

国家计量技术法规统一宣贯教材

工业铂、铜热电阻

国家质量监督检验检疫总局计量司 审定

朱家良 编著

JJG 229—2010

JJG 229—2010

JJG 229—2010



中国计量出版社

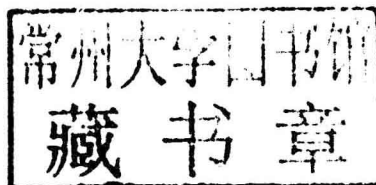
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

国家计量技术法规统一宣贯教材

工业铂、铜热电阻

国家质量监督检验检疫总局计量司 审定

朱家良 编著



中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工业铂、铜热电阻/朱家良编著. —北京: 中国计量出版社, 2011. 3

国家计量技术法规统一宣贯教材

ISBN 978-7-5026-3414-8

I. ①工… II. ①朱… III. ①铂—测热电阻法—教材 ②铜—测热电阻法—教材
IV. ①TM934.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 025973 号

内 容 提 要

本书是 JJG 229—2010《工业铂、铜热电阻检定规程》的统一宣贯教材, 内容包括该检定规程文本的解读、举例说明热电阻在 0℃ 和 100℃ 的允差检定及其实验记录数据的处理过程和原始记录的正确填写、测量结果的不确定度评估过程和对结果的认识、分析了允差检定时只检定 0℃ 和 100℃ 的风险程度和减小风险的合理方法, 并简要介绍了热电阻的原理和现状以及用于测量电阻的电测仪器的合理使用。

本书可作为检定规程的宣贯培训教材, 供铂、铜热电阻的检定、使用及相关专业人员使用。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

880 mm×1230 mm 16 开本 印张 5.25 字数 113 千字

2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

*

印数 1—2 000 定价: 26.00 元

序

工业铂、铜热电阻是中低温区最常用的一种温度计量器具。由于其测量准确、性能稳定、使用可靠、互换性好，在工业过程测量和控制中的应用极其广泛。近年来，在非传统行业的医疗器械、分析仪器、电子装备、制药设备、家用电器和汽车工业中也越来越多地配置了各种各样的热电阻，对提升产品的性能起到了非常重要的作用。作为量大面广的温度计量器具，对其进行正确检定以保证温度量值的准确和统一，在温度计量的源头把好质量关是非常重要的。

新修订的工业铂、铜热电阻检定规程的宣贯，可以帮助其制造单位、计量检定人员、使用单位及个人了解测量的基本知识、热电阻的计量特性，掌握正确的检定方法和数据处理规则。本书是配合宣贯新规程 JJG 229—2010《工业铂、铜热电阻》的培训教材。

本书结合国际相关标准全面地介绍了工业铂、铜热电阻的适用范围、检定项目设置依据、试验方法的确定、数据处理的规范、合格判断的原则和特例，以及测量不确定度的评估等内容，对相关技术人员及检定人员均有较大参考价值。

国家质量监督检验检疫总局计量司

2011年1月

前 言

工业铂、铜热电阻是 $-200^{\circ}\text{C}\sim 850^{\circ}\text{C}$ 温区最常用的一种温度测量仪器。它的主要特点是测量准确、性能稳定、使用可靠，与测温二次仪表配合用于温度的测量和控制系统中互换性好，在工业过程测量和控制中的应用极其广泛。除了应用于传统行业的电站、石油、化工、食品行业的过程测量和控制外，近年来各种各样的热电阻的身影出现在医疗器械、分析仪器、电子装备、制药设备、家用电器和汽车工业中，对提高产品的性能、升级换代起到了非常重要的作用。

近年来，国际上与热电阻相关的技术规范相继改版更新，先后颁布了国际建议 OIML R84: 2003《铂、铜、镍热电阻（工业和商业使用）》，国际电工委员会标准 IEC 60751: 2008《工业铂热电阻及其传感器》，国家质量监督检验检疫总局于2010年9月6日批准颁布了 JJG 229—2010《工业铂、铜热电阻检定规程》，这充分说明了工业热电阻在温度测量中有着重要的地位，它与产品质量、科学研究及人们的日常生活密切相关。新规程的实施，对提高工业铂、铜热电阻的产品质量具有重要意义。

JJG 229—2010《工业铂、铜热电阻检定规程》是对1998版规程的修订，修订后的规程在适用范围方面更具体明确；为了与国际标准 IEC 60751: 2008（等同采用的国家标准）保持一致，在允差等级的表述方面做了相应的修改；允差检定的方法及不进行上限温度检定的判断方法更科学合理；同时增加了测量结果的不确定度评估，为合理选择标准器和出厂检定、委托验收的合格判断提供了分析依据。

