

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1126-XXXX

超声波测厚仪校准规范

Calibration Specification for
Ultrasonic Thickness Instruments

(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

超声波测厚仪校准规范

Calibration Specification for

Ultrasonic Thickness Instruments

JJF 1126-XXXX

归口单位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

广西壮族自治区计量检测研究院

中国计量科学研究院

中国医学科学院放射学研究所

参加起草单位：山东省计量科学研究院

山东锐智科电检测仪器有限公司

本规范委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

引 言..... II

1 范围..... 3

2 引用文件..... 3

3 概述..... 3

4 计量特性..... 4

5 校准条件..... 5

6 校准项目和校准方法..... 6

7 校准结果表达..... 7

8 复校时间间隔..... 8

附录 A 9

附录 B 10

附录 C 11

附录 D 12

附录 E 13

引 言

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》共同构成支撑本校准规范制定的基础性系列规范。与 JJF1126-2004《超声波测厚仪校准规范》相比，除编辑性修改及计量文献更新外，主要技术变化如下：

- 增加了规范性引用文件；
- 增加了分辨力为 0.001mm 和 0.05mm 的超声波测厚仪的示值误差的要求；
- 增加了测厚仪标准块和标准圆管的不确定度分析；

本规范的历次版本发布情况：

JJG403-1986

JJF1126-2004

超声波测厚仪校准规范

1 范围

本校准规范适用于测量范围为（0.5~200）mm 的超声波测厚仪，其他测量范围的超声波测厚仪可依据本校准规范进行校准。

2 引用文件

JJF 1094-2002 测量仪器特性评定

GB/T 11344—2021 无损检测 超声测厚

GB/T 12064.1—2021 无损检测 超声测厚

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

超声波测厚仪主要用于测量船体、油气管道、高压容器，锅炉等的壁厚以及大面积板材厚度，被测材质可以是以钢为代表的金属制材料，也可以是塑料、尼龙等非金属材料。其原理是仪器通过探头发射超声波在到达试件底面后反射回来被测头接收。通过计算可以精确测量超声波在材料中传播的时间，并按下式计算由显示器显示出被

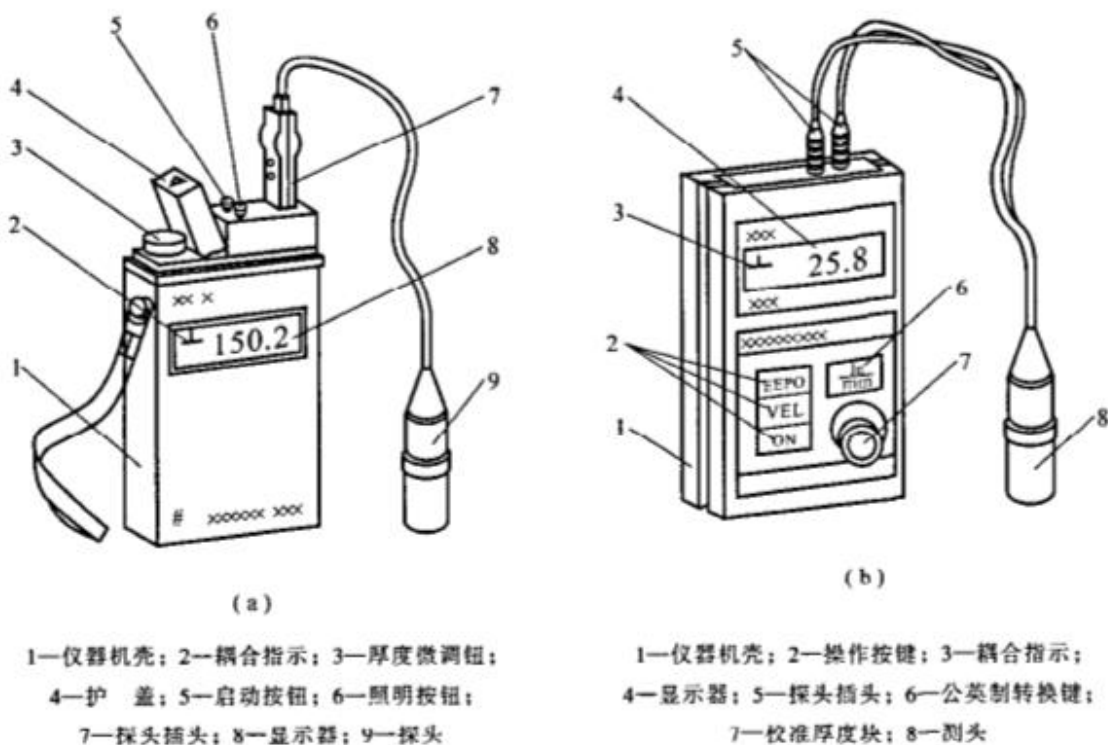
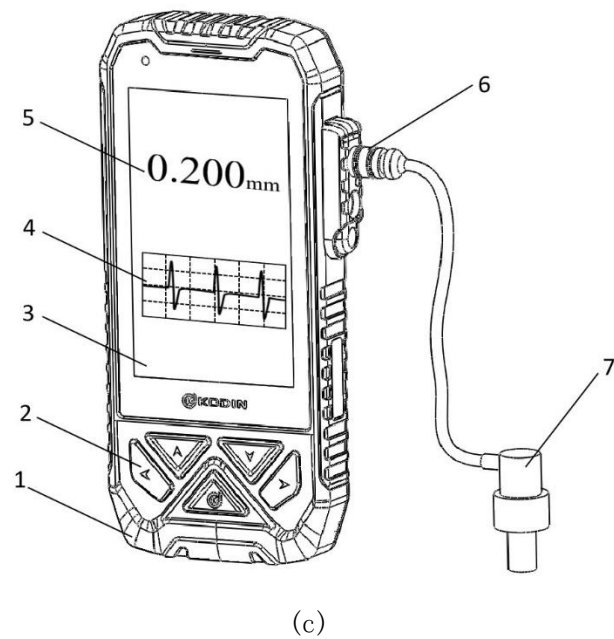


图1 仪器外形图



1—仪器机壳；2—按键指示；3—显示器；4—波形显示；
5—数值显示；6—探头插头；7—单晶探头

检厚度值。

$$H = \frac{vt}{2}$$

式中： H ——试件厚度；
 v ——声速；
 t ——超声波在试件中往返一次的传播时间。

声速范围可在1000m/s~9999m/s变化， 常见仪器外形结构见如图 1 所示。

4 计量特性

4.1 重复性

仪器分辨力规格及相对应的重复性要求见表 1.

