



中华人民共和国国家标准

GB/T 28703—2012

圆柱螺纹检测方法

Test methods for parallel screw threads

2012-09-03 发布

2013-03-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、代号	1
4 检测条件	1
4.1 标准参考条件	1
4.2 测量温度条件	1
4.3 检测器具条件	2
5 检测方法	3
6 螺纹单参数测量	4
6.1 外螺纹单参数测量	4
6.1.1 中径	4
6.1.1.1 概述	4
6.1.1.2 量球法	5
6.1.1.3 三针法	9
6.1.1.4 轴切法	13
6.1.1.5 外径千分尺法	16
6.1.1.6 螺纹千分尺法	18
6.1.2 牙侧角	18
6.1.2.1 概述	18
6.1.2.2 影像法	18
6.1.2.3 衍射干涉法	20
6.1.3 螺距(导程)	20
6.1.3.1 概述	20
6.1.3.2 测长仪法	20
6.1.3.3 影像法	23
6.1.4 大径	23
6.1.5 小径	23
6.1.6 中径圆柱的圆度和锥度	23
6.1.7 大径相对中径跳动	23
6.1.8 牙底圆弧半径	24
6.2 内螺纹单参数测量	24
6.2.1 中径	24
6.2.1.1 概述	24
6.2.1.2 量球法	24
6.2.2 牙侧角	26
6.2.3 螺距(导程)	26

6.2.4	中径圆柱的圆度和锥度	26
6.2.5	小径	27
6.2.6	小径相对中径跳动	27
6.3	测量结果报告	27
7	螺纹检验	27
8	合格判定	28
附录 A (资料性附录)	螺纹多参数测量	29
附录 B (资料性附录)	螺纹指示量规	30
附录 C (资料性附录)	用于中径测量的量针(球)直径选择	31
附录 D (资料性附录)	三针法中径测量的测力选择	47
附录 E (资料性附录)	测量不确定度评估实例	48
	参考文献	55



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国螺纹标准化技术委员会(SAC/TC 108)提出并归口。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准负责起草单位:上海市计量测试技术研究院。

本标准参加起草单位:上海市紧固件和焊接材料技术研究所、中机生产力促进中心。

本标准主要起草人:蔡明钢、王健、薛俊义、李晓滨、祝逸庆、刘远模、王莺、唐英娜、茅振华、王蔚、余桂英。



圆柱螺纹检测方法

1 范围

本标准规定了圆柱螺纹参数(螺距、导程、牙侧角、大径、中径、小径、中径圆柱圆度、中径圆柱锥度、牙底圆弧半径、顶径相对中径跳动)的检测方法。

本标准适用于圆柱螺纹参数的检测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 3934 普通螺纹量规 技术条件

GB/T 8124 梯形螺纹量规 技术条件

GB/T 10922 55°非密封管螺纹量规

GB/T 14791 螺纹术语

JB/T 10865 统一螺纹量规

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1059 测量不确定度评定与表示

3 术语和定义、代号

GB/T 14791、JJF 1001 和 JJF 1059 界定的以及下列术语和定义、代号适用于本文件。

3.1

螺纹检测 test on screw threads

为确定螺纹产品是否符合相应标准要求的一组操作。

注:这些操作通常包括对螺纹参数量值的测量和(或)是否超过允许极限的检验。

4 检测条件

4.1 标准参考条件

标准参考温度: $t_0 = 20\text{ }^\circ\text{C}$;标准参考测力: $F_0 = 0$ 。

4.2 测量温度条件

环境温度及被测件与测量器具温差要求应符合表1的规定。

表 1 环境温度及被测件与测量器具温差要求

测量准确度	环境温度		被测件与测量器具 允许温差/℃
	对参考温度允许偏差/℃	每小时允许温度变化/℃	
高	±1	0.1	±0.2
中	±2	0.5	±0.5
低	±10	1	±1

4.3 检测器具条件

被检参数、检测方式和方法、检测器具及相关要求应符合表 2 的规定。

表 2 被检参数、检测方式和方法、检测器具及相关要求

被检参数	检测方式		方法	检测器具	检测器具要求	相关章节
	测量	检验				
中径尺寸、单一中径尺寸、中径圆柱圆度、中径圆柱锥度	√	—	量针(球) ^a	测长仪	最大允许示值误差: 优于 $\pm(0.15\ \mu\text{m} + \frac{2}{3} \times 10^{-6}L)$	6.1.1.2 6.1.1.3
				电感仪	测量重复性: $\leq 0.1\ \mu\text{m}$	6.2.1.2
				量针(球)	直径测量不确定度: $\leq 0.5\ \mu\text{m}$	6.1.6
				量块	3等	6.2.4
			量针(球) ^b	测长仪	最大允许示值误差: 优于 $\pm(0.5\ \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6}L)$	6.1.1.3
				电感仪	测量重复性: $\leq 0.1\ \mu\text{m}$	6.2.1.2
				量针(球)	直径测量不确定度: $\leq 0.5\ \mu\text{m}$	6.1.6 6.2.4
			光学	万能工具显微镜	最大允许示值误差: 优于 $\pm(1\ \mu\text{m} + 10 \times 10^{-6}L)$	6.1.1.4 6.1.6
			量具	螺纹千分尺	最大综合误差: $\pm 28\ \mu\text{m}$	6.1.1.6 6.1.6
			量具	外径千分尺	最大允许示值误差: $\pm 4\ \mu\text{m}$	6.1.1.5
量针	直径测量不确定度: $\leq 0.5\ \mu\text{m}$	6.1.6				
单一中径极限	—	√	极限量规	螺纹极限量规止端	经检测符合相应标准要求	7
作用中径极限	—	√	极限量规	螺纹极限量规通端	经检测符合相应标准要求	7
外螺纹大径尺寸	√	—	测长仪	测长仪	最大允许示值误差: 优于 $\pm(0.5\ \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6}L)$	6.1.4
			光学	万能工具显微镜	最大允许示值误差: 优于 $\pm(1\ \mu\text{m} + 10 \times 10^{-6}L)$	
			量具	外径千分尺	最大允许示值误差: $\pm 4\ \mu\text{m}$	
外螺纹大径极限	—	√	极限量规	光滑极限环规	经检测符合相应标准要求	7

表 2 (续)

被检参数	检测方式		方法	检测器具	检测器具要求	相关章节
	测量	检验				
外螺纹小径尺寸	√		光学	万能工具显微镜	最大允许示值误差: 优于 $\pm(1\mu\text{m}+10\times 10^{-6}L)$	6.1.5
内螺纹小径尺寸	√	—	量块	量块	3等	6.2.5
				标准圆柱	直径测量不确定度: $\leq 0.5\mu\text{m}$	
			量具	内测千分尺	经检定合格	
内螺纹小径极限	—	√	极限量规	光滑极限塞规	经检测符合相应标准要求	7
牙侧角	√	—	光学	万能工具显微镜	最大测角允许示值误差: $\pm 1'$	6.1.2 6.2.2
螺距(导程)	√	—	测长仪	测长仪	最大允许示值误差: 优于 $\pm(0.15\mu\text{m}+\frac{2}{3}\times 10^{-6}L)$	6.1.3.2
				电感仪	测量重复性: $\leq 0.1\mu\text{m}$	6.2.3
			光学	万能工具显微镜	最大允许示值误差: 优于 $\pm(1\mu\text{m}+10\times 10^{-6}L)$	6.1.3.3
牙底圆弧半径	√	—	光学	万能工具显微镜、投影仪、标准圆弧	标准圆弧半径测量不确定度: $\leq 0.1\text{mm}$	6.1.8
外螺纹大径相对中径跳动	√	—	测长仪	测长仪	最大允许示值误差: 优于 $\pm(0.5\mu\text{m}+5\times 10^{-6}L)$	6.1.7
				量针	直径测量不确定度: $\leq 0.5\mu\text{m}$	
			量具	外径千分尺	最大允许示值误差: $\pm 4\mu\text{m}$	
				量针	直径测量不确定度: $\leq 0.5\mu\text{m}$	
内螺纹小径相对中径跳动	√	—	指示量规	内螺纹指示量规	经检测符合相应标准要求	6.2.6
^a 可满足目标测量不确定度大于 $1.5\mu\text{m}$ 的中径测量要求。 ^b 可满足目标测量不确定度大于 $4\mu\text{m}$ 的中径测量要求。						

5 检测方法

圆柱螺纹参数检测方法分为螺纹参数测量和检验两种。

螺纹参数测量分为单参数测量和多参数测量。在第6章规定了单参数测量方法,多参数测量方法见附录A。

6 螺纹单参数测量

6.1 外螺纹单参数测量

6.1.1 中径

6.1.1.1 概述

根据不同准确度的测量要求,可选择合适的中径测量方法。外螺纹中径测量方法主要有量球法、量针法、光学法和量具法等。

量球法是将量球置于外螺纹的两侧牙槽内,通过测量 T 型测头的位移 ΔL ,再按中径的测量模型计算,求得中径测量结果的测量方法。

量针法是将量针置于外螺纹的两侧牙槽内,通过测量量针的跨距值,再按中径的测量模型计算,求得中径测量结果的测量方法。按所用量针的数量,可分为单针法、二针法和三针法。最常用的是三针法。

采用量球法和三针法测量时,如选用高精度的测量仪器,对各影响量进行精密测量,再按中径的测量模型进行精密计算(对各项系统误差进行足够准确的修正),可满足高准确度的测量要求。如选用中等精度的测量仪器,省略对某些影响量的测量,再按中径的测量模型进行近似计算(忽略某些系统误差的修正),可满足中、低准确度的测量要求。

根据不同的中径和测量准确度要求,量球法和三针法的中径测量分类见表 3。

表 3 量球法和三针法的中径测量分类

分类	测量准确度	参数	测量	假设	不确定度评估时考虑
单一中径					
1a	中、低	量球中心距 m	√	—	测量不确定度
		牙侧角 α_1, α_2	—	在公差范围内	公差带
		螺距 P	名义值	—	—
1b	高	量球中心距 m	√	—	测量不确定度
		牙侧角 α_1, α_2	√	—	测量不确定度
		螺距 P	名义值	—	—
中径					
2a	低	量球中心距 m	√	—	测量不确定度
		牙侧角 α_1, α_2	—	在公差范围内	公差带
		螺距 P	—	在公差范围内	公差带
2b	中	量球中心距 m	√	—	测量不确定度
		牙侧角 α_1, α_2	—	在公差范围内	公差带
		螺距 P	√	—	测量不确定度
2c	高	量球中心距 m	√	—	测量不确定度
		牙侧角 α_1, α_2	√	—	测量不确定度
		螺距 P	√	—	测量不确定度

光学法主要使用万能工具显微镜进行测量,分为影像法、轴切法、灵敏杠杆法和干涉法等。测量准确度较高且常用的是轴切法,可满足中、低准确度的测量要求。

量具法一般采用外径千分尺按三针法进行测量,或采用螺纹千分尺直接测量,可满足低准确度的测量要求。也可采用螺纹指示量规进行测量。螺纹指示量规见附录 B。

6.1.1.2 量球法

6.1.1.2.1 适用范围

适用于校对规及以下等级的圆柱外螺纹中径测量。

6.1.1.2.2 测量步骤

按下列步骤测量外螺纹中径:

- 根据被测螺纹的螺距和牙侧角,选择适用的量球(见附录 C),量球应先经过校准。
- 清洗被测螺纹和量球,按表 1 规定的高准确度要求进行温度平衡。
- 按仪器操作使用说明进行开机预热、调整等测量准备工作。
- 在测长仪上选择 T 型测头的测力,一般为 0.3 N 或 0.5 N(如无此选项,测力应不超过 0.5 N)。
- 用光面标准环规按式(1)对 T 型测头的 K 值进行校准。

$$K = D_s - \delta L \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

D_s ——光面标准环规的直径;

δL ——T 型测头在光面标准环规直径方向上左右两次接触时测长仪位移的测量示值。

- 安装被测件,调整工作台使螺纹轴线与测量轴线垂直。
- 将量球分别置于螺纹两侧牙槽内(见图 1),测量测长仪的位移距离,记录仪器示值 ΔL 。
- 测量和记录被测件和仪器的温度。
- 按 6.1.2 的方法测量被测螺纹的牙侧角,求得被测螺纹实际牙侧角的估计值及其测量不确定度。
- 按 6.1.3 的方法测量被测螺纹的螺距(导程),求得被测螺纹实际螺距(导程)的估计值及其测量不确定度(单一中径测量不需测量螺距)。

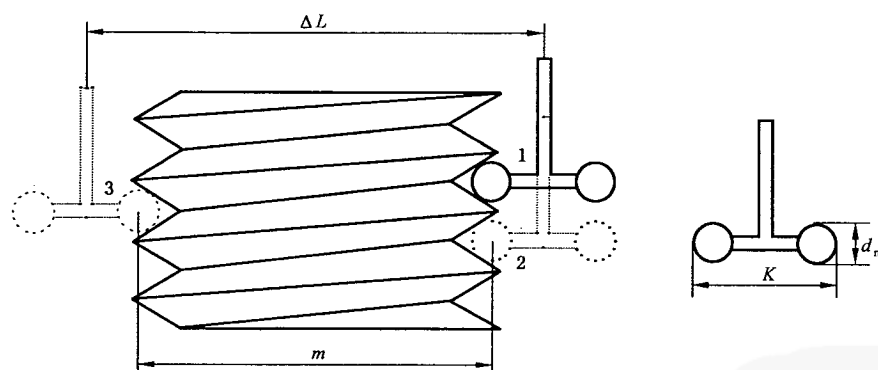


图 1 外螺纹中径测量的量球法

6.1.1.2.3 测量结果计算

6.1.1.2.3.1 测量模型

- 对称圆柱外螺纹

在参考条件下,对称圆柱外螺纹的中径和单一中径按公式(2)和公式(3)计算^[1]。

$$d_2 = m \cdot \cos\theta - d_m \cdot \frac{\cos\beta}{\sin(\alpha/2)} + \left(\frac{P}{2} - \frac{P_h \cdot \theta}{\pi} \right) \cdot \cot(\alpha/2) + \delta B \dots\dots\dots(2)$$

$$m = \Delta L - K + d_m + \delta I + \delta T + \delta F + \delta S \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- m ——在参考条件下,T型测头与螺纹两侧牙槽接触,量球中心在垂直于螺纹轴线方向上的距离;
- θ ——过量球与牙侧面切点和螺纹轴线的平面(θ 平面)与过量球中心和螺纹轴线的平面的夹角,rad;
- d_m ——量球直径;
- β ——量球中心与切点的连线与 θ 平面的夹角,rad;
- $(\alpha/2)$ ——被测对称螺纹的牙侧角,对称螺纹的 $(\alpha/2) = \alpha_1 = \alpha_2$,rad;
- P ——被测螺纹的螺距(如计算单一中径, P 取基本螺距);
- P_h ——被测螺纹的导程;
- δB ——牙侧面形状偏差等未考虑的非理想因素所引入的修正值;
- ΔL ——在测量条件下,T型测头与螺纹两侧牙槽接触,测长仪位移的测量示值(见图1);
- K ——T型测头的K值;
- δI ——测量器具示值误差所引入的修正值;
- δT ——温度效应所引入的修正值;
- δF ——测力所引入的修正值;
- δS ——工作台导轨直线度所引入的修正值。

θ 和 β 按公式(4)和公式(5)进行迭代计算。

$$\sin\theta = d_m \cdot \frac{\sin\beta}{m} \dots\dots\dots(4)$$

$$\tan\beta = \tan\theta \cdot \left[\frac{P_h \cdot \cos(\alpha/2)}{\pi \cdot m \cdot \sin\theta} + \sin(\alpha/2) \right] \dots\dots\dots(5)$$

切点圆直径 d_T (切点到螺纹轴线距离的两倍)按公式(6)计算。

$$d_T = \frac{P_h}{\pi} \cdot \cos(\alpha/2) \cdot \cot\beta \dots\dots\dots(6)$$

b) 非对称圆柱外螺纹

非对称圆柱外螺纹的中径计算可转换成对称圆柱外螺纹的中径计算。

首先将左、右两牙侧角 α_1 、 α_2 分别替代对称圆柱外螺纹中径计算公式中的 $(\alpha/2)$,求得左、右两侧的当量中径 d_{21} 、 d_{22} 。在参考条件下,非对称圆柱外螺纹的中径和单一中径按公式(7)计算^[2]。

$$d_2 = \frac{d_{21} \cdot \tan\alpha_1 + d_{22} \cdot \tan\alpha_2}{\tan\alpha_1 + \tan\alpha_2} \dots\dots\dots(7)$$

左、右两侧切点圆直径 d_{T1} 和 d_{T2} 分别按公式(8)和公式(9)计算。

$$d_{T1} = \frac{P_h}{\pi} \cdot \cos\alpha_1 \cdot \cot\beta_1 \dots\dots\dots(8)$$

$$d_{T2} = \frac{P_h}{\pi} \cdot \cos\alpha_2 \cdot \cot\beta_2 \dots\dots\dots(9)$$

6.1.1.2.3.2 输入量的估计值及其标准不确定度评估

a) ΔL 的估计值及其标准不确定度评估

ΔL 为仪器的测量示值(见图1),位置1到位置3和位置2到位置3的位移测量示值可能细微

不同, ΔL 应取二者平均值, $\Delta L = (\Delta L_{13} + \Delta L_{23})/2$ 。实际测量时, 如只测量一次, 则取实测值 ΔL 为其估计值, 如测量 l 次, 则取 l 次实测平均值 $\overline{\Delta L}$ 为其估计值。 ΔL 的标准不确定度可采用 A 类方法进行评估。重复进行 $n(n \geq 10)$ 次测量, 根据贝塞尔公式, 实验标准差为:

单次实验标准差:

$$s(\Delta L) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \overline{\Delta L})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(10)$$

l 次平均值实验标准差:

$$s(\overline{\Delta L}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \overline{\Delta L})^2}{l(n-1)}} \dots\dots\dots(11)$$

则 ΔL 标准不确定度为:

$$u(\Delta L) = s(\Delta L) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \overline{\Delta L})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(12)$$

$\overline{\Delta L}$ 标准不确定度为:

$$u(\overline{\Delta L}) = s(\overline{\Delta L}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta L_i - \overline{\Delta L})^2}{l(n-1)}} \dots\dots\dots(13)$$

b) K 的估计值及其标准不确定度评估

K 值用标准光面环规在测长仪上进行校准, K 值按公式(1)计算。

D_s 的估计值及其标准不确定度可根据其校准证书确定, 并需考虑上次校准以来直径的漂移。

δL 估计值的确定及其标准不确定度评估与 ΔL 一样。可认为 D_s 和 δL 相互独立, 则

$$u(K) = \sqrt{u(D_s)^2 + u(\delta L)^2} \dots\dots\dots(14)$$

c) d_m 的估计值及其标准不确定度评估

量球已经过校准, d_m 的估计值取 T 型测头两量球直径的平均值: $d_m = (d_{m1} + d_{m2})/2$; 其标准不确定度可根据其校准证书确定, 并需考虑上次校准以来直径的漂移。

d) δI 的估计值及其标准不确定度评估

仪器已检定合格, 估计 δI 在仪器最大允许示值误差范围内服从均匀分布。如其最大允许示值误差为 $\pm a_{\delta}$, 则取 δI 估计值为 0, $u(\delta I) = a_{\delta} / \sqrt{3}$ 。

e) δT 的估计值及其标准不确定度评估

δT 的测量模型见公式(15)。

$$\delta T = -m(\bar{\alpha} \cdot \delta t + \delta \alpha \cdot \Delta \bar{t}) \dots\dots\dots(15)$$

式中:

$\bar{\alpha} = (\alpha_x + \alpha_s)/2$ ——被测件和仪器标尺的热膨胀系数平均值;

$\delta t = t_x - t_s$ ——被测件和仪器标尺的温差;

$\delta \alpha = \alpha_x - \alpha_s$ ——被测件和仪器标尺的热膨胀系数之差;

$\Delta \bar{t} = (t_x + t_s)/2 - t_0$ ——被测件和仪器标尺的平均温度与参考温度之差。

因量球法可满足高准确度的测量要求, 按表 1 要求, 估计 $\Delta \bar{t}$ 在 ± 1 °C 的范围内服从均匀分布, δt 在 ± 0.2 °C 范围内服从均匀分布, $\Delta \bar{t}$ 和 δt 的估计值均为 0, 则 δT 的估计值为 0, $u(\Delta \bar{t}) = (1/\sqrt{3})$ °C, $u(\delta t) = (0.2/\sqrt{3})$ °C。根据制造商的数据, 估计 α_x 在 $(11.5 \pm 1.0) \times 10^{-6}$ °C⁻¹ 的范围内服从均匀分布, α_s 在 $(8.0 \pm 1.0) \times 10^{-6}$ °C⁻¹ 的范围内服从均匀分布(此处 α_s 按通常测长

仪玻璃光栅尺的热膨胀系数进行评估,如实际与此不同,应按实际使用的测长仪标尺的热膨胀系数进行评估),则 $\delta\alpha$ 在 $3.5 \pm 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 的范围内服从三角分布, $\bar{\alpha}$ 的估计值为 $9.75 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $\delta\alpha$ 的估计值为 $3.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $u(\delta\alpha) = (2/\sqrt{6} \times 10^{-6}) \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。乘积项 $\delta\alpha \cdot \Delta\bar{t}$ 的标准不确定度平方 $u^2(\delta\alpha \cdot \Delta\bar{t}) = \Delta\bar{t}^2 u^2(\delta\alpha) + \delta\alpha^2 u^2(\Delta\bar{t}) + u^2(\delta\alpha) u^2(\Delta\bar{t})$ 。因 $\Delta\bar{t}$ 的估计值为 0, 则 $u^2(\delta\alpha \cdot \Delta\bar{t}) = \delta\alpha^2 u^2(\Delta\bar{t}) + u^2(\delta\alpha) u^2(\Delta\bar{t}) = 3.5^2 \times 10^{-12} \times (1/3) + (2/3) \times (1/3) \times 10^{-12} = 4.3 \times 10^{-12}$ 。因可认为 $u(\delta t)$ 和 $u(\delta\alpha \cdot \Delta\bar{t})$ 相互独立,故 $u(\delta T) = 2.36 \times 10^{-6} \text{ } m$ 。

f) δF 的估计值及其标准不确定度评估

量球法的测力很小,并且在 T 型测头 K 值校准时也有一定测力变形,这一变形已部分补偿了 ΔL 测量的测力变形,剩余变形量很小,相对其他不确定度分量可忽略。如为保守起见,可取其估计值为 0,标准不确定度 $u(\delta F) = 0.1 \text{ } \mu\text{m}$,服从均匀分布。

g) δS 的估计值及其标准不确定度评估

量球法测量时需通过工作台的移动使量球与特定牙槽接触,为消除工作台导轨直线度所引入的误差,采用高精度电感仪对工作台导轨直线度偏差进行监测, δS 的估计值为实测值,根据电感仪的技术指标, δS 的标准不确定度 $u(\delta S) = 0.2 \text{ } \mu\text{m}$ 。如测量时不采用电感仪进行监测,取 δS 的估计值为零, δS 的标准不确定度根据工作台导轨直线度的指标进行评估。

h) α_1, α_2 的估计值及其标准不确定度评估

α_1, α_2 的估计值及其标准不确定度可根据相关测量结果确定。

i) P_h, P 的估计值及其标准不确定度评估

因 $P_h = nP$,所以输入量 P_h, P 是相关的。在计算中径的测量结果时,输入量 P_h, P 可合并成一个输入量进行评估,将 P_h/n 代入 P ,则灵敏系数 $c_{P_h} = \partial d_2 / \partial P_h = \cot(\alpha/2) \cdot (\pi/2n - \theta) / \pi$, P_h, P 的估计值及其标准不确定度可根据相关测量结果确定。

在计算单一中径的测量结果时, P 取基本螺距。基本螺距是确定的量值,没有测量不确定度。此时 P 不是输入量,但 P_h 仍是输入量,其灵敏系数 $c_{P_h} = \partial d_2 / \partial P_h = -\theta \cdot \cot(\alpha/2) / \pi$ 。由于此灵敏系数的绝对值很小,可取 P_h 的名义值为估计值,由此引起的测量不确定度分量通常可忽略。如实际应用中不能忽略该测量不确定度分量,可假设 P_h 在其公差范围内服从均匀分布,如其公差为 T_{P_h} ,则标准不确定度为: $u(P_h) = T_{P_h} / \sqrt{3}$ 。

j) δB 的估计值及其标准不确定度评估

根据经验,估计 δB 在 $\pm 0.5 \text{ } \mu\text{m}$ 范围内服从均匀分布。 δB 估计值为 0,标准不确定度 $u(\delta B) = 0.5 / \sqrt{3} = 0.3 \text{ } \mu\text{m}$ 。

标准不确定度汇总表 4。

表 4 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
ΔL	$\overline{\Delta L}$	$s(\overline{\Delta L})$	正态	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\Delta L} \cdot u(\Delta L)$
K	校准结果	$\sqrt{u^2(D_s) + u^2(\delta L)}$	正态	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_K \cdot u(K)$
d_m	校准结果	$u(d_m)$	正态	$\cos\theta - \frac{1 - \sin\theta \cdot \sin\beta}{\cos\beta \cdot \sin(\alpha/2)}$	$c_{d_m} \cdot u(d_m)$
δI	0	$a_{\alpha} / \sqrt{3}$	矩型	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta I} \cdot u(\delta I)$

表 4 (续)

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
δT	0	$2.36 \times 10^{-6} m$	正态	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta T} \cdot u(\delta T)$
δF	0	$0.1 \mu m$	矩形	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta F} \cdot u(\delta F)$
δS	实测值	$0.2 \mu m$	矩形	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta S} \cdot u(\delta S)$
$\alpha/2$	实测值	$u(\alpha/2)$	正态	$\frac{d_T - d_2}{\sin(\alpha/2) \cdot \cos(\alpha/2)}$	$c_{\alpha/2} \cdot u(\alpha/2)$
P_h	实测值	$u(P_h)$	正态	$\frac{\cot(\alpha/2)}{\pi} (\frac{\pi}{2n} - \theta)$	$c_{P_h} \cdot u(P_h)$
δB	0	$0.3 \mu m$	矩形	1	$c_{\delta B} \cdot u(\delta B)$

6.1.1.2.3.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 d_2 的估计值 d_{2e} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得。因所有输入量都被认为是独立无关的,所以

合成标准不确定度: $u_c(d_{2e}) = \sqrt{\sum u_i^2(d_{2e})}$ 。

扩展不确定度: $U = k \cdot u_c(d_{2e})$ 。

注 1: 标准不确定度汇总表中所示的各灵敏系数是对测量模型在各输入量估计值处的一阶偏导数,求导及相关表达式均较为复杂。实际计算时,可令输入量估计值有一微小变化,按测量模型算出输出量估计值的相应变化,将输出量估计值的相应变化除以输入量估计值的微小变化,即求得相关的灵敏系数。采用此法的优点是不需进行求导,便于计算软件自动计算各灵敏系数,特别适用于求导复杂或困难的测量模型。

注 2: 本标准的测量不确定度评估主要采用 GUM 法。虽然 d_2 的测量模型是非线性的,但高次项较小,所以评估时只考虑了一次项。经采用蒙特卡洛法验证:这两种方法评估的最佳估计值之差小于规定的数值容差;GUM 法评估的扩展不确定度(包含因子 $k=2$)稍小于蒙特卡洛法评估的具有 95% 包含概率的包含区间的半宽,两者之差小于 $0.5 \mu m$,但大于 $0.05 \mu m$ 。当 d_{2e} 的测量不确定度末位保留至 $0.001 mm$ 时(可满足绝大多数螺纹中径的测量要求),相应的数值容差为 $0.5 \mu m$,GUM 法是适用的;当测量不确定度末位需保留至 $0.0001 mm$ 时,相应的数值容差为 $0.05 \mu m$,GUM 法不适用,应采用蒙特卡洛法评估 d_{2e} 的测量不确定度。

6.1.1.3.3 和 6.2.1.2.3 的测量不确定度评估参照本注执行,不再复述。

6.1.1.3 三针法

6.1.1.3.1 适用范围

适用于校对规及以下等级的圆柱外螺纹中径测量。

6.1.1.3.2 测量步骤

按下列步骤测量外螺纹中径。

- 根据被测螺纹的螺距和牙侧角,选择适用的量针(见附录 C),量针应先经检定合格或经过校准;
- 清洗被测螺纹、3 等量块和量针,按表 1 规定的高准确度要求进行温度平衡;

- c) 按仪器操作使用说明进行开机预热、调整等测量准备工作；
- d) 按被测螺纹的螺距在测长仪上选择测力(见附录 D)，将 3 等量块安装在工作台上，将三针分别置于两平面测帽与量块工作面之间(见图 2)，调整工作台使测长仪示值为最小值，将测长仪示值置零；
- e) 将三针分别置于外螺纹的两侧沟槽内(见图 3)，调整工作台使测长仪示值为最小值，测量和记录测长仪示值 Δl ；
- f) 测量和记录被测件和仪器的温度；
- g) 按 6.1.2 的方法测量被测螺纹的牙侧角，求得被测螺纹实际牙侧角的估计值及其测量不确定度；
- h) 按 6.1.3 的方法测量被测螺纹的螺距(导程)，求得被测螺纹实际螺距(导程)的估计值及其测量不确定度(单一中径测量不需测量螺距)。

注：测量准确度要求不高时，步骤 b)按表 1 规定的中等准确度要求进行温度平衡，步骤 f)、g)和 h)可省略；步骤 d)和 e)可改为不用量块置零，直接测量三针的外跨距 M ，记录仪器示值 M_d ，此时 $m = M - d_m$ 。

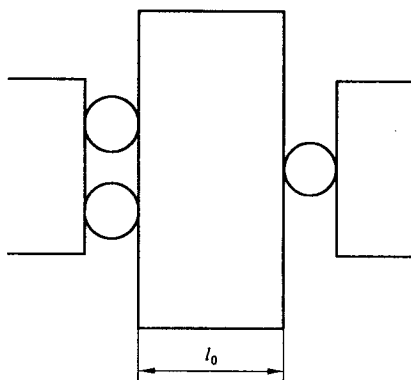


图 2 外螺纹中径测量三针法的对零

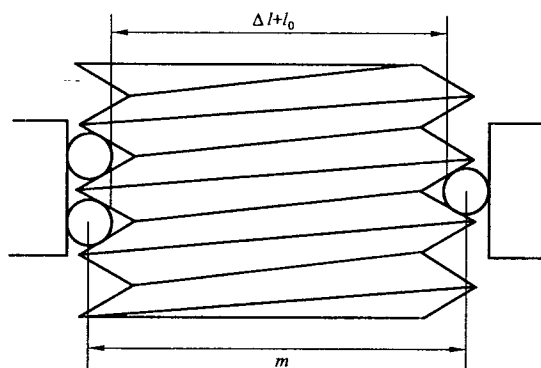


图 3 外螺纹中径测量的三针法

6.1.1.3.3 测量结果计算

6.1.1.3.3.1 测量模型

测量模型见公式(2)和公式(7)，其中 m 按公式(16)计算。

$$m = \Delta l + l_0 + d_m + \delta I + \delta T + \delta F \dots\dots\dots (16)$$

式中：

Δl ——采用 3 等量块对测长仪零位标定后，在测量条件下，量针与螺纹两侧牙槽接触，测长仪的测

量示值；

l_0 ——在参考条件下，3等量块的长度；

d_m ——量针直径；

δI ——测量器具示值误差所引入的修正值；

δT ——温度效应所引入的修正值；

δF ——测力所引入的修正值。

6.1.1.3.3.2 输入量的估计值及其标准不确定度评估

a) Δl 的估计值及其标准不确定度评估

Δl 的估计值取单次测量实测值或 l 次测量平均值，相关标准不确定度评估方法同量球法 ΔL 。

b) l_0 的估计值及其标准不确定度评估

l_0 的估计值及其标准不确定度可根据其校准证书确定，并需考虑上次校准以来量块长度的漂移。

c) δI 、 δT 、 δB 的估计值及其标准不确定度评估

同量球法。

d) d_m 的估计值及其标准不确定度评估

如三针已经过校准， d_m 的估计值取三针直径的平均值： $d_m = (d_{m1} + d_{m2} + 2d_{m3})/4$ ，其标准不确定度可根据其校准证书确定，并需考虑上次校准以来直径的漂移。如已检定合格，取其名义值为估计值，不确定度评估则需考虑其直径公差和形位公差。

e) δF 的估计值及其标准不确定度评估

δF 与测力大小、量针与牙侧面切点处的表面形状、曲率、材料性能、测量仪器结构、工作台导轨阻尼、测量程序等众多因素有关。根据三针法中径测量的实际情况，一般假设材料是均匀的，受力变形未超过其弹性极限。弹性接触变形按赫兹公式计算，同时必须考虑摩擦力的影响。 δF 的估计值按公式(17)~公式(34)计算。

$$\delta F = 1.63f \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中：

f ——单根量针与螺纹两牙侧面接触的受力压陷量，单位为毫米(mm)。

1) 对称圆柱螺纹

$$f = \frac{\delta}{\cos\gamma} \quad \dots\dots\dots(18)$$

式中：

δ ——量针与牙侧面的接触变形量，单位为毫米(mm)；

γ ——测力方向与牙侧面切点处压力方向的夹角。

$$\delta = 1.695 \times 10^{-3} \sqrt{\sin\tau} \cdot \sqrt{N^2 \cdot \left(\frac{2}{d_m} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right)} \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$\tau = \arccos \left[\left(\frac{2}{d_m} + \frac{1}{R'} - \frac{1}{R}\right) / \left(\frac{2}{d_m} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) \right] \quad \dots\dots\dots(20)$$

$$N = \frac{F}{2(\cos\gamma + 0.3756\sin\gamma)} \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$R = \frac{d_\tau}{2\sin(\alpha/2)} \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$R' = -\frac{\pi^2 d_\tau^3 \sin(\alpha/2)}{2P_b^2 \cos^4(\alpha/2)} \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$\cos\gamma = \frac{m - d_\tau \cos\theta}{d_m} \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$\sin\gamma = \frac{\sqrt{d_m^2 - (m - d_T \cos\theta)^2}}{d_m} \dots\dots\dots (25)$$

式中:

F ——测力,单位为千克力(kgf);

R, R' ——牙侧面切点处的主曲率半径,单位为毫米(mm)。

注:式(19)中系数 1.695×10^{-3} 与 $\left[\frac{E_1(1-\mu_1^2) + (E_2(1-\mu_2^2))}{E_1 E_2} \right]^{\frac{2}{3}}$ 线性相关,公式推导过程中取 $E_1 = E_2 = E = 2 \times 10^4 \text{ kgf/mm}^2, \mu_1 = \mu_2 = \mu = 0.3$ 。

