



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG XXXX—XXXX

轨道交通机车车辆转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统校准规范

Calibration Specification for Temperature Rise Monitoring System of
Running-in Test Rig for Bogie Gear Box of Railway Rolling Stock
(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

轨道交通机车车辆转向架齿轮箱 跑合试验台温升监测系统 校准规范

JJG XXXX—XXXX

Calibration Specification for Temperature Rise Monitoring System of
Running-in Test Rig for Bogie Gear Box of Railway Rolling Stock

归口单位：全国铁路专用计量器具计量技术委员会

铁路专用力学电学分技术委员会

主要起草单位：中车青岛四方机车车辆股份有限公司

中车大连机车车辆有限公司

参加起草单位：中国铁道科学研究院标准计量研究所

中车唐山机车车辆有限公司

中车长春轨道客车股份有限公司

中国铁路成都局集团有限公司成都动车段

本规范委托全国铁路专用计量器具计量技术委员会铁路专用力学电学
分技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

姜永元（中车青岛四方机车车辆股份有限公司）

胡元元（中车青岛四方机车车辆股份有限公司）

孙伯松（中车大连机车车辆有限公司）

参加起草人：

常山（中国铁道科学研究院标准计量研究所）

刘立敬（中车唐山机车车辆有限公司）

黄晓（中车长春轨道客车股份有限公司）

文渊（中国铁路成都局集团有限公司成都动车段）

目 录

引 言 II

1 范围 1

2 引用文件 1

3 术语 1

4 概述 1

5 计量特性 2

5.1 示值误差 2

5.2 温度示值一致性 2

6 校准条件 2

6.1 环境条件 2

6.2 测量标准及其他设备 2

7 校准项目和校准方法 3

7.1 检查、校准项目 3

7.2 校准方法 3

8 校准结果表达 5

9 复校时间间隔 6

附录 A校准记录参考格式 7

附录 B校准证书内页参考格式 8

引 言

JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范技术内容的编写参考了 JJF 1409-2013《表面温度计校准规范》和 JJF 1171-2024《温湿度巡回检测仪校准规范》。

本规范为首次发布。

轨道交通机车车辆转向架齿轮箱跑合试验台 温升监测系统校准规范

1 范围

本规范适用于轨道交通机车车辆转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统（以下简称温升监测系统）的校准，其他类似结构设备也可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1171-2024 温湿度巡回检测仪校准规范

JJF 1409-2013 表面温度计校准规范

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语

3.1 温升监测系统 temperature rise monitoring system

跑合试验过程中，实时监测齿轮箱跑合温度相对于环境温度的升高值的系统。

3.2 温度示值一致性 temperature indication consistency

相同温度下，温升监测系统各通道的温度示值最大值与最小值的差值。

4 概述

轨道交通机车车辆转向架齿轮箱跑合试验台是一种用于检测转向架齿轮箱装配质量的专用设备，温升监测系统是其重要组成部分，该系统由温度传感器、控制及数据处理单元、人机交互系统、存储单元等构成，结构如图 1 所示。

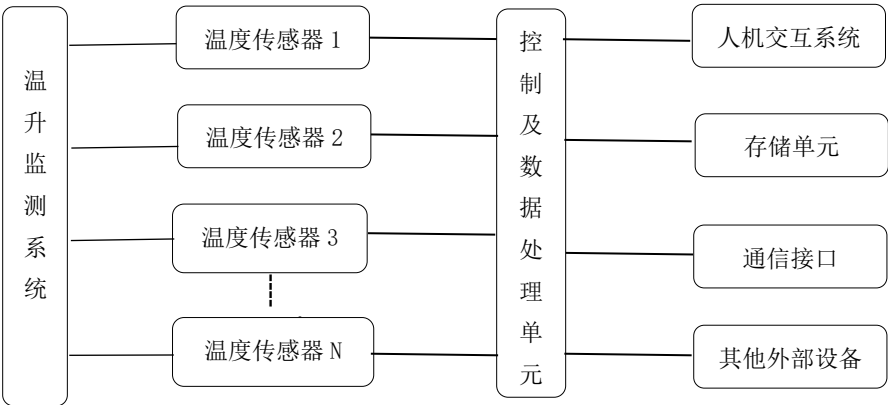


图 1 温升监测系统结构图

5 计量特性

5.1 示值误差

温升监测系统的最大允许误差见表 1。

表 1 最大允许误差

类型	最大允许误差
动车类温升监测系统	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$
地铁类温升监测系统	$\pm 3.0^{\circ}\text{C}$
注：其他类型轨道交通机车车辆跑合试验台温升监测系统的允差应由制造商在技术条件中确定。	

5.2 温度示值一致性

温度示值一致性应不大于温度示值最大允许误差的绝对值。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $(15\sim 35)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度： $\leq 85\%$ 。若电测设备及测量标准对环境条件另有要求，应满足其规定的要求。

6.1.2 在校准过程中，环境温度波动不应超过 0.5°C 。校准环境内不应有机械振动、气流扰动和强电磁干扰等影响测量结果的环境因素。

6.2 测量标准及其他设备

校准所需的测量标准及其他设备可按被校温升监测系统的类型从表 2 中参考选择，也可使用满足要求的其他设备。校准时由测量标准及其他设备引入的扩展不确定度 $U(k=2)$ 应不大于被校温升监测系统示值最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

表 2 测量标准及其他设备技术指标

序号	设备名称	技术要求	用途
1	高精度表面温度计	测量范围： $(-30\sim 200)^{\circ}\text{C}$ ； $U \leq 1.0^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$	地铁类温升监测系统的测量标准

	表面温度源	测量范围：(-10~110)℃； 均匀性：≤0.6℃； 稳定性：0.3℃/10min	为地铁类温升监测系统提供温源
2	标准铂电阻温度计	二等标准； 测量范围：(-189.3442~660.323)℃	动车类温升监测系统的测量标准
	精密恒温槽	测量范围：(-10~110)℃； 温度均匀性：≤0.1℃； 温度波动性：0.1℃/10min	为动车类温升监测系统提供温源
	电测设备	0.02 级，	与标准铂电阻温度计配套使用
注：其他类型轨道交通机车车辆跑合试验台温升监测系统的测量标准及其他设备的选择依据温度传感器的结构确定。			

7 校准项目和校准方法

7.1 检查、校准项目

- a) 检查项目：外观；
- b) 校准项目：示值误差、温度示值一致性。

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

目测检查，温升监测系统应符合以下要求：

- a) 温度传感器的外形结构应完好，不应有影响测量准确度的缺陷。
- b) 温度传感器的接插件极性应正确，接触应良好，所使用的保护管及引线应能承受相应的使用温度。
- c) 电源接通情况下，温升监测系统应显示正常。

7.2.2 示值误差的校准

7.2.2.1 校准点选择

校准点的选择应在温升监测系统的测量范围内均匀分布，一般应包括上限值、下限值在内不少于 3 个校准点。也可按用户要求选择校准点。

7.2.2.2 准备工作

接通温升监测系统电源，使其处于正常工作状态预热 30min。

- a) 以恒温槽为热源时，测量标准应有足够的插入深度，被测温度传感器可直接插入恒温槽中，测温探头的插入深度应尽量与实际工况相一致。

b) 以表面温度源为热源时，表面热板上符合温度均匀性要求的区域为工作区。热板表面应平整光滑，无油垢等杂质，不允许有影响测量准确度的表面氧化；标准器和被测温度传感器应与热板表面接触良好。

7.2.2.3 校准方法

a) 示值误差的校准在正行程上进行，即从温升监测系统测量范围的下限开始，自下而上逐点进行测量，直至上限。

调节温度源设定温度，将温度源温度上升且稳定到所需要的校准温度。校准动车类温升监测系统时，当测量标准示值偏离校准点 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以内，温度波动不超过 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ 时，开始读数；校准地铁类温升监测系统时，当测量标准示值偏离校准点 $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ ，温度波动不超过 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ 时，开始读数。

