ICS 29.180
K 41

中华人民共和国国家标准

GB 1094.3—2003
eqv IEC 60076-3:2000

电力变压器 第3部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙

Power transformers—Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air

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

2003-05-26 发布　　2004-01-01 实施

中华人民共和国
国家质量监督检验检疫总局　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
IEC 前言 …… Ⅳ
IEC 引言 …… Ⅴ
1　范围 …… 1
2　引用标准 …… 1
3　定义 …… 1
4　总则 …… 2
5　设备最高电压和绝缘水平 …… 2
6　适用于某些特殊类型变压器的规则 …… 4
7　绝缘要求和绝缘试验的基本规定 …… 4
7.1　总则 …… 4
7.2　绝缘要求 …… 6
7.3　绝缘试验 …… 6
7.4　绕组中性点端子的绝缘要求和绝缘试验 …… 7
8　带分接绕组的变压器的试验 …… 7
9　重复的绝缘试验 …… 8
10　辅助接线的绝缘 …… 8
11　外施耐压试验 …… 8
12　感应电压试验(ACSD、ACLD) …… 8
12.1　总则 …… 8
12.2　高压绕组为全绝缘的变压器短时感应耐压试验(ACSD) …… 9
12.3　高压绕组为分级绝缘的变压器短时感应耐压试验(ACSD) …… 10
12.4　高压绕组为分级绝缘和(或)全绝缘的变压器长时感应电压试验(ACLD) …… 11
13　雷电冲击试验(LI) …… 14
13.1　总则 …… 14
13.2　试验顺序 …… 14
13.3　试验时的连接 …… 14
13.4　试验记录 …… 15
13.5　试验判断准则 …… 15
14　波尾截断的雷电冲击试验(LIC) …… 16
14.1　总则 …… 16
14.2　截断间隙和截断特性 …… 16
14.3　试验顺序和试验判断准则 …… 16
15　操作冲击试验(SI) …… 16
15.1　总则 …… 16

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

15.2 试验顺序及记录 …… 17
15.3 试验时的连接 …… 17
15.4 试验判断准则 …… 17
16 外绝缘空气间隙 …… 17
16.1 总则 …… 17
16.2 按变压器绝缘耐受电压确定套管空气间隙的要求 …… 18
附录 A(提示的附录) 按 12.2、12.3 和 12.4 对变压器在感应耐压试验时进行局部放电测量的使用导则 …… 23
附录 B(提示的附录) 由高电压绕组向低电压绕组传递的过电压 …… 27
附录 C(提示的附录) 询价和定货时应提供的有关变压器绝缘要求和绝缘试验的信息 …… 28
附录 D(标准的附录) ACSD 试验的试验电压 …… 29
附录 E(提示的附录) 采用说明 …… 29

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

前　言

本标准的第1章、第2章、第3章和第16章为推荐性的，其余为强制性的。

本标准是根据国际电工委员会出版物IEC 60076-3:2000《电力变压器　第3部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙》对国家标准GB 1094.3—1985《电力变压器　第3部分：绝缘水平和绝缘试验》和国家标准GB/T 10237—1988《电力变压器绝缘水平和绝缘试验　外绝缘的空气间隙》进行修订的，修订原则为等效采用IEC 60076-3:2000标准。

本标准自实施之日起，同时代替GB 1094.3—1985《电力变压器　第3部分：绝缘水平和绝缘试验》和国家标准GB/T 10237—1988《电力变压器绝缘水平和绝缘试验　外绝缘的空气间隙》。

本标准与前版相比，主要在绝缘水平标志、绝缘试验要求等方面有所改变，同时增补了适用范围、引用标准、定义等内容，此外还补充了对变压器外绝缘空气间隙的要求。本标准的编写方法及格式按照GB/T 1.1—1993，相应的章、条与IEC 60076-3:2000标准基本一致。

本标准对IEC 60076-3:2000标准所修改和补充的内容，分别以采用说明的注的形式进行说明或列于附录E中，以方便对照。

本标准的附录A、附录B、附录C和附录E为提示的附录，附录D为标准的附录。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国变压器标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位：沈阳变压器研究所、武汉高压研究所、中国电力科学研究院、沈阳变压器有限责任公司、保定天威保变电气股份有限公司、西安变压器厂。

本标准主要起草人：章忠国、林然、傅锡年、李光范、钟俊涛、张喜乐、聂三元。

本标准参加起草单位：北京变压器厂、山东省金曼克电气集团公司、东莞市变压器厂、佛山市变压器厂。

本标准参加起草人：石雨、胡振忠、牛业民、王文元、陈荣勤。

本标准于1971年首次发布，1979年第一次修订，1985年第二次修订，2003年第三次修订。

本标准委托沈阳变压器研究所负责解释。

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

IEC 前言

1) 国际电工委员会(简写为 IEC)是由所有国家电工委员会(IEC 国家委员会)组成的一个世界性的标准化组织。IEC 的宗旨是推动电工和电子领域内的全部标准化问题的国际合作。为了这个目的以及其他活动的需要,IEC 出版了国际标准。IEC 标准的制、修订任务是委托给各技术委员会负责。任何对此宗旨表示关注的国家电工委员会,均可参加标准的制、修订工作。与 IEC 有联系的国际组织、政府机构和非政府组织也可参加这些标准的制、修订工作。IEC 与国际标准化组织(ISO)已按相互间达成的协议条件进行紧密的合作。

2) 每个技术委员会是由对该技术问题表示特别关心的各国家委员会组成的。它所作出的决定或协议,最大限度地反映了国际上对此技术问题的一致意见。

3) 这些决定或协议,以标准、技术规范、技术报告或导则的形式发布并供国际上使用,在这一意义上已为各国家委员会所承认。

4) 为了促进国际上的统一,IEC 希望各国家委员会,尽量采用 IEC 标准作为本国的国家标准或地区标准。IEC 标准和相应的国家标准或地区标准之间的任何差别应在其国家标准或地区标准中明确地指出。

5) IEC 尚未制定任何有关认可标志的程序,因此,当某一台设备被宣布为符合某一 IEC 标准时,IEC 对此不承担任何责任。

6) 提请注意本标准的一些内容有涉及到专利权的可能性,对任何或全部的专利权,IEC 没有责任对此予以确认。

本标准由 IEC TC 14:电力变压器技术委员会制定。

本标准是第二版,替代 1980 年发布的第一版、第 1 号修改单(1981)和 IEC 60076-3-1(1987)。

本标准的文本是在下述两个文件的基础上修订的。

FDIS	表决报告
14/347/FDIS	14/355/RVD

有关本标准批准的详细情况,见上表列出的表决报告。

本标准是按 ISO/IEC 导则第 3 部分起草的。

附录 A、B 和 C 仅是信息的附录。

附录 D 是标准整体的组成部分。

委员会决定本出版物的内容到 2008 年保持不变,到时,标准将被:

——确认;

——废止;

——修订版本代替,或

——局部修改。

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

IEC 引言

本标准规定了指定绕组及其端子的绝缘要求和相应的绝缘试验。本标准还推荐了油浸式电力变压器套管带电部位与接地体之间的空气间隙(第 16 章)。有关这方面的导则见 IEC 60071。

本标准第 4、5、6 和第 7 章规定的绝缘水平和绝缘试验只适用于内绝缘。虽然将变压器内绝缘规定的额定耐受电压值作为外绝缘的基准是合理的,但这种作法可能不符合全部的实际情况。非自恢复性内绝缘出现的故障是灾难性的,通常会导致变压器长期退出运行,而当外部发生闪络时,可能只会使运行有短暂的中断而不会导致永久性的损坏。因此,为了提高安全性,用户可以规定变压器内绝缘的试验电压值比系统中其他设备的外绝缘高一些。当存在这种差异时,变压器的外绝缘间隙距离必须调整到完全能承受内绝缘的试验要求。

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

中华人民共和国国家标准

电力变压器　第3部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙

GB 1094.3—2003
eqv IEC 60076-3:2000

代替 GB 1094.3—1985
GB/T 10237—1988

Power transformers—
Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air

1　范围

本标准适用于GB 1094.1所规定的单相和三相油浸式电力变压器(包括自耦变压器)，但某些小型和专用变压器除外。本标准是按设备最高电压 U_m 和相应的额定绝缘水平对变压器绕组进行检验的。本标准详述了所采用的有关绝缘试验和套管带电部分之间及它们对地的最小空气绝缘间隙。

对于某些有各自标准的电力变压器和电抗器类产品，本标准只有在被这些产品标准明确引用时才适用。

2　引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 311.1—1997　高压输变电设备的绝缘配合(neq IEC 60071-1:1993)

GB/T 311.7—1988　高压输变电设备的绝缘配合　使用导则(neq IEC 60071-2:1976)

GB/T 813—1989　冲击试验用示波器和峰值电压表(neq IEC 60790:1984)

GB 1094.1—1996　电力变压器　第1部分：总则(eqv IEC 60076-1:1993)

GB/T 2900.15—1997　电工名词术语　变压器、互感器、调压器和电抗器(neq IEC 60050(421):1990, IEC 60050(321):1986)

GB/T 4109—1999　高压套管技术条件(eqv IEC 60137:1995)

GB/T 7354—1987　局部放电测量(neq IEC 60270:1981)

GB/T 7449—1987　变压器和电抗器的过电压保护导则(eqv IEC 60722:1982)

GB/T 16896.1—1997　高电压冲击试验用数字记录仪　第一部分：对数字记录仪的要求(eqv IEC 61083-1:1991)

GB/T 16927.1—1997　高电压试验技术　第一部分：一般试验要求(eqv IEC 60060-1:1989)

GB/T 16927.2—1997　高电压试验技术　第二部分：测量系统(eqv IEC 60060-2:1994)

IEC 61083-2:1991　高电压冲击试验用数字记录仪　第2部分：确定冲击波形参数的软件计算

CISPR 16-1:1993　无线电干扰和抗干扰测量设备及方法的技术要求　第1部分：无线电干扰和抗干扰测量设备

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

3　定义

本标准采用下列定义。其他术语按GB 1094.1或GB/T 2900.15。

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 2003-05-26 批准　　2004-01-01 实施

3.1 适用于变压器绕组的设备最高电压 U_m(highest voltage for equipment U_m applicable to a transformer winding)

三相系统中相间最高电压的方均根值。变压器绕组绝缘是按其设计的。

3.2 额定绝缘水平(rated insulation level)

一组标准的耐受电压,表示绝缘的介电强度特性。

3.3 标准绝缘水平(standard insulation level)

一种额定绝缘水平,其标准耐受电压就是 GB 311.1 中 U_m 所对应的标准耐受电压。

3.4 变压器绕组的全绝缘(uniform insulation of a transformer winding)

所有变压器绕组与端子相连接的出线端都具有相同的额定绝缘水平。

3.5 变压器绕组的分级绝缘(non-uniform insulation of a transformer winding)

变压器绕组的中性点端子直接或间接接地时,其中性点端子的绝缘水平比线路端子所规定的要低。

4 总则

电力变压器的绝缘要求和相应的绝缘试验,是按指定绕组及其接线端子规定的。

对于油浸式变压器,这些要求仅适用于内绝缘。当需要对外绝缘提出补充要求或试验时,包括在合适的结构模型上进行型式试验,应由制造厂与用户商定。

如果用户在变压器上的接线可能减小变压器原有的间隙距离时,应在询价定货时指明。

当油浸式变压器需要在海拔超过 1 000 m 处运行时,则间隙距离应按其要求进行设计,同时也可选择绝缘水平比规定的变压器绕组的内绝缘水平高的套管,见本标准第 16 章和 GB/T 4109。

套管应单独按 GB/T 4109 承受型式试验和例行试验,以验证其相对地的外绝缘和内绝缘。

假定所用的套管和分接开关是按有关标准设计和试验的,但仍需在装配完整的变压器上进行绝缘试验,以便对这些组件的使用和安装是否正确进行检查。

绝缘试验通常是在制造厂的车间里进行,变压器的温度接近于环境温度,但最低为 10℃。

变压器包括监测设备在内,应和运行时一样装配完整。不影响内绝缘介电强度的各种附件可不安装,如外部冷却设备。

如果因套管故障影响变压器试验时,允许临时用另外的套管来代替有故障的套管,并立即对变压器继续试验,直至试验完为止。在变压器局部放电试验时,当所用的某些普通高压套管的局部放电量较大,出现局部放电测量困难时,经用户同意,可在试验期间用无局部放电型套管来代替,见附录 A(提示的附录)。

采用电缆盒连接或直接接到 SF_6 全封闭金属外壳组合电器的变压器,应设计成必要时可用临时套管进行临时连接的结构,以便用适当的油/空气套管来代替油/SF_6 套管,以便进行试验。

当制造厂需要在变压器内部或外部装有非线性元件或避雷器,以限制传递的瞬变过电压时,应在投标阶段和定货时提请用户注意,并建议在变压器铭牌上的电路图中注明。

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

5 设备最高电压和绝缘水平

对变压器每个绕组的线端和中性点端,均标出其 U_m 值,见 3.1。

根据 U_m 值的不同,变压器在瞬变过电压下的绝缘配合规则是不同的。

当一台变压器中不同绕组的试验规则之间有矛盾时,则该变压器应采用适合于具有最高 U_m 值的绕组的试验规则。

有关特殊类型变压器的规则,见第 6 章。

表 2 至表 4 列出了 U_m 的标准值。变压器绕组所用的 U_m 值可以等于或略大于绕组额定电压。

注

1 对于拟组成星形联结的变压器三相组的单相变压器，用相对地额定电压标明，例如：500/$\sqrt{3}$ kV。此时相间电压值便决定了U_m的选取，由此，U_m=550 kV。

2 可能出现所选取的某些分接电压略高于U_m标准值的情况，但绕组所连接系统的最高电压仍保持在这个标准值之内。由于绝缘要求必须与实际的系统条件相配合，因此，这一标准值应作为变压器的U_m值，而不是选取与其最接近的较大值。

3 在某些极特殊条件下的应用中，规定其他的耐受电压组合可能是合理的。此时，一般应按GB 311.1有关规定。

4 在某些应用中，三角形联结绕组是通过一个外部端子接地。此时，对该绕组可要求按U_m值选取一个较高的耐受电压值，且该值应由制造厂与用户协商确定。

U_m及其指定的耐受电压值，即绝缘水平，确定了变压器的绝缘特性。它们是用一组与U_m有关的绝缘试验来验证，见第7章。

变压器每个绕组上的U_m值和绝缘水平应作为询价和签定合同的内容提出。如果有一个绕组为分级绝缘，则中性点端子的U_m值和其绝缘水平应按表4规定[1]。

所有绕组的额定耐受电压值应在铭牌上给出。标志的缩写原则如以下各例所示。

绝缘设计的分类由表2、表3、表4或GB 311.1中的数值推出，与试验程序无关。由于大多数情况下的长时感应电压试验是一种涉及运行条件的质量控制试验而不是设计验证试验，故绝缘水平应表征为：

SI/LI/AC，或者，如果适用，-/LI/AC。

此处和以下各例中的标志缩写含义如下：

SI　具有最高U_m值的绕组线路端子上的操作冲击耐受电压；

LI　每个绕组的线路端子和中性点端子上的雷电冲击耐受电压；

AC　每个绕组的线路端子和中性点端子上的短时感应耐受电压和外施耐受电压。

h.v.　高压；

l.v.　低压；

m.v.　中压。

例1[2]：U_m(h.v.)为40.5 kV，U_m(l.v.)为12 kV，两个绕组均为全绝缘和Y联结。

绝缘水平：h.v.	线路端子和中性点端子	LI/AC	200/85 kV
l.v.	线路端子和中性点端子	LI/AC	75/35 kV

例2：U_m(h.v.)线路端子为252 kV，Y联结，分级绝缘，中性点端子不直接接地；U_m(m.v.)线路端子为126 kV，Y联结，分级绝缘，中性点端子不直接接地；U_m(l.v.)线路端子为12kV，D联结。

绝缘水平：h.v.	线路端子	SI/LI	750/850 kV
h.v.	中性点端子	LI/AC	185/200 kV
m.v.	线路端子	LI/AC	480/200 kV
m.v.	中性点端子	LI/AC	250/95kV
l.v.	线路端子	LI/AC	75/35 kV

例3：一台自耦变压器，其U_m值为363 kV和126 kV，中性点直接接地，Y联结；U_m(l.v.)线路端子为40.5 kV，D联结。

绝缘水平：h.v.	线路端子	SI/LI	950/1 175 kV
m.v.	线路端子	LI/AC	480/200 kV
h.v./m.v.	中性点端子	LI/AC	185/85 kV

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

采用说明：

1] IEC标准为由用户规定，不符合我国实际情况，故此处进行了修改。

2] 本标准的三个实例是按我国的实际应用而给出的。

l. v.　线路端子	LI/AC	200/85 kV
或者，如果另外还要求短时感应耐压试验：		
绝缘水平：h. v.　线路端子	SI/LI/AC	950/1 175/510 kV
m. v.　线路端子	LI/AC	480/200 kV
h. v./m. v.　中性点端子	LI/AC	185/85 kV
l. v.　线路端子	LI/AC	200/85 kV