2) 非对称圆柱螺纹

$$f = \frac{\delta_1 \sin\gamma_2 + \delta_2 \sin\gamma_1}{\sin(\gamma_1 + \gamma_2)} \dots\dots\dots (26)$$

$$\delta_i = 1.695 \times 10^{-3} \sqrt{\sin\tau_i} \cdot \sqrt[3]{N_i^2 \cdot \left(\frac{2}{d_m} + \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_i'} \right)} \dots\dots\dots (27)$$

$$\tau_i = \arccos \left[\left(\frac{2}{d_m} + \frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_i'} \right) / \left(\frac{2}{d_m} + \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_i'} \right) \right] \dots\dots\dots (28)$$

$$R_i = \frac{d_{Ti}}{2 \sin\alpha_i} \dots\dots\dots (29)$$

$$R_i' = - \frac{\pi^2 d_{Ti}^3 \sin\alpha_i}{2 P_h^2 \cos^4 \alpha_i} \dots\dots\dots (30)$$

$$\cos\gamma_i = \frac{m - d_{Ti} \cos\theta_i}{d_m} \dots\dots\dots (31)$$

$$\sin\gamma_i = \frac{\sqrt{d_m^2 - (m - d_{Ti} \cos\theta_i)^2}}{d_m} \dots\dots\dots (32)$$

$$N_1 = \frac{F(\sin\gamma_2 + 0.375 \ 6\cos\gamma_2)}{(\sin\gamma_1 + 0.375 \ 6\cos\gamma_1)(\cos\gamma_2 + 0.375 \ 6\sin\gamma_2) + (\sin\gamma_2 + 0.375 \ 6\cos\gamma_2)(\cos\gamma_1 + 0.375 \ 6\sin\gamma_1)} \dots\dots\dots (33)$$

$$N_2 = \frac{F(\sin\gamma_1 + 0.375 \ 6\cos\gamma_1)}{(\sin\gamma_1 + 0.375 \ 6\cos\gamma_1)(\cos\gamma_2 + 0.375 \ 6\sin\gamma_2) + (\sin\gamma_2 + 0.375 \ 6\cos\gamma_2)(\cos\gamma_1 + 0.375 \ 6\sin\gamma_1)} \dots\dots\dots (34)$$

经大量实验验证,估计 δF 的标准不确定度 $u(\delta F) = 0.3 \ \mu\text{m}$ 。

f) α_1, α_2 的估计值及其标准不确定度评估

如测量分类为 1b 和 2c 类, α_1, α_2 的估计值及其标准不确定度可根据相关测量结果确定。

如测量分类为 1a、2a 和 2b 类,不对 α_1, α_2 进行测量。如其公差分别为 $T_{\alpha_1}, T_{\alpha_2}$, 假设 α_1, α_2 在其公差范围内服从均匀分布,取其名义值为估计值,标准不确定度为: $u(\alpha_1) = T_{\alpha_1} / \sqrt{3}, u(\alpha_2) = T_{\alpha_2} / \sqrt{3}$ 。

g) P_h, P 的估计值及其标准不确定度评估

如测量分类为 1b、2b 和 2c 类,同量球法。

如测量分类为 1a 和 2a 类,不对 P_h, P 进行测量。输入量 P_h, P 可合并成一个输入量进行评估,将 P_h/n 代入 P 。如 P_h 公差为 T_{P_h} , 假设 P_h 在其公差范围内服从均匀分布,取其名义值为估计值,标准不确定度为: $u(P_h) = T_{P_h} / \sqrt{3}$ 。

标准不确定度汇总表 5。

表 5 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
Δl	$\overline{\Delta l}$	$s(\overline{\Delta l})$	正态	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\Delta l} \cdot u(\Delta l)$
l_0	校准结果	$u(l_0)$	正态	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{l_0} \cdot u(l_0)$
d_m	校准结果	$u(d_m)$	正态	$\cos\theta - \frac{1 - \sin\theta \cdot \sin\beta}{\cos\beta \cdot \sin(\alpha/2)}$	$c_{d_m} \cdot u(d_m)$
δI	0	$a_{\text{IX}} / \sqrt{3}$	矩形	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta I} \cdot u(\delta I)$
δT	0	$2.36 \times 10^{-6} \text{ m}$	正态	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta T} \cdot u(\delta T)$
δF	计算结果	$0.3 \mu\text{m}$	矩形	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta F} \cdot u(\delta F)$
$\alpha/2$	实测值	$u(\alpha/2)$	正态	$\frac{d_T - d_2}{\sin(\alpha/2) \cdot \cos(\alpha/2)}$	$c_{\alpha/2} \cdot u(\alpha/2)$
p_h	实测值	$u(P_h)$	正态	$\frac{\cot(\alpha/2)}{\pi} (\frac{\pi}{2n} - \theta)$	$c_{P_h} \cdot u(P_h)$
δB	0	$0.3 \mu\text{m}$	矩形	1	$c_{\delta B} \cdot u(\delta B)$

6.1.1.3.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 d_2 的估计值 d_{2e} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得。因所有输入量都被认为是独立无关的,所以

$$\text{合成标准不确定度: } u_c(d_{2e}) = \sqrt{\sum u_i^2(d_{2e})}。$$

$$\text{扩展不确定度: } U = k \cdot u_c(d_{2e})。$$

6.1.1.4 轴切法

6.1.1.4.1 适用范围

适用于工件外螺纹的中径测量。

6.1.1.4.2 测量步骤

按下列步骤测量外螺纹中径。

- 根据被测螺纹的螺距选择测量刀,螺距为 0.5 mm~3 mm 的,选用刃口与刻线间距为 0.3 mm 的测量刀;螺距为 3 mm~6 mm 的,选用刃口与刻线间距为 0.9 mm 的测量刀;螺距小于 0.5 mm 的,不能采用轴切法测量;
- 清洗被测螺纹和测量刀,按表 1 规定的中等准确度要求进行温度平衡;
- 将被测螺纹安装在万工显两顶针之间,并使测量刀刃在螺纹轴线平面上与螺纹牙型轮廓密合;
- 将显微镜倾斜一个螺纹升角 ϕ (沿螺旋线方向倾斜),调整焦距,使测量刀刃口影像清晰,然后将显微镜归零;

- e) 瞄准测量刀刻线,使测量刀刻线与目镜中相应虚线对准,读取和记录万工显横向坐标示值;再横向移动显微镜到螺纹轴线另一边,瞄准测量刀刻线,读取和记录第二个横向坐标示值;两次测量示值之差即为被测螺纹中径的测量示值;
- f) 为消除螺纹轴线与纵向坐标轴线不平行引起的系统误差,应在螺纹牙型左、右两侧各测量一次(见图4),取两次测量的算术平均值为测得值。

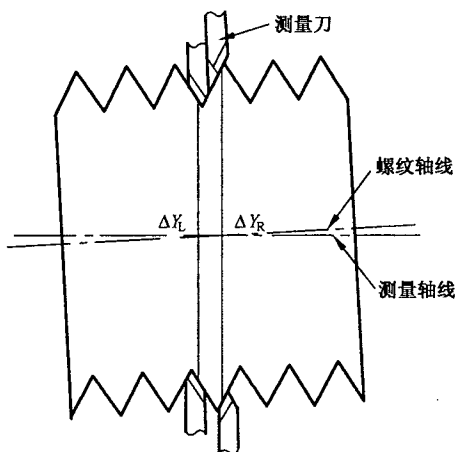


图4 外螺纹中径测量的轴切法

6.1.1.4.3 测量结果计算

6.1.1.4.3.1 测量模型

测量模型见公式(35)。

$$d_2 = \Delta Y + \delta I + \delta T + \delta K \dots\dots\dots (35)$$

式中:

ΔY —— 螺纹牙型左、右两侧测量示值的平均值, $\Delta Y = \frac{\Delta Y_L + \Delta Y_R}{2}$;

δI —— 测量器具示值误差所引入的修正值;

δT —— 温度效应所引入的修正值;

δK —— 刀刃磨损及刻线误差所引入的修正值。

6.1.1.4.3.2 输入量的估计值及其标准不确定度评估

- a) ΔY 的估计值及其标准不确定度评估

ΔY 的标准不确定度可采用 A 类方法进行评估。按测量步骤 c)、d)、e)、f) 重复进行 $n(n \geq 10)$ 次测量,根据贝塞尔公式,实验标准差为:

单次实验标准差:

$$s(\Delta Y) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Y_i - \overline{\Delta Y})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (36)$$

l 次平均值实验标准差:

$$s(\overline{\Delta Y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Y_i - \overline{\Delta Y})^2}{l(n-1)}} \dots\dots\dots (37)$$

如实际测量次数为一次, ΔL 的估计值为实测值, 标准不确定度为:

$$u(\Delta Y) = s(\Delta Y) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Y_i - \overline{\Delta Y})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (38)$$

b) δI 的估计值及其标准不确定度评估

万工显已检定合格, 估计 δI 在万工显最大允许示值误差范围内服从均匀分布。万工显最大允许示值误差为 $\pm(1 \mu\text{m} + 10 \times 10^{-6} L)$, 取 δI 估计值为 0, $u(\delta I) = (1 \mu\text{m} + 10 \times 10^{-6} L) / \sqrt{3}$ 。

c) δT 的估计值及其标准不确定度评估

δT 的测量模型见公式(39)。

$$\delta T = -\Delta Y(\bar{\alpha} \cdot \delta t + \delta \alpha \cdot \Delta \bar{t}) \dots\dots\dots (39)$$

式中:

- $\bar{\alpha} = (\alpha_x + \alpha_s) / 2$ —— 被测件和仪器标尺的热膨胀系数平均值;
- $\delta t = t_x - t_s$ —— 被测件和仪器标尺的温差;
- $\delta \alpha = \alpha_x - \alpha_s$ —— 被测件和仪器标尺的热膨胀系数之差;
- $\Delta \bar{t} = (t_x + t_s) / 2 - t_0$ —— 被测件和仪器标尺的平均温度与参考温度之差。

因轴切法可满足中、低准确度的测量要求, 根据表 1 要求, 估计 $\Delta \bar{t}$ 在 $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 的范围内服从均匀分布, δt 在 $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内服从均匀分布, $\Delta \bar{t}$ 和 δt 的估计值均为 0, 则 δT 的估计值为 0, $u(\Delta \bar{t}) = (2 / \sqrt{3}) \text{ }^\circ\text{C}$, $u(\delta t) = (0.5 / \sqrt{3}) \text{ }^\circ\text{C}$ 。根据制造商的数据, 估计 α_x 和 α_s 分别在 $(11.5 \pm 1.0) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 和 $(10.2 \pm 0.5) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 的范围内服从均匀分布, 则 $\delta \alpha$ 在 $(1.3 \pm 1.5) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 的范围内服从梯形分布, $\bar{\alpha}$ 的估计值为 $10.85 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $\delta \alpha$ 的估计值为 $1.3 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $u(\delta \alpha) = 1.5 / \sqrt{6 / (1 + 0.33^2)} \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} = 0.64 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 。乘积项 $\delta \alpha \cdot \Delta \bar{t}$ 的标准不确定度平方 $u^2(\delta \alpha \cdot \Delta \bar{t}) = \Delta \bar{t}^2 u^2(\delta \alpha) + \delta \alpha^2 u^2(\Delta \bar{t}) + u^2(\delta \alpha) u^2(\Delta \bar{t})$ 。因 $\Delta \bar{t}$ 的估计值为 0, 则 $u^2(\delta \alpha \cdot \Delta \bar{t}) = \delta \alpha^2 u^2(\Delta \bar{t}) + u^2(\delta \alpha) u^2(\Delta \bar{t}) = 2.8 \times 10^{-12}$ 。因可认为 $u(\delta t)$ 和 $u(\delta \alpha \cdot \Delta \bar{t})$ 相互独立, 故 $u(\delta T) = 3.6 \times 10^{-6} \Delta Y$ 。

d) δK 的估计值及其标准不确定度评估

采用一把测量刀时:

$$\delta K = \frac{2\Delta b}{\sin(\alpha/2)} \dots\dots\dots (40)$$

采用两把测量刀时:

$$\delta K = \frac{\Delta b_1 + \Delta b_2}{\sin(\alpha/2)} \dots\dots\dots (41)$$

式中: Δb 、 Δb_1 、 Δb_2 为各把测量刀磨损后刃口与刻线间距的理论值与实际值之差。它们的估计值及标准不确定度可根据测量刀的校准证书确定, 并需考虑上次校准以来校准值的漂移。标准不确定度汇总见表 6。

表 6 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
ΔY	实测值	$s(\Delta Y)$	正态	1	$s(\Delta Y)$
δI	0	$(1 \mu\text{m} + 10 \times 10^{-6} \Delta Y) / \sqrt{3}$	矩型	1	$(1 \mu\text{m} + 10 \times 10^{-6} \Delta Y) / \sqrt{3}$
δT	0	$3.6 \times 10^{-6} \Delta Y$	正态	1	$3.6 \times 10^{-6} \Delta Y$
δK	$\frac{2\Delta b}{\sin(\alpha/2)}$	$\frac{2}{\sin(\alpha/2)} u(\Delta b)$	正态	1	$\frac{2}{\sin(\alpha/2)} u(\Delta b)$

6.1.1.4.3.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 d_2 的估计值 d_{2e} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得。因所有输入量都被认为是独立无关的,所以

$$\text{合成标准不确定度: } u_c(d_{2e}) = \sqrt{\sum u_i^2(d_{2e})}.$$

$$\text{扩展不确定度: } U = k \cdot u_c(d_{2e}).$$

6.1.1.5 外径千分尺法

6.1.1.5.1 适用范围

适用于工件圆柱外螺纹的中径测量。

6.1.1.5.2 测量步骤

按下列步骤测量外螺纹中径。

- a) 根据被测螺纹的螺距和牙侧角,选择适用的量针(见附录 C),量针应先经检定合格或经过校准;
- b) 清洗被测螺纹和量针,按表 1 规定的低准确度要求进行温度平衡;
- c) 将三针相距 1/2 螺距分别置于外螺纹的两侧沟槽内,用外径千分尺测量三针的外跨距 M_d ,记录千分尺的示值 M_d 。

6.1.1.5.3 测量结果计算

6.1.1.5.3.1 测量模型

测量模型见公式(2)和公式(7),其中 m 按公式(42)计算。

$$m = M_d - d_m + \delta I + \delta T + \delta F \dots\dots\dots (42)$$

式中:

M_d ——外径千分尺的测量示值;

d_m ——量针直径;

δI ——测量器具示值误差所引入的修正值;

δT ——温度效应所引入的修正值;

δF ——测力所引入的修正值。

6.1.1.5.3.2 输入量的估计值及其标准不确定度评估

- a) $M_d, d_m, a_1, a_2, P_h, P, \delta B$ 的估计值及其标准不确定度评估同三针法。
- b) δI 的估计值及其标准不确定度评估
外径千分尺已检定合格,估计 δI 在其最大允许示值误差范围内服从均匀分布。外径千分尺最大允许示值误差为 $\pm 4 \mu\text{m}$,故取 δI 估计值为 0, $u(\delta I) = 4/\sqrt{3} = 2.3 \mu\text{m}$ 。
- c) δT 的估计值及其标准不确定度评估
 δT 的测量模型见公式(43)。

$$\delta T = -m(\bar{\alpha} \cdot \delta t + \delta \alpha \cdot \Delta t) \dots\dots\dots (43)$$

式中:

$\bar{\alpha} = (\alpha_x + \alpha_s)/2$ ——被测件和仪器标尺的热膨胀系数平均值;

$\delta t = t_x - t_s$ —— 被测件和仪器标尺的温差；

$\delta\alpha = \alpha_x - \alpha_s$ —— 被测件和仪器标尺的热膨胀系数之差；

$\bar{\Delta t} = (t_x + t_s)/2 - t_0$ —— 被测件和仪器标尺的平均温度与参考温度之差。

因量具法可满足低准确度的测量要求,根据表 1 要求, Δt 在 $\pm 10^\circ\text{C}$ 的范围内服从均匀分布, δt 在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 范围内服从均匀分布, Δt 和 δt 的估计值均为 0,则 δT 的估计值为 0, $u(\Delta t) = (10/\sqrt{3})^\circ\text{C}$, $u(\delta t) = (1/\sqrt{3})^\circ\text{C}$ 。根据制造商的数据,估计 α_x 和 α_s 均在 $(11.5 \pm 1.0) \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ 的范围内服从均匀分布,则 $\delta\alpha$ 在 $\pm 2 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ 的范围内服从三角分布, $\bar{\alpha}$ 的估计值为 $11.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, $\delta\alpha$ 的估计值为 0, $u(\delta\alpha) = 2/\sqrt{6} \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ 。乘积项 $\delta\alpha \cdot \Delta t$ 的标准不确定度平方 $u^2(\delta\alpha \cdot \Delta t) = \Delta t^2 u^2(\delta\alpha) + \delta\alpha^2 u^2(\Delta t) + u^2(\delta\alpha) u^2(\Delta t)$ 。因 Δt 和 $\delta\alpha$ 的估计值均为 0, 则 $u^2(\delta\alpha \cdot \Delta t) = u^2(\delta\alpha) u^2(\Delta t) = (2/3) \times (100/3) \times 10^{-12} = (200/9) \times 10^{-12}$ 。因可认为 $u(\delta t)$ 和 $u(\delta\alpha \cdot \Delta t)$ 相互独立,故 $u(\delta T) = 8.2 \times 10^{-6} \text{ m}$ 。

d) δF 的估计值及其标准不确定度评估

δF 的计算公式同三针法。外径千分尺的测力一般为 8 N, δF 的估计值可将 8 N 代入计算公式求得,其标准不确定度评估同三针法。

标准不确定度汇总见表 7。

表 7 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
M_d	\bar{M}_d	$s(\bar{M}_d)$	正态	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{dL} \cdot u(\Delta L)$
d_m	校准结果	$u(d_m)$	正态	$-\cos\theta - \frac{1 - \sin\theta \cdot \sin\beta}{\cos\beta \cdot \sin(\alpha/2)}$	$c_{d_m} \cdot u(d_m)$
δI	0	$2.3 \mu\text{m}$	矩形	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta I} \cdot u(\delta I)$
δT	0	$8.2 \times 10^{-6} \text{ m}$	正态	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta T} \cdot u(\delta T)$
δF	计算结果	$0.3 \mu\text{m}$	矩形	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta + \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta F} \cdot u(\delta F)$
$\alpha/2$	名义值	$u(\alpha/2)$	正态	$\frac{d_T - d_2}{\sin(\alpha/2) \cdot \cos(\alpha/2)}$	$c_{\alpha/2} \cdot u(\alpha/2)$
P_h	名义值	$u(P_h)$	正态	$\frac{\cot(\alpha/2)}{\pi} (\frac{\pi}{2n} - \theta)$	$c_{P_h} \cdot u(P_h)$
δB	0	$0.3 \mu\text{m}$	矩形	1	$c_{\delta B} \cdot u(\delta B)$

