

ICS 29.240

Q/GDW

国家电网有限公司企业标准

Q/GDW 11304.18—201X

代替 Q/GDW 11304.18—2015

电力设备带电检测仪器技术规范
第 18 部分：开关设备分合闸线圈电流
波形带电检测仪

Technical specification for live detection instruments of electrical equipment -
Part 18: Current waveform measurer for switching and closing coils of switchgear

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

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家电网有限公司

发布

目次

前 言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 工作原理..... 2

5 结构组成..... 3

 5.1 整体结构..... 3

 5.2 传感器..... 3

 5.3 检测主机..... 4

6 技术要求..... 5

 6.1 一般要求..... 5

 6.2 功能要求..... 5

 6.3 性能要求..... 6

 6.4 通用技术要求..... 7

7 试验项目及要求..... 8

 7.1 试验环境..... 8

 7.2 试验分类..... 错误！未定义书签。

 7.3 试验项目..... 9

 7.4 试验方法及要求..... 9

 7.5 通用技术条件试验..... 11

 7.6 合格判定..... 11

8 标志、包装、运输、贮存..... 112

9 验收..... 122

 9.1 到货抽检..... 122

 9.2 随仪器提交资料..... 12

附录 A（资料性附录） 开关设备分合闸线圈工作原理及等效电路 13

附录 B（资料性附录） 检测仪的结构及应用 14

附录 C（资料性附录） 分合闸线圈电流波形诊断原理..... 15

附录 D（资料性附录） 检测数据输出结果表..... 17

编制说明..... 18

前 言

为规范带电检测仪器的研制、生产、检验和订货，促进电力设备带电检测技术的应用，提高电网的运行可靠性，制定本部分。

《电力设备带电检测仪器技术规范》标准分为 21 个部分：

- 第 1 部分：带电检测仪器通用技术规范；
- 第 2 部分：电力设备检测用红外热像仪技术规范；
- 第 3 部分：紫外成像仪；
- 第 4-1 部分：油中溶解气体分析带电检测仪器技术规范（气相色谱法）；
- 第 4-2 部分：油中溶解气体分析带电检测仪器技术规范（光声光谱法）；
- 第 5 部分：高频法局部放电带电检测仪器技术规范；
- 第 6 部分：电力设备接地电流带电检测仪器；
- 第 7 部分：电容型设备绝缘带电检测仪器技术规范；
- 第 8 部分：特高频法局部放电带电检测仪；
- 第 9 部分：超声波法带电检测仪器；
- 第 10 部分：支柱瓷绝缘子带电探伤测试仪器；
- 第 11 部分：SF₆ 气体湿度带电检测仪；
- 第 12 部分：SF₆ 气体纯度带电检测仪；
- 第 13 部分：SF₆ 气体分解物带电检测仪技术规范；
- 第 14 部分：SF₆ 气体泄漏激光成像法带电检测仪器；
- 第 15 部分：SF₆ 气体泄漏红外成像法带电检测仪器技术规范；
- 第 16 部分：暂态地电压法带电检测仪器；
- 第 17 部分：开关设备机械特性带电检测仪器；
- 第 18 部分：开关设备分合闸线圈电流波形带电检测仪；
- 第 19 部分：变压器有载分接开关声学指纹带电检测仪器；
- 第 20 部分：电抗器振动测试仪；
- 第 21 部分：X 射线成像检测仪。

本部分为《电力设备带电检测仪器技术规范》标准的第 18 部分。

本部分代替 Q/GDW 11304.18—2015《电力设备带电检测仪器技术规范 第 18 部分：开关设备分合闸线圈电流波形带电检测仪器技术规范》，与 Q/GDW 11304.18—2015 相比，主要差异如下：

- 标准名称由《电力设备带电检测仪器技术规范 第 18 部分：开关设备分合闸线圈电流波形带电检测仪器技术规范》更改为《电力设备带电检测仪器技术规范 第 18 部分：开关设备分合闸线圈电流波形带电检测仪》；
- 增加了顶杆（铁芯）启动时间、顶杆（铁芯）空程时间、开断时间、关合时间、控制触头动作时间、线圈全电流时间、断路器首次动作的术语和定义（见 3.4～3.10）；
- 增加了对仪器结构组成中对传感器和检测主机的要求（见 5.2～5.3）；
- 增加了波形存储的数据文件格式的要求（见 6.2.3）；
- 修改了直流电流采集、交流电流采集、直流/交流电压采集的性能要求（见 6.3）；

Q/GDW 11306.18—201X

- 增加了直流电流测量线性度试验、交流电流测量线性度试验的要求（见 7.4.4、7.4.6）；
- 增加了仪器验收的要求（见 9）；
- 增加了开关设备分合闸线圈的工作原理及等效电路、分合闸线圈电流波形检测仪的结构及应用、分合闸线圈电流波形诊断、检测数据输出结果表（见附录 A~附录 D）；
- 删除了产品分类的要求。

本部分由国家电网有限公司设备管理部提出并解释。

本部分由国家电网有限公司科技部归口。

本部分起草单位：国网上海市电力公司电力科学研究院、国网上海市电力公司、中国电力科学研究院有限公司、国网北京市电力公司电力科学研究院。

本部分主要起草人：高凯、陈洪岗、曹培、徐鹏、杜非、弓艳朋、司文荣、任志刚、廖天明、刘弘景、陆启宇、倪浩、袁志文、吴欣烨、王黎明、邓先钦、忻姿、任茂鑫。

本部分2016年11月首次发布，2019年11月第一次修订。

本部分在执行过程中的意见或建议反馈至国家电网有限公司科技部。

电力设备带电检测仪器技术规范

第 18 部分：开关设备分合闸线圈电流波形带电检测仪

1 范围

本部分规定了交流开关设备分合闸线圈电流波形带电检测仪的工作原理、结构组成、技术要求、试验项目及要求、标志、包装、运输、贮存及验收的要求。

本部分适用于交流开关设备分合闸线圈电流波形带电检测仪（以下简称检测仪）的研制、生产、检验和订货。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2900.20—2016 电工术语 高压开关设备和控制设备

GB/T 6593 电子测量仪器质量检验规则

GB/T 22386 电力系统暂态数据交换通用格式（IEC 60255-24：2001，IDT）

Q/GDW 11304.1—2015 电力设备带电检测仪器技术规范 第1部分：带电检测仪器通用技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

分合闸线圈电流波形检测仪 current waveform measurer for switching and closing coils

采用电流传感器测量开关设备在执行分合闸操作中，其分合闸线圈中流过的电流波形，以对操动机构状态进行分析和诊断的仪器装置。

3.2

准确度 accuracy of measurement

在检测仪测量范围内，选取一个考核点进行多次测量，测量值与真实值的差值再与真实值的比值的最大值，用百分数表示。

3.3

线性度 linearity of measurement

在检测仪测量范围内，按要求选取若干考核点进行测量，各测量值与真实值之差再与真实值的比值的最大值，用百分数表示。

3.4

顶杆（铁芯）启动时间(t_s) ejector pin start-moving time

从分合闸线圈开始通电到顶杆（铁芯）开始运动的时间间隔。

注：一般取分合闸线圈电流从零起到第一个峰值止，此段时间内顶杆（铁芯）从静止到开始运动。

3.5

顶杆（铁芯）空程时间(t_i) ejector pin idle-moving time

从分合闸线圈电流到达第一个峰值至第一个谷值的时间间隔。

注：在此段时间内顶杆（铁芯）从开始运动起到触碰脱扣装置止。

3.6

开断时间(t_b) break-time

从开关装置接到分闸指令瞬间起到主回路电流熄弧的时间间隔。

注1：改写 GB/T 2900.20—2016，定义 9.36。

注2：此段时间从分闸线圈开始通电起到主回路电流有效值降为零止。

3.7

关合时间(t_m) make-time

从开关装置接到合闸指令起到电流开始流过主回路瞬间为止的时间间隔。

注1：改写 GB/T 2900.20—2016，定义 9.37。

注2：此段时间从合闸线圈开始通电起到电流开始流过主回路瞬间止。

3.8

控制触头动作时间(t_c) operation time of control contact

从分合闸线圈开始通电起到控制触头断开为止的时间间隔。

注：控制触头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。控制触头动作产生开关装置分合状态的变位信号。此段时间从控制触头合闸使线圈通流起，到控制触头分闸使线圈电流从最后一个峰值开始下降止。