4.2 示值误差

仪器分辨力规格及相对应的最大允许示值误差要求见表 1.

表 1 单位：mm

分辨力	重复性	最大允许示值误差	
		测量范围下限至 10mm 以下	10mm 至测量范围上限
0.001	0.003	±0.005	$\pm\left(0.01 + \frac{H}{200}\right)$
0.01	0.03	±0.05	$\pm\left(0.01 + \frac{H}{200}\right)$
0.05	0.10	±0.05	$\pm\left(0.05 + \frac{H}{200}\right)$

0.1	0.1	± 0.1	$\pm \left(0.1 + \frac{H}{100}\right)$
注：表中 H 为标准厚度块的标称值。			

4.3 曲面壁厚测量的示值误差

仪器分辨力规格及相对应的最大允许示值误差要求见表 2

表 2

单位：mm

分辨力	标准圆管的规格	最大允许示值误差
0.001	外径 $\varnothing 30$ 厚度 2	± 0.05
0.01	外径 $\varnothing 30$ 厚度 2	± 0.10
0.05	外径 $\varnothing 30$ 厚度 2	± 0.10
0.1	外径 $\varnothing 40$ 厚度 3	± 0.1

4.4 厚度校准的微调范围

仪器应满足有 $\pm 1\text{mm}$ 的微调范围（无微调功能的仪器不做此项校准）。

4.5 变换声速的厚度示值误差

示值误差应不超出 $\pm 0.50\text{mm}$ 。

4.6 示值稳定性：

仪器分辨力规格及相对应的示值稳定性要求见表 3（自动关机型仪器可不做此项校准）。

表 3

分辨力	示值稳定性 (mm/h)
0.001	0.005
0.01	0.05
0.05	0.05
0.1	0.1

注：校准不判断合格与否，上述计量特性要求仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件：

校准环境条件应满足超声波测厚仪的使用要求，校准环境内无影响被测仪器正常工作的振动、气流扰动等因素。

温度： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $<65\%$

5.2 校准仪器所用的标准厚度块和标准圆管应符合附录 D 和附录 E 的技术要求。

5.3 超声波测厚仪随机的标准厚度块应符合附录 D 的技术要求。

5.4 测量标准及其他设备：

序号	校准项目	测量标准及其他设备	技术要求
1	重复性	标准厚度块	符合附录 D 的要求
2	示值误差	标准厚度块	符合附录 D 的要求
3	曲面壁厚测量的示值误差	曲面壁厚标准块	符合附录 E 的要求
4	厚度校准的微调范围	标准厚度块	符合附录 D 的要求
5	变换声速的厚度示值误差	标准厚度块	符合附录 D 的要求
6	示值稳定性	标准厚度块	符合附录 D 的要求

6 校准项目和校准方法

在进行仪器校准之前，在确认无影响校准计量特性的外观和机电功能方面的缺陷后。首先进行外观检查，目测仪器和测头等没有影响校准工作的磨损、锈蚀等缺陷，必要时按照仪器使用说明书规定的执行仪器的启动和准备程序。

6.1 重复性

仪器开机后，按照仪器说明书要求将声速调整到 5900m/s，再返回仪器测厚状态下，将耦合剂涂敷在 5.5mm 标准厚度块的中心位置上。用探头对该厚度块连续测量 5 次，取最大值与最小值之差作为该仪器的重复性。也可直接用仪器本身的随机校准厚度块进行本项校准。

6.2 示值误差

按照仪器所规定的程序进行校准。在仪器的测量范围逐一测量附录 D 中的标准厚度块，每块连续测量 3 次，取平均值作为仪器在该厚度块的示值。同一台超声波测厚仪有不同档的分辨力时，应分别进行不同分辨力示值误差的校准。示值误差 δ_H 按下式计算：

$$\delta_H = \bar{H} - H$$

式中： \bar{H} ——仪器平均示值

H ——标准厚度块的标称值

6.3 曲面壁厚测量的示值误差

按照仪器规定的程序进行校准（如不更换测头则不需要重新校准）根据表 2 的规定，测量与其分辨力相对应的标准圆管的壁厚(技术要求见附录 E)。测量时将探头的隔声层 1 与被测标准圆管 2 的索线平行或垂直(如图 2 所示)。轻微摆动探头并观察示值，取最小的稳定的示值为测量值，测量值与标准圆管壁厚标称值的差值，即为示值误差。

6.4 厚度校准的微调范围

仪器校准后，保持探头与厚度块的耦合状态不变，连续调整仪器校准的上、下键(或旋转校准厚度用的微调旋钮)，仪器示值变化范围应不小于 $\pm 1\text{mm}$ 。