6.1.1.5.3.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 d_2 的估计值 d_{2e} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得。因所有输入量都被认为是独立无关的,所以

合成标准不确定度: $u_c(d_{2e}) = \sqrt{\sum u_i^2(d_{2e})}$ 。

扩展不确定度: $U = k \cdot u_c(d_{2e})$ 。

6.1.1.6 螺纹千分尺法

按被测螺纹的螺距选取测头,按使用说明书调整零位并清洁测量面和测微螺杆。测量时先将 V 形测头测量面与螺纹外廓的被测面接触,再缓慢进给测微螺杆,使锥形测头测量面与螺纹的另一被测面接触。将要接触时,通过转动测力装置渐进量面,听见“咔咔”声,感觉到测力装置里打滑空转,表明测量面已接触上,即可读数。

按螺纹千分尺的技术指标,其最大综合误差为 ± 0.028 mm,由于其测头存在一定的角度误差,工件外螺纹的螺距和牙侧角也存在较大误差,故在用绝对法测量时,其中径测量不确定度可达 0.10 mm。该方法可用于精度要求不高的工件外螺纹中径测量,也常用于螺纹量规、丝锥等量刃具的加工过程中确定螺纹中径的磨削余量。

6.1.2 牙侧角

6.1.2.1 概述

牙侧角主要采用万工显进行测量。大螺距外螺纹牙侧角常用影像法测量,小螺距外螺纹牙侧角常用衍射干涉法测量。也可采用其他满足测量准确度要求的方法进行测量。

6.1.2.2 影像法

6.1.2.2.1 适用范围

适用于外螺纹的牙侧角测量。

6.1.2.2.2 测量步骤

按下列步骤测量外螺纹牙侧角。

- 清洗被检螺纹,用对焦棒调好显微镜焦距,将被检螺纹安装在顶针上,使螺纹的测量部位位于显微镜光轴中心;
- 通过计算或查表,调节仪器立柱下方照明系统的光圈,使其达到最佳光圈直径。最佳光圈直径按公式(44)计算。

$$D = 0.18 A \sqrt[3]{\frac{\sin(\alpha/2)}{d_2}} \dots\dots\dots (44)$$

式中:

- A —— 照明光源聚光透镜的焦距;
- α —— 被检螺纹牙型角,取名义值;
- d_2 —— 被检螺纹中径,取名义值。

- 将显微镜倾斜一个螺纹升角 ψ ,使左、右两牙侧轮廓成像清晰;用测角目镜中米字线瞄准牙型轮廓边缘(瞄准可采用等宽法,即米字线的中心虚线与牙型轮廓边缘保留一条很窄而宽度相等的光隙),在目镜的角度盘上读取和记录两牙侧角示值 α_{1d} 、 α_{2d} ;
- 为消除螺纹轴线与测量轴线不平行的影响,将显微镜反向倾斜一个螺纹升角 ψ ;在螺纹轴线另一侧,重复上一步骤,测得 α'_{1d} 、 α'_{2d} (见图 5);
- 因影像法测量牙侧角的不确定度主要来源于瞄准误差,为了减小测量示值的测量不确定度,可多次测量,取平均值作为测得值。不同螺距被检螺纹的最少测量次数应符合表 8 的规定。

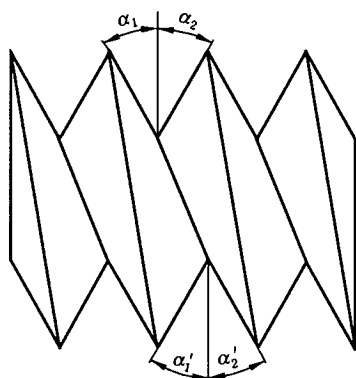


图 5 外螺纹牙侧角测量的影像法

表 8 牙侧角测量次数

螺距/mm	测量次数(L)
≤0.5	≥8
0.6~1	≥6
>1	≥4

6.1.2.2.3 测量结果计算

6.1.2.2.3.1 测量模型

测量模型见公式(45)~公式(47)。

$$\alpha_i = \arctan \frac{\tan \alpha_{in}}{\cos \psi} \dots\dots\dots (45)$$

$$\alpha_{in} = \overline{\alpha_{id}} + \delta I \dots\dots\dots (46)$$

$$\overline{\alpha_{id}} = \sum_{j=1}^l \frac{\alpha_{idj} + \alpha'_{idj}}{2l} \dots\dots\dots (47)$$

式中：

- α_i ——被检牙侧角($i=1,2$)；
- ψ ——被检螺纹中径处的升角,取名义值；
- α_{in} ——用万工显测得的法向牙侧角；
- $\overline{\alpha_{id}}$ ——螺纹轴线两侧多次测量示值的平均值；
- δI ——测量器具示值误差所引入的修正值；
- $\alpha_{idj}、\alpha'_{idj}$ ——螺纹轴线两侧的某次测量示值；
- l ——按表 8 要求进行的重复测量次数。

6.1.2.2.3.2 输入量的估计值及其标准不确定度评估

a) $\overline{\alpha_{id}}$ 的估计值及其标准不确定度评估

$\overline{\alpha_{id}}$ 的标准不确定度可采用 A 类方法进行评估。按测量步骤 c)、d)、e)重复进行 $n(n \geq 10)$ 次测量,根据贝塞尔公式, l 次测量平均值实验标准差为：

$$s(\overline{\alpha_{id}}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n [(\alpha_{idj} + \alpha'_{idj})/2 - \overline{\alpha_{id}}]^2}{l(n-1)}} \dots\dots\dots (48)$$

l 次测量平均值 $\bar{\alpha}_{id}$ 的标准不确定度为：

$$u(\bar{\alpha}_{id}) = s(\bar{\alpha}_{id}) \dots\dots\dots(49)$$

b) δI 的估计值及其标准不确定度评估

万工显已检定合格,估计 δI 在万工显最大测角允许示值误差范围内服从均匀分布。万工显最大测角允许示值误差为 $\pm 1'$,取 δI 估计值为 0, $u(\delta I) = 1'/\sqrt{3} = 0.6'$ 。

c) α_{in} 的估计值及其标准不确定度评估

δI 估计值为 0, α_{in} 的估计值为 $\bar{\alpha}_{id}$, α_{in} 的标准不确定度为： $u(\alpha_{in}) = \sqrt{u^2(\bar{\alpha}_{id}) + u^2(\delta I)}$ 。

标准不确定度汇总表见 9。

表 9 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
α_{in}	$\bar{\alpha}_{id}$	$\sqrt{u^2(\bar{\alpha}_{id}) + u^2(\delta I)}$	正态	$\frac{\cos^2 \alpha_i}{\cos^2 \alpha_{in} \cdot \cos \psi}$	$\frac{\cos^2 \alpha_i \cdot \sqrt{u^2(\bar{\alpha}_{id}) + u^2(\delta I)}}{\cos^2 \alpha_{in} \cdot \cos \psi}$

6.1.2.2.3.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 α_i 的估计值 α_{ie} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得。因各输入量都被认为是独立无关的,所以

$$\text{合成标准不确定度: } u_c(\alpha_{ie}) = \frac{\cos^2 \alpha_i}{\cos^2 \alpha_{in} \cos \psi} \sqrt{u^2(\bar{\alpha}_{id}) + u^2(\delta I)}。$$

$$\text{扩展不确定度: } U = k \cdot u_c(\alpha_{ie})。$$

注:虽然 α_i 的测量模型是非线性的,但经采用蒙特卡洛法验证:GUM 法与蒙特卡洛法评估的最佳估计值之差小于规定的数值容差;GUM 法评估的扩展不确定度(包含因子 $k=2$)与蒙特卡洛法评估的具有 95% 包含概率的包含区间的半宽之差小于规定的数值容差,GUM 法是适用的。

6.1.2.3 衍射干涉法

采用衍射干涉法测量牙侧角时,在视场内应观察到牙型高度的 80% 以上,用测角目镜中米字线瞄准第一条干涉条纹,进行测量读数。除此以外,其他与影像法相同。

6.1.3 螺距(导程)

6.1.3.1 概述

外螺纹螺距(导程)测量可采用测长仪法、万工显法。万工显法又可分为影像法、轴切法、灵敏杠杆法、干涉法等。采用高精度测长仪和电感仪可进行高精度螺距测量。由于万工显示值误差较大,瞄准定位的重复性也较差,故只能满足一般准确度的螺距测量要求。除上述方法外,也可采用螺距、导程测量仪、轴向剖面轮廓扫描法、三坐标测量机等其他满足测量准确度要求的方法。

6.1.3.2 测长仪法

6.1.3.2.1 适用范围

适用于校对规及以下等级的圆柱外螺纹的螺距(导程)测量。

6.1.3.2.2 测量步骤

按下列步骤测量外螺纹螺距(导程)。

- a) 根据被测螺纹的螺距和牙侧角,选择适用的测头;
- b) 清洗被测螺纹和量球,按表 1 规定的高准确度要求进行温度平衡;
- c) 按作业指导书要求进行开机预热、调整等测量准备工作;
- d) 将标准芯棒安装在工作台上两顶针间,在接近芯棒两端的直径截面处,用电感仪测量两截面最高点,调整工作台垂直偏摆使测量示值相等;在芯棒前侧或后侧,测量芯棒母线,调整工作台水平偏摆使测量示值相等;
- e) 将被测螺纹安装在两顶针间,使电感测头量球与螺纹起始端全牙侧的第一牙中径处接触(见图 6),使电感仪示值为特定值,读取和记录测长仪的示值 L_0 ,再依次使测头量球与相邻同名牙侧或任一同名牙侧接触,每次接触都微调测长仪使电感仪示值为特定值,读取和记录测长仪的示值 L_1, L_2, \dots, L_i ,直至测完全部螺牙;再以第一牙的另一牙侧为测量起点,依次测得 $L'_0, L'_1, L'_2, \dots, L'_i$;
- f) 将被测螺纹旋转 180° (只能旋转被测螺纹,不能用顶尖带动旋转),对左、右两牙侧重复上述测量过程,得两组读数 $L'_0, L'_1, L'_2, \dots, L'_i, L''_0, L''_1, L''_2, \dots, L''_i$ 。

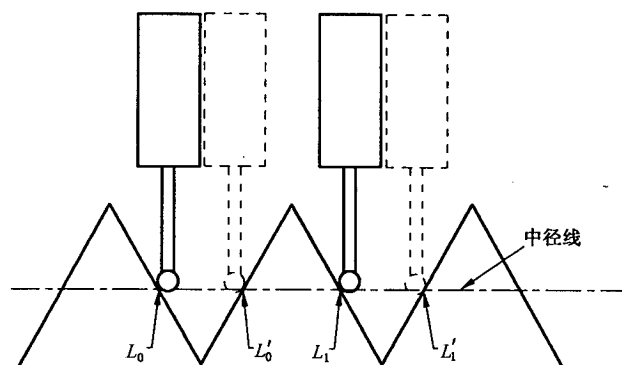


图 6 外螺纹螺距(导程)测量的测长仪法

6.1.3.2.3 测量结果计算

6.1.3.2.3.1 测量模型

测量模型见公式(50)~公式(54)。

$$P_i = P_{id} + \delta I + \delta T \quad \dots\dots\dots (50)$$

$$P_{id} = \frac{L_i - L_{i-1} + L'_i - L'_{i-1} + L''_i - L''_{i-1} + L'''_i - L'''_{i-1}}{4} \quad \dots\dots\dots (51)$$

$$\Delta P_i = P_i - P_0 \quad \dots\dots\dots (52)$$

$$\Delta P_{\Sigma i} = \sum_{j=1}^i \Delta P_j \quad \dots\dots\dots (53)$$

$$\Delta P_L = \Delta P_{\Sigma \max} - \Delta P_{\Sigma \min} \quad \dots\dots\dots (54)$$

式中:

- P_i ——第 i 牙单个螺距;
- P_{id} ——第 i 牙单个螺距的测量示值;
- δI ——测量器具示值误差所引入的修正值;
- δT ——温度效应所引入的修正值;
- L_i, L'_i, L''_i, L'''_i ——螺纹轴线两侧第 i 牙左、右牙侧的测量示值;
- ΔP_i ——第 i 牙单个螺距误差;

- P_0 —— 被测螺纹的基本螺距；
- $\Delta P_{\Sigma i}$ —— 第 i 牙螺距累积误差；
- $\Delta P_{\Sigma \max}$ —— 各牙螺距累积误差中的最大值；
- $\Delta P_{\Sigma \min}$ —— 各牙螺距累积误差中的最小值；
- ΔP_L —— 测量长度内最大螺距累积误差。

6.1.3.2.3.2 输入量的估计值及其标准不确定度评估

a) P_{id} 的估计值及其标准不确定度评估

因各牙侧测量示值的不确定度相等且相互独立,由式(51)可得: $u(P_{id}) = \sqrt{2}/2 \cdot u(L_i)$ 。
 $u(L_i)$ 可采用 A 类方法进行评估,将电感测头量球与螺纹某一牙侧中径处接触,使电感仪示值为特定值,读取和记录测长仪的示值 L_i ,重复进行 $n(n \geq 10)$ 次测量,根据贝塞尔公式,实验标准差为:

$$s(L_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots(55)$$

P_{id} 的标准不确定度为:

$$u(P_{id}) = \frac{\sqrt{2}}{2} u(L_i) = \frac{\sqrt{2}}{2} s(L_i) \dots\dots\dots(56)$$

b) δI 的估计值及其标准不确定度评估

同中径测量的量球法。

c) δT 的估计值及其标准不确定度评估

δT 的测量模型见公式(57)。

$$\delta T = -P_0(\bar{\alpha} \cdot \delta t + \delta \alpha \cdot \Delta \bar{t}) \dots\dots\dots(57)$$

具体评估同量球法中径测量, $u(\delta T) = 2.36 \times 10^{-6} P_0$ 。

标准不确定度汇总见表 10。

表 10 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
P_{id}	计算结果	$\frac{\sqrt{2}}{2} s(L_i)$	正态	1	$\frac{\sqrt{2}}{2} s(L_i)$
δI	0	$a_{\alpha} / \sqrt{3}$	均匀	1	$a_{\alpha} / \sqrt{3}$
δT	0	$2.36 \times 10^{-6} P_0$	正态	1	$2.36 \times 10^{-6} P_0$

6.1.3.2.3.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 P_i 的估计值 P_{ie} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得。因各输入量都被认为是独立无关的,所以

合成标准不确定度: $u_c(P_{ie}) = \sqrt{u^2(L_i)/2 + u^2(\delta I) + u^2(\delta T)}$ 。

扩展不确定度: $U = k \cdot u_c(P_{ie})$ 。

第 i 牙螺距累积误差可表达如下:

$$\Delta P_{\Sigma i} = \sum_{j=1}^i \Delta P_j = (L_i - L_0 + L'_i - L'_0 + L''_i - L''_0 + L'''_i - L'''_0) / 4 + i\delta I + i\delta T - iP_0$$

合成标准不确定度: $u_c(\Delta P_{\Sigma i}) = \sqrt{u^2(L_i)/2 + i^2 u^2(\delta I) + i^2 u^2(\delta T)}$ 。

如第 n 牙的螺距累积误差最大,第 i 牙的螺距累积误差最小,则测量长度内最大螺距累积误差 ΔP_L 可表达如下:

$$\Delta P_L = \Delta P_{\Sigma \max} - \Delta P_{\Sigma \min} = (L_n - L_i + L'_n - L'_i + L''_n - L''_i + L'''_n - L'''_i) / 4 + (n-i)\delta I + (n-i)\delta T - (n-i)P_0$$

$$\text{合成标准不确定度: } u_c(\Delta P_{Le}) = \sqrt{u^2(L_i)/2 + (n-i)^2 u^2(\delta I) + (n-i)^2 u^2(\delta T)}$$