3.9

线圈全电流时间(t_c) current duration time of coil

从分合闸线圈开始通电到分合闸线圈电流降至零的时间间隔。

注：考虑电流实际测量中零漂、噪音等因素，“降至零”通常是“小于某一较小的阈值”。

3.10

断路器首次动作 first action from open or close status

指断路器长时间处于合(分)闸稳态运行状态，其后第一次分(合)操作。

注：通常指断路器安装完毕后的第一次分闸或合闸、断路器长期合闸后的第一次分闸、断路器由运行状态变为检修状态的第一次分闸、断路器检修后投运前的第一次分闸或合闸。

4 工作原理

开关设备分合闸线圈通流后产生磁力推动脱扣装置，进而完成分合闸操作，工作原理参见附录A。检测仪采用电磁感应式的电流传感器（如霍尔元件、磁通门元件等），测量开关设备操作时分合闸线圈、

主回路、储能电机等的电流波形，实现对操动机构状态的非介入式带电检测。通过对电流波形的量化分析和历史数据对比，实现对开关设备动作相关二次元件和机械部件的缺陷和故障的诊断，例如判断控制回路和线圈是否完好、铁芯运动有无卡滞等。

5 结构组成

5.1 整体结构

5.1.1 仪器组成

检测仪一般由电流传感器和检测主机两部分组成，参见附录 B。有些检测仪配有电压探头以测量开关设备控制回路的电压。

5.1.2 电流传感器

电流传感器包括分合闸线圈电流传感器、主回路电流传感器、储能电机电流传感器。电流传感器常采用开口钳式结构，便于检测各控制回路和主回路电流测量回路的电流波形信号。

5.1.3 电压传感器

电压传感器用于检测控制电压和储能电机电压。

5.1.4 检测主机

检测主机由数据采集模块、控制与处理分析模块（包括存储单元、人机交互单元、通信单元和辅助单元等）组成，实现传感器输出信号的采集、显示、处理和分析。

5.2 传感器

5.2.1 分合闸线圈电流传感器

推荐采用开口式直流电流传感器，从断路器分合闸控制回路测取电流。传感器接入方式不应影响断路器的安全运行，不应影响断路器的二次线的连接布置。传感器的接入应牢固、便捷，应满足在断路器带电运行的情况下可靠接入、线圈电流测量准确。

5.2.2 主回路电流传感器

若测量开关设备主回路电流，需配备此类传感器。推荐采用开口式（铁磁型）电流互感器，从开关设备主回路电流互感器的二次侧测量回路测取电流。

5.2.3 控制回路电压探头

若测量开关设备控制回路电压，需配备此类传感器。推荐采用直流电压探头，将由保险丝保护的电压探头并联接入分合闸控制回路的电源线。传感器接入时应注意防止控制电源短路或电源开路，应具有必要的避免电源短路和电压端子松动的防范措施。

5.2.4 储能电机电流传感器

若测量开关设备储能电机电流，需配备此类传感器。推荐采用开口式（霍尔）电流传感器，从电动机控制回路测取电流。传感器接入方式不应影响电动机控制回路二次线的连接布置，不应影响电动机的运转。

5.3 检测主机

5.3.1 数据采集单元

检测主机的数据采集单元的要求如下：

- a) 具有传感器连接状态的自检功能，以检出传感器连接错误或损坏状态。
- b) 开口卡钳式电流传感器在每次开闭后应具有零点的校准或修正功能。
- c) 应给出对数据采集单元进行校准的建议方式和周期。
- d) 数据采集应具有多种触发模式，满足单次测量、连续多次测量的要求。
- e) 用于采集电压或电流信号的每个通道的采样速率均不小于 10kSa/s。

5.3.2 存储单元

检测主机的存储单元的要求如下：

- a) 具有 8G 字节以上的存储容量，或可存贮 1000 条以上断路器测试记录。
- b) 应采用 USB 或 SD 卡等通用型数据硬件接口，方便导入或导出检测数据文件。
- c) 检测结果宜同时采用数据格式存储和图形格式存储，以便查阅和分析。
- d) 波形存储文件格式应遵循 GB/T 22386 的规定，采用 ComTrade1999 格式。检测仪生产商应将存储文件的数据读取格式提供给用户，以使用户全面掌握数据文件的信息。

5.3.3 人机交互单元

检测主机的人机交互单元的要求如下：

- a) 采用高分辨率的彩色显示屏，并能同时显示至少 4 条波形曲线。在初始设置下，4 条波形曲线中 1 条为参考波形（标准波形、典型波形或历史波形），另外 3 条为断路器 ABC 三相的测量波形。不同波形曲线的颜色区分明显易辨。
- b) 具有波形曲线的选择、显示和消隐、上下左右平移等功能。
- c) 具有检测波形的图形显示和浏览功能，时间轴和电流值轴应带刻度，波形应有相别和属性的标识，波形数据点应带光标取值功能。
- d) 具有可移动的光标，实现检测波形的特征参数读取，以及起止时刻和参数数值显示功能。
- e) 具有测试信息、断路器信息和分合闸线圈信息的输入、信息排序、数据筛选、浏览等功能。测试信息包括：测试日期、变电站名、波形采集时刻等。断路器信息包括：断路器型号、额定参数、生产厂家、运行编号、生产编号等。分合闸线圈信息包括：分闸线圈型号、合闸线圈型号、额定电压、额定电阻等。
- f) 具有传感器连接状态的指示，传感器连接错误或损坏时应有明显提示。
- g) 检测波形和特征量可直接打印。
- h) 检测数据输出结果的内容和形式参考附录 D。

5.3.4 通信单元

检测主机的通信单元的要求如下：

- a) 可通过无线及有线方式实现数据传输。
- b) 无线方式包括 ZigBee、LoRa、WiFi、蓝牙等方式。
- c) 有线方式包括但不限于 RS485、网线等方式。

5.3.5 辅助单元

检测主机的辅助单元的要求如下：

- a) 若检测仪不使用外接电源，应有充电接口和内置充电电池，电池系统充满后应提供最少 8 小时以上的工作时间，电池的电量实时显示，并有电量低提示。
- b) 在多次连续检测时，每次测量后，检测系统宜自动复位，以便于记录断路器在一段时间内的多次操作。
- c) 可通过内置软件计算波形特征，包括但不限于 3.4~3.9 定义的参数和图 C.1、C.2 所示参数。

6 技术要求

6.1 一般要求

6.1.1 使用环境条件

检测仪的使用环境条件的要求如下：

- a) 环境温度（传感器）： $-20^{\circ}\text{C}\sim 75^{\circ}\text{C}$ 。
- b) 环境温度（检测主机）： $-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。
- c) 相对湿度：不大于 90%RH（环境温度为 $+25^{\circ}\text{C}$ 时）。
- d) 大气压力： $80\text{kPa}\sim 110\text{kPa}$ 。
- e) 上述 a)~d) 规定了检测仪使用的正常环境条件。当不能满足正常环境要求时，由用户与制造厂协商。

6.1.2 供电电源

检测仪的供电电源的要求如下：

- a) 电池供电：采用 $5\text{V}\sim 36\text{V}$ 电池，充满后应可连续工作 8 小时以上，具有欠压告警。
- b) 可接交流电源供电或充电：电源电压 $110\sim 220(1\pm 10\%) \text{V}$ ，电源频率 $50(1\pm 5\%) \text{Hz}$ 。