6　适用于某些特殊类型变压器的规则

在变压器中，当具有不同 U_m 值的全绝缘的绕组在变压器内部连接在一起（通常是自耦变压器）时，其外施试验耐受电压应由公共中性点的绝缘及其相应的 U_m 值确定。

在有一个或多个分级绝缘绕组的变压器中，由于感应耐受试验电压及操作冲击试验（如果采用）电压是按具有最高 U_m 值的绕组确定的，因而 U_m 值较低的绕组可能承受不到与其相应的试验电压，这种差异一般是可以接受的。如果绕组间的匝数比是靠分接改变时，应利用合适的分接，使 U_m 值较低绕组上的试验电压值尽可能接近其耐受电压值。

在操作冲击试验时，不同绕组的两端之间所产生的电压大致与其匝数比成正比。额定操作冲击耐受电压应只按具有最高 U_m 值的绕组确定。其他绕组中产生的试验电压也与匝数比成正比，且可选择合适的分接，使这些绕组上的试验电压值尽可能接近表 3 中的规定值。其他绕组中所产生的操作冲击试验电压应不超过这些绕组端子上规定的雷电冲击耐受电压值的 80%。

增压变压器、移相变压器等的串联绕组，虽然其绕组额定电压仅为系统电压的一小部分，但其 U_m 却与系统电压相当。严格地按本标准对这一类变压器进行试验往往是比较困难的，因此，有关试验项目应由制造厂与用户协商确定。

对于接到相间的单相变压器，如：在作为铁道牵引系统电源的情况下，其试验电压值可能比本标准列出的试验电压值高。

对于有多种可改变连接的变压器，其所采取的试验接线和试验次数需作特殊的考虑，且应在定货时协商确定。

7　绝缘要求和绝缘试验的基本规定

变压器绕组是按它们的 U_m 值以及相应的绝缘水平进行检验的。本章详述其相应的绝缘要求和适用的绝缘试验。对于某些有各自标准的电力变压器和电抗器类产品，本章中这些要求只有被这些标准明确引用时才适用。

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

7.1　总则

绝缘要求和绝缘试验的基本规则见表 1。

由绕组 U_m 确定的不同的标准耐受电压值见表 2、表 3 和表 4。这些表中不同的标准耐受电压值的选取，与系统中预期的过电压条件的严重性及该设备的重要性有关。有关导则见 GB 311.1。

注：在某些地区，安装在郊区或农村的配电变压器会遭受严重的过电压，此时，可由制造厂与用户协商，对各台产品的雷电冲击试验和其他试验规定更高的试验电压值，它们均应在询价文件中阐明。

有关选择变压器绝缘要求和绝缘试验的说明应随询价和定货时提出，见附录 C（提示的附录）。

绝缘要求见 7.2 规定。耐受电压的检验用 7.3 列出的试验来进行。对绕组中性点端子的绝缘要求和试验，见 7.4。

当变压器用油/SF_6 套管直接连接到 GIS 设备时，或当变压器采用棒状间隙保护时，建议雷电全波和雷电截波冲击试验均为特殊试验。截波冲击峰值应比全波冲击峰值约高 10%。

对于高压绕组 $U_m > 72.5$ kV 的变压器，其所有绕组的雷电全波冲击试验均是例行试验。

表 1　对不同类型绕组的要求和试验[1]

绕组类型	设备最高电压 U_m/kV（方均根值）	试验						
		雷电冲击			操作冲击（SI）（见 15 章）	长时 AC（ACLD）（见 12.4）	短时 AC（ACSD）（见 12.2 和 12.3）	外施 AC（见 11 章）
		线端全波（LI）（见 13 章）	线端截波（LIC）（见 14 章）	中性点全波（LI）（见 13 章）				
全绝缘	$U_m \leqslant 72.5$	型式	型式	型式[b]	不适用	不适用	例行	例行
全绝缘和分级绝缘	$72.5 < U_m \leqslant 170$	例行	型式	型式[b]	不适用	特殊	例行	例行
分级绝缘	$170 < U_m < 300$	例行	型式	型式	例行[a]	例行	特殊[a]	例行
	$U_m \geqslant 300$	例行	型式	型式	例行	例行	特殊	例行

[a] 如果规定了 ACSD 试验，则不要求 SI 试验，这应在询价定货时说明。

[b] 对全绝缘的三相变压器，当中性点不引出时，中性点的雷电全波冲击试验为特殊试验。

表 2　设备最高电压 $U_m \leqslant 170$ kV 变压器绕组的额定耐受电压[2]　　kV

系统标称电压（方均根值）	设备最高电压 U_m（方均根值）	额定雷电冲击耐受电压（峰值）		额定短时感应或外施耐受电压（方均根值）
		全波	截波	
3	3.6	40	45	18
6	7.2	60	65	25
10	12	75	85	35
15	17.5	105	115	45
20	24	125	140	55
35	40.5	200	220	85
66	72.5	325	360	140
110	126	480	520	200

表 3　设备最高电压 $U_m > 170$kV 变压器绕组的额定耐受电压[3]　　kV

系统标称电压（方均根值）	设备最高电压 U_m（方均根值）	额定操作冲击耐受电压（峰值）	额定雷电冲击耐受电压（峰值）		额定短时感应或外施耐受电压（方均根值）
				截波	
220	252	750	950	1 050	360 395
330	363	850 950	1 050 1 175	1 175 1 300	460 510
500	550	1 050 1 175	1 425 1 550	1 550 1 675	630 680

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

采用说明：

1] 与 IEC 标准的差异见附录 E(提示的附录)中的 E1。

2] 与 IEC 标准的差异见附录 E(提示的附录)中的 E2。

3] 与 IEC 标准的差异见附录 E(提示的附录)中的 E3。

7.2 绝缘要求

标准的绝缘要求为：

——如果采用表 1，线端的标准操作冲击耐受电压(SI)按表 3；

——线端的标准雷电全波和截波冲击耐受电压(LI、LIC)按表 2 或表 3；

——中性点端子的标准雷电全波冲击耐受电压(LI)：对于全绝缘，其峰值与线端相同；对于分级绝缘，其峰值按表 4 的规定；

——线端的标准外施耐受电压按表 2 或表 3；

——中性点端子的标准外施耐受电压：对于全绝缘，其电压值与线端相同；对于分级绝缘，其电压值按表 4[1]；

——如果采用表 1，线端的标准短时感应耐受电压(ACSD)按表 2 或表 3 和 12.2 或 12.3；

——如果采用表 1，带有局部放电测量的长时感应电压(ACLD)按 12.4。

$U_m \leqslant 1.1$ kV 的低压绕组应承受 5 kV[2]外施耐受电压试验。

表 4 分级绝缘变压器中性点端子的额定耐受电压[3] kV

系统标称电压（方均根值）	设备最高电压 U_m（方均根值）	中性点接地方式	额定雷电冲击耐受电压（峰值）	额定外施耐受电压（方均根值）
110	126	不直接接地	250	95
220	252	直接接地	185	85
		不直接接地	400	200
330	363	直接接地	185	85
		不直接接地	550	230
500	550	直接接地	185	85
		经小电抗接地	325	140

7.3 绝缘试验

标准的绝缘要求是用各种绝缘试验来验证的。如果适用且无其他协议规定时，这些试验应按下述给出的顺序进行：

——线端的操作冲击试验(SI)，见第 15 章；

本试验用来验证线端和它所连接的绕组对地及对其他绕组的操作冲击耐受强度，同时也验证相间和被试绕组纵绝缘的操作冲击耐受强度。

本试验对承受长时感应电压试验(ACLD)的变压器是基本的要求。

——线端的雷电全波和截波冲击试验(LI、LIC)，见 15.3.1；

本试验用来验证被试变压器的雷电冲击耐受强度，冲击波施加于线端。

——中性点端子的雷电冲击试验(LI)，见 15.3.2；

本试验用来验证中性点端子及它所连接的绕组对地及对其他绕组以及被试绕组纵绝缘的雷电冲击耐受强度。

——外施耐压试验，见第 11 章；

本试验用来验证线端和中性点端子及它们所连接绕组对地及对其他绕组的外施耐受强度。

——短时感应耐压试验(ACSD)，见 12.2 和 12.3；

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

采用说明：

1] 根据我国国情，补充对中性点端子的绝缘要求。

2] IEC 标准规定 3 kV，此处按我国实际情况予以修改。

3] 与 IEC 标准的差异见附录 E(提示的附录)中的 E4。

本试验用来验证每个线端和它们连接的绕组对地及对其他绕组的耐受强度以及相间和被试绕组纵绝缘的耐受强度。

本试验对全绝缘绕组按 12.2 进行，对分级绝缘绕组按 12.3 进行。

对于 U_m=72.5kV 且额定容量为 10 000 kVA 及以上和 U_m>72.5 kV 的变压器，为验证变压器在运行条件下无局部放电，本试验通常与局部放电测量一起进行。经制造厂与用户协商确定，对于 U_m<72.5 kV 和 U_m=72.5 kV 且额定容量小于 10 000 kVA 的变压器，也可进行局部放电测量[1]。

——长时感应电压试验(ACLD)，见 12.4。

本试验不是验证设计的试验，而是涉及在瞬变过电压和连续运行电压下的质量控制试验。本试验用来验证变压器在运行条件下无局部放电。

7.4 绕组中性点端子的绝缘要求和绝缘试验[2]

7.4.1 总则

中性点端子绝缘水平与它是否直接接地、开路或通过一个阻抗接地有关。当中性点端子不直接接地时，为限制瞬变过电压，过电压保护装置应安装在中性点端子与地之间。

注

1 下面的内容涉及到确定中性点端子需要的最小耐受电压，将此电压值提高，有时是容易做到的，同时也能改善系统中变压器的互换性。对于分级绝缘变压器，由于感应耐压试验时试验接线的缘故，可能需将绕组的中性点绝缘水平设计得更高些，见 12.3。

2 对全绝缘的三相变压器，当中性点不引出时，全波冲击试验电压应施加于并联连接的三个线端上，其电压值应等于该线端额定冲击耐受电压值的 70%，但对电压等级为 20 kV 及以下的变压器，加到线端上的电压值应等于该线端额定冲击耐受电压值减去 1/2 额定电压。

7.4.2 直接接地的中性点端子

中性点端子应直接或通过一台电流互感器牢固接地，而无任何有意接入的阻抗。在线端冲击试验中，中性点应直接接地。

7.4.3 不直接接地的中性点端子

中性点端子不直接接地，它可以通过一个相当大的阻抗(如：消弧线圈)接地。独立的相绕组的中性点端子，可以与调压变压器相连接。

7.4.4 中性点端子的额定雷电冲击电压施加方式

中性点端子的额定冲击耐受电压是通过 13.3.2 所述的两种试验方法之一来验证。对中性点端子的截波冲击试验，本标准不予推荐。对于带分接绕组的变压器，当分接位于绕组中性点端子附近时，如制造厂与用户无其他协议，冲击试验应选择在具有最大匝数比的分接连接下进行。

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

8 带分接绕组的变压器的试验

如果分接范围等于或小于±5%，则绝缘试验应在变压器处于主分接的情况下进行。

如果分接范围大于±5%，对分接的选择按下述规定。

对于感应耐压试验和操作冲击试验，所要求的分接选择由试验条件来决定，见第 6 章。

雷电冲击试验时，绝缘中的场强分布是随变压器分接的连接和变压器总体设计的差异而不同的。除经协议规定需在某一特殊分接上进行冲击试验外，冲击试验应在两个极限分接和主分接位置上进行，在三相变压器的三个单独的相或组成变压器三相组的三台单相变压器上各使用其中的一个分接进行试验。关于中性点端子的冲击试验，见 7.4。

采用说明：

1] IEC 标准对于 U_m=72.5 kV 的变压器不要求进行局部放电测量，此处按我国国情予以修改。

2] 因我国对中性点端子的绝缘要求和绝缘试验与 IEC 标准的规定不同，此处按我国国情予以修改和补充。

9 重复的绝缘试验

对正在运行和经检修后或曾运行过的变压器，其重复的绝缘试验应按 7.2、7.3 和 7.4 的规定进行，若无其他协议规定，试验电压值应为原额定耐压值的 80%。此外，还要求该变压器的内绝缘未曾变更。按 12.4 的长时感应电压试验(ACLD)的重复试验，通常应在 100%试验电压下进行。

注：此时，局部放电的判断准则，应由用户与制造厂视检修的程度来讨论确定。

为验证在制造厂已按 7.2、7.3 和 7.4 试验过的新变压器是否仍然符合本标准要求而进行的重复性试验，通常应在 100%试验电压下进行。

10 辅助接线的绝缘

除另有规定外，辅助电源和控制线路的接线应承受 2 kV(方均根值)、1 min 对地外施耐压试验。辅助设备用的电机和其他电器的绝缘要求应符合有关标准的规定(如果该标准的要求低于单独对辅助接线规定的耐压值，为了对接线进行试验，有时需临时拆除这些器件)。

注：大型变压器的辅助设备为了运输，通常在出厂时拆除。在运行地点装配完毕后，推荐用 1 000 V 兆欧表进行试验。试验前，变压器内任何耐受电压低于 1 000 V 的电子设备应取出。

11 外施耐压试验

外施耐压试验应采用不小于 80%额定频率的任一合适的频率，且波形尽可能接近于正弦波的单相交流电压进行。

应测量电压的峰值，试验电压值应是测量电压的峰值除以$\sqrt{2}$。

试验应从不大于规定试验值的 1/3 的电压开始，并与测量相配合尽快地增加到试验值。试验完了，应将电压迅速地降低到试验值的 1/3 以下，然后切断电源。对于分级绝缘的绕组，本试验仅按中性点端子规定的试验电压进行。因此，绕组的线端只耐受本标准 12.3 或 12.4 所述的感应耐压试验时的试验电压值。

全电压试验值应施加于被试绕组的所有连接在一起的端子与地之间，加压时间 60 s。试验时，其余绕组的所有端子、铁心、夹件、箱壳等连在一起接地。

如果试验电压不出现突然下降，则试验合格。

12 感应电压试验(ACSD 和 ACLD)

12.1 总则

12.2 和 12.3 分别适用于全绝缘和分级绝缘的短时感应耐压试验(ACSD)。对于 U_m=72.5 kV 且额定容量为 10 000 kVA 及以上和 U_m>72.5 kV 的变压器，ACSD 试验一般要进行局部放电测量。在整个试验期间进行局部放电测量，对制造厂以及用户而言，确是一种有用的方法。试验时测量局部放电可以显示绝缘在发生击穿之前的缺陷。本试验用来验证变压器在运行条件下无局部放电。

也可要求 ACSD 试验期间不进行局部放电测量，但这应在定货和询价阶段中说明。

12.4 适用于全绝缘和分级绝缘的长时感应电压试验(ACLD)。在整个试验期间，一直进行局部放电测量。

在变压器一个绕组的端子上施加交流电压，其波形应尽可能接近正弦波。为了防止试验时励磁电流过大，试验时的频率应适当大于额定频率。

应测量感应试验电压的峰值，试验电压值应是测量电压的峰值除以$\sqrt{2}$。

除非另有规定，当试验电压频率等于或小于 2 倍额定频率时，其全电压下的试验时间应为 60 s。当试验频率超过两倍额定频率时，试验时间应为：

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

$$120 \times \frac{\text{额定频率}}{\text{试验频率}} \quad \text{(s)，但不少于 15 s}$$

12.2 高压绕组为全绝缘的变压器短时感应耐压试验(ACSD)[1]

所有三相变压器应使用对称三相电源进行试验。如果变压器有中性点端子，则试验期间应将其接地。对具有全绝缘绕组的变压器，只进行相间试验。相对地的试验按第 11 章外施耐压试验进行。

根据 U_m 值的高低，本试验将按 12.2.1 或 12.2.2 进行。

12.2.1 $U_m<72.5$ kV 和 $U_m=72.5$ kV 且额定容量小于 10 000 kVA 的变压器

相间试验电压应不超过表 2 中所规定的额定感应耐受电压，通常在变压器不带分接绕组两端之间的试验电压应尽可能接近额定电压的 2 倍。在本试验中一般不进行局部放电测量。

试验应从不大于规定试验电压值的 1/3 的电压开始，并应与测量相配合尽快地增加到试验值。试验完了，应将电压迅速降低到试验电压的 1/3 以下，然后切断电源。

如果试验电压不出现突然下降，则试验合格。

12.2.2 $U_m=72.5$ kV 且额定容量为 10 000 kVA 及以上和 $U_m>72.5$ kV 的变压器

如无其他协议，所有这些变压器均应进行局部放电测量。相间试验电压应不超过表 2 中所规定的额定感应耐受电压。通常在变压器不带分接绕组两端之间的试验电压应尽可能接近额定电压的 2 倍。