为了更好地贯彻执行 JJG 229—2010《工业铂、铜热电阻检定规程》，我们编写了这本宣贯教材。第一章对检定规程文本的主要条款进行解释，叙述其由来，便于掌握要领；第二章介绍相关知识，主要包括举例说明热电阻在 0°C 和 100°C 的允差检定及其实验记录数据的处理过程和原始记录的正确填写，测量结果的不确定度评估过程和对结果的认识，分析了允差检定时只检定 0°C 和 100°C 的风险程度和减小风险的合理方法，并简要介绍了热电阻的原理和现状以及用于测量电阻的电测仪器的合理使用。

在本书的编写过程中，上海市计量测试技术研究院的姚丽芳同志给予了很大帮助并提供了宝贵的实验数据，在此表示感谢！希望此宣贯教材能够对广大工业铂、铜热电阻检定人员专业水平的提高有所帮助。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中疏漏和错误之处在所难免，敬请指正。

编 者

2011年1月

目 录

第一章 JJG 229—2010《工业铂、铜热电阻检定规程》条文解读	(1)
1 范围	(1)
2 引用文献	(2)
3 定义及术语	(2)
4 概述	(4)
5 计量性能要求	(5)
6 通用技术要求	(7)
7 计量器具控制	(9)
附录	(24)
第二章 相关知识介绍	(26)
第一节 允差检定举例	(26)
第二节 工业热电阻测量结果的不确定度评估	(30)
第三节 选择 0℃ 和 100℃ 作为检定点的可行性	(39)
第四节 $\Delta\alpha$ 取值范围的计算——对规程中表 6 的说明	(40)
第五节 工业热电阻简介	(44)
第六节 电测仪器简介	(58)
复习思考题及参考答案	(64)

第一章 JJG 229—2010《工业铂、铜热电阻检定规程》条文解读

工业铂、铜热电阻是测温领域内最常用的温度传感器。国际电工委员会（IEC）和国际法制计量组织（OIML）对此均有相应的标准，用以规范产品的制造和计量。我国也有相应的标准和计量检定规程。JJG 229—2010《工业铂、铜热电阻》国家计量检定规程是重新修订的，为了帮助理解和正确贯彻执行该规程，本章对规程中的主要条文予以说明。

1 范围

本规程适用于 $-200^{\circ}\text{C}\sim+850^{\circ}\text{C}$ 整个或部分温度范围使用的温度系数 α 标称值为 $3.851\times 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 的工业铂热电阻和 $-50^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$ 整个或部分温度范围使用的温度系数 α 标称值为 $4.280\times 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 的工业铜热电阻（以下简称热电阻）的首次检定、后续检定和使用中检验。

工业铂热电阻最大的测量范围为 $-200^{\circ}\text{C}\sim+850^{\circ}\text{C}$ ，工业铜热电阻最大的测量范围为 $-50^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$ 。作为每支热电阻而言，可以依据其材料、结构、工艺不同和测量准确度要求及用途将测量范围限制在整个温度范围或部分温度范围。

本次规程的修订明确了仅适用于温度系数 α 标称值为 $3.851\times 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 的铂热电阻和温度系数 α 标称值为 $4.280\times 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 的铜热电阻的检定。

规程在修订过程中反复研究和讨论了国际建议 OIML R84：2003 在我国的可行性，认为有多处不符合国情，包括适用范围。尤其在检定及处理方法上与标准铂电阻温度计的类似，这样将造成每支工业热电阻需单独分度，失去了工业热电阻的通用性和互换性，造成与二次仪表配合的困难，最终造成使用热电阻测量温度的混乱。因此，不能等同采用，也不能等效采用该国际建议。

热电阻的定义是由一个或多个感温电阻元件组成的，带引线、保护管和接线端子的测温仪器。因此，感温电阻元件可以是铜电阻、镍电阻、铂电阻和各种热敏电阻。在国际建议 OIML R84：2003《铂、铜、镍热电阻》中规定了适用的电阻比值标称值 W_{100}^I ：铂电阻两种，分别为 $W_{100}^I=1.385\ 1$ 和 $W_{100}^I=1.391$ ；铜电阻两种，分别为 $W_{100}^I=1.426$ 和 $W_{100}^I=1.428$ ；镍电阻一种，为 $W_{100}^I=1.617$ （在 OIML R84：2003 中， α 标称值是以热电阻电阻比值标称值 W_{100}^I 的形式出现的，两者的关系为 $\alpha=\frac{W_{100}^I-1}{100}$ ，单位： $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ）。在国际电工委员会的标准 IEC 60751：2008 Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors（工业铂热电阻及其传感器）中规定了铂热电阻适用的 α 标称值为 $3.851\times 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

