



天津市地方计量技术规范

JJF(津) 104—2023

动态机械载荷试验机校准规范

Calibration Specification of Dynamic Mechanical Load Testing Machine

2023—08—30 发布

2023—11—30 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

动态机械载荷试验机 校准规范

Calibration Specification of Dynamic
Mechanical Load Testing Machine

JJF(津) 104—2023

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院电
子仪表实验所

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所负责解释

本规范主要起草人：

任 晟 （天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所）

翟家强 （天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所）

冯 宇 （天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所）

参加起草人：

柳云秀 （天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所）

楚 铭 （天津市计量监督检测科学研究院电子仪表实验所）

目 录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 力传感器均匀度.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 外观及功能.....	(2)
5.2 技术要求.....	(2)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 测量标准及其它设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(4)
7.1 测力系统.....	(4)
7.2 直流电源.....	(5)
7.3 温度示值误差.....	(6)
7.4 吸盘直径.....	(6)
7.5 测距传感器长度示值误差.....	(6)
8 校准结果的表达.....	(7)
9 复校时间间隔.....	(8)
附录 A 动态机械载荷试验机校准原始记录参考格式.....	(9)
附录 B 动态机械载荷试验机校准证书内页格式.....	(12)
附录 C 主要项目测量不确定度评定示例.....	(15)

引 言

本规范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》和 JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》进行编制。在编制过程中参考了 JJG139-2004《拉力、压力和万能试验机检定规程》、JJG(浙)76-2004《数字温度计检定规程》、GB/T 9535-1998《地面用晶体硅光伏组件-设计鉴定和定型》、IEC 61215-2《地面用光伏组件-设计鉴定和定型-第 2 部分：测试程序》(Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures)、IEC TS 62782: 2016《光伏组件动态机械载荷试验》(Photovoltaic (PV) modules - Cyclic (dynamic) mechanical load testing)。

本规范为首次发布。

动态机械载荷试验机校准规范

1 范围

本规范适用于光伏组件试验用活塞式动态机械载荷试验机的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

JJF 1597-2016 直流稳定电源校准规范

IEC 61215-2 地面用光伏组件-设计鉴定和定型-第 2 部分： 测试程序

IEC TS 62782:2016 光伏组件动态机械载荷试验

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用本规范；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 术语和计量单位

3.1 力传感器均匀度 uniformity of force sensor

在工作范围内的所有力传感器，在同一力值测量点力传感器的最大值 F_{\max} 和最小值 F_{\min} 之间的相对偏差。力传感器均匀度 = $(F_{\max} - F_{\min}) / (F_{\max} + F_{\min}) \times 100\%$ 。

4 概述

动态机械载荷试验机（以下简称为试验机）的结构组成如图 1 所示，主要由控制测量系统、气缸、力传感器、真空吸盘、光伏组件安装支架以及空气压缩机、直流稳定电源、用于监测温度的器件等组成。试验机是确定地面用光伏支撑组件经受风、雪或覆冰等动态载荷能力的通用检测平台，用于对光伏支撑组件在交替载荷下进行持续应力试验。