应按图 1 所示的施加电压的时间顺序来检测局部放电性能。

为了不超过表 2 中的相间额定耐受电压值，局部放电测量电压 U_2 应为：

相对地： $1.3U_m/\sqrt{3}$；

相间： $1.3U_m$。

附录 D(标准的附录)的表 D1 中列出了由表 2 得出的试验电压 U_1 和合适的 U_2 值。

以下的电压仅指对地的，它应为：

——在不大于 $U_2/3$ 的电压下接通电源；

——上升到 $1.1U_m/\sqrt{3}$，保持 5 min；

——上升到 U_2，保持 5 min；

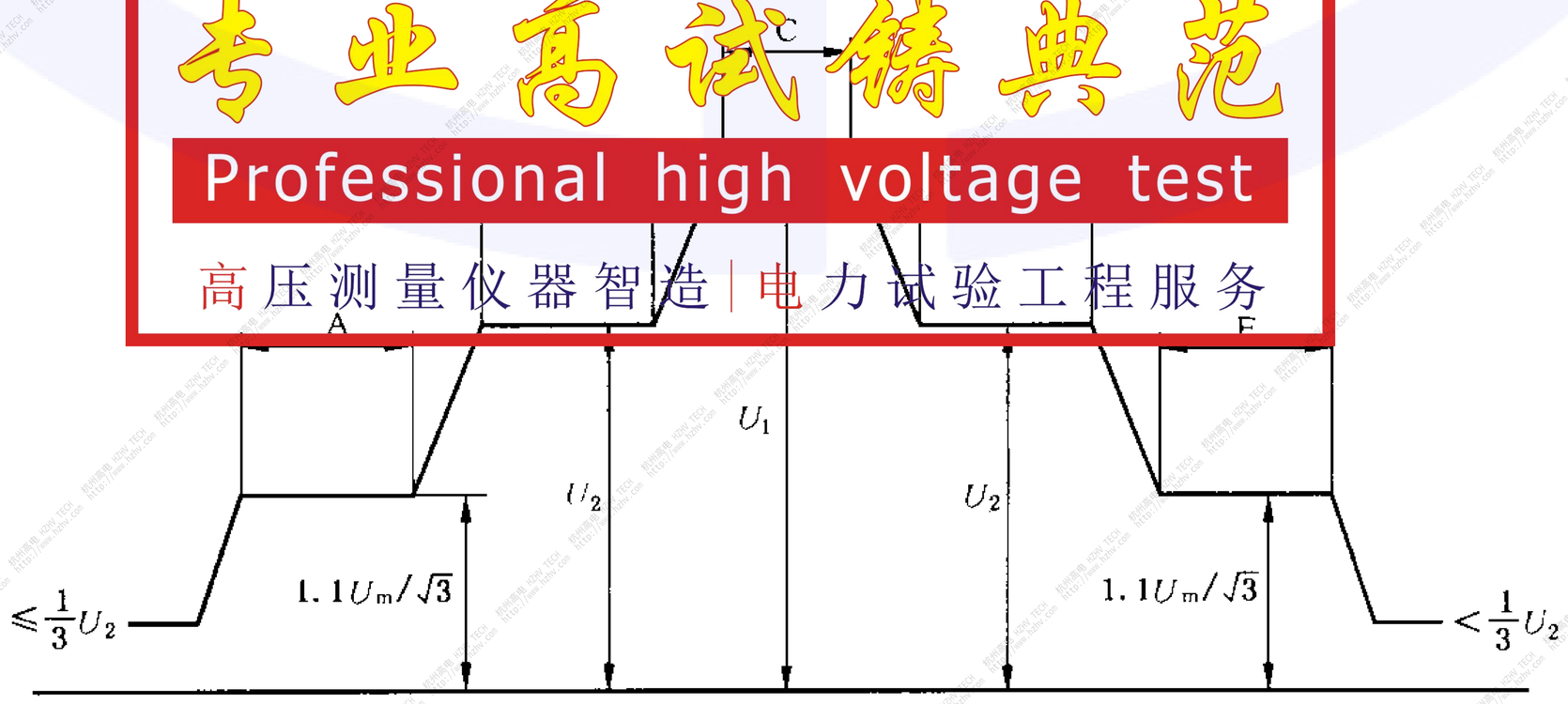
——上升到 U_1，其持续试验时间按 12.1 规定；

——试验后立刻不间断地降低到 U_2，并至少保持 5 min，以便测量局部放电；

——降低到 $1.1U_m/\sqrt{3}$，保持 5 min；

——当电压降低到 $U_2/3$ 以下时，方可切断电源。

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



A＝5 min；B＝5 min；C＝试验时间；D≥5 min；E＝5 min

图 1 施加对地试验电压的时间顺序

采用说明：

1] IEC 标准关于对 $U_m=72.5$ kV 的变压器进行局部放电测量的要求与我国不同，故按我国国情对 12.2.1 和 12.2.2的标题予以修改。

在电压上升至 U_2 和从 U_2 下降的过程中，可能出现局部放电的起始电压和局部放电熄灭电压，应予记录。

背景噪声水平应不大于 100 pC。

注：为了保证能检测并记录局部放电的起始和熄灭电压，推荐背景噪声水平远低于 100 pC。上述在 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 下的 100 pC 是该试验可接受的值。

如果符合以下情况，则试验合格：

——试验电压不出现突然下降；

——在 U_2 下的第二个 5 min 期间，所有测量端子上的“视在电荷量”的连续水平不超过 300 pC；

——局部放电特性无持续上升的趋势；

——在 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 下的视在电荷量的连续水平不超过 100 pC。

当实测的局部放电值不能满足验收判断准则时，应由制造厂与用户就进一步调查进行协商，见附录 A(提示的附录)。此时，还可以进行长时感应电压试验(见 12.4)。如果变压器满足 12.4 的要求，应认为试验合格。

12.3 高压绕组为分级绝缘的变压器短时感应耐压试验(ACSD)

对于三相变压器，要求两种试验，即：

a) 带有局部放电测量的相对地试验，相对地的额定耐受电压按表 2 或表 3；

b) 带有局部放电测量的中性点接地的相间试验，相间额定耐受电压按表 2 或表 3。试验应按 12.2.2进行。

单相变压器只要求进行相对地试验。本试验通常是在中性点端子接地的情况下进行。如果绕组之间的电压比可通过分接来改变，这就可以用来尽可能同时满足不同绕组上的试验电压条件。在特殊情况下(见第 6 章)，中性点端子上的电压可用将其连接到一台辅助的增压变压器上的办法加以提高，此时，中性点应按此进行相应的绝缘。

三相变压器试验顺序包括三次逐相施加单相试验电压，每次的绕组接地点是不同的。图 2 所示的推荐的试验连接法能避免线路端子之间有过高的过电压。此外，还有其他可行的连接方法。

变压器中其余的独立绕组，如为星形联结，应将其中性点接地，如为三角形联结，应将其中的一个端子接地。

试验时，每匝电压随试验连接法不同，所达到的值也不相同。选择合适的试验接线方法，应根据变压器与运行条件有关的特性或受试验设备的限制而定。试验时间和施加试验电压的时间顺序应按12.1和12.2.2。

为评估局部放电特性，在相间试验时，宜在 $U_2=1.5U_m$ 下进行测量。

注[1]：对于 $U_m=363$ kV 及更低的 U_m，$U_2=1.5U_m$ 是合适的。对于 $U_m=550$ kV，为了不超过表 3 规定的耐受电压，局部放电测量电压应降低到 $U_2=1.4U_m$。

对于相对地绝缘的三次单相试验，试验电压 U_1 按表 2 或表 3，而 $U_2=1.5U_m/\sqrt{3}$。附录 D(标准的附录)的表 D.2 中给出了示例。

注[2]

1 在变压器绕组布置复杂的情况下，为使试验尽可能代表实际运行中的电气作用强度的真实组合，建议制造厂与用户在合同签字阶段中对试验时所有绕组的全部接线进行审查。

2 补充的对称三相电压感应耐压试验，会在相间产生更高的电磁强度。如果规定了该试验，则相间的空气间隙必须作相应的调整，并且要在合同签字阶段中给出此规定。

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

采用说明：

1] IEC 标准中该注的内容不完全符合我国实际情况，本标准予以修改。

2] IEC 标准的注 3 不适用于我国国情，故本标准未列出。

如果试验电压不出现突然下降，且又满足带有如下修改的 12.2.2 局部放电测量要求，则试验合格：

对于单相试验，在 $U_2=1.5U_m/\sqrt{3}$ 下，所有测量端子上的“视在电荷量”的连续水平在第二个 5 min 期间不超过 500 pC，或者，对于相间试验，在 $U_2=1.3U_m$ 下不超过 300 pC，或可能要求在 $1.2U_m$ 时有一个相当低的视在电荷量的协商值。

分级绝缘变压器单相感应耐压试验的连接方法见图 2。

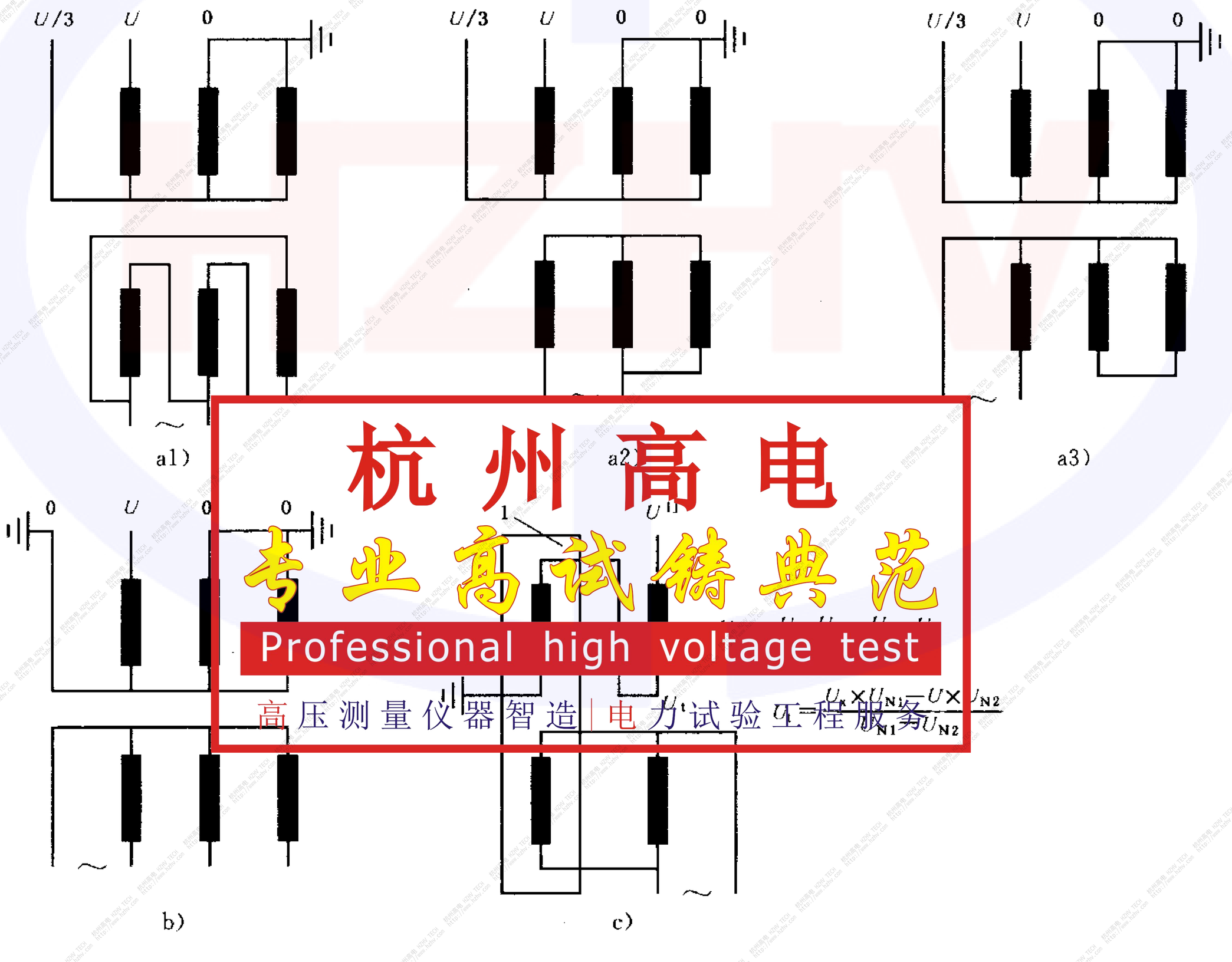
当中性点端子设计成至少可耐受 $U/3$ 的电压时，可采用联结法 a)。图中表示了发电机连接到低压绕组的三种不同方法。如果变压器具有不套绕组的磁回路(壳式或五柱铁心)，则只有 a1)可采用。

如果三相变压器具有不套绕组并作为被试心柱磁通流过的磁回路，则推荐用联结法 b)。如变压器有三角形联结的绕组，则试验期间三角形联结的绕组必须打开。

联结法 c)表示一台辅助增压变压器对被试自耦变压器的中性点端子给予支撑电压 U_1。两个自耦联接的绕组的额定电压为 U_{N1}、U_{N2}，其相应的试验电压为 U、U_x。这种联接也可用于一台套有绕组磁回路且其中性点绝缘小于 $U/3$ 的三相变压器。

12.4 高压绕组为分级绝缘和(或)全绝缘的变压器长时感应电压试验(ACLD)

一台三相变压器，既可以按图 3 用单相连接的方式逐相地将电压加在线路端子上进行试验，也可以采用对称三相连接方式进行试验。采用后一种方式时，需要特别注意有关问题，见下面注 1。



1… 辅助增压变压器

U — 按表 2 或表 3 规定的相对地感应试验电压

图 2 分级绝缘变压器单相感应耐压试验(ACSD)的连接方法

采用说明：

1) IEC 原文图形和公式中的符号标注均有误，本标准予以更正。

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

一台由低压绕组向具有三角形联结的高压绕组供电的三相变压器，可能承受到只在如下所述的具有浮电位高压绕组的三相试验中的试验电压。由于该试验中的对地电压值完全取决于对地及对其他绕组的相电容，故对于表1中的$U_m \geqslant 245$ kV的变压器，不推荐这种试验。从一个线端出现的任何对地闪络，由于瞬时的高电压，可能导致其他两相受到较大的损伤。对这一类型的变压器，最好是采用按图3所示的单相连接方式，逐相地将电压施加于三相变压器的所有三个相上。

三角形联结绕组的逐相试验意味着每个线端及它所连接的绕组要进行两次试验。由于本试验是质量控制试验而不是设计验证试验，因此，本试验可以在线端重复进行而不使绝缘受损伤。

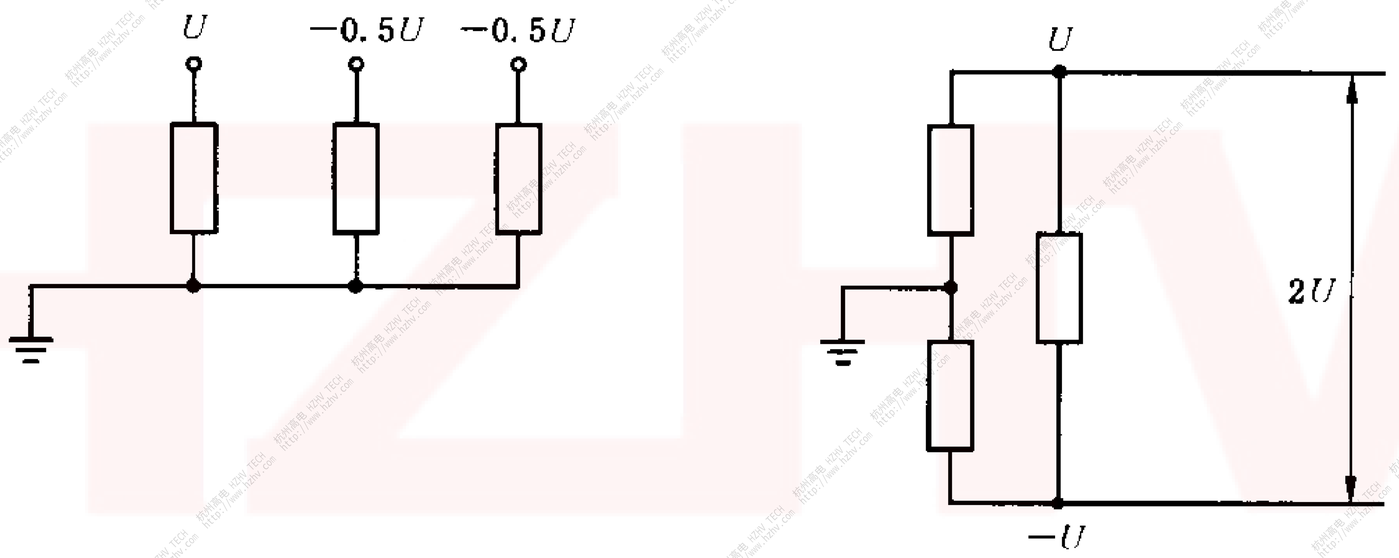
被试绕组的中性点端子(如果有)应接地。对于其他的独立绕组如为星形联结，应将其中性点端子接地；如果为三角形联结应将其一个端子接地，或通过电源的中性点接地。除非另有规定，带分接的绕组应连接到主分接。

