

ICS 29.180
CCS K 45

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1400.3—2023
代替 DL/T 1400—2015

变压器测试仪校准规范 第 3 部分：油浸式变压器测温装置

Calibration specification of transformers tester —
Part 3: Temperature measuring devices for
oil-immersed transformers

本标准仅为学习交流之用，无商业用途，若有侵权请告知，我们将及时删除

2023-05-26 发布

2023-11-26 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 概述	2
5 计量特性	3
5.1 示值误差	3
5.2 两表偏差	3
5.3 接点动作误差	3
5.4 热模拟误差	3
6 校准条件	4
6.1 环境条件	4
6.2 测量标准及其他设备	4
6.3 其他要求	5
7 校准项目和校准方法	5
7.1 校准项目	5
7.2 校准准备	5
7.3 校准方法	6
8 校准结果表达	10
8.1 校准数据处理	10
8.2 校准证书	10
9 复校时间间隔	10
附录 A（资料性） 测温装置校准流程	11
附录 B（资料性） 全天候指针温度计示值误差测量不确定度评定示例	12
附录 C（资料性） 测温装置热模拟温升原理	15
附录 D（资料性） 测温装置校准原始记录格式	16
附录 E（资料性） 测温装置校准证书内页格式	18
参考文献	20

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。

本文件是 DL/T 1400《变压器测试仪校准规范》的第3部分。DL/T 1400 已经发布了以下部分：

——第3部分：油浸式变压器测温装置。

本文件代替 DL/T 1400—2015《油浸式变压器测温装置现场校准规范》，与 DL/T 1400—2015 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了适用于测温装置的实验室校准（见第1章）；
- b) 更改了部分术语和定义中的用词，新增全天候指针温度计等术语（见第3章）；
- c) 更改了准确度等级、示值误差等计量特性要求（见 5.1.1、5.1.2，2015年版的 5.2）；
- d) 增加了实验室校准环境条件（见 6.1.1）；
- e) 增加了实验室校准内容（见 7.2.3.1、7.3.1）；
- f) 增加了不确定度评定示例（见附录 B）。

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。

本文件由中国电力企业联合会提出并解释。

本文件由全国高电压试验技术和绝缘配合标准化技术委员会高电压试验技术分技术委员会（SAC/TC 163/SC 1）归口。

本文件起草单位：国网上海市电力公司电力科学研究院、国网山东省电力公司、中国电力科学研究院有限公司、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司电力科学研究院、应急管理部天津消防研究所、沈阳变压器研究院有限公司、杭州科宏仪器仪表有限公司、西安热工研究院有限公司、杭州华通仪表有限公司。

本文件主要起草人：袁志文、卢有龙、李贵民、蔡胜伟、徐征宇、申莉、林春耀、阚强、孙云瀚、孙兵、赵婷婷、石晓东。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2015年首次发布为 DL/T 1400—2015；

——本次为第一次修订。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

引 言

DL/T 1400《变压器测试仪校准规范》拟由 7 部分构成：

- 第 1 部分：变压器空、负载损耗测试仪。目的在于对变压器空、负载损耗测试仪的校准进行规范。
- 第 2 部分：变压器有载分接开关测试仪。目的在于对变压器有载分接开关测试仪的校准进行规范。
- 第 3 部分：油浸式变压器测温装置。目的在于对油浸式变压器测温装置的校准进行规范。
- 第 4 部分：变压器绕组变形测试仪。目的在于对变压器绕组变形测试仪的校准进行规范。
- 第 5 部分：变压器用压力释放阀。目的在于对变压器用压力释放阀的校准进行规范。
- 第 6 部分：变压器油介损测量仪。目的在于对变压器油介损测量仪的校准进行规范。
- 第 7 部分：变压器铁芯接地电流测量装置。目的在于对变压器铁芯接地电流测量装置的校准进行规范。

变压器测试仪校准规范

第3部分：油浸式变压器测温装置

1 范围

本文件规定了油浸式电力变压器（电抗器、换流变压器）测温装置（以下简称“测温装置”）的计量特性、校准条件、校准项目和校准方法、校准结果表达、复校时间间隔的要求等。

本文件适用于测温装置的实验室校准、现场校准，不适用于光纤传感器测温装置的校准。

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。

JJF 1001 通用计量术语及定义

JB/T 6302 变压器用油面温控器

3 术语和定义

JJF 1001、JB/T 6302 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

指针温度计 dial type temperature indicator

用于测量和就地显示油浸式变压器（电抗器）油面温度或绕组温度，并提供非电量保护控制信号的压力式温度计。

3.2

全天候指针温度计 all-weather dial type temperature indicator

在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的运行环境温度范围内，其准确度等级或最大允许误差不因运行环境温度变化而改变的指针温度计（3.1）。

3.3

远传信号测温装置 remote measurement device

用于输出或远方显示变压器内部温度的测量装置，包括测温元件、温度变送器、远方温度显示器等。

[来源：JB/T 6302—2016，3.7，有修改]

3.4

测温装置 temperature measuring device

用于测量油浸式变压器（电抗器）油面温度、绕组温度的装置，由互为独立通道的全天候指针温度计（3.2）和远传信号测温装置（3.3）两部分共同组成，或仅由其中一部分构成。根据用途分为油面测温装置和绕组测温装置。

