



北京市地方计量技术规范

JJF (京) XXXX—XXXX

机车车辆制动夹钳单元 试验台校准规范

Calibration Specification for Brake Caliper

Unit Test Bench of Railway Vehicles

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

北京市市场监督管理局 发布

机车车辆制动夹钳单元 试验台校准规范

Calibration Specification for

Brake Caliper Unit Test Bench of Railway Vehicles

JJF(京) XX-XXXX

归口单位：北京市市场监督管理局

起草单位：北京市计量检测科学研究院

本规范委托XXX负责解释

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和定义.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 基本要求.....	(2)
5.2 测力系统.....	(2)
5.3 扭矩系统.....	(3)
5.4 压力系统.....	(3)
5.5 位移测量系统.....	(3)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 校准用计量器具.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(4)
7.1 力值.....	(4)
7.2 扭矩.....	(5)
7.3 压力.....	(6)
7.4 位移.....	(7)
8 校准结果表达.....	(8)
9 复校时间间隔.....	(9)
附录 A 机车车辆制动夹钳单元试验台测量结果不确定度评定示例.....	(10)
附录 B 校准证书内页格式及校准原始记录.....	(17)

引 言

本规范参照 TB/T 3431-2015《机车车辆制动夹钳单元》，结合实际使用制定，并依据国家计量技术规范 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范为首次发布。

机车车辆制动夹钳单元试验台校准规范

1 范围

本规范适用于机车车辆制动夹钳单元试验台的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

TB/T 3431-2015机车车辆制动夹钳单元；

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 术语和定义

3.1 制动 braking

施加外力使车辆或列车减速，或阻止其加速趋势的作用。

3.2 制动夹钳单元 Brake Caliper unit

盘形制动中用于将压缩空气的压力转化为闸片正压力的钳形部件，安装在转向架上。

3.3 制动缸 Brake Cylinder

空气制动装置中，将空气压力转变为活塞杆推力的装置。

3.4 夹紧力 Clamping Force

制动夹钳单元产生的施加在试验台上的力值。

4 概述

机车车辆制动夹钳单元试验台主要用于对机车车辆制动夹钳单元各项参数进行出厂检测、使用中检测及维修后检测，由测力系统、扭矩系统、压力系统和位移测量系统组成，如图所示。其中测力系统由测力传感器构成；扭矩系统由扭矩传感器和施扭装置构成；压力系统由压力传感器构成；位移测量系统由位移传感器组成。

其工作原理是：通过机械、压力和电气系统，结合高精度传感器，设计可实时采集的多通道高精度测试试验台，测试机车车辆制动夹钳单元在工作过程中的各项关键数据，从而对其安全性、可靠性和综合性能进行全面、客观的评价。

5 计量特性

5.1 基本要求

测力系统、扭矩系统、压力系统和位移测量系统数据显示应清晰，均应有清零功能，

扭矩系统可进行扭矩加载，力值单位为 N，扭矩单位为 Nm，压力单位为 kPa，位移单位 mm。

5.2 测力系统

测力系统的计量特性均应满足表 1 要求。

表 1 力值计量特性

准确度等级	技术指标	
	q (%)	R (%)
0.5	± 0.5	0.5
1.0	± 1.0	1.0
说明	q —进程示值相对误差； R —示值重复性相对误差；	

5.3 扭矩系统

5.3.1 扭矩系统的顺时针、逆时针扭矩示值计量特性应满足表 2 要求。

表 2 扭矩计量特性

准确度等级	技术指标	
	Q_T (%)	R_T (%)
0.5	± 0.5	0.5
1	± 1.0	1.0
2	± 2.0	2.0
说明	q_T —扭矩示值相对误差； R_T —扭矩示值重复性；	

5.4 压力系统

压力系统通常包括制动缸、停放缸和总风缸，其计量特性要求压力示值误差不大于 $\pm 0.2\%FS$ ，示值回程误差不大于 $0.2\%FS$ 。

5.5 位移测量系统

位移指示装置的分辨力应不低于 0.1mm，示值相对误差不大于 $\pm 0.5\%$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

