

中华人民共和国工业和信息化部 有色金属计量技术规范

JJF(有色金属) 027—2023

有色金属高速切削特性测试仪校准规范 (送审稿)

Calibration Specification for High-speed Cutting Characteristic
Testing Instruments for Non-ferrous Metals

202X-XX-XX发布

202X-XX-XX实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

有色金属高速切削特性测试仪 校准规范

Calibration Specification for
High-speed Cutting Characteristic Testing
Instruments for Non-ferrous Metals

JJF（有色金属）027—2023

归口单位：中国有色金属工业协会

主要起草单位：国标（北京）检验认证有限公司、广东豪美新材股份有限公司、北京科技大学、福建省闽发铝业股份有限公司、有色金属技术经济研究院有限责任公司、南昌理工学院、广东法思特精密五金有限公司、燕山大学、上海有色金属工业技术监测中心有限公司、国合通用测试评价认证股份公司等

本规范主要起草人：

郝雪龙（国标（北京）检验认证有限公司）
唐江达（国标（北京）检验认证有限公司）
朱世安（广东豪美新材股份有限公司）
吴俊升（北京科技大学）
朱耀辉（福建省闽发铝业股份有限公司）
李 成（国标（北京）检验认证有限公司）
闫雁楠（有色金属技术经济研究院有限责任公司）
张景桐（国合通用测试评价认证股份公司）
白书华（南昌理工学院）
田永军（广东法思特精密五金有限公司）
李大龙（燕山大学）
李小辉（上海有色金属工业技术监测中心有限公司）
尹 征（国合通用测试评价认证股份公司）

目录

引 言	(I)
1 范围	(1)
2 规范性引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(1)
4.1 卡盘转速	(1)
4.2 温度示值误差	(1)
4.3 切削力	(2)
4.4 进刀量	(2)
4.5 计量单位	(错误! 未定义书签。)
5 校准条件	(2)
5.1 校准环境条件	(2)
5.2 校准用标准器	(2)
6 校准项目和校准方法	(3)
6.1 校准项目	(3)
6.2 校准方法	(3)
6.2.1 校准前准备	(3)
6.2.2 卡盘转速	(3)
6.2.3 温度示值误差	(3)
6.2.4 切削力	(4)
6.2.5 进刀量	(5)
7 校准结果表达	(5)
8 复校周期	(6)
附录 A 校准原始记录参考格式	(6)
附录 B 校准证书内页参考格式	(9)
附录 C 切削力示值误差的测量不确定度评定示例	(11)
附录 D 卡盘转速示值误差的测量不确定度评定示例	(14)
附录 E 温度示值误差的测量不确定度评定示例	(17)

附录 F 进刀量示值误差的测量不确定度评定示例	(20)
-------------------------------	------

引 言

JJF 107-2010《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》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范的制定参考了 JJG 326《转速标准装置检定规程》、JJG 455《工作测力仪检定规程》、JJG 856《工作用辐射温度计检定规程》。

本规范为首次发布。

有色金属高速切削特性测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于转速（100~2000）rpm、温度（10~1000）℃、切削力（0-2000）N、进刀量（x轴50mm、z轴200mm）的有色金属用高速切削特性测试仪（以下简称测试仪）的校准。

2 规范性引用文件

本规范无引用文件。

3 概述

有色金属高速切削特性测试仪包括主轴变速箱、卡盘、刀架、溜板工作台、测温系统、测力系统、视频采集系统、数据处理系统、主控系统构成，用于有色金属及其制品的高速切削特性试验，结构示意图见图1。该设备具有标准三轴力传感器、温度传感器、标准陶瓷刀具，使用三轴力传感器对加工过程的切削力进行精确的测量，使用高速红外测温传感器对切削过程中工件及刀具的温度进行测试和记录。