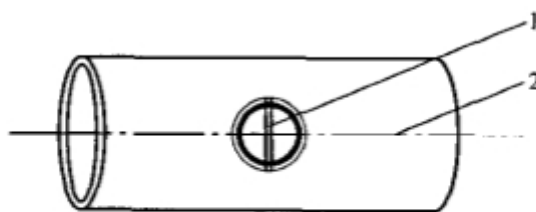


图 2 曲面测量示意图

6.5 变换声速的厚度示值误差

将仪器的声速分别设置在 3900m/s 和 7900m/s，测量 10mm 标准厚度块，每个声速下测量 3 次，得到对应声速的平均值 \bar{H}_{01} 和 \bar{H}_{02} ，根据折合厚度的理论值 $H_{01}=6.61\text{mm}$ (3900m/s)， $H_{02}=13.39\text{mm}$ (7900m/s)，按下式计算变换声速后的示值误差：

$$\delta_{H1} = \bar{H}_{01} - H_{01}$$

$$\delta_{H2} = \bar{H}_{02} - H_{02}$$

式中： δ_{H1} —— 声速为 3900m/s 时的厚度示值误差

δ_{H2} —— 声速为 7900m/s 时的厚度示值误差

6.6 示值稳定性

用探头测量任一标准厚度块或仪器随机校准厚度块，记下第一次示值，其后每隔 15min，重复测量一次，连续观察 1h，取示值之间的最大差值为示值稳定性。

7 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包括以下信息：

- 标题，如“校准证书”；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- 客户的名称和地址；
- 被校对象的描述和明确标识；
- 进行校准的日期，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；
- 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；
- 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- 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) 对校准规范偏离的说明 (若有);
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识、以及签发日期;
- 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

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。建议复校时间间隔为一年。

附录 A

超声波测厚仪测量不确定度评定示例

1. 测量方法

首先将仪器校准，然后用标准厚度块对仪器进行校准。平均测量值 \bar{H} 与厚度块的标准厚度值 H 之差即为示值误差 δ_H

2. 数学模型

示值误差公式： $\delta_H = \bar{H} - H$

式中： δ_H —— 超声波测厚仪示值误差；
 \bar{H} —— 标准厚度块的平均厚度值；
 H —— 标准厚度块的标准厚度值；

3. 方差和传播系数

$$u_c^2 = u^2(\delta_H) = C_1^2(\bar{H})u_1^2(\bar{H}) + C_2^2(H)u_2^2(H)$$

$$C_1(\bar{H}) = 1, \quad C_2(H) = -1$$

$$u_c^2 = u_1^2(\bar{H}) + u_2^2(H)$$

4. 标准不确定度一览表：

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度值 (mm)	传播系数 C_i	$ k_i \times u_i$ (mm)
u_1	标准厚度块尺寸偏差	10mm $0.01 \times (1/3) = 0.003$ 200mm $0.05 \times (1/3) = 0.017$	1	10mm 0.003 200mm 0.017
u_2	标准厚度块检定误差	$0.003 \times (1/3) = 0.001$		0.001
u_3	校准的测量重复性引入的不确定度分量	$0.025 \times 1/\sqrt{3} = 0.014$	1	0.014

5. 计算标准不确定度分量
5.1 标准厚度块尺寸

偏差带来的不确定度分量 u_1

校准使用标准厚度块标称值，尺寸偏差虽为综合误差，但在此时忽略不计，应视为偶然误差，且应按正态分布处理，故

$$10\text{mm} \quad u_1 = 0.01 \times \frac{1}{3} = 0.003\text{mm}$$

$$200\text{mm} \quad u_1 = 0.05 \times \frac{1}{3} = 0.017\text{mm}$$

5.2 标准厚度块检定误差的不确定度分量 u_2

$$\text{检定仪器的示值允许误差 } \Delta = \pm \left(1 + \frac{L}{100} \right) = \pm 0.003\text{mm}$$

按正态分布处理，则

$$u_2 = \left(0.003 \times \frac{1}{3} \right) = 0.001\text{mm}$$

5.3 校准的测量重复性带来的不确定度分量 u_3

用标准厚度块将仪器示值校准，测头连续测量该厚度块 10 次，计算出

$$\sigma_{n-1}=0.025 \quad (n=10)$$

逐点校准仪器示值误差时，又规定取 3 次平均值作为测量值

$$\text{则} \quad u_3 = \left(0.025 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \right) = 0.025 \times 0.577 = 0.014 \text{ mm}$$

6. 合成标准不确定度

$$10 \text{ mm 时} \quad u_c = \sqrt{\sum_1^5 u_i^2} = 0.014 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm 时} \quad u_c = \sqrt{\sum_1^5 u_i^2} = 0.022 \text{ mm}$$

8. 合成不确定度:

10mm 时

取置信水平 95%， $k=2.18$

$$\begin{aligned} U &= k \times u_c \\ &= 2.18 \times 0.015 = 0.032 \text{ mm} \end{aligned}$$

200mm 时

取置信水平 95%， $k=2.02$

$$\begin{aligned} U &= k \times u_c \\ &= 2.02 \times 0.022 = 0.044 \text{ mm} \end{aligned}$$

超声测厚标准件校准方法

1 范围

本规范适用于超声波测厚仪校准用标准件的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1126 超声波测厚仪校准规范

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 超声测厚标准件 standard parts for ultrasonic thickness instruments

用于校准超声波测厚仪使用的标准厚度块和标准圆管的统称。

3.2 标准厚度块 standard thickness block

使用规定材料制成的，用于提供标准厚度的样块。

3.3 标准圆管 standard pipe

使用规定材料制成的，用于提供标准曲面厚度的圆管。

4 概述

超声测厚标准件（以下简称标准件）是用来校准超声波测厚仪的标准试件，包括标准厚度块和标准圆管。标准件采用规定材料按照相关尺寸要求制成，标准厚度块截面为圆形或方形。标准件外形结构见图 1、图 2 所示。



图1 标准厚度块



图2 标准圆管

5 计量特性

5.1 标准厚度块

5.1.1 标准厚度块的厚度

标准厚度块的标称值及允许偏差见表 1。

表1 标准厚度块标称值及允许偏差

mm

标称值 H	0.5 [*]	1.0 [*]	1.2 [*]	1.5 [*]	2.0 [*]	3.3
允许偏差 δ_H	±0.01					
标称值 H	5.5	7.7	10	15		20
允许偏差 δ_H	±0.01				±0.02	
标称值 H	25	50	75	100	150	200
允许偏差 δ_H	±0.02			±0.05		
*为校准各种仪器测量下限的专用尺寸。						