6.1.3 测量通道

检测仪的测量通道的要求如下：

- a) 宜满足同时测量 3 相断路器分合闸线圈电流的要求。
- b) 具备综合诊断功能的检测仪还需满足储能电机电流、主回路电流的检测要求，必要时可对线圈电压、储能电机电压进行检测，但应有防范电压短路或开路等安全风险的应对措施。
- c) 直流电流采集通道一般不少于 3 个，以满足三相分合闸线圈电流同时检测要求；如需满足 ABC 三相分合闸线圈（每相按 2 个分闸线圈、1 个合闸线圈考虑）电流同时检测要求，则通道不少于 9 个。
- d) 如需满足 ABC 三相主回路电流的同时检测要求，交流电流采集通道不少于 3 个。
- e) 如需满足分合闸线圈端电压和储能电机电压检测要求，交/直流电压采集通道不少于 2 个。
- f) 在单台检测仪的测量通道数无法满足时，可采用多台仪器扩展同步采集的方式。

6.2 功能要求

6.2.1 基本功能要求

检测仪的基本功能要求如下：

- a) 能测量分合闸线圈电流，并显示电流的时域波形；
- b) 能测量储能电机电流，并显示电流的时域波形；

- c) 在接线完成后测量前,能对电流传感器零点进行校准。再次开合后,需重复校准零点;
- d) 若使用充电电池供电,有电池电量显示;
- e) 测试数据应存储于仪器并便于导出,具有测试数据查看和管理功能;
- f) 具备标准波形存储和对比显示功能。若显示波形经过处理,应同时存储测量波形的原始值;
- g) 具有波形的光标点读取功能,以便从波形直接测量相应特征;
- h) 具有对不同通道的波形和测量数据进行平移对比和波形参数比较功能;
- i) 具有三相断路器多通道同步测量功能;
- j) 可具有控制回路电压测量功能;
- k) 宜具有诊断分析功能,可选用下列特征参数:
 - 1) 线圈峰值电流;
 - 2) 初始阶段线圈电流上升速率;
 - 3) 顶杆启动时间;
 - 4) 顶杆空程时间;
 - 5) 脱扣机构运动时间;
 - 6) 主触头动作时间;
 - 7) 辅助触头动作时间;
 - 8) 线圈全电流时间;
 - 9) 储能电机的通流时间。
- l) 可把测量数据与标准波形、历史波形进行比对分析;
- m) 自动记录测量日期和时刻;
- n) 可自动触发、采集并存储数据波形;
- o) 具有断路器和分合闸线圈信息、历史数据和波形等的检索和显示功能。

6.2.2 高级功能要求

检测仪的高级功能要求如下:

- a) 具有干扰过滤和波形的特征参数自动计算功能;
- b) 配置基于知识库和逻辑推理的专家系统,具有异常诊断和预警分析能力,知识库可编辑和维护;
- c) 可配备相应传感器,实现开关动作时间和三相同期性评估功能。

6.2.3 数据文件格式

检测仪应可导出数据文件,还应导出6.2.1中k)所列数据结果。数据文件按GB/T 22386的规定,采用ComTrade1999格式。

6.3 性能要求

6.3.1 直流电流采集

检测操动机构的分合闸线圈电流波形时,应满足:

- a) 用于弹簧、液压机构断路器检测时,性能满足:
 - 1) 范围:宜 $0 \sim \pm 10\text{A}$,或由制造厂和用户商定;
 - 2) 准确度: $\leq 1\%$;
 - 3) 线性度: $\leq 1\%$ 。
- b) 用于永磁机构断路器检测时,性能满足:
 - 1) 范围:宜 $0 \sim \pm 120\text{A}$,或由制造厂和用户商定;

- 2) 准确度: $\leq 1\%$;
- 3) 线性度: $\leq 1\%$ 。
- c) 用于其他机构的检测时, 性能满足:
 - 1) 范围: 应覆盖机构线圈电流变化范围;
 - 2) 准确度: $\leq 1\%$;
 - 3) 线性度: $\leq 1\%$ 。

6.3.2 交流电流采集

当检测仪需要通过检测电流互感器的二次电流以实现主回路电流测量时, 应满足:

- a) 范围: 宜 $0\sim 10\text{A}$, 或由制造厂和用户商定;
- b) 准确度: $\leq 1\%$;
- c) 线性度: $\leq 1\%$ 。

6.3.3 直流/交流电压采集

当检测仪需要检测断路器分合闸控制电压以及电动机电源电压, 以综合判断机构状态时, 应满足:

- a) 范围: 宜 AC $0\sim 300\text{V}$, DC $0\sim \pm 150\text{V}$, 或由制造厂和用户商定;
- b) 准确度: $\leq 0.5\%$;
- c) 线性度: $\leq 1\%$ 。

6.3.4 连续测量稳定性

检测仪连续工作 1 小时后, 注入标准测试信号, 其测量准确度和线性度应在规定范围内。

6.3.5 传感器多次开合稳定性

在电流传感器连续开合 10 次、20 次、50 次后, 分别注入标准测试信号, 其测量准确度和线性度应在规定范围内。

注: 出厂时, 霍尔电流传感器是在闭合后调试校准的。在现场使用过程中, 会多次打开传感器磁环, 环入线圈接线, 再次闭合, 会有磁路的差异, 从而引入测量误差。

6.4 通用技术要求

6.4.1 结构和外观

应满足 Q/GDW 11304.1—2015 中 5.1 的相关要求。还应满足 5 对仪器结构组成的要求。

6.4.2 安全性

应满足 Q/GDW 11304.1—2015 中 5.4 对于安全性的相关要求。在 7.1 规定的正常试验环境下, 检测仪电源端口对机壳在 500V 试验电压下的绝缘电阻不应小于 $100\text{M}\Omega$ 。

6.4.3 环境适应性

应满足 Q/GDW 11304.1—2015 中 5.5 的相关要求。

6.4.4 包装运输

应满足 Q/GDW 11304.1—2015 中 5.6 的相关要求。传感器和主机应有坚固绝缘的运输储存箱。手持式仪器需有便于携带背挎的绝缘包具。

6.4.5 电磁兼容性

应满足 Q/GDW 11304.1—2015 中 5.7 的相关要求。

6.4.6 外壳防护性

应满足 Q/GDW 11304.1—2015 中 5.8 的相关要求。外置传感器的防护等级不低于 IP54。

7 试验项目及要求

7.1 试验环境

除环境影响试验之外，其他试验项目应在如下试验环境中进行：

- a) 环境温度： $+15^{\circ}\text{C} \sim +35^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：25%~75%；
- c) 大气压力：80kPa~110kPa。

7.2 试验分类

试验分为型式试验、出厂试验、入网检测试验、定期试验和到货抽检五类。

7.2.1 型式试验

型式试验是制造厂家将仪器送交具有资质的检测单位，由检测单位依据试验条目完成检验，检验项目见表 1。当出现下列情况之一时，应进行型式试验：

- a) 新产品定型，投运前；
- b) 连续批量生产的仪器每四年一次；
- c) 正式投产后，如设计、工艺材料、元器件有较大改变，可能影响产品性能时；
- d) 产品停产一年以上又重新恢复生产时；
- e) 出厂试验结果与型式试验有较大差异时；
- f) 国家技术监督机构或受其委托的技术检验部门提出型式试验要求时；
- g) 合同规定进行型式试验时。

7.2.2 出厂试验

每台产品出厂前，在正常试验条件下应按规定逐个进行例行检验，检验项目见表 1，检验合格后，附有合格证，方可允许出厂。

7.2.3 入网检测试验

新产品、改型产品或产品初次进入电网应用时，应进行入网检测试验，检验项目见表 1。试验合格后，方可入网应用。

7.2.4 定期试验

使用中的检测仪应该每 1 年检验一次，以保证测量仪器的准确可靠。检验项目见表 1。

7.2.5 到货抽检

到货抽检时，应按照每个供应商、每种型号不少于 10% 的比例（不少于 1 台）抽检，若抽检发现任

意一台不合格，该供货商同型号产品需全部接受检测，检测项目按表 1 中规定执行，检测合格后，方可正式使用。

7.3 试验项目

试验项目见表 1 的规定。应对到货设备按型式试验标准开展不定期抽检。

表 1 检测仪试验项目

序号	试验项目	技术要求	试验方法	型式试验	出厂试验	入网检测试验	定期试验	到货抽检
1	结构和外观检查	6.4.1	7.3.1	●	●	●	●	●
2	功能检验	6.2	7.3.2	●	●	●	●	●
3	性能测试	6.3	7.3.3~7.3.11	●	●	●	●	●
4	安全性试验	6.4.2	7.4.1	●	●	●	●	●
5	环境适应性试验	6.4.3	7.4.2	●	○	●	○	○
6	包装运输试验	6.4.4	7.4.3	●	○	●	○	○
7	电磁兼容性试验	6.4.5	7.4.4	●	○	●	○	○
8	外壳防护性试验	6.4.6	7.4.5	●	○	●	○	○