试验接线方案(三相或单相)应在定货时由制造厂与用户协商确定。

注

1 如果三相星形联结的变压器用三相连接法进行试验，则相间试验电压高于单相连接法。这可能影响相间绝缘的设计，且将要求有较大的外部间隙。

2 如果三相三角形联结的变压器用单相连接法进行试验，则相间试验电压高于三相连接法。这可能影响相间绝缘的设计。



Y联结　　D联结

图3 星形或三角形联结三相变压器的逐相试验

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

电压应为：

——在不大于$U_2/3$的电压下接通电源；

——上升到$1.1U_m/\sqrt{3}$，保持5 min；

——上升到U_1，保持5 min；

——上升到U_2，其持续试验时间按12.1规定；

——试验后立刻不间断地降低到U_2，并至少保持60 min(对于$U_m \geqslant 300$ kV)或30 min(对于$U_m < 300$ kV)，以便测量局部放电；

——降低到$1.1U_m/\sqrt{3}$，保持5 min；

——当电压降低到$U_2/3$以下时，方可切断电源。

试验持续时间与试验频率无关，但电压U_1下的试验时间除外。

在施加试验电压的整个期间，应监测局部放电量。

对地电压值应为：

$U_1 = 1.7U_m/\sqrt{3}$；

$U_2 = 1.5U_m/\sqrt{3}$。

注：对于变压器可能遭受严重过电压的网络情况，U_1和U_2值可分别为$1.8U_m/\sqrt{3}$和$1.6U_m/\sqrt{3}$，该要求应在询价时

明确提出。

背景噪声水平应不大于 100 pC。

注：为了保证能检测并记录局部放电的起始和熄灭电压，推荐背景噪声水平远低于 100 pC。上述在 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 下的 100 pC 是该试验可接受的值。

局部放电的观察和评估如下所述。更详细的资料可从源于 GB/T 7354 的附录 A（提示的附录）获得。

——应在所有分级绝缘绕组的线路端子上进行测量。对自耦联接的一对绕组的较高电压和较低电压的线路端子应同时测量；

——接到每个所用端子的测量通道，都应在该端子与地之间施加重复的脉冲波来校准，这种校准是用来对试验时的读数进行计量的。在变压器任何一个指定端子上测得的视在电荷量，应是指最高的稳态重复脉冲并经合适的校准而得出的。偶然出现的高幅值局部放电脉冲可以不计入。在每隔任意时间的任何时间段中出现的连续放电电荷量，若不大于 500 pC，是可以接受的，只要此局部放电不出现稳定的增长趋势；

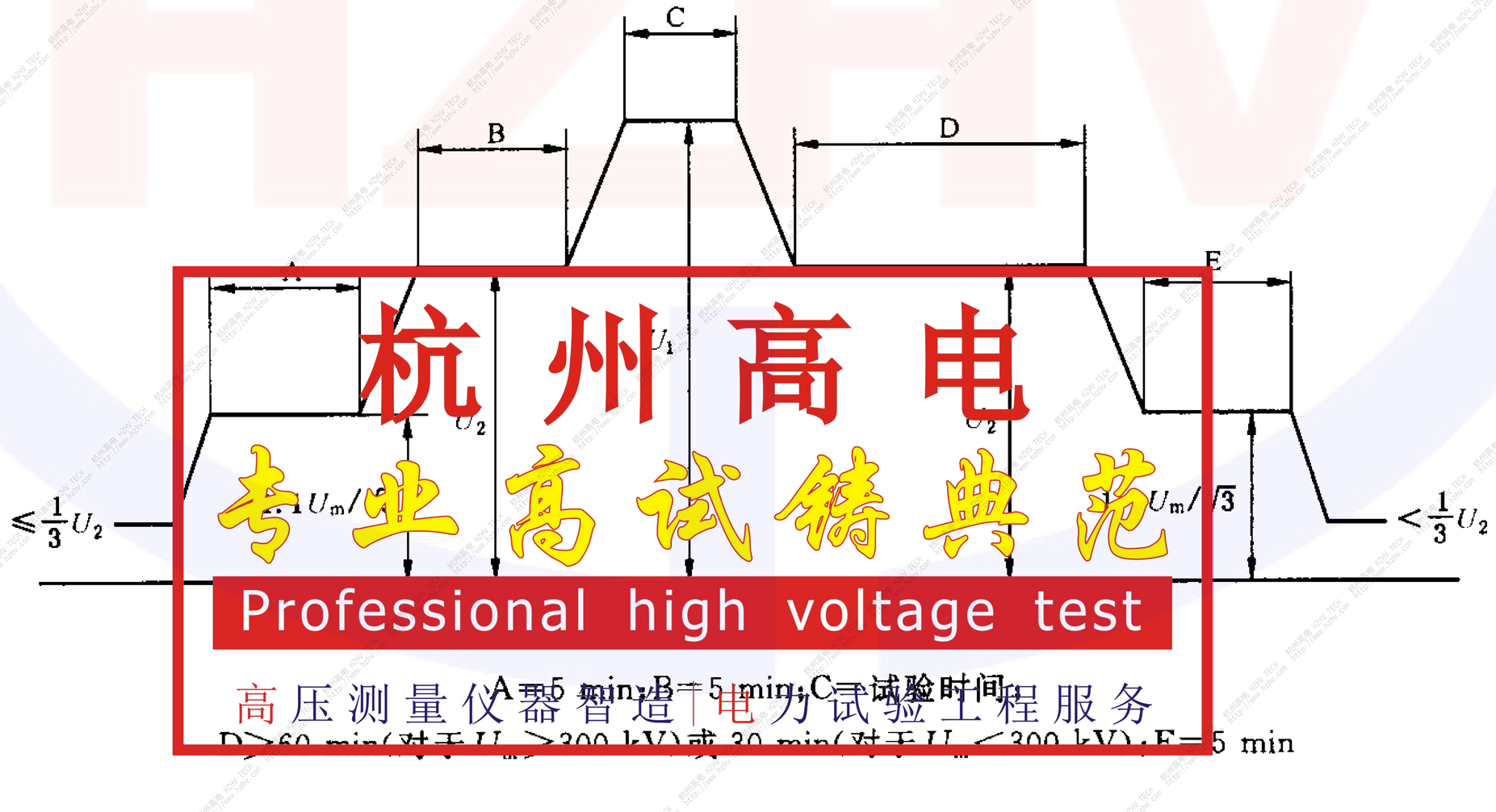
——在施加试验电压的前后，应记录所有测量通道上的背景噪声水平；

——在电压上升到 U_2 及由 U_2 下降的过程中，应记录可能出现的起始电压和熄灭电压。应在 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 下测量视在电荷量；

——在电压 U_2 的第一阶段中应读取并记录一个读数。对该阶段不规定其视在电荷量值；

——在施加 U_1 期间内不要求给出视在电荷量值；

——在电压 U_2 的第二个阶段的整个期间，应连续地观察局部放电水平，并每隔 5 min 记录一次。



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

图 4　长时感应试验的施加试验电压的时间顺序

如果满足下列要求，则试验合格：

——试验电压不产生突然下降；

——在 U_2 下的长时试验期间，局部放电量的连续水平不大于 500 pC；

——在 U_2 下，局部放电不呈现持续增加的趋势，偶然出现的较高幅值脉冲可以不计入；

——在 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 下，视在电荷量的连续水平不大于 100 pC。

只要不产生击穿并且不出现长时间的特别高的局部放电，则试验是非破坏性的。当局部放电不能满足验收判断准则时，用户不应简单地断然拒绝验收，而应与制造厂就下一步的研究工作进行协商。有

关这方面的建议在附录 A(提示的附录)中给出。

试验中,因套管引起的困难问题,见第 4 章。

13 雷电冲击试验(LI)

13.1 总则

当有要求时,仅在其端子从变压器油箱或箱盖处引出的绕组上进行雷电冲击试验(LI)。

有关冲击试验各术语的一般定义、对试验线路的要求以及对认可测量设备的性能试验和例行检查见 GB/T 16927.1。更详细的信息见 GB/T 7449。

油浸式变压器的试验电压通常是负极性,以减少试验线路中出现异常的外部闪络危险。

试验期间,套管的火花间隙可以拆除或将其距离增大,以免闪络。

当变压器内部或外部安装了限制传递瞬变过电压用的非线性元件或避雷器时,对于每一种特定情况下的冲击试验程序,应事先进行讨论。如果在试验过程中存在这种元件,则此时的试验记录判断(见 13.5)可能与正常的冲击试验不同。正是由于非线性保护装置的独特特性,当其与绕组并联时会使降低电压全波冲击示波图与全电压全波冲击示波图不同。为了证明示波图的差异确是由这些保护装置动作所引起的,应在两个或更多的不同电压值下进行降低电压全波冲击试验,以表明此动作所引起的波形变化趋势。为了表明非线性效应的可逆性,应在全电压全波冲击试验完了后,也进行几次不同电压值的降低电压全波冲击试验,这些降低电压值应与试验电压逐次上升到全电压全波冲击试验过程中所用的几个电压降低值相同。

如:60%、80%、100%、80%、60%。

试验冲击波应是标准雷电冲击全波:(1.2 μs±30%)/(50 μs±20%)。

有时由于绕组电感小或对地电容大,这种标准冲击波形不能用合适的方法得到,因而冲击波往往是振荡的。此时,经制造厂与用户协商,可允许有较大的偏差(见 GB/T 7449)。

冲击波形问题也可以在试验期间选用某一合适的接地方法来解决(见 13.3)。

应保持校准时和全电压试验时的冲击线路及测量接线不变。

注:GB/T 7449 给出关于波形计算的信息,是根据示波图、技术规则和一些波形参数的目测值得出的。目前,由于在电力变压器的高电压冲击试验中采用了按 GB/T 16896.1 和 IEC 61083-2 规定的数字记录仪,可以明确地告知非标准波形的峰值和时间参数。

尤其是当试验大容量变压器的低压绕组时,由于产生了频率低于 0.1 MHz 的单极尖峰,对于这种非标准波形的峰值计算,IEC 61083-2 已不适用了,因为数字测试仪的内置曲线平滑计算法已观测到了曲线误差超过 10%。在这种情况下,需采用特殊的技术判断法,对记录数据示波图进行详细的计算。推荐使用峰值电压表同时测量电压峰值。

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

13.2 试验顺序

试验顺序包括电压为 50%~75%全试验电压的一次冲击及其后的三次全电压的冲击,如果在任何一次冲击下,在线路中或在套管间隙处产生了外部闪络,或者在任何规定测量通道上的示波记录图失效,则这一次冲击不应计入,并需重新施加一次。

注:可以使用不大于 50%全电压的多次冲击,但不必在试验报告中指出。

13.3 试验时的连接

13.3.1 在线路端子上试验时的连接

冲击试验的顺序是将冲击波连续地施加到被试绕组的每一个线路端子上。对于三相变压器,绕组的其他线路端子应直接接地或通过一个不超过所连接的线路波阻抗的低阻抗接地。

如果绕组有中性点端子,则该中性点端子应直接接地或通过一个低阻抗(例如测量电流用的分流器)接地。油箱也应接地。

当试品为独立绕组变压器时,所有非被试绕组的端子均应直接接地或通过阻抗接地,以使在任何情况下,在这些端子上产生的电压被限制到不大于其额定雷电冲击耐受电压的 75%(对星形联结绕组)或

50%(对三角形联结绕组)。

如试品为自耦变压器,当对高压绕组的线路端子试验时,如果公共绕组的线路端子为直接接地或通过测量电流用的分流器接地,则不可能较好地获得标准的冲击波形。当试验公共绕组的线路端子时,如果高压绕组线端接地,也有同样的情况。此时,允许将这些不试的线路端子通过不大于400 Ω的电阻接地。此外,在不试线路端子上出现的对地电压应不超过其额定雷电冲击耐受电压的75%(对星形联结绕组)或50%(对三角形联结绕组)。

在低阻抗绕组的冲击试验中,欲在被试线路端子上得到正确的冲击波形可能是困难的,此时,有较大的偏差也是可以接受的(见13.1)。将受试相的非被试端子通过电阻接地可能简化这一问题。此电阻值的选择,应使在这些端子上所产生的电压被限制到不大于其额定雷电冲击耐受电压的75%(对星形联结绕组)或50%(对三角形联结绕组)。此外,在签订合同时,经双方协商,也可采用传递冲击波的方法,见13.3.3。

除上述主要方法外,其他见13.3.2和13.3.3。

13.3.2 中性点端子上的冲击试验

当一个绕组的中性点端子规定了额定冲击耐受电压时,可用如下的试验进行检验:

a) 间接施加法

冲击试验时,冲击波施加于任一线路端子上或三相绕组连接在一起的全部三个线路端子上。中性点端子通过一个阻抗接地或开路,当一个标准的雷电冲击波施加于线路端子时,在中性点端子上所产生的电压幅值应等于该中性点端子本身的额定耐受电压值,对其上的冲击波形不作规定。对施加于线路端子的冲击电压峰值不作规定,但它应不大于该线路端子的额定雷电冲击耐受电压的75%;

b) 直接施加法

将峰值等于中性点的额定耐受电压的冲击波直接施加于中性点端子上,此时所有的线端均应接地。在这种情况下,允许波前时间较长,但不大于13 μs。

13.3.3 低压绕组的传递冲击波试验方法

当低压绕组在运行中不会遭受来自低压系统的雷电过电压时,经制造厂与用户协商,该绕组可以用由高压绕组传递来的冲击波进行试验。

此外,当直接对低压绕组施加冲击波时,高压绕组可能受到过高的电压,尤其是当调压范围大的带分接的绕组在结构上靠近低压绕组时更是这样。此时最好采用传递冲击波方法。

当采用传递冲击波方法时,低压绕组的试验应与相邻的较高电压绕组的冲击试验同时进行。低压绕组的线端通过电阻接地,其电阻值应使线路端子与地之间,或不同的线端之间,或一个相绕组的两端之间的传递冲击电压峰值尽可能高,但不超过其额定冲击耐受电压。施加的冲击波峰值应不超过被施加绕组的额定耐受冲击电压。

有关本试验的详细程序,应在试验前协商确定。

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

13.4 试验记录

在试验及校正时所得到的示波图或数字记录,应能清楚地表明施加电压的冲击波形(波前时间、半峰值时间和峰值)。

至少还要使用一个测量通道。在大多数情况下,记录被试绕组流向地中的中性点电流或传递到非被试短路绕组的电容电流的示波图,将具有最好的示伤灵敏度。记录从油箱流向地的电流或非被试绕组中的传递电压,也是一种可供选择的测量方法。所选择的检测方法应由制造厂与用户协商确定。

有关示伤判断、合适的扫描时间等,在GB/T 7449中给出。

13.5 试验判断准则

如果在降低的试验电压下所记录的电压和电流瞬变波形图与在全试验电压下所记录的相应的瞬变波形图无明显差异,则绝缘耐压试验合格。

详细地解释示波图或数字试验记录,并把真实的故障记录与外部干扰区别开来,都需要熟练的技能

和丰富的经验。详细的资料在 GB/T 7449 中给出。

如果对示波图或数字记录之间可能存在差异的解释有疑问时，则应再施加三次全电压的冲击波，或者在该端子上重作全部冲击试验。如果没有发现差异扩大，则应认为试验合格。

试验中可以采用辅助观察（如异常声音等），可用它来验证所得到的示波图或数字记录，但辅助观察办法本身不能作为直接证据。

比较降低电压与全电压下的两个电流示波图，若它们之间有任何差异时，可能表示试品有故障或由于非致伤原因所引起的波形偏离。为此，还可能要用降低电压和全电压进行新试验，以便作充分的调查和解释。由于保护装置动作、铁心饱和或由于变压器外部的试验线路状态变动，也可能产生波形差异。

14 波尾截断的雷电冲击试验（LIC）

14.1 总则

本试验是专门用来对一个绕组的线端进行的型式试验[1]，试验应按下述的方法与雷电全波冲击试验结合起来进行，截波冲击耐受电压的峰值见表 2 或表 3。

通常，其所用的冲击电压发生器和测量设备与全波冲击试验所用的相同，只是增加一个截断间隙。标准雷电截波冲击的截断时间应在 2 μs～6 μs 之间。

可用不同的扫描时间来记录波尾截断的雷电冲击波。

14.2 截断间隙和截断特性

推荐使用可以调节时间的触发式截断间隙，也允许使用简单的棒对棒间隙。截断线路的布置应使被记录的冲击波的反极性峰值被限制在不大于截波冲击峰值的 30%。截断回路中通常接入阻抗 Z 以维持该限值。