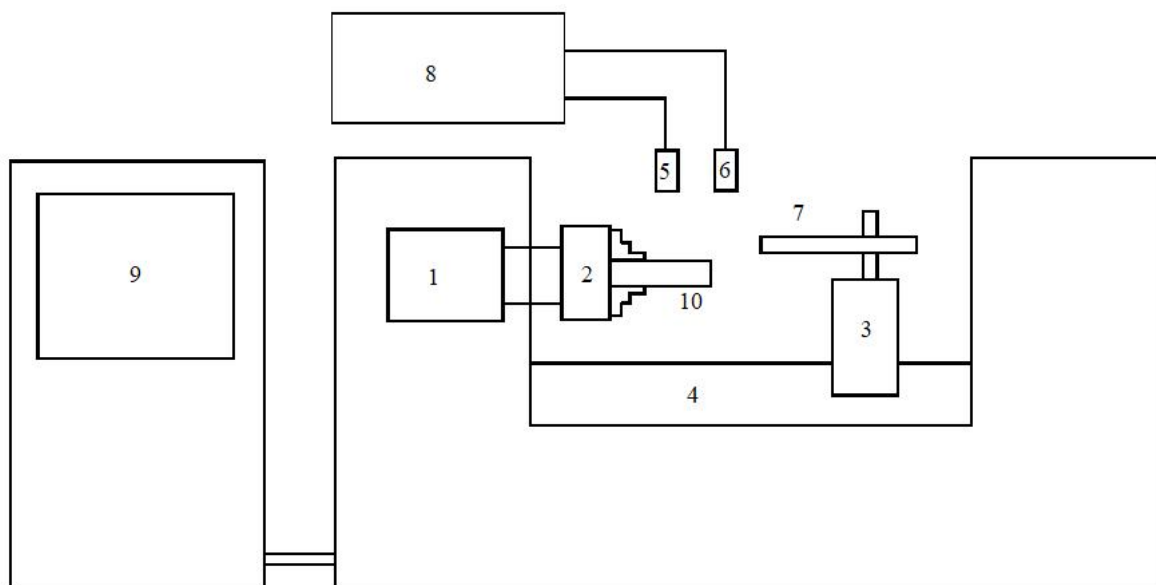


图1 有色金属高速切削特性测试仪示意图

1—主轴变速箱； 2—卡盘； 3—刀架； 4—溜板工作台； 5—测温系统； 6—视频采集系统； 7—测力系统； 8—数据处理系统； 9—主控系统； 10—样品。

4 计量特性

4.1 卡盘转速

卡盘转速的范围为（100~2000）r/min，示值误差要求为±2%。

4.2 温度

温度测量仪器的分辨力不大于 0.5°C ，温度的最大允许误差应符合表1的技术要求。

表1 温度的最大允许误差

试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	温度最大允差/ $^{\circ}\text{C}$
$t \leq 600$	± 3
$600 < t \leq 800$	± 4
$800 < t \leq 1000$	± 5

4.3 切削力

切削力的测量偏差 $\pm 2\%$ ，最大允许误差见表2。

表2 试验机试验力允许误差

试验力	最大允许误差/%	
	示值相对误差	示值重复性相对误差
切削力	± 2.0	2.0

4.4 进刀量

进刀量的最大允许误差为 $\pm 0.02\text{mm}$ 。

5 校准条件

5.1 环境条件

应在 $(23 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 70\%$ 的条件下进行校准，校准过程中温度波动不大于 3°C 。

5.2 测量标准

测量标准见表5。

表5 测量标准

设备名称	技术指标	校准项目
转速表	不低于 0.1 级	卡盘转速（非接触）
辐射温度计	100 $^{\circ}\text{C}$ 以上， $< 0.3\%$ 温度示值； 100 $^{\circ}\text{C}$ 以下， $< 0.3^{\circ}\text{C}$	温度示值误差
标准测力仪	不低于 0.3 级或 $U=0.3\%(k=2)$	切削力
数显卡尺	测量范围(0~150)，分度值 0.01mm	进刀量

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

测试仪校准项目见表6。

表6 有色金属高速切削特性测试仪校准项目表

序号	校准项目
1	卡盘转速
2	温度示值误差
3	切削力
4	进刀量

6.2 校准方法

6.2.1 校准前准备

应采用目测及手动的方法对高速切削特性测试仪进行检查，测试仪应标明产品名称、规格型号、制造厂名称、出厂编号的铭牌。测试仪应无明显的机械损伤，各功能开关、旋钮、按键应动作灵活可靠，不应有影响校准结果的故障。根据被校对象选择对应标准测力仪，且标准测力仪应在试验机上放置2小时以上的时间使其达到稳定温度。