3.5

多点校准 multi-point calibration

以满足技术指标要求的全天候指针温度计（3.2）示值为参考，在示值校准点对远传信号测温装置（3.3）进行分段线性化校准。

3.6

接点动作误差 **contact action error**

全天候指针温度计（3.2）的温度控制开关上行程动作值（即上切换值）与其设定值之差，单位为摄氏度（℃）。

3.7

两表偏差 **deviation between dial type and remote indicators**

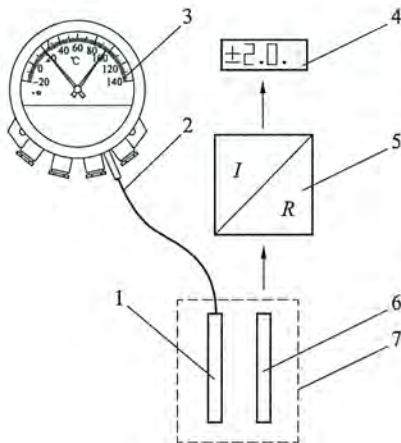
安装在同一测量点的远传信号测温装置（3.3）示值与全天候指针温度计（3.2）示值之差的绝对值，单位为摄氏度（℃）。

4 概述

测温装置由互为独立通道的全天候指针温度计和远传信号测温装置组成。其中，全天候指针温度计依据封闭系统内部工作物质的体积或压力随温度变化的原理进行温度测量，仪表封闭系统由温包、毛细管和弹性元件组成；温包内充工作介质，在测量温度时，温包内部工作介质的体积或压力发生变化，经毛细管将此变化传递给弹性元件（如弹簧管），弹性元件变形后推动指针产生位移，实现显示表计就地显示变压器温度和非电量保护控制信号输出。

远传信号测温装置是通过测温元件（一般为 Pt100）感受温度变化，输出相应的电测量，经由温度变送器输出模拟量信号至远方温度显示器，实现变压器温度的远方显示。远传信号测温装置由测温元件、温度变送器或（及）远方显示器组成。

其中全天候指针温度计的温包及（或）远传信号测温装置的测温元件总称为复合温度传感器。测温装置结构示意图见图 1。



标引序号说明：

- 1——温包；
- 2——毛细管；
- 3——显示表计；
- 4——远方温度显示器；
- 5——温度变送器；
- 6——测温元件；
- 7——复合温度传感器。

图 1 测温装置结构示意图

5 计量特性

5.1 示值误差

5.1.1 测温装置的测量范围、准确度等级与最大允许误差见表 1。最大允许误差为准确度等级对应的百分数与其量程之积。

5.1.2 在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度范围内运行时，测温装置的示值误差（包含环境温度影响引入的误差）不应超过表 1 中规定的最大允许误差。

表 1 测温装置的测量范围、准确度等级与最大允许误差对照表

测量范围	准确度等级	最大允许误差 $^{\circ}\text{C}$					
		全天候指针温度计示值误差	远传信号测温装置示值误差	两表偏差 (仅实验室)	接点动作误差	热模拟误差	热模拟两表偏差
$-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 140\text{ }^{\circ}\text{C}$	1.5	± 2.4	± 2.4	2.4	± 2.4	± 2.4	2.4
	2.0	± 3.2	± 3.2	3.2	± 3.2	± 3.2	3.2
	2.5	± 4.0	± 4.0	4.0	± 4.0	± 4.0	4.0
$0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$	1.5	± 2.2	± 2.2	2.2	± 2.2	± 2.2	2.2
	2.0	± 3.0	± 3.0	3.0	± 3.0	± 3.0	3.0
	2.5	± 3.8	± 3.8	3.8	± 3.8	± 3.8	3.8
$0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 160\text{ }^{\circ}\text{C}$	1.5	± 2.4	± 2.4	2.4	± 2.4	± 2.4	2.4
	2.0	± 3.2	± 3.2	3.2	± 3.2	± 3.2	3.2
	2.5	± 4.0	± 4.0	4.0	± 4.0	± 4.0	4.0

5.2 两表偏差

5.2.1 单独由全天候指针温度计或远传信号测温装置组成的测温装置不进行两表偏差校准。

5.2.2 由全天候指针温度计和远传信号测温装置组成的测温装置，其两表偏差应符合以下要求：

- 在实验室校准时，测温装置两表偏差不应超过表 1 规定的最大允许误差；
- 在现场校准时，测温装置两表偏差不应超过表 1 规定的最大允许误差的 1.25 倍。

5.3 接点动作误差

测温装置的接点动作误差不应超过表 1 规定的最大允许误差。

5.4 热模拟误差

5.4.1 绕组测温装置的热模拟装置输入相应交流电流后，热模拟装置的加热电流 I_h （装置调节准确度优于 $\pm 10\text{ mA}$ ）与热模拟温升值 Δt 应满足表 2 的规定。

5.4.2 对于绕组测温装置制造厂家单独提供热模拟特性数据的，应按厂家数据执行。

表 2 热模拟加热电流与热模拟温升值对照表

热模拟加热电流 I_h mA	740	800	860	920	980	1040	1090	1140	1190	1240	1280	1320	1360	1400	1440
热模拟温升值 Δt $^{\circ}\text{C}$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38

注：可采用插值法确定其他温升值对应的电流值。

5.4.3 绕组测温装置的热模拟误差不应超过表 1 规定的最大允许误差。

5.4.4 绕组测温装置热模拟两表偏差不应超过表 1 规定的最大允许误差绝对值。

注：5.4 条款不作为合格性判断依据。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 实验室校准

测温装置的实验室校准环境应满足以下要求：

- 温度：20℃±5℃；
- 相对湿度：≤75%；
- 所用测量标准和其他设备正常工作的环境条件应符合相应标准规定。

6.1.2 现场校准

测温装置的现场校准环境应满足以下要求：

- 温度：5℃~40℃；
- 相对湿度：≤90%；
- 所用测量标准和其他设备正常工作的环境条件应符合相应标准规定。

6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备要求见表 3。也可采用其他的测量标准和试验设备，其扩展不确定度不应超过被校测温装置误差限的 1/4。