在 OIML R84: 2003 中除了明确温度系数的标称值外, 还分别给出了温度段的分度公式。对比我国生产的热电阻, 只有 $\alpha = 3.851 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 的铂热电阻是相符的, 而且与 IEC 60751: 2008 铂热电阻的分度公式一致。我国正在制定的国家标准是等同采用 IEC 60751: 2008 标准的, 因此新修订的 JJG 229—2010 规程在铂热电阻的检定方面与国家标准、相应的 IEC 标准是协调的。在铜热电阻方面, OIML R84: 2003 中的两张分度表都是俄罗斯的。20 世纪 80 年代以前俄罗斯只有一张 $W_{100}^I = 1.426$ 的分度表, 80 年代后增加了 $W_{100}^I = 1.428$ 的分度表。1985 年, 俄罗斯制定 OIML R84 草案时, 采用了这两张分度表。我国原采用前苏联的分度表, 70 年代我国工业热电阻标准归口单位在二百多支样品, 两万多个数据的基础上 (温度范围 $-50^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$), 自行制定了现行的 $W_{100}^I = 1.428$ 的分度表, 分度公式是三次多项式。在 1987 年, 针对我国的铜热电阻重新作了分度表验证试验 (温度范围 $-78.5^{\circ}\text{C} \sim +180^{\circ}\text{C}$), 确认了现行分度公式并形成了我国的行业标准 JB/T 8623—1997《工业铜热电阻技术条件及分度表》。该分度表与 OIML R84: 2003 中 $W_{100}^I = 1.428$ 的分度表是不一样的, 因为国际建议对铜热电阻 $W_{100}^I = 1.428$ 的分度公式有缺陷: 0°C 时导数不连续, 在 $0 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 范围用线性方程不准确, 120°C 以上明显偏离线性。

我国目前的铜热电阻是按行业标准 JB/T 8623—1997《工业铜热电阻技术条件及分度表》制造的, 因此, 规程适用的铜热电阻其分度公式是符合 JB/T 8623—1997 行业标准的。与 OIML R84: 2003 的不同, 这是可以理解的。

作为检定, 具有法制性。因此, 被检定的计量器具在计量特性上应符合我国的相关标准, 与我国标准不符的计量器具不宜列入检定的范畴。规程仅适用于 α 标称值为 $3.851 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 的铂热电阻和 α 标称值为 $4.280 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 的铜热电阻的检定, 它涵盖了绝大多数我国制造和使用的工业铂、铜热电阻。

该规程是热电阻在首次检定、后续检定和使用中检验应遵循的技术法规。

2 引用文献

本规程引用下列文献:

IEC 60751: 2008 Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors 工业铂热电阻及其传感器

JB/T 8623—1997 工业铜热电阻技术条件及分度表

引用时, 应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

规程引用的两个文献均为标准, 是为了与标准相协调。由于等同采用 IEC 60751: 2008 的国家标准还没有颁布, 因此引用的是 IEC 标准; 我国铜热电阻是按 JB/T 8623—1997 行业标准制造的。因此, 在贯彻本规程时还应注意使用所引用文献的现行有效版本。

3 定义及术语

为了规范规程的内容和便于理解, 修订的规程增加了五个定义及术语。

3.1 热电阻 resistance thermometer

由一个或多个感温电阻元件组成的，带引线、保护管和接线端子的测温仪器。

该定义引自 OIML R84: 2003，与 JJF 1008—2008《温度计量名词术语及定义》的相关定义没有矛盾。热电阻是有别于标准电阻温度计，用于工业测量的电阻温度计，“工业热电阻温度计”是它的另一名称。

3.2 标称电阻值 R_0 nominal resistance R_0

热电阻（或感温元件）在 0°C 时的期望电阻值。其阻值通常有： 10Ω 、 50Ω 、 100Ω 、 500Ω 、 $1\,000\Omega$ ，它由制造商申明并标于热电阻上。感温元件常以其标称电阻值表征，例如一个 Pt100 的感温元件，其标称电阻值为 100Ω ；Cu50 的感温元件，其标称电阻值为 50Ω 。

热电阻在 0°C 的电阻值是一个特征值，以标称电阻值 R_0 表示。在工业过程测量和控制领域内，为了保证温度传感器与温度二次仪表配用时的互换性， 0°C 的实际电阻值必须与制造商标明的 R_0 相符，偏差在规定的范围内。本规程在数学公式中为了区别表述，将标称电阻值与 0°C 实际电阻值分别用不同的符号 R_0 和 R'_0 加以区别。

3.3 工业热电阻电阻比值 W_t^I relative resistance W_t^I

工业热电阻（或感温元件）在温度 t 的电阻值 R_t 与 0°C 的电阻值 R_0 之比。其中 W_{100}^I 为标称电阻比值，与电阻温度系数 α 有直接对应关系。

热电阻电阻比值 W_t^I 的提法最先呈现于 OIML R84: 2003 中。本条目中的“工业”是有别于下一条目中的“标准”而特意增加的。与标准铂电阻温度计中惯用的电阻比值是不同的，比的对象是 0°C 的电阻值。其中， 100°C 时的电阻比值具有特别意义，它与 α 有直接对应关系（见 3.5）。