实验室内温度应在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 范围内，相对湿度不大于 80%。

实验室内应无影响测量的灰尘、振动、气流、腐蚀性气体和强磁场。试验台及校准用计量标准器具在室内恒温及预热时间不少于 2h。

6.2 校准用计量器具

校准项目和校准用计量器具见表 3，并允许使用满足要求的其它测量标准器具及设备进行校准。

表 3 校准项目和校准用计量器具

序号	校准项目	校准用主要计量器具	参考技术指标	备注
1	力值	标准测力仪	0.1 级及以上	
2	扭矩	标准扭矩仪	0.1 级及以上	依据校准需求选配
3	压力	数字压力计	0.05 级及以上	
4	位移	激光干涉仪		依据校准需求选配
		三等量块		

7 校准方法

检查机车车辆制动夹钳单元试验台的各个系统，活动部件运动应平稳、灵活；紧固部件作用有效、可靠；仪器可正常开启，明确没有影响校准计量特性的因素后再进行校准。

7.1 力值

7.1.1 安装标准测力仪在机车车辆制动夹钳单元试验台力值传感器检测端，并调整至工作状态，数据采集装置清零，使用施力装置施加力值，施力轴线保持一致。

7.1.2 校准点应均匀分布，一般不少于 5 点（通常为额定负荷的 20%，40%，60%，80%，100%）。对测量下限低于额定负荷 20% 的测力单元，取额定负荷的 10%、5%、2%、1% 依次进行校准直至测量下限。

7.1.3 按照加力方向对测力系统施加标准力值至满量程，额定负荷的保持时间应为 30s~1 min，卸荷至零负荷后，等待 30 s。额定负荷的预加载，不少于 3 次。显示仪表清零后逐级施加正向递增负荷，加载至指定负荷保持 30 s，读取显示值，直到额定负荷。此过程连续进行 3 次。

7.1.4 测力系统有关技术指标的计算方法

示值相对误差 q 和示值重复性 R 按公式(1-2)计算:

$$q = \frac{\bar{F}_i - F}{F} \times 100\% \quad (1)$$

$$R = \frac{F_{i\max} - F_{i\min}}{\bar{F}_i} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

\bar{F}_i —试验台测力系统三次测量结果的平均值, N;

F —施加的标准力值, N;

$F_{i\max}$ —试验台测力系统第 i 点三次测量值的最大值, N;

$F_{i\min}$ —试验台测力系统第 i 点三次测量值的最小值, N。

7.2 扭矩

7.2.1 扭矩在量程内校准点应均匀分布,一般不少于 5 点(通常为额定扭矩的 20%, 40%, 60%, 80%, 100%)。对测量下限低于额定扭矩 20%的扭矩单元,取额定扭矩的 10%、5%、2%、1%依次进行校准直至测量下限。

7.2.2 将标准扭矩仪和试验台扭矩系统连接,施加扭矩至试验台扭矩满量程,保持时间为 30 s~1 min,卸荷至零点后,等待 30 s。扭矩满量程的预加载,不少于 3 次。显示仪表清零后逐点递增施加扭矩至各校准点保持 30 s,读取显示值,直到额定扭矩。此过程连续进行 3 次。

7.2.3 按 7.2.2 的校准方法对扭矩系统逆时针的加载进行校准。

7.2.4 扭矩系统示值相对误差和示值重复性按下列各式计算,应满足 5.3.1 中相应技术要求。

$$Q_T = \frac{\bar{T} - T_n}{T_n} \times 100\% \quad (3)$$

$$R_T = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{\bar{T}} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

Q_T —试验台扭矩系统扭矩示值误差;

\bar{T} —试验台扭矩系统检定点 3 次测量值的平均值, Nm;

T_n —标准扭矩值, Nm;

R_T —静态扭矩重复性;

T_{\max} —3 次测量值的最大值, Nm;

T_{\min} —3 次测量值的最小值, Nm。

7.3 压力

7.3.1 将压力标准器与被校压力系统连接, 导压管中充满清洁、干燥的传压介质。

7.3.2 示值校准前应做 1~2 次升压预压试验, 预压实验方案中升压和降压应平稳, 避免有冲击和过压现象。其中升压、降压校准循环次数为 1 次, 选择不少于 5 个分布均匀的测量点, 通常包括零点、上限值和下限值(或依据实际需求选取); 从测量下限开始平稳地输入压力信号到各校准点, 读取并记录输出值至测量上限, 然后反方向平稳改变压力信号到各个校准点, 读取并记录输出值至测量下限, 对压力系统进行一次正、反行程一个循环的示值校准, 取检测值与相应标准值之差为各点示值误差, 示值误差按公式(5)计算, 应满足 5.4 中相应技术要求。

$$\Delta I = I - I_L \quad (5)$$

式中:

ΔI —压力系统示值误差, kPa;