注：表中 H 为推荐值。

5.1.2 标准厚度块两端面的平行度

两端面的平行度不大于 0.005mm，如图 3 所示。

5.1.3 标准厚度块两端面的表面粗糙度

两端面的表面粗糙度 R_a 值不大于 0.40 μm ，如图 3 所示。

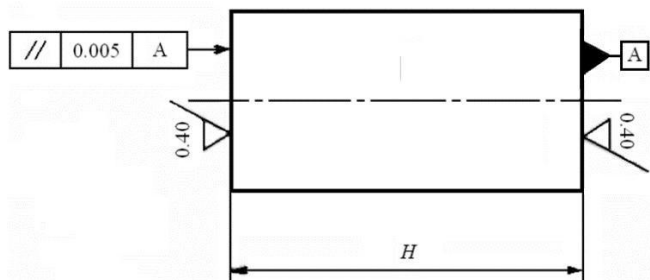


图3 标准厚度块几何形状及尺寸要求

5.2 标准圆管

5.2.1 标准圆管的外径

标准圆管的外径与标称直径的偏差不超过 0.05mm。

5.2.2 标准圆管的壁厚

标准圆管的壁厚标称值及允许偏差见表 2。

表2 标准圆管壁厚标称值及允许偏差

单位: mm

标称值 T	2	3
允许偏差 δ_T	± 0.02	± 0.02

5.2.3 标准圆管壁厚的均匀性

5.2.4 标准圆管的表面粗糙度

标准圆管圆柱面的表面粗糙度 R_a 值不大于 $0.40\mu\text{m}$, 如图 4 所示。

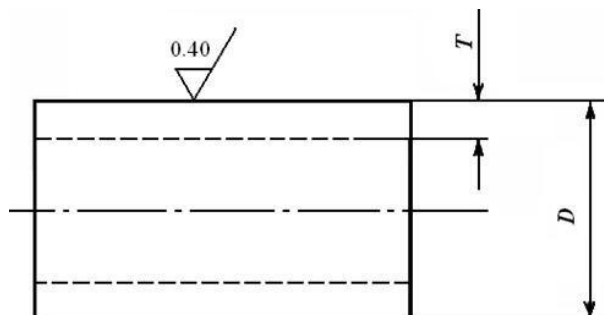


图4 标准圆管几何形状及尺寸要求

注: 校准工作不做判断合格与否, 上述计量特性要求仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度应为 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$, 相对湿度应小于 65%RH。校准前, 超声测厚标准件与测量标准及其他设备等温时间不得少于 2h。

6.2 校准项目和校准用计量器具

校准项目和推荐校准用计量器具见表 3, 允许使用满足测量不确定度要求的其他标准器进行校准。

表3 校准项目和校准用计量器具

序号	校准项目	标准器名称及技术要求
1	标准厚度块的厚度	数显测高仪 $\text{MPE}:\pm(2\mu\text{m}+10^{-5}L/3)$
2	标准厚度块两端面的平行度	平板: 局部平面度 $\leq 5\mu\text{m}$
3	标准圆管的外径	千分尺 $\text{MPE}:\pm 4\mu\text{m}$

4	标准圆管的壁厚	壁厚千分尺 MPE:±4μm
5	标准圆管壁厚的均匀性	
6	标准圆管的表面粗糙度	表面粗糙度比较样块 MPE:+12% ~ -17%
7	标准厚度块两端面的表面粗糙度	粗糙度测量仪 MPE:±10%

7 校准方法

校准前，先检查外观。超声测厚标准件测量面不应有锈蚀、毛刺、碰伤等影响质量的外观缺陷。使用中的标准件允许有不影响使用及计量性能的外观缺陷。在确认没有影响计量特性的因素后再进行校准。

7.1 标准厚度块

7.1.1 标准厚度块的厚度

用数显测高仪在平板上用直接法进行测量。先使数显测高仪与平板接触对零，再将被测的标准厚度块放在平板上，在厚度块工作面上均匀分布 5 个点（见图 5）测量，取 5 个位置测量的平均值作为标准厚度块厚度的实测值，该值与标称值之差即为标准厚度块的厚度偏差。

标准厚度块厚度的偏差值 δ_H 的表达式为：

$$\delta_H = H_x - H_0 \quad (1)$$

式中：

δ_H ——标准厚度块厚度的偏差值，mm；

H_x ——标准厚度块厚度的实测值，mm；

H_0 ——标准厚度块厚度的标称值，mm。

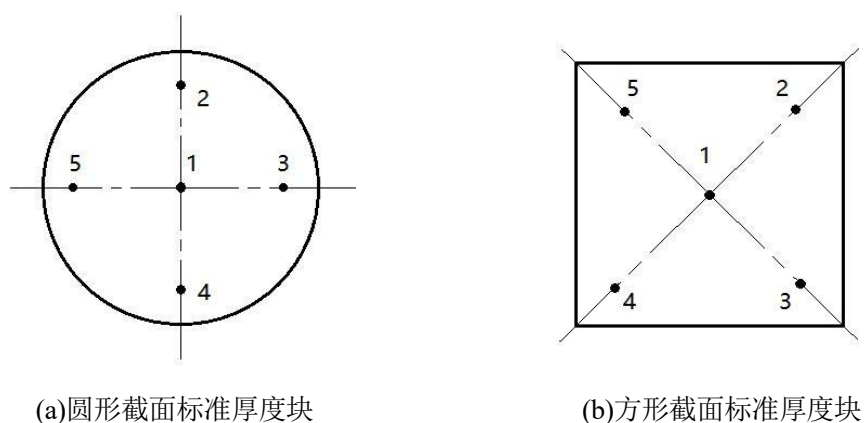


图5 标准厚度块测量点位置示意图

7.1.2 标准厚度块两端面的平行度

上述 7.1.1 中测量各点示值中最大值与最小值之差即为标准厚度块两端面的平行度。

7.1.3 标准厚度块两端面的表面粗糙度

用表面粗糙度比较样块比较测量，有争议时用表面粗糙度测量仪测量。

7.2 标准圆管

7.2.1 标准圆管的外径

用千分尺在标准圆管外侧均匀分布的不少于两个位置上进行测量直径，测得值的平均值作为标准圆管外径的实测值，该值与标称值之差即为标准圆管的直径偏差。

标准圆管外径的偏差值 δ_D 的表达式为：

$$\delta_D = D_x - D_0 \quad (2)$$

式中:

δ_D ——标准圆管外径的偏差值, mm;

D_x ——标准圆管外径的实测值, mm;

D_0 ——标准圆管外径的标称值, mm。

7.2.2 标准圆管的壁厚

用壁厚千分尺在标准圆管上均匀分布的不少于两个截面, 每个截面上互相垂直的四个位置, 共八个位置上进行测量壁厚, 给出所有测得值的平均值作为标准圆管壁厚实测值, 该值与标称值之差即为标准圆管的壁厚偏差。

标准厚度块测量不确定度评定

1. 测量方法

先将量块比较仪测头在量块的中心位置上清零，再将被测标准厚度块置于测量位置，在厚度块中心点进行 5 次测量，取 5 次示值的平均值加上标准量块的长度即为标准厚度块的实际厚度值。

标准厚度块的厚度值通过与同样标称长度的已知量块比较来确定，量块比较仪的直接输出值就是它们的中心长度差 d 。

$$d = L(1 + \alpha \Delta t) - L_s(1 + \alpha_s \Delta t_s) \quad (1)$$

式中： L — 被检厚度块在 20°C 时的中心长度；

L_s — 标准量块在 20°C 时的中心长度；

α 和 α_s — 被检厚度块和量块的热膨胀系数；

Δt 和 Δt_s — 被检厚度块和量块对参考温度 20°C 的偏差。

2. 测量模型

被测量，即被检厚度块在 20°C 时的中心长度 L 可由方程（1）导出：

$$\begin{aligned} L &= [L_s(1 + \alpha_s \Delta t_s) + d] / (1 + \alpha \Delta t) \\ &= L_s + d + L_s(\alpha_s \Delta t_s - \alpha \Delta t) + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

设被检量块与标准量块的温度差为 δt ，热膨胀系数之差为 $\delta \alpha$ ，则方程（2）变为：

$$\begin{aligned} L &= f(L_s, d, \alpha_s, \Delta t, \delta \alpha, \delta t) \\ &= L_s + d - L_s(\delta \alpha \Delta t + \alpha_s \delta t) \end{aligned} \quad (3)$$

差值 δt 和 $\delta \alpha$ 的期望值为零，但它们的不确定度非零。 $\delta \alpha$ 与 α_s ， δt 与 Δt 认为无关。

因此，由方程（3）知，被测量 L 可由简单表达式 $L_s + d$ 表示，而 L_s 为标准量块证书所给 20°C 时标准的长度， d 为 $n=5$ 次独立重复测量的算术平均值。 L 的合成不确定度 u_c 由下式表示：

$$u_c^2(y) = \sum [\partial f / \partial x_i]^2 u^2(x_i) \quad (4)$$

3. 方差和传播系数

由式（3），（4）得：

$$u_c^2(L) = c_{L_s}^2 u^2(L_s) + c_d^2 u^2(d) + c_{\alpha_s}^2 u^2(\alpha_s) + c_{\Delta t}^2 u^2(\Delta t) + c_{\delta \alpha}^2 u^2(\delta \alpha) + c_{\delta t}^2 u^2(\delta t)$$

式中： $c_{L_s} = \partial f / \partial L_s \approx 1$ ； $c_d = \partial f / \partial d = 1$ ； $c_{\alpha_s} = \partial f / \partial \alpha_s = 0$ ；

$$c_{\Delta t} = \partial f / \partial \Delta t = 0； \quad c_{\delta \alpha} = \partial f / \partial \delta \alpha = -L_s \Delta t； \quad c_{\delta t} = \partial f / \partial \delta t = -L_s \alpha_s。$$

于是： $u_c^2(L) = u^2(L_s) + u^2(d) + L_s^2 \Delta t^2 u^2(\delta \alpha) + L_s^2 \alpha_s^2 u^2(\delta t)$

4. 标准不确定度一览表

标称长度为 0.5mm 时，如表 4-1 所示。

分量名称	来源	分布	数值 (μm)
$u(L_s)$	量块	正态分布	0.019
$u(d)$	比较差值		0.035
$u(d_1)$	仪器的示值误差	均匀分布	0.005
$u(d_2)$	仪器示值稳定性	均匀分布	0.012
$u(d_3)$	量块测点不确定度	均匀分布	0.006
$u(d_4)$	标准厚度块测点不确定度	均匀分布	0.032
$u(\delta_\alpha)$	量块间膨胀系数差	三角分布	$0.816 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}^{-1}$
$u(\delta_t)$	量块间温度差	均匀分布	0.023°C

标称长度为 200mm 时如表 4-2 所示。

分量名称	来源	分布	数值(μm)
$u(L_s)$	量块	正态分布	0.056
$u(d)$	比较差值		0.048
$u(d_1)$	仪器的示值误差	均匀分布	0.005
$u(d_2)$	仪器示值稳定性	均匀分布	0.012
$u(d_3)$	量块测点不确定度	均匀分布	0.010
$u(d_4)$	标准厚度块测点不确定度	均匀分布	0.045
$u(\delta_\alpha)$	量块间膨胀系数差	三角分布	$0.816 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}^{-1}$
$u(\delta_t)$	量块间温度差	均匀分布	0.023°C