6.1.3.3 影像法

采用万工显影像法测量螺距时,仪器的调整与牙侧角测量的相同。测量瞄准时,转动显微镜目镜上米字线分划板,用半压线法使米字线的中心虚线瞄准螺纹一侧的轮廓,读取仪器纵向坐标值。具体的测量位置、测量结果计算和不确定度评估方法同测长仪法。

使用光学分度头,可在万工显上对螺旋线误差进行静态测量。

6.1.4 大径

根据被测螺纹大径的公差要求,选择测长类仪器或千分尺进行测量。如采用比较测量,可用量块、标准圆柱或量块和标准圆柱组合,对测量器具进行标定。组合尺寸应接近大径的名义值。将被测螺纹置于测量器具的两平面测帽间,施加一定测力进行测量。在不同的轴向位置和径向进行测量,以确定大径圆柱的圆度和锥度是否超差。也可采用万工显进行影像法测量,将被检螺纹置于万工显的顶针架上,采用半压线法将目镜的分划板上米字线与被检螺纹牙顶相切,横向坐标对径读数之差即为大径值。

6.1.5 小径

工件外螺纹小径可采用带尖测头的螺纹千分尺等进行测量。操作方法类同于中径测量的螺纹千分尺法。螺纹塞规小径可采用万工显进行影像法测量,将被检螺纹置于万工显的顶针架上,将目镜的分划板上米字线与被检螺纹牙侧末端的连线重合,横向坐标对径读数之差即为小径值。

6.1.6 中径圆柱的圆度和锥度

按中径测量方法,在被测螺纹工作段两端和中部的三个直径截面内的某个直径方向进行测量,再在间隔 90° 的直径方向重复测量。一共测量六次。六次测量结果均符合中径的相关标准要求,则中径圆柱的圆度和锥度为合格。

6.1.7 大径相对中径跳动

大径相对中径跳动可采用测长仪或千分尺进行测量。首先使固定平面测帽与被测螺纹大径圆柱接触,再将两根量针置于螺纹轴线另一侧的相邻两牙槽内,使可动平面测帽与两根量针接触(见图7),施加一定测力进行测量。旋转被测螺纹在各个不同直径方向进行测量,找出测量示值的最大值和最小值,最大值与最小值之差为大径相对中径的跳动。

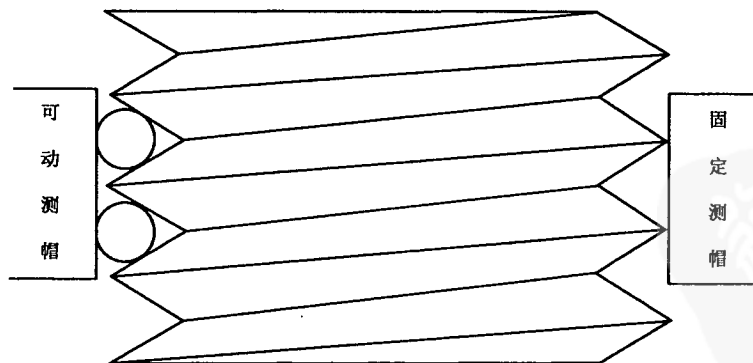


图7 大径相对中径跳动的测量

6.1.8 牙底圆弧半径

牙底圆弧半径一般不需要直接测量,只需确认其是否满足标准规定的小径要求即可。如需对其定量,可采用有投影功能的万工显、投影仪等光学仪器,将牙底圆弧投影轮廓与一系列不同半径的标准圆弧图样比较,找出与其最接近的两相邻标准圆弧,取它们半径的平均值作为被检牙底圆弧半径的估计值,相邻标准圆弧半径之差的一半为估计值的测量不确定度。

6.2 内螺纹单参数测量

6.2.1 中径

6.2.1.1 概述

内螺纹中径的测量方法主要采用量球法,其测量分类与外螺纹相同,见表 3。

6.2.1.2 量球法

6.2.1.2.1 适用范围

适用于圆柱螺纹环规及工件内螺纹的中径测量。

6.2.1.2.2 测量步骤

按下列步骤测量内螺纹中径。

- 根据被测螺纹的螺距和牙侧角,选择适用的量球(见附录 C),量球应先经过校准;
- 清洗被测螺纹和量球,按表 1 规定的高准确度要求进行温度平衡;
- 按仪器操作使用说明进行开机预热、调整等测量准备工作;
- 在测长仪上选择 T 型测头的测力,一般为 0.3 N 或 0.5 N。如无此选项,测力应不超过 0.5 N;
- 用光面标准环规对 T 型测头的 K 值进行校准;
- 安装被测件,将量球分别置于螺纹两侧牙槽内(见图 8),测量测长仪的位移距离,记录仪器示值 ΔL ;
- 测量和记录被测件和仪器的温度;
- 按 6.2.2 的方法测量被测螺纹的牙侧角,求得被测螺纹实际牙侧角的估计值及其测量不确定度。
- 按 6.2.3 的方法测量被测螺纹的螺距(导程),求得被测螺纹实际螺距(导程)的估计值及其测量不确定度(单一中径测量不需测量螺距)。

注:测量准确度要求不高时,步骤 b)按表 1 规定的中等准确度要求进行温度平衡,步骤 g)、h)和 i)可省略。

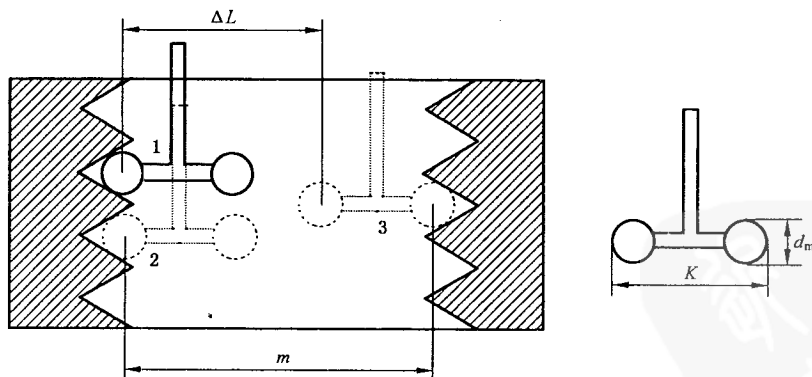


图 8 内螺纹中径测量的量球法

6.2.1.2.3 测量结果计算

6.2.1.2.3.1 测量模型

a) 对称圆柱内螺纹

在参考条件下,对称圆柱内螺纹的中径和单一中径按公式(58)和公式(59)计算。

$$D_2 = m \cdot \cos\theta + d_m \frac{\cos\beta}{\sin(\alpha/2)} - \left(\frac{P}{2} - \frac{P_h \cdot \theta}{\pi} \right) \cdot \cot(\alpha/2) + \delta B \quad \dots\dots\dots (58)$$

$$m = \Delta L + K - d_m + \delta I + \delta T + \delta F + \delta S \quad \dots\dots\dots (59)$$

式中:

$\alpha/2, P, P_h, \theta, \beta, \delta B$ ——同公式(2);

$\Delta L, K, d_m, \delta I, \delta T, \delta F, \delta S$ ——同公式(3)。

θ 和 β 按公式(60)和公式(61)进行迭代计算。

$$\sin\theta = d_m \cdot \frac{\sin\beta}{m} \quad \dots\dots\dots (60)$$

$$\tan\beta = \tan\theta \cdot \left(\frac{P_h \cdot \cos(\alpha/2)}{\pi \cdot m \cdot \sin\theta} - \sin(\alpha/2) \right) \quad \dots\dots\dots (61)$$

切点圆直径 d_T 按公式(62)计算。

$$d_T = \frac{P_h}{\pi} \cdot \cos(\alpha/2) \cdot \cot\beta \quad \dots\dots\dots (62)$$

b) 非对称圆柱内螺纹

同非对称圆柱外螺纹。

6.2.1.2.3.2 输入量的估计值及其标准不确定度评估

$\Delta L, K, d_m, \delta I, \delta T, \delta F, \delta S, \alpha_1, \alpha_2, P_h, P, \delta B$ 的估计值及其标准不确定度评估同外螺纹的量球法。标准不确定度汇总见表 11。

表 11 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
ΔL	$\overline{\Delta L}$	$s(\overline{\Delta L})$	正态	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta - \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\Delta L} \cdot u(\Delta L)$
K	校准结果	$\sqrt{u^2(D_s) + u^2(\delta L)}$	正态	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta - \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_K \cdot u(K)$
d_m	校准结果	$u(d_m)$	正态	$-\cos\theta + \frac{1 - \sin\theta \cdot \sin\beta}{\cos\beta \cdot \sin(\alpha/2)}$	$c_{d_m} \cdot u(d_m)$
δI	0	$a_{\delta I} / \sqrt{3}$	矩型	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta - \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta I} \cdot u(\delta I)$
δT	0	$2.36 \times 10^{-6} m$	正态	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta - \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta T} \cdot u(\delta T)$
δF	0	$0.1 \mu m$	矩型	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta - \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta F} \cdot u(\delta F)$
δS	实测值	$0.1 \mu m$	矩型	$\frac{\sin(\alpha/2) \cdot \cos\theta - \sin\theta \cdot \tan\beta}{\sin(\alpha/2)}$	$c_{\delta S} \cdot u(\delta S)$

表 11 (续)

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
$\alpha/2$	实测值	$u(\alpha/2)$	正态	$\frac{d_T - D_2}{\sin(\alpha/2) \cdot \cos(\alpha/2)}$	$c_{\alpha/2} \cdot u(\alpha/2)$
P_h	实测值	$u(P_h)$	正态	$-\frac{\cot(\alpha/2)}{\pi} \left(\frac{\pi}{2n} - \theta \right)$	$c_{P_h} \cdot u(P_h)$
δB	0	$0.3 \mu\text{m}$	矩型	1	$c_{\delta B} \cdot u(\delta B)$

6.2.1.2.3.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 D_2 的估计值 D_{2e} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得。因所有输入量都被认为是独立无关的,所以

$$\text{合成标准不确定度: } u_c(D_{2e}) = \sqrt{\sum u_i^2(D_{2e})}$$

$$\text{扩展不确定度: } U = k \cdot u_c(D_{2e})$$

6.2.2 牙侧角

内螺纹牙侧角测量主要采用印模法,也可采用轴线剖面轮廓扫描法等其他满足测量要求的方法。印模法是比较传统的方法,采用某些稳定的印模材料,制作内螺纹的印模,将其转换成外螺纹,再按外螺纹牙侧角的测量方法测量。印模转换一般会增加 $2'$ 的测量不确定度。

6.2.3 螺距(导程)

公称直径大于 3 mm 的内螺纹螺距(导程)测量可采用测长仪法,也可采用轴向剖面轮廓扫描法、三坐标测量机法等其他满足测量要求的方法。

采用测长仪法测量内螺纹螺距(导程)时,需使用一细长横向杠杆,杠杆一臂的顶端可根据被测螺纹的螺距换装不同的测头。测量时将测杆进入内螺纹,使量球与牙侧接触于中径附近(见图 9),由高精度电感仪定位,高精度测长仪测量读数;再依次将量球与相邻同名牙侧或任意同名牙侧接触测量。具体测量方法同外螺纹螺距(导程)测量的测长仪法。

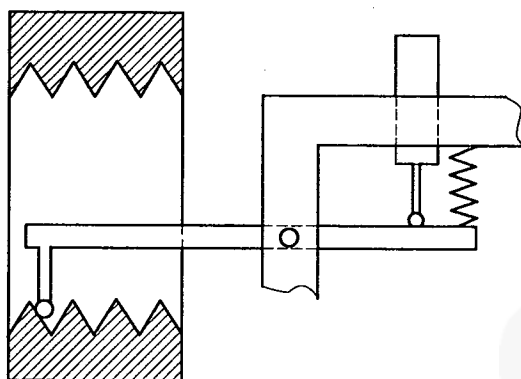


图 9 内螺纹螺距(导程)测量的测长仪法

6.2.4 中径圆柱的圆度和锥度

测量方法同外螺纹。

6.2.5 小径

公称直径大于或等于 20 mm 的工作环规的小径,采用两根标准圆柱和一组量块组合进行测量。两根已知直径的标准圆柱置于内螺纹直径方向上两侧与内螺纹接触,用一组量块组合测量两圆柱内侧母线之间的距离,该距离加上两标准圆柱的直径即为被测内螺纹的小径。

公称直径小于 20 mm 的工作环规的小径,可将一副精密楔形滑块置入被测内螺纹,滑动楔形滑块使其两侧圆柱面与内螺纹接触(见图 10),采用最大允许示值误差优于 $\pm(1\ \mu\text{m}+10\times 10^{-6}L)$ 的测长类器具测量楔形滑块两侧圆柱面外侧母线的距离,该距离即为被测内螺纹的小径。

工件内螺纹的小径可采用内测千分尺测量,也可采用螺纹指示量规测量。

采用上述方法在不同直径方向测量内螺纹小径,可测得内螺纹小径圆柱的圆度。

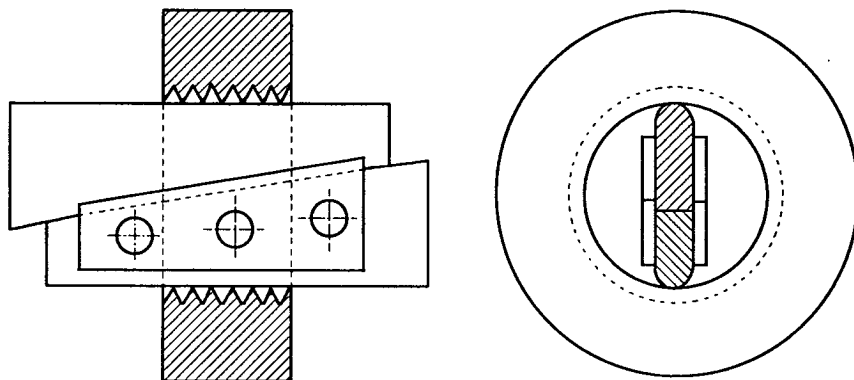


图 10 内螺纹小径测量的楔形滑块法

6.2.6 小径相对中径跳动

小径相对中径跳动采用螺纹指示量规进行测量,见附录 B。

6.3 测量结果报告

如被测螺纹参数的估计值为 y ,相关的扩展不确定度为 U ,则被测螺纹参数的测量结果为 $y\pm U$,包含因子 $k=2$ 。

测量不确定度评估及测量结果报告实例见附录 E。

注:如采用蒙特卡洛法评估测量不确定度,测量结果应报告下述信息:被测量的估计值 y 、估计值 y 的标准不确定度 $u(y)$ 、被测量的 95% 包含区间的端点。

7 螺纹检验

工件螺纹检验应使用经检测合格的工作螺纹量规和光滑极限量规或卡规。工作螺纹环规检验应使用经检测合格的校对螺纹塞规和光滑极限量规。

检验规则应符合 GB/T 3934、GB/T 10922、GB/T 8124 和 JB/T 10865 等标准中的有关规定。

为减少检验和验收时发生争议,推荐制造者、检验者和验收者使用同一合格的量规。若使用同一合格的量规困难时:

- 制造者宜使用新的(或磨损较少的)通端螺纹量规和磨损较多的(或接近磨损极限的)止端螺纹量规;
- 检验者和验收者宜使用磨损较多的(或接近磨损极限的)通端螺纹量规和新的(或磨损较少的)止端螺纹量规。

8 合格判定

若测量结果(被测螺纹参数的估计值及其测量不确定度)完全落在相应标准规定的允许范围以内,则被测螺纹参数判为合格。

若测量结果(被测螺纹参数的估计值及其测量不确定度)完全落在相应标准规定的允许范围以外,则被测螺纹参数判为不合格。

若测量结果(被测螺纹参数的估计值及其测量不确定度)部分落在相应标准规定的允许范围以外,则按照用户与生产商事前协商的协议进行合格判定。

采用经检测合格的极限量规进行螺纹参数检验时,若符合第7章的规定,则被检螺纹参数判为合格。

经测量和/或检验,相应标准规定的各项螺纹参数均检测合格,则被检螺纹判为合格。

附 录 A
(资料性附录)
螺纹多参数测量

A.1 概述

为实现高精度螺纹多参数自动测量,本附录介绍螺纹轴向剖面二维轮廓扫描法(以下简称扫描法)。通过测头沿被测螺纹轴向剖面轮廓进行二维接触扫描,获取被测螺纹轴向剖面轮廓的二维坐标信息,由计算软件算出各被测螺纹参数的测量结果。

采用扫描法可测量螺纹的中径、单一中径、锥度、大径、小径、螺距、牙侧角和牙侧直线度。

A.2 测量步骤

螺纹多参数测量按下列步骤进行:

- a) 根据被测螺纹,按仪器操作使用说明书选择适用的测头;
- b) 清洗被测螺纹、测头、标准规,按相关要求进行温度平衡;
- c) 按仪器使用说明书进行开机预热、调整等测量准备工作;
- d) 按仪器使用说明书对测头半径进行校准;
- e) 按仪器使用说明书安装和调整被测螺纹,使螺纹轴向剖面与二维扫描一致;可采用专用标准规对安装位置偏差进行校准;
- f) 启动仪器自动扫描、计算和显示测量结果。

A.3 测量结果计算

仪器计算软件自动计算、显示各个被测螺纹参数的估计值,但目前还没有测量不确定度信息。检测方应根据被测件、测量环境、生产商提供的仪器信息评估测量不确定度。应考虑的主要测量不确定度分量为:

- a) 测量重复性引起的测量不确定度分量;
- b) 仪器有限分辨率引起的测量不确定度分量,如此项明显小于 A.3a)项,则此项可忽略;
- c) 测头半径修正值不确定度引起的测量不确定度分量;
- d) 被测件安装位置偏差造成测头未沿轴向剖面轮廓扫描所引起的测量不确定度分量,如采用专用标准规对安装位置偏差进行校准并修正,则需考虑该修正值的测量不确定度;
- e) 温度效应引起的测量不确定度分量;
- f) 测力引起的测量不确定度分量,如测力很小,此项可忽略;
- g) 二维导轨的运动直线度引起的测量不确定度分量;
- h) 二维导轨的运动垂直度引起的测量不确定度分量;
- i) 二维位移的测量误差引起的测量不确定度分量;
- j) 数据处理不完善引起的测量不确定度分量。

目前,采用扫描法的测量仪器尚没有产品标准和校准规范,其量值溯源尚无规范方法。建议检测方将扫描法与其他方法的测量结果进行比对,验证扫描法测量不确定度评估的合理性。

附 录 B
(资料性附录)
螺纹指示量规

B.1 概述

螺纹指示量规主要用于工件螺纹参数的比较测量。主要由标准量规(setting gage)、架体、测头(滚轮式、双瓣式)、显示仪表组成。测头类型可分为:通端螺纹测头、锥形和 V 形测头等。内螺纹中径测量范围:4.5 mm~1 000 mm;外螺纹中径测量范围:1 mm~1 000 mm。

B.2 工件螺纹参数测量

在螺纹指示量规上装配不同的测头可测量工件螺纹的作用中径、中径、单一中径、中径圆柱圆度、中径圆柱锥度、导程(包括螺旋线)偏差引起的中径当量、牙侧角偏差引起的中径当量、外螺纹大径相对中径的跳动和内螺纹小径相对中径的跳动。不同测头对应的检测项目见表 B.1。

表 B.1 螺纹指示量规检测项目

测头型式	检测项目	中径圆柱的横截面形状条件
使用通端螺纹测头(长度约等于极限量规通端长度):	作用中径 中径圆柱圆度	—
a) 测头间隔 120°与工件接触		三棱
b) 测头间隔 180°与工件接触		椭圆(两棱)
使用圆锥和 V 形测头:	中径 中径圆柱的圆度和锥度	—
a) 测头间隔 120°与工件接触		三棱
b) 测头间隔 180°与工件接触		椭圆(两棱)
使用圆锥测头:	单一中径 中径圆柱的圆度和锥度	—
a) 测头间隔 120°与工件接触		三棱
b) 测头间隔 180°与工件接触		椭圆(两棱)
使用长度不超过一个螺距的通端螺纹测头与长度约等于极限量规通端长度的通端螺纹测头进行差分测量	导程(包括螺旋线)偏差引起的中径当量	—
使用圆锥和 V 形测头(测头与工件牙侧的接触高度为 0.09H)与长度不超过一个螺距的通端螺纹测头进行差分测量	牙侧角偏差引起的中径当量	—
使用 V 形或球形测头与光面测头	外螺纹大径或内螺纹小径相对中径的跳动	—

B.3 螺纹指示量规的校准

螺纹指示量规校准参见 IFI-301-2008《螺纹量规校准的要求和程序》^[3] 的第 19 章。

附录 C

(资料性附录)

用于中径测量的量针(球)直径选择

C.1 对称螺纹

中径测量时,推荐选择具有最佳直径的量针(球)。对称圆柱螺纹的最佳量针(球)直径按公式(C.1)、公式(C.2)和公式(C.3)进行迭代计算。

$$\tan\beta = \frac{P_h \cdot \cos(\alpha/2)}{\pi \cdot d_2} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

$$\tan\theta = \tan\beta / \left[\frac{P_h \cdot \cos(\alpha/2)}{\pi \cdot d_0 \cdot \sin\beta} + \sin(\alpha/2) \right] \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

$$d_0 = \frac{P/2 - P_h \cdot \theta/\pi}{\cos\beta \cdot \cos(\alpha/2)} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

d_0 ——量针(球)的最佳直径。

最佳直径不仅与牙侧角、螺距有关,还与中径、导程有关。由于不同螺距与中径的组合太多,国内外有关标准一般采用螺纹升角为零的近似测量模型确定近似最佳直径,其计算按公式(C.4)。

$$d_0 = \frac{P}{2\cos(\alpha/2)} \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

当螺纹升角不大时,选择近似最佳直径所确定的牙侧角估计值的灵敏系数 $c_{\alpha/2}$ 接近零,牙侧角偏差 $\Delta(\alpha/2)$ 对中径测量结果影响较小;升角大时,近似最佳直径将使 $\Delta(\alpha/2)$ 明显影响中径的测量结果。测量时应选择最接近最佳直径的量针(球),并保证所选直径不超过最大和最小极限直径,即 $d_{m \min} \leq d_m \leq d_{m \max}$ 。

如所选量针(球)直径与最佳直径不符,则灵敏系数 $c_{\alpha/2}$ 便不等于零,牙侧角的可能偏差将会影响中径的测量结果。能否满足测量要求,取决于由 $\alpha/2$ 引起的标准测量不确定度分量 $c_{\alpha/2} \cdot u(\alpha/2)$ [测量前 $u(\alpha/2)$ 概算为 $T_{\alpha/2}/\sqrt{3}$] 相对于测量任务的目标不确定度而言是否可接受。实际测量前,可先根据被测螺纹参数名义值和选用的量针(球)直径,按公式(C.5)、公式(C.6)、公式(C.7)和公式(C.8)计算和 m 、 M 、 d_T 和 $c_{\alpha/2}$ 。

$$m = \frac{d_m \cdot \sin\beta}{\sin\theta} \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

$$M = m + d_m \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

$$d_T = \frac{P_h \cdot \cos(\alpha/2) \cdot \cot\beta}{\pi} \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

$$c_{\alpha/2} = \frac{d_T - d_2}{\sin(\alpha/2) \cdot \cos(\alpha/2)} \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

θ 和 β 和按公式(C.9)和公式(C.10)进行迭代计算。

$$\tan\theta = \frac{\pi \cdot d_m \cdot \tan\beta \cdot \sin\beta}{P_h \cdot \cos(\alpha/2) + \pi \cdot d_m \cdot \sin\beta \cdot \sin(\alpha/2)} \quad \dots\dots\dots (C.9)$$

$$\tan\beta = \frac{P_h \cdot \sin(\alpha/2) \cdot \cos(\alpha/2)}{\pi \cdot d_2 \cdot \sin(\alpha/2) + P_h \cdot \theta \cdot \cos(\alpha/2) - 0.5\pi \cdot P \cdot \cos(\alpha/2) + \pi \cdot d_m \cdot \cos\beta \cdot \cos^2(\alpha/2)} \quad \dots\dots\dots (C.10)$$

由 $c_{\alpha/2} \cdot T_{\alpha/2}$ 预估牙侧角的可能偏差引起的测量不确定度分量,以确定是否要对牙侧角进行测量。

按表 C.1 所列判据可判定 $d_{m \min} \leq d_m \leq d_{m \max}$ 是否成立,并可确定 $d_{m \min}$ 和 $d_{m \max}$ 。

表 C.1 判定 $d_{m \min} \leq d_m \leq d_{m \max}$ 及确定 $d_{m \min}$ 、 $d_{m \max}$ 的判据

被测螺纹	量针/球	判据
外螺纹	量针	$M \geq d_{m \max}$ 且 $d_{1 \max} \leq d_T \leq d_{\min}$
	量球	$d_{1 \max} \leq d_T \leq d_{\min}$
内螺纹	量球	$D_{1 \max} \leq d_T \leq D_{\min}$

用于单线工件外螺纹中径测量的量针最佳直径、极限直径、选用直径见表 C.2~表 C.5。

表 C.2 普通螺纹 M 量针直径

螺纹		量针			
公称直径 mm	螺距 mm	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm
d	P	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$
1	0.2	0.118	0.101	0.115	0.189
1.8	0.2	0.118	0.101	0.115	0.198
1	0.25	0.142	0.126	0.144	0.234
2.2	0.25	0.142	0.126	0.144	0.244
1.4	0.3	0.170	0.152	0.173	0.282
1.6	0.35	0.201	0.177	0.201	0.337
3.5	0.35	0.201	0.177	0.202	0.341
2	0.4	0.232	0.202	0.230	0.384
2.2	0.45	0.260	0.227	0.259	0.434
2.5	0.45	0.260	0.227	0.259	0.434
3	0.5	0.291	0.253	0.288	0.483
5.5	0.5	0.291	0.253	0.289	0.484
3.5	0.6	0.343	0.303	0.346	0.578
4	0.7	0.402	0.354	0.403	0.672
4.5	0.75	0.433	0.379	0.432	0.723
11	0.75	0.433	0.379	0.433	0.730
5	0.8	0.461	0.404	0.461	0.750
6	1	0.572	0.505	0.576	0.942
30	1	0.572	0.505	0.577	0.921
8	1.25	0.724	0.631	0.720	1.164
14	1.25	0.724	0.632	0.721	1.180
10	1.5	0.866	0.757	0.865	1.404
150	1.5	0.866	0.758	0.866	1.441

表 C.2 (续)

螺纹		量针			
公称直径 mm	螺距 mm	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm
d	P	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$
12	1.75	1.008	0.884	1.009	1.640
14	2	1.157	1.010	1.153	1.884
150	2	1.157	1.011	1.155	1.920
18	2.5	1.441	1.262	1.441	2.346
22	2.5	1.441	1.263	1.442	2.347
24	3	1.732	1.515	1.730	2.838
250	3	1.732	1.516	1.732	2.898
30	3.5	2.020	1.767	2.019	3.310
33	3.5	2.020	1.768	2.019	3.310
36	4	2.311	2.020	2.307	3.775
300	4	2.311	2.021	2.309	3.841
42	4.5	2.595	2.273	2.596	4.260
45	4.5	2.595	2.273	2.596	4.260
48	5	2.886	2.525	2.885	4.748
52	5	2.886	2.526	2.885	4.749
56	5.5	3.177	2.778	3.173	5.236
60	5.5	3.177	2.778	3.174	5.237
64	6	3.468	3.030	3.462	5.725
300	6	3.468	3.031	3.464	5.761
150	8	4.773	4.041	4.618	7.648
300	8	4.773	4.041	4.619	7.669

表 C.3 统一螺纹 UN 量针直径

螺纹		量针直径			
公称直径	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm
d	n	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$
0	80	0.185	0.160	0.183	0.294
1	72	0.201	0.178	0.203	0.328
1	64	0.232	0.200	0.228	0.367
2	64	0.232	0.200	0.229	0.368

表 C.3 (续)

螺 纹		量 针 直 径			
公称直径	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm
d	n	d_m	$d_{m \min}$	d_o	$d_{m \max}$
2	56	0.260	0.229	0.261	0.423
3	56	0.260	0.229	0.261	0.423
3	48	0.291	0.267	0.305	0.493
4	48	0.291	0.267	0.305	0.495
5	44	0.343	0.292	0.333	0.542
4	40	0.343	0.320	0.365	0.593
5	40	0.343	0.320	0.366	0.595
6	40	0.343	0.320	0.366	0.595
8	36	0.402	0.356	0.407	0.663
6	32	0.433	0.400	0.457	0.743
8	32	0.433	0.401	0.457	0.746
10	32	0.433	0.401	0.457	0.748
12	32	0.433	0.401	0.458	0.752
1	32	0.433	0.401	0.458	0.763
12	28	0.511	0.458	0.523	0.857
1 1/2	28	0.511	0.458	0.524	0.875
10	24	0.572	0.534	0.609	0.999
12	24	0.572	0.534	0.609	1.001
11/16	24	0.572	0.535	0.611	1.013
1/4	20	0.724	0.641	0.731	1.204
3	20	0.724	0.642	0.733	1.232
5/16	18	0.796	0.712	0.813	1.342
1 11/16	18	0.796	0.713	0.815	1.361
3/8	16	0.866	0.801	0.915	1.515
6	16	0.866	0.802	0.917	1.548
7/16	14	1.047	0.916	1.045	1.733
7/8	14	1.047	0.917	1.047	1.747
1/2	13	1.157	0.987	1.126	1.868
9/16	12	1.157	1.069	1.220	2.028
6	12	1.157	1.069	1.222	2.058
5/8	11	1.302	1.166	1.331	2.216

表 C.3 (续)

螺纹		量针直径			
公称直径	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm
d	n	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$
3/4	10	1.441	1.283	1.465	2.442
7/8	9	1.591	1.425	1.628	2.717
1	8	1.833	1.603	1.831	3.062
6	8	1.833	1.604	1.833	3.121
1 1/8	7	2.050	1.832	2.093	3.505
1 1/4	7	2.050	1.833	2.093	3.507
1 3/8	6	2.381	2.138	2.442	4.098
6	6	2.381	2.139	2.444	4.150
1 3/4	5	2.886	2.565	2.930	4.928
2	4.5	3.287	2.850	3.256	5.483
2 1/4	4.5	3.287	2.851	3.257	5.450
2 5/8	4	3.666	3.207	3.664	6.184
6	4	3.666	3.208	3.666	6.215

表 C.4 55°非密封管螺纹 G 量针直径

螺纹		量针直径			
尺寸代号	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm
	n	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$
1/16	28	0.511	0.459	0.511	0.788
1/8	28	0.511	0.459	0.511	0.789
1/4	19	0.724	0.676	0.753	1.181
3/8	19	0.724	0.676	0.753	1.182
1/2	14	1.008	0.917	1.022	1.620
5/8	14	1.008	0.917	1.022	1.620
3/4	14	1.008	0.918	1.022	1.620
7/8	14	1.008	0.918	1.022	1.621
1	11	1.302	1.168	1.301	2.063
1 1/8	11	1.302	1.168	1.301	2.063
1 1/4	11	1.302	1.168	1.301	2.063
1 1/2	11	1.302	1.168	1.301	2.063

表 C.4 (续)

螺纹		量针直径			
尺寸代号	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm
	n	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$
1 3/4	11	1.302	1.168	1.301	2.063
2	11	1.302	1.168	1.301	2.063
2 1/4	11	1.302	1.168	1.302	2.042
2 1/2	11	1.302	1.168	1.302	2.042
2 3/4	11	1.302	1.168	1.302	2.042
3	11	1.302	1.168	1.302	2.042
3 1/2	11	1.302	1.168	1.302	2.042
4	11	1.302	1.168	1.302	2.042
4 1/2	11	1.302	1.168	1.302	2.042
5	11	1.302	1.168	1.302	2.042
5.5	11	1.302	1.168	1.302	2.042
6	11	1.302	1.168	1.302	2.042

表 C.5 梯形螺纹 Tr 量针直径

螺纹		量针直径			
公称直径 mm	螺距 mm	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm
d	P	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$
8	1.5	0.866	0.730	0.775	0.985
10	1.5	0.866	0.730	0.775	0.985
9	2	1.157	0.973	1.032	1.313
20	2	1.157	0.973	1.035	1.313
11	3	1.591	1.459	1.545	1.969
60	3	1.591	1.459	1.553	1.969
16	4	2.071	1.946	2.062	2.625
110	4	2.071	1.946	2.070	2.625
22	5	2.595	2.432	2.580	3.282
28	5	2.595	2.432	2.583	3.282
30	6	3.177	2.919	3.098	3.938
170	6	3.177	2.919	3.106	3.938
38	7	3.666	3.405	3.616	4.594

表 C.5 (续)

螺纹		量针直径			
公称直径 mm	螺距 mm	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm
d	P	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$
44	7	3.666	3.405	3.618	4.594
22	8	4.120	3.892	4.102	5.251
240	8	4.120	3.892	4.141	5.251
55	9	4.773	4.378	4.651	5.907
60	9	4.773	4.378	4.652	5.907
30	10	5.150	4.865	5.136	6.563
80	10	5.150	4.865	5.172	6.563
44	12	6.212	5.838	6.181	7.876
300	12	6.212	5.838	6.211	7.876

用于单线螺纹量规中径测量的量针最佳直径、极限直径、选用直径及相关不确定度分量概算见表 C.6~表 C.13。表中的牙型半角公差来源于相应螺纹量规标准,具体标准编号见第 2 章。

表 C.6 普通螺纹 M 通端量规的量针直径和不确定度分量

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(')	不确定度 分量概算
公称直径 mm	螺距 mm	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
d	P	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$	$c_{a/2}$	$T_{a/2}$	$c_{a/2} \times T_{a/2}$
1	0.2	0.118	0.102	0.115	0.199	0.010	60	0.000
1	0.25	0.142	0.127	0.144	0.249	-0.006	48	0.000
1.4	0.3	0.170	0.153	0.173	0.300	-0.009	40	0.000
1.6	0.35	0.201	0.178	0.201	0.350	-0.001	35	0.000
2	0.4	0.232	0.204	0.230	0.401	0.006	31	0.000
2.2	0.45	0.260	0.229	0.259	0.451	0.004	26	0.000
3	0.5	0.291	0.254	0.288	0.502	0.010	25	0.000
3.5	0.6	0.343	0.305	0.346	0.603	-0.009	21	0.000
4	0.7	0.402	0.355	0.403	0.703	-0.004	18	0.000
4.5	0.75	0.433	0.381	0.432	0.754	0.003	17	0.000
5	0.8	0.461	0.406	0.461	0.805	0.000	16	0.000
6	1	0.572	0.507	0.576	1.006	-0.015	16	0.000
8	1.25	0.724	0.633	0.720	1.258	0.012	16	0.000
10	1.5	0.866	0.760	0.865	1.510	0.005	16	0.000