I —压力测量系统正、反行程示值, kPa;

I_L —压力标准器标准值, kPa。

7.3.3 回程误差取同一校准点正、反行程最大示值之差的绝对值, 作为压力系统的回程误差, 校准结果应满足 5.4 中相应技术要求。

7.4 位移

在位移传感器量程范围内选择 5 个分布均匀的测量点, 测量 3 次, 取平均值与相应标准值之差为各点示值误差, 示值误差按公式(6)计算。

$$\Delta = L_i - L_s \quad (6)$$

式中:

Δ —位移传感器示值误差, mm;

L_i —位移传感器示值，mm；

L_s —标准值，mm。

8 校准结果表达

经校准的机车车辆制动夹钳单元试验台出具校准证书，测量结果不确定度评定示例见附录 A，校准证书内页格式及校准原始记录见附录 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（如果不在实验室内进行校准）；

d)证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页的标识；

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的应用有关时，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。

9 复校时间间隔

复校时间可根据实际使用情况由用户确定，建议复校间隔最长不超过 1 年。

附录 A

机车车辆制动夹钳单元试验台测量结果不确定度评定示例

一、机车车辆制动夹钳单元试验台力值测量结果不确定度评定示例

1 测量方法和过程

在规定环境温度（20±5）℃下，采用标准测力仪对机车车辆制动夹钳单元试验台进行力值测量。将试验台测力系统与标准测力仪沿受力轴线方向串接，以标准测力仪的力值为准，按力的递增方向测量机车车辆制动夹钳单元试验台的各点示值；该过程连续进行3次，以3次示值的算术平均值作为机车车辆制动夹钳单元试验台测力系统示值的校准结果。

2 评定模型

机车车辆制动夹钳单元试验台测量结果由数据采集终端直接读取，其评定模型为：

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^n F_i \quad (\text{A1})$$

式中：

\bar{F} —机车车辆制动夹钳单元试验台载荷测量 n 次结果的平均值；

F_i —机车车辆制动夹钳单元试验台单次载荷测量结果；

n —测量次数。

3 标准不确定度分量的来源和评定

3.1 标准不确定度分量的来源

标准不确定度分量的来源见表A1所示。

3.2 机车车辆制动夹钳单元试验台引入的标准不确定度 $u(\bar{F})$

$$u^2(\bar{F}) = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2$$
$$u(\bar{F}) = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{1.64\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{r}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{Z_r}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{I_p}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{H}{\sqrt{6}}\right)^2} \quad (\text{A2})$$

式中：

ΔR —机车车辆制动夹钳单元试验台载荷测量示值重复性；

r —测力系统载荷示值分辨力；

Z_r —载荷回零差；

S_b —载荷稳定性；

I_p —内插误差影响；

H —滞后。

备注：此处的测量示值重复性和数据采集装置示值分辨力，二者取其大。

表 A1 标准不确定度分量一览表

项目	不确定度来源	符号	半宽度	分类	分布	分布因子 k_i	标准不确定度	标准不确定度符号
机车车辆制动夹钳单元试验台载荷示值 $u(\bar{F})$	示值重复性	ΔR	$\frac{\Delta R}{1.64}$	A	正态	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta R}{1.64\sqrt{3}}$	u_1
	分辨力	r	$\frac{r}{2}$	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{r}{2\sqrt{3}}$	u_2
	回零差	Z_r	$\frac{Z_r}{2}$	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{Z_r}{2\sqrt{3}}$	u_3
	力值稳定性	S_b	$\frac{S_b}{2}$	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{S_b}{2\sqrt{3}}$	u_4
	内插误差影响	I_p	I_p	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{I_p}{\sqrt{3}}$	u_5
	滞后	H	H	B	均匀	$\sqrt{6}$	$\frac{H}{\sqrt{6}}$	u_6
标准测力仪 $u(F)$	示值误差	δ_b	δ_b	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\delta_b}{\sqrt{3}}$	u_7

3.3 力标准装置引入的标准不确定度 u_7

试验台测力系统采用 0.3 级标准测力仪检测。标准测力仪示值误差引入的标准不确定度分量如下：

$$u_7=u(F)=\frac{\delta_b}{\sqrt{3}} \quad (\text{A3})$$

4 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{1.64\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{r}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{Z_r}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{I_p}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{H}{\sqrt{6}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_b}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (\text{A4})$$