3.4 标准铂电阻电阻比值 W_t^S relative resistance W_t^S

标准铂电阻温度计在温度 t 的电阻值 R_t 与在水三相点的电阻值 R_{tp} 之比。

标准铂电阻温度计的电阻比值在相应的规程中以 $W(t)$ 表示，本规程为了与热电阻电阻比值的表示方法统一，改用 W_t^S 。比的对象是标准铂电阻温度计在水三相点温度（ 273.16K ）的电阻值。

3.5 电阻温度系数 temperature coefficient of resistance

单位温度变化引起电阻值的相对变化。感温元件和热电阻的电阻温度系数用 α 表示，即

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100} ^\circ\text{C}^{-1} = (W_{100}^I - 1) \times 10^{-2} ^\circ\text{C}^{-1}$$

热电阻的电阻温度系数用 α 表示, 以 100°C 和 0°C 之间 100°C 间隔的电阻值的变化计算单位温度的变化率。

4 概述

4.1 组成

工业铂、铜热电阻由装在保护套管内的一个或多个铂、铜热电阻感温元件组成, 包括内部连接线以及用来连接电测量仪表的外部端子 (不包括测量、显示装置)。可含安装固定用的装置和接线盒, 但不含可分离的保护管或安装套管。

工业热电阻的感温元件是由铂 (或铜) 丝绕制在特制的骨架上, 经复杂工艺加工而制成的, 以上感温元件均属于线绕元件。骨架的材质是决定热电阻使用温区的重要因素, 常见的骨架有陶瓷的、玻璃的和云母的。陶瓷骨架适用于 850°C 以下温区, 玻璃骨架适用于 550°C 以下温区, 云母骨架仅适用于 500°C 以下温区。目前, 市场上出现了大量的厚膜和薄膜铂热电阻感温元件, 属于膜式元件。厚膜感温元件是用铂浆料印刷在玻璃或陶瓷底板上, 再经光刻加工而成; 薄膜感温元件是用铂浆料溅射在玻璃或陶瓷底板上, 再经光刻加工而成。这种感温元件用料省, 便于机械化大批量生产, 但有效温度范围较窄。

就结构而言, 铂热电阻还可以分为装配式的和铠装式的。铠装铂热电阻是将铂热电阻感温元件、过度引线、绝缘粉料组装在不锈钢管内, 再经模具拉实的坚实整体, 具有坚实、抗震、可绕、线径小、使用安装方便等优点。

4.2 温度特性

4.2.1 工业铂热电阻 (PRT)

工业铂热电阻电阻值与温度之间的函数关系为

$-200^\circ\text{C} \sim 0^\circ\text{C}$:

$$W_t^I = R_t/R_0 = 1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^3$$

$$dW_t^I/dt = A + 2Bt - 300Ct^2 + 4Ct^3$$

$0^\circ\text{C} \sim 850^\circ\text{C}$:

$$W_t^I = R_t/R_0 = 1 + At + Bt^2$$

$$dW_t^I/dt = A + 2Bt; (dW_t^I/dt)_{t=0} = 0.003\,908\,3;$$

$$(dW_t^I/dt)_{t=100} = 0.003\,792\,8$$

式中: $A = 3.908\,3 \times 10^{-3} ^\circ\text{C}^{-1}$; $B = -5.775\,0 \times 10^{-7} ^\circ\text{C}^{-2}$; $C = -4.183\,0 \times 10^{-12} ^\circ\text{C}^{-4}$ 。

4.2.2 工业铜热电阻 (CRT)

工业铜热电阻电阻值与温度之间的函数关系为

$-50^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$:

$$W_t^1 = R_t/R_0 = 1 + \alpha t + \beta t^2 (t-100) + \gamma t^3 (t-100)$$

$$dW_t^1/dt = (\alpha - 100\beta) + 2(\beta - 100\gamma)t + 3\gamma t^2: (dW_t^1/dt)_{t=0} = 0.004\,289\,3;$$

$$(dW_t^1/dt)_{t=100} = 0.004\,283\,0$$

式中: $\alpha = 4.280 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\beta = -9.31 \times 10^{-8} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$; $\gamma = 1.23 \times 10^{-9} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3}$ 。

工业铂铜热电阻的温度特性,在规程修订版的描述上采用了 OIML R84 的方法,即采用电阻比值 W_t^1 与温度 t 之间的关系。由于 $W_t^1 = R_t/R_0$, 因此,与原规程表述的温度特性是一致的。目前,这样的表述方法突出了同一种电阻温度系数的热电阻可以采用同一种分度表 (W_t^1-t 分度表),与标称电阻 R_0 的取值无关,在不确定度评定时带来了方便。

函数关系中的系数 A 、 B 、 C , α 、 β 、 γ 与原规程一致,采用了现行的标准: IEC 60751: 2008 和 JB/T 8623—1997。