读数顺序如下：

标准 $\rightarrow$ 通道 1 $\rightarrow$ 通道 2 $\rightarrow$... $\rightarrow$ 通道 N

每个校准点测量 3 次，取测量平均值计算示值误差。

7.2.3 温度示值一致性的校准

温度示值一致性的校准与示值误差的校准同步进行。

7.2.4 数据处理

7.2.4.1 示值误差的计算

温升监测系统各通道读数平均值与实际值的差值为该校准点的示值误差。

$$\Delta t_i = \bar{t}_i - t_0 \quad (1)$$

式中

Δt_i —温升监测系统第 i ($i=1, 2, \dots, N$) 通道的温度示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\bar{t}_i$ —温升监测系统第 i 通道 3 次读数的平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_0 —测量标准实际值， $^{\circ}\text{C}$ 。

a) 若以高精度表面温度计为测量标准，则

$$t_0 = \bar{T} + A \quad (2)$$

式中：

$\bar{T}$ —测量标准 3 次读数的平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；

A —测量标准的修正值， $^{\circ}\text{C}$ 。

b) 若以标准铂电阻温度计为标准器, 则

$$t_0 = t + \frac{W(t_0) - W(t)}{dW(t)/dt} \quad (3)$$

式中:

t —名义校准温度, $^{\circ}\text{C}$;

$W(t_0)$ —标准铂电阻温度计的电阻比, $\overline{R}(t_0)/R_{tp}$;

$\overline{R}(t_0)$ —标准铂电阻温度计 3 次读数的平均值, Ω ;

R_{tp} —标准铂电阻温度计的水三相点的电阻值, Ω ;

$W(t)$ —温度 t 时, 标准铂电阻温度计分度表给出的电阻比;

$dW(t)/dt$ —温度 t 时, 标准铂电阻温度计分度表给出的电阻比的变化率, $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

7.2.4.2 温度示值一致性的计算

$$\delta_t = \Delta t_{\max} - \Delta t_{\min} \quad (4)$$

式中:

δ_t —温升监测系统的温度示值一致性, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta t_{\max}$ —所有测试通道中示值最大值, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta t_{\min}$ —所有测试通道中示值最小值, $^{\circ}\text{C}$ 。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映, 校准证书至少应包括以下信息:

- a) 标题“校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 校准的地点(如果与实验室的地址不同);
- d) 证书的唯一性标识(如编号), 页码及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识, 如型号、生产厂家和序列号等信息;
- g) 校准的日期, 如果与校准结果有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接受日期;
- h) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;

- j) 校准环境的描述，包括环境温度、相对湿度等；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准人和核验人签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效性的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

一般由送校单位根据实际使用情况自主决定复校时间间隔，建议复校时间间隔最长不超过 12 个月。

附录 A

校准记录参考格式

单位: °C

委托单位		仪器名称		出厂编号				
制 造 厂		型 号		测量范围				
准确度等级				证书编号				
校准依据								
标准名称	出厂编号	测量范围	不确定度/ 准确度等级	证书编号	溯源机构 名称	有效期至		
外观检查								
校准点	n	标准值	CH1	CH2	CH3		CHN	测量不确定 度 $U(k=2)$
	1							
	2							
	3							
	平均值							
	标准器修正值							
	标准器实际值							
	示值误差							
	温度示值一致性							
	1							
	2							
	3							
	平均值							
	标准器修正值							
	标准器实际值							
	示值误差							
	温度示值一致性							
	1							
	2							
	3							
	平均值							
	标准器修正值							
	标准器实际值							
	示值误差							
	温度示值一致性							
	1							
	2							
	3							
	平均值							
	标准器修正值							
	标准器实际值							
	示值误差							
	温度示值一致性							
备 注				温度		湿度		
校准员		校核员		地点		日期		

附录 B

校准证书内页参考格式

证书编号： 号					第 页 共 页		
1.本次校准所使用的主要计量标准： _____							
名 称	测量范围	不确定度或准确度等级或 最大允许误差		计量标准证 书编号	发证机构	有效期至	
2.校准所依据的技术文件（编号、名称）：							
3.校准的地点及环境条件：							
地 点：		温 度：		相 对 湿 度：			
4.设备接收日期：	年	月	日	校准日期：	年	月 日	
校准数据/结果							
单位：℃							
校准温度	示值误差					温度示值一致 性	扩展不确定度 $U(k=2)$
	CH1	CH2	CH3	CH4	 CHN		
以下空白							
备 注：							

《轨道交通机车车辆转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统校准规范》编制说明

1 任务来源

根据国家市场监督管理总局办公厅文件《市场监管总局办公厅关于印发2025 年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划的通知》，由中车青岛四方机车车辆股份有限公司等负责《轨道交通机车车辆转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统校准规范》的制定工作。

2 规范制定的必要性

齿轮箱是转向架构架主要承载结构之一，是连接电机和轮对的关键传动装置，其核心作用是将电机产生的高速旋转动力转换成轮对所需的巨大扭矩，从而驱动列车的前进或减速，其装配质量对于车辆运行的安全稳定至关重要，因此需对装配完成的齿轮箱进行跑合试验。跑合试验台是一种用于检测转向架齿轮箱装配质量的专用设备，目前已在轨道交通机车车辆检修与制造领域广泛应用。

跑合试验过程中，利用温升监测系统实时监测齿轮箱各测试点的温度值。该系统由温度传感器、控制及数据处理单元、人机交互系统、存储单元构成。温度传感器的输出信号（电压、电阻、电流）随温度的变化而变化，温升监测系统各通道的电信号经控制及数据处理单元处理后，输出至显示系统，周期性地测量多点温度。为确保跑合试验台温升监测系统的测量准确度，必须对其周期性校准。

目前的国家计量技术法规目录中，没有针对此类设备的相关校准规范，因此只能根据其测温原理，选择其他相关校准规范对其进行示值误差的校准。对于地铁类跑合试验台温升监测系统的校准依据 JJF 1409-2013《表面温度计校准规范》，对于动车类跑合试验台温升监测系统的校准依据 JJG617-1996《数字温度指示调节仪检定规程》、JJF1664-2017《温度显示仪校准规范》或 JJG229-2010《工业铂、铜热电阻检定规程》。

为确保规范的适用性，我们调研了中车成都机车车辆有限公司、中车唐山机车车辆有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、中车大连机车车辆有限公司、中车广东公司、中车天津公司、中车资阳机车有限公司等子公司在用的跑

合试验台设备信息，经调研，发现目前在用的跑合试验类型有：动车齿轮箱跑合试验、高铁车轴/齿轮箱跑合试验、地铁轴箱/轴承跑合试验、地铁轮对跑合试验、地铁驱动跑合试验、普通客车跑合试验、客车轴箱/轴承跑合试验、机车例行试验、电力机车跑合试验、机车轮对驱动装置跑合试验，以上企业对跑合试验台均有计量业务需求，由于没有统一的校准依据，各企业在校准过程中的依据标准各异，最终难以确保跑合试验质量的准确可靠性、统一性。

鉴于上述原因，急需编制《轨道交通机车车辆转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统校准规范》，该规范对于各子公司校准方法的标准化至关重要，便于提升测量结果准确的可靠性及一致性，为该类设备的推广应用提供技术保证。

3 制定过程

规范起草组对目前应用于轨道交通机车车辆的转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统的生产状况，产品性能指标，用户使用情况进行调研和分析工作，参考相关文献确定本规范中的主要实验内容等，在此基础上编写制定本规范，大致编写工作过程如下：

（1）2024年5月～2024年11月 规范起草组对目前市场上的转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统的生产厂家、产品性能指标、用户使用情况等进行调研和分析工作，就技术指标和校准需求与轨道交通机车车辆主机厂进行沟通 and 了解，根据讨论内容，确定规范的主要技术内容，并提报全国铁路专用计量器具计量技术委员会力学电学分技术委员会。

（2）2024年12月全国铁路专用计量器具计量技术委员会力学电学分技术委员会审批通过，起草小组召开校准规范起草启动会，根据任务书进行讨论，进一步调研规范的主要技术内容，制定实验技术方案，并进行工作安排。

