271-110 High-voltage switchgear and controlgear—Part 110: Inductive load switching

[33] IEC 62271-111 High-voltage switchgear and controlgear—Part 111: Automatic circuit-reclosers for alternating current systems up to and including 38 kV

[34] IEC TR 62271-310 High-voltage switchgear and controlgear—Part 310: Electricalendurance testing for circuit-breakers above a rated voltage of 52 kV

[35] IEC TR 62271-300 High-voltage switchgear and controlgear—Part 300: Seismic qualification of alternating current circuit-breakers

[36] IEC TR 62271-302 High-voltage switchgear and controlgear—Part 302: Alternating current circuit-breakers with intentionally non-simultaneous pole operation

[37] IEC TR 62271-306:2012+AMD1:2018 High-voltage switchgear and controlgear—Part 306: Guide to IEC 62271-100, IEC 62271-1 and other IEC standards related to alternating current circuit-breakers

[38] ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement—Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)

[39] CIGRE-IEC 2019 Conference on EHV and UHV (AC & DC). April 23-26. 2019 Hakodate. Hokkaido. Japan. session A3. "Recovery Voltage at Capacitive Current Interruption for High Resistance Earthed Neutral Systems"

[40] A. Pons. A. Sabot. G. Babusci: Electrical endurance and reliability of circuit-breakers. Common experience and practice of two utilities. IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 8. No. 1. January 1993

[41] CIGRE Technical Brochure 163:2000. Guide for SF 6 gas mixtures

[42] CIGRE Technical Brochure 368:2009. Operating environment of voltage grading capacitors applied to high-voltage circuit-breakers

[43] ANSI/IEEE C37.013-1997 Standard for AC high-voltage generator circuit breakers rated on a symmetrical current basis

[44] ANSI/IEEE. C37.09-1999 Test procedure for AC high-voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis

[45] IEEE 100 The authoritative dictionary of IEEE standards terms. 7 th edition. 2000