规程给出了 0°C 和 100°C 的 dW_t^1/dt 值,而并未给出 dR_t/dt 的值是因为本规程只限定了铂、铜电阻的 α 值,并未限定标称电阻值。有了 dW_t^1/dt 值,就可以通过 $R_0 \cdot (dW_t^1/dt) = dR_t/dt$ 计算出对应不同标称电阻 R_0 的 dR_t/dt ,便于在检定过程中进行电阻误差值与温度误差值之间的数值转换。

4.2.3 温度/电阻表 (分度表)

当 R_0 为各标称电阻值时,可将上述函数关系制成相应的温度/电阻表 (分度表)。铂热电阻标称电阻值为 100Ω 的分度表见附录 B。其他类型铂热电阻的分度表只要将该分度表中的电阻值乘以 $\frac{R_0}{100\Omega}$ 即可 (此处的 R_0 为其他类型铂热电阻的标称电阻值)。铜热电阻分度表亦是如此得到。

附录 B 分度表中的电阻值是按上述函数关系计算,并修约到小数点后第二位得到的。对于允差等级高于 AA 级的铂热电阻,分度表中的电阻值应修约到小数点后第三位。

由于同一种电阻温度系数的热电阻可以用同一种分度表,因此,本规程在附录 B 中分别给出了铂热电阻 $\alpha = 3.851 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 和铜热电阻 $\alpha = 4.280 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, R_0 都为 100Ω 的各一张分度表。其他类型 (即标称电阻值 R_0 不同) 铂、铜热电阻的分度表只要将该分度表中的电阻值乘以 $\frac{R_0}{100\Omega}$ 即可。这种表述方法与 IEC 60751 是一致的。与 OIML R84 给出的 W_t^1-t 分度表不同,但我们可以将该分度表看作是 $R_0 = 1\Omega$ 的 R_t-t 分度表。

由于分度表是按电阻值与温度之间的函数关系逐点计算出来的,对于 AA 级及以下等级的铂热电阻以及铜热电阻,其分度表的电阻值修约到小数点后第二位即可满足允差和不确定度评定要求。但不排除更高等级的热电阻出现,因此,在此条款指出了修约到小数点后第三位的必要性和方法。

5 计量性能要求

5.1 允差

允差等级是与有效温度范围相对应的。在有效温度范围内,热电阻的电阻值通过分度

表查算出的温度 t 与真实温度的最大偏差不得超过表 1 给定的允差值。表 1 适用于任何标称电阻值的热电阻。对于特定的热电阻，若其有效温度范围小于该表规定的范围，应给予说明。

表 1 热电阻的允差等级和允差值

热电阻 类型	允差 等级	有效温度范围/℃		允 差 值
		线绕元件	膜式元件	
PRT	AA	-50 ~ +250	0 ~ +150	$\pm(0.100^{\circ}\text{C} + 0.0017 t)$
	A	-100 ~ +450	-30 ~ +300	$\pm(0.150^{\circ}\text{C} + 0.002 t)$
	B	-196 ~ +600	-50 ~ +500	$\pm(0.30^{\circ}\text{C} + 0.005 t)$
	C	-196 ~ +600	-50 ~ +600	$\pm(0.6^{\circ}\text{C} + 0.010 t)$
CRT	—	-50 ~ +150	—	$\pm(0.30^{\circ}\text{C} + 0.006 t)$
注：1. 在 600℃ 到 850℃ 范围的允差应由制造商在技术条件中确定。 2. $ t $ 为温度的绝对值，单位为℃。				

若特殊的允差等级与表 1 给出的允差等级不同，制造商须特别加以注明，包括相应的有效温度范围。铂热电阻推荐的特殊允差等级应是 B 级允差值的分数或倍数（如： $\frac{1}{10}$ B 级、 $\frac{1}{5}$ B 级、3B 级等）。

上述文字指出了允差等级与有效温度范围是不可分割的。与原规程不同，在本规程中引入了有效温度范围的概念。原规程的允差等级是涵盖了一 200℃ ~ 850℃ 整个温度范围，实践中发现不尽合理，也与实际情况不符。本规程的有效温度范围（temperature range of validity）来自于 IEC 60751：2008 标准。标准中的有效温度范围是根据线绕电阻和膜式电阻的使用经验而得出的。使用经验说明，在这些范围内，大部分感温元件能保持其允差和其他性能特性。选择 -196℃ 的原因是该温度值接近液氮的沸点。

因为标准给出的允差是以温度为单位的，因此，热电阻在某一温度下的电阻值是否符合允差要求，是通过相应的分度表查、算出温度值，然后与真实温度比较得出其误差，判断是否合格。