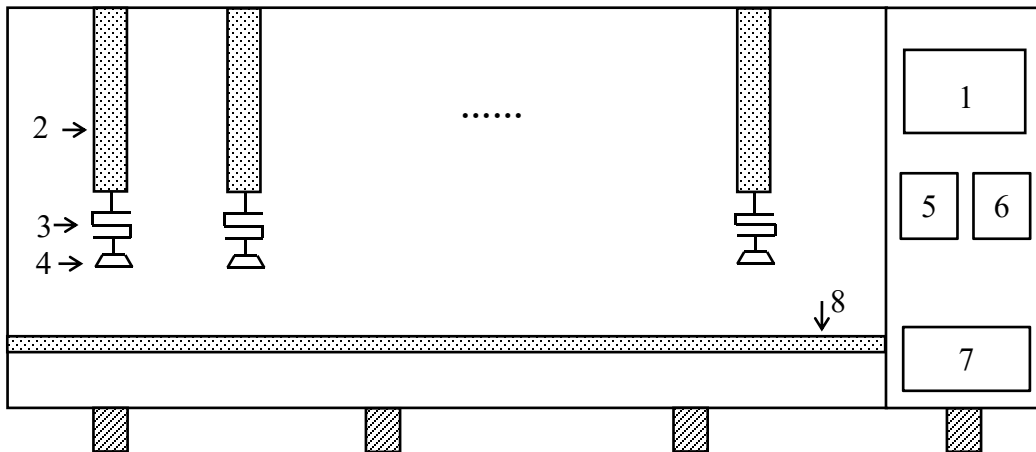


图 1 试验机结构示意图

1-控制测量系统；2-气缸；3-力传感器；4-真空吸盘；
5-直流稳定电源；6-测温器件；7-空气压缩机；8-光伏组件安装支架

5 计量特性

5.1 外观及功能

5.1.1 试验机应有铭牌，铭牌上应有：名称、型号、规格、制造厂名、出厂编号及日期。

5.1.2 所用力传感器和电源应标明量程。

5.1.3 试验机应安装在稳固的基础上，周围应留有足够的试验空间，工作环境应洁净，周围无振动、无腐蚀性介质和无较强电磁干扰。

5.1.4 试验机电气控制和空气压缩机应安全、可靠。

5.1.5 力传感器的安装应保持与气缸平行，每个力传感器应具备单独控制能力，可以进行一个或多个同时测量。

5.1.6 测力系统应具有调零的功能，在试验力加卸过程中力值指示应平稳，不应有冲击、停滞和异常跳变。

5.2 技术要求

表 1 技术要求

序号	技术参数名称	示值最大允许误差
1	力值示值相对误差	±5%
2	直流电源	电压：±5%；电流：±5%

表 1 技术要求 (续)

3	温度示值误差	$\pm 2.0^{\circ}\text{C}$
4	吸盘直径	$\pm 0.1\text{mm}$
5	测距传感器长度示值误差	$\pm 0.1\text{mm}$

注：以上指标要求仅供方法适用性参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

试验机的环境条件应满足以下条件：

——环境条件： $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，校准过程温度变化不大于 2°C ，相对湿度不大于 75%；

——周围无影响试验机正常工作的机械振动、无腐蚀性介质和无较强电磁干扰。

6.2 测量标准及其它设备

表 2 校准用标准器主要技术指标

序号	标准器具	技术指标	校准项目	备注
1	标准测力仪	优于 0.5 级	力值示值相对误差	根据力传感器的规格选取相应量程的标准测力仪
2	力值砝码	优于 M_3 等级	力值示值相对误差	根据力传感器的规格选取相应量程的力值砝码
3	数字多用表	分辨力一般不低于被校直流稳定电源稳压输出和稳流输出负载效应及源电压效应中最小值的 1/10	直流电源	其测量范围需满足用户需要
4	标准数字温度计	测量范围： $(-40\sim 100)^{\circ}\text{C}$ 分辨力： 0.01°C 最大允许误差： $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$	温度示值误差	---
5	标准水银温度计或二等及以上标准铂电阻温度计	测量范围： $(-40\sim 100)^{\circ}\text{C}$	温度示值误差	---
6	干体式温度校准器	测量范围： $(-40\sim 100)^{\circ}\text{C}$ 孔间温差： $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 温度波动度： $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$	温度示值误差	---
7	卡尺	测量范围： $(0\sim 200)\text{mm}$ 分辨力： 0.01mm	吸盘直径	---
8	量块	测量范围： $(0\sim 100)\text{mm}$ 4 等	测距传感器长度示值误差	---

7 校准项目和校准方法

7.1 测力系统

7.1.1 试验前准备

在校准开始前标准测力仪和力值砝码应放置足够的时间使其达到稳定的温度。

7.1.2 测量点的选择

每个传感器选取最大试验力的 20%、50%、100% 作为校准点，或者可以根据设备运行状况和客户校准需求选择校准点，以递增力进行测量。每个传感器校准点共测量 3 次。