注：●表示应进行检验的项目；○表示可不进行检验的项目。

7.4 试验方法及要求

7.4.1 外观检查

目视检查外观，应符合Q/GDW 11304.1—2015中5.1的要求。还应满足5对检测仪结构组成和6.1.3对测量通道的要求。

7.4.2 功能检验

按照 6.2 进行逐项检查，所有功能应能正常运行。

7.4.3 直流电流测量准确度试验

电流检测准确度的试验接线如图 1。试验系统由标准电流信号发生器和被测检测仪构成，标准电流信号发生器产生幅值可调的测试电流 I ，电流引线依次穿过被测各电流传感器，各电流传感器与检测仪接好，将电流传感器和检测仪作为一个整体。测试过程中，电流引线应连接牢固，严禁带电流开路。

以电流测量范围 I_n 的 60% 设定标准电流信号，记录各传感器的实际测量显示值。在相同条件下测量不少于 5 次，测量通道的准确度偏差按公式 (1) 计算，应满足 6.3.1 的要求。

$$S_n = \max_{k=1 \dots N} \left(\frac{|I_{kn} - I_k|}{I_k} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中：

S_n ——第 n 通道的单通道检测精度；

n ——传感器所在通道的编号；

k ——某次测量的序号；

- N ——测量次数;
- I_{kn} —— k 次测量时第 n 通道实测值;
- I_k —— k 次测量时标准电流信号发生器产生的标准值。

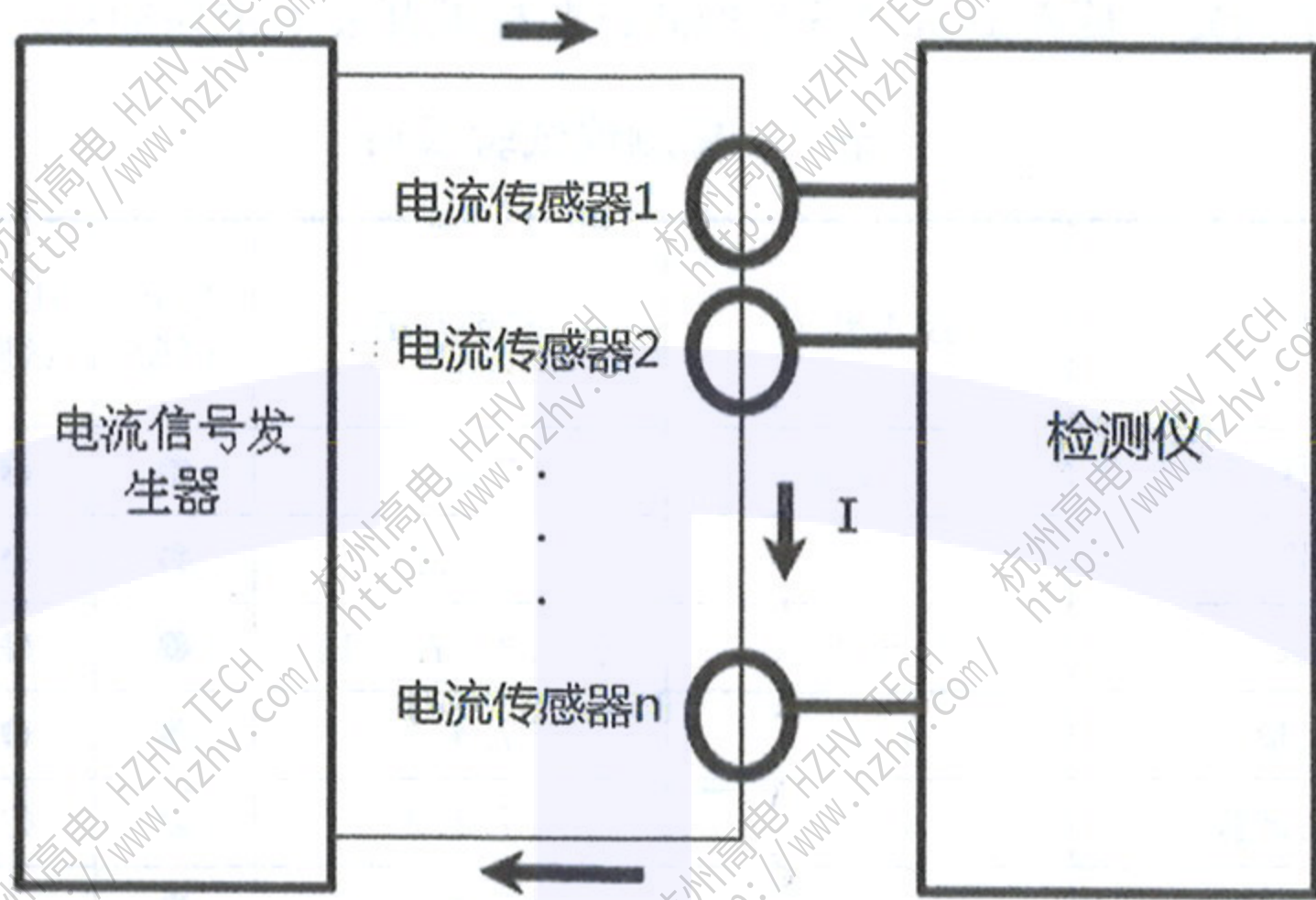


图 1 测量准确度试验示意图

7.4.4 直流电流测量线性度试验

试验接线如图 1，在检测仪的电流测量范围内，以相等步长逐步调节标准电流信号源，取 10 至 12 个测点。测量通道的线性度按照公式 (2) 计算，应满足 6.3.1 的要求。

$$L_n = \text{Max}_{k=1 \dots N} \left(\left| \frac{I_{kn} - I_k}{I_d} \right| \right) \times 100\% \tag{2}$$

式中:

- L_n ——第 n 通道的单通道检测线性度;
- n ——传感器所在通道的编号;
- k ——某次试验的数据点序号;
- N ——试验数据的测量总点数;
- I_{kn} —— k 次测量时第 n 通道实测值;
- I_k —— k 次测量时标准电流信号发生器产生的标准值;
- I_d ——被测装置电流测量范围值。

7.4.5 交流电流测量准确度试验

选用交流的标准电流信号发生器，测量方法与 7.3.3 相同，结果应满足 6.3.2 的要求。

7.4.6 交流电流测量线性度试验

选用交流的标准电流信号发生器，测量方法与 7.3.4 相同，结果应满足 6.3.2 的要求。

7.4.7 电流测量稳定性试验

以幅值为电流测量范围的 50% (或者 5A，取小者)，频率为 1kHz 的方波电流信号为测量对象。将检测仪开机，连续工作，记下其刚开机 1min 内、连续工作 30min 时以及连续工作 60min 时的标准电流幅

值和检测仪测量值。这三次测量值与标准值的相对偏差都不应超过 $\pm 1\%$ 。

7.4.8 电流测量动态响应试验

以幅值为电流测量范围的50%（或者5A，取小者）、频率为1kHz的方波电流信号为测量对象。将检测仪开机，将采集到的信号波形与注入的标准信号波形进行比对，其幅值误差不应超过1%，信号上升沿（信号上升段幅值10%到90%的时间间隔）和下降沿（信号下降段幅值90%到10%的时间间隔）与标准波形相比，时间延长小于0.1ms。

7.4.9 电流传感器多次开合稳定性试验

在电流传感器连续开合10次、20次、50次后，分别注入幅值为电流测量范围的50%（或者5A，取小者）、频率为1kHz的方波信号，记录检测仪测量值，准确度应满足6.3.1和6.3.2的要求。