5 扩展不确定度

$$U=ku_c \quad (k=2) \quad (\text{A5})$$

二、机车车辆制动夹钳单元试验台扭矩测量结果不确定度评定示例

1 测量方法

在规定环境温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下,采用标准扭矩仪对机车车辆制动夹钳单元试验台进行扭矩值测量。试验台扭矩系统与标准扭矩仪沿轴线方向串接,以标准扭矩仪的扭矩值为准,按扭矩的递增方向测量机车车辆制动夹钳单元试验台的各点进程示值。该过程连续进行3次,以3次示值的算术平均值作为机车车辆制动夹钳单元试验台扭矩系统的校准结果。

2 测量模型

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^n T_i \quad (\text{A6})$$

式中:

\bar{T} —机车车辆制动夹钳单元试验台扭矩测量 n 次结果的平均值;

T_i —机车车辆制动夹钳单元试验台单次扭矩测量结果;

n —测量次数。

3 标准不确定度分量的来源和评定

3.1 标准不确定度分量的来源

标准不确定度分量的来源见表A2所示。

3.2 机车车辆制动夹钳单元试验台引入的标准不确定度 $u(\bar{T})$

$$u^2(\bar{T}) = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 \quad (\text{A7})$$

$$u(\bar{T}) = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{1.64\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{r}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{Z_r}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{I_p}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{H}{\sqrt{6}}\right)^2} \quad (\text{A8})$$

式中：

ΔR —机车车辆制动夹钳单元试验台扭矩测量示值重复性；

r —示值分辨力；

Z_r —回零差；

S_b —稳定性；

I_p —内插误差影响；

H —滞后。

备注：此处的测量示值重复性和扭矩采集装置示值分辨力，二者取其大。

表 A2 标准不确定度分量一览表

项目	不确定度来源	符号	半宽度	分类	分布	分布因子 k_i	标准不确定度	标准不确定度符号
机车车辆制动夹钳单元试验台扭矩示值 $u(\bar{T})$	示值重复性	ΔR	$\frac{\Delta R}{1.64}$	A	正态	$\sqrt{3}$	$\frac{\Delta R}{1.64\sqrt{3}}$	u_1
	分辨力	r	$\frac{r}{2}$	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{r}{2\sqrt{3}}$	u_2
	回零差	Z_r	$\frac{Z_r}{2}$	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{Z_r}{2\sqrt{3}}$	u_3
	示值稳定性	S_b	$\frac{S_b}{2}$	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{S_b}{2\sqrt{3}}$	u_4
	内插误差影响	I_p	I_p	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{I_p}{\sqrt{3}}$	u_5
	滞后	H	H	B	均匀	$\sqrt{6}$	$\frac{H}{\sqrt{6}}$	u_6
标准器引入的 $u(T)$	示值误差	δ_b	δ_b	B	均匀	$\sqrt{3}$	$\frac{\delta_b}{\sqrt{3}}$	u_7

3.3 标准器引入的标准不确定度 u_7

机车车辆制动夹钳单元试验台扭矩系统扭矩值测量采用标准扭矩仪或扭矩杠杆测量。扭矩标准器示值误差引入的标准不确定度分量如下：

$$u_7 = u(T) = \frac{\delta_b}{\sqrt{3}} \quad (\text{A9})$$

4 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{1.64\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{r}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{Z_r}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{I_p}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{H}{\sqrt{6}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_b}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (\text{A10})$$

5 扩展不确定度

$$U = k u_c \quad (k=2) \quad (\text{A11})$$

三、机车车辆制动夹钳单元试验台压力测量结果不确定度评定示例

1 测量方法

在环境温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，环境相对湿度 $(35 \sim 75)\%$ 环境条件下，采用空气作为压力传递介质，试验前传递标准在实验室的环境中至少恒温静置 2 小时，并预热 30min 以上。装置连接时，确保压力检测系统受压面位置与标准器工作位置处于同一水平面，示值测量前做 2 次升压试验，测量过程中升压或降压应平稳，避免有冲击和过压现象，待压力值稳定后读数。进行 5 次升压、降压循环，每次循环前均需在通大气的条件下进行调零，按测量点 100kPa、200kPa、300kPa、400kPa 进行升压、降压试验，记录 5 次测量结果，并分别计算升压过程的平均值和降压过程的平均值，作为测量结果。