表 3 测量标准及其他设备要求

设备名称	性能指标
标准温度计	准确度等级或不确定度：不应超过被校测温装置误差限的 1/4； 测量范围：-20℃~200℃
恒温设备	1) 用于误差测量： 工作介质：液体； 有效工作区域：不小于 $\phi 70\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ ； 测量范围：-20℃~160℃； 温场均匀性：≤0.2℃； 温度波动性：≤0.2℃/10 min； 升温速率（接点动作误差校验时）：(1±0.1)℃/min。 2) 用于模拟环境温度： 工作介质：水； 有效工作区域（长×宽×高）：不小于 600 mm×300 mm×120 mm； 测量范围：50℃~70℃； 温场均匀性：≤1℃； 温度波动性：≤1℃/10 min
绝缘电阻表	额定直流电压：500 V； 准确度等级：5.0 级
数字万用表*	测量范围：AC (10 mA~5 A)、AC (100 mV~1000 V)； 最大允许误差：不超过±0.5%

表 3（续）

设备名称	性能指标
工频电流发生器*	输出范围：AC（0.5 A～5 A）； 电流输出波动：≤5 mA/30 min； 最大输出功率：≥60 VA； 输出频率：50 Hz
直流电流表	测量范围：DC（0 mA～30 mA）； 最大允许误差：不超过±0.5%
注：带*检测设备用于热模拟误差校准。	

6.3 其他要求

测温装置校准时满足以下要求：

- a) 全天候指针温度计应垂直布置；
- b) 复合温度传感器底部浸入恒温设备液面深度不应小于 120 mm；
- c) 示值误差校准点与温度控制开关设定点差值的绝对值应大于 6.0 ℃；
- d) 接点动作误差校准时，相邻两个温度控制开关设定点差值的绝对值应大于 6.0 ℃。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

测温装置的实验室校准及现场校准项目按表 4 规定。

表 4 测温装置校准项目及校准方法

序号	校准项目	要求对应条款	校准方法	
			实验室校准	现场校准
1	外观检查	7.2.1	7.2.1	7.2.1
2	标识检查	7.2.2	7.2.2	7.2.2
3	绝缘电阻检查	7.2.3	7.2.3	*7.2.3
4	示值误差	5.1	7.3.1.1	7.3.2.1
5	两表偏差	5.2	7.3.1.1	7.3.2.1
6	接点动作误差	5.3	7.3.1.3	7.3.2.2
7	热模拟误差	5.4	7.3.1.4	*7.3.2.3
注 1：*为选做项目。 注 2：测温装置校准流程见附录 A。				

7.2 校准准备

7.2.1 外观检查

采用目测方法，测温装置的外观应满足以下要求：

- a) 全天候指针温度计的视窗应光洁透明，无缺陷或损伤，不妨碍正确读数；
- b) 全天候指针温度计的最高温度指示针应转动正常，且不影响正常测温；
- c) 全天候指针温度计的指针尖端应覆盖标度尺上最短分度线的 1/4～3/4，宽度不应超过标度尺最

短分度线宽度，指针与刻度盘间隙应在 1 mm~3 mm 范围内；

- d) 全天候指针温度计刻度线和分度数应完整、清晰，测量范围内示值刻度及温度控制开关设定刻度的最小分度值均不应超过 2 °C。

7.2.2 标识检查

7.2.2.1 采用目测方法，全天候指针温度计在可视位置（如刻度盘、铭牌等）应有以下标识：

- a) 产品名称、型号、编号；
- b) 测量范围、运行时环境温度（-25 °C~65 °C）条件下的准确度等级（或最大允许误差）、计量单位；
- c) 生产日期；
- d) 制造厂家信息（如厂名、商标、标识等）；
- e) 制造标准。

7.2.2.2 采用目测方法，远传信号测温装置中的温度变送器和远方显示器在可视位置应有以下标识：

- a) 产品名称、型号、编号；
- b) 测量范围、准确度等级（或最大允许误差）、计量单位；
- c) 输入类型、输出类型；
- d) 工作电源；
- e) 生产日期；
- f) 制造厂家信息（如厂名、商标、标识等）；
- g) 制造标准。

7.2.3 绝缘电阻检查

7.2.3.1 在实验室校准条件下，采用直流 500 V 绝缘电阻表对测温装置下列部位的绝缘电阻进行测试，均不应小于 20 MΩ：

- a) 温度控制开关输出端子与接地端子之间的绝缘电阻；
- b) 温度变送器（或远方显示器）的电源输入端子与接地端子之间的绝缘电阻；
- c) 绕组测温装置热模拟装置电流互感器（TA）电流输入端子与接地端子之间的绝缘电阻。