5. 标准不确定度

5.1 2 等标准量块中心长度引入的不确定度分量 $u(L_s)$

$$e_1 = (0.05 + 0.5L) \mu\text{m}$$

式中:量块长度 L 以米为单位。

按正态分布，覆盖因子 $k_1 = 2.70$

0.5mm 时: $e_l = 0.050\mu\text{m}$

$$u(L_s) = e_l/k_1 = 0.050/2.7 = 0.019\mu\text{m}$$

200mm 时: $e_l = 0.15\mu\text{m}$

$$u(L_s) = e_l/k_1 = 0.15/2.70 = 0.056\mu\text{m}$$

5.2 比较差值引入的不确定分量 $u(d)$

5.2.1 仪器的示值误差引入的分量 $u(d_1)$

量块比较仪的测量不确定度为 $U = 0.010\mu\text{m}$ ($k=2$)

$$u(d_1) = U/k = 0.010/2 = 0.005\mu\text{m}$$

5.2.2. 仪器示值稳定性引入的不确定度分量 $u(d_2)$

根据经验, 量块比较仪的示值稳定性不超过 $0.02\mu\text{m}$, 此项误差以等概率分布, 故其标准不确定度为:

$$u(d_2) = 0.02/\sqrt{3} = 0.012\mu\text{m}$$

5.2.3. 标准量块测点位置 Δps 引入的不确定度分量 $u(d_3)$

$$u(\Delta ps) = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2}} = 0.408\text{mm}$$

对于 0.5mm 量块长边 $a=30\text{mm}$, 短边 $b=9\text{mm}$, 2 等量块长度变动量 $\delta L_s = 0.1\mu\text{m}$, 于是不确定分量 $u(d_3)$ 的标准不确定度:

$$\begin{aligned} u(d_3) &= \sqrt{\left(\frac{\frac{\delta L_s}{a/2 - 0.8}}{\frac{\delta L_s}{b - 1.6}}\right)^2 + \left(\frac{\delta L_s}{b - 1.6}\right)^2} \cdot u\Delta ps \\ &= \sqrt{\left(\frac{0.1}{14.2}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{7.4}\right)^2} \times 0.408 = 0.006\mu\text{m} \\ u(\Delta ps) &= \frac{1}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2}} = 0.408\text{mm} \end{aligned}$$

对于 200mm 量块长边 $a=35\text{mm}$, 短边 $b=9\text{mm}$, 2 等量块长度变动量 $\delta L_s = 0.16\mu\text{m}$, 于是不确定分量 $u(d_3)$ 的标准不确定度:

$$u(d_3) = \sqrt{\left(\frac{\frac{\delta L_s}{a/2 - 0.8}}{\frac{\delta L_s}{b - 1.6}}\right)^2 + \left(\frac{\delta L_s}{b - 1.6}\right)^2} \cdot u\Delta ps$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0.16}{16.7}\right)^2 + \left(\frac{0.16}{7.4}\right)^2} \times 0.408$$

$$= 0.010 \mu\text{m}$$

5.2.4. 被测厚度块测点位置 Δpx 引入的不确定度分量 $u(d_4)$

$$u(\Delta px) = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577 \text{mm}$$

对于 0.5mm 被测标准厚度块直径 $\phi = 30\text{mm}$ ，长度变动量取 $\delta Lx = 7.0 \mu\text{m}$ ，于是不确定分量 $u(d_4)$ 的标准不确定度：

$$u(d_4) = \left(\frac{\frac{\delta Lx}{20}}{\frac{2}{2} - 1.0} \right) \cdot u\Delta px$$

$$= \left(\frac{0.50}{9.0} \right) \times 0.577$$

$$= 0.032 \mu\text{m}$$

对于 200mm 被测标准厚度块长度变动量 $\delta Lx = 30 \mu\text{m}$ ，于是不确定分量 $u(d_4)$ 的标准不确定度：

$$u(d_4) = \left(\frac{\frac{\delta Lx}{d}}{\frac{d}{2} - 1.0} \right) u\Delta px$$

$$= \left(\frac{0.70}{9.0} \right) \times 0.577$$

$$= 0.045 \mu\text{m}$$

比较差值引入的标准不确定度为：

0.5mm 时：

$$u^2(d) = u^2(d_1) + u^2(d_2) + u^2(d_3) + u^2(d_4)$$

$$= 0.005^2 + 0.012^2 + 0.006^2 + 0.032^2$$

$$= 0.001229 (\mu\text{m})^2$$

$$u(d) = 0.035 \mu\text{m}$$

200mm 时：

$$u^2(d) = u^2(d_1) + u^2(d_2) + u^2(d_3) + u^2(d_4)$$

$$= 0.005^2 + 0.012^2 + 0.010^2 + 0.045^2$$

$$=0.001418(\mu\text{m})^2$$

$$u(d)=0.048\mu\text{m}$$

5.3. 量块与被检厚度块膨胀系数差引入的不确定度分量 $u(\delta\alpha)$

钢质量块与厚度块的线膨胀系数均为 $(11.5\pm 1)\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$, 两者的线膨胀系数均在 $\pm 1\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$ 范围内等概率分布, 因此两量块的膨胀系数差 $\delta\alpha$ 应在 $\pm 2\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$ 范围内, 并服从三角分布, $k_3=\sqrt{6}$.

$$u(\delta\alpha)=\delta\alpha/k_3=(2\times 10^{-6})/\sqrt{6}=0.816\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$$

5.4. 量块与标准厚度块间的温度差引入的不确定度分量 $u(\delta t)$

量块与被检标准厚度块的温度应达到平衡后进行测量, 若实际测量时两者的最大可能温度差 δt 在 $-0.04\sim +0.04\text{C}$ 范围内, 按等概率分布, $k_4=\sqrt{3}$.