查、算的方法，以 A 级 Pt100 工业铂热电阻为例：在 120℃ 的恒温槽中测得的电阻值为 146.28Ω，实际温度测得为 120.52℃。通过查分度表 120℃ 的电阻值为 146.07Ω，比 120℃ 大 0.21Ω，相当于大 $\frac{0.21}{\frac{dR_t}{dt}} = \frac{0.21}{R_0(A+2Bt)} = \frac{0.21}{0.3839} = 0.55^{\circ}\text{C}$ ，即 Pt100 热电阻测得的温度为 120.55℃。经计算误差为 0.03℃，符合 A 级热电阻在 120℃ 的允差要求。

本规程在修订时，热电阻的允差等级、有效温度范围和允差值是根据 IEC 60751：2008 标准确定的。标准允许制造商生产有效温度范围小于标准规定的范围，但必须与用户取得一致并在产品中予以说明。同时，也允许生产高于或低于标准规定的（即规程的表 1）允差等级的热电阻，但不允许使用没有有效温度范围的允差等级。标准推荐的特殊允差等级和允差值均以 B 级的整数倍数和分数表述。超出表 1 规定温度范围的铂热电阻或感温元件的允差，由制造商和用户自行确定。标准还允许制造商对部分的或更广的温

度范围定义特殊允差等级,例如 -196°C 至 850°C 或 -200°C 至 660°C 温度范围。

因此,遵循 IEC 60751:2008 标准对允差的要求,常规的热电阻允差等级、有效温度范围由表 1 统一规定。允许制造和使用非常规的热电阻,但必须与用户取得一致并在产品中予以说明。检定时允差的获得应遵循上述原则。

5.2 稳定性

铂热电阻在经历最高工作温度 672 h 后,其 R_0 值的变化换算成温度后不得大于表 1 规定的 0°C 允差的绝对值。

稳定性试验项目在原规程中也有,要求在最高工作温度经历为 100h。修改后的规程要求持续经历 672h (即 4 周),是来源于 IEC 60751:2008 中对铂热电阻的上限温度稳定性要求。

6 通用技术要求

6.1 外观

6.1.1 热电阻各部分装配正确、可靠、无缺件,外表涂层应牢固,保护管应完整无损,不得有凹痕、划痕和显著锈蚀;

6.1.2 感温元件不得破裂,不得有明显的弯曲现象;

6.1.3 根据测量电路的需要,热电阻可以有两、三或四线制的接线方式,其中 A 级和 AA 级的热电阻必须是三线制或四线制的接线方式。

6.1.4 每支热电阻在其保护套管上或在其所附的标签上至少应有下列内容的标识:

- 类型代号
- 标称电阻值 R_0
- 有效温度范围
- 感温元件数
- 允差等级
- 制造商名或商标
- 生产年月

注:

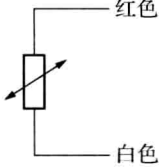
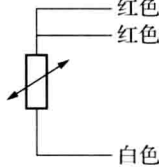
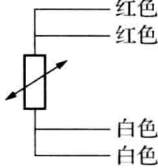
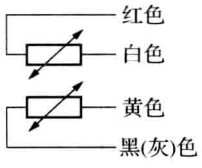
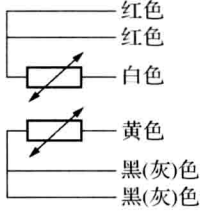
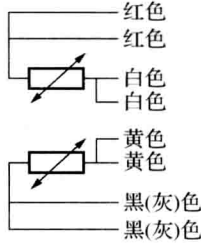
1. 如果用符号来表达这些信息,其标识应便于识别。
2. 检定标记应置于热电阻的保护套管上或所附的标签上。

外观的四个要求中对热电阻的外壳及感温元件的要求主要来自于原规程。

接线方式的要求与 IEC 60751:2008 的要求相同。要求所有高于 B 级允差的铂热电阻必须采用三线制或四线制的接线方式。B 级及以下等级的铂热电阻和铜热电阻可以用两线制接线方式,也不排除采用三线制或四线制的接线方式。

热电阻可由一个或两个感温元件以及各种内部接线方式构成,标准要求铂热电阻的产品统一接线方式及统一相关标识,端子的标识见表 1-1。

表 1-1 端子标识

	两线制	三线制	四线制
一个传感器			
两个传感器			

关于热电阻的标识：要求每支热电阻在其保护套管上或在其所附的标签上应有必要的标记或标识，以使用户可以直接或间接地确定感温元件的类型、数量、标称电阻 R_0 、有效温度范围、允差等级、制造商名或商标等。

热电阻标识举例：1×Pt 100 / A / 4 / -150 / +500

表示的含义：

- 1 支铂热电阻感温元件；
- 标称电阻： $R_0 = 100\Omega$ ；
- 允差等级 A（有效范围为 -100°C 至 450°C ）；
- 四线制接线方式；
- 温度下限： -150°C ；
- 温度上限： $+500^\circ\text{C}$ 。