7.2.3.2 在现场校准条件下，采用直流 500 V 绝缘电阻表对测温装置下列部位的绝缘电阻测试，均不应小于 2 MΩ：

- a) 温度控制开关输出端子与接地端子之间的绝缘电阻；
- b) 绕组测温装置热模拟装置电流互感器（TA）电流输入端子与接地端子之间的绝缘电阻。

7.3 校准方法

7.3.1 实验室校准

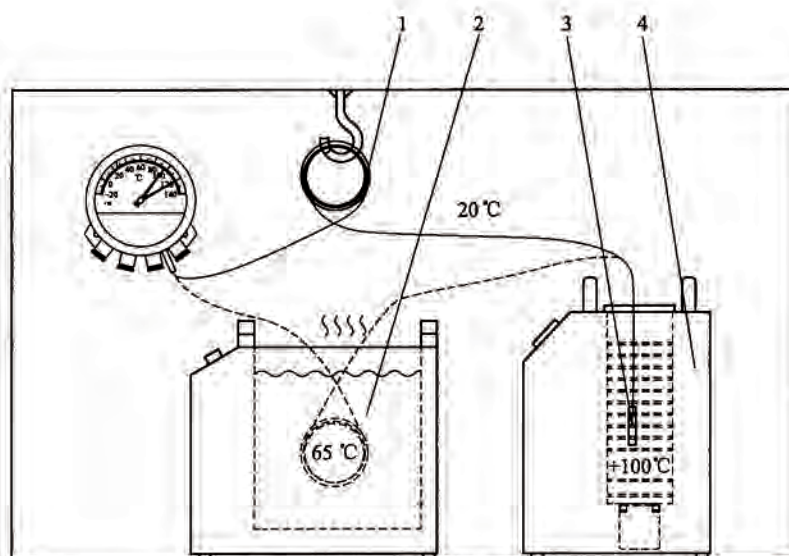
7.3.1.1 示值误差及两表偏差

采用直接比较法对测温装置进行校准。示值误差及两表偏差的校准点宜均匀分布在全天候指针温度计测量范围内的主分度线上（包括测量上限和测量下限），且距温度控制开关设定点差值超过 6 °C，校准点一般不少于四个。

- a) 将标准温度计和复合温度传感器插入温场稳定的恒温设备中，复合温度传感器底部浸入液面深度不应小于 120 mm，控制恒温设备的温度在正、反行程上至校准点，待示值稳定 15 min 后同时读取标准温度计、全天候指针温度计、远传信号测温装置的示值，并记录。

注：全天候指针温度计读数时应读取到最小分度值的 1/5 或 1/10。

- b) 在示值误差及两表偏差校准时，需对测温装置进行环境温度影响试验，见图 2。将标准温度计和复合温度传感器插入温度稳定在 100℃ 的恒温设备中，复合温度传感器底部浸入液面深度不应小于 120 mm，待全天候指针温度计示值稳定后，将全天候指针温度计毛细管放入 65℃ 恒温水槽中保持 15 min，读取标准温度计、全天候指针温度计、远传信号测温装置的示值，并记录。



标引序号说明：

- 1——毛细管；
2——恒温水槽；
3——复合温度传感器；
4——标准恒温槽。

图 2 环境温度影响试验示意图

- c) 全天候指针温度计的示值误差按公式 (1) 计算，远传信号测温装置的示值误差按公式 (2) 计算，两表偏差按公式 (3) 计算，所有校准点正反行程的示值误差及两表偏差的测量结果均应符合 5.1 和 5.2 的规定。

$$y_1 = t_1 - (t'_1 + t_d) \quad (1)$$

$$y_2 = t_2 - (t'_1 + t_d) \quad (2)$$

$$y_3 = |t_2 - t_1| \quad (3)$$

式中：

- y_1 ——被校全天候指针温度计的示值误差，单位为摄氏度 (℃)；
 y_2 ——被校远传信号测温装置的示值误差，单位为摄氏度 (℃)；
 y_3 ——被校测温装置的两表偏差，单位为摄氏度 (℃)；
 t_1 ——被校全天候指针温度计示值，单位为摄氏度 (℃)；
 t_2 ——被校远传信号测温装置示值或输出量所转换成的温度值，单位为摄氏度 (℃)；
 t'_1 ——标准温度计示值，单位为摄氏度 (℃)；
 t_d ——标准温度计示值的修正值，单位为摄氏度 (℃)。

注：全天候指针温度计示值误差测量不确定度评定示例见附录 B。

7.3.1.2 测温装置多点校准

当测温装置示值误差满足 5.1 的规定，而两表偏差超出 5.2 的规定时，允许对测温装置在各校准点进行一次多点校准，方法如下：

- 按 7.3.1.1 方法进行校准，当测温装置示值稳定后，调整远传信号测温装置示值与全天候指针温度计示值相一致，校准点原则上不少于三个；
- 经多点校准的测温装置，需按 7.3.1.1 的要求再次进行示值误差及两表偏差校准，结果均应符合 5.1 和 5.2 的规定。

7.3.1.3 接点动作误差

全天候指针温度计接点动作误差校准以现场或出厂设定值确定校准点，校准方法如下：

- 按上行程方向设定温度开关，将被校准温度控制开关接入信号电路中，通过信号电路确认每一个被校温度控制开关经过触发、复位后均处于正常状态。
- 将标准温度计和复合温度传感器插入温场稳定的恒温设备中，复合温度传感器底部浸入液面深度不应小于 120 mm。在接近校准点时，控制恒温设备以 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min} \sim 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速率缓慢升温直至温度控制开关触发接点动作，读取接点动作时标准温度计示值。
- 接点动作误差按公式 (4) 计算，结果应符合 5.3 的规定。

$$y_4 = (t'_4 + t_d) - t_4 \quad (4)$$

式中：

- y_4 ——被校全天候指针温度计的接点动作误差，单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)；
 t_4 ——被校全天候指针温度计温度控制开关设定值，单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)；
 t'_4 ——被校全天候指针温度计温度控制开关动作瞬间标准温度计示值，单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)；
 t_d ——标准温度计示值的修正值，单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)。

