



吉林省地方计量技术规范

JJF (吉) 154—2025

动车运行参数校准规范

Calibration Specification for Operating Parameters of emu

2025-11-06 发布

2026-01-01 实施

吉林省市场监督管理厅 发布

动车运行参数校准规范

Calibration Specification for
Operating Parameters of EMU

JJF (吉) 154- 2025

归口单位：吉林省市场监督管理厅

主要起草单位：中车长春轨道客车股份有限公司

参加起草单位：吉林省计量科学研究院

本规范委托中车长春轨道客车股份有限公司负责解释

本规范主要起草人：

朱长刚 （中车长春轨道客车股份有限公司）

万 祎 （中车长春轨道客车股份有限公司）

刘艺涵 （中车长春轨道客车股份有限公司）

参加起草人：

王宇航 （吉林省计量科学研究院）

贺会超 （吉林省计量科学研究院）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性	(2)
5 校准条件	(3)
5.1 环境条件.....	(3)
5.2 测量标准及其他设备.....	(3)
6 校准项目和校准方法	(4)
6.1 校准项目	(4)
6.2 校准方法	(4)
7 校准结果表达	(7)
8 复校时间间隔	(7)
附录 A 动车运行参数校准记录参考格式.....	(8)
附录 B 动车运行参数校准证书内页参考格式.....	(9)
附录 C 动车运行参数压力表示值误差测量结果不确定度评定示例.....	(10)
附录 D 动车运行参数压力变送器示值误差测量结果不确定度评定示例.....	(12)
附录 E 动车运行参数直流电压表示值误差测量结果不确定度评定示例.....	(14)
附录 F 动车运行参数动车速度示值误差测量结果不确定度评定示例.....	(17)
附录 G 动车运行参数温度数据采集仪示值误差测量结果不确定度评定示例.....	(19)

引 言

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

本规范是参考 JJG 52《弹性元件式一般压力表、压力真空表和真空表检定规程》、JJG 124《电流表、电压表、功率及电阻表检定规程》、JJG 882《压力变送器检定规程》、JJF (机械) 1017《机动车综合性能测试仪校准规范》、JJF 1366《温度数据采集仪校准规范》、TB/T 3600《350 km/h 高速电动车组通用技术条件》中的部分条款制定。

本规范为首次发布。

动车运行参数在线校准规范

1 范围

本规范适用于动车静态停止时压力（包括但不限于制动压力表、制动管压力/均衡风缸压力表、控制门压力表、受电弓压力表、制动压力传感器等）、速度（包括但不限于机动车综合性能测试仪）、电池电压、车厢内温度等参数的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 52-2013 弹性元件式一般压力表、压力真空表和真空表检定规程

JJG 124-2005 电流表、电压表、功率及电阻表检定规程

JJG 882-2019 压力变送器检定规程

JJF (机械) 1017-2018 机动车综合性能测试仪校准规范

JJF 1366-2012 温度数据采集仪校准规范

TB/T 3600-2020 350 km/h 高速电动车组通用技术条件

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 概述

动车运行中需要实时监测的仪器仪表的参数较多，压力（包括但不限于制动压力表、制动管压力/均衡风缸压力表、控制门压力表、受电弓压力表、制动压力传感器等）、速度（包括但不限于机动车综合性能测试仪）、电池电压、车厢内温度等。重点解决仪表拆卸困难导致的校准难题，确保参数准确性且不影响车辆状态。

以上各类仪表的工作原理如下：

压力表：基于弹性元件在压力作用下的变形，通过机械传动机构驱动指针指示压力值。

压力变送器：将压力信号转换为标准电信号（如 4 mA~20 mA 或 0~10 V），通过应变片、电容或硅微压阻传感元件实现非电量到电量的转换。（图 1.压力变送器原理框图）

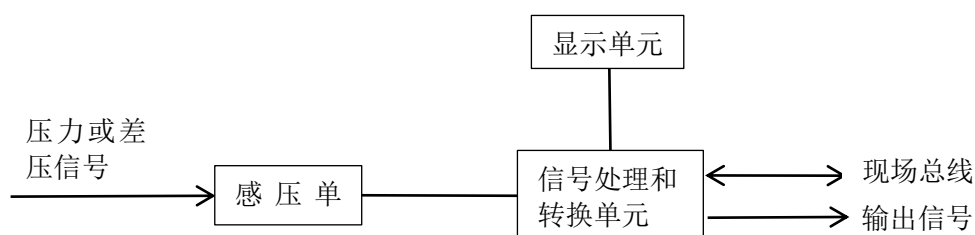


图1 压力变送器原理框图

动车速度测量仪：测量已知位置的卫星到用户接收机之间的距离，利用多普勒频移原理计算接收机与该卫星的相对速度，利用多个卫星信号合成最终的终端速度及具体运行位置。

直流电压表：基于磁电式机构，通电导体在磁场中受电磁力作用而运动，将微小的电流转换成指针的机械偏转。

温度数据采集仪：采用热电偶、热电阻或半导体温度传感器，将温度变化转换为电阻或电势变化，经信号调理和数字化处理后在显示器上输出。（图2.温度采集仪基本组成及原理框图）