7.1.3 预负荷

依次对试验机各个传感器进行力值校准，校准前应至少施加一次最大试验力作为预负荷。

7.1.4 压力方向

安装标准测力仪，使标准测力仪和试验机传感器的受力轴线保持一致。

调整试验机和标准测力仪零点，操作试验机缓慢施加压向力，待标准测力仪依次达到选取目标值时，分别读取试验量力值示值。

7.1.5 拉力方向

安装标准测力仪，使其和试验机传感器的受力轴线保持一致，或沿铅锤线在试验机传感器下方悬置力值砝码。

采用标准测力仪测量时，调整试验机和标准测力仪零点，操作试验机缓慢施加拉向力，待标准测力仪依次达到选取的目标值时，分别读取试验量力值示值。

采用力值砝码测量时，依次施加力值砝码，待达到选取的目标值时，分别读取试验量力值示值。

7.1.6 力值示值相对误差

按式 (1) 计算力值示值相对误差：

$$q_i = \frac{F_i - F_s}{F_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

q_i ——第 i 个被校试验机传感器力值示值相对误差；

\bar{F}_i ——第*i*个被校试验机传感器力值示值3次测量的平均值，N；

F_s ——测力仪标准值或力值砝码标称值，N。

7.1.7 测力均匀度

选取最大试验力的20%为测量点（或按客户需求确定），按式（2）分别计算拉向和压向均匀度，选取最大值作为测量结果。

$$\delta = \frac{F_{max} - F_{min}}{F_{max} + F_{min}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

F_{max} ——全部传感器中试验机传感器拉向（压向）的最大指示力，N；

F_{min} ——全部传感器中试验机传感器拉向（压向）的最小指示力，N。

7.2 直流电源

7.2.1 直流电压示值误差

在直流电源电压量程均匀选取3至5个校准点，包括量程的10%、50%、100%点或可根据客户需要选择校准点。按JJF1597-2016《直流稳定电源校准规范》中7.2.2.2的规定，测试方法为空载直流标准电压表法。正确设置数字多用表的电压量程，与被测的电压值相适应。调节被校直流电源，输出直流电压信号，记录数字多用表的测量值。

直流电压测量值相对示值误差按公式（3）计算

$$\Delta V = \frac{V - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

ΔV ——直流电压示值相对误差；

V ——被校直流电源直流电压设定值，V；

V_s ——数字多用表测量值，V。

7.2.2 直流电流示值误差

在直流电源电流量程均匀选取3至5个校准点，包括量程的10%、50%、100%点或可根据客户需要选择校准点。按JJF1597-2016《直流稳定电源校准规范》中7.2.3.2的规定，采用直流标准电流表法，正确设置数字多用表的电流量程，与被测的电流值相适应。调节被校直流电源，输出直流电流信号，记录数字多用表的测量值。

直流电流测量值相对示值误差按公式（4）计算

$$\Delta I = \frac{I - I_s}{I_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

ΔI ——直流电流示值相对误差；

I ——被校直流电源直流电流设定值，A；

I_s ——数字多用表测量值，A。

7.3 温度示值误差

将被校温度传感器和标准温度计插入干体式温度校准器中，确保插入深度在同一平面上。温度点选取 20℃、50℃、80℃或可根据客户需要进行选取。设定干体式温度校准器至需要的温度点，启动校准程序，待温度稳定后读取标准温度计示值和被校温度传感器的指示值。

温度示值误差的计算按公式（5）计算

$$\Delta t = t - t_s \quad (5)$$

式中：

Δt ——温度示值误差，℃；

t ——温度传感器的显示值，℃；

t_s ——标准温度计的显示值，℃。

7.4 吸盘直径

校准时应在试验机横梁上铺设钢板或者组件，使气缸下降，真空吸盘吸附在底部钢板或者组件上。用卡尺在沿圆周大致均匀分布的三个位置进行吸盘外径测量，测量时应保证吸盘没有产生肉眼可见的较大形变。取三次测量的平均值作为吸盘直径测量结果。用相同方法测量所有吸盘直径。

7.5 测距传感器长度示值误差

所用量块在校准室中恒温 1 小时。

在试验机测距传感器下方横梁上铺设钢板或者组件，根据测距传感器安装位置，在钢板或者组件正面或者背面放置一个量块作为基础测量平面，调整测距传感器读数为零，如无调零功能，记录此时测距传感器示值作为零位示值。将测量用量块与基础测量平面量块研合后放置在原测量位置，记录此时测距传感器示值。在传感器测量范围内平均选