14.3 试验顺序和试验判断准则

如上所述，截波冲击试验和全波冲击试验能合并成一个单一的试验顺序，各种冲击波的施加顺序推荐如下：

——一次降低电压的全波冲击；

——一次全电压的全波冲击；

——一次或多次降低电压的截波冲击；

——两次全电压的截波冲击；

——两次全电压的全波冲击。

试验中所采用的测量通道及示波图或数字记录与全波冲击试验相同。

原则上，截波冲击试验时的故障判断主要取决于全电压截波冲击下和降低电压截波冲击下的示波图的比较。此时中性点[illegible]全波的波前所引起的瞬变现象和截断后所引起的瞬变现象的叠加。因此，应当考虑截断时延可能出现的变化，尽管此变化微小，振荡图形的后面部分将因此也发生变化，且由这一效应所产生的示波图变化很难与故障下的示波图区分开来。但截断后的频率变化必须阐述清楚。

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

后续的全电压全波冲击试验的记录作为一种补充的故障判断，但其本身不能作为截波冲击试验的质量判断依据。

15 操作冲击试验（SI）

15.1 总则

有关冲击试验术语的一般定义、对试验线路的要求以及对认可的测量设备的性能试验和例行检查

采用说明：

1] IEC 标准规定截波冲击试验为特殊试验，而在我国该项目则为型式试验，故此处按我国实际情况予以修改。

均见 GB/T 16927.1 和 GB/T 16927.2，更详细的信息见 GB/T 7449。

冲击波是由冲击电压发生器直接施加到被试线路端子上，或者施加到较低电压的绕组上，通过感应将试验电压传递到被试绕组上。在线路端子和地之间出现的电压值应为规定的试验电压值。中性点应接地。在一台三相变压器中，试验时线路端子之间产生的电压应近似为线端与中性点端子之间的电压的 1.5 倍(见 15.3)。

试验电压通常是负极性，以减小试验线路中出现异常的外部闪络危险。

变压器的各个绕组两端产生的电压，实质上是与它们的匝数比成正比，而试验电压将由具有最高的 U_m 值的绕组来确定(见第 6 章)。

冲击电压波形的视在波前时间至少为 100 μs，超过 90%规定峰值的时间至少为 200 μs，从视在原点到第一个过零点的全部时间至少为 500 μs，最好为 1 000 μs。

注：这个冲击波形是有意选择的，它与 GB/T 16927.1 所推荐的 250 μs/2500 μs 标准波形不同，因为 GB/T 16927.1 适用于具有不饱和磁路的设备。

波前时间应由制造厂选择。其值应使沿着被试绕组的电压分布实际上是线性的，它通常大于 100 μs但小于 250 μs。试验时磁路中会出现可观的磁通密度。冲击电压可以持续到铁心达到饱和，且变压器的励磁阻抗明显降低的瞬间。

最大可能持续的冲击时间可以用在每次全电压冲击试验之前引入反极性剩磁的办法来增加。这可用波形类似但极性相反的较低电压的冲击波或短时接通直流电源的方法来实现。见 GB/T 7449。

对分接位置选择的建议，见第 8 章。

15.2 试验顺序及记录

试验应包括一次 50%～75%全试验电压下的冲击(校正冲击波)和三次连续的 100%的全试验电压下的冲击。如果示波图或数字记录有问题，则这一次冲击可以不计并补加一次冲击。示波图或数字记录至少应记录被试线路端子上的冲击波形图，最好还应记录中性点电流。

注：由于冲击期间磁饱和的影响，连续的示波图是不同的，而且降低电压和全电压试验记录也是不完全相同的。为了限制这个影响，在相同的试验电压下的各次冲击试验后，需在相反极性的降低电压下进行去磁冲击。

15.3 试验时的连接

试验时，变压器应处于空载状态。试验中不使用的绕组应在其某一点处牢固接地，但不使其短路。对于单相变压器，被试绕组的中性点端子应牢固接地。

三相绕组应在其中性点端子接地时逐相地进行试验。变压器的连接应使其余的两个(可以连接在一起)非试线路端子上均产生一个反极性的电压，且其幅值均为 1/2 的施加电压。

为使反极性电压限制到施加电压的 50%，应将在非被试相的端子上连接接地的高值电阻器(10 kΩ～20 kΩ)。

套管火花间隙及限制过电压的补充方法等均按雷电冲击试验有关规定处理，见 13.1。

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

15.4 试验判断准则

如果示波图或数字记录仪中没有指示出电压突然下降或中性点电流中断，则试验合格。

试验期间的辅助观察(如异常的声音等)可用来验证示波图和数字记录，但这些辅助观察本身不能作为直接的证据。

16 外绝缘空气间隙

16.1 总则

本标准所指的空气间隙应理解为其静电场不受套管结构的影响。本标准不涉及套管本身的闪络距离或其表面爬电距离；也不考虑鸟类或其他兽类带来的使其距离减小的影响。

当确定本标准在更高电压范围内的要求时，通常认为套管端部电极表面是光滑的。

本标准的间隙要求，对于两个圆角化的电极之间的间隙是适用的。本标准认为导线夹持件和其屏

蔽罩形状合适，不会降低原有的闪络电压；还认为进线布置也不会使变压器原有的有效空气间隙减小。

注：如果用户用特殊的连接方法，以致减小变压器原有的有效空气间隙时，则应在询价时提出。

通常，在较高的系统电压，特别是在单台容量小或安装空间有限制的情况下，欲规定有足够裕度的空气间隙值可能有一定的技术困难。本标准采用的原则是：提供一个最小的、无危险的间隙，不必再用论证或试验的方法来检验它们在各种系统条件下和不同气候条件下是否有足够的安全性；根据以往经验和现行实践而采用的其他间隙值，应由用户与制造厂协商确定其是否合适。

除非在询价和定货时另有规定，本标准所推荐的空气间隙均是按变压器内绝缘的额定耐受电压值制定的。当变压器的外绝缘空气间隙不低于本标准规定值，且套管已按 GB/T 4109 的要求选择时，则不需进行变压器的外绝缘试验，即认为其空气间隙已满足外绝缘的要求。

注[1]

1 外绝缘的冲击耐受强度与电压极性有关，而内绝缘则相反。规定的变压器内绝缘试验，一般不能自动地证明其外绝缘也满足要求。本标准所推荐的空气间隙是按更严格的正极性确定的。

2 如果按合同采用了比规定值还要小的空气间隙时，则需要在模拟实际空气间隙布置的外绝缘模型上或在变压器本体上进行型式试验。为此，本标准也推荐了这些试验的试验程序。

如果变压器是在海拔高于 1 000 m 的地区运行时，其所需的空气间隙，应按每增加 100 m（对 1 000 m海拔而言），空气间隙值加大 1%来计算。

本标准给出了下述空气间隙的要求：

——相对地和相对中性点的空气间隙；

——同一绕组的相间空气间隙；

——高压绕组线路端子与较低电压绕组线路端子之间的空气间隙；

——中性点套管带电部分对地的空气间隙[2]。

按上述要求所推荐的空气间隙实际上是最小值。设计的空气间隙应在变压器外形图标出。它们是正常制造公差的标称值，在选择时应使实际空气间隙至少等于规定值。

这些规定应作为证明变压器符合本标准的推荐值或者符合合同所规定的修改值。

16.2 按变压器绝缘耐受电压确定套管空气间隙的要求

按绕组的 U_m 值高低，其要求分别如下所述：

16.2.1 $U_m \leqslant 170$ kV

相对地、相对中性点、相间以及相对较低电压绕组端子之间的空气间隙均采用相同的距离。

推荐的最小空气间隙在表 5 中给出，它们是按表 2 的额定耐受电压列出的。

如果需要对小于本标准推荐值的实际空气间隙进行型式试验，应进行正极性雷电冲击，在干燥的状态下施加 3 次冲击，试验电压按表 5。

注：如表 2 所示，按 GB 311.1 应验证是否需要一个较大的相间空气间隙值。

16.2.2 $U_m > 170$ kV

对于规定了操作冲击试验的 $U_m > 170$ kV 的变压器，所推荐的空气间隙列于表 6 中。

不论是否按表 3 规定的耐压值进行短时耐压试验，认为对变压器外绝缘的要求是相同的。

三相变压器的内绝缘是通过在被试相上施加负极性操作冲击耐受电压和在相间感应出 1.5 倍操作冲击耐受电压来进行检验的，见 GB 311.1。

对于外绝缘，对其相间耐受电压的规定有所不同。合适的试验程序包括相对地的正极性冲击和相间空气间隙的正、负极性冲击，见 16.2.2.3。表 6 中列出的空气间隙值已考虑了这些要求。

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

采用说明：

1] IEC 标准中的注 2 内容不符合我国实际情况，故本标准未列出。

2] IEC 标准无此规定，该内容是按我国的实际情况增加的。

16.2.2.1　相对地、相对中性点和同一绕组相间的空气间隙

高压套管端部对地(包括油箱、储油柜、冷却器及开关装置等)或对中性点端子的空气间隙由表6的第6栏确定。

不同相套管端部之间的空气间隙由表6的第7栏确定。

16.2.2.2　不同绕组线端之间的空气间隙

变压器不同绕组线端之间的空气间隙值应用操作冲击波和雷电冲击波分别进行检验。

不同绕组承受操作冲击电压的要求是在按操作冲击试验时,以不同绕组的两个线端之间所计算出的电位差为基础的。由此电位差便可求出其在操作冲击条件下所需的空气间隙值。当两个线端上的电压极性相反且它们的峰值比不大于2时,用图6的曲线求出其推荐的空气间隙值。在其他情况下,则用图5曲线求之。

注:如果将图5曲线与图6曲线对比,可以看出:在同一间隙值下,相间的耐受电压值比相对地高。这是由于在相间绝缘中,已假设两个线端上的电压极性相反,因而任一线端上的最大电场强度(主要由对地电位值决定)也就比较小,在上述考虑中,亦假定电极表面圆角化程度良好。

但是,当对高压绕组施加额定雷电冲击耐受电压值进行雷电冲击试验时,较低电压绕组的线端是接地的,故此空气间隙还应满足雷电冲击试验的要求。表6第8栏和图7均给出了与额定雷电冲击耐受电压相对应的空气间隙值。当这两个所要求的空气间隙值不同时,应取较大的空气间隙。

三相变压器进行操作冲击试验时,亦可在其他星形联结绕组的相间感应出一定的电压值。对此,应核对此时所需要的相间空气间隙是否要大于同一绕组只按16.2.1所列出的相间空气间隙。

16.2.2.3　型式试验程序

如果需要对小于本标准推荐值的实际空气间隙进行型式试验时,其所采用的试验程序应按如下所述:

对于相对地(或相对中性点端子,或对较低电压绕组线端)的空气间隙,应在干燥状态下进行操作冲击试验。用正极性电压施加于绕组(较高电压绕组)的线端上,与其相对的电极应接地。如果是三相绕组,其余不试的线端亦应接地。

注:当对一台三相变压器成品进行本试验有困难时,允许在一台模拟变压器实际外绝缘尺寸的模型上进行本试验。

对于三相变压器的相间空气间隙,亦应在干燥状态下进行操作冲击试验。试验时,两个线端上的施加电压峰值大小相等,均为规定试验电压的一半,但两个线端上的电压极性彼此相反,第三个线端接地。

相对地和相间试验电压组合列在表6中。

当两个边相套管端子的布置对中间相而言是对称时,下述两个施加电压的步骤进行外绝缘的相间操作冲击试验是足够的。第一步,将正极性操作冲击波施加于中间相上,负极性冲击波施加于任一边相上;第二步,将正极性操作冲击波施加于另一边相上,而中间相上。如果呈不对称布置时,为了进行本试验,可能需要更多的施加电压步骤。

每次试验应连续施加15次冲击电压,其波形应符合GB/T 16927.1规定的250/2500 μs波形。

注:上述相间空气间隙的操作冲击试验程序,与第15章所规定的变压器内绝缘操作冲击试验程序相比较,有几个方面是不相同的。因此,这两种试验程序是不能彼此代替的。

16.2.3　中性点套管带电部分对地的空气间隙[1]

表7中列出了110 kV～500 kV变压器的中性点套管带电部分对地的空气间隙推荐值。

如果需要对小于表7中所列推荐值的实际空气间隙进行型式试验时,应按16.2.1的有关规定进行。

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

采用说明:

1] IEC标准无此规定,该内容是按我国的实际情况增加的。

表 5　设备最高电压 $U_m \leqslant 170$ kV 电力变压器套管带电部分的相对地、相间、相对中性点及对低电压绕组端子的最小空气间隙推荐值[1]

系统标称电压/kV（方均根值）	设备最高电压 U_m/kV（方均根值）	额定雷电冲击耐受电压/kV（峰值）	最小空气间隙/mm
3	3.6	40	60*
6	7.2	60	90
10	12	75	125
15	17.5	105	180
20	24	125	225
35	40.5	200	340*
66	72.5	325	630
110	126	480	880

注：对于打“*”者，若用户在定货时提出要求，60 mm 可加大至 80 mm，340 mm 可加大至 365 mm。

表 6　设备最高电压 $U_m > 170$ kV 电力变压器套管带电部分的相对地、相间、相对中性点及对低电压绕组端子的最小空气间隙推荐值[2]

系统标称电压/kV（方均根值）	设备最高电压 U_m/kV（方均根值）	额定操作冲击耐受电压/kV（峰值）		额定雷电冲击耐受电压/kV（峰值）	最小间隙		
		相对地	相间		相对地/mm	相间/mm[a]	对其他绕组端子/mm[b]
220	252	850 950	1 050 1 175	850 950	1 500 1 900	1 800 2 250	1 600 1 800
330	363	950 1 050	1 425 1 675	1 175 1 425	2 300 2 700	2 650 3 100	1 950 2 200
500	550	1 050 1 175	1 675 1 800	1 425 1 550	3 100 3 700	3 500 4 200	2 650 2 850

注：　如果仅仅根据雷电冲击和感应耐压值，间隙值可能不同。

[a] 根据操作冲击耐受电压。

[b] 根据雷电冲击耐受电压，见 16.2.2。

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

采用说明：

1] 与 IEC 标准的差异见附录 E(提示的附录)中的 E5。

2] 与 IEC 标准的差异见附录 E(提示的附录)中的 E6。

表 7　中性点套管带电部分对地的空气间隙推荐值[1]]

系统标称电压/kV（方均根值）	设备最高电压 U_m/kV(方均根值)	中性点接地方式	中性点额定雷电冲击耐受电压/kV(峰值)	中性点额定短时工频耐受电压/kV(方均根值)	最小空气间隙/mm
110	126	不直接接地	250	95	450
220	252	直接接地	185	85	340
		不直接接地	400	200	760
330	363	直接接地	185	85	340
		不直接接地	550	230	1 050
500	550	直接接地	185	85	340
		不直接接地	325	140	630