开合50次后，按7.3.4和7.3.6试验方法，线性度应满足6.3.1和6.3.2的要求。

7.4.10 电压测量稳定性试验

以幅值为电压测量范围的90%、频率为1kHz的方波电压信号为测量对象。将检测仪开机，连续工作，记下其刚开机1min内、连续工作30min时以及连续工作60min时的标准电压幅值和仪器测量值。这三次测量值与标准值的相对偏差都不应超过 $\pm 1\%$ 。

7.4.11 电压测量动态响应试验

以幅值为电压测量范围的90%、频率为1kHz的方波电压信号为测量对象。将检测仪开机，将采集到的信号波形与注入的标准信号波形进行比对，其幅值误差不应超过0.5%，信号上升沿（信号上升段幅值10%到90%的时间间隔）和下降沿（信号下降段幅值90%到10%的时间间隔）与标准波形相比，时间延长小于0.1ms。

7.5 通用技术条件试验

7.5.1 绝缘电阻试验

按Q/GDW 11304.1—2015的6.5进行。并且，在7.1规定的正常试验环境下，在检测仪关机状态，使用500V的兆欧表在电源回路与机壳之间进行绝缘电阻试验，测试结果不应小于100M Ω 。

7.5.2 环境适应性试验

按Q/GDW 11304.1—2015中6.6进行。

7.5.3 包装运输试验

按Q/GDW 11304.1—2015中6.7进行。

7.5.4 电磁兼容性试验

按Q/GDW 11304.1—2015中6.8进行。

7.5.5 外壳防护性试验

按Q/GDW 11304.1—2015中6.9进行。

7.6 合格判定

按 GB/T 6593 的要求进行合格判定。

8 标志、包装、运输、贮存

应满足 Q/GDW 11304.1—2015 中 8.1~8.4 的相关要求。

9 验收

9.1 到货抽检

仪器按表1中的到货抽检试验项目全部合格。

9.2 随仪器提交资料

供应商所有技术资料 and 图纸应以中文方式标注，应向用户提供下列技术文件：

- a) 仪器使用说明书；
- b) 装箱单；
- c) 产品合格证明；
- d) 出厂试验报告。

A

附录 A (资料性附录)

开关设备分合闸线圈工作原理及等效电路

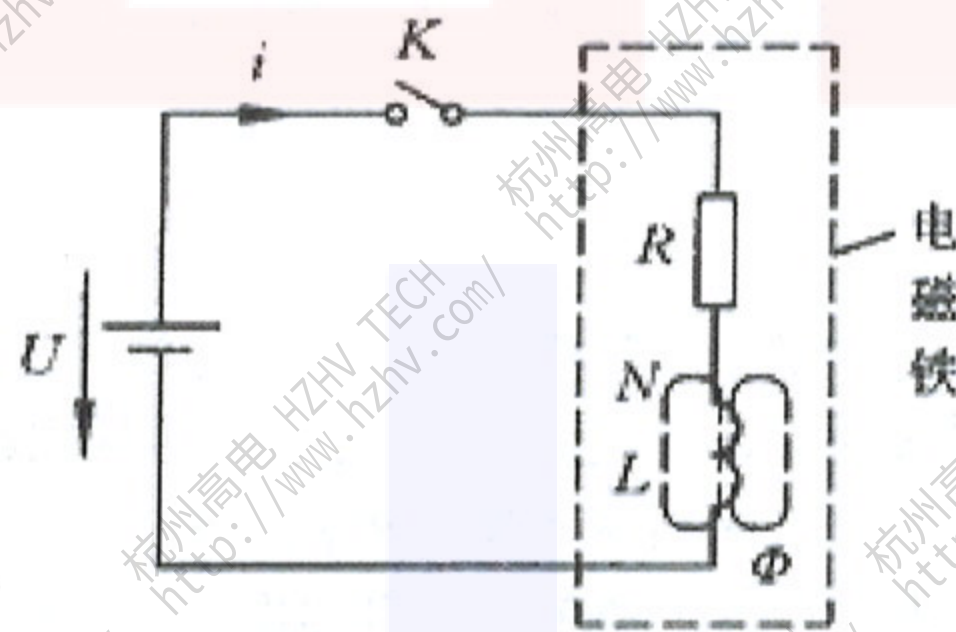
A.1 分合闸线圈工作原理

分合闸线圈（电磁铁）是高压断路器的首级控制元件，当线圈通电时，流过的电流产生电磁力，电流逐渐增大，顶杆（铁芯）在其作用下运动，触动机构的脱扣装置（或液压机构的电磁换向阀）或驱动断路器动触头动作（开关采用永磁机构），从而完成分合闸操作，当辅助触头变位后，线圈失电，其电流逐渐降至零。

A.2 分合闸线圈回路等效电路

目前多数断路器的控制电源都是直流电压，分合闸线圈两端电压为直流。由于线圈内部铁芯的运动，导致线圈电感变化，线圈中流过的是幅值变化的直流电流。此电流从零上升，经过两个到三个起伏后，降为零。

分合闸线圈电路等效为直流电压下的可变电感和电阻的串联回路，参见图A.1。线圈等效电感 L 和磁通 Φ 的值随铁芯运动过程而产生变化，并非恒定值。



说明：

U ——控制回路电压；

i ——线圈（电磁铁）电流；

K ——分合闸控制继电器；

R ——线圈电阻；

N ——线圈匝数；

L ——等效电感；

Φ ——线圈磁通量。

图 A.1 分合闸线圈及控制回路的等值电路图

附录 B
(资料性附录)
检测仪的结构及应用

B.1 分合闸线圈电流波形检测仪结构

检测仪一般由外置电流传感器和检测主机两部分组成，检测主机包括数据采集模块、控制与处理分析模块（包括存储单元、人机交互单元、通信单元和辅助单元）。如图 B.1 所示。