取 5 个不同尺寸的测量量块进行测量。按公式 (6) 计算长度示值误差。

$$\delta_i = L_i - L_0 - L'_i \quad (6)$$

式中：

δ_i ——第 i 个校准点的示值误差，mm；

L_i ——第 i 个校准点的读数，mm；

L_0 ——0 或无调零功能的初始数值，mm；

L'_i ——第 i 个校准点所用量块标称值，mm。

8 校准结果的表达

校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书的唯一性标识，每页及总页数的标识；
- e) 客户的地址和名称；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 校准的日期，若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) 若与校准结果的有效性应用相关时，应对被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) 本次校准所有测量标准的溯源性及有效性的说明；
- 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。

校准原始记录格式见附录 A，格式上可依据实际情况做合理改动。校准证书内页格式见附录 B。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。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

动态机械载荷试验机校准原始记录参考格式

第 页 共 页

原始记录编码:								
委托单位:								
委托单位地址:								
环境温度: ℃				环境湿度: %RH				
仪器名称 :				型号规格:				
出厂编号:				校准日期:				
制造厂:				设备状况:				
校准地点:								
校准依据:								
主要 校准 设备	标准器 名称	编号	准确度等级/最 大允许误差/不 确定度	证书编号	证书有 有效期至	溯源机构		
校准员				核验员				
1. 测力系统								
位置	方向	校准点 (N)	试验机力值 示值1 (N)	试验机力值 示值2 (N)	试验机力值 示值3 (N)	试验机力值 示值平均值 (N)	示值相 对误差	测量不确定度 $U_{rel} (k=2)$
1	拉向							
	压向							
2	拉向							
	压向							
⋮								

2. 测力均匀度:

F_{\max} (N)	F_{\min} (N)	力值均匀度	测量不确定度 $U_{\text{rel}}(k=2)$

3. 直流电压示值误差

电压设定值 (V)	测量值 (V)	示值相对误差	测量不确定度 $U_{\text{rel}}(k=2)$

4. 直流电流示值误差

电流设定值 (A)	测量值 (A)	示值相对误差	测量不确定度 $U_{\text{rel}}(k=2)$

5. 温度示值误差

°C

校准点	标准器显示值	仪器显示值	示值误差	测量不确定度 $U(k=2)$

6. 吸盘直径 mm

位置	测量值 1	测量值 2	测量值 3	平均值	测量不确定度 $U(k=2)$
1					
2					
⋮					

7. 测距传感器长度示值误差 mm

位置	标称值	测量值	示值误差	测量不确定度 $U(k=2)$
1				
⋮				

附录 B

动态机械载荷试验机校准证书内页格式

B.1

证书编号：XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明					
校准所依据的技术文件（代号、名称）：					
校准所使用的主要计量器具：					
名称	编号	准确度等级/最大允许误差/不确定度	证书编号	证书有效期至	溯源机构
校准地点及其环境条件：					
地点：					
温度：		相对湿度：		其他：	

第 × 页 共 × 页

B.2 校准证书校准结果页格式

证书编号: XXXXXX-XXXX

校准结果

1. 测力系统

位置	方向	校准点 (N)	试验机力值示值 (N)	示值相对误差	测量不确定度 $U_{rel} (k=2)$
1	拉向				
	压向				
2	拉向				
	压向				
⋮					

2. 测力均匀度:

F_{max} (N)	F_{min} (N)	力值均匀度	测量不确定度 $U_{rel} (k=2)$

3. 直流电压示值误差

电压设定值 (V)	测量值 (V)	示值相对误差	测量不确定度 $U_{rel} (k=2)$

校准结果

4. 直流电流示值误差

电流设定值 (A)	测量值 (A)	示值相对误差	测量不确定度 $U_{rel}(k=2)$

5. 温度示值误差

°C

校准点	标准器显示值	仪器显示值	示值误差	测量不确定度 $U_{rel}(k=2)$

6. 吸盘直径

mm

位置	吸盘直径	测量不确定度 $U(k=2)$
1		
⋮		

7. 测距传感器长度示值误差

mm

位置	标称值	测量值	示值误差	测量不确定度 $U(k=2)$
1				
⋮				

第 × 页 共 × 页

校准员: _____

核验员: _____

附录 C

主要项目测量不确定度评定示例

C.1 测力系统

C.1.1 被校对象

试验机测力系统校准（包括压向方向和拉向方向），校准点 100N。

C.1.2 测量标准

0.3 级标准测力仪

C.1.3 校准方法

按照本校准方法，在试验机的工作台上正确安放标准测力仪，使标准测力仪受力轴线和试验力传感器的受力轴线一致，调整试验机和标准测力仪零点，然后试验机缓慢施力，达到校准点时对试验机和标准测力仪分别读数，计算示值误差。

C.1.4 测量模型

$$F = F_s \quad (\text{C.1})$$

式中：

F ——被校试验力传感器力指示装置指示的力，N；

F_s ——测力仪标准值，N。

不确定度来源：被校对象测量重复性引入的标准不确定度，力传感器分辨力引入的标准不确定度和标准测力仪引入的标准不确定度。

由于压向方向和拉向方向不确定度来源仅标准器不同，计算方法相同，因此仅以压向为例进行不确定度评定。

C.1.5 标准不确定度分量

C.1.5.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(f_1)$

在重复性条件下对 100N 校准点进行连续测量，得到测量数据如下。

表 C.1 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3
测力示值 (N)	100.1	100.1	100.0

计算极差 $R=100.1-100.0=0.1\text{N}$

查表得极差系数 $C=1.69$;

单个测得值的实验标准差 :

$$s = \frac{R}{C} = 0.059\text{N}$$

在实际测量中, 在重复性条件下, 测量 3 次, 以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果, 可得到:

$$\text{则 } u(f_1) = 0.059/\sqrt{3} = 0.034\text{N}$$

C. 1. 5. 2 力传感器分辨力引入的标准不确定度分量 $u(f_2)$

被校力传感器的数字分辨力误差为 $\pm 0.1\text{N}$, 半宽为 0.1N , 估计为均匀分布, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 故:

$$u(f_2) = 0.1/\sqrt{3} = 0.058\text{N}$$

C. 1. 5. 3 标准测力仪引入的标准不确定度分量 $u(f_3)$

根据 JJG 144-2007《标准测力仪检定规程》的要求, 最大允许误差为 $\pm 0.3\%$, 则 100N 校准点最大允许误差为 $\pm 0.3\text{N}$, 半宽为 0.3N , 估计为均匀分布, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(f_3) = 0.3/\sqrt{3} = 0.173\text{N}$$

C. 1. 6 标准不确定度分量汇总表见表 C. 2

表 C. 2 测力系统压向方向标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 $u(f_i)$	不确定度来源	标准不确定度
$u(f_1)$	重复性	0.034N
$u(f_2)$	力传感器分辨力	0.058N
$u(f_3)$	标准测力仪	0.173N

C. 1. 7 合成标准不确定度

测力系统压向方向合成标准不确定度 u_c 计算

由于 f_1 、 f_2 与 f_3 彼此独立不相关, 所以合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u(f_1)^2 + u(f_2)^2 + u(f_3)^2} = 0.20\text{N}$$

$$u_{\text{crel}} = 0.20/100 = 0.2\%$$

C. 1. 8 扩展不确定度

对应 p 约为 95% 包含概率, 取 $k=2$, 则扩展不确定度为: $U_{rel}=0.4\%$

C.2 直流电源

由于电压和电流测量方法相同仅数字多用表档位选择引入的标准不确定度不同, 计算方法相同, 因此仅以电压为例进行不确定度评定。

C.2.1 被教对象

试验机直流标准电源, 校准点 20V。

C.2.2 测量标准

数字多用表

C.2.3 校准方法

按照本校准方法, 测试方法为空载直流标准电压表法, 设置标准设备的测量功能为直流电压测量功能, 将被校准仪器与标准仪器正确连接。正确设置数字多用表的电压量程, 与被测的电压值相适应。调节被校直流电源, 输出直流电压信号, 记录数字多用表的测量值。