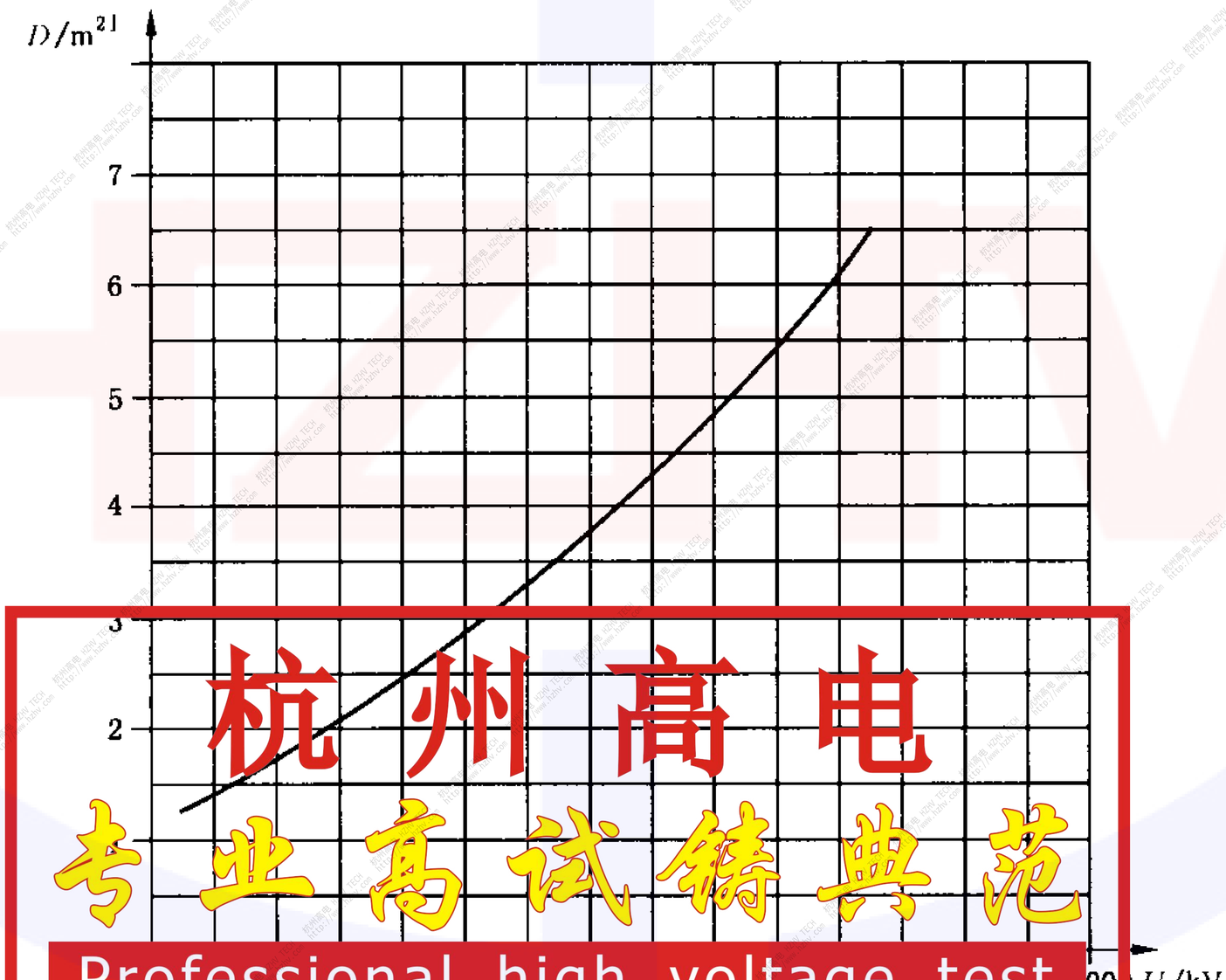


图 5　根据额定操作冲击耐受电压的相对地空气间隙

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

采用说明：

1] 与 IEC 标准的差异见附录 E(提示的附录)中的 E7。

2] IEC 原文图中为 mm(有误)，本标准予以更正。

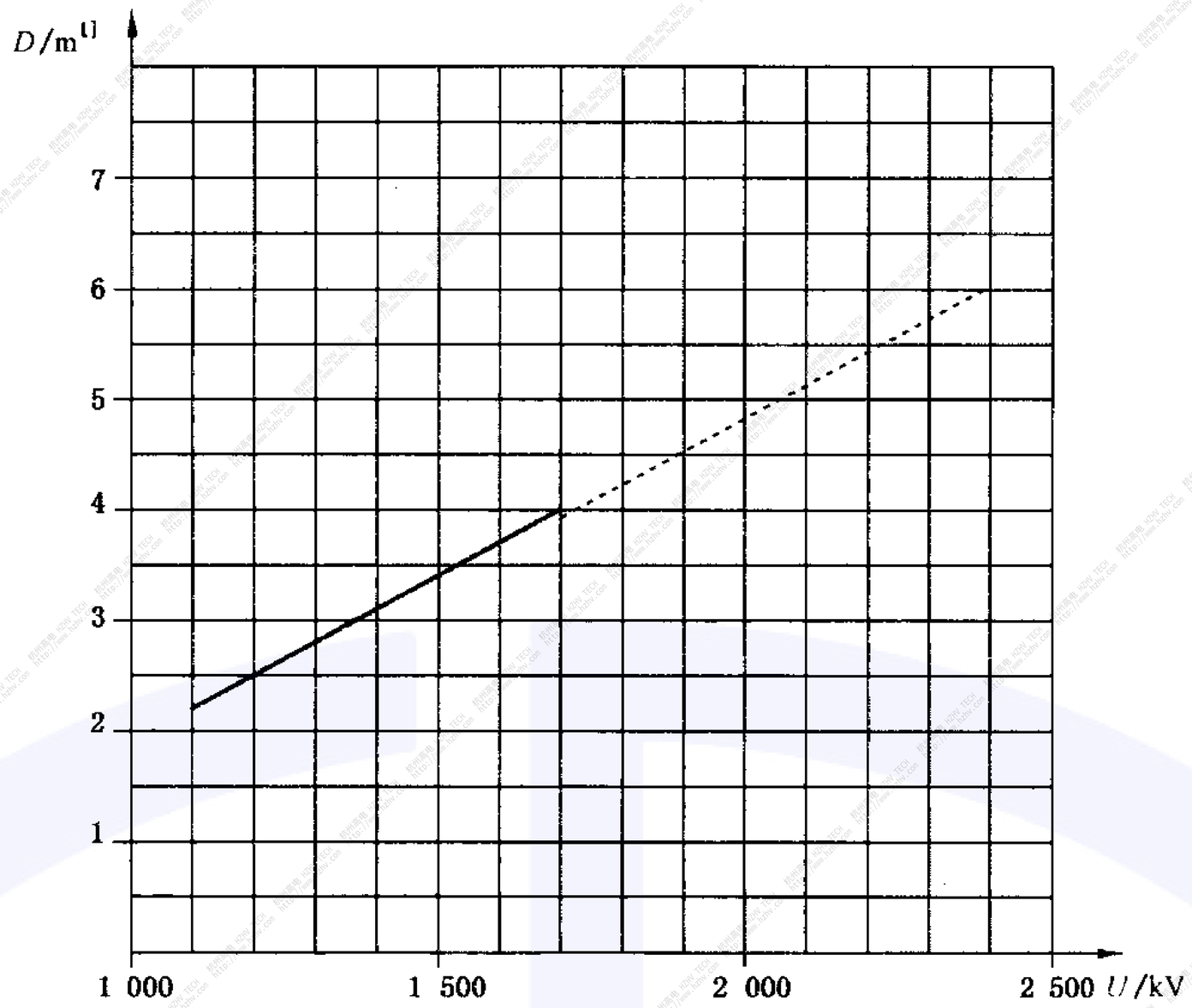
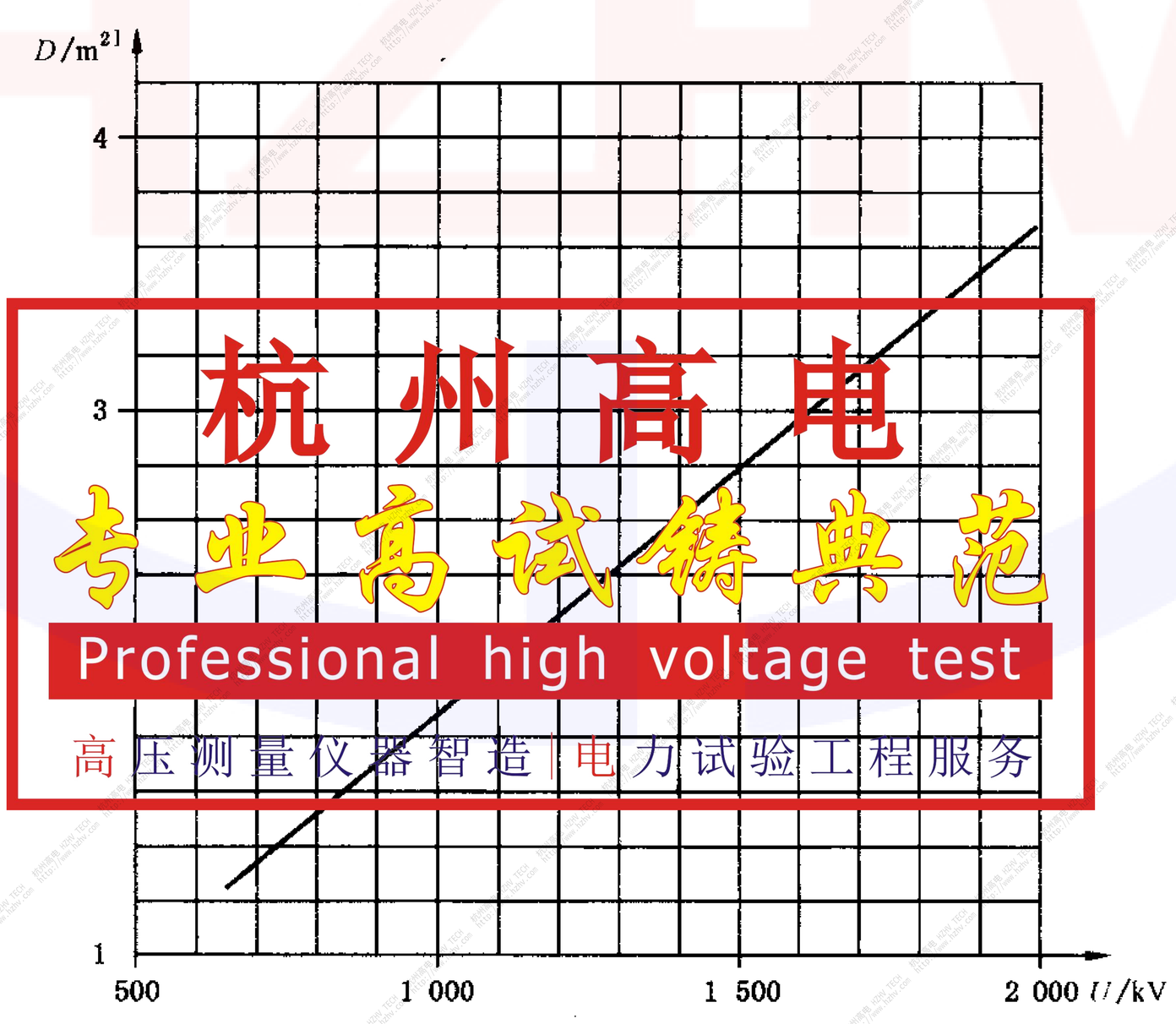


图 6　根据相间操作冲击耐受电压的相间空气间隙



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

图 7　根据雷电冲击耐受电压的空气间隙

采用说明：

1] IEC 原文图中为 mm(有误)，本标准予以更正。

2] IEC 原文图中为 mm，且图形及刻度均有误，本标准予以更正。

附 录 A
（提示的附录）
按 12.2、12.3 和 12.4 对变压器在感应耐压试验时进行局部放电测量的使用导则

A1 总则

局部放电(p.d.)是指引起导体之间的绝缘发生局部桥接的一种放电。在一台变压器中，这种局部放电能使每个绕组端子上的对地电压发生瞬时的变化。

测量阻抗通常是通过套管的电容抽头，或通过一台独立的耦合电容器，有效地接到端子与接地油箱之间，如 A2 所述。

局部放电处出现的实际放电电荷是不能直接进行测量的。电力变压器的局部放电测量，最好是测其视在电荷量 q，其定义见 GB/T 7354。

任一测量端子上的视在电荷量 q，是用合适的校准方法来确定的，见 A2。

一个特定的局部放电，能使变压器不同端子上的视在电荷值各不相同。将这些不同端子上同时得到的指示值进行比较，可得到有关变压器内部局部放电源位置的信息，见 A5。

本标准 12.2、12.3 和 12.4 中规定的试验程序要求测量绕组线路端子上的视在电荷量。

A2 测量线路和校准线路的接线——校准程序

测量仪器是用具有匹配的同轴电缆接至绕组端子上的，最简单的测量阻抗是电缆的匹配阻抗，该阻抗又可能是测量仪器的输入阻抗。

为改善整个测量系统的信号噪声比，可以使用调谐电路、脉冲变压器以及在试品端子与电缆之间使用放大器。

当从试品端子看上去时，在局部放电测试的整个频率范围内，测量线路应呈现为一个阻抗合适且恒定的电阻。

在绕组线端与接地油箱之间进行局部放电测量时，最好是将测量阻抗 Z_m 直接地接到电容式套管的电容抽头与接地法兰之间，见图 A1。如果无电容抽头，也可将套管法兰与油箱绝缘，并将该法兰作为测量端子。中心导杆和测量端子之间以下测量系统与地绝缘的等效电容对局部放电信号起衰减作用。在套管的顶端与地之间进行校准时也有这种衰减作用。

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

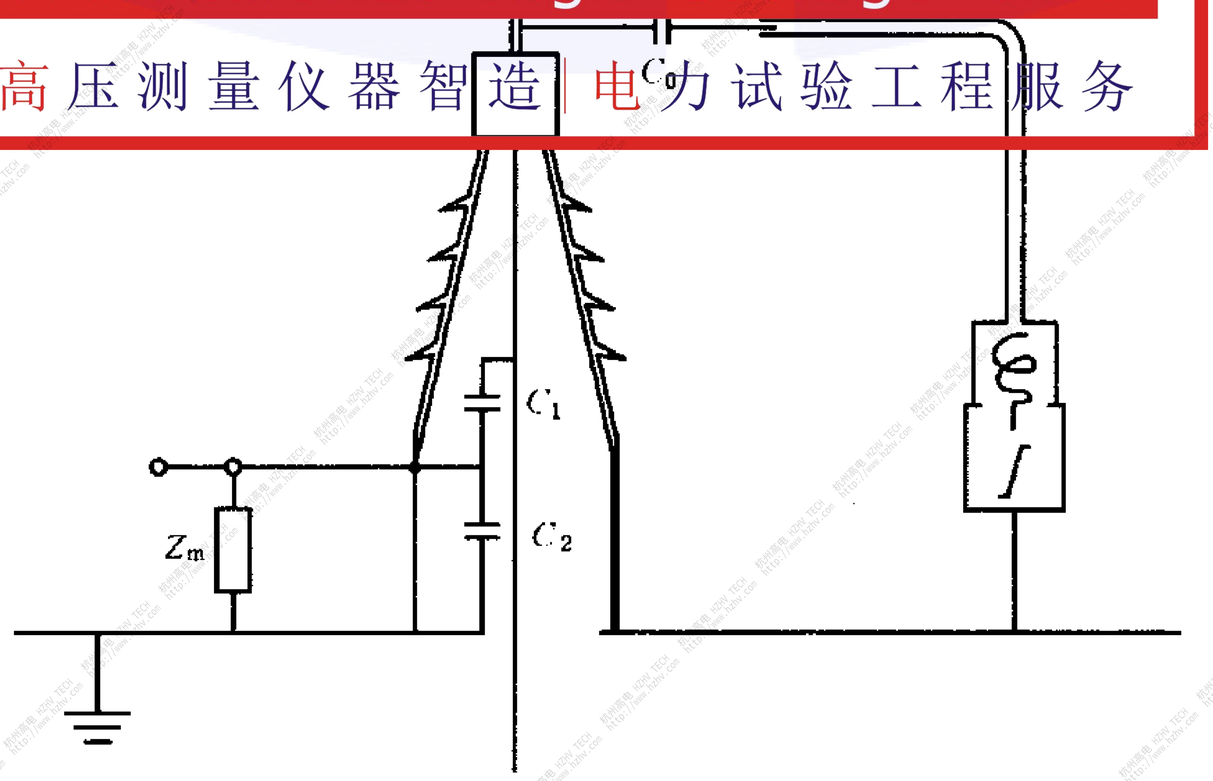


图 A1 适用于电容式套管的局部放电测量校准电路

在不能利用电容式套管的电容抽头(或绝缘的法兰)的情况下，如果必须对带电端子进行测量时，可

以使用高压耦合电容器的方法。这要求采用一台无局部放电的电容器，其电容值与校准发生器的电容 C_0 相比应足够大，测量阻抗(带有保护间隙)接到该电容器的低压端子与地之间，见图 A2。