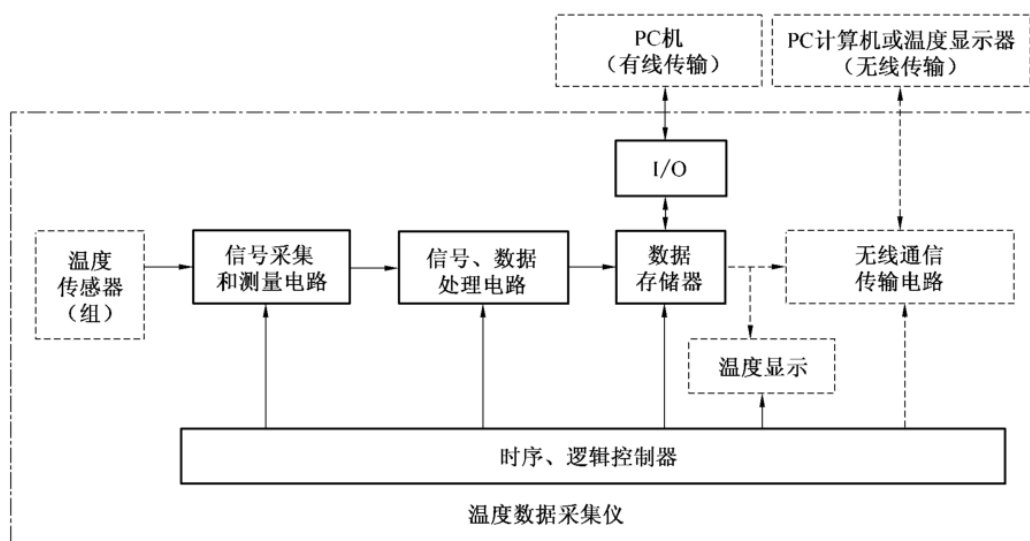


图2.温度采集仪基本组成及原理框图

在线校准的工作原理：在不拆卸仪表的前提下，通过标准设备直接对接车辆系统的校准接口，实现对各参数的实时比对与误差评定，确保监测数据的准确可靠。

4 计量特性

计量特性见表1。

表 1 计量特性

序号	计量项目	计量特性	测量范围	技术指标
1	压力表(制动压力表、制动管压力/均衡风缸压力表、控制门压力表、受电弓压力表等)	压力	/	准确度等级: 1.0 级
2	压力变送器(制动压力传感器)	压力或电流	/	准确度等级: 0.2 级
3	电池电压表	直流电压	(0~150) V 或 (0~50) V	准确度等级: 1.5 级
4	动车速度(机动车综合性能测试仪)	速度	(0~450) km/h	示值允许误差: ± 1 km/h
5	车厢温度数据采集仪	温度	(-20~50) $^{\circ}\text{C}$	示值允许误差: $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$
注: 以上技术指标不用于合格性判定, 仅供参考。				

5 校准条件

5.1 环境条件

环境温度: (15~35) $^{\circ}\text{C}$;

相对湿度小于 85%;

周围无影响校准系统正常工作的气流扰动、机械震动、电磁干扰。

5.2 测量标准及其他设备

校准用测量标准及其他设备应经过计量技术机构检定(或校准), 满足校准使用要求, 并在有效期内。校准用仪器设备及其它设备见表 2。

表 2 测量标准及其他设备

	名称	技术要求	用途
校准用 仪器设	智能数字压力校验 仪	1.0 级及以下, 最大允许误差绝对值不大于被检 压力表最大允许误差绝对值的 1/4	压力表、压力变送器示值误差测量

备	直流电流表	上限不低于 20 mA 0.01 级~0.05 级	压力变送器输出信号值的测量标准
	交直流标准表	MPE: 0.02%	直流电压表示值误差测量
	全球导航系统模拟器	卫星导航信号模拟器的基本性能: 伪距误差不超出 $\pm 5\text{mm}$ (方均根值), 伪距率误差不超出 $\pm 1\text{mm/s}$ (方均根值)	动车速度误差测量
	标准铂电阻温度计	二等	温度数据采集仪示值误差测量
	电测设备	相对误差不大于 3×10^{-5}	
	便携式液体恒温槽	测量范围: $(-20 \sim 50)^\circ\text{C}$; MPE: $\pm 0.1^\circ\text{C}$	

6 校准项目和校准方法、

6.1 校准项目

压力表（制动压力表、制动管压力/均衡风缸压力表、控制门压力表、受电弓压力表等）示值误差、压力变送器（制动压力传感器）示值误差、直流电压表示值误差、动车速度示值误差、动车距离示值误差、温度数据采集仪示值误差。

6.2 校准方法

6.2.1 压力表（制动压力表、制动管压力/均衡风缸压力表、控制门压力表、受电弓压力表等）示值误差的校准

a) 压力表的示值误差校准是采用标准器示值与被校压力表的示值直接比较的方法，首先应该关闭管道阀门，然后连接压力发生器和标准器。压力表示值误差校准连接示意图如下图 1 所示。

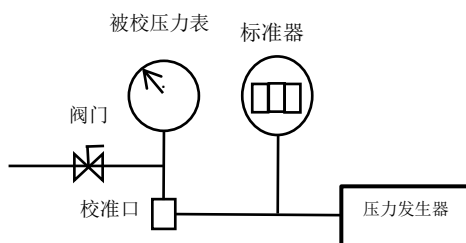


图 1 压力表示值误差校准连接示意图

b) 示值误差校准点应按标有数字的分度线选取。

c) 校准时，从零点开始均匀缓慢地加压至第一个校准点（即标准器的示值），然后读取被校压力表的示值（按分度值 1/5 估读）；依次在所选取的校准点进行校准直至测量

上限, 切断压力源, 耐压 3min 后, 再依次逐点进行降压校准直至零位。

d) 依次读取各校准点的升压和降压示值, 按公式(1)计算压力表各校准点示值误差。

$$\Delta p = p_m - p_s \quad (1)$$

式中:

Δp ——压力表各校准点示值误差, Pa、kPa 或 MPa;

p_m ——被校压力表各校准点正行程或反行程的示值, Pa、kPa 或 MPa;

p_s ——标准器各校准点的标准示值, Pa、kPa 或 MPa。

6.2.2 压力变送器(制动压力传感器)示值误差的校准

a) 压力变送器的示值误差校准是采用标准器示值与被校压力变送器的示值直接比较的方法。压力变送器配有校准口, 可使用克诺尔专用软件 ST03A 进行读取压力变送器实时数据, 同时该软件也可对压力进行控制。连接压力变送器和标准器。

b) 校准时, 校准点一般应包括上限值、下限值(或其附近 10% 输入量程以内)在内不少于 5 个点。依次在所选取的校准点进行校准, 读取标准器和被校压力变送器示值。

c) 按公式(2)计算压力变送器各校准点示值误差。

$$\Delta I = I - I_L \quad (2)$$

式中:

ΔI ——压力变送器各校准点的示值误差, mA 或数字量;

I ——压力变送器正行程或反行程各校准点的实际输出值, mA 或数字量;

I_L ——压力变送器各校准点的理论输出值, mA 或数字量。

6.2.3 直流电压表(电池电压)示值误差的校准

a) 直流电压表的示值误差校准是采用标准器示值与被校直流电压表的示值直接比较的方法, 将标准器并联连接到直流电压表的正负接线端子两端。

b) 校准时, 读取标准器和被校直流电压表的数值。

$$\Delta = U_0 - U_n \quad (3)$$

式中:

U_0 ——被测量的电压值, 单位: V;

U_n ——交直流标准表读数值, 单位: V。

6.2.4 动车速度(机动车综合性能测试仪)示值误差的校准

a) 启动全球导航系统模拟器, 设定不少于四颗卫星数的模拟信号, 在被校动车速度 (机动车综合性能测试仪) 测量范围内设定 6 个速度点 (推荐 50km/h、100km/h、200km/h、300km/h、350km/h、400km/h、450km/h), 亦可根据不同动车类型更换校准点, 依次选择每个速度点开始匀速运行。

b) 将被校机动车综合性能测试仪天线放置于模拟信号辐射范围内, 启动机动车综合性能测试仪, 待机动车综合性能测试仪工作正常后, 记录其速度示值。

c) 每个校准点重复测量 3 次, 按公式 (3) 和公式 (4) 计算示值误差 Δv_i 。

$$\bar{v}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (3)$$

$$\Delta v_i = \bar{v}_i - v_{0i} \quad (4)$$

式中:

i ——被校点数;

\bar{v}_i ——被校机动车综合性能测试仪在第 i 校准点 3 次测量示值的算术平均值, km/h;

n ——第 i 校准点的校准次数;

j ——第 i 校准点校准次序数;

v_{ij} ——被校机动车综合性能测试仪在第 i 校准点第 j 次校准时的示值, km/h;

Δv_i ——被校机动车综合性能测试仪在第 i 校准点的示值误差, km/h;

v_{0i} ——标准装置在第 i 校准点示值, km/h。

6.2.5 温度数据采集仪示值误差的校准

a) 将便携式液体恒温槽的温度恒定在各被校温度点上, 温度偏离校准点不得超过 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ (以测量标准示值为准)。

b) 当便携式液体恒温槽温度恒定 20 min 以上时, 分别记录测量标准和车厢温度数据采集仪的示值。

c) 每个校准点重复测量 4 次, 按公式 (5) 计算温度示值误差 Δt 。

$$\Delta t = \bar{t}_i - (\bar{t}_0 + t_d) \quad (5)$$

式中:

Δt ——在每一校准点上, 被校温度采集仪的测量误差, $^\circ\text{C}$;

\bar{t}_i ——在每一校准点上, 被校温度采集仪示值的平均值, $^\circ\text{C}$;

\bar{t}_0 ——在每一校准点上, 测量标准测得值的平均值, $^\circ\text{C}$;

t_d ——在每一校准点上，测量标准显示值的修正值， $^{\circ}\text{C}$ 。

7 校准结果表达

经校准的动车运行参数出具校准证书，校准结果应在校准证书上反映（校准结果内容见附录 B）。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题“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) 确定校准的日期，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) 校准所依据的技术规范的标识，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) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或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，不得部分复制证书的声明。

8 复校时间间隔

动车运行参数的复校时间间隔一般不超过 12 个月。由于复校时间间隔的长短是由设备的使用情况、使用者、设备本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

动车运行参数校准记录参考格式

委托单位				设备编号					
设备名称				环境温度					
设备型号				环境湿度					
出厂编号				校准依据的规范					
主要测量仪器设备									
1.压力表示值误差									
标准器示值/kPa	第一次		第二次		示值误差/kPa	不确定度 $U/kPa(k=2)$			
	正行程示值/kPa	反行程示值/kPa	正行程示值/kPa	反行程示值/kPa					
2.压力变送器示值误差									
压力实际值()	理论输出值()	第一次输出值()		第二次输出值()		第三次输出值()		示值误差()	不确定度 $U/(k=2)$
		正行程示值	反行程示值	正行程示值	反行程示值	正行程示值	反行程示值		
3.直流电压表示值误差									
标准器示值/V		被校表示值/V			示值误差/V			不确定度 $U/V(k=2)$	
4.动车速度示值误差									
校准点(km/h)	第一次读数(km/h)	第二次读数(km/h)	第三次读数(km/h)	平均值(km/h)	示值误差(km/h)	不确定度 $U/(km/h)(k=2)$			
5.温度数据采集仪示值误差									
校准点/°C	实测值/°C				平均值/°C	示值误差/°C	不确定度 $U/°C(k=2)$		
	1	2	3	4					

校准员：

核验员：

校准日期：

附录 B

动车运行参数校准证书内页参考格式

校准结果

1. 压力表示值误差									
标准器示值/kPa	第一次		第二次		示值误差/kPa	不确定度 U/kPa(k=2)			
	正行程示值/kPa	反行程示值/kPa	正行程示值/kPa	反行程示值/kPa					
2. 压力变送器示值误差									
压力实际值 ()	理论输出值 ()	第一次输出值()		第二次输出值()		第三次输出值()		示值误差()	不确定度 U/(k=2)
		正行程示值	反行程示值	正行程示值	反行程示值	正行程示值	反行程示值		
3. 直流电压表示值误差									
标准器示值/V		被校表示值/V		示值误差/V		不确定度 U/V(k=2)			
4. 动车速度示值误差									
校准点 (km/h)	第一次读数 (km/h)	第二次读数 (km/h)	第三次读数 (km/h)	平均值 (km/h)	示值误差 (km/h)	不确定度 U/(km/h)(k=2)			
5. 温度数据采集仪示值误差									
校准点/°C	实测值/°C				平均值/°C	示值误差/°C	不确定度 U/°C(k=2)		
	1	2	3	4					