C.2.4 测量模型

$$\Delta V = V - V_s \quad (\text{C.2})$$

式中:

V ——被校直流稳定电源直流电压测量值, V;

V_s ——标准数字多用表的测量值, V。

不确定度来源: 被校对象测量重复性引入的标准不确定度, 标准器分辨力引入的标准不确定度和数字多用表引入的标准不确定度。

C.2.5 标准不确定度分量

C.2.5.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(v_1)$

采用 A 类方法进行评定。在重复性条件下连续对 20V 校准点测量并计算 10 次, 得到下列测量列, 以此进行不确定度分析。

表 C.3 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电压示值 (V)	19.998	19.999	20.001	19.999	19.997	20.000	20.001	20.000	20.001	20.000

得到单次测量实验标准差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 1.35 \times 10^{-3} \text{V}$$

$$\text{则 } u(v_1) = 1.35 \times 10^{-3} \text{V}$$

C. 2. 5. 2 标准器分辨力引入的标准不确定度分量 $u(v_2)$

直流稳定电压 20V 时标准器的分辨力为 0.001V, 估计为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(v_2) = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-4} \text{V}$$

C. 2. 5. 3 数字多用表引入的标准不确定度分量 $u(v_3)$

参照 34461 数字多用表的技术指标, 测量 20V 直流电压时的扩展不确定度为 $U = 35\text{ppmReading} + 5\text{ppmRange}$, 包含概率 95%, 估计为正态分布, $k=2$ 。

$$u(v_3) = \frac{35 \times 10^{-6} \times 10\text{V} + 5 \times 10^{-6} \times 100\text{V}}{2} = 4.3 \times 10^{-4} \text{V}$$

C. 2. 6 标准不确定度分量汇总表见表 C. 4

表 C. 4 直流电源电压标准不确定度一览表

标准不确定度分量 $u(v_i)$	不确定度来源	标准不确定度值
$u(v_1)$	重复性	$1.35 \times 10^{-3} \text{V}$
$u(v_2)$	标准器分辨力	$2.9 \times 10^{-4} \text{V}$
$u(v_3)$	数字多用表	$4.3 \times 10^{-4} \text{V}$

C. 2. 7 合成标准不确定度

输入量 v_1 与 v_2 、 v_3 彼此独立不相关, 所以合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u(v_1)^2 + u(v_2)^2 + u(v_3)^2} = 1.5 \times 10^{-3} \text{V}$$

C. 2. 8 扩展不确定度的评定

对应 p 约为 95% 包含概率, 取 $k=2$, 以 20V 为例, 则扩展不确定度为:

$$U = ku_c = 2 \times 1.5 \times 10^{-3} = 3.0 \times 10^{-3} \text{V}$$

$$U_{rel} = U/20 = 1.5 \times 10^{-4} \approx 0.02\%$$

C. 3 温度示值误差

C.3.1 被校对象

试验机温度传感器校准，校准点 50℃。

C.3.2 测量标准

标准数字温度计

C.3.3 校准方法

按照本校准方法，将被校温度计的传感器和标准温度计插入温度校准器中，设定至需要的温度点。启动校准程序，待温度校准器稳定后读取标准温度计和被校温度计的指示值。

C.3.4 测量模型

$$\Delta t = t - t_s \quad (\text{C.3})$$

式中：

t ——温度传感器的显示值，℃；

t_s ——标准温度计的显示值，℃。

不确定度来源：被校对象测量重复性或分辨力引入的标准不确定度，干体式温度校准器引入的标准不确定度和标准数字温度计引入的标准不确定度。

由于被校数字温度计全量程中各个温度校准点所表现出的重复性变化都非常微小，可分析判断数字温度计的校准过程中，重复性引入的不确定度影响小于分辨力的影响，可以用分辨力引入的不确定度来代替重复性影响进行计算。

C.3.5 标准不确定度分量

C.3.5.1 数字温度计分辨力引入的标准不确定度分量 $u(t_1)$

数字温度计分辨力为 0.1℃，半宽为 0.05℃，估计为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(t_1) = 0.05/\sqrt{3} = 0.029^\circ\text{C}$$