表 C.6 (续)

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(')	不确定度 分量概算
公称直径 mm	螺距 mm	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
d	P	d_m	$d_{m\min}$	d_0	$d_{m\max}$	$c_{a/2}$	$T_{a/2}$	$c_{a/2} \times T_{a/2}$
12	1.75	1.008	0.886	1.009	1.763	-0.003	16	0.000
14	2	1.157	1.012	1.153	2.014	0.014	14	0.000
18	2.5	1.441	1.265	1.441	2.519	-0.001	14	0.000
24	3	1.732	1.518	1.730	3.025	0.006	13	0.000
30	3.5	2.020	1.770	2.019	3.529	0.004	12	0.000
36	4	2.311	2.023	2.307	4.034	0.012	11	0.000
42	4.5	2.595	2.276	2.596	4.540	-0.003	11	0.000
48	5	2.886	2.528	2.885	5.044	0.005	11	0.000
56	5.5	3.177	2.781	3.173	5.548	0.013	10	0.000
64	6	3.468	3.033	3.462	6.054	0.021	10	0.000
150	8	4.773	4.045	4.618	8.095	0.537	10	0.002

表 C.7 普通螺纹 M 止端量规的量针直径和不确定度分量

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(')	不确定度 分量概算
公称直径 mm	螺距 mm	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
d	P	d_m	$d_{m\min}$	d_0	$d_{m\max}$	$c_{a/2}$	$T_{a/2}$	$c_{a/2} \times T_{a/2}$
1	0.2	0.118	0.072	0.115	0.143	0.010	60	0.000
1	0.25	0.142	0.090	0.144	0.175	-0.006	48	0.000
1.4	0.3	0.170	0.108	0.173	0.210	-0.009	40	0.000
1.6	0.35	0.201	0.126	0.201	0.245	-0.002	35	0.000
2	0.4	0.232	0.144	0.230	0.281	0.006	31	0.000
2.2	0.45	0.260	0.161	0.259	0.316	0.003	26	0.000
3	0.5	0.291	0.179	0.288	0.347	0.010	25	0.000
3.5	0.6	0.343	0.215	0.346	0.423	-0.009	21	0.000
4	0.7	0.402	0.250	0.403	0.494	-0.005	18	0.000
4.5	0.75	0.433	0.268	0.432	0.529	0.003	17	0.000
5	0.8	0.461	0.286	0.461	0.565	0.000	16	0.000
6	1	0.572	0.357	0.576	0.706	-0.015	16	0.000
8	1.25	0.724	0.446	0.720	0.883	0.012	16	0.000
10	1.5	0.866	0.535	0.865	1.061	0.005	16	0.000

表 C.7 (续)

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(')	不确定度 分量概算
公称直径 mm	螺距 mm	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
d	P	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$	$c_{a/2}$	$T_{a/2}$	$c_{a/2} \times T_{a/2}$
12	1.75	1.008	0.624	1.009	1.239	-0.003	16	0.000
14	2	1.157	0.713	1.153	1.408	0.014	14	0.000
18	2.5	1.441	0.890	1.441	1.770	-0.002	14	0.000
24	3	1.732	1.069	1.730	2.126	0.006	13	0.000
30	3.5	2.020	1.246	2.019	2.481	0.004	12	0.000
36	4	2.311	1.424	2.307	2.836	0.012	11	0.000
42	4.5	2.595	1.602	2.596	3.192	-0.004	11	0.000
48	5	2.886	1.779	2.885	3.546	0.005	11	0.000
56	5.5	3.177	1.957	3.173	3.901	0.013	10	0.000
64	6	3.468	2.135	3.462	4.257	0.021	10	0.000
150	8	4.773	2.846	4.618	5.679	0.537	10	0.002

表 C.8 统一螺纹 UN 通端量规量针直径和不确定度分量

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(')	不确定度 分量概算
公称直径	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
d	n	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$	$c_{a/2}$	$T_{a/2}$	$c_{a/2} \times T_{a/2}$
0	80	0.185	0.160	0.183	0.316	0.008	30	0.000
1	72	0.201	0.177	0.203	0.351	-0.007	30	0.000
1	64	0.232	0.200	0.228	0.395	0.013	30	0.000
2	56	0.260	0.229	0.261	0.454	-0.004	30	0.000
3	48	0.291	0.267	0.304	0.529	-0.047	30	0.000
5	44	0.343	0.292	0.332	0.579	0.037	20	0.000
4	40	0.343	0.320	0.365	0.636	-0.077	20	0.000
8	36	0.402	0.356	0.407	0.707	-0.016	20	0.000
6	32	0.433	0.400	0.456	0.794	-0.081	15	0.000
12	28	0.511	0.457	0.523	0.910	-0.041	15	0.000
10	24	0.572	0.533	0.609	1.062	-0.128	15	-0.001
1/4	20	0.724	0.640	0.731	1.275	-0.024	15	0.000
5/16	18	0.796	0.711	0.813	1.418	-0.058	10	0.000
3/8	16	0.866	0.804	0.915	1.596	-0.169	10	0.000

表 C.8 (续)

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角公差(')	不确定度分量概算
公称直径	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
d	n	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$	$c_{a/2}$	$T_{a/2}$	$c_{a/2} \times T_{a/2}$
7/16	14	1.047	0.916	1.045	1.826	0.005	10	0.000
1/2	13	1.157	0.987	1.126	1.967	0.107	10	0.000
9/16	12	1.302	1.068	1.220	2.130	0.284	10	0.001
5/8	11	1.302	1.165	1.331	2.324	-0.101	10	0.000
3/4	10	1.441	1.283	1.465	2.559	-0.082	10	0.000
7/8	9	1.591	1.427	1.628	2.846	-0.127	10	0.000
1	8	1.833	1.603	1.831	3.198	0.007	5	0.000
1 1/8	7	2.050	1.832	2.093	3.656	-0.148	5	0.000
1 3/8	6	2.381	2.138	2.442	4.267	-0.210	5	0.000
1 3/4	5	2.886	2.564	2.930	5.120	-0.153	5	0.000
2	4.5	3.287	2.849	3.256	5.690	0.107	5	0.000
2 1/2	4	3.666	3.207	3.664	6.404	0.008	5	0.000

表 C.9 统一螺纹 UN 止端量规的量针直径和不确定度分量

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角公差(')	不确定度分量概算
公称直径	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
d	n	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$	$c_{a/2}$	$T_{a/2}$	$c_{a/2} \times T_{a/2}$
0	80	0.185	0.137	0.183	0.272	0.008	30	0.000
1	72	0.201	0.152	0.203	0.302	-0.007	30	0.000
1	64	0.232	0.172	0.228	0.340	0.013	30	0.000
2	56	0.260	0.196	0.261	0.388	-0.004	30	0.000
3	48	0.291	0.229	0.304	0.453	-0.047	30	0.000
5	44	0.343	0.250	0.332	0.495	0.037	20	0.000
4	40	0.343	0.274	0.365	0.545	-0.077	20	0.000
8	36	0.402	0.305	0.407	0.606	-0.016	20	0.000
6	32	0.433	0.343	0.456	0.681	-0.081	15	0.000
12	28	0.511	0.393	0.523	0.781	-0.041	15	0.000
10	24	0.572	0.458	0.609	0.909	-0.128	15	-0.001
1/4	20	0.724	0.550	0.731	1.094	-0.024	15	0.000
5/16	18	0.796	0.611	0.813	1.217	-0.058	10	0.000

表 C.9 (续)

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(')	不确定度 分量概算
公称直径	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
d	n	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$	$C_{a/2}$	$T_{a/2}$	$C_{a/2} \times T_{a/2}$
3/8	16	0.866	0.688	0.915	1.368	-0.169	10	0.000
7/16	14	1.047	0.785	1.045	1.563	0.005	10	0.000
1/2	13	1.157	0.846	1.126	1.684	0.107	10	0.000
9/16	12	1.302	0.917	1.220	1.826	0.284	10	0.001
5/8	11	1.302	1.000	1.331	1.992	-0.101	10	0.000
3/4	10	1.441	1.100	1.465	2.192	-0.082	10	0.000
7/8	9	1.591	1.222	1.628	2.437	-0.127	10	0.000
1	8	1.833	1.375	1.831	2.741	0.007	5	0.000
1 1/8	7	2.050	1.572	2.093	3.134	-0.148	5	0.000
1 3/8	6	2.381	1.833	2.442	3.656	-0.210	5	0.000
1 3/4	5	2.886	2.200	2.930	4.390	-0.153	5	0.000
2	4.5	3.287	2.444	3.256	4.879	0.107	5	0.000
2 1/2	4	3.666	2.750	3.664	5.489	0.008	5	0.000

表 C.10 55°非密封管螺纹 G 通端量规的量针直径和不确定度分量

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(')	不确定度 分量概算
尺寸代号	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
	n	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$	$C_{a/2}$	$T_{a/2}$	$C_{a/2} \times T_{a/2}$
1/16	28	0.511	0.459	0.511	0.765	0.001	15	0.000
1/8	28	0.511	0.459	0.511	0.765	0.000	15	0.000
1/4	19	0.724	0.677	0.753	1.131	-0.121	13	0.000
3/8	19	0.724	0.677	0.753	1.131	-0.122	13	0.000
1/2	14	1.008	0.917	1.022	0.388	-0.059	11	0.000
5/8	14	1.008	0.917	1.022	1.535	-0.059	11	0.000
3/4	14	1.008	0.917	1.022	1.535	-0.060	11	0.000
7/8	14	1.008	0.917	1.022	1.535	-0.060	11	0.000
1	11	1.302	1.167	1.301	1.957	0.003	10	0.000
1 1/8	11	1.302	1.167	1.301	1.958	0.003	10	0.000
1 1/4	11	1.302	1.168	1.301	1.958	0.003	10	0.000
1 1/2	11	1.302	1.168	1.301	1.958	0.002	10	0.000

表 C.10 (续)

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(′)	不确定度 分量概算
尺寸代号	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
	n	d_m	$d_{m\min}$	d_0	$d_{m\max}$	$c_{a/2}$	$T_{a/2}$	$c_{a/2} \times T_{a/2}$
1 3/4	11	1.302	1.168	1.301	1.958	0.002	10	0.000
2	11	1.302	1.168	1.301	1.958	0.002	10	0.000
2 1/4	11	1.302	1.167	1.302	1.954	0.002	10	0.000
2 1/2	11	1.302	1.167	1.302	1.954	0.002	10	0.000
2 3/4	11	1.302	1.167	1.302	1.954	0.002	10	0.000
3	11	1.302	1.167	1.302	1.954	0.002	10	0.000
3 1/2	11	1.302	1.167	1.302	1.954	0.002	10	0.000
4	11	1.302	1.167	1.302	1.954	0.002	10	0.000
4 1/2	11	1.302	1.167	1.302	1.954	0.002	10	0.000
5	11	1.302	1.167	1.302	1.954	0.002	10	0.000
5.5	11	1.302	1.167	1.302	1.954	0.002	10	0.000
6	11	1.302	1.167	1.302	1.954	0.002	10	0.000

表 C.11 55°非密封管螺纹 G 止端量规的量针直径和不确定度分量

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(′)	不确定度 分量概算
尺寸代号	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
	n	d_m	$d_{m\min}$	d_0	$d_{m\max}$	$c_{a/2}$	$T_{a/2}$	$c_{a/2} \times T_{a/2}$
1/16	28	0.511	0.334	0.511	0.614	0.000	16	0.000
1/8	28	0.511	0.334	0.511	0.614	0.000	16	0.000
1/4	19	0.724	0.492	0.753	0.906	-0.121	16	-0.001
3/8	19	0.724	0.492	0.753	0.907	-0.122	16	-0.001
1/2	14	1.008	0.667	1.022	1.231	-0.059	14	0.000
5/8	14	1.008	0.667	1.022	1.231	-0.059	14	0.000
3/4	14	1.008	0.667	1.022	1.231	-0.060	14	0.000
7/8	14	1.008	0.667	1.022	1.232	-0.060	14	0.000
1	11	1.302	0.848	1.301	1.568	0.003	14	0.000
1 1/8	11	1.302	0.848	1.301	1.568	0.003	14	0.000
1 1/4	11	1.302	0.848	1.301	1.569	0.003	14	0.000
1 1/2	11	1.302	0.848	1.301	1.569	0.002	14	0.000
1 3/4	11	1.302	0.848	1.301	1.569	0.002	14	0.000

表 C.11 (续)

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(')	不确定度 分量概算
尺寸代号	牙数	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
	n	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$	$c_{\alpha/2}$	$T_{\alpha/2}$	$c_{\alpha/2} \times T_{\alpha/2}$
2	11	1.302	0.848	1.301	1.569	0.002	14	0.000
2 1/4	11	1.302	0.849	1.302	1.568	0.002	14	0.000
2 1/2	11	1.302	0.849	1.302	1.568	0.002	14	0.000
2 3/4	11	1.302	0.849	1.302	1.568	0.002	14	0.000
3	11	1.302	0.849	1.302	1.568	0.002	14	0.000
3 1/2	11	1.302	0.849	1.302	1.568	0.002	14	0.000
4	11	1.302	0.849	1.302	1.568	0.002	14	0.000
4 1/2	11	1.302	0.849	1.302	1.568	0.002	14	0.000
5	11	1.302	0.849	1.302	1.568	0.002	14	0.000
5.5	11	1.302	0.849	1.302	1.568	0.002	14	0.000
6	11	1.302	0.849	1.302	1.568	0.002	14	0.000

表 C.12 梯形螺纹 Tr 通端量规的量针直径和不确定度分量

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(')	不确定度 分量概算
公称直径 mm	螺距 mm	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
d	P	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$	$c_{\alpha/2}$	$T_{\alpha/2}$	$c_{\alpha/2} \times T_{\alpha/2}$
8	1.5	0.796	0.731	0.775	0.985	0.306	12	0.001
10	1.5	0.796	0.731	0.775	0.986	0.297	12	0.001
9	2	1.047	0.973	1.032	1.312	0.216	10	0.001
20	2	1.047	0.975	1.035	1.315	0.178	10	0.001
11	3	1.591	1.456	1.545	1.965	0.658	9	0.002
60	3	1.591	1.462	1.553	1.972	0.552	9	0.001
16	4	2.071	1.943	2.062	2.621	0.127	8	0.000
110	4	2.071	1.949	2.070	2.629	0.009	8	0.000
22	5	2.595	2.429	2.580	3.277	0.221	8	0.001
28	5	2.595	2.432	2.583	3.280	0.172	8	0.000
30	6	3.117	2.916	3.098	3.934	0.273	8	0.001
170	6	3.106	2.921	3.106	3.941	0.006	8	0.000
38	7	3.666	3.403	3.616	4.590	0.723	8	0.002
44	7	3.666	3.404	3.618	4.592	0.712	8	0.002

表 C.12 (续)

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(′)	不确定度 分量概算
公称直径 mm	螺距 mm	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
d	P	d_m	$d_{m\min}$	d_0	$d_{m\max}$	$c_{\alpha/2}$	$T_{\alpha/2}$	$c_{\alpha/2} \times T_{\alpha/2}$
22	8	4.120	3.865	4.102	5.221	0.254	8	0.001
240	8	4.141	3.895	4.141	5.255	0.002	8	0.000
55	9	4.773	4.376	4.651	5.903	1.758	8	0.004
60	9	4.773	4.377	4.652	5.905	1.740	8	0.004
30	10	5.150	4.851	5.136	6.545	0.194	7	0.000
80	10	5.150	4.865	5.172	6.562	-0.311	7	-0.001
44	12	6.212	5.819	6.181	7.852	0.446	7	0.001
300	12	6.212	5.838	6.211	7.875	0.013	7	0.000

表 C.13 梯形螺纹 Tr 止端量规的量针直径和不确定度分量

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(′)	不确定度 分量概算
公称直径 mm	螺距 mm	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
d	P	d_m	$d_{m\min}$	d_0	$d_{m\max}$	$c_{\alpha/2}$	$T_{\alpha/2}$	$c_{\alpha/2} \times T_{\alpha/2}$
8	1.5	0.796	0.639	0.775	0.855	0.304	16	0.001
10	1.5	0.796	0.639	0.775	0.856	0.296	16	0.001
9	2	1.047	0.850	1.032	1.140	0.212	14	0.001
20	2	1.047	0.852	1.035	1.143	0.177	14	0.001
11	3	1.553	1.272	1.545	1.709	0.102	13	0.000
60	3	1.553	1.278	1.553	1.715	0.004	13	0.000
16	4	2.071	1.697	2.062	2.281	0.119	11	0.000
110	4	2.071	1.703	2.070	2.289	0.009	11	0.000
22	5	2.595	2.122	2.580	2.854	0.215	11	0.001
28	5	2.595	2.124	2.583	2.857	0.168	11	0.001
30	6	3.117	2.547	3.098	3.427	0.268	11	0.001
170	6	3.106	2.552	3.106	3.435	0.006	11	0.000
38	7	3.580	2.972	3.616	4.001	-0.522	11	-0.002
44	7	3.580	2.973	3.618	4.003	-0.549	11	-0.002
22	8	4.120	3.372	4.102	4.546	0.215	11	0.001
240	8	4.141	3.402	4.141	4.580	0.002	11	0.000
55	9	4.773	3.822	4.651	5.146	1.755	11	0.006