(以下空白)

附录 C

动车运行参数压力表示值误差 测量结果不确定度评定示例

C.1 测量依据

JJG52-2013 《弹性元件式一般压力表、压力真空表和真空表》

JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》

C.2 测量条件

被校准对象：测量范围为（0~1.6）MPa 的 1.6 级一般压力表；

计量标准器：测量范围为（0~2.5）MPa 的 0.05 级数字压力计；

环境温度：（22.1~22.5）℃；

环境湿度：（50~52）%RH；

环境大气压力：（98.5~98.6）kPa。

C.3 测量方法

压力表的示值误差校准是采用标准器示值与被校压力表的示值直接比较的方法，首先应该关闭管道阀门，然后连接压力发生器和标准器。示值误差校准点应按标有数字的分度线选取。校准时，从零点开始均匀缓慢地加压至第一个校准点（即标准器的示值），然后读取被校压力表的示值（按分度值 1/5 估读）；依次在所选取的校准点进行校准直至测量上限，切断压力源，耐压 3min 后，再依次逐点进行降压校准直至零位。依次读取各校准点的升压和降压示值。

C.4 测量模型

$$\Delta p = p_m - p_s$$

式中：

Δp ——压力表各校准点示值误差，Pa、kPa 或 MPa；

p_m ——被校压力表各校准点正行程或反行程的示值，Pa、kPa 或 MPa；

p_s ——标准器各校准点的标准示值，Pa、kPa 或 MPa。

C.5 标准不确定度分量的评定

A 不确定度分量的 A 类评定

重复性测量引起的不确定度分量 u_1 ，对压力表的压力测量点 1MPa 示值进行 10 次重复独立测量，得到 10 个压力测得值，即

1.004MPa	1.004MPa	1.004MPa	1.008MPa	1.004MPa
1.008MPa	1.004MPa	1.004MPa	1.008MPa	1.004MPa

平均值 $\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n p_k = 1.0052\text{MPa}$, 取 1.005MPa

单次测量的标准差采用贝塞尔公式计算:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (p_i - \bar{p})^2}{10 - 1}} = 1.94 \times 10^{-3}\text{MPa}$$

测量结果取平均值, 则被测量估计值的 A 类不确定度分量 u_1 为:

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{10}} = \frac{1.94 \times 10^{-3}}{\sqrt{10}} = 6.2 \times 10^{-4}\text{MPa}$$

B 不确定度分量的 B 类评定

(1) 压力表示值估读引入的不确定度分量 u_2

压力表的分度值 δ 为 0.02MPa, 规范规定压力表示值读数按最小分度值的 1/5 估读, 属于均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则压力表示值估读误差引入的不确定度分量 u_2 :

$$u_2 = \frac{a}{k} = 2.3 \times 10^{-3}\text{MPa}$$

(2) 标准器引入的不确定度分量 u_3

标准器选用的 0.05 级数字压力计, 引入的最大允许误差为 $\Delta = \pm 0.05\% \times 2.5 = \pm 0.00125\text{MPa}$, 即半宽 $a = 0.00125\text{MPa}$ 假设为均匀分布, $k = \sqrt{3}$ 则标准不确定度 $u_3 = \frac{a}{k} = 7.2 \times 10^{-4}\text{MPa}$

C.6 合成标准不确定度及扩展不确定度的评定

(1) 各不确定度分量汇总及计算表

校准点	不确定度来源	评定方法	不确定度分量	备注
1.0MPa	测量重复性	A 类	$6.2 \times 10^{-4}\text{MPa}$	两者取大者
	分辨力	B 类	$2.3 \times 10^{-3}\text{MPa}$	
	标准器	B 类	$7.2 \times 10^{-4}\text{MPa}$	

(2) 计算合成标准不确定度

由于各不确定度分量互不相关, 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.25 \times 10^{-2}\text{MPa}$$

取包含因子 $k = 2$, 则扩展不确定度 U 为:

$$U = k \times u_c = 0.50 \times 10^{-2}\text{MPa}$$

附录 D

动车运行参数压力变送器示值误差测量结果
不确定度评定示例

D.1 评定对象

依据 JJG882-2019《压力变送器》检定规程, 评定时只考虑数字多用表测量误差引入的标准不确定度 $u_1(I)$ 、压力标准器示值误差引入的标准不确定度 $u(P)$ 带来的影响。

计量标准器:

名称	测量范围	准确度等级/最大允许误差
数字压力计	0 MPa~2 MPa	0.02 级
校验仪	-30 mA~30 mA	$\pm(0.01\% \times \text{示值} + 0.0015\text{mA})$

被检样品:

名称	测量范围	准确度等级/最大允许误差
压力变送器	0 MPa~2 MPa	0.02 级/ $\pm 0.032 \text{ mA}$

D.2 压力变送器的测量模型

$$\Delta I = I - \left[\frac{I_m}{P_m} \cdot (P + \Delta P) + I_0 \right]$$

式中:

I_m ——压力变送器电流输出量程 (16 mA) ;

P ——标准器输入压力值, MPa;

P_m ——压力变送器压力量程 (2 MPa) ;