7.3.1.4 热模拟误差

测量变压器绕组热点温度的测温装置需进行热模拟（热模拟温升原理见附录 C）误差校准。校准方法如下：

- 在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ （基础温度）时，根据表 2 选取不少于三个校准点（选取时， I_h 应包含 740 mA、1040 mA、1280 mA）。
- 将复合温度传感器插入固定于恒温油槽内的温度计座，确保复合温度传感器底部浸入液面深度不小于 120 mm。
- 按图 3 连接试验线路，将恒温油槽温度控制在 $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内，并稳定 15 min，读取全天候指针温度计示值。
- 计算变压器在额定负载时电流互感器的输出电流 I_{TA} ，调整工频电流发生器，输入 I_{TA} 到热模拟装置 TA 电流输入端。
- 调整测温装置内部变流器使加热电流 I_h 至校准点，待稳定 45 min 后读取全天候指针温度计示值、远传信号测温装置示值、标准温度示值及加热电流值。
- 全天候指针温度计热模拟误差按公式 (5) 计算，远传信号测温装置热模拟误差按公式 (6) 计算，热模拟两表偏差按公式 (7) 计算，均应符合 5.4 的规定。

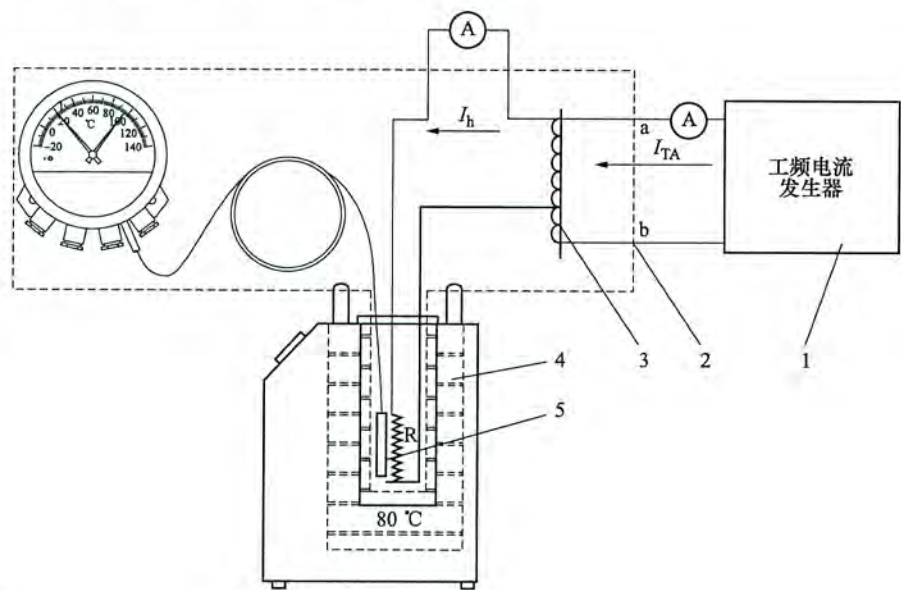
$$y_5 = t_5 - (t'_1 + t_d) - \Delta t_{th} \quad (5)$$

$$y_6 = t_6 - (t'_1 + t_d) - \Delta t_{th} \quad (6)$$

$$y_7 = |t_6 - t_5| \quad (7)$$

式中：

- y_5 ——被校全天候指针温度计热模拟误差，单位为摄氏度（℃）；
- y_6 ——被校远传信号测温装置热模拟误差，单位为摄氏度（℃）；
- y_7 ——被校测温装置的热模拟两表偏差，单位为摄氏度（℃）；
- Δt_{th} ——根据加热电流 I_h 从表 2 查得的热模拟温升值，单位为摄氏度（℃）；
- t_5 ——被校全天候指针温度计示值，单位为摄氏度（℃）；
- t_6 ——被校远传信号测温装置示值，单位为摄氏度（℃）；
- t'_1 ——标准温度计示值，单位为摄氏度（℃）；
- t_d ——标准温度计示值的修正值，单位为摄氏度（℃）。



标引序号说明：

- 1——工频电流发生器；
- 2——电流输入端；
- 3——变流器；
- 4——恒温设备；
- 5——复合温度传感器。

注：R 为绕组温度计加热装置电热丝； I_h 为绕组温度计加热装置流经电热丝的加热电流； I_{TA} 为变压器在额定负载下电流互感器的输出电流。

图 3 热模拟误差校准接线图

7.3.2 现场校准

7.3.2.1 示值误差及两表偏差

采用直接比较法对测温装置的示值误差及两表偏差进行校准，校准方法如下：

- a) 测温装置示值误差及两表偏差现场校准的校准点，一般为 10 °C 的整数倍，校准点不少于三个，应选在 40 °C~100 °C 测量范围内，距温度控制开关设定点差值大于 6 °C 且有标度的示值点；
- b) 示值误差及两表偏差现场校准方法按 7.3.1.1a) 进行。

7.3.2.2 接点动作误差

接点动作误差现场校准以温度控制开关设定点为校准点，按 7.3.1.3 进行。

7.3.2.3 热模拟误差

- a) 绕组测温装置的热模拟误差现场校准点以变压器额定负载时的铜油温升所对应加热电流 I_h （见表 2）为校准点。
- b) 热模拟误差现场校准方法按 7.3.1.4 进行。

8 校准结果表达

8.1 校准数据处理

对校准数据进行计算和数据修约，校准数据的有效位数与被校测温装置的分辨力一致。

8.2 校准证书

校准结果应在校准证书（报告）上反映，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准时依据技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 偏离校准规范的说明；
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不应部分复制证书或报告的声明。