2 测量模型

$$\Delta p = \bar{p} - p_s \quad (\text{A12})$$

式中：

Δp —机车车辆制动夹钳单元试验台压力测量系统示值误差，kPa；

\bar{p} —压力测量系统测量结果，kPa；

p_s —标准器示值，kPa。

3 测量不确定度来源

3.1 压力测量系统的示值 \bar{p} 引入的标准不确定度 $u(\bar{p})$

(1) 压力测量系统的重复性引入的不确定度 $u(\bar{p}_1)$

在名义值 300kPa 升压进行 5 次测量，测量结果见表 A3：

表 A3 压力测量系统升压及降压检测结果

次数	1	2	3	4	5
升压	300.1	299.9	299.9	299.9	300.0
降压	300.1	300.0	300.0	300.1	300.1

采用贝塞尔公式计算单次测量标准偏差为：

$$s(p) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} \quad (\text{A13})$$

测量结果重复性（平均值的标准偏差）引入的不确定度为：

$$u(\bar{p}_1) = s(\bar{p}) = \frac{s(p)}{\sqrt{n}} \quad (\text{A14})$$

在 300kPa 测量点， $u(\bar{p}_1) = 0.027\text{kPa}$

(2) 压力测量系统的示值分辨力引入的不确定度 $u(\bar{p}_2)$

压力测量系统的示值分辨力为 0.1kPa，按均匀分布计算，取 $k = \sqrt{3}$ ，其引入的不确定度为：

$$u(p_2) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.028\text{kPa}$$

(3) 压力测量系统标准不确定度 $u(\bar{p})$ 的确定

在名义值 300kPa 正行程， $u(\bar{p}_1) < u(\bar{p}_2)$ ，所以 $u(\bar{p}) = u(\bar{p}_2)$ ；

对公式求偏导，得 $u(\bar{p})$ 的灵敏度系数： $c(\bar{p}) = 1$

3.2 标准器的压力值 p_s 引入的标准不确定度 $u(p_s)$

标准器为 0.02 级活塞式压力计，其测量范围为（0.1~6）MPa；在 300kPa 的最大允许误差为： $\Delta=\pm 0.02\% \times 300\text{kPa}=\pm 0.06\text{kPa}$ ，则 $a=0.06\text{kPa}$ ，按均匀分布计算 $k=\sqrt{3}$ ，其引入的不确定度为：

$$u(p_s)=\frac{a}{k}=0.034\text{kPa}$$

对公式求偏导，得 $u(p_s)$ 的灵敏度系数： $c(p_s)=-1$

4 合成标准不确定度评定

因输入量 \bar{p} 和 p_s 彼此独立，互不相关根据不确定度传播定律其合成标准不确定度为：

$$u(\delta)=\sqrt{\left|c(\bar{p})\times u(\bar{p})\right|^2+\left|c(p_s)\times u(p_s)\right|^2} \quad (\text{A15})$$

5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，其扩展不确定度为：

$$U=k\times u_c(\Delta p) \quad (\text{A16})$$

在 300kPa 测量点， $U=0.1\text{kPa}$ ， $k=2$

四、机车车辆制动夹钳单元试验台位移测量结果不确定度评定示例

1 测量方法

在环境温度（ 22 ± 3 ）℃，采用 3 等量块（ $U=0.10\mu\text{m}+1\times 10^{-6}l_n$ ）作为标准台阶高度，用位移传感器测量量块的台阶高度，测得值与量块实际值之差作为测量结果。

2 测量模型

$$\Delta=L_i-L_s \quad (\text{A17})$$

式中：

Δ —位移传感器示值误差，mm；

L_i —位移传感器示值，mm；

L_s —量块实际值，mm。

式（A6）中， L_i 、 L_s 之间互为独立，其灵敏系数与方差分别为：

$$u_c(\Delta)=\sqrt{\left[\frac{\partial \Delta}{\partial L_i}\right]^2 u^2(L_i)+\left[\frac{\partial \Delta}{\partial L_s}\right]^2 u^2(L_s)} \quad (\text{A18})$$

由于 $C_2 = C(L_i) = \frac{\partial \Delta}{\partial L_i} = 1$, $C_2 = C(L_s) = \frac{\partial \Delta}{\partial L_s} = -1$, 所以

$$u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(L_i) + u^2(L_s)} \quad (\text{A19})$$

3 标准不确定度分量的来源与评定

3.1 位移传感器引入的标准不确定度 $u(L_i)$

位移传感器引入的标准不确定度包括位移传感器测量的重复性和示值分辨力, 如式 (A9) 所示

$$u^2(L_i) = \left(\frac{\Delta R}{1.64\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{r}{2\sqrt{3}} \right)^2 \quad (\text{A20})$$