6.2.2 卡盘转速

6.2.2.1 转速校准点的选择

在被校试验机可设定的转速最大值内选定至少3个校准点或根据试验要求进行选点，试验机宜包含100r/min、1000r/min、2000r/min，或根据客户要求选择转速。

6.2.2.2 转速示值误差

将反光片固定在卡盘上，将转速表与卡盘上的反光片相垂直，当转速达到设定值稳定5min后开始测量，每隔1min测量一次，共测量3次。转速的示值误差按公式（1）计算：

$$\delta = \frac{n_0 - \bar{n}}{\bar{n}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

δ ——转速示值误差，%；

n_0 ——转速设定值，r/min；

$\bar{n}$ ——转速表示值的平均值，r/min。

6.2.3 温度示值误差

6.2.3.1 温度校准点的选择

根据温度测控系统量程进行均匀选点, 宜包含300℃、800℃、1000℃三个温度点。也可根据客户要求选点进行选点校准。

6.2.3.2 温度示值误差校准

计量标准可采用辐射源与参考温度计的组合, 参考JJG856-2015中章节7.1.1.2的要求。对于可调焦被检温度计, 可调焦被检温度计的检定距离应在其允许的测量距离范围内选取, 一般可选1m; 对于不可调焦被检温度计, 最小目标直径对应的测量距离即为检定距离(当该测量距离为一个范围时, D与S比值最大值时所对应的测量距离即为检定距离; D为测量距离, S为视场直径)。说明书给出校准距离的, 直接采用说明书的规定值;

用挡光板在被检温度计前遮挡不少于30s后移开挡光板, 记录数据。每2min测量一次, 共测量15次。测量结果应把参考温度计的修正值进行补偿。

温度示值误差, 按公式(2)计算:

$$\delta_t = \bar{T} - T \quad (2)$$

式中:

δ_t ——温度示值误差, °C;

$\bar{T}$ ——参考温度计测量辐射源测得的相应温度算术平均值, °C;

T ——温度测控系统显示的温度, °C;

6.2.4 切削力

6.2.4.1 校准前准备

采用三轴力传感器对加工过程的切削力进行测量, 试验机在连接安装好的标准测力仪时, 将标准测力仪与被测试验机力值传感器垂直放置。应从零开始至少施加3次最大试验力, 通过试验机控制逐步进行加载, 重复测量3次。

6.2.4.2 切削力示值误差校准点的选择

切削力示值误差校准点的选择建议不少于5点, 一般按照量程的20%、40%、60%、80%、100%选择校准点, 也可按照客户需求进行取点。

6.2.4.3 示值相对误差和示值重复性相对误差

计算每个校准点3次测量的算术平均值、并计算示值相对误差和示值重复性相对误差。

以试验机的指示装置为准在标准测力仪上读数时, 示值相对误差和示值重复性相对误差按公式(3)和(4)计算:

$$q = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times 100\% \quad (3)$$

$$b = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\bar{F}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

q ——试验机测力系统的示值相对误差，%；

F_i ——被检试验机力指示装置的示值，N；

$\bar{F}$ ——标准测力仪指示的几次测量值的算术平均值，N；

b ——试验机测力系统的示值重复性相对误差，%；

$F_{\max}$ ——校准点*i*在*n*次测量中的最大值，N；

$F_{\min}$ ——校准点*i*在*n*次测量中的最小值，N。

以标准测力仪为准在试验机的指示装置上读数时，示值相对误差和示值重复性相对误差按公式（5）和公式（6）计算：

$$q = \frac{\bar{F}_i - F}{F} \times 100\% \quad (5)$$

$$b = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\bar{F}_i} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