$$u(\delta t)=\delta t/k_4=0.04/\sqrt{3}=0.023\text{C}$$

6. 合成标准不确定度

$$0.5\text{mm 时} \quad L_s=0.0005\text{m} \quad \Delta t=0.4\text{C} \quad \alpha_s=11.5\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$$

$$\begin{aligned} u_c^2(L) &= u^2(L_s) + u^2(d) + L_s^2 \Delta t^2 u^2(\delta\alpha) + L_s^2 \alpha_s^2 u^2(\delta t) \\ &= (0.019)^2 + (0.035)^2 + (0.0005\times 10^6)^2 \times (0.4)^2 \times (0.816\times 10^{-6})^2 + \\ &\quad (0.0005\times 10^6)^2 \times (11.5\times 10^{-6}) \times (0.023)^2 \\ &= (0.019)^2 + (0.035)^2 + (0.0002)^2 + (0.00015)^2 \\ &= 0.001586(\mu\text{m})^2 \end{aligned}$$

$$u_c(L)=0.040\mu\text{m}$$

$$200\text{mm 时} \quad L_s=0.2\text{m} \quad \Delta t=0.4\text{C} \quad \alpha_s=11.5\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$$

$$\begin{aligned} u_c^2(L) &= u^2(L_s) + u^2(d) + L_s^2 \Delta t^2 u^2(\delta\alpha) + L_s^2 \alpha_s^2 u^2(\delta t) \\ &= (0.056)^2 + (0.048)^2 + (0.2\times 10^6)^2 \times (0.4)^2 \times (0.816\times 10^{-6})^2 + \\ &\quad (0.2\times 10^6)^2 \times (11.5\times 10^{-6}) \times (0.023)^2 \\ &= (0.056)^2 + (0.048)^2 + (0.065)^2 + (0.053)^2 \\ &= 0.012474(\mu\text{m})^2 \end{aligned}$$

$$u_c(L)=0.112\mu\text{m}$$

7. 扩展不确定度

$$0.5\text{mm 时} \quad \text{覆盖因子 } k=2$$

$$U_{0.95}=k \cdot u_c(L)$$

$$=2 \times 0.040$$

$$=0.08 \mu\text{m}$$

200mm 时 覆盖因子 $k=2$

$$U_{0.95}=k \cdot u_c(L)$$

$$=2 \times 0.112$$

$$=0.23 \mu\text{m}$$

综上，标准厚度块厚度校准的测量不确定度为 $U=0.001\text{mm}$, $k=2$ 。

标准圆管测量不确定度评定

用影像测量仪/万能工具显微镜校准标准圆管壁厚尺寸,进而判断其是否符合计量性能的要求。

1 测量模型

$$L_M = L_S + \alpha L \Delta t + \Delta \alpha L t + \Delta E$$

式中: L_M ——标准圆管壁厚值;

L_S ——系统测得值;

L 、 α 、 Δt ——测量长度、圆管线性热胀系数、温度差值;

L 、 $\Delta \alpha$ 、 t ——测量长度、线性热胀系数差值、温度偏差;

ΔE ——测量重复性引起的分量。

2 灵敏系数

$$C_1 = \frac{\partial L_M}{\partial L_S} = 1$$

$$C_2 = \frac{\partial L_M}{\partial \Delta t} = \alpha L$$

$$C_3 = \frac{\partial L_M}{\partial \Delta \alpha} = L t$$

$$C_4 = \frac{\partial L_M}{\partial \Delta E} = 1$$

3 标准不确定度

3.1 测量仪器引入的标准不确定度 u_1

影像测量仪的最大允许误差为 $\pm(1.6+L/250)\mu\text{m}$ (其中 L 为测量长度,单位 mm),壁厚最大行程取 3mm,则其长度上影像测量仪最大允许误差为 $\pm 1.612\mu\text{m}$,为均匀分布,包含因子 $k_1 = \sqrt{3}$,所以其不确定度分量为

$$u_1 = \frac{1.612\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.93\mu\text{m}$$

万能工具显微镜 (以下简称万工显) 的最大允许误差为 $\pm(1+L/100)\mu\text{m}$,其他条件不变,则

$$u'_1 = \frac{1.03\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.54\mu\text{m}$$

3.2 由温度差引入的长度测量标准不确定度 u_2

恒温后圆管与影像测量仪/万能工具显微镜温度差 $\Delta t = 0.2^\circ\text{C}$,圆管线膨胀系数为 $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} L^\circ\text{C}^{-1}$,取 $L=3\text{mm}$,服从反正弦分布, $k = \sqrt{2}$,则

$$u_2 = (0.2 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 3) / \sqrt{2} = 0.005\mu\text{m}$$

3.3 由线性热胀系数差引入的长度测量标准不确定度 u_3

圆管线膨胀系数为 $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} L^{\circ}C^{-1}$ ，影像测量仪/万能工具显微镜的线膨胀系数为 $(10 \pm 0.5) \times 10^{-6} L^{\circ}C^{-1}$ ，两者线膨胀系数最大差为 $3 \times 10^{-6} L^{\circ}C^{-1}$ ，取 $L=3mm$ ，测量时被测样板温度对标准温度 $20^{\circ}C$ 的偏差不超过 $1^{\circ}C$ ，服从三角分布， $k = \sqrt{6}$ ，则

$$u_2 = (1 \times 3 \times 10^{-6} \times 3) / \sqrt{6} = 0.004 \mu m$$

3.4 由测量重复性引入的长度测量标准不确定度 u_4

在重复性条件下使用影像测量仪对圆管壁厚进行 10 次测量，测量结果如下：

单位：mm

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测得值	2.005	2.001	2.003	2.005	2.005	2.007	2.005	2.008	2.009	2.002

用贝塞尔公式求得

$$u_4 = 2.54 \mu m$$

在重复性条件下使用万工显对圆管壁厚进行 10 次测量，测量结果如下：

单位：mm

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测得值	2.005	2.003	2.003	2.005	2.003	2.006	2.005	2.008	2.006	2.002

用贝塞尔公式求得

$$u'_4 = 1.84 \mu m$$

4 合成标准不确定度

上述校准误差彼此独立，因此使用影像测量仪合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{(c_1 u_1)^2 + (c_2 u_2)^2 + (c_3 u_3)^2 + (c_4 u_4)^2} = 2.7 \mu m$$