4 规范制定的主要技术依据及原则

4.1 依据

本规范的制定根据 JJF1001《通用计量术语及定义》、JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》和 JJF1094《测量仪器特性评定》规定的规则编写。

本校准规范参考了 JJF1007-2010《温度计量名词术语及定义》、JJF1171-2024《温湿度巡回检测仪校准规范》、JJF1409-2013《表面温度计校准规范》等技术文件。

4.2 原则

转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统（以下简称温升监测系统）是由温度传感器、控制及数据处理单元、人机交互系统、存储单元构成的温度监测系统，温度传感器的输出信号（电压、电阻、电流）随温度的变化而变化，温升监测系统各通道的电信号经控制及数据处理单元处理后，输出至显示系统，周期性地测量齿多点温度。

在应用中，根据不同精度要求和使用场景，会采用不同的电信号输出的温度传感器。因此在温升监测系统校准过程中会涉及到不同的测试方法。在编制的过程中，起草小组掌握以下原则：体现目前技术的先进性、广泛性，以及现场实际工作中的可操作性和可行性，校准方法科学实用，并考虑未来技术提升的可能性。

5 规范主要内容及制定说明

本规范结合我国温升监测系统的行业状况和实际需求，对《轨道交通机车车辆转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统校准规范》进行了制定，根据 JJF 1071 《国家计量校准规范编写规则》的要求，本规范包括封面、扉页、目录、引言、范围、引用文件、术语、概述、计量特性、校准条件、校准项目和校准方法、校准结果表达以及附录等部分。

5.1 计量特性

5.1.1 示值误差

类型	最大允许误差
动车类跑合试验台温升监测系统	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$
地铁类跑合试验台温升监测系统	$\pm 3.0^{\circ}\text{C}$
注：其他类型温升监测系统的允差应由制造商在技术条件中确定。	

5.1.2 温度示值一致性

温度示值一致性应不超过温度示值最大允许误差的绝对值。

5.2 校准条件

5.2.1 环境条件

5.2.1.1 环境温度：（15~35）℃，相对湿度：≤85%。若电测设备及测量标准对环境条件另有要求，应满足其规定的要求。

5.2.1.2 在校准过程中，环境温度波动不应超过 0.5℃。校准环境内不应有机械振

动、气流扰动和强电磁干扰等影响测量结果的环境因素。

5.2.1.3 测量标准及其他设备

校准所需的测量标准及其他设备可按被校温升监测系统的类型从表 2 中参考选择,也可使用满足要求的其他设备。校准时由测量标准及其他设备引入的扩展不确定度 $U(k=2)$ 应不大于被校温升监测系统示值最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

表 2 测量标准及其他设备技术指标

序号	设备名称	技术要求	用途
1	高精度表面温度计	测量范围: $(-30\sim 200)^{\circ}\text{C}$; $U\leq 1.0^{\circ}\text{C}$, $k=2$	地铁类温升监测系统的测量标准
	表面温度源	测量范围: $(-10\sim 110)^{\circ}\text{C}$; 均匀性: $\leq 0.6^{\circ}\text{C}$; 稳定性: $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{min}$	为地铁类温升监测系统提供温源
2	标准铂电阻温度计	二等标准; 测量范围: $(-189.3442\sim 660.323)^{\circ}\text{C}$	动车类温升监测系统的测量标准
	精密恒温槽	测量范围: $(-10\sim 110)^{\circ}\text{C}$; 温度均匀性: $\leq 0.1^{\circ}\text{C}$; 温度波动性: $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{min}$	为动车类温升监测系统提供温源
	电测设备	准确度等级不低于 0.02 级, 保证测量标准的分辨力换算成温度后不低于 0.001°C	与标准铂电阻温度计配套使用

5.3 校准项目

5.3.1 校准、检查项目

- a) 检查项目: 外观;
- b) 校准项目: 示值误差、温度示值一致性。

5.4 校准方法

5.4.1 外观检查

目测检查, 温升监测系统应符合以下要求:

5.4.1.1 温度传感器的外形结构应完好, 不应有影响测量准确度的缺陷。

5.4.1.2 温度传感器的金属（或塑料）封装的防水性能应良好，接插件应正确连接且接触应良好，所使用的保护管及引线应能承受相应的使用温度。

5.4.1.3 在电源接通情况下，对温升监测系统功能检查，其显示数字及图像应清晰、无叠字。亮度均匀，不应有缺笔画或无测量单位等现象，小数点和状态显示应正确。

5.4.1.4 对于地铁类跑合试验台温升监测系统的校准，磁吸式表面温度传感器的结构状态对测试结果影响很大，因此，在校准前应对其进行外观检查，检查项目包括：磁性、磁吸式底座的平整度及清洁度。

5.4.2 示值误差

5.4.2.1 校准点的选择

校准点的选择应在温升监测系统的测量范围内均匀分布，一般应包括上限值、下限值在内不少于 3 个校准点。也可按用户要求选择校准点。

5.4.2.2 准备工作

接通温升监测系统的工作电源，使其处于正常工作状态预热 30min。

a) 动车类跑合试验台温升监测系统的校准：

对于该类温升监测系统的校准，一般采用恒温槽作为热源。一般情况下，温升监测系统的测温单元采用插入式热电阻作为测温传感器。跑合试验时，把多支测温传感器分别插入转向架齿轮箱的不同温升测试点位进行跑合试验，通过实时监测温升测试点位的温升值来验证动车类转向架齿轮箱的装配质量是否满足预期要求。

因此，在对温升监测系统进行示值误差校准前，应把温升监测系统各通道的测温传感器一并插入恒温槽内的有效工作区域，这样便于温升监测系统多通道间的温度示值一致性判定。校准时，测量标准在恒温槽内应有足够的插入深度。温度传感器可直接插入恒温槽中，测温探头的插入深度应尽量与实际工作状况相一致。

b) 地铁类跑合试验台温升监测系统的校准：

对于该类温升监测系统的校准，一般采用表面温度源作为热源。温升监测系统的测温单元采用磁吸式表面温度传感器作为测温传感器。跑合试验时，把多支测温传感器分别吸附于转向架齿轮箱的不同温升测试点位，对其进行齿轮箱装配质量的跑合试验，通过实时监测温升测试点位的温升值来验证地铁类转向架齿轮

箱的装配质量是否满足预期要求。

因此，在对温升监测系统示值误差校准前，应把温升监测系统各通道的测温传感器一并吸附于表面温度源有效工作区域内，这样便于温度示值一致性的校准。在校准时，温度源表面热板上符合温度均匀性要求的区域为工作区。热板表面应平整光滑，无油垢等杂质，不允许有影响测量准确度的表面氧化。标准器及温度传感器应与热板表面接触良好。

5.4.2.3 校准方法

a) 示值误差的校准在正行程上进行，即从温升监测系统测量范围的下限开始，自下而上逐点进行测量，直至上限。

调节温度源设定温度，将温度源温度上升且稳定到所需要的校准温度。校准动车类温升监测系统时，当测量标准示值偏离校准点 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以内，温度波动不超过 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ 时，开始读数；校准地铁类温升监测系统时，当测量标准示值偏离校准点 $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ ，温度波动不超过 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ 时，开始读数。

读数顺序如下：

标准 $\rightarrow$ 通道 1 $\rightarrow$ 通道 2 $\rightarrow$... $\rightarrow$ 通道 N

每个校准点测量 3 次，取测量平均值计算示值误差。

5.4.3 温度示值一致性

温度示值一致性的校准与示值误差的校准同步进行。

相同温度下，温升监测系统各通道的示值最大值与示值最小值的差值为温度示值一致性。

5.4.4 数据处理

5.4.4.1 示值误差的计算

温升监测系统各通道读数平均值与实际值的差值为该校准点的示值误差。

$$\Delta t_i = \bar{t}_i - t_0 \quad (1)$$

式中

Δt_i —某温度校准点上，温升监测系统第 i 通道的温度示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\bar{t}_i$ —某温度校准点上，温升监测系统第 i 通道 3 次读数的平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_0 —某温度校准点上，测量标准实际值， $^{\circ}\text{C}$ 。

a) 若以高精度表面温度计为测量标准, 则

$$t_0 = \overline{T} + A \quad (2)$$

式中 :