3.2 标准器引入的标准不确定度 $u(L_s)$

(1) 3 等标准量块中心长度扩展不确定度 $u_1(L_s)$ 为 $(0.10 \mu\text{m} + 1 \times 10^{-6} L_s)$ 。置信概率 $P=0.99$, 覆盖因子 $k=2.63$ 。

(2) 量块线膨胀系数 $\alpha=(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。假定其在 $\alpha=(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内均匀分布, 且被测量块温度 t 与标准温度 22°C 的偏差不超过 3°C , 则:

$$u_2(L_s) = L_s(t - 20) \times \alpha / \sqrt{3}$$

标准器引入的标准不确定度为:

$$u(L_s)^2 = u_1^2(L_s) + u_2^2(L_s) \quad (\text{A21})$$

4 合成标准不确定度的计算

由于 L_i 、 L_s 之间彼此独立不相关, 因此合成标准不确定度为:

$$u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(L_i) + u^2(L_s)} \quad (\text{A22})$$

5 扩展不确定度的确定

$$U = k u_c \quad (k=2) \quad (\text{A23})$$

附录 B

校准证书内页格式及校准原始记录

校 准 结 果

力值					扭矩			
	校准点 ()	实测示值 ()	示值相 对误差 ()	扩展不 确定度 $U(k=2)$	校准点 ()	实测示 值()	示值相 对误差 (%)	扩展不 确定度 $U(k=2)$
量程								
压力								
量程	标准器 示值()	实测正行 程示值()	实测反 行程示 值()	示值误 差(%)	回程误差(%)		扩展不确定度 $U(k=2)$	
位移 1					位移 2			
范围	校准点 ()	标准显示 值()	示值相 对误差 (%)	扩展不 确定度 U ($k=2$)	校准点 ()	标准显 示值()	示值相 对误差 (%)	扩展不 确定度 U ($k=2$)
计时误差:								

校准原始记录(供参考)

委托单位_____单位地址_____
 联 系 人_____联系电话_____
 仪器型号_____制 造 厂_____
 出厂编号_____设备编号_____
 环境温度_____环境湿度_____
 技术依据_____校准日期_____

校准项目		力值校准					校准结果		
传感器 量程	校准方 向	校准点 (N)	示值(N)			平均值 (N)	示值相 对误差 (%)	示值重 复性(%)	不确定度 $U_{rel}(k=2)$
			①	②	③				

校准项目		扭矩校准					校准结果		
传感器 量程	校准方 向	校准点 (Nm)	示值(Nm)			平均值 (Nm)	示值相 对误差 (%)	示值重 复性(%)	不确定度 $U_{rel}(k=2)$
			①	②	③				

校准项目		制动缸压力校准			校准结果		
量程	标准器 示值 (kPa)	实测正行程 示值(kPa)	实测反行程示值 (kPa)	示值误 差 (%FS)	回程误 差(%FS)	不确定度 $U(k=2)$	

校准项目		停放缸压力校准			校准结果		
量程	标准器 示值	实测正行程 示值(kPa)	实测反行程示值 (kPa)	示值误 差	回程误 差(%FS)	不确定度 $U(k=2)$	

		(kPa)					(%FS)		
校准项目		总风缸压力校准					校准结果		
量程		标准器示值(kPa)	实测正行程示值(kPa)		实测反行程示值(kPa)		示值误差(%FS)	回程误差(%FS)	不确定度U(k=2)
校准项目		位移上左校准					校准结果		
传感器量程	校准方向	校准点(mm)	示值(mm)			平均值(mm)	示值相对误差(%)	示值重复性(%)	不确定度U(k=2)
			①	②	③				
校准项目		位移上右校准					校准结果		
传感器量程	校准方向	校准点(mm)	示值(mm)			平均值(mm)	示值相对误差(%)	示值重复性(%)	不确定度U(k=2)
			①	②	③				
校准项目		位移下左校准					校准结果		
传感器量程	校准方向	校准点(N)	示值(mm)			平均值(mm)	示值相对误差	示值重复性(%)	不确定度U(k=2)
			①	②	③				

							(%)		
校准项目		位移下右校准					校准结果		
传感器 量程	校准方 向	校准点 (mm)	示值(mm)			平均值 (mm)	示值相 对误差 (%)	示值重 复性(%)	不确定度 $U_{rel}(k=2)$
			①	②	③				

校准员_____校验员_____