测量不确定度评定示例见附录 B，原始记录格式见附录 D，校准证书内页格式见附录 E。

9 复校时间间隔

应结合油浸式变压器（电抗器）的状态检修或用户认为必要时对测温装置进行校准，建议复校时间间隔不超过 6 年。

注：由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况决定复校时间间隔。

附录 A
(资料性)
测温装置校准流程

测温装置校准流程见表 A.1。

表 A.1 测温装置校准流程

序号	工作流程	校准要求
1	不符合 要求 外观标识检查 绝缘电阻检查 符合要求	校准前检查： 1) 外观、标识检查按 7.2.1、7.2.2 的方法进行，当不符合要求时可终止校准； 2) 绝缘电阻检查按 7.2.3 的方法进行，当不符合要求时应终止校准
2	不符合 要求 示值误差 接点动作误差 两表偏差 符合要求	示值误差和两表偏差、接点动作误差校准可使用恒温设备按 7.3.1.1、7.3.1.3（实验室校准）或 7.3.2.1、7.3.2.2（现场校准）的方法同时进行，当不符合以下要求时应终止校准： 1) 测温装置示值误差超过最大允许误差时； 2) 测温装置两表偏差超过最大允许误差绝对值，且按 7.3.1.2 的方法进行多点校准后仍超过最大允许误差绝对值时； 3) 测温装置接点动作误差超过最大允许误差时
3	不符合 要求 热模拟误差 符合要求	热模拟误差校准（仅绕组测温装置）按 7.3.1.4（实验室校准）、7.3.2.3（现场校准）的方法进行，当不符合以下要求时应终止校准： 1) 在 80℃进行热模拟误差试验，绕组测温装置的热模拟误差超过最大允许误差时； 2) 绕组测温装置热模拟两表偏差大于最大允许误差绝对值时
4	校准标识 结束	1) 任一项不符合本文件要求时，应立即终止校准，返厂修复或更换测温装置，并重新进行实验室校准； 2) 测温装置各项指标全部符合本文件要求时，更新校准标识； 3) 结束测温装置校准，出具校准报告

附录 B

(资料性)

全天候指针温度计示值误差测量不确定度评定示例

B.1 概述

B.1.1 测量依据

测量依据见 JJF 1909。

B.1.2 环境条件

温度：28 ℃；相对湿度：72%。

B.1.3 测量标准及其他设备

测量标准：标准水银温度计，测量范围为 50 ℃～100 ℃。

其他设备：恒温设备，温度波动性小于或等于 0.2 ℃/10 min，温场均匀性小于或等于 0.2 ℃。

B.1.4 被测量对象

全天候指针温度计，测量范围为 -20 ℃～140 ℃，最小分度值为 2 ℃，准确度等级为 2.0 级。

B.1.5 测量方法

依据本校准规范的实验室校准方法，采用直接比较法进行全天候指针温度计在 100 ℃校准点的示值误差校准，将标准温度计和测温装置的复合温度传感器一同插入恒温设备中，复合温度传感器底部浸入恒温设备液面深度不应小于 120 mm，控制恒温设备的温度稳定在校准点，待恒温设备示值稳定 15 min 后同时读取标准温度计、全天候指针温度计的示值，并记录。

B.2 测量模型

测量模型见公式 (B.1)。

$$y_{100} = t_1 - (t'_1 + t_d) \quad \text{..... (B.1)}$$

式中：

y_{100} ——被校全天候指针温度计在 100 ℃的示值误差；

t_1 ——被校全天候指针温度计示值；

t'_1 ——标准温度计的示值；

t_d ——标准温度计在 100 ℃的修正值。

B.3 灵敏系数

灵敏度系数计算见公式 (B.2) ～公式 (B.4)。

$$C_1 = \partial y_1 / \partial t_1 = 1 \quad \text{..... (B.2)}$$

$$C_2 = \partial y_1 / \partial t'_1 = -1 \quad \text{..... (B.3)}$$

$$C_3 = \partial y_1 / \partial t_d = -1 \quad \text{..... (B.4)}$$

B.4 标准不确定度评定

B.4.1 输入量 t_1 的标准不确定度 $u_1(t_1)$ 的评定

输入量 t_1 的标准不确定度的主要来源如下。

- a) 被校全天候指针温度计的示值估读引入的标准不确定度 $u_1(t_1)$ ，采用 B 类方法评定。

由于全天候指针温度计的示值估读到分度值的 1/10，即 0.2 °C，区间半宽为 0.1 °C，按均匀分布处理，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_1(t_1) = 0.1 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0.058 \text{ °C}$$

- b) 被校全天候指针温度计的示值重复性引入的标准不确定度 $u_2(t_1)$ ，采用 A 类方法评定。

对被校准全天候指针温度计在 100 °C 温度进行 10 次重复性测量（均在正行程上进行），得到测量列（°C）：99.0, 99.0, 98.8, 99.0, 99.0, 98.6, 98.8, 99.0, 99.0, 99.0，其标准偏差为

$$u_2(t_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.140 \text{ °C}$$

因为 $u_1(t_1)$ 和 $u_2(t_1)$ 互不相关，所以

$$u(t_1) = \sqrt{u_1(t_1)^2 + u_2(t_1)^2} = 0.152 \text{ °C}$$

B.4.2 输入量 t'_1 的标准不确定度 $u(t'_1)$ 的评定

输入量 t'_1 的标准不确定度的主要来源如下。

- a) 标准水银温度计的示值估读引入的标准不确定度 $u_1(t'_1)$ ，采用 B 类方法评定。

标准水银温度计的示值应估读到分度值的 1/10，即 0.01 °C，区间半宽为 0.005 °C，按均匀分布处理，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_1(t'_1) = 0.005 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0.003 \text{ °C}$$

因为数值很小，可以忽略不计。

- b) 恒温设备温度波动引入的标准不确定度 $u_2(t'_1)$ ，采用 B 类方法评定。

恒温设备温度波动性小于或等于 0.2 °C/10 min，区间半宽为 0.1 °C，按均匀分布处理，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_2(t'_1) = 0.1 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0.058 \text{ °C}$$