$\overline{T}$ —某温度校准点上, 测量标准 3 次读数的平均值, °C;

A —某温度校准点上, 测量标准的修正值, °C。

b) 若以标准铂电阻温度计为标准器, 则

$$t_0 = t + \frac{W(t_0) - W(t)}{dW(t)/dt} \quad (3)$$

式中 :

t —名义校准温度, °C;

$W(t_0)$ —标准铂电阻温度计的电阻比, $\overline{R(t_0)} / R_{tp}$;

$\overline{R(t_0)}$ —某温度校准点上, 标准铂电阻温度计 3 次读数的平均值, Ω ;

R_{tp} —标准铂电阻温度计的水三相点的电阻值, Ω ;

$W(t)$ —温度 t 时, 标准铂电阻温度计分度表给出的电阻比;

$dW(t)/dt$ —温度 t 时, 标准铂电阻温度计分度表给出的电阻比的变化率, °C⁻¹。

5.4.4.2 示值一致性的计算

$$\delta_t = \Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}$$

(4)

式中 :

δ_t —某温度校准点上, 温升监测系统的温度示值一致性, °C;

$\Delta t_{\max}$ —某温度校准点上, 所有测试通道中示值最大值, °C;

$\Delta t_{\min}$ —某温度校准点上, 所有测试通道中示值最小值, °C。

6 校准方法研发

由于地铁类/动车类跑合试验台温升监测系统属于固定类大型测量设备, 无法移至实验室进行示值误差的校准, 为此, 我们通过科研活动研制了两套便携式温升监测系统校准装置, 既可实现跑合试验台温升监测系统的现场校准, 又能实现对温度传感器与数据采集系统的整体校准, 对于提升跑合试验台温升监测系统

的现场、整体校准精度具有重要意义。

为确保该测试装置的适用性，起草小组在 0℃、20℃、40℃、60℃、80℃、100℃温度点处，对地铁类/动车类温升监测系统的示值误差进行了多次试验验证，验证结果符合试验要求。

6.1 地铁类跑合试验台温升监测系统的示值误差校准

地铁类跑合试验台温升监测系统由 6 支（或多支）磁吸式表面温度传感器和数据采集系统构成。测试过程中，温度传感器分别吸附在转向架齿轮箱的不同测试点位，在跑合试验过程中对各测试点位的温升情况进行实时监视。因此，对温升监测系统进行示值误差校准的前提条件是，校准方法必须与温升监测系统的测试方法相一致。

所研发的便携式温升监测系统校准装置是以恒温槽为热源的表面温度源。恒温槽的温场均匀性不大于 0.1℃，温度波动度不大于 0.1℃/10min，能够在-10℃～105℃范围内为恒温面源提供均匀且稳定的温度场，见图 1。

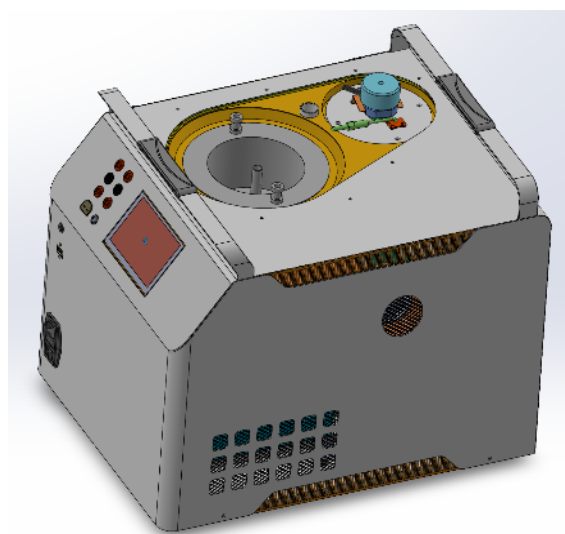


图 1 恒温面源

恒温面源的热板采用具有较高的热传导系数的磁性材料制作，见图 2，校准过程中，磁吸式表面温度传感器能够同时吸附于热板表面。

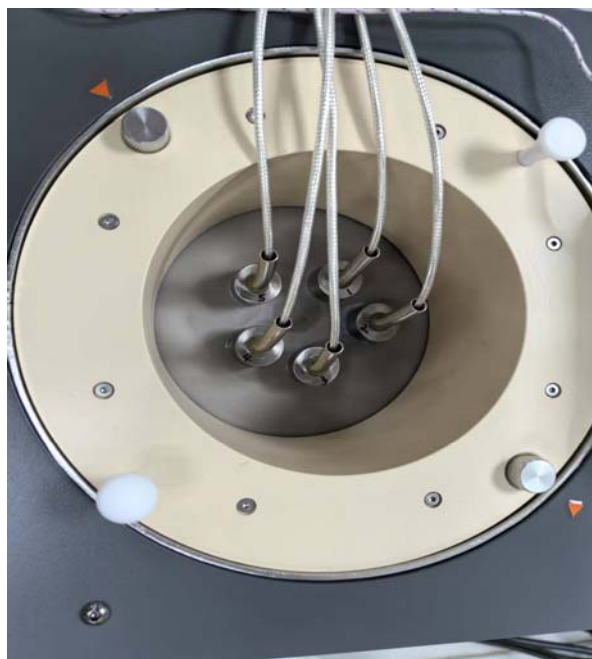


图 2 热板

便携式温升监测系统校准装置配置专用测试软件，见图 3，可实现温升监测系统的自动化校准。



图 3 配置专用测试软件的恒温面源

6.1.1 利用校准软件设置表面温度校准点

待恒温面源温度恒定后，利用高精度表面温度计测试热板表面温度，该测试值会反馈给校准软件，自动计算该值与恒温槽控温传感器温度的差值。若二者的差值偏离温度校准点较大，且不符合规范要求的 $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ ，校准软件会自动把差值反馈给恒温槽控温程序，后者根据反馈值，自动调节恒温槽的设定温度，直至高精度表面温度计的温度测试值接近温度校准点，稳定后再次进行数据采样。以此类推，直到全部温度点校准完成。

校准软件根据上述机制自动保存每个温度点的差值，下次工作时会自动引用该差值，这样能节约时间，提升工作效率，同时提高了磁吸式表面温度计校准的准确度。由于跑合试验台温升监测系统的测试软件中内置示值误差修正程序，公式为： $y=kx+b$ ，我们研发的校准方法能够利用电子表格 SLOPE 公式计算斜率 k ，INTERCEPT 公式计算截距 b ，形成一套行之有效的手动修正方案，见表 1。同时配套研发的自动化校准软件能够实现 k 、 b 值的自动化修正，无需手动修正。

表 1 斜率 K 、截距 b

用电子表格 SLOPE 公式计算斜率 K , INTERCEPT 公式计算截距 b				
	Y 方向	X 方向	k 值	b 值
1 号 传感器	20.0	20.5	1.08	-2.35
	40.0	39.5		
	60.0	58.4		
	80.0	76.1		
2 号 传感器	20.0	20.5	1.12	-3.02
	40.0	38.6		
	60.0	56.5		
	80.0	74.2		
3 号 传感器	20.0	20.6	1.11	-3.06
	40.0	38.8		
	60.0	56.5		
	80.0	74.5		
4 号 传感器	20.0	20.5	1.11	-2.94
	40.0	38.8		
	60.0	56.8		
	80.0	74.5		
5 号 传感器	20.0	20.4	1.06	-1.64
	40.0	39.3		
	60.0	58.4		
	80.0	77.0		
6 号 传感器	20.0	20.7	1.13	-3.61
	40.0	38.8		
	60.0	56.6		
	80.0	73.8		