F ——标准测力仪指示的力值，N；

$\bar{F}_i$ ——试验机力指示装置几次测量示值的算术平均值，N；

$F_{\max}$ ——校准点*i*在*n*次测量中的最大值，N；

$F_{\min}$ ——校准点*i*在*n*次测量中的最小值，N。

6.2.5 进刀量

测量刀架的移动距离即为进刀量，使用数显卡尺沿着刀架Z轴和刀架X轴重复测量三次，取测量三次平均值计算尺寸误差。进刀量的示值误差按公式（7）计算：

$$\delta = \frac{l_0 - \bar{l}}{\bar{l}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

δ ——进刀量示值误差，%；

l_0 ——进刀量设定值，mm；

$\bar{l}$ ——进刀量表示值的平均值，mm。

7 校准结果表达

经校准的试验机出具校准证书，校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
 - b) 实验室的名称和地址；
 - c) 实施校准活动的地点，包括客户设施、实验室固定设施以外的地点；
 - d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
 - e) 客户的名称和联络信息；
 - f) 被校对象的描述和明确标识；
 - g) 进行校准活动的日期，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和证书发布日期；
 - h) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
 - i) 本次校准所用的测量标准和溯源性及有效性说明；
 - j) 校准环境的描述；
 - k) 校准结果及其测量不确定度的说明（给出整个测量范围校准结果测量不确定度的最大值）；
 - l) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
 - m) 校准人和核验人签名；
 - n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
 - o) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。
- 校准原始记录参考格式见附录A，校准证书参考格式见附录B。

8 复校时间间隔

复校时间间隔的长短取决于其使用情况，使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间，建议复校时间间隔为1年。

附录 A

校准原始记录参考格式

证书编号:

接收日期:

校准日期:

发布日期:

委托单位:

校准依据:

被校设备信息					
器具名称				出厂编号	
型号/规格				设备编号	
制造厂				环境条件	℃ %RH
校准地点					
测量标准信息					
名称	型号	证书编号	编号	准确度等级/ 最大允许误差 /不确定度	有效期
校准结果					
1 卡盘转速/ r/min					
设定值	1	2	3	平均值	示值误差/%
扩展不确定度:					
2 温度/℃					
设定值	次数	实测值	温度示值误差/℃		
	1				
	2				
	3				
	...				
	15				
	1				
	2				
	3				
	...				
	15				
	1				
	2				
	3				
	...				
	15				
扩展不确定度:					

3 切削力/N						
校准点	1	2	3	平均值	示值相对误差/%	示值重复性相对误差/%
扩展不确定度：						
4 进刀量/mm						
校准点	1	2	3	平均值	示值相对误差/%	
X 轴						
Z 轴						
扩展不确定度：						

校准人：

核验人：

附录 B

校准证书内页参考格式

校准证书编号：

校准结果							
1 卡盘转速/（r/min）							
校准值	1	2	3	平均值	示值误差/ %	重复性 /%	扩展不 确定 度 U(k=2)/ (r/min)
/							
2 温度示值误差/°C							
设定值			温度示值误差/°C		扩展不确定度 U(k=2)/°C		
/							
3 切削力/N							
校准点	1	2	3	平均值	示值相对 误差/%	示值重复 性相对误 差/%	扩展不确 定度 U(k=2)/N
/							
4 进刀量/mm							
校准点		1	2	3	平均值	示值相对误差/%	扩展不确 定度 U(k=2)/mm
X 轴							
Z 轴							
/							

备注：

附录 C

切削力示值误差的测量不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 评定依据

本规范。

C.1.2 测量标准

标准测力仪：测量范围（1~2000）N，准确度等级 0.3 级。

C.1.3 被校对象

有色金属高速切削特性试验机

C.1.4 校准方法

标准测力仪应在试验机上放置足够的时间使其达到稳定温度，试验机在连同安装好的标准测力仪时，应从零开始至少施加3次最大试验力。将标准测力仪与被测试验机力值传感器垂直放置，通过试验机控制逐步进行加载。重复测量3次，计算平均值。

C.2 测量模型

C.2.1 测量模型

有色金属示值误差的测量模型见公式(C.1)

根据测量过程，其测量结果示值误差可从试验机和标准测力仪的示值差得到，因此测量模型可写为：

$$\Delta F = F_i - \bar{F} \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔF —被测试验机的示值误差，N；