C.3.5.2 干体式温度校准器引入的标准不确定度 $u(t_2)$

主要由干体式温度校准器温度波动性、均匀性和孔间温差组成，根据溯源证书可知：温度波动度 $U=0.04^\circ\text{C}$ ， $k=2$ ， $u_a=0.02^\circ\text{C}$

孔间温差 $U=0.04^\circ\text{C}$ ， $k=2$ ， $u_b=0.02^\circ\text{C}$

温场均匀性 $U=0.04^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ ， $u_c=0.02^{\circ}\text{C}$ ，故：

$$u(t_2) = \sqrt{u_a^2 + u_b^2 + u_c^2} = 0.035^{\circ}\text{C}$$

C.3.5.3 标准数字温度计引入的标准不确定度 $u(t_3)$

数字温度计最大允许误差为 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ ，半宽为 0.05°C ，估计为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(t_3) = 0.05/\sqrt{3} = 0.029^{\circ}\text{C}$$

C.3.6 标准不确定度分量汇总表见表 C.5

表 C.5 温度传感器标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 $u(t_i)$	不确定度来源	标准不确定度
$u(t_1)$	数字温度计分辨率	0.029°C
$u(t_2)$	干体式温度校准器	0.035°C
$u(t_3)$	标准数字温度计	0.029°C

C.3.7 合成标准不确定度

温度传感器合成标准不确定度 u_c 计算，由于 t_1 、 t_2 与 t_3 彼此独立不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u(t_1)^2 + u(t_2)^2 + u(t_3)^2} = 0.054^{\circ}\text{C}$$

C.3.8 扩展不确定度

对应 p 约为 95% 包含概率，取 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=0.054 \times 2=0.11 \approx 0.1^{\circ}\text{C}$

C.4 吸盘直径

C.4.1 被教对象

试验机吸盘直径。

C.4.2 测量标准

卡尺

C.4.3 校准方法

按照本校准方法，校准时应在动态机械载荷试验机传感器下方横梁上铺设钢板或者组件，使气缸下降，真空吸盘吸附在底部钢板或者组件上。用卡尺测量吸盘外径，在不

同位置测量三次，取三次测量的平均值作为吸盘直径测量结果。

C. 4. 4 测量模型

$$D = d \quad (\text{C. 4})$$

式中：

D ——被校试验机吸盘直径，mm；

d ——卡尺测量吸盘直径，mm。

不确定度来源：被校对象测量重复性引入的标准不确定度和卡尺示值误差引入的标准不确定度。

C. 4. 5 标准不确定度分量

C. 4. 5. 1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(d_1)$

采用 A 类方法进行评定。在重复性条件下连续对同一个吸盘测量 10 次，得到下列测量列，以此进行不确定度分析。

表 C. 6 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
长度示值 (mm)	102.42	102.38	102.45	102.35	102.44	102.41	102.43	102.39	102.34	102.45

得到单次测量实验标准差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 0.04\text{mm}$$

在实际测量中，在重复性条件下，测量 3 次，以该 3 次测量值的算术平均值作为测量结果，可得到：

$$u(d_1) = 0.04/\sqrt{3} = 0.023\text{mm}$$

C. 4. 5. 2 卡尺示值误差引入的标准不确定度 $u(d_2)$

根据 JJG 30-2012《通用卡尺检定规程》的要求，（70~200）mm 范围内最大允许误差为 $\pm 0.03\text{mm}$ ，半宽为 0.03mm ，估计为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(d_2) = 0.03/\sqrt{3} = 0.017\text{mm}。$$

C. 4. 6 标准不确定度分量汇总表见表 C. 7

表 C.7 吸盘直径标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 $u(d_i)$	不确定度来源	标准不确定度
$u(d_1)$	重复性	0.023mm
$u(d_2)$	卡尺示值误差	0.017mm

C.4.7 合成标准不确定度

吸盘直径合成标准不确定度 u_c 计算，由于 d_1 与 d_2 彼此独立不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u(d_1)^2 + u(d_2)^2} = 0.03\text{mm}$$