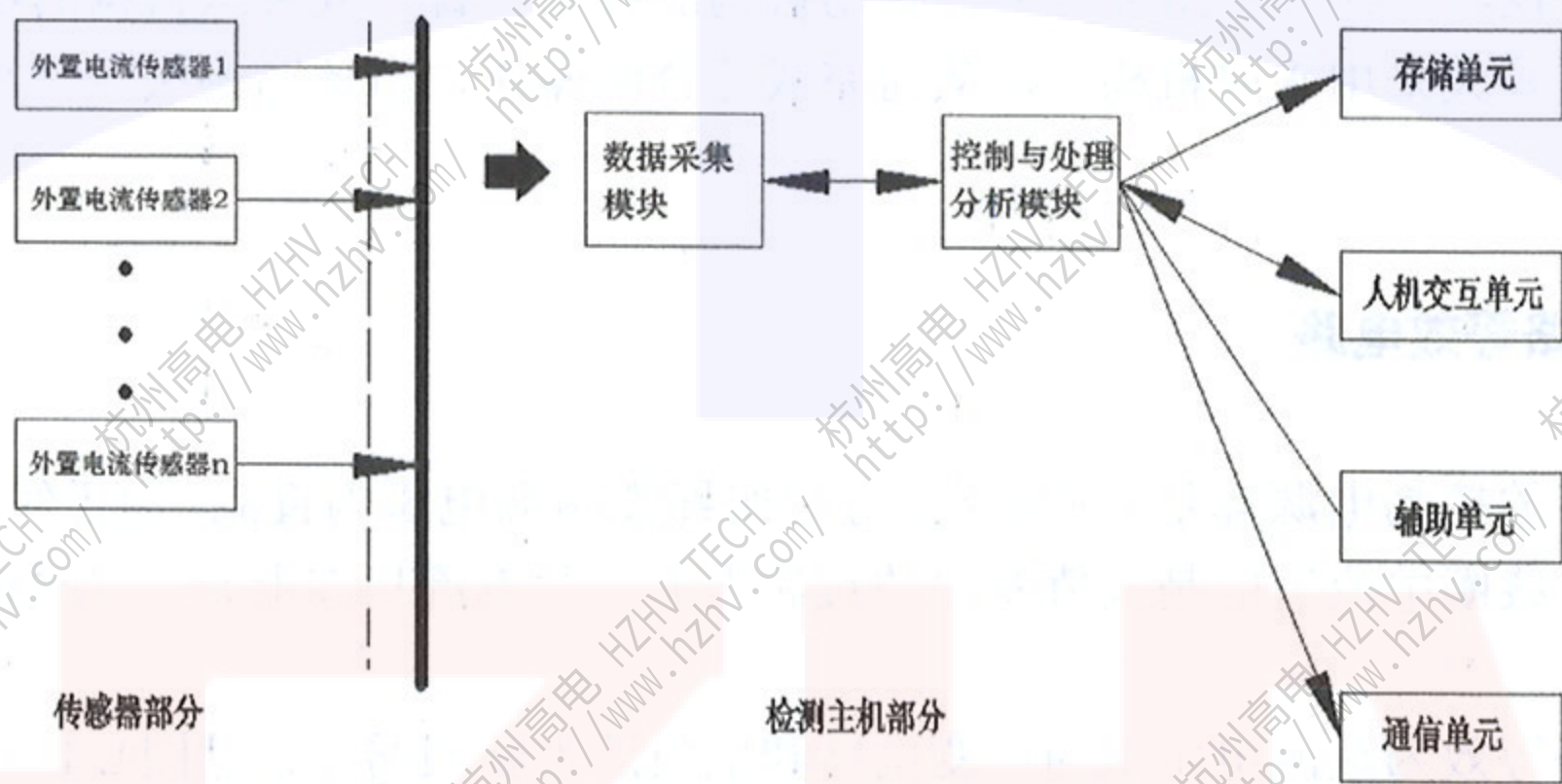


图 B.1 检测仪的结构组成

B.2 线圈电流波形检测仪的应用

在实际应用中常采用开口的电流传感器（如霍尔元件、磁通门元件等）来测量分合闸线圈的电流波形。对开关设备动作时的分合闸线圈电流波形进行记录，配合主回路电流波形、控制电压、储能电机电流、储能电机电压等信号量，可实现对开关设备的操动机构的状态进行分析和评估。

通过对检测波形的量化特征分析和历史数据对比，可实现对动作相关二次元件和机械部件潜在故障的快速诊断，例如可以判断二次控制回路的连接情况、线圈是否完好、铁芯运动有无卡滞等。

附录 C (资料性附录)

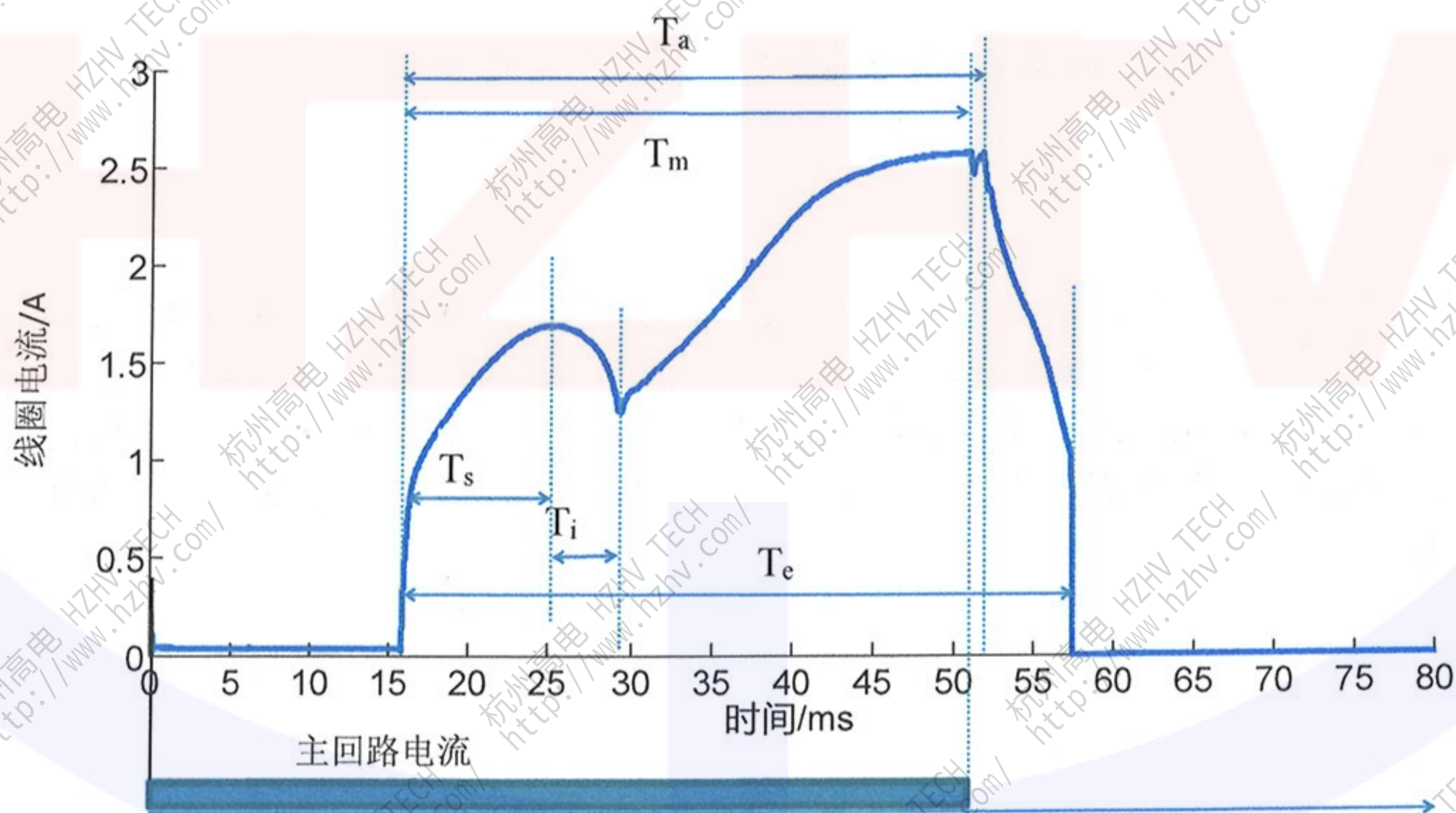
分合闸线圈电流波形诊断原理

C.1 诊断原理

实测的分合闸线圈电流波形参见图C.1和图C.2。当断路器出现分合闸线圈损坏、顶杆(铁芯)拒动、操动机构卡涩、控制电源异常等问题时,等值电路中电感、电阻、电压、通流时间等将随之出现异常,反映为分合闸线圈电流波形与正常形状出现差异。