把测试软件获知的 k 和 b 系数值输入到温升监测系统的测试程序，即可完成

示值误差的自动化修正，提高测试准确度，见表 2。

表 2： 带入 k 和 b 后的各通道测试值

用表 1 公式计算出的 k 和 b 之后，所有校准点误差修正到±0.7℃以内						
	校准点	误差平均值	k 值	b 值	修正后温度	修正后误差
1 号 传感器	20.0	20.5	1.08	-2.35	19.8	-0.2
	40.0	39.5			40.3	0.3
	60.0	58.4			60.7	0.7
	80.0	76.1			79.8	-0.2
2 号 传感器	20.0	20.5	1.12	-3.02	19.9	-0.1
	40.0	38.6			40.2	0.2
	60.0	56.5			60.3	0.3
	80.0	74.2			80.1	0.1
3 号 传感器	20.0	20.6	1.11	-3.06	19.8	-0.2
	40.0	38.8			40.0	0.0
	60.0	56.5			59.7	-0.3
	80.0	74.5			79.6	-0.4
4 号 传感器	20.0	20.5	1.11	-2.94	19.8	-0.2
	40.0	38.8			40.1	0.1
	60.0	56.8			60.1	0.1
	80.0	74.5			79.8	-0.2
5 号 传感器	20.0	20.4	1.06	-1.64	20.0	0.0
	40.0	39.3			40.0	0.0
	60.0	58.4			60.3	0.3
	80.0	77.0			80.0	0.0
6 号 传感器	20.0	20.7	1.13	-3.61	19.8	-0.2
	40.0	38.8			40.2	0.2
	60.0	56.6			60.3	0.3
	80.0	73.8			79.8	-0.2

6.1.2 利用手动模式设置表面温度校准点

便携式温升监测系统校准装置的显示界面信息如下图：

PV——液槽温度显示值；SV——设定值；E——自重式表面温度传感器测试值。



手动调节温度源设定值 SV，待温度源温度上升且稳定到设定温度后，观察自重式表面温度计的实测值 E，计算 SV 值与 E 值的差值，如果该差值偏离规范要求“ $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ 以内”，手动调节 SV 值，直至自重式表面温度计实测值 E 与 SV 值符合规范要求“ $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ 以内”，见表 2。

表 2 表面温度校准点

SV/ $^{\circ}\text{C}$	PV/ $^{\circ}\text{C}$	E/ $^{\circ}\text{C}$
9.5	9.516	9.82
20.0	19.982	19.93
30.0	30.005	29.79
40.0	40.013	39.63
51.0	50.991	49.80
61.5	61.511	59.84
72.5	72.508	69.90
83.5	83.609	80.12
94.5	94.527	90.31
105.0	105.120	100.73

待各校准点温度稳定后，且自重式表面温度计实测值 E 与 SV 值的差值符合

规范要求时，记录温升监测系统各通道的磁吸式表面温度传感器的测试值。

待各测试点的校准结束后，把自重式表面温度计实测值 E 和温升监测系统各通道测试值手动输入到小程序“跑合试验台示值误差的优化修正计算公式”中，见表 3，即可获取 k 和 b 系数值，再把已知的 k 和 b 系数值手动输入到温升监测系统的测试程序，便可完成示值误差的手动修正。同时配套研发的自动化校准软件能够实现 k，b 值的自动化修正，无需手动修正。

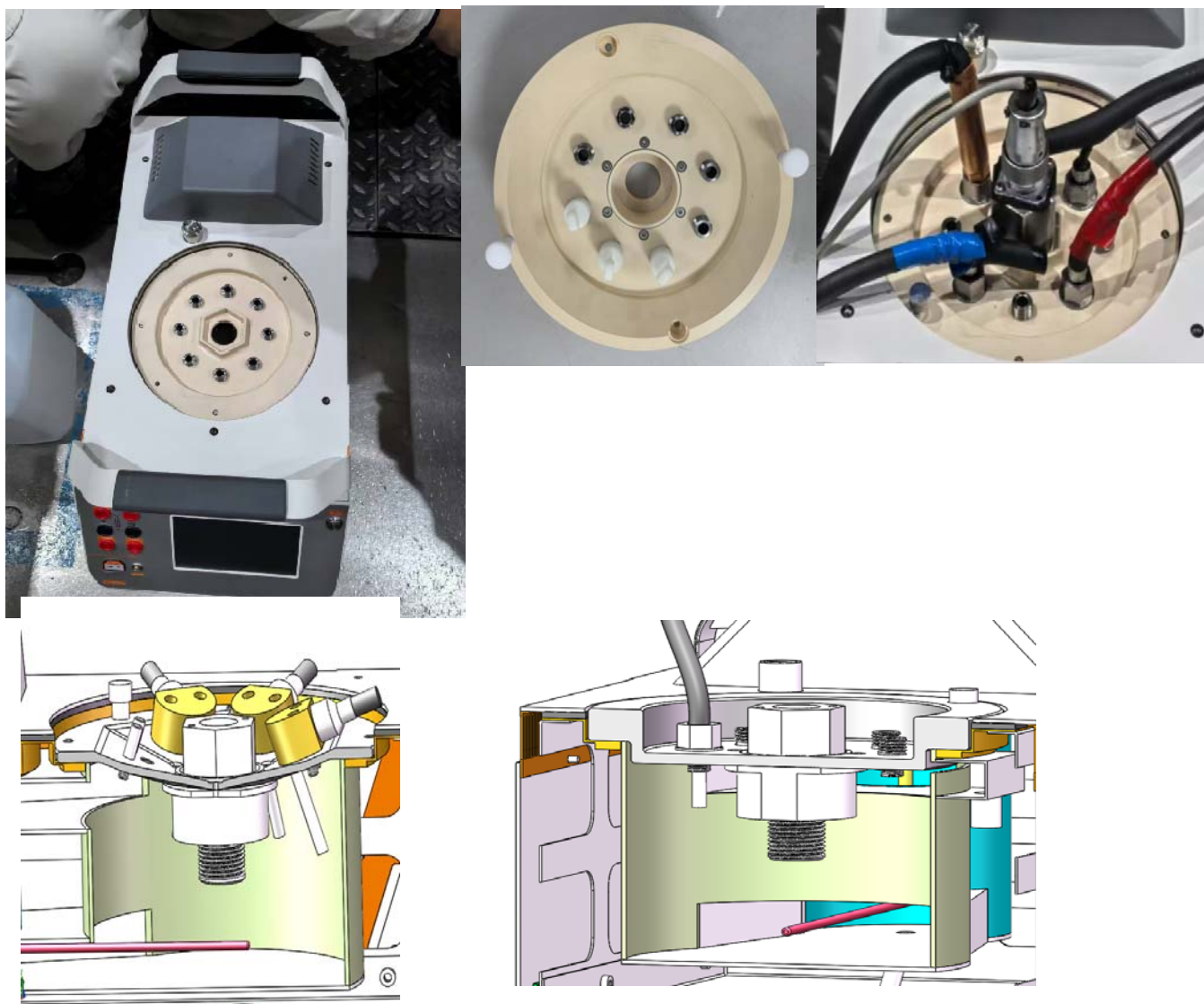
表 3：跑合试验台示值误差的优化修正计算公式

用电子表格SLOPE公式计算斜率，INTERCEPT公式计算截距						应用左侧公式计算出的k和b之后，所有校准点误差修正到±0.8℃以内						
1号 传感器	Y方向	X方向		k值	b值		校准点	被检平均值	k值	b值	修正后温度	修正后误差
	20.0	20.5		1.07	-2.27						19.7	-0.3
	40.0	39.6									40.2	0.2
	60.0	58.3									60.3	0.3
	80.0	76.6									79.9	-0.1
100.0	95.2	99.9	-0.1									
2号 传感器	20.0	20.5		1.07	-1.99				1.07	-1.99	20.0	0.0
	40.0	39.2									40.0	0.0
	60.0	57.9									60.1	0.1
	80.0	76.4									79.9	-0.1
	100.0	95.2									100.0	0.0
3号 传感器	20.0	20.6		1.11	-2.70				1.11	-2.70 <td>20.1</td> <td>0.1</td>	20.1	0.1
	40.0	38.8									40.2	0.2
	60.0	56.6									59.9	-0.1
	80.0	74.3									79.4	-0.6
	100.0	93.3									100.4	0.4
4号 传感器	20.0	20.5		1.10	-3.03				1.10	-3.03 <td>19.5</td> <td>-0.5</td>	19.5	-0.5
	40.0	39.3									40.1	0.1
	60.0	58.1									60.7	0.7
	80.0	76.1									80.5	0.5
	100.0	93.2									99.2	-0.8
5号 传感器	20.0	20.4		1.05	-1.89				1.05	-1.89 <td>19.6</td> <td>-0.4</td>	19.6	-0.4
	40.0	39.8									40.1	0.1
	60.0	59.1									60.4	0.4
	80.0	78.0									80.4	0.4
	100.0	96.1									99.5	-0.5
6号 传感器	20.0	20.6		1.08	-2.41				1.08	-2.41 <td>19.8</td> <td>-0.2</td>	19.8	-0.2
	40.0	39.4									40.1	0.1
	60.0	58.1									60.3	0.3
	80.0	76.4									80.0	0.0
	100.0	94.8									99.8	-0.2