I_0 ——压力变送器输出电流起始值 (4 mA) 。

D.3 校验仪电流测量引入的标准不确定度 $u_1(I)$

校验仪电流测量 20 mA 测量档的最大允许示值误差为: $\pm(0.01\% \times \text{示值} + 0.0015\text{mA})$, 压力变送器的输出电流的最大值为 20 mA, 所以半宽度 $a = (0.01\% \times 20 + 0.0015)\text{mA} = 0.0035\text{mA}$ 。在区间内可认为服从均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 故:

$$u_1(I) = \frac{a}{k} = 0.002 \text{ mA}$$

I 对测量模型输出量的灵敏系数: $c_1 = 1$

D.4 输入量 P 的标准不确定度 $u(P)$ 的评定

数字压力计的测量范围为 0 MPa~2 MPa, 最大允许误差为 $\pm 0.02\% \text{FS}$ 。因此, 2MPa 这点的最大允许误差为 $\Delta = \pm 0.02\% \times 2 = \pm(4 \times 10^{-4})\text{MPa}$, 则 $a = 4 \times 10^{-4}\text{MPa}$, 服从均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则其标准不确定度为:

$$u(P) = \frac{a}{k} = 2.3 \times 10^{-4} (\text{MPa})$$

P 对测量模型输出量的灵敏系数: $c_2 = -8 \text{ mA} \cdot \text{MPa}^{-1}$

表 D.1 标准不确定度一览表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$c_i \times$ 标准不确定度
$u_1(I)$	校验仪	0.002 mA	1	0.002 mA
$u(P)$	数字压力计	$2.3 \times 10^{-4} \text{ MPa}$	$-8 \text{ mA} \cdot \text{MPa}^{-1}$	-0.0018 mA

合成标准不确定度 u_c :

输入量 I 和 P 的标准不确定度不相关, 根据不确定度传播定律, 其合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2(I) + c_2^2 u^2(P)} = 0.0027 \text{ mA}$$

取包含因子 $k = 2$, 则其扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 0.0054 \text{ mA}$$

附录 E

动车运行参数直流电压表示值误差测量结果 不确定度评定示例

E.1 评定对象

依据 JJG124-2005 《电流表、电压表、功率表及电阻表》检定规程，用交直流标准表作为标准的校准方法。将交直流标准表与被测直流电压表并联接到直流电压源的输出端。由直流电压源提供直流电压，调节直流电压源，缓慢增加电压，使被校电压表的指示器指示在 150 格刻度线上，并记录交直流标准表的电压值。实验选用的计量标准器被测表如表 E.1 所示，以测量满刻度点（150V）为例。

表 E.1 选用的计量标准器、被测表

计量器具名称	型号	允许误差
交直流标准表	9080A	$\pm (0.01\%U_x + 0.001\%U_m)$
指针式直流电压表	(0~150) V	$\pm 0.1\%$

E.2 评定模型

(1) 数学模型

$$\Delta = U_0 - U_n$$

式中：

U_0 —— 被测量的电压值，单位：V；

U_n —— 交直流标准表读数，单位：V。

(2) 灵敏系数

$$U_n \text{ 的灵敏系数 } c = \partial U_0 / \partial U_n = 1$$

(3) 标准不确定度的来源

a. 交直流标准表确定度引起的标准不确定度分量 u_1 (B 类不确定度分量)；b. 直流稳压电源调节细度引起的标准不确定度分量 u_2 (B 类不确定度分量)；c. 直流稳压电源稳定性引起的标准不确定度分量 u_3 (B 类不确定度分量)；d. 交直流标准表分辨度为 δ_x ，引起的标准不确定度分量 u_4 (B 类不确定度分量)；e. 人员视差引起的标准不确定度分量 u_5 (A 类不确定度分量)；f. 测量重复性引起的标准不确定度分量 u_6 (A 类不确定度分量)。

E.3 合成不确定度评定模型

(1) 标准不确定度分量的评定

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2}$$

(2) 标准不确定度分量 u_1 的评定

当测量值为 150V 时, 9080A 型交直流标准表 150V 量程允许误差为 a 为 $\pm(0.01\%U_0 + 0.001\%U_m) = \pm(0.01\% \times 150V + 0.001\% \times 150V) = \pm 1.65 \times 10^{-2}V$ ($k = \sqrt{3}$), $u_1 = a/k = 1.65 \times 10^{-2}/\sqrt{3} = 9.526 \times 10^{-3}V$, $\Delta u_1/u_1 = 0.01$, 其自由度 $\nu_1 \rightarrow \infty$ 。

(3) 标准不确定度分量 u_2 的评定

ZWY-II 型直流稳压电源电压输出调节细度 0.01%, 引起的电压变化量 b 为 $0.01\% \times 150V = 1.5 \times 10^{-2}V$, $u_2 = b/k = 0.01\% \times 150V/\sqrt{3} = 8.660 \times 10^{-3}V$, $\Delta u_2/u_2 = 0.01$, 其自由度 $\nu_2 \rightarrow \infty$ 。

(4) 标准不确定度分量 u_3 的评定

当输出值为 150V, ZWY-II 型直流稳压电源稳定度 0.005%3 分钟, 引起的电压变化量 c ($k = \sqrt{3}$) 为 $0.005\% \times 150 = 7.5 \times 10^{-3}V$, $u_3 = c/k = 7.5 \times 10^{-3}V/\sqrt{3} = 4.330 \times 10^{-3}V$, $\Delta u_3/u_3 = 0.01$, 其自由度 $\nu_3 \rightarrow \infty$ 。

(5) 标准不确定度分量 u_4 的评定

交直流标准表位六位数字显示, 最小分辨率为 0.001V, 引起的标准不确定度 d 为 $u_4 = b/k = 0.001V/\sqrt{3} = 5.773 \times 10^{-4}V$, $\Delta u_4/u_4 = 0.01$, 其自由度 $\nu_4 \rightarrow \infty$ 。

(6) 标准不确定度分量 u_5 的评定

根据直流电压表标度尺分格值满度值为 150 格, 示值分辨率为 0.02 格, 因此由于人员视差一般应不大于仪表准确度等级的 1/10, 即 $e = \pm 0.02\%$, 转换成电压值表示为 $e = \pm 0.02\% \times 150V = \pm 3 \times 10^{-2}V$, $u_5 = e/k = 3 \times 10^{-2}/\sqrt{3} = 1.73 \times 10^{-2}V$, $\Delta u_5/u_5 = 0.1$, 其自由度 $\nu_5 = 1/[2(\Delta u_5/u_5)^2] = 50$ 。