- c) 恒温设备温场不均匀引入的标准不确定度 $u_3(t'_1)$ ，采用 B 类方法评定。

恒温设备温场均匀性小于或等于 0.2 °C，区间半宽为 0.1 °C，按均匀分布处理，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_3(t'_1) = 0.1 \text{ °C} / \sqrt{3} = 0.058 \text{ °C}$$

因为 $u_2(t'_1)$ 和 $u_3(t'_1)$ 互不相关，所以

$$u(t'_1) = \sqrt{u_2(t'_1)^2 + u_3(t'_1)^2} = 0.082 \text{ °C}$$

B.4.3 输入量 t_d 的标准不确定度 $u(t_d)$ 的评定

输入量 t_d 的标准不确定度的主要来源如下。

- a) 标准水银温度计修正值引入的标准不确定度 $u_1(t_d)$ ，采用 B 类方法评定。

由标准水银温度计的检定报告可知，在 100 °C 时示值修正值的扩展不确定度为 0.06 °C，包含因子 $k=2$ ，则

$$u_1(t_d) = 0.06 \text{ °C} / 2 = 0.03 \text{ °C}$$

- b) 标准水银温度计在周期内不作零位修正引入的标准不确定度 $u_2(t_d)$ ，采用 B 类方法评定。
标准水银温度计在周期内不作零位修正所引入的误差不超过 $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，按均匀分布处理，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则

$$u_2(t_d) = 0.06\text{ }^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.035\text{ }^{\circ}\text{C}$$

因为 $u_1(t_d)$ 和 $u_2(t_d)$ 互不相关，所以

$$u(t_d) = \sqrt{u_1(t_d)^2 + u_2(t_d)^2} = 0.046\text{ }^{\circ}\text{C}$$

B.5 合成标准不确定度

标准不确定度见表 B.1。

表 B.1 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量		灵敏系数	不确定度来源	标准不确定度 / $^{\circ}\text{C}$
$u(t_1)$	$u_1(t_1)$	1	被校全天候指针温度计示值估读	0.058
	$u_2(t_1)$		被校全天候指针温度计示值重复性	0.140
$u(t'_1)$	$u_2(t'_1)$	-1	恒温设备温度波动性	0.058
	$u_3(t'_1)$		恒温设备温场均匀性	0.058
$u(t_d)$	$u_1(t_d)$	-1	标准水银温度计修正值	0.030
	$u_2(t_d)$		标准水银温度计不作零位修正	0.035

以上分析的各项标准不确定度分量互不相关，所以其合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{|C_1|^2 u(t_1)^2 + |C_2|^2 u(t'_1)^2 + |C_3|^2 u(t_d)^2} = 0.178\text{ }^{\circ}\text{C}$$

B.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度 U 为

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.178\text{ }^{\circ}\text{C} = 0.356\text{ }^{\circ}\text{C} \approx 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

测量范围为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、最小分度值为 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、准确度等级为 2.0 级的全天候指针温度计，在 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 测量点时示值误差（实验室校准）的测量结果扩展不确定度为 $U=0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ 。

附录 C

(资料性)

测温装置热模拟温升原理

油浸式变压器绕组测温装置热点温升通常以油箱内的顶层油温升为基准，再叠加一个附加温升作为绕组热点温升，绕组热点温升按公式 (C.1) 计算。

$$\Delta\theta_h = \Delta\theta_o + Hg \quad \text{..... (C.1)}$$

式中：

$\Delta\theta_h$ ——绕组热点温升，单位为摄氏度 (°C)；

$\Delta\theta_o$ ——油箱内顶层油温升，单位为摄氏度 (°C)；

H ——热点系数；

g ——绕组对油平均温度梯度，单位为摄氏度每千米 (°C/km)。

常见的热模拟温升原理如图 C.1 所示，通过改变流经电热丝的加热电流 I_h 可以产生一个在数值上与附加温升相等的热模拟温升，这种情况下，热模拟温升按公式 (C.2) 计算。

$$Hg = \Delta t = I_h^2 RC \quad \text{..... (C.2)}$$

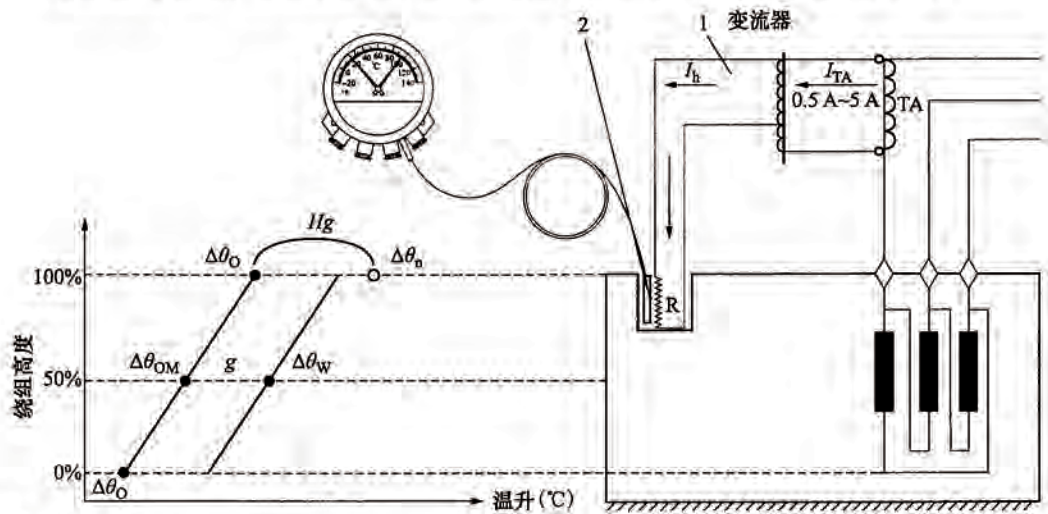
式中：

Δt ——绕组测温装置的热模拟温升，单位为摄氏度 (°C)；

I_h ——绕组温度计热模拟装置流经电热丝的加热电流，单位为安培 (A)；

R ——绕组温度计热模拟装置电热丝电阻，单位为欧姆 (Ω)；

C ——绕组温度计热模拟装置加热介质热容系数，单位为焦耳每摄氏度 (J/°C)。



标引序号说明：

1——可输入 0.5 A~5 A 的独立变流器；

2——复合温度传感器。

注：R 为绕组温度计热模拟装置电热丝； I_h 为绕组温度计热模拟装置加热电流； I_{TA} 为变压器在额定负载下电流互感器的输出电流；TA 为变压器电流互感器。