整个测量系统的校准是通过在两个校准端子之间输入已知的电荷来进行的。按照 GB/T 7354，校准装置包括一台上升时间短的方波电压脉冲发生器和一个已知电容值小的串联电容器 C_0，其上升时间应不大于 0.1 μs，且 C_0 值应在 50 pF 到 100 pF 的范围内。当这个发生器接到两个校准端子上时，由于校准端子之间呈现的电容值远大于 C_0，因此由脉冲发生器输入的电荷，将为：

$$q_0 = U_0 \times C_0$$

式中：U_0——为方波电压值(通常在 2 V 和 50 V 之间)。

为了方便，可使校准发生器的重复频率与变压器试验时所用电源频率的每半周中有一个脉冲时的数量级相对应。

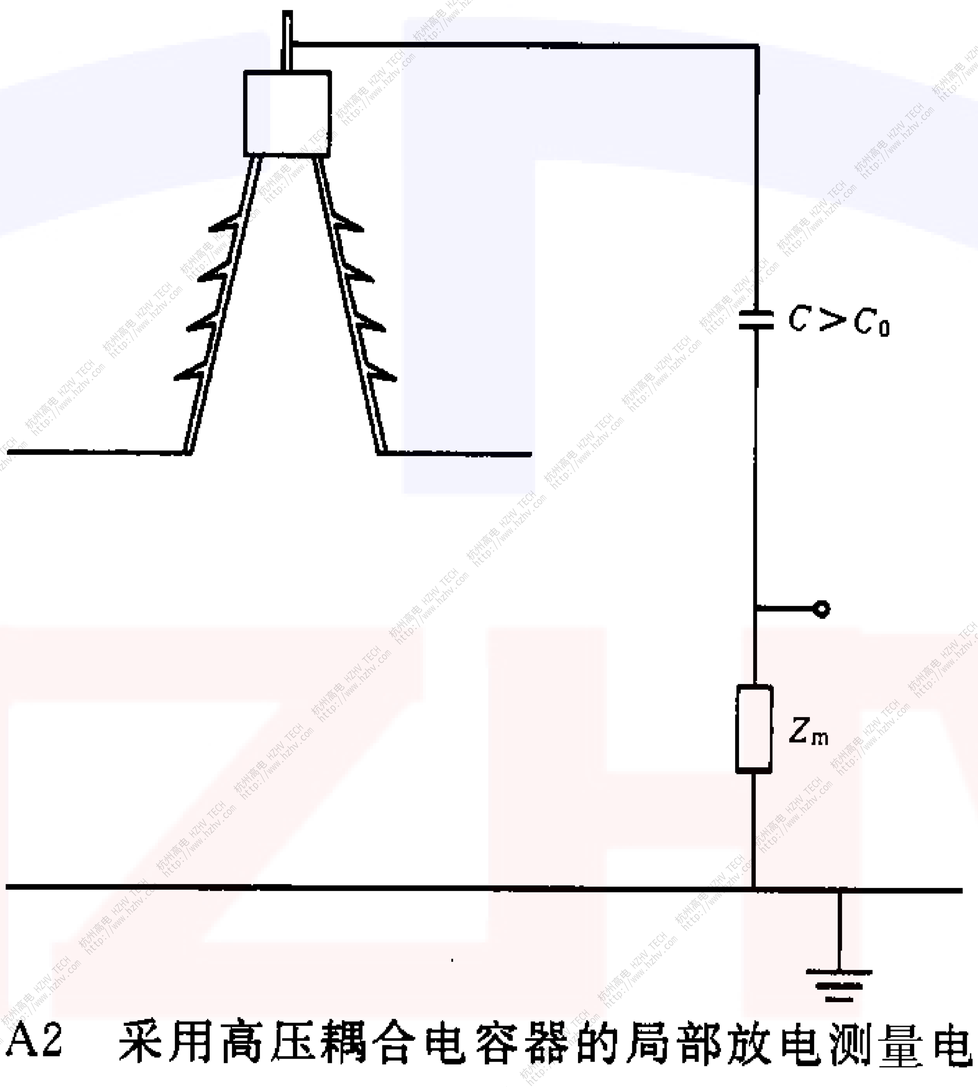


图 A2　采用高压耦合电容器的局部放电测量电路

如果两个校准端子相距较远，则连接引线的杂散电容可能会引起误差。此时，可用如图 A1 所示的地与另一端子之间的校准方法。

然后在高压端子上放置电容器 C_0，其一端接高压端子，另一端接同轴电缆。该电缆的另一端接有匹配电阻，再与方波发生器相连。

如果两个校准端子都不接地，则发生器本体的电容也可能引起误差。发生器最好由电池供电，以使其外形尺寸尽量小。

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

A3　仪器、频率范围

测量仪器的特性应符合 GB/T 7354 的规定。

试验时用示波器监视通常是有用的，特别是因为它可以通过观察脉冲的重复率、脉冲在波形上的位置和脉冲极性差异等来区分变压器真实局部放电与某些形式的外部干扰。

读数观测可在整个试验期间连续或是每隔一定时间断续地进行，是否要采用示波器或磁带记录器作连续记录，不作强制规定。

局部放电的测量系统分为窄频带和宽频带系统。窄频带系统是在某一调谐频率(如：无线电噪声计)下工作，带宽大约为 10 kHz 或更小。宽频带系统使用的频带上限与下限之间范围比较大，如 50 kHz～150 kHz，或者 50 kHz～400 kHz。

当采用窄频带系统时，对频带的中心频率进行适当地调节，就可避免来自于当地广播电台的干扰，但必须表明，在靠近测量频率时的绕组共振对测量结果影响不大。窄频带仪器应在不大于 500 kHz，最

好是在小于 300 kHz 的频率下工作。这有两个原因：首先，放电脉冲的传输使较高频率分量产生较大的衰减。其次，当将校准脉冲波施加于线路端子时，该脉冲波容易在此端子或靠近此端子处引起局部振荡。当采用的频带中心频率大于 500 kHz 时，将使校准变得复杂。

就不同脉冲波形的衰减和响应而言，宽频带系统受到的限制较少，但在没有电磁屏蔽的试验场所，它更容易受到干扰。这可以使用带阻滤波器来防止无线电波影响。用宽频带测量系统，可以通过单个脉冲的波形和极性的对比来识别局部放电源。

注：现在的各种宽频带仪器，按其测定的方式和内装的过滤器特性，是有很大差异的。计及绕组内部复杂的脉冲传递方式和响应的衰减频谱，每种仪器，即使经过良好的校准，所表示的视在电荷读数也将是不相同的，GB/T 7354 未对宽频带测量仪器提出标准化的要求。对于 CISPR 16-1 标准中用脉冲重复率估定的窄频带测量仪器，则无此问题。

A4 试验的判断准则、试验不合格后的处理方法

在本标准 12.2、12.3 和 12.4 中给出了试验验收判断准则。在规定的测量端子之间测出的稳态局部放电的视在电荷量不应超过所规定的限值，而且局部放电视在电荷量在整个试验期间不应有明显的增加趋势。

如果试验电压并未发生突降，只是由于局部放电读数太高，但尚属中等水平（几千 pC 或更小），则试验虽然不合格但仍视为非破坏性的。此外，还有一个重要的判断准则，即在试验电压下所触发的局部放电，在电压下降至运行电压或低于运行电压时，不会持续下去。

不应以这样的试验结果而断然拒绝该试品，应对其作进一步的研究。

首先应对试验环境进行研究，以便找到与局部放电源无关的任何外界干扰信号。此时，应由制造厂和用户进行协商，或确定再进行补充试验或进行其他的工作，以判明变压器或是出现了严重的局部放电，或是仍能满足运行要求。

下面的一些建议，对采取上述措施时可能有用。

a）研究测量指示值是否真的与试验顺序有关，还是偶然测到外来的与局部放电无关的干扰信号。为此，常常采用示波器来对试验进行监视。如：干扰就会由于其不与试验电压（波形）同步而被识别出；

b）研究局部放电是否由供电电源传递而来的，试验时在电源与变压器之间接入低通滤波器对此可以有所帮助；

c）研究确定局部放电源是在变压器内部还是在变压器外部（如，从大厅内具有悬浮电位的物体发出，从空气中带电部分发出或从变压器接地部位的尖角发出）。当试验涉及内部绝缘时，可以允许并推荐采用临时的外部屏蔽；

d）按照变压器的线路图研究局部放电源的可能位置。现已有几种公认的定位方法。其中一种是根据不同的成对端子上的各个读数值和校准值的相互关系来定位（用以作完各线路端子与地之间必须读取的读数），这将在 A5 叙述。如果使用宽频带线路记录，则有可能用相应的校准波形，对试验中的各单个脉冲波形进行识别。电容式套管绝缘中的局部放电识别是另一种特殊情况，参见 A5 后面部分；

e）用声波或超声波的检测方法，探测油箱内的放电源的“几何”位置；

f）根据局部放电量随试验电压高低的变化、滞后效应、试验电压波形上的脉冲波分布等来确定局部放电源可能的物理性质；

g）绝缘系统中的局部放电，可能由于绝缘的干燥或浸油不充分而引起。因此，变压器可在重新处理或静置一个时期后重复试验；

众所周知，只要产生相当高的局部放电量，尽管时间有限，也可能使油局部分解，并使熄灭电压和起始电压暂时降低，但经过几小时后，仍可自然地恢复到原来状态。

h）如果局部放电量超过接受限值，但不认为很严重时，经过协商可以重复试验，可延长试验时间，甚至可使用增加试验电压的方法。若试验电压增加，局部放电量增加并不多，且又不是随时间而增加

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

的，则认为该变压器仍可投入运行；

i) 除非在相当长的持续时间内，出现了远大于接受限值的局部放电量，一般将变压器吊芯后是难于直接观察到局部放电痕迹的。如果其他改善变压器绝缘局部放电性能或确定局部放电位置等措施均无效时，则本程序可能是最后的判断手段。

A5 用“多端子测量”和“读数分布对比图”的方法确定局部放电源的电气位置

任何一个局部放电源，均会在变压器所有成对测量的端子上产生信号，而这些信号的特性图形是一种独特的“指纹”，如果将校准脉冲波分别输送给各对校准端子时，则这些脉冲波也会在成对的测量端子上产生各种信号的组合。

如果在不同的成对测量端子上测试读数的分布图，与当向某一特定的成对的校准端子输送校准脉冲波时在上述相同的各成对测量端子上得到的读数分布图之间存在着明显相关的情况时，则认为实际局部放电源与这对校准端子密切相关。

这意味着，有可能按变压器线路图得出局部放电源的电气位置的结论。“物理位置”是一种不同概念，“电气上”位于某一特定端子附近的一个局部放电源，其物理位置可以位于与这个端子相连接导线上的任何位置或位于该绕组的相应端部。局部放电源的物理位置通常应通过声学定位法来确定。

比较所取得的图形方法如下：

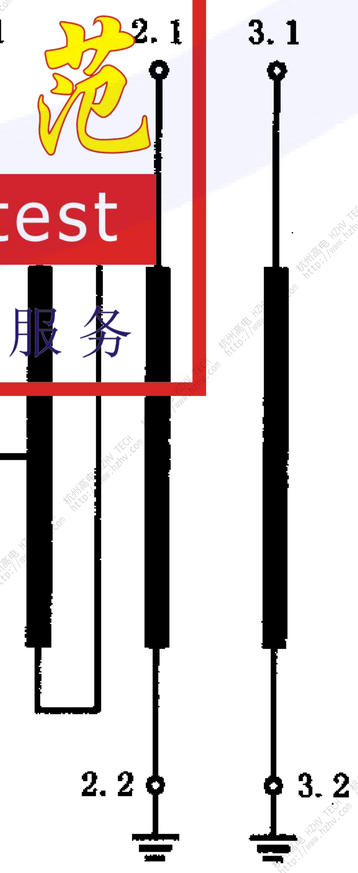
当校准发生器接到规定的一对校准端子上时，应观察所有成对的测量端子上的指示数值。然后对其他成对的校准端子重复此程序。应在各绕组的端子与地之间进行校准，但也可以在高压套管的带电端子与其电容抽头之间（模拟套管绝缘中的局部放电）、高压绕组端子与中性点端子之间以及高压绕组端子和低压绕组端子之间进行校准。

成对的校准端子和测量端子的全部组合，构成一个“校准矩阵”，从而作为对实际试验读数进行判断的依据。

图 A3 表示一台具有低电压第三绕组的单相超高压自耦变压器的例子，校准和试验都是按表列的端子进行的。将在 $1.5U_m$ 下的试验结果与各种校准读数进行对比，显而易见，它和“端子 2.1-地”的校准读数相当。这可以认为在 2.1 端子上出现了约有 1 500 pC 这一数值的局部放电量，并且还可以认为是带电体对地之间的局部放电，其物理位置或许位于串联绕组与公共绕组之间的连接线上某一位置处，也可能在绕组端部的附近处。

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

通道校准	1.1	2.1	2.2	3.1
	相应于			
1.1-地 2 000 pC	50	2	5	10
2.1-地 2 000 pC	5	50	30	8
2.2-地 2 000 pC	2	10	350	4
3.1-地 2 000 pC	3	2	35	25
试验				
$U=0$	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
$U=U_m$	<0.5	<0.5	0.5	0.5
$U=1.5U_m$	6	40	25	8



注：为改善判断效果，端子 2.2 和 3.2 亦应看成是测量和校准端子，特别是装有电容式套管时。

图 A3 用“多端子测量”和“读数分布对比图”的方法确定局部放电源的位置

上述方法对于主要有一个明显的局部放电源且环境噪声又低时，是有成效的，但并不是总会有这种情况。

要注意观察高压套管的绝缘中是否出现局部放电，这可利用套管的线端与电容抽头之间的校准来进行研究。这一校准与套管的局部放电读数分布图有着极密切的关系。

附 录 B
（提示的附录）
由高电压绕组向低电压绕组传递的过电压

B1 总则

GB/T 311.7 的附录 A 从系统的观点阐述了过电压的传递问题。下面给出的信息仅涉及到在特定使用条件下与变压器本身有关的问题。所考虑的传递过电压，或者是瞬变冲击波，或者是工频过电压。

注：用户的责任是对低压绕组的负载给出一些规定，如果不能给出相关的信息，制造厂可以提供低压端子开路时所预期的传递电压的信息，并且给出能保持在可接受的电压限值内时所需要的电阻器的电阻值或电容器的电容值。

B2 冲击电压的传递

B2.1 总则

关于传递的冲击过电压问题的研究，一般只是在电压比大的发电机变压器（升压变压器）和具有低电压第三绕组的高电压系统用的大容量变压器上进行。

区分两种冲击波的传递，有利于区别电容传递和感应传递。

B2.2 电容传递

传至低压绕组的过电压的电容传递可近似地看作是一种电容分压的方式。从低压绕组看，这个最简单的等值电路含有一个电动势和一个与其串联的传递电容 C_t，见图 B1。

等值电动势 s 是高压侧输入冲击波的一个分数值。C_t 大约为 10^{-9} F，s 和 C_t 的数值都不好确定，但它与冲击波的波前形状有关，这些值均可通过示波器测量确定。预先的计算是不可靠的。

二次线端上的负载将使传递到其上的过电压峰值降低。与端子相连接的开关、短电缆或附加的电容器（几个 nF）便是这样的负载，它们可看成是（甚至在一个微秒期间内）直接接到二次线端的集中电容 C_s。至于长电缆或母线，则要用其波阻抗来表示。二次绕组上的过电压波形与输入冲击波波前相对应，具有短时间（微秒数量级）尖峰的特征。

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

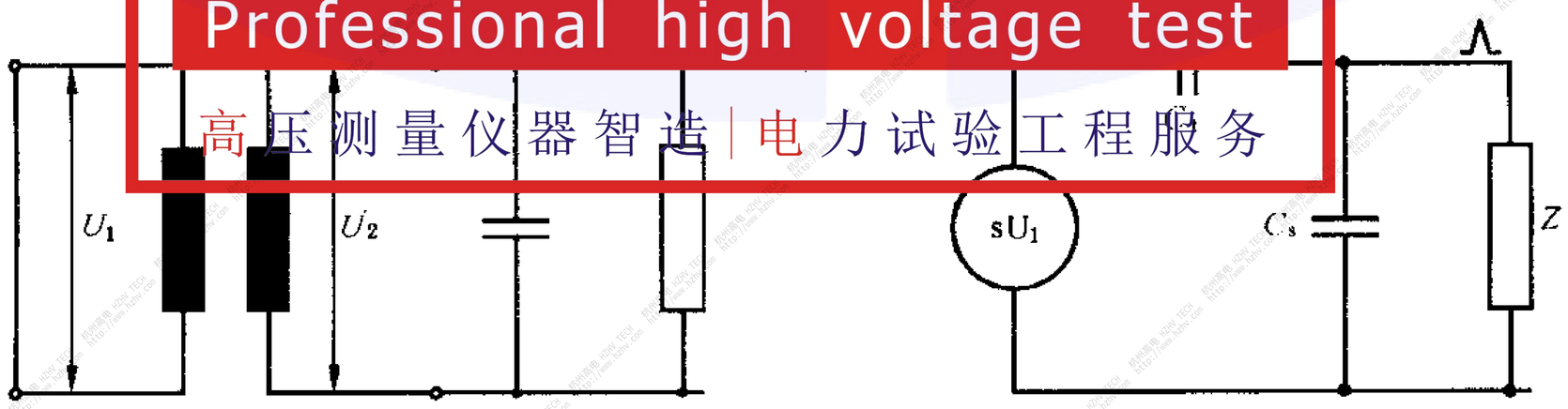


图 B1 过电压电容传递的等值电路

B2.3 感应传递

冲击电压的感应传递与通过高压绕组中的冲击电流有关。

如果二次绕组不带有外部负载，其电压的瞬变过程波形通常是叠加了一个阻尼振荡波，其频率由漏感和绕组电容来确定。

降低感应传递过电压分量的有效方法是，既可用避雷器的起阻尼作用的电阻，也可用能改变其振荡的负荷电容。假如使用电容器，其电容值通常为 0.1 μF 数量级。（只要电路电感值低，它们便会自动地消除其电容性的传递分量）。

涉及感应冲击传递的变压器参数比较好确定，与涉及电容传递时相比，它与波上升速率（或频率）的关系较小。其进一步的说明见有关文献。

B3 工频传递过电压

如果与高压绕组紧邻的低压绕组并不接地或者只是通过高阻抗接地，那么当高压绕组励磁时，这个低压绕组将由于电容分压的作用而存在着工频过电压的危险。

对于单相绕组而言，这种危险是明显的。但对于三相绕组而言，如果一次绕组电压是不对称的（如产生接地故障时），这种危险亦存在。在某些特殊情况下，有可能出现共振状态。

在大型变压器中的第三绕组和稳定绕组也会遭受同样的危险。用户有责任防止第三绕组偶然通过太高的阻抗接地。通常，稳定绕组均采取在内部或外部牢固接地（接箱壳）的方式。

过电压值是由各绕组之间以及各绕组对地之间的电容来确定的。这种电容可以在低频下从变压器不同组合的端子上测出，也可以用准确度足够的计算方法来确定。

附 录 C[1]