(7) 标准不确定度分量 u_6 的评定

以测量直流电压 150V 量程满刻度点为例, 进行 10 次等精度测量, 测量数据表 E.2 所示。

表 E.2

序号	1	2	3	4	5
测量值	150.057	150.057	150.057	150.056	150.056
序号	6	7	8	9	10
测量值	150.057	150.057	150.056	150.057	150.056

$$\bar{x} = 150.0566V$$

$$\text{单次测量标准差: } S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n - 1} = 5.16 \times 10^{-4}V$$

每次为双测值则： $u_6 = S/\sqrt{2} = 3.649 \times 10^{-4}\text{V}$ ， u_6 的自由度为 $\nu_6 = n - 1 = 9$ 。

E.4 合成标准不确定度的评定

(1) 标准不确定度一览表

表 E.3

不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数	标准不确定度分量	自由度
交直流标准表	$9.526 \times 10^{-3}\text{V}$	1	$9.526 \times 10^{-3}\text{V}$	∞
直流稳压电源调节 细度	$8.660 \times 10^{-3}\text{V}$	1	$8.660 \times 10^{-3}\text{V}$	∞
直流稳压电源稳定 度	$4.330 \times 10^{-3}\text{V}$	1	$4.330 \times 10^{-3}\text{V}$	∞
交直流标准表分辨 表	$5.773 \times 10^{-4}\text{V}$	1	$5.773 \times 10^{-4}\text{V}$	∞
人员视差	$1.73 \times 10^{-2}\text{V}$	1	$1.73 \times 10^{-2}\text{V}$	∞
测量重复性	$3.649 \times 10^{-4}\text{V}$	1	$3.649 \times 10^{-4}\text{V}$	∞

(2) 合成标准不确定度 u_c 的计算

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 2.202 \times 10^{-2}\text{V}$$

E.5 合成不确定度 u_c 的自由度 ν_{eff} 的计算

$$\nu_{eff} = u_c^4 / \left(\sum u_i^4 / \nu_i \right) \rightarrow \infty$$

(1) 合成不确定度 u_c 的自由度 ν_{eff} 的计算

$$k = t_p(\nu_{eff}) = t_{0.95}(\infty = 1.96)$$

扩展不确定度 U 的计算，取 $k = 2$ ， $U = ku_c = 2 \times 2.202 \times 10^{-2}\text{V} = 4.4 \times 10^{-2}\text{V}$ 。

(2) 评定结果报告

指针式直流电压表测量结果的相对扩展不确定度为

$$U_{rel} = 2.9 \times 10^{-4}, k = 2$$

附录 F

动车运行参数动车速度示值误差 测量结果不确定度评定示例

F.1 测量方法

- a. 启动卫星导航信号模拟器，设定不少于四颗卫星数的模拟信号，在被校动车速度仪表测量范围内设定 300km/h 速度点；
- b. 将被校动车速度仪表天线放置于模拟信号辐射范围内，启动动车速度仪表，待动车速度仪表工作正常后，记录其速度示值。
- c. 校准点重复测量 3 次。

F.2 速度示值误差数学模型

$$\Delta v_i = v_i - v_{oi}$$

(F.1)

式中：

 Δv_i ——被校动车速度仪表在第 i 校准点的示值误差，km/h； v_i ——被校动车速度仪表在第 i 校准点 3 次测量示值的算术平均值，km/h； v_{oi} ——标准装置在第 i 校准点示值，km/h。

F.3 方差和灵敏系数

因为各输入量彼此独立，按不确定度传播定律：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2$$

(F.2)

由公式(F.1)得方差：

$$u_c^2(\Delta v_i) = c_1^2 u^2(\bar{v}_i) + c_2^2 u^2(v_{oi})$$

(F.3)

式中：

 $u(\bar{v}_i)$ ——被校机动车综合性能测试仪的标准不确定度分量； $u(v_{oi})$ ——标准装置的标准不确定度分量。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta v_i)}{\partial(\bar{v}_i)} = 1 \quad (\text{F.4})$$

$$c_2 = \frac{\partial(\Delta v_i)}{\partial(v_{oi})} = -1 \quad (\text{F.5})$$

根据公式 (F.4) 和公式 (F.5) 得标准不确定度:

$$u_c^2(\Delta v_i) = u^2(\bar{v}_i) + u^2(v_{oi})$$

(F.6)

F.4 标准不确定度分量

本测量主要由两项标准不确定度分量, 即由标准装置引入的标准不确定度分量 $u(v_{oi})$ 和由被校机动车综合性能测试仪引入的标准不确定度分量 $u(\bar{v}_i)$, 其他的不确定度来源可忽略不计。

F.4.1 由标准装置引入的标准不确定度分量 $u(v_{oi})$

根据卫星导航信号模拟器的技术指标, 卫星导航信号模拟器伪距率的允许误差为 $\pm 1 \text{ mm/s}(0.0036 \text{ km/h})$, 服从均匀分布, 其标准不确定度分量为:

$$u(v_{oi}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 0.0036 \text{ km/h} = 0.002 \text{ km/h}$$

F.4.2 由被校机动车综合性能测试仪引入的标准不确定度分量 $u(\bar{v}_i)$

F.4.2.1 由被校机动车综合性能测试仪显量化误差引入的标准不确定度分量:

一般机动车综合性能测试仪的分辨力为 0.01 km/h , 服从均匀分布, 其标准不确定度分量为:

$$u_{v1} = \frac{0.01 \text{ km/h}}{2\sqrt{3}} \times 0.0029 \text{ km/h}$$

F.4.2.2 由被校机动车综合性能测试仪速度测量重复性引入的标准不确定度分量:

对 300 km/h 速度点进行 10 次独立、等精度测量, 测量结果见表 F.1。

表 F.1 300 km/h校准点速度测量数据表 km/h

校准点	测量数据				
300.0	299.98	299.95	300.03	299.92	300.05
	299.97	299.93	299.98	300.01	300.05

由表 F.1 可知, 300 km/h 校准点单次测量的实验标准差为:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (s_i - s)^2}{n - 1}} = 0.047 \text{ km/h}$$

在实际测量中, 重复条件下测量 3 次, 以 3 次测量结果的算术平均值为测量结果, 其标准不确定度分量为:

$$u_{s2} = \frac{0.047 \text{ km/h}}{\sqrt{3}} = 0.027 \text{ km/h}$$

F.4.2.3 由重复性引入的标准不确定度分量大于由分辨力引入的标准不确定度分量，因此可以不考虑由分辨力引入的标准不确定度分量，则

$$u(\bar{v}_i) = u_{s2} = 0.027 \text{ km/h}$$

F.4.3 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u^2(\bar{v}_i) + u^2(v_{0i})} = \sqrt{(0.027 \text{ km/h})^2 + (0.002 \text{ km/h})^2} = 0.03 \text{ km/h}$$

取置信因子 $k = 2$ ，其扩展不确定度为： $U = 2 \times 0.03 \text{ km/h} = 0.06 \text{ km/h}$

附录 G

动车运行参数温度数据采集仪示值误差 测量结果不确定度评定示例

G.1 被测对象

以分辨力为 0.01 °C 的采集仪为例，用二等标准铂电阻温度计和 1590 测温电桥作为测量标准进行校准，评定采集仪在校准点 20.0 °C 时测量结果的不确定度。

G.2 评定模型

G.2.1 数学模型

采集仪测量误差的数学模型为

$$\Delta t = \bar{t}_i - \bar{t}_0$$

式中：

Δt ——在每一校准点上，被校温度采集仪的测量误差，°C；

\bar{t}_i ——在每一校准点上，被校温度采集仪显示值的平均值，°C；

\bar{t}_0 ——在每一校准点上，标准温度计测得值的平均值，°C；

G.2.2 灵敏系数

\bar{t}_i 的灵敏系数：

$$c_1 = \partial \Delta t / \partial \bar{t}_i = 1$$

\bar{t}_0 的灵敏系数：

$$c_2 = \partial \Delta t / \partial \bar{t}_0 = -1$$

G.2.3 方差

方差公式为

$$u_c^2(\Delta t) = c_1^2 u^2(\bar{t}_i) + c_2^2 u^2(\bar{t}_0)$$

G.3 标准不确定度来源

G.3.1 输入量 \bar{t}_i 导致的标准不确定度 $u(\bar{t}_i)$

输入量 \bar{t}_i 导致的标准不确定度 $u(\bar{t}_i)$ 由以下 2 个分量构成：

- a. 采集仪测量重复性引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_{i1})$ ；
- b. 采集仪分辨力引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_{i2})$ 。

G.3.2 输入量 \bar{t}_0 导致的标准不确定度 $u(\bar{t}_0)$

输入量 \bar{t}_0 导致的标准不确定度 $u(\bar{t}_0)$ 由以下 5 个分量构成:

- 二等标准铂电阻温度计量值溯源引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_{01})$;
- 电测设备测量误差引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_{02})$;
- 二等标准铂电阻温度计水三相点电阻值变化引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_{03})$
- 二等标准铂电阻温度计自热引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_{04})$
- 恒温槽温度场不均匀引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_{05})$

G.4 标准不确定度的评定

G.4.1 $u(\bar{t}_i)$ 的评定G.4.1.1 $u(\bar{t}_{i1})$ 的评定

恒温槽的温度波动、被校采集仪的短期不稳定性等均会导致被校采集仪示值的不重复, 采用 A 类评定方法。

对被校采集仪在重复性条件下做 10 次测量, 测量值 t_{i1} 分别为: 20.03℃, 20.04℃, 20.04℃, 20.03℃, 20.04℃, 20.03℃, 20.04℃, 20.04℃, 20.03℃, 20.04℃。平均值为 20.036℃, 则单次测量的标准偏差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(t_{i1} - \bar{t}_{i1})^2}{10 - 1}} = 0.0052 \text{ } ^\circ\text{C}$$

实际测量中以 4 次测量值的平均值作为测量结果, 则

$$u(\bar{t}_{i1}) = \frac{s}{\sqrt{4}} = 0.0026 \text{ } ^\circ\text{C}$$

自由度 $\nu(\bar{t}_{i1}) = 9$

G.4.1.2 $u(\bar{t}_{i2})$ 的评定

被校采集仪分辨力为 0.01 °C, 采用 B 类评定方法。

则区间半宽 $a = 0.005 \text{ } ^\circ\text{C}$, 该分布服从均匀分布, 故

$$u(\bar{t}_{i2}) = \frac{0.005 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ } ^\circ\text{C}$$

它的相对不确定度取 10%, 则自由度为 $\nu(\bar{t}_{i2}) = 1/[2 \times (10\%)^2] = 50$ 。

G.4.1.3 被校采集仪分辨力引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_{i2})$ 大于重复性引入的标准不确定度 $u(\bar{t}_{i1})$, 则取 $u(\bar{t}_{i2})$ 的值作为输入量 \bar{t}_i 导致的标准不确定度。故 $u(\bar{t}_i) = 0.0029 \text{ } ^\circ\text{C}$, 自由度

$$v(\bar{t}_{i2}) = 50。$$

G. 4. 2 $u(\bar{t}_0)$ 的评定

G. 4. 2. 1 $u(\bar{t}_{01})$ 的评定

$u(\bar{t}_{01})$ 由标准铂电阻温度计的量值溯源引入, 20℃时二等标准铂电阻温度计的不确定度为 $U = 0.0048^\circ\text{C}$ ($k = 2$), 则

$$u(\bar{t}_{01}) = 0.0024^\circ\text{C}$$

它的相对不确定度估计为 10%, 则自由度为 $v(\bar{t}_{01}) = 1/[2 \times (10\%)^2] = 50$ 。

G. 4. 2. 2 $u(\bar{t}_{02})$ 的评定

用 1590 测温电桥测量二等标准铂电阻温度计, 电桥最大允许误差为 $\pm 1 \times 10^{-5}$, 采用 B 类评定方法。

20℃时二等标准铂电阻温度计的标称值为 25.98 Ω , 估计为均匀分布, 则标准不确定度为

$$u(\bar{t}_{02}) = (1 \times 10^{-5} \times 25.98 \times 10) / \sqrt{3} = 0.0015^\circ\text{C}$$