F_i —被校试验机力指示装置的示值，N；

$\bar{F}$ —标准测力仪指示的几次测量值的算术平均值，N。

C.2.2 灵敏系数

该模型灵敏系数为：

$$C_1 = \frac{\partial \Delta F}{\partial F_i} = 1 \quad C_2 = \frac{\partial \Delta F}{\partial \bar{F}} = -1$$

C.3 测量不确定度的来源

试验机试验力示值误差测量结果的不确定度来源有：

- 1) 被校试验机的测量重复性引入的不确定度分量 u_1 。
- 2) 被校试验机的分辨力引入的不确定分量 u_2 。
- 3) 标准测力仪精度所引入的不确定度分量 u_3 。

C.4 测量不确定评定

C.4.1 被校试验机的测量重复性引入的不确定度分量 u_1 。

选取50N作为测量点，连续测量10次，得到测量列见表C.1。

表C.1 50N点测量列

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (N)	50.17	50.16	50.12	50.12	50.15	50.16	50.18	50.15	50.19	50.16

由表C.1计算得出：标准偏差： $S = 0.023\text{N}$ ；平均值： $\bar{F} = 50.16\text{N}$ 。

根据6.2.2得知，每次校准均对试验力进行3次测量，则

$$u_1 = \frac{S}{\sqrt{3}} = 0.013\text{N}$$

C.4.2 被校试验机的分辨力引入的不确定分量 u_2

已知试验机分辨力为0.01N，假设为均匀分布，区间半宽 $a = 0.01\text{N}/2 = 0.005\text{N}$ ，取 $k=\sqrt{3}$ 则：

$$u_2 = \frac{0.005\text{N}}{\sqrt{3}} = 0.0029\text{N}$$

考虑到 $u_2 \ll u_1$ ，所以不考虑分辨力引入的不确定分量，则

$$u_2 = 0$$

C.4.3 标准测力仪精度所引入的不确定度分量 u_3

输入量 u_3 的不确定主要由标准测力仪的精度引入，根据标准测力仪的送检证书可知，该标准测力仪校准精度为0.3级，即全量程误差范围均满足 $\pm 0.3\%$ 。采用B类不确定评定方法，假设为均匀分布，50N校准点由标准测力仪所引入的标准不确定度 u_3 为：

$$u_3 = 0.3\% \times \frac{50\text{N}}{\sqrt{3}} = 0.087\text{N}$$

C.5 合成标准不确定度

合成标准不确定度计算公式为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2} = \sqrt{0.013^2 + 0.087^2} = 0.088\text{N} \quad (\text{C.3})$$

C.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度的表达式为：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.088\text{N} = 0.176\text{N} \quad (k=2)$$

C.7 相对扩展不确定度

因在校准试验机时，判断试验机示值误差和示值重复性时，均使用相对误差对试验机性能进行确认，则：

$$U_{\text{rel}} = \frac{0.176\text{N}}{50\text{N}} \times 100\% = 0.35\% \quad (k=2) (50\text{N})$$

附录 D

卡盘转速示值误差的测量不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 评定依据

本规范。

D.1.2 测量标准

转速表：（20~30000）r/min，示值误差优于 0.1 级。

D.1.3 被测对象

有色金属高速切削特性试验机。

D.1.4 测量方法

将反光片固定在卡盘上，将非接触转速表与卡盘上的反光片相垂直，当转速达到设定值后稳定5min后开始测量，每隔1min测量一次，共测量3次。

D.2 测量模型

$$\delta = \frac{n_0 - \bar{n}}{\bar{n}} \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

式中：

δ —试验机的转速示值误差，%；

n_0 —试验机的转速设定值，r/min；

$\bar{n}$ —转速表的测量平均值，r/min

D.3 测量不确定度的来源

- 1) 被校试验机转速测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- 2) 转速表分辨力引入的标准不确定度 u_2 ；
- 3) 转速表示值误差引入的标准不确定度 u_3 。

由于所列的各项标准不确定度互不相关，故合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \quad (\text{D.2})$$