使用万工显合成标准不确定度为

$$u'_c = \sqrt{(c_1 u'_1)^2 + (c_2 u_2)^2 + (c_3 u_3)^2 + (c_4 u'_4)^2} = 2.1 \mu m$$

5 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，因此使用影像测量仪扩展不确定度为

$$U = 5.4 \mu m \approx 6 \mu m$$

使用万工显扩展不确定度为

$$U' = 4.2 \mu m \approx 5 \mu m$$

附录 B 原始记录格式

校准结果								
序号	校准项目							/
1	重复性/mm							
2	曲面壁厚测量的示值误差/mm							
3	变换声速的厚度示值误差/mm		声速	1	2	3	示值误差	
			3900m/s					
			7900m/s					
4	厚度校准微调范围		/					
5	稳定性/mm		/					
6	示值误差 mm	受检点	1	2	3	实测平均值	示值误差值	测量结果不 确定度 ($k=2$)
		1.2						$U=0.03\text{mm}$
		2.2						
		3.3						
		5.5						
		7.7						
		10						
		15						
		20						
		25						
		50						
		100						$U=0.05\text{mm}$
		150						
		200						

附录C 校准证书内页格式

序号	校准项目		校准结果	
1	重复性/ mm			
2	曲面壁厚测量的示值误差/mm			
3	变换声速的厚度示值误差/mm		声速	示值误差
			3900m/s	
			7900m/s	
4	示值误差/mm	受检点	示值误差值	测量结果不确定度 ($k=2$)
		1.2		$U=0.03\text{mm}$
		2.2		
		3.3		
		5.5		
		7.7		
		10		
		15		
		20		
		25		
		50		
		100		$U=0.05\text{mm}$
		150		
		200		

以下空白

附录D

标准厚度块的技术要求

D.1 标称值及允许偏差列于表 D.1

表 D. 1 标准厚度块的技术要求							单位：mm
标称值 H	0.5*	1*	1.2*	1.5*	2.0*	3.3*	
允许偏差 δ	±0.01						
标称值 H	5.5	7.7	10	15	20	25	50
允许偏差 δ	±0.01			±0.02			
标称值 H	75		100		150		200
允许偏差 δ	±0.02		±0.05				
*为校准各类仪器下限的专用尺寸。							

D.2 几何形状及尺寸要求见图 D.1(单位：mm)

D.3 材料：45#钢

注：表中 H 值为推荐值。

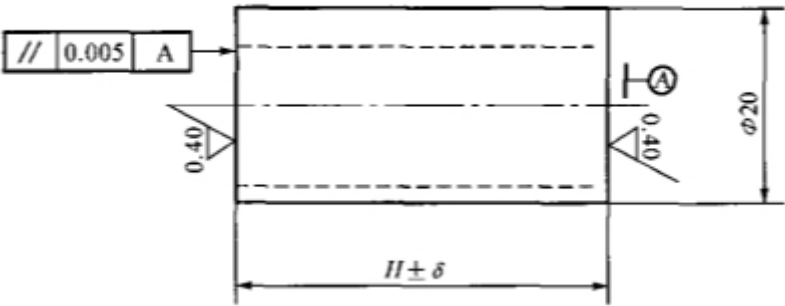


图 D. 1

附录 E

标准圆管的技术要求

E.1 标称值及允许偏差列于表 E.1

表 E. 1 标准圆管的技术要求 单位：mm

壁厚标称值	2(外径 $\phi 30$)	3(外径 $\phi 40$)
壁厚允许偏差	± 0.02	± 0.02

E.2 几何形状及尺寸要求见图 E.1(单位：mm)

E.3 材料：45#钢

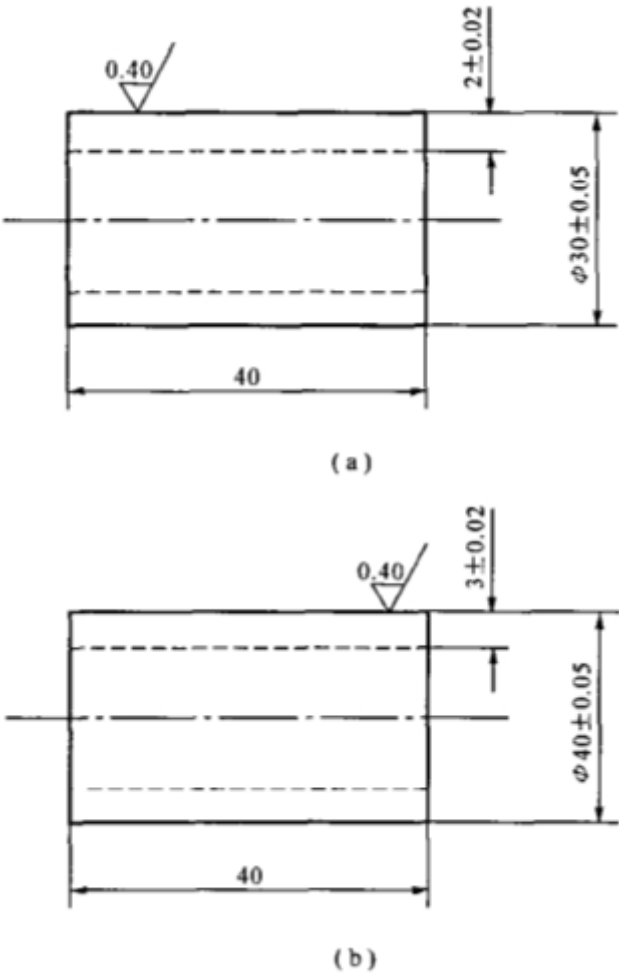


图 E. 1

中华人民共和国
国家计量技术规范
XXXXXXXXXX 校准规范
JJFXXXX—XXXX
国家市场监督管理总局发布