由于检定规程针对的热电阻不仅有新制造的，也有使用中的。因此，新的国家标准颁布实施以前生产的热电阻应执行原标准规定。

6.2 绝缘电阻

感温元件与外壳，各感温元件之间的绝缘电阻均应符合如下规定：

a) 常温绝缘电阻，热电阻处于温度 $15^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $45\% \sim 85\%$ 的环境时，绝缘电阻应不小于 $100\text{M}\Omega$ ；

b) 高温绝缘电阻，热电阻在上限工作温度的绝缘电阻应不小于表 2 规定的值。

表 2 最小绝缘电阻值

最高工作温度/ $^\circ\text{C}$	最小绝缘电阻值/ $\text{M}\Omega$
100 ~ 250	20
251 ~ 450	2
451 ~ 650	0.5
651 ~ 850	0.2

对热电阻绝缘电阻的要求包括热电阻在常温时（温度 $15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $45\% \sim 85\%$ ）的绝缘电阻和处于上限温度时的绝缘电阻。常温绝缘电阻的测量部位是指热电阻的外壳与感温元件的引出端子之间以及多个感温元件端子之间；高温绝缘电阻的测量部位是指热电阻的外壳与感温元件的引出端子之间。常温绝缘电阻测量的试验电压为 100Vd.c. ；高温绝缘电阻测量的试验电压最低为 10Vd.c. 。常温绝缘电阻应不低于 $100\text{M}\Omega$ ；对高温绝缘电阻的要求与试验的上限温度有关，表 2 列出了它们之间的关系。如 A 级铂热电阻上限温度为 450°C （有效温度的上限），高温绝缘电阻应不低于 $2\text{M}\Omega$ 。

7 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检验。

首次检定为“对未被检定过的测量仪器进行的检定”。后续检定为“测量仪器在首次检定后的任何一种检定，包括强制周期检定和修理后检定”。使用中检验为“检定周期内对测量仪器的计量特性有异议时的一种检查”。

7.1 检定条件

7.1.1 检定设备

检定时所需的标准仪器及配套设备按被检热电阻的类型可从表 3 中参考选择。选用的原则为：检定时用的标准器、电测仪器以及配套设备引入的扩展不确定度（置信概率 $p=95\%$ ）换算成温度值应不大于被检热电阻允差绝对值的 $1/4$ （AA 级以上的为 $1/3$ ）。

表 3 标准仪器及配套设备

序号	仪器设备名称	技术要求	用途	备 注
1	标准铂电阻温度计	$-196^{\circ}\text{C} \sim +660^{\circ}\text{C}$ 二等	用比较法检定时 的参考标准	亦可用满足不确定度要求的 其他标准温度计
2	电测仪器 (电桥或可测量电阻的数字多用表)	A 级及以上用 0.005 级及以上等级 B 级及以下用 0.02 级及以上等级 测量范围应与标准铂电阻、被检热电阻的电阻值范围相适应 保证标准器和被检热电阻的分辨力换算成温度后不低于 0.001°C 如测量 Pt100 的分辨力不低于 $0.1\text{m}\Omega$	测量热电阻和标准铂电阻阻值的 仪器	电测仪器提供给热电阻的测量电流应保证功耗引起的温升尽可能小，不会对不确定度评定带来显著影响
3	转换开关	接触电势 $\leq 1.0\mu\text{V}$	多支热电阻检定 用转换器	
4	冰点槽	$U \leq 0.04^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ 制冰的水和加入冰槽的水必须纯净。冰水混合物必须压紧以消除气泡。水面应低于冰面 $(10 \sim 20)\text{mm}$	产生 0°C 的恒温 装置	亦可用满足不确定度要求的 恒温槽

续表

序号	仪器设备名称	技术要求	用途	备 注
5	恒温槽	温度范围： $-50^{\circ}\text{C} \sim +300^{\circ}\text{C}$ 水平温场 $\leq 0.01^{\circ}\text{C}$ 垂直温场 $\leq 0.02^{\circ}\text{C}$ 10min 变化不大于 0.04°C	温度 t 的恒温装置	应有足够的置入深度。保证在允差检定时热损失可被忽略；同时还必须满足标准温度计插入深度的要求
6	高温炉	温度范围 t ： $300^{\circ}\text{C} \sim 850^{\circ}\text{C}$ 测量区域温差不大于热电阻上限温度允差的 $1/8$	高温源，检定 300°C 以上的上限温度用	可用符合要求的其他高温源
7	水三相点瓶及其保温容器		核查标准铂电阻温度计的 R_{tp} 用	用同一台电测仪器测量 R_{tp} 和 R_{t}^* 、 R_{b}^* 可显著减小测量不确定度
8	液氮杜瓦瓶或液氮比较仪		低温源，检定 -196°C 下限温度用	
9	绝缘电阻表	直流电压 $10\text{V} \sim 100\text{V}$ 10 级	测量热电阻的绝缘电阻	