D.4 测量不确定度评定

D.4.1 被校试验机转速测量重复性引入的标准不确定度 u_1

对被校试验机转速1000r/min点进行10次独立重复测量，测量数据如表D.1所示。

表D.1 转速测量

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r/min	1001.4	1002.3	1001.5	1002.6	1001.7	1001.9	1002.0	1002.0	1002.2	1003.4

按贝塞尔公式，单次测量标准偏差为：

$$s(n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 0.6 \text{ r/min}$$

根据6.2.2.2可知，每次校准均对转速进行3次测量，则

$$u_1 = \frac{s(n)}{\sqrt{n}} = \frac{0.6}{\sqrt{3}} = 0.4 \text{ r/min}$$

D.4.2 转速表分辨力引入的标准不确定度 u_2

转速表分辨力为0.1r/min，取其半宽，按均匀分布考虑，则：

$$u_2 = \frac{a}{k} = 0.029 \text{ r/min}$$

考虑到 $u_2 < u_1$ ，所以不考虑分辨力引入的不确定分量。

D.4.3 转速表示值误差引入的标准不确定度

校准所用转速表经计量校准后，查询证书可知其示值误差 $\leq \pm 0.01\%$ ，采用B类不确定评定方法，假设为均匀分布，则

$$u_{3\text{rel}} = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.006\%$$

$$u_3 = 0.006\% \times 1000 \text{ r/min} = 0.06 \text{ r/min}$$

D.5 合成标准不确定度

D.5.1 不确定度分量汇总

汇总表见表D.2。

表D.2 试验机转速校准结果不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
u_1	被校试验机重复测量	0.4 r/min
u_3	转速表示值由上级计量机构校准	0.06 r/min

D.5.2 合成标准不确定度

试验机转速示值测量结果的各项影响因素互不相关，因此其合成标准不确定度为：

$$u = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 0.4 \text{ r/min}$$

D.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u = 0.4 \times 2 = 0.8 \text{ r/min} \quad (k=2)$$

附录E

温度示值误差的测量不确定度评定示例

E.1 概述

E.1.1 评定依据

本规范。

E.1.2 测量标准

辐射温度计：测量范围(300~1100)℃，不确定度 $U=1.1^{\circ}\text{C}$ ($k=2$)。

E.1.3 被测对象

有色金属高速切削特性试验机

E.1.4 测量方法

选择合适的检定距离，用挡光板在温度计前遮挡不少于30s后移开挡光板，记录数据。每2min测量一次，共测量15次。

E.2 测量模型

$$\Delta t = t_b - t_p \quad (\text{E.1})$$

式中：

Δt —被测仪器的示值误差，℃；

t_b —温度巡回检测仪显示的测温点的实际温度，℃；

t_p —被测仪器的设定温度，℃。

E.3 测量不确定度的来源

测量不确定度的来源如下：

- 1) 被测仪器测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- 2) 被测仪器分辨力引入的标准不确定度 u_2 ；
- 3) 温度校准装置不确定度引入的标准不确定度 u_3 。

E.4 测量不确定评定

E.4.1 被测仪器测量重复性引入的标准不确定度 u_1

取一台高速切削特性测试仪，选择300℃、800℃、1000℃测量点，在重复性条件下连续测量15次，得到测量结果如表E.1所示。

表 E.1 300℃、800℃、1000℃测量结果

序 号 \ 测 量 点	300(℃)	800(℃)	1000(℃)
1	302.9	802.6	1005
2	301.2	807.9	1009
3	300.5	806.2	1011
4	300.7	806.2	1005
5	302.1	806.8	1010
6	301.5	804.1	1010
7	301.2	803.6	1011
8	300.9	804.9	1012
9	302.2	805.2	1010
10	302.3	807.5	1004
11	300.9	805.6	1010
12	301.2	805.9	1009
13	300.5	803.2	1007
14	301.0	805.4	1010
15	302.1	804.8	1010
平均值 $\overline{t_{p1}}$	301.4	805.3	1008.9
单次实验标准差 s	0.54	1.52	2.45