通过检测电磁铁电流信号,能够有效反映电磁铁铁芯、线圈以及操动机构的状态,也可以评估断路器的分合闸时间等参量。

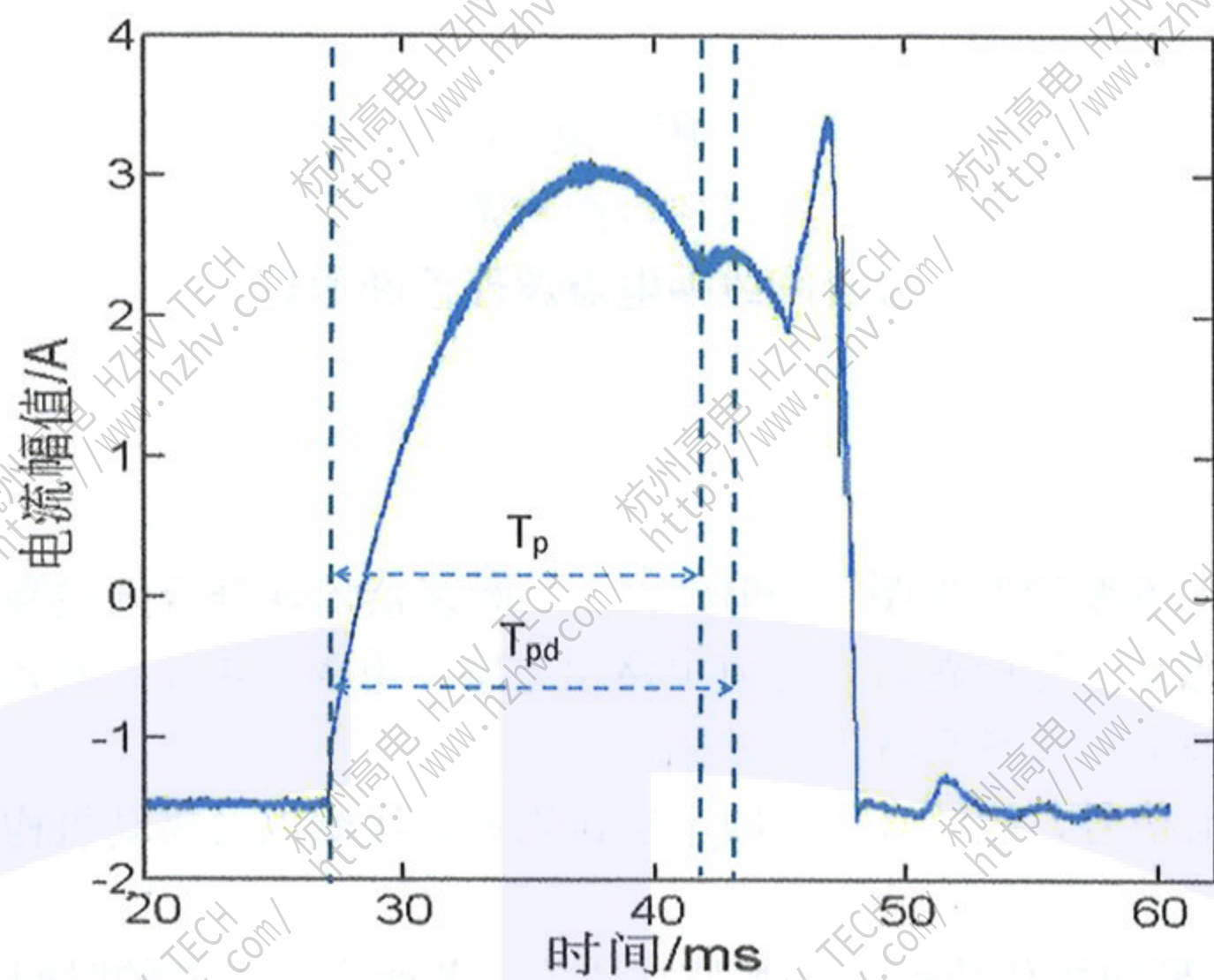
图C.1给出了电流波形的量化特征,对某型号开关设备而言,不同的时间量有其正常的分布区间。例如控制触头动作时间应比主触头动作时间略长,即应在断路器主触头分合闸运动到位后随即产生控制触头的变位信号。时间量不应过短或过长,否则可怀疑相关一次、二次和机械部件存在缺陷。



说明:

- T_s ——顶杆启动时间;
- T_i ——顶杆空程时间;
- T_a ——辅助触头动作时间;
- T_m ——主触头动作时间;
- T_e ——全电流时间。

图 C.1 两峰型分合闸线圈电流波形



说明：
 T_p ——从线圈带电到顶杆碰到脱扣弯板的时间；
 T_{pd} ——从线圈带电到脱扣弯板开始运动的时间。

图 C.2 三峰型分合闸线圈电流波形

C.2 首次动作

在首次动作时进行检测和诊断，有利于发现开关设备的操动缺陷。按3.10对断路器首次动作的定义，首次动作前，断路器通常已在某一分(合)闸状态维持了较长时间，其传动结构和储能装置等长期处于一种状态，可能造成卡涩等问题。在分(合)闸状态变化时的首次动作将改变断路器机构之前的长期运行状态，在首次动作时进行分合闸线圈电流测量，容易发现操动机构卡涩、不灵活等问题，有利于诊断断路器机构的潜在缺陷。

附 录 D
(资料性附录)
检测数据输出结果表

检测数据由前端、上位机或后台软件输出，按分合闸操作次序排列编号，可逐次查询相应的记录，并可提供每次测试的测试报告。测试报告包括 excel 表格和相应波形曲线，以便于后期数据查询、比较及分析。推荐的输出结果如表 D.1 中所示内容。

表 D.1 检测数据输出结果表

序号	项目名称	单位	数值
1	变电站名称	/	
2	设备编号	/	
3	设备型号	/	
4	分闸线圈编号/型号	/	
5	合闸线圈编号/型号	/	
6	检测时间	YY:MM:DD HH:MM:SS.ffff	
7	检测人员	/	
8	操作状态	/	分闸 or 合闸
9	峰值电流	A	
10	初始阶段电流上升速率	A/ms	
11	顶杆启动时间	ms	
12	顶杆空程时间	ms	
13	脱扣机构运动时刻	ms	
14	主触头动作时间	ms	
15	辅助触头动作时间	ms	
16	线圈全电流时间	ms	
17	储能电机的通流时间	ms	
18	分合闸线圈电流波形曲线	A	显示带坐标和刻度的波形；且显示波形特征量及时间起止标识
19	主回路电流曲线	A	显示带坐标和刻度的波形
20	分合闸线圈电压曲线	V	显示带坐标和刻度的波形
21	储能电机电流曲线	A	显示带坐标和刻度的波形
22	其他通道的曲线	A or V	显示带坐标和刻度的波形

电力设备带电检测仪器技术规范

第 18 部分：开关设备分合闸线圈电流波形 带电检测仪

编 制 说 明

目次

1 编制背景	1
2 编制主要原则	1
3 与其他标准文件的关系	1
4 主要工作过程	1
5 标准结构和内容	2
6 条文说明	2



1 编制背景

本部分依据《国家电网有限公司关于下达 2019 年第一批技术标准制修订计划的通知》（国家电网科〔2019〕191 号文）的要求编写。

开关设备是电网中起着重要的控制和保护作用，一旦动作异常，会导致严重的电网事故。Q/GDW 11304.18—2015《电力设备带电检测仪器技术规范 第 18 部分：开关设备分合闸线圈电流波形带电检测仪器技术规范》颁布执行后，规范了产品性能和促进了技术应用。结合开关常规倒闸操作，检测分合闸线圈电流波形，分析判断操动机构的状态及异常部位，有效性已为广泛认同。随着案例和经验的积累，对断路器长期运行后“首次分合闸时”的线圈电流波形的认识加深，以及传感和分析技术的进步，原标准中关于参数定义、仪器性能、功能、试验和检验等内容需要调整、完善和补充，以便对仪器的生产、选购、检验、维护具有更好的指导作用，也有利于及时发现操动问题。

本部分编制目的是为规范开关设备分合闸线圈电流波形检测仪的结构、技术要求、试验项目及要求、验收要求等，促进电力设备带电检测技术的应用，推动智能运检的深化。

2 编制主要原则

本部分主要根据以下原则编制：

- 在总结检测仪的原理、功能和技术规格的基础上，从带电检测的实际工作出发，立足于试验检测的现状，做到技术先进、经济合理、安全实用；
- 充分考虑检测技术和仪器的发展趋势和用户需求，完善并修改了术语和定义、检测原理、仪器组成、技术要求、功能要求、性能要求、试验项目及要求、验收要求，补充了附录检测数据输出结果表；
- 在认真研究产品技术参数和应用研究成果的基础上，对性能试验的实施方法和指标要求进行细化，既满足工程应用要求，又兼顾仪器的工艺技术水平 and 实施难度。

3 与其他标准文件的关系

本部分与相关技术领域的国家现行法律、法规和政策保持一致。

本部分不涉及专利、软件著作权等知识产权使用问题。

4 主要工作过程

2019 年 2 月，按照公司制修订计划，项目启动。

2019 年 3 月，成立编写组，编制任务书。

2019 年 4 月，完成标准大纲编写，组织研讨确定任务分工和编写计划。

2019 年 5 月，完成标准初稿编写，收集技术资料，召开标准初稿审查会，听取专家意见。

2019 年 9 月，完成标准征求意见稿编写，采用会议、邮件、问询等方式广泛、多次在国网公司范围内征求意见。

2019 年 10 月，对所有征求意见进行了汇总，逐条对意见进行处理。

2019 年 11 月，修改形成标准送审稿。根据采纳的修改意见，再次对本部分进行了修改。

2019 年 11 月，国家电网设备管理技术标准工作组（TC04）组织召开了标准审查会，审查标准送审稿及征求意见处理情况，审查结论为：同意修改后以技术标准形式报批。