它的相对不确定度估计为 10%, 则自由度为 $v(\bar{t}_{02}) = 1/[2 \times (10\%)^2] = 50$ 。

G. 4. 2. 3 $u(\bar{t}_{03})$ 的评定

按标准铂电阻温度计检定规程要求, 温度计水三相点变化 ≥ 8 mK时应提前送检, 但规程要求经常测得标准器的水三相点电阻值, 并使用新测得值计算。取使用前后变化为 0.002 $^\circ\text{C}$, 采用 B 类评定方法。估计为均匀分布, 则标准不确定度为

$$u(\bar{t}_{03}) = \frac{0.002^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.0012^\circ\text{C}$$

它的相对不确定度估计为 10%, 则自由度为 $v(\bar{t}_{03}) = 1/[2 \times (10\%)^2] = 50$ 。

G. 4. 2. 4 $u(\bar{t}_{04})$ 的评定

按二等标准铂电阻温度计检定规程要求, 温度计自热不得超过 4 mK, 但由于该项已经包含在其量值溯源引入的标准不确定度之中了, 在此可忽略不计。

G. 4. 2. 5 $u(\bar{t}_{05})$ 的评定

恒温槽在 20℃时, 均匀性为 0.01 $^\circ\text{C}$, 采用 B 类评定方法。估计为均匀分布, 则标准不确定度为

$$u(\bar{t}_{05}) = \frac{0.005^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.0029^\circ\text{C}$$

它的相对不确定度估计为 10%，则自由度为 $v(\bar{t}_{05}) = 1/[2 \times (10\%)^2] = 50$ 。

G. 4. 2. 6 以上各分量彼此相互独立，则

$$u(\bar{t}_0) = \sqrt{u^2(\bar{t}_{01}) + u^2(\bar{t}_{02}) + u^2(\bar{t}_{03}) + u^2(\bar{t}_{04}) + u^2(\bar{t}_{05})} = 0.0043 \text{ } ^\circ\text{C}$$

自由度为

$$v(\bar{t}_0) = \frac{u^4(\bar{t}_0)}{\frac{u^4(\bar{t}_{01})}{v(\bar{t}_{01})} + \frac{u^4(\bar{t}_{02})}{v(\bar{t}_{02})} + \frac{u^4(\bar{t}_{03})}{v(\bar{t}_{03})} + \frac{u^4(\bar{t}_{04})}{v(\bar{t}_{04})} + \frac{u^4(\bar{t}_{05})}{v(\bar{t}_{05})}} = 154$$

G. 5 合成标准不确定度的评定

G. 5. 1 标准不确定度分量一览表见表 G.1。

表 G.1 标准不确定度分量一览表

符号	不确定度的来源	数值 $^\circ\text{C}$	灵敏系数	标准不确定度分量	自由度	备注
$u(\bar{t}_i)$		0.0029		0.0029	50	两者取大者
$u(\bar{t}_{i1})$	被校重复性引入	0.0026	1			
$u(\bar{t}_{i2})$	被校分辨力引入	0.0029	1			
$u(\bar{t}_0)$		0.0043		0.0043	154	
$u(\bar{t}_{01})$	标准铂电阻量值溯源引入	0.00024	-1			
$u(\bar{t}_{02})$	电测设备引入	0.0015	-1			
$u(\bar{t}_{03})$	标准铂电阻水三相点阻值变化引入	0.0012	-1			
$u(\bar{t}_{04})$	标准铂电阻自热引入	忽略	-1			
$u(\bar{t}_{05})$	恒温槽不均匀引入	0.0029	-1			

G. 5. 2 合成标准不确定度的计算

$$u_c(\Delta t) = \sqrt{[c_1 u(\bar{t}_i)]^2 + [c_2 u(\bar{t}_0)]^2} = 0.0052 \text{ } ^\circ\text{C}$$

G. 6 扩展不确定度的评定

G. 6. 1 合成标准不确定度自由度的计算

合成标准不确定的自由度为

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(\Delta t)}{\frac{[c_1 u(\bar{t}_i)]^4}{v(\bar{t}_i)} + \frac{[c_2 u(\bar{t}_0)]^4}{v(\bar{t}_0)}} = 197$$

G. 6. 2 扩展不确定的计算

取 $p = 95\%$ ，按 $v_{eff} = 100$ 查 t 分布表得 $t_p(v_{eff}) = 1.984$ ，则扩展不确定度为

$$U_{95} = k_p \times u_c(\Delta t) = t_p(v_{eff}) \times u_c(\Delta t) \approx 0.011 \text{ } ^\circ\text{C}$$

G. 7 测量不确定度的报告

温度数据采集仪测量误差的测量不确定度为

$$U_{95} = 0.011^{\circ}\text{C} \quad v_{eff} = 100$$

20℃时被校采集仪的测量误差为 0.025℃，则其测量结果为

$$\Delta t = 0.025^{\circ}\text{C}, U_{95} = 0.011^{\circ}\text{C}, v_{eff} = 100$$

吉林省地方计量技术规范

动车运行参数在线校准规范

JJF(吉) 154—2025

吉林省市场监督管理厅发布

*

版权所有 不得翻印

297 mm×210 mm A4 纸

2025 年 11 月第 1 版 2025 年 11 月第 1 次印刷