实际测量情况以测量 15 次的算术平均值作为测量结果，则 $u_1 = s/\sqrt{15}$ 可得到表 E.2。

表 E.2 算术平均值

测量点(℃)	u_1 (℃)
300	0.14
800	0.39
1000	0.63

E.4.2 被测仪器分辨力引入的标准不确定度 u_2

被测仪器分辨力为 0.1℃，取其半宽，按均匀分布考虑，则：

$$u_2 = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.029^\circ\text{C}$$

考虑到 $u_2 < u_1$ ，所以不考虑分辨力引入的不确定分量。

E.4.3 温度校准装置不确定度引入的标准不确定度 u_3

温度校准装置由温度巡检仪和热电偶组成，并组合使用。经由上级校准单位校准后，查询证书可知其扩展不确定度为 $U=1.1^\circ\text{C}$ $k=2$ ，则：

$$u_3 = \frac{1.1}{k} = \frac{1.1}{2} = 0.55^\circ\text{C}$$

E.5 合成标准不确定度

E.5.1 不确定度分量汇总

不确定度分量汇总见表E.3。

表E. 3测试仪校准结果不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
u_1	被测测试仪测量重复性	0.14℃（300℃）
		0.39℃（800℃）
		0.63℃（1000℃）
u_3	温度校准装置不确定度	0.55℃

E.5.2 合成标准不确定度

测试仪示值测量结果的各项影响因素互不相关，因此其合成标准不确定度为：

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

表E. 4合成标准不确定度

测量点(℃)	$u_c(℃)$
300	0.6
800	0.7
1000	0.8

E. 6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度见表E.5。

表E. 5扩展不确定度

测量点(℃)	$U(℃)$
300	1.2
800	1.4
1000	1.6

附录 F

进刀量示值误差的测量不确定度评定示例

F.1 概述

F.1.1 评定依据

本规范。

F.1.2 测量标准

数显卡尺，测量范围（0~300），分度值 0.01mm

F.1.3 被测对象

有色金属高速切削特性试验机

F.1.4 测量方法

测量刀架的移动距离即为进刀量，使用数显卡尺沿着刀架Z轴和刀架X轴重复测量三次，取测量三次平均值计算尺寸误差。

F.2 测量模型

$$\delta = \frac{l_0 - \bar{l}}{\bar{l}} \times 100\% \quad (\text{F.1})$$

式中：

δ ——进刀量示值误差，%；

l_0 ——进刀量设定值，mm；

$\bar{l}$ ——进刀量表示值的平均值，mm。

F.3 测量不确定度的来源

- 1) 被校试验机进刀量测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- 2) 数显卡尺最大允许误差引入的标准不确定度分量 u_2 ；

由于所列的各项标准不确定度互不相关，故合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (\text{F.2})$$

F.4 测量不确定度评定

F.4.1 被校试验机进刀量测量重复性引入的标准不确定度 u_1

对被校试验机进刀量10mm点进行10次独立重复测量，测量数据如表F.1所示。

表F.1 进刀量测量

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
mm	10.10	10.20	10.09	10.30	10.23	10.35	10.06	9.98	10.25	10.20

$$\text{按贝塞尔公式: } s(n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{F.3})$$

计算得到单次测量标准偏差为: $s(n) = 0.34\text{mm}$, 根据6.2.5可知, 每次校准均对进刀量进行3次测量, 则 $u_1 = \frac{s(n)}{\sqrt{n}} = 0.19\text{mm}$

F.4.2 数显卡尺最大允许误差引入的标准不确定度分量 u_2

用测量范围(0~150)mm, 分辨力0.01mm的数显卡尺测量进刀量, 10mm测量时数显卡尺的最大允许误差为 $\pm 0.03\text{mm}$, 区间半宽为0.03mm, 假设为均匀分布, 则:

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.017\text{mm}$$

F.5 合成标准不确定度

F.5.1 不确定度分量汇总

汇总表见表F.2。

表D.2 进刀量校准结果不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
u_1	被校试验机重复测量	0.19mm
u_2	数显卡尺最大允许误差引入的不确定度	0.017mm

F.5.2 合成标准不确定度

进刀量示值测量结果的各项影响因素互不相关, 因此其合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.19\text{mm}$$

F.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度为:

$$U = k \cdot u = 0.19 \times 2 = 0.38\text{mm} \quad (k=2)$$