（提示的附录）

询价和定货时应提供的有关变压器绝缘要求和绝缘试验的信息

对所有绕组：

——线路端子的 U_m 值和中性点端子的 U_m 标称值。

——绕组的联结类型（Y，D 或 Z）。

——构成线路端子绝缘水平的各种额定耐受电压，见表 1。

——绕组是分级绝缘还是全绝缘，如果是分级绝缘，还应规定其中性点端子的接地方式。

——在线路端子上进行的雷电冲击试验是否包括截波试验。

对于高压绕组 U_m＝252 kV 的变压器：

——是否可以不做操作冲击试验（仅在规定了短时感应耐压试验的情况下，见表 1）。

对于高压绕组 U_m≥245 kV 的变压器：

——如果规定了短时感应试验，全绝缘的试验程序按照 12.2，分级绝缘的试验程序按照 12.3。

此外，还建议在定[illegible]讨论，特别是对以下问题应予注意：在高压绕组为分级绝缘（见 12.3，注）的结构复杂的变压器上进行感应耐受电压试验时的接线以及对大容量变压器的低压绕组和中性点端子（见 13.3）进行冲击试验时所采用的方法。对装入变压器内的非线性保护装置，应在定货和询价阶段中给出有关说明，并应在铭牌上标明其连接图。

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

采用说明：

1] IEC 标准中附录 C 的内容不完全符合我国国情，故本标准按我国国情对其进行修改。

附 录 D
（标准的附录）
ACSD 试验的试验电压

表 D1 按照表 2 以及 12.2.2 关于设备最高电压 $U_m \geqslant 72.5$ kV 全绝缘变压器短时耐压试验的试验电压[1]

kV

系统标称电压（方均根值）	设备最高电压 U_m（方均根值）	按表 2 的额定短时感应或外施耐受电压（方均根值）	相间试验电压 U_1（方均根值）	相对地的局部放电测量电压 $U_2=1.3U_m/\sqrt{3}$（方均根值）	相间局部放电测量电压 $U_2=1.3U_m$（方均根值）
66	72.5	140	132	54	94
110	126	200	200	95	164

表 D2 按照表 2 和表 3 以及 12.3 关于设备最高电压 $U_m > 72.5$ kV 分级绝缘变压器短时耐压试验的试验电压[2]

kV

系统标称电压（方均根值）	设备最高电压 U_m（方均根值）	按表 2 和表 3 的额定短时感应或外施耐受电压（方均根值）	相间试验电压 U_1（方均根值）	相对地的局部放电测量电压 $U_2=1.5U_m/\sqrt{3}$（方均根值）	相间局部放电测量电压 $U_2=1.3U_m$（方均根值）
110	126	200	200	109	164
220	252	360 395	360 395	218 218	328 328
330	363	460 510	460 510	315 315	472 472
500	550	630 680	630 680	476 476	660 660

注

1 对 $U_m=550$ kV，相间局部放电测量电压应用 $U_2=1.2U_m/\sqrt{3}$ 和 $1.1U_m$ 代替。

2 当 ACSD 耐受电压 U_1 小于相间局部放电测量电压 U_2 时，U_1 应等于 U_2，内绝缘和外绝缘间隙也应相应进行设计。

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

附 录 E
（提示的附录）
采用说明

因我国国家标准 GB 311.1 规定的技术内容与 IEC 标准有差异，按照我国国情，本标准在等效采用 IEC 标准的基础上，对部分内容进行了相应修改。

E1 我国 220 kV 及以上电压等级的变压器无全绝缘结构，且在我国对变压器线端的雷电截波冲击试

采用说明：

1] 与 IEC 标准的差异见附录 E(提示的附录)中的 E8。

2] 与 IEC 标准的差异见附录 E(提示的附录)中的 E9。

验要求为型式试验，对中性点的雷电全波冲击试验亦要求为型式试验，这些要求均与 IEC 标准不一致，故本标准表 1 中的内容与 IEC 标准的表 1 内容相比，个别地方根据我国的实际情况进行了调整。关于 IEC 标准表 1 规定的对不同类型绕组的要求和试验列于表 E1 中。

E2 我国变压器产品的电压等级($U_m \leqslant 170$ kV)及其额定耐受电压水平均与 IEC 标准的规定不完全一致，且部分额定耐受电压值比 IEC 标准规定的高，本标准表 2 中的数值是根据我国变压器实际情况列出的。关于 IEC 标准表 2 和表 3 规定的 $U_m \leqslant 170$ kV 和 $U_m \leqslant 169$kV 的变压器绕组的额定耐受电压值分别列于表 E2 和表 E3 中。

E3 我国变压器产品的电压等级($U_m > 170$ kV)及其额定耐受电压水平均与 IEC 标准的规定不完全一致，本标准表 3 中的数值是根据我国变压器实际情况列出的。关于 IEC 标准表 4 规定的 $U_m > 170$ kV 的变压器绕组的额定耐受电压值列于表 E4 中。

E4 IEC 标准规定的中性点端子的额定耐受电压水平不符合我国国情，本标准根据我国的实际情况增加了表 4。

E5 我国变压器产品的电压等级($U_m \leqslant 170$ kV)与 IEC 标准的规定不完全一致，且产品的外绝缘间隙值与 IEC 标准的规定亦不完全相同，有些间隙大于 IEC 标准所规定的数值，本标准表 5 中的数值是根据我国变压器实际情况列出的。关于 IEC 标准表 5 和表 6 规定的 $U_m \leqslant 170$ kV 和 $U_m \leqslant 169$ kV 的电力变压器的最小空气间隙值分别列于表 E5 和表 E6 中。

E6 我国变压器产品的电压等级($U_m > 170$ kV)与 IEC 标准的规定不完全一致，本标准表 6 中的数值是根据我国变压器实际情况列出的。关于 IEC 标准表 7 规定的 $U_m > 170$ kV 的电力变压器的最小空气间隙列于表 E7 中。

E7 IEC 标准没有规定中性点套管对地空气间隙推荐值，根据我国实际情况，本标准增加了表 7。

E8 我国全绝缘变压器产品的电压等级及设备最高电压等均与 IEC 标准的规定不一致。此外，在我国对于 $U_m = 72.5$ kV、额定容量为 10 000 kVA 及以上的变压器，要求在 ACSD 试验期间进行局部放电测量，并要求为例行试验(IEC 标准无此要求)，本标准表 D1 中的数值是根据我国变压器实际情况列出的。关于 IEC 标准表 D1 规定的 $U_m > 72.5$ kV 的全绝缘变压器短时耐压试验的试验电压列于表 E8 中。

E9 我国分级绝缘变压器产品的 U_m 值及试验电压与 IEC 标准的规定不完全一致，表 D2 中的数值是根据我国变压器实际情况列出的，关于 IEC 标准表 D2 规定的 $U_m > 72.5$ kV 的分级绝缘变压器短时耐压试验的试验电压列于表 E9 中。

表 E1 对不同类型绕组的要求和试验

绕组类型	设备最高电压 kV(方均根值)	试验 雷电冲击(LI)(见 13、14 章)	操作冲击(SI)(见 15 章)	长时 AC 电压(ACLD)(见 12.4)	短时 AC 电压(ACSD)(见 12.2 或 12.3)	外施 AC 电压(见 11 章)
全绝缘	$U_m \leqslant 72.5$	型式(注 1)	不适用	不适用(注 1)	例行	例行
全绝缘和分级绝缘	$72.5 < U_m \leqslant 170$	例行	不适用	特殊	例行	例行
	$170 < U_m < 300$	例行	例行(注 2)	例行	特殊(注 2)	例行
	$U_m \geqslant 300$	例行	例行	例行	特殊	例行

注

1 在一些国家中，对 $U_m \leqslant 72.5$ kV 变压器的 LI 试验要求为例行试验，且 ACLD 试验要求为例行试验或型式试验。

2 如果规定了 ACSD 试验，则不要求 SI 试验，这应在询价定货时说明。

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

表 E2　设备最高电压 $U_m \leqslant 170$ kV 的变压器绕组的额定耐受电压值

（——组Ⅰ，根据欧洲的实践）　　kV

设备最高电压 U_m（方均根值）	额定雷电冲击耐受电压（峰值）	额定短时感应或外施耐受电压（方均根值）
3.6	20	10
	40	
7.2	60	20
12	75	28
17.5	95	38
24	125	50
	145	
36	170	70
52	250	95
60	280	115
72.5	325	140
	380	150
100	450	185
123	550	230
145	650	275
170	750	325

注：对于有虚线表示的场合，可能要求补做相间耐压试验，以证明要求的相间耐受电压是否满足。

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

表 E3　设备最高电压 $U_m \leqslant 169$ kV 的变压器绕组的额定耐受电压值

（——组Ⅱ，根据北美洲的实践）　　kV

设备最高电压 U_m（方均根值）	额定雷电冲击耐受电压（峰值）		额定短时感应或外施耐受电压（方均根值）	
	配电（注 1）和Ⅰ类变压器　（注 2）	Ⅱ类变压器（注 3）	配电和Ⅰ类变压器	Ⅱ类变压器
15	95	110	34	34
	125	—	40	—
26.4	150	150	50	50
36.5	200	200	70	70
48.3	250	250	95	95
72.5	350	350	140	140
121		350		140
		450		185
145		550		230
		650		275
169		750		325

注

1　这种配电变压器是将一次配电回路的电能传输到二次配电回路。

2　Ⅰ类电力变压器包括高压绕组 $U_m \leqslant 72.5$ kV 的变压器。

3　Ⅱ类变压器包括高压绕组 $U_m \geqslant 121$ kV 的变压器。

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

表 E4　设备最高电压 U_m>170 kV 的变压器绕组的额定耐受电压　　kV

设备最高电压 U_m（方均根值）	额定操作冲击耐受电压（峰值）	额定雷电冲击耐受电压（峰值）	额定短时感应或外施耐受电压（方均根值）
245	550	650	325
		750	360
	650	850	395
		750	395
300		950	460
	750	850	460
		1 050	510
362		950	510
	850	1 050	460
		1 175	510
	950	1 175	510
420		1 300	570
	1 050	1 300	570
		1 425	630
550	1 175	1 425	630
		1 550	680
	1 300	1 550	680
		1 675	注3
	1 300	1 675	注3
		1 800	注3
800	1 550	1 800	注3
		1 950	注3
		2 100	注3

注

1　虚线所表示的情况与 IEC 60071-1 规定不一致，但在某些国家中却流行。

2　对额定交流绝缘水平很低的全绝缘变压器，进行短时交流感应试验需采取特别的措施，见 12.2。

3　不适用，但另有协议除外。

4　对于最后一栏中给出的电压值，可以要求用更高的试验电压，以证明所要求的相间耐受电压得到满足。这适用于表列各个 U_m 下的较低绝缘水平的场合。

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

表 E5　设备最高电压 $U_m \leqslant 170$ kV 电力变压器套管带电部分的相对地、相间、相对中性点及对低电压绕组端子的最小空气间隙推荐值

（——组Ⅰ，根据欧洲的实践）

设备最高电压 U_m/kV（方均根值）	额定雷电冲击耐受电压/kV（峰值）	最小空气间隙/mm
3.6	20	
	40	60
7.2	60	90
12	75	110
17.5	95	170
24	125	210
	145	275
36	170	280
52	250	450
72.5	325	630
100	450	830
123	550	900
145	650	1 250
170	750	1 450

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

表 E6　设备最高电压 $U_m \leqslant 169$ kV 电力变压器套管带电部分的相对地、相间、相对中性点及对低电压绕组端子的最小空气间隙推荐值

（——组Ⅱ，根据北美洲实践）

设备最高电压 U_m/kV（方均根值）	额定雷电冲击耐受电压/kV（峰值）	最小空气间隙/mm
<15	60（见注）	65（见注）
	75	100
	95（见注）	140（见注）
	110	165
26.4	150	225
36.5	200	330
48.3	250	450
72.5	350	630
121	450	830
145	550	1 050
169	650	1 250
	750	1 450

注：仅用于配电变压器的指示值。

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

表 E7　设备最高电压 U_m>170 kV 电力变压器套管带电部分的相对地、相间、相对中性点及对低电压绕组端子的最小空气间隙推荐值

设备最高电压 U_m/kV（方均根值）	额定操作冲击耐受电压/kV（峰值）	额定雷电冲击耐受电压/kV（峰值）	最小间隙		
			相对地/mm(注 1)	相间/mm(注 1)	对其他绕组端子/mm(注 2)
245	650	1 250	1 450	1 450	1 600
	750	1 500	1 800		
	850	1 900	2 250		
300	750	1 900	2 250	1 750	2 000
	850	2 300	2 650		
	950	2 700	3 100		
362	850	2 300	2 650	1 950	2 200
	950	2 700	3 100		
	1 050	3 100	3 500		
420	850	2 300	2 650	1 950	2 200
	950	2 700	3 100		
	1 050	3 100	3 500		
	1 175	3 700	4 200		
550	950	2 700	3 100	2 400	2 650
	1 050	3 100	3 500		
	1 175	3 700	4 200		
	1 300	4 400	5 000		
800	1 050	3 100	3 500	2 850	3 100
	1 175	3 700	4 200		
	1 300	4 400	5 000		
	1 425	5 000	5 800	3 300	3 600
	1 550	5 800	6 700		
	1 800	5 800	6 700	3 800	4 200

注

1　根据操作冲击耐受电压。

2　根据雷电冲击耐受电压，见 16.2.2。

3　如果仅仅根据雷电冲击和感应耐压值，间隙值可以不同。

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

表 E8　按照表 2 和表 4 以及 12.2.2 关于设备最高电压 U_m＞72.5 kV 全绝缘变压器短时耐压试验的试验电压

kV

设备最高电压 U_m（方均根值）	额定短时感应或外施耐受电压（方均根值）	相间试验电压 U_1（方均根值）	相对地局部放电测量电压 $U_2=1.3U_m/\sqrt{3}$（方均根值）	相间局部放电测量电压 $U_2=1.3U_m$（方均根值）
100	150	150	75	130
100	185	185	75	130
123	185	185	92	160
123	230	230	92	160
145	185	185	110	185
145	230	230	110	185
145	275	275	110	185
170	230	230	130	225
170	275	275	130	225
170	325	325	130	225
245	325	325	185	320
245	360	360	185	320
245	395	395	185	320
245	460	460	185	320
300	395	395	225	390
300	460	460	225	390
362	460	460	270	470
362	510	510	270	470
420	460	460	290	505
420	510	510	290	505
420	570	570	315	545
420	630	630	315	545
550	630	630	380	660
550	570	570	380	660
550	630	630	380	660
550	680	680	380	660

注

1　对 U_m＝550 kV 和部分 U_m＝420 kV，局部放电测量电压应用 $U_2=1.2U_m/\sqrt{3}$ 和 $1.2U_m$ 代替。

2　当 ACSD 耐受电压 U_1 小于相间局部放电测量电压 U_2 时，U_1 应等于 U_2，内绝缘和外绝缘间隙也应相应进行设计。

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

表 E9　按照表 2 和表 4 以及 12.3 关于设备最高电压 U_m＞72.5 kV 分级绝缘变压器短时耐压试验的试验电压

kV

设备最高电压 U_m（方均根值）	额定短时感应或外施耐受电压（方均根值）	相间试验电压 U_1（方均根值）	相对地局部放电测量电压 $U_2=1.5U_m/\sqrt{3}$（方均根值）	相间局部放电测量电压 $U_2=1.3U_m$（方均根值）
100	150	150	87	130
100	185	185	87	130
123	185	185	107	160
123	230	230	107	160
145	185	185	125	185
145	230	230	125	185
145	275	275	125	185
170	230	230	145	225
170	275	275	145	225
170	325	325	145	225
245	325	325	215	320
245	360	360	215	320
245	395	395	215	320
245	460	460	215	320
300	395	395	260	390
300	460	460	260	390
362	460	460	315	460
362	510	510	315	460
420	460	460	365	504
420	510	510	365	504
420	570	570	365	545
420	630	630	365	545
550	630	630	475	660
550	570	570	475	660
550	630	630	475	660
550	680	680	475	660

注

1　对 U_m＝550 kV 和部分 U_m＝420 kV，局部放电测量电压应用 $U_2=1.2U_m/\sqrt{3}$ 和 $1.2U_m$ 代替。

2　当 ACSD 耐受电压 U_1 小于相间局部放电测量电压 U_2 时，U_1 应等于 U_2，内绝缘和外绝缘间隙也应相应进行设计。

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