6.2 动车类跑合试验台温升监测系统的示值误差校准

动车类跑合试验台温升监测系统由 6 通道插入式铂热电阻和数据采集系统构成。在进行跑合实验前，把各通道热电阻分别插入齿轮箱各温升测试点位，跑合试验过程中对各测试点位的温升情况进行实时监测。

便携式温升监测系统校准装置以恒温槽为热源，该装置的测温范围为 -10℃~105℃，温场均匀性≤0.1℃，温度波动度≤0.1℃/10min，测试过程中通过更换法兰盘，即可实现多车型、多结构热电阻的现场原位校准，见图 2，其校准方法可参照 JJG 229-2010《工业铂、铜热电阻检定规程》进行。



6.2.1 该便携式温升监测系统校准装置内置专用测试软件，可实现跑合试验台实现温升监测系统的自动化校准和修正。



6.2.2 传感器结构

在进行地铁类转向架齿轮箱跑合试验时，需要把磁吸式表面温度传感器吸附

于齿轮箱表面的各个温度测试点位，原则上，传感器测试底座应与被测试面无缝接触，因此要求被测试面和传感器底座应光滑平整，不应有凹凸不平现象，这是理想状态，实际测试过程中是不可能实现的，该间隙会充满空气介质，影响传感器的导热性，导致测温迟滞性。

为弥补该缺陷，在测试过程中，可预先在传感器底座均匀涂抹一层导热硅脂，然后再吸附于齿轮箱表面，该方法可降低传感器及被测试面凹凸不平导致的导热不良的影响量，很大程度上提高了测试导热性，减小了传感器的热响应时间。



图 4 导热硅脂、磁吸式表面温度传感器

6.2.3 环境气流的影响量

在进行表面温度测试过程中，环境气流对温度测试有一定的影响，因此，在进行温度测试过程中，应尽量避免环境气流对温度测试的影响。

7 结论

上述实验结果表明，规范中所采用的测量标准及配套设备技术指标，以及校准项目、校准方法的制定均科学合理，完全满足转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统的现场校准。

《轨道交通机车车辆转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统校准规范》起草小组

2026 年 7 月

转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统测量结果的不确定度评定示例

C.1 动车类温升监测系统

C.1.1 测量概述

C.1.1.1 被校对象

温升监测系统，显示分辨力为 0.1℃。

C.1.1.2 测量标准

标准铂电阻温度计、配套电测设备。

C.1.1.3 校准方法

依据本规范中规定方法进行示值误差的校准。将测量标准和被校温升监测系统的测温传感器一同放置于恒温源中，采用比较法进行校准。待恒温源的温度恒定后，记录测量标准和温升监测系统的示值，校准过程中，取三次读数的平均值计算示值误差。

C.1.2 建立数学模型

$$\Delta t_i = \bar{t}_i - t_0 \quad (1)$$

式中

Δt_i ——某温度校准点上，温升监测系统第 i 通道的温度示值误差，℃；

$\bar{t}_i$ ——某温度校准点上，温升监测系统第 i 通道 3 次读数的平均值，℃；

t_0 ——某温度校准点上，测量标准实际值，℃。

C.1.3 输入量标准不确定度评定

输入量 $\bar{t}_i$ 的标准不确定度来自温升监测系统，输入量 t_0 的标准不确定度来自标准铂电阻温度计、电测设备和恒温源，其标准不确定度分量见表 1。

表 1 标准不确定度分量及来源

输入量	标准不确定度分量	不确定度来源
$\bar{t}_i$	温升监测系统引入的不确定度分量	测量重复性引入的不确定度 u_1
		分辨力引入的不确定度 u_2
t_0	测量标准引入的不确定度分量	标准铂电阻温度计自热效应引入的不确定度 u_3
		标准铂电阻温度计稳定性引入的不确定度 u_4
		电测设备测量误差引入的不确定度 u_5
	恒温源引入的不确定度分量	恒温槽不均匀引入的不确定度 u_6

		恒温槽波动性引入的不确定度 u_7
--	--	---------------------

C.1.3.1 温升监测系统测量重复性引入的不确定度 u_1

在同一测试条件下，连续 10 次测量温升监测系统，第 1 通道读数值见表 2。

表 2 重复测量数据

测量次数 (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (°C)	60.1	60.1	60.2	60.1	60.2	60.3	60.3	60.2	60.2	60.2

用贝塞尔公式计算出标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.074^\circ\text{C},$$

实际测量时，以 3 次测量值的平均值作为测量结果，所以：

$$u_1 = s/\sqrt{3} = 0.074/\sqrt{3} = 0.043^\circ\text{C}$$

C.1.3.2 温升监测系统分辨力引入的不确定度 u_2

温升监测系统的分辨力为 0.1°C ，则区间半宽为 0.05°C ，按均匀分布处理，取 $k=\sqrt{3}$ ，可得：

$$u_2 = 0.05/\sqrt{3} \approx 0.029^\circ\text{C}$$

不确定度分量小于测量重复性引入的测量不确定度分量，可忽略不计。

C.1.3.3 测量标准引入的不确定度

C.1.3.3.1 由标准铂电阻温度计自热效应引入的不确定度 u_3

由检定规程知，标准铂电阻温度计的自热效应为 4mK ，按均匀分布处理，取 $k=\sqrt{3}$ ，可得：

$$u_3 = 0.004/\sqrt{3} \approx 0.003^\circ\text{C}$$

C.1.3.3.2 由标准铂电阻温度计稳定性引入的不确定度 u_4

由检定规程知，标准铂电阻温度计在检定周期内的变化不超过 $\pm 10\text{mK}$ ，按均匀分布处理，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_4 = 0.01/\sqrt{3} \approx 0.006^\circ\text{C}$$

C.1.3.3.3 由电测设备引入的不确定度 u_5

使用纳伏微欧测温仪进行测量，纳伏微欧测温仪的量程 $(0\sim 100)\Omega$ 、最大允许误差 $\pm (30 \times 10^{-6} \times \text{读数} + 5 \times 10^{-6} \times \text{量程})$ 。校准点在 60°C 时，最大允许误差为 $\pm 0.0015\Omega$ ，换算成温度为 0.015°C ，按均匀分布处理， $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_5 = 0.015/\sqrt{3} \approx 0.009^\circ\text{C}$$

C.1.3.4 恒温源引入的不确定度

C.1.3.4.1 由恒温槽不均匀引入的不确定度 u_6

恒温槽工作区域最大温差为 0.1°C ，按均匀分布处理， $k=\sqrt{3}$ ，可得：

$$u_6=0.1/\sqrt{3}\approx 0.058^{\circ}\text{C}$$

C.1.3.4.2 由恒温槽波动性引入的不确定度 u_7

恒温槽的温度波动性为 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ ，按均匀分布处理， $k=\sqrt{3}$ ，可得：

$$u_7=0.1/\sqrt{3}\approx 0.058^{\circ}\text{C}$$

C.1.4 合成标准不确定度

各输入量的标准不确定度汇总表见表 3。

表 3 各输入量的标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度 $u_i/^{\circ}\text{C}$
u_1	测量重复性引入的不确定度	0.043
u_3	标准铂电阻温度计自热效应引入的不确定度	0.003
u_4	标准铂电阻温度计稳定性引入的不确定度	0.006
u_5	电测设备测量误差引入的不确定度	0.009
u_6	恒温槽不均匀引入的不确定度	0.058
u_7	恒温槽波动性引入的不确定度	0.058