检定设备的选择是检定工作的重要环节。鉴于被检热电阻允差跨度大，检定装置的组成并不单一，标准器的更新也较快，因此规程在修订时以测量不确定度评估为原则确定检定设备选择的合理性。原则为：检定时用的标准器、电测仪器以及配套设备引入的扩展不确定度（置信概率 $p=95\%$ ）换算成温度值应不大于被检热电阻允差绝对值的 $1/4$ ；对于 AA 级及以上的热电阻，其允差小对标准器的要求更高，从经济性考虑可放宽为应不大于被检热电阻允差绝对值的 $1/3$ 。温度标准器的选择也不局限于二等标准铂电阻温度计，亦可用满足不确定度要求的其他标准温度计。

表 3 列出了检定设备的组成概貌。并不表示一定要全配，应根据被检对象的允差等级合理选择。如检定的对象仅限于 B 级铂热电阻或铜热电阻，可以不用配置水三相点瓶及其保温容器。

三相点瓶及其保温容器的配置并不仅仅是用来验证标准铂电阻温度计的 R_{tp} 是否偏离允许值，主要是通过自身检定设备中的电测仪器重测 R_{tp} ，就可满足“检定时是用同一台电测仪器测量 R_{tp} 和 R_{t}^* 、 R_{b}^* ，如此可显著减小测量不确定度”。关于为什么会显著减小测量不确定度，在后面的不确定度评定中有详细叙述。

二等标准铂电阻温度计是用以检定工业铂、铜热电阻的主要标准器，由于热电阻的允差等级较多，对于 B 级以下的铂热电阻也可以用标准水银温度计作为标准器、配备读数望远镜进行检定，最终只要满足测量不确定度的要求即可。

电测设备是与二等标准铂电阻温度计配合使用的标准器，用以测量铂电阻温度计的电阻值，同时也是测量被检热电阻阻值的标准器。原规程建议使用 0.02 级测温电桥，因使

用不方便逐渐被六位半的数字多用表（电阻挡）取代。规程在修订中考虑了电测仪器的现状，面对敞开的进口渠道，有条件的单位也可以引进高精度的测温电桥，用于检定 AA 级以上的热电阻。

为削弱接线热电势的影响，测量热电阻阻值的仪表希望有电流换向的功能。而六位半数字多用表一般没有此功能。因此，规程对转换开关的接触电势提出了要求，要求不大于 $1.0\mu\text{V}$ 。

检定时，电测仪器与被检热电阻（标准铂电阻温度计）的接线如图 1-1 所示。 e_1 、 e_2 、 e_3 、 e_4 为转换开关与数字多用表、被检热电阻连接的接触电势，其中 e_3 、 e_4 在电流回路中对测量没有影响， e_1 、 e_2 在数字多用表的电压测量回路中，对测量结果有影响。图 1-1(a) 测得的电压 $U_1 = IR_t + e_1 + e_2$ ，显示的电阻值为 $R_1 = R_t + \frac{e_1 + e_2}{I}$ ；而图 1-1(b) 测得的电压为 $U_2 = -IR_t + e_1 + e_2$ ，显示的电阻值为 $R_2 = R_t - \frac{e_1 + e_2}{I}$ 。只要将两次测得的电阻值取平均即可消除接触电势固有值的影响，即

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2} = R_t$$

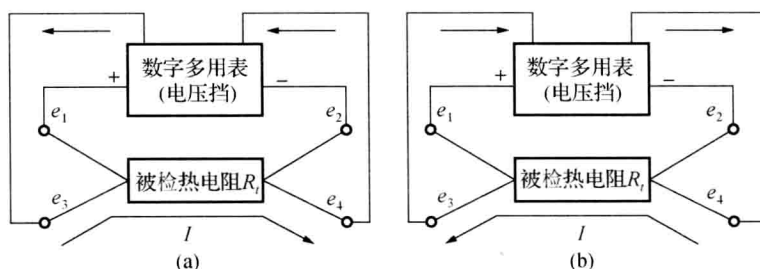


图 1-1 电流换向示意图

7.1.2 环境条件

环境温度： $15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ 。电测设备应符合相应的环境要求。

相对湿度： $30\% \sim 80\%$ 。

热电阻检定环境条件的建立是为了尽可能减少环境对检定结果的影响。热电阻的检定是采用比较法，通过分别测量标准温度计和被检热电阻在稳定热源中的量值以计算误差。由于环境温、湿度对稳定热源的影响不敏感，因此，检定的环境条件定在实验室通常处的温、湿度下。但是电测设备为保证准确度对环境条件是有要求的，随准确度的提升而越来越苛刻。因此，电测设备工作时应处在说明书规定的环境条件下。

7.2 检定项目

首次检定、后续检定和使用中检验的检定项目见表 4。