2019 年 11 月，修改形成标准报批稿。

5 标准结构和内容

Q/GDW 11304—2014《电力设备带电检测仪器技术规范》分为下列 21 个部分：

——第 1 部分：带电检测仪器通用技术规范；

- 第2部分：电力设备检测用红外热像仪技术规范；
- 第3部分：紫外成像仪；
- 第4-1部分：油中溶解气体分析带电检测仪器技术规范（气相色谱法）；
- 第4-2部分：油中溶解气体分析带电检测仪器技术规范（光声光谱法）；
- 第5部分：高频法局部放电带电检测仪器技术规范；
- 第6部分：电力设备接地电流带电检测仪器；
- 第7部分：电容型设备绝缘带电检测仪器技术规范；
- 第8部分：特高频法局部放电带电检测仪；
- 第9部分：超声波法带电检测仪器；
- 第10部分：支柱瓷绝缘子带电探伤测试仪器；
- 第11部分：SF₆气体湿度带电检测仪；
- 第12部分：SF₆气体纯度带电检测仪；
- 第13部分：SF₆气体分解物带电检测仪技术规范；
- 第14部分：SF₆气体泄漏激光成像法带电检测仪器；
- 第15部分：SF₆气体泄漏红外成像法带电检测仪器技术规范；
- 第16部分：暂态地电压法带电检测仪器；
- 第17部分：开关设备机械特性带电检测仪器；
- 第18部分：开关设备分合闸线圈电流波形带电检测仪；
- 第19部分：变压器有载分接开关声学指纹带电检测仪器；
- 第20部分：电抗器振动测试仪；
- 第21部分：X射线成像检测仪。

Q/GDW 11304 第1部分规定了带电检测仪器的通用技术要求；第2部分规定了红外热像仪的技术要求；第3部分规定了紫外成像仪的技术要求；第4-1部分规定了气相色谱法油中溶解气体分析带电检测仪的技术要求；第4-2部分规定了光声光谱法油中溶解气体分析带电检测仪的技术要求；第5部分规定了高频法局部放电带电检测仪的技术要求；第6部分规定了接地电流带电检测仪的技术要求；第7部分规定了接地电流带电检测仪的技术要求；第8部分规定了特高频法局部放电带电检测仪的技术要求；第9部分规定了超声波法带电检测仪的技术要求；第10部分规定了支柱瓷绝缘子带电探伤的技术要求；第11部分规定了SF₆气体湿度带电检测仪的技术要求；第12部分规定了SF₆气体纯度带电检测仪的技术要求；第13部分规定了SF₆气体分解物带电检测仪的技术要求；第14部分规定了SF₆气体泄漏激光成像法带电检测仪的技术要求；第15部分规定了SF₆气体泄漏红外成像法带电检测仪的技术要求；第16部分规定了暂态地电压法带电检测仪的技术要求；第17部分规定了开关设备机械特性带电检测仪的技术要求；第18部分规定了开关设备分合闸线圈电流波形带电检测仪的技术要求；第19部分规定了变压器有载分接开关声学指纹带电检测仪的技术要求；第20部分规定了电抗器振动测试仪的技术要求；第21部分规定了X射线成像检测仪的技术要求。

本部分是Q/GDW 11304—2014的第18部分。

本部分代替Q/GDW 11304.18—2015，与Q/GDW 11304.18—2015相比，本次修订做了如下重大调整：

- 增加了顶杆（铁芯）启动时间、顶杆（铁芯）空程时间、开断时间、关合时间、控制触头动作时间、线圈全电流时间、断路器首次动作的术语和定义（见3.4~3.10）；
- 增加了对仪器结构组成中对传感器和检测主机的要求（见5.2~5.3）；
- 增加了波形存储的数据文件格式的要求（见6.2.3）；
- 修改了直流电流采集、交流电流采集、直流/交流电压采集的性能要求（见6.3）；
- 增加了直流电流测量线性度试验、交流电流测量线性度试验的要求（见7.4.4、7.4.6）；
- 增加了仪器验收的要求（见9）；

- 增加了开关设备分合闸线圈的工作原理及等效电路、分合闸线圈电流波形检测仪的结构及应用、分合闸线圈电流波形诊断、检测数据输出结果表（见附录 A～附录 D）；
- 删除了产品分类的要求。

原标准起草单位包括国网上海市电力公司电力科学研究院、国网上海市电力公司、中国电力科学研究院、国网北京市电力公司、开马集团；原标准主要起草人包括：高凯、王黎明、廖天明、傅晓飞、吴欣烨、阎春雨、毕建刚、程序、徐玲玲、姚建歆、戴缘生、李骏、胡海敏、徐鹏、倪浩、陆启宇、齐伟强、王文山。

本部分按照《国家电网公司技术标准管理办法》（国家电网企管〔2018〕222 号文）的要求编写。

本部分的主要结构和内容如下：

本部分主题章分为 6 章，由工作原理、结构组成、技术要求、试验项目及要求、标志、包装、运输、贮存和验收组成。本部分兼顾了全面性和适用性，本着规范产品技术要求和采购验收的原则，给出了检测仪的设计、生产、采购和检验的要求，最后提出了仪器验收的要求，以指导开关设备分合闸线圈电流波形带电检测技术的应用。标准所列的准确度、线性度、稳定性、动态响应、开合稳定性等试验项目，是在功能要求的基础上，提出的更高要求。对检测仪的功能检查和试验的试验将更进一步为带电检测的现场应用提供检测手段的可靠保障。这 6 章是顺序结构，第 5 章是第 6 章的基础，第 7 章是第 6 章的检查手段，第 8 章和第 9 章并列，第 9 章能够为检测仪收货提供指导。

6 条文说明

本部分第 3.4～3.9 条中，增加了分合闸线圈电流波形检测所涉及的术语和定义，便于使用者理解波形特点和数据特征分析。

本部分第 3.10 条中，增加了断路器首次动作的概念，首次动作将改变断路器机构之前的长期运行状态，在首次动作时进行分合闸线圈电流测量，容易发现操动机构等的潜在问题。

本部分第 4 章中，修订了分合闸线圈电流波形检测仪的工作原理，更为规范易懂。

本部分第 5 章中，规范了检测仪的结构组成，分为整体结构、传感器、检测主机三部分，与原标准相比细化了各组成部分的结构等要求。

本部分第 6 章中，规定了检测仪的技术要求，包括一般要求、功能要求、性能要求、通用技术要求，与原标准相比，修改了直流电流采集、交流电流采集、交直流电压采集、测量稳定性等要求，增加了量化的指标，提高了可执行程度。

本部分第 6.1.2 条中，规定了仪器的工作电源要求，本要求是综合考虑了工作现场条件及目前市场上各类型仪器的工作电源情况后提出的。

本部分第 6.1.3 条中，明确了仪器的测量通道数要求，综合考虑了开关各相同步测量和比较、测试效率及试验数据的可参考性后提出的。

本部分第 6.2.1 条中，规定了仪器应具备的基本功能要求，增加了零点校准、特征参数、时间戳等要求。

本部分第 6.2.3 条中，增加了数据文件格式。

本部分第 6.3 条中，规定了电流和电压采集的性能，提出了范围、准确度、线性度、连续测量稳定性、传感器多次开合稳定性的具体要求。

本部分第 7 章中，规定了试验环境、试验项目、试验方法及要求等，比原标准更为详细规范。

本部分第 7.4 条中，修改了准确度试验、线性度试验、电流测量稳定性试验、电流测量动态响应试验、电流传感器多次开合稳定性试验等的要求。

本部分第 8 章，与 Q/GDW 11304.1—2015 中相关要求一致。

本部分第 9 章为新增，规范了仪器验收的要求。