C.4.8 扩展不确定度

对应 p 约为 95% 包含概率，取 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=0.03 \times 2=0.06\text{mm}$

C.5 测距传感器长度示值误差

C.5.1 被教对象

试验机测距测距传感器。

C.5.2 测量标准

4 等量块

C.5.3 校准方法

按照本校准方法，在试验机测距传感器下方横梁上铺设钢板或者组件，根据测距传感器安装位置，在钢板或者组件正面或者背面放置一个量块作为基础测量平面，调整测距传感器读数为零，如无调零功能，记录此时测距传感器示值作为零位示值。将测量用量块与基础测量平面量块研合后放置在原测量位置，记录此时测距传感器示值。在传感器测量范围内平均选取 5 个不同尺寸的测量量块进行测量，与测量量块标准值计算出示值误差。

C.5.4 测量模型

$$\Delta L = L - L' - L_0 \quad (\text{C.5})$$

式中：

L ——测距传感器显示数值，mm；

L' ——量块标称值，mm；

L_0 ——0 或基础测量平面初始值，mm。

不确定度来源：被校对象测量重复性引入的标准不确定度、分辨力引入标准不确定度、量块中心长度引入的标准不确定度和测量点位置偏离量块中心引入的标准不确定度，量块与传感器温度差影响很小可以忽略不计。

C. 5. 5 标准不确定度分量

C. 5. 5. 1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(l_1)$

采用 A 类方法进行评定。在重复性条件下连续测量 10 次，得到下列测量列，以此进行不确定度分析。

表 C. 8 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
长度示值 (mm)	10.1	10.1	10.0	10.3	10.2	10.2	10.3	10.1	10.3	10.1

得到单次测量实验标准差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 0.03\text{mm}$$

$$u(l_1) = 0.03\text{mm}$$

C. 5. 5. 2 由传感器分辨力引入的不确定度 $u(l_2)$

被校传感器的数字分辨力为 0.1mm，取半宽 $a=0.05\text{mm}$ ，估计为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，故：

$$u(l_2) = 0.05\text{mm}/\sqrt{3} = 0.03\text{mm}$$

C. 5. 5. 3 量块中心长度引入的标准不确定度 $u(l_3)$

根据 4 等量块不确定度评定表可知测量长度为 10mm 的 4 等量块，其长度尺寸的不确定度为 $U_{99} = (0.2 \mu\text{m} + 2 \times 10^{-6} l_n)$ ， $k=2.8$ 。其扩展不确定度 U 为 $0.22 \mu\text{m}$ ，其置信概率为 0.99，则包含因子 $k=2.8$ ，则量块中心长度测量不确定度引入的不确定度分量 $u(l_3)$ 为：

$$u(l_3) = 0.22\mu\text{m}/2.8 = 0.08\mu\text{m}$$

C. 5. 5. 4 测量点位置偏离量块中心引入的不确定度 $u(l_4)$

量块工作面有效宽度为 7.4mm，4 等 10mm 量块的长度变动量最大为 $0.06 \mu\text{m}$ ，测量时，可使触点落在距量块中心点为 1mm 的圆内，服从矩形分布，故：

$$u(l_4) = \frac{0.06\mu\text{m} \times 1\text{mm}}{7.4\text{mm}/2} \times 0.6 = 0.01\mu\text{m}$$

C. 5. 6 标准不确定度分量汇总表见表 C. 9

表 C. 9 测距传感器标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 $u(l_i)$	不确定度来源	标准不确定度
$u(l_1)$	重复性	0.03mm
$u(l_2)$	分辨力	0.03mm
$u(l_3)$	中心长度	$0.08 \mu\text{m}$
$u(l_4)$	位置偏离	$0.01 \mu\text{m}$

C. 5. 7 合成标准不确定度

测距传感器合成标准不确定度 u_c 计算，由于 l_1 、 l_2 、 l_3 和 l_4 彼此独立不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u(l_1)^2 + u(l_2)^2 + u(l_3)^2 + u(l_4)^2} = 0.04\text{mm}$$

C. 5. 8 扩展不确定度

对应 p 约为 95% 包含概率，取 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=0.04 \times 2=0.08\text{mm} \approx 0.1\text{mm}$