合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2} \approx 0.094^{\circ}\text{C}$$

C.1.5 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=k \times u_c \approx 0.20^{\circ}\text{C}$

C.2 地铁类温升监测系统

C.2.1 测量概述

C.2.1.1 被校对象

温升监测系统，显示分辨力为 0.1°C 。

C.2.1.2 测量标准

高精度表面温度计

C.2.1.3 校准方法

依据本规范中规定方法进行示值误差的校准。将测量标准和被校温升监测系统的测温传感器一同放置于恒温源中，采用比较法进行校准。待恒温设备的温度恒定后，记录测量标准和温升监测系统的示值，校准过程中，取三次读数的平均值计算示值误差。

C.2.2 建立数学模型

$$\Delta t_i = \bar{t}_i - t_0 \quad (1)$$

式中

Δt_i ——某温度校准点上，温升监测系统第 i 通道的温度示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\bar{t}_i$ ——某温度校准点上，温升监测系统第 i 通道 3 次读数的平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_0 ——某温度校准点上，测量标准实际值， $^{\circ}\text{C}$ 。

C.2.3 输入量标准不确定度评定

输入量 $\bar{t}_i$ 的标准不确定度来自温升监测系统，输入量 t_0 的标准不确定度来自高精度表面温度计和恒温源，其标准不确定度分量见表 1。

表 4 标准不确定度分量及来源

输入量	标准不确定度分量	不确定度来源
$\bar{t}_i$	温升监测系统引入的不确定度分量	测量重复性引入的不确定度 u_1
		分辨力引入的不确定度 u_2
t_0	测量标准引入的不确定度分量	高精度表面温度计测温点与工作区中心点的温差 u_3
		高精度表面温度计整体校准修正值的不确定度 u_4
	表面温度源引入的不确定度分量	表面温度源不均匀引入的不确定度 u_5

		表面温度源稳定性引入的不确定度 u_6
--	--	-----------------------

C.2.3.1 温升监测系统测量重复性引入的不确定度 u_1

在同一测试条件下，连续 10 次测量温升监测系统，第 1 通道读数值见表 2。

表 5 重复测量数据

测量次数 (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (°C)	60.3	60.2	60.3	60.1	60.1	60.2	60.4	60.3	60.2	60.2

用贝塞尔公式计算出标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 0.082^\circ\text{C},$$

实际测量时，以 3 次测量值的平均值作为测量结果，所以：

$$u_1 = s/\sqrt{3} = 0.082/\sqrt{3} \approx 0.048^\circ\text{C}$$

C.2.3.2 温升监测系统分辨力引入的不确定度 u_2

温升监测系统的分辨力为 0.1°C ，则区间半宽为 0.05°C ，按均匀分布处理，取 $k=\sqrt{3}$ ，可得：

$$u_2 = 0.05^\circ\text{C}/\sqrt{3} \approx 0.029^\circ\text{C}$$

不确定度分量小于测量重复性引入的测量不确定度分量，可忽略不计。

C.2.3.3 测量标准引入的不确定度

C.2.3.3.1 高精度表面温度计测温点与工作区中心点的温差引入的不确定度 u_3

由实验得到： 60°C 时标准器测温点与温度源工作区中心点的温差不大于 0.5°C ，按正态分布处理，取 $k=3$ ，则：

$$u_3 = 0.5/3 \approx 0.167^\circ\text{C}$$

C.2.3.3.2 高精度表面温度计整体校准修正值引入的不确定度 u_4

由证书知，上级单位给出的修正值的扩展不确定度 $U=0.3^\circ\text{C}$ ， $k=2$ ，则：

$$u_4 = 0.3/2 = 0.15^\circ\text{C}$$

C.2.3.4 恒温源引入的不确定度

C.2.3.4.1 由温度源热板工作区温场不均匀引入的不确定度 u_5

由证书知， 60°C 时，温度源均匀性的测量结果的不确定度为 0.32°C ， $k=2$ ，则：

$$u_5 = 0.32/2 = 0.16^\circ\text{C}$$

C.2.3.4.2 由温度源的稳定性引入的不确定度 u_6

由证书知， 60°C 时，温度源稳定性的测量结果的不确定度为 0.20°C ， $k=2$ ，则：

$$u_6 = 0.20/2 = 0.10^\circ\text{C}$$

C.2.4 合成标准不确定度

各输入量的标准不确定度汇总表见表 3。

表 6 各输入量的标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度 $u_i/^\circ\text{C}$
u_1	测量重复性引入的不确定度	0.048
u_3	标准器测温点与工作区中心点的温差引入的不确定度	0.167
u_4	高精度表面温度计整体校准的修正值引入的不确定度	0.15
u_5	温度源热板工作区温场不均匀引入的不确定度	0.16
u_6	温度源的稳定性引入的不确定度	0.10

合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \approx 0.30^\circ\text{C}$$

C.2.5 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=k \times u_c \approx 0.6^\circ\text{C}$

轨道交通机车车辆转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统（地铁）

（试验报告）

1. 试验目的

用规范中的示值误差校准方法测量转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统，判断校准方法是否可行。

2. 试验地点

中车青岛四方机车车辆股份有限公司转向架分厂。

3. 环境条件

温度 21.0℃，相对湿度 67.3%。

4. 样品形式

测量范围（0~100）℃的转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统。

5. 试验用装置

跑合试验台温升测试装置（表面温度源）、高精度表面温度计。

6. 试验方法

6.1 示值误差的校准

调节温度源设定温度，将温度源的温度恒定在各校准温度点上，温度偏离校准点在±2.0℃以内（以测量标准示值为准），温度波动不超过 0.4℃/10min 时开始读数。

读数时，应按标准→通道 1→通道 2→...→通道 N 的顺序分别读取测量标准和温升监测系统的示值，每个校准点测量 3 次，以 3 次读数的平均值计算示值误差。示值误差计算方法见公式（1）。

6.2 温度示值一致性的校准

温度示值一致性的校准与示值误差的校准同步进行。相同温度下，温升监测系统各通道的示值最大值与最小值的差值为示值一致性。

6.3 数据处理

6.3.1 示值误差的计算

$$\Delta t_i = \bar{t}_i - t_0 \quad (1)$$

Δt_i —某温度校准点上，温升监测系统第 i 通道的温度示值误差，℃；

$\overline{t}_i$ —某温度校准点上，温升监测系统第 i 通道 3 次读数的平均值，℃；

t_0 —某温度校准点上，测量标准实际值，℃。

a) 若以高精度表面温度计为测量标准，则

$$t_0 = \overline{T} + A \tag{2}$$

式中：

$\overline{T}$ —某温度校准点上，测量标准 3 次读数的平均值，℃；

A —某温度校准点上，测量标准的修正值，℃。

6.3.2 温度示值一致性的计算

$$\delta_t = \Delta t_{\max} - \Delta t_{\min} \tag{3}$$

式中：

δ_t —某温度校准点上，温升监测系统的温度示值一致性，℃；

$\Delta t_{\max}$ —某温度校准点上，所有测试通道中示值最大值，℃；

$\Delta t_{\min}$ —某温度校准点上，所有测试通道中示值最小值，℃。

7. 试验结果

委托单位		转向架分厂		仪器名称	跑合试验台温升监测系统			出厂编号		CTDC0716	
制 造 厂		长春市开得科贸有限公司		型号	CLP04			测量范围		(20~100)℃	
准确度等级		MPE:±3.0℃						证书编号			
标准名称		出厂编号	测量范围		不确定度/准确度等级		证书编号		溯源机构名称	有效期至	
表面温度源		250528	(0~100)℃		稳定性 $U=0.20^{\circ}\text{C},k=2$ 均匀性 $U=0.32^{\circ}\text{C},k=2$		RG926014681-001		青岛市计量技术研究院	2027.06.11	
高精度表面温度计		293012406074	(0~100)℃		$U=0.7^{\circ}\text{C},k=2$		RG825031109-001		青岛市计量技术研究院	2026.08.20	
外观检查		符合要求									
校 准 点	n		标准值	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	测量不确定度 U ($k=2$)	
20	1		20.01	19.1	19.3	19.5	19.5	19.2	19.6	1.0	
	2		20.01	19.1	19.3	19.5	19.5	19.2	19.6		
	3		20.01	19.1	19.3	19.5	19.5	19.2	19.6		