图 C.1 铜油温差热模拟原理示意图

附录 D
(资料性)
测温装置校准原始记录格式

测温装置校准原始记录内页格式见表 D.1。

表 D.1 测温装置校准原始记录内页格式

原始记录编号 ××××—××××							第 1 页 共 2 页
委托单位				地址			
仪器名称				型号/规格			
生产厂商				出厂编号			
准确度等级/ 不确定度/ 最大允许误差				唯一性标识			
校准时使用的标准器							
名称	型号	测量范围	准确度等级/ 不确定度/ 最大允许误差	出厂编号	溯源机构	证书编号/ 有效期	
校准依据							
校准地点				校准日期			
温度 (℃)				相对湿度 (%)			
校准结论及说明： 1. 测量不确定度： 2. 建议下次校准时间：××××年××月××日之前							

表 D.1 (续)

原始记录编号 ××××—××××

第 2 页 共 2 页

校准记录

一、外观及标识

全天候指针温度计示值刻度盘分度值 ℃，温度控制开关设定刻度盘分度值 ℃；刻度盘是否清晰 ，外壳是否锈蚀 ，最高温度指针 。

二、绝缘电阻

全天候指针温度计输出端子之间 MΩ，全天候指针温度计输出端子与接地端子间 MΩ。

三、示值误差及两表偏差（单位：℃）

校准点	示值读数			示值误差			两表偏差	
	标准器	全天候指针温度计	远传信号测温装置	最大允许误差	全天候指针温度计	远传信号测温装置	最大允许误差	两表偏差
100*								

（* 100 ℃为环境温度影响试验点）

四、接点动作误差（单位：℃）（升温速率 0.8 ℃/min～1.0 ℃/min）

温度控制开关	校准点	标准器示值	最大允许误差	接点动作误差
K1				
K2				
K3				
K4				
K5				
K6				

五、热模拟误差（绕组测温装置）

校准点		温度示值（℃）			热模拟误差（℃）			热模拟两表偏差（℃）	
加热电流（mA）	额定温升（℃）	基础温度	指针温度计	远传信号装置	最大允许误差	指针温度计	远传信号装置	最大允许误差	两表偏差

注：

校准：

审核：

附录 E
(资料性)
测温装置校准证书内页格式

测温装置校准证书内页格式见表 E.1。

表 E.1 测温装置校准证书内页格式

证书编号 (Certificate No.):					
本次校准所依据的技术规范 (代号、名称): Reference documents for the calibration (Code、Name)					
本次校准所使用的计量标准器具: Standards of measurement used in the calibration					
标准名称 Name of standard	不确定度或准确度等级 或最大允许误差 Uncertainty accuracy class/Maximum permissible error	型号规格 Model type	标准编号 No. of standard	溯源机构名称 Name of traceability instituion	证书编号/ 有效期限 Certificate No./ Due date
以上计量标准器具的量值溯源至国家基准/测量标准 The value of a quantity of measurement standard used in this verification is traced to those of the national primary standards in the P.R.China					
校准地点及环境条件: Calibration place and environmental condition					
地点 (Place)					
温度 (Temperature)					
相对湿度 (Relative humidity)					
其他 (Others)					
测量结果不确定度 (或准确度) 的描述: Expression of measurement result uncertainty (accuracy)					
声明: 1. 仅对加盖本实验室“校准专用章”的完整证书负责。 2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。 3. 未经本单位的书面批准不得部分复制证书。 4. 本证书无校准、核验、批准人签字无效。 5. 本证书涂改无效。					
第 页 共 页					

表 E.1（续）

校准数据/结果						
一、外观：						
二、绝缘电阻：						
三、示值误差及两表偏差（单位：℃）						
校准点	示值误差			两表偏差		测量不确定度 (k=2)
	最大允许 误差	全天候指针 温度计	远传信号 测温装置	最大允许 误差	两表偏差	
100*						
（* 100℃为环境温度影响试验点）						
四、接点动作误差（单位：℃）						
温度控制开关	校准点	最大允许误差		接点动作误差	测量不确定度（k=2）	
K1						
K2						
K3						
K4						
K5						
K6						
五、热模拟误差（单位：℃）						
校准点	温度误差			热模拟两表偏差		测量不确定度 (k=2)
	最大允许 误差	全天候指针 温度计	远传信号 测温装置	最大允许 误差	两表偏差	
校准结果内容结束						
第 页 共 页						

参 考 文 献

- [1] GB/T 6451—2015 油浸式电力变压器技术参数和要求
 - [2] JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示
 - [3] JJF 1071—2010 国家计量校准规范编写规则
 - [4] JJF 1909—2021 压力式温度计校准规范
 - [5] DL/T 393—2021 输变电设备状态检修试验规程
 - [6] DL/T 572—2021 电力变压器运行规程
 - [7] JB/T 8450—2016 变压器用绕组温控器
 - [8] IEC 60076-22-1:2019 Power transformers — Part 22-1: Power transformer and reactor fittings — Protective devices
-