	平均值	20.01	19.1	19.3	19.5	19.5	19.2	19.6	
	标准器修正值	0.40	——	——	——	——	——	——	
	标准器实际值	20.41	——	——	——	——	——	——	
	示值误差	——	-1.31	-1.11	-0.91	-0.91	-1.21	-0.81	
	温度示值一致性	0.5							
40	1	39.95	40.4	40.5	40.6	40.4	40.3	40.4	1.0
	2	39.95	40.4	40.5	40.6	40.4	40.3	40.4	
	3	39.95	40.4	40.5	40.6	40.4	40.3	40.4	
	平均值	39.95	40.4	40.5	40.6	40.4	40.3	40.4	
	标准器修正值	0.20	——	——	——	——	——	——	
	标准器实际值	40.15	——	——	——	——	——	——	
	示值误差	——	0.25	0.35	0.45	0.25	0.15	0.25	
	温度示值一致性	0.3							
80	1	80.06	78.6	79.5	79.0	78.3	79.1	79.7	1.0
	2	80.06	78.6	79.5	79.0	78.3	79.1	79.7	
	3	80.06	78.6	79.5	79.0	78.3	79.1	79.7	
	平均值	80.06	78.6	79.5	79.0	78.3	79.1	79.7	
	标准器修正值	-0.20	——	——	——	——	——	——	
	标准器实际值	79.86	——	——	——	——	——	——	
	示值误差	——	-1.26	-0.36	-0.86	-1.56	-0.76	-0.16	
	温度示值一致性	1.4							
备 注						温度	21.0℃	湿度	67.3%RH
校准员			校核员		地点	转向架分厂 B7		日期	2026.06.26

8.试验结论

通过在线试验证明，规范规定的校准方法可行，能够满足对转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统（地铁类）的校准需要。

轨道交通机车车辆转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统（动车）

（试验报告）

1.试验目的

用规范中的示值误差校准方法测量转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统，判断校准方法是否可行。

2.试验地点

中车青岛四方机车车辆股份有限公司转向架分厂。

3.环境条件

温度 21.3℃，相对湿度 71.2%。

4.样品形式

测量范围（0~100）℃的转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统。

5.试验用装置

跑合试验台温升测试装置（标准恒温槽）、标准铂电阻温度计。

6.试验方法

6.1 示值误差的校准

调节温度源设定温度，将温度源的温度恒定在各校准温度点上。校准动车类温升监测系统时，温度偏离校准点在±0.2℃以内（以测量标准示值为准），温度波动不超过 0.1℃/10min 时开始读数。

读数时，应按标准→通道 1→通道 2→...→通道 N 的顺序分别读取测量标准和温升监测系统的示值，每个校准点测量 3 次，以 3 次读数的平均值计算示值误差。示值误差计算方法见公式（1）。

6.2 温度示值一致性的校准

温度示值一致性的校准与示值误差的校准同步进行。相同温度下，温升监测系统各通道的示值最大值与最小值的差值为示值一致性。

6.3.数据处理

6.3.1 示值误差的计算

$$\Delta t_i = \overline{t_i} - t_0 \quad (1)$$

Δt_i —某温度校准点上，温升监测系统第 i 通道的温度示值误差，℃；

$\overline{t_i}$ —某温度校准点上，温升监测系统第 i 通道 3 次读数的平均值，℃；

t_0 —某温度校准点上，测量标准实际值，℃。

b) 若以标准铂电阻温度计为标准器，则

$$t_0 = t + \frac{W(t_0) - W(t)}{dW(t)/dt} \quad (2)$$

式中：

t —名义校准温度，℃；

$W(t_0)$ —标准铂电阻温度计的电阻比， $\overline{R(t_0)} / R_{tp}$ ；

$\overline{R(t_0)}$ —某温度校准点上，标准铂电阻温度计 3 次读数的平均值，Ω；

R_{tp} —标准铂电阻温度计的水三相点的电阻值，Ω；

$W(t)$ —温度 t 时，标准铂电阻温度计分度表给出的电阻比；

$dW(t)/dt$ —温度 t 时，标准铂电阻温度计分度表给出的电阻比的变化率，℃⁻¹。

6.3.2 温度示值一致性的计算

$$\delta_t = \Delta t_{\max} - \Delta t_{\min} \quad (3)$$

式中：

δ_t —某温度校准点上，温升监测系统的温度示值一致性，℃；

$\Delta t_{\max}$ —某温度校准点上，所有测试通道中示值最大值，℃；

$\Delta t_{\min}$ —某温度校准点上，所有测试通道中示值最小值，℃。

7. 试验结果

委托单位	转向架分厂		仪器名称	跑合试验台温升监测系统		出厂编号	DPH001
制 造 厂	青岛四机设备工程有限公司		型号	TKSYT-DQ20-05		测量范围	(20~100)℃
准确度等级	MPE:±1.0℃					证书编号	——
标准名称	出厂编号	测量范围	不确定度/ 准确度等级	证书编号	溯源机构名称	有效期至	
标准恒温槽	250318	(0~100)℃	稳定性 $U=0.20^{\circ}\text{C},k=2$ 均匀性 $U=0.32^{\circ}\text{C},k=2$	RG926014680-001	青岛市计量技术研究院	2027.06.14	
标准铂电阻温度计	03630	(-189~420)℃	二等标准	T03-20249771	山东省计量科学研究院	2026.09.28	

外观检查		符合要求							
校准点	n	标准值	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	测量不确定度 U ($k=2$)
20	1	20.02	19.8	19.8	19.9	19.9	19.8	19.8	0.2
	2	20.02	19.8	19.8	19.9	19.9	19.8	19.8	
	3	20.02	19.8	19.8	19.9	19.9	19.8	19.8	
	平均值	20.02	19.8	19.8	19.9	19.9	19.8	19.8	
	标准器修正值	——	——	——	——	——	——	——	
	标准器实际值	——	——	——	——	——	——	——	
	示值误差	——	-0.22	-0.22	-0.12	-0.12	-0.22	-0.22	
	温度示值一致性	0.1							
40	1	40.01	39.8	39.9	40.1	39.8	39.7	39.8	0.2
	2	40.01	39.8	39.9	40.1	39.8	39.7	39.8	
	3	40.01	39.8	39.9	40.1	39.8	39.7	39.8	
	平均值	40.01	39.8	39.9	40.1	39.8	39.7	39.8	
	标准器修正值	——	——	——	——	——	——	——	
	标准器实际值	——	——	——	——	——	——	——	
	示值误差	——	-0.21	-0.11	0.09	-0.21	-0.31	-0.21	
	温度示值一致性	0.4							
80	1	80.01	79.9	80.1	80.2	79.9	79.8	79.7	0.2
	2	80.01	79.9	80.1	80.2	79.9	79.8	79.7	
	3	80.01	79.9	80.1	80.2	79.9	79.8	79.7	
	平均值	80.01	79.9	80.1	80.2	79.9	79.8	79.7	
	标准器修正值	——	——	——	——	——	——	——	
	标准器实际值	——	——	——	——	——	——	——	
	示值误差	——	-0.11	0.09	0.19	-0.11	-0.21	-0.31	
	温度示值一致性	0.5							
备 注						温度	21.3℃	湿度	71.2%RH
校准员			校核员		地点	转向架 D6		日期	2026.06.26

8.试验结论

通过在线试验证明，规范规定的校准方法可行，能够满足对转向架齿轮箱跑合试验台温升监测系统（动车类）的校准需要。