表 C. 13 (续)

螺纹		量针直径				灵敏系数	牙型半角 公差(')	不确定度 分量概算
公称直径 mm	螺距 mm	选用直径 mm	最小直径 mm	最佳直径 mm	最大直径 mm			
d	P	d_m	$d_{m \min}$	d_0	$d_{m \max}$	$c_{\alpha/2}$	$T_{\alpha/2}$	$c_{\alpha/2} \times T_{\alpha/2}$
60	9	4.773	3.823	4.652	5.145	1.737	11	0.006
30	10	5.150	4.222	5.136	5.688	0.160	9	0.000
80	10	5.150	4.249	5.172	5.720	-0.313	9	-0.001
44	12	6.212	5.080	6.181	6.842	0.427	9	0.001
300	12	6.212	5.101	6.211	6.872	0.013	9	0.000

用于中径测量的量球选用直径见表 C. 14。

表 C. 14 量球选用直径

量球直径/mm	普通螺纹 M	统一螺纹 UN	55°非密封管螺纹 G	梯型螺纹 Tr
	螺距/mm	牙数	牙数	螺距/mm
	P	n	n	P
0.335	0.5	40		
	0.6	36		
0.455	0.7	32		
	0.75			
	0.8			
0.53		28	28	
0.62	1	24		
0.725	1.25	20	19	
0.895	1.5	18		1.5
	1.75	16		
1.1	2	14	14	2
		13		
1.35	2.5	12	11	
		11		
		10		
1.65	3	9		3
		8		
2.05	3.5	7		4
2.55	4	6		5
	4.5			

表 C. 14 (续)

量球直径/mm	普通螺纹 M	统一螺纹 UN	55°非密封管螺纹 G	梯型螺纹 Tr
	螺距/mm	牙数	牙数	螺距/mm
	P	n	n	P
3.2	5	5		6
	5.5	4.5		
4	6	4		7

C.2 非对称螺纹

测量非对称螺纹时,不能通过选择量针(球)直径使左右两侧的切点均位于中径圆柱上,只能通过选择量针(球)直径使牙侧角可能偏差引起的测量不确定度分量尽可能地小。根据被测非对称螺纹参数的名义值,非对称螺纹的最佳量针(球)直径按下列步骤计算:

- a) 设定量针(球)直径的初始值;
- b) 设定当中径 d_{21} 的初始值,以 α_1 替代 $\alpha/2$,按公式(C. 5)、公式(C. 9)和公式(C. 10)迭代计算 m 、 θ_1 和 β_1 ;
- c) 以 α_2 替代 $\alpha/2$,由步骤 b)求得的 m 按公式(2)、公式(4)和公式(5)迭代计算 d_{22} 、 θ_2 和 β_2 ;
- d) 由 d_{22} 和 d_2 按公式(7)计算 d_{21} ;
- e) 如步骤 d)的 d_{21} 与步骤 b)的 d_{21} 之差大于设定的允许差,则继续迭代计算,直至步骤 d)的 d_{21} 与步骤 b)的 d_{21} 之差不大于设定的允许差,即求得 m 、 θ_i 和 β_i ;
- f) 按公式(8)和公式(9)计算 d_{T1} 和 d_{T2} ;
- g) c_{α_i} 按公式(C. 11)计算:

$$c_{\alpha_i} = \frac{d_{Ti} - d_2}{(\tan\alpha_1 + \tan\alpha_2) \cdot \cos^2\alpha_i} \dots\dots\dots(C. 11)$$

式中:

c_{α_i} ——牙侧角估计值的灵敏系数, ($i=1,2$);

- h) 由牙侧角的可能偏差引起的标准测量不确定度分量按公式(C. 12)计算:

$$u_{\alpha}(d_{2e}) = \sqrt{\sum c_{\alpha_i}^2 \cdot u^2(\alpha_i)} \dots\dots\dots(C. 12)$$

式中:

$u_{\alpha}(d_{2e})$ ——由牙侧角的可能偏差引起的中径估计值的标准测量不确定度分量;

$u(\alpha_i)$ ——牙侧角估计值的标准不确定度,测量前可概算为 $T\alpha_i/\sqrt{3}$, $T\alpha_i$ 为牙侧角的公差;

- i) 以 0.01 mm 为步进当量,逐渐改变量针(球)直径,按步骤 b)至步骤 h)计算 $u_{\alpha}(d_{2e})$,直至找到其最小值,与此最小值对应的量针(球)直径即是最佳直径。

以 d_{T1} 、 d_{T2} 替代 d_T ,按表 C. 1 所列判据可判定 $d_{m \min} \leq d_m \leq d_{m \max}$ 是否成立,并可确定 $d_{m \min}$ 和 $d_{m \max}$ 。

建议对选用直径进行相应的测量不确定度分量概算。根据测量任务的目标不确定度,确定是否需对牙侧角进行测量。

注 1: 当选用最佳直径时,如量针跨距 M 小于被测螺纹大径,就无法使用平面测帽进行测量。此时可采用量球法测量,或选用更大的量针直径,以使 M 大于大径。

注 2: 当被测螺纹升角较大时,量针与较小牙侧角一侧的接触点可能不止一点,即量针与牙侧面接触可能发生干涉,此时应采用量球法测量。

附录 D
(资料性附录)

三针法中径测量的测力选择

三针法中径测量的测力选择见表 D.1。

表 D.1 三针法中径测量的测力选择

螺距/mm	测力/N	允许偏差
0.2~0.25	1.1	±10%
大于 0.25	2~4 ^a	±10%

^a 根据测量仪器不同的结构和阻尼情况,仪器生产商会给出各自仪器的测力推荐值。当螺距大于 0.25 mm 时,在 2 N~4 N 的范围内,按仪器生产商的测力推荐值选择。

附录 E
(资料性附录)
测量不确定度评估实例

E.1 量球法外螺纹中径测量不确定度评估实例

E.1.1 测量概述

- a) 测量温度条件:符合表 1 规定的高准确度测量的温度要求。
- b) 测量设备及技术指标:测长仪最大允许示值误差为 $\pm(0.07 \mu\text{m} + 0.5 \times 10^{-6} L)$;电感仪测量重复性 $\leq 0.1 \mu\text{m}$;量球直径测量不确定度 $\leq 0.5 \mu\text{m}$;光面环规直径不确定度为 $0.15 \mu\text{m}$ 。
- c) 被测螺纹塞规规格:M12-6H。
- d) 测量分类:2c类。

E.1.2 输入量标准不确定度评估

ΔL :重复测量 10 次,根据贝塞尔公式,得 $s(\Delta L) = 0.2 \mu\text{m}$,故 $u(\Delta L) = 0.2 \mu\text{m}$ 。

K :因 $u(D_s) = 0.15/2 = 0.075 \mu\text{m}$, $u(\delta L) = 0.1 \mu\text{m}$,故 $u(K) = \sqrt{0.075^2 + 0.1^2} = 0.13 \mu\text{m}$ 。

d_m :根据量球校准报告,直径扩展不确定度为 $0.5 \mu\text{m}$, $K=2$,故 $u(d_m) = 0.25 \mu\text{m}$ 。

δI :测长仪最大允许示值误差为 $\pm(0.07 \mu\text{m} + 0.5 \times 10^{-6} L)$,故 $u(\delta I) = 0.08/\sqrt{3} = 0.05 \mu\text{m}$ 。

δT :根据量球法的不确定度汇总表, $u(\delta T) = 2.36 \times 10^{-6} \text{m}$,现 $m = 11.5615 \times 10^3 \mu\text{m}$,故 $u(\delta T) = 0.027 \mu\text{m}$ 。

δF :估计 $u(\delta F) = 0.1 \mu\text{m}$ 。

δS :工作台导轨直线度监测的标准不确定度为 $0.2 \mu\text{m}$ 。

$\alpha/2$:根据 $\alpha/2$ 的测量结果报告, $u(\alpha/2) = 0.00029$ 。

P_h :根据 P_h 的测量结果报告, $u(P_h) = 0.2 \mu\text{m}$ 。

δB :估计 $u(\delta B) = 0.3 \mu\text{m}$ 。

标准不确定度汇总见表 E.1。

E.1.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 d_2 的估计值 d_{2e} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得: $d_{2e} = 10.8750 \text{mm}$ 。因所有输入量都被认为是独立无关的,所以合成标准不确定度 $u_c(d_{2e}) = \sqrt{\sum u_i^2(d_{2e})} = 0.00055 \text{mm}$ 。扩展不确定度 $U(d_{2e}) = k \cdot u_c(d_{2e}) = 2 \times 0.00055 = 0.0011 \text{mm}$ 。

表 E.1 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
ΔL	18.3090 mm	0.2 μm	正态	1	0.2 μm
K	7.8475 mm	0.13 μm	正态	-1	-0.13 μm
d_m	1.1000 mm	0.25 μm	正态	-1	-0.25 μm
δI	0	0.05 μm	矩型	1	0.05 μm

表 E.1 (续)

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
δT	0	0.027 μm	正态	1	0.027 μm
δF	0	0.1 μm	矩型	1	0.1 μm
δS	0.3 μm	0.2 μm	正态	1	0.2 μm
$\alpha/2$	0.523 598 775 7	0.000 29	正态	316.14 μm	0.092 μm
P_h	1.750 0 mm	0.2 μm	正态	0.86	0.17 μm
δB	0	0.3 μm	矩型	1	0.3 μm

E.1.4 测量结果报告

被测外螺纹中径的测量结果为 $(10.875\ 0 \pm 0.001\ 1)\text{mm}$,包含因子 $k=2$ 。

E.2 三针法外螺纹中径测量不确定度评估实例

E.2.1 测量概述

- 测量温度条件:符合表1规定的高准确度测量的温度要求。
- 测量设备及技术指标:测长仪最大允许示值误差为 $\pm(0.07\ \mu\text{m} + 0.5 \times 10^{-6} L)$;10 mm 3等量块长度不确定度为0.11 μm ;量针直径测量不确定度 $\leq 0.5\ \mu\text{m}$ 。
- 被测螺纹塞规规格:M12-6H。
- 测量分类:2c类。

E.2.2 输入量标准不确定度评估

ΔL 、 d_m 、 δI 、 δT 、 $\alpha/2$ 、 P_h 、 δB :同E.1.2。

l_0 :根据3等量块技术要求,10 mm 3等量块 $U(l_0) = 0.11\ \mu\text{m}$, $k=2$,故 $u(l_0) = 0.055\ \mu\text{m}$ 。

δF :估计 $u(\delta F) = 0.3\ \mu\text{m}$ 。

标准不确定度汇总见表E.2。

表 E.2 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
ΔL	0.459 5 mm	0.2 μm	正态	1	0.2 μm
l_0	10.000 0 mm	0.055 μm	正态	1	0.055 μm
d_m	1.100 0 mm	0.25 μm	正态	-1	-0.25 μm
δI	0	0.05 μm	矩型	1	0.05 μm
δT	0	0.027 μm	正态	1	0.027 μm
δF	0.001 8 mm	0.3 μm	矩型	1	0.3 μm
$\alpha/2$	0.523 598 775 7	0.000 29	正态	316.14 μm	0.092 μm

表 E.2 (续)

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
P_h	1.750 0 mm	0.2 μm	正态	0.86	0.17 μm
δB	0	0.3 μm	矩形	1	0.3 μm

E.2.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 d_2 的估计值 d_{2e} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得： $d_{2e} = 10.874 8 \text{ mm}$ 。因所有输入量都被认为是独立无关的，所以合成标准不确定度 $u_c(d_{2e}) = \sqrt{\sum u_i^2(d_{2e})} = 0.000 57 \text{ mm}$ 。扩展不确定度 $U(d_{2e}) = k \cdot u_c(d_{2e}) = 2 \times 0.000 57 = 0.001 2 \text{ mm}$ 。

E.2.4 测量结果报告

被测外螺纹中径的测量结果为 $(10.874 8 \pm 0.001 2) \text{ mm}$ ，包含因子 $k=2$ 。

E.3 三针法外螺纹中径测量不确定度评估实例

E.3.1 测量概述

- 测量温度条件：符合表 1 规定的中等准确度测量的温度要求。
- 测量设备及技术指标：测长仪最大允许示值误差为 $\pm(0.5 \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} L)$ ；量针直径测量不确定度 $\leq 0.5 \mu\text{m}$ 。
- 被测螺纹塞规规格：M12-6H。
- 测量分类：2b 类，不对牙侧角进行测量，但仍对螺距（导程）进行高精度测量。
- 测量步骤：不用 3 等量块置零，直接测量外跨距 M 。

E.3.2 输入量标准不确定度评估

M_d ：重复测量 10 次，根据贝塞尔公式，得 $s(M_d) = 0.5 \mu\text{m}$ ，故 $u(M_d) = 0.5 \mu\text{m}$ 。

d_m ：根据量针校准报告，直径扩展不确定度为 $0.5 \mu\text{m}$ ， $k=2$ ，故 $u(d_m) = 0.25 \mu\text{m}$ 。

δI ：测长仪最大允许示值误差为 $\pm(0.5 \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} L)$ ，故 $u(\delta I) = 0.55/\sqrt{3} = 0.32 \mu\text{m}$ 。

δT ： $u(\delta T) = 5 \times 10^{-6} \text{ m}$ ，现 $m = 11.561 5 \times 10^3 \mu\text{m}$ ，故 $u(\delta T) = 0.058 \mu\text{m}$ 。

$\alpha/2$ ：按其公差估计 $u(\alpha/2) = 0.004 7/\sqrt{3} = 0.002 7$ 。

δF 、 P_h 、 δB ：同 E.2.2。

标准不确定度汇总见表 E.3。

表 E.3 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
M_d	12.659 6 mm	0.5 μm	正态	1	0.5 μm
d_m	1.100 0 mm	0.25 μm	正态	-3	-0.75 μm
δI	0	0.32 μm	矩形	1	0.32 μm

表 E.3 (续)

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
δT	0	0.058 μm	正态	1	0.058 μm
δF	0.001 6 mm	0.3 μm	矩型	1	0.3 μm
$\alpha/2$	0.523 598 775 7	0.002 7	正态	316.14 μm	0.85 μm
P_h	1.750 0 mm	0.2 μm	正态	0.86	0.17 μm
δB	0	0.3 μm	矩型	1	0.3 μm

E.3.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 d_2 的估计值 d_{2e} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得： $d_{2e} = 10.874 8 \text{ mm}$ 。因所有输入量都被认为是独立无关的，所以合成标准不确定度 $u_c(d_{2e}) = \sqrt{\sum u_i^2(d_{2e})} = 0.001 4 \text{ mm}$ 。扩展不确定度 $U(d_{2e}) = k \cdot u_c(d_{2e}) = 2 \times 0.001 4 = 0.003 \text{ mm}$ 。

E.3.4 测量结果报告

被测外螺纹中径的测量结果为 $(10.875 \pm 0.003) \text{ mm}$ ，包含因子 $k = 2$ 。

E.4 轴切法外螺纹中径测量不确定度评估实例

E.4.1 测量概述

- 测量温度条件：符合表 1 规定的中等准确度测量的温度要求。
- 测量设备及技术指标：万工显最大允许示值误差为 $\pm(1 \mu\text{m} + 10 \times 10^{-6} L)$ ；测量刀刃口与刻线间距的测量不确定度 $\leq 1 \mu\text{m}$ 。
- 被测螺纹塞规规格：M12-6H。

E.4.2 输入量标准不确定度评估

ΔY ：重复测量 10 次，根据贝塞尔公式，得 $s(\Delta Y) = 1.5 \mu\text{m}$ ，故 $u(\Delta Y) = 1.5 \mu\text{m}$ 。

δI ：万工显最大允许示值误差为 $\pm(1 \mu\text{m} + 10 \times 10^{-6} L)$ ，故 $u(\delta I) = 1.1/\sqrt{3} = 0.64 \mu\text{m}$ 。

δT ：根据轴切法的不确定度汇总表， $u(\delta T) = 3.6 \times 10^{-6} \Delta Y$ ，现 $\Delta Y = 10.878 5 \times 10^3 \mu\text{m}$ ，故 $u(\delta T) = 0.04 \mu\text{m}$ 。

δK ：根据测量刀的校准证书，测量刀刃口与刻线间距的标准测量不确定度为 $0.5 \mu\text{m}$ ，故 $u(\delta K) = \frac{2}{\sin(\alpha/2)} u(\Delta b) = 2 \times 2 \times 0.5 = 2 \mu\text{m}$ 。

标准不确定度汇总见表 E.4。

表 E.4 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
ΔY	10.878 5 mm	1.5 μm	正态	1	1.5 μm

表 E.4 (续)

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
δI	0	0.64 μm	矩形	1	0.64 μm
δT	0	0.04 μm	正态	1	0.04 μm
δK	-3.5 μm	2 μm	正态	1	2 μm

E.4.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 d_2 的估计值 d_{2e} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得： $d_{2e} = 10.875 \text{ mm}$ 。因所有输入量都被认为是独立无关的，所以合成标准不确定度 $u_c(d_{2e}) = \sqrt{\sum u_i^2(d_{2e})} = 0.0026 \text{ mm}$ 。扩展不确定度 $U(d_{2e}) = k \cdot u_c(d_{2e}) = 2 \times 0.0026 = 0.0052 \text{ mm}$ 。

E.4.4 测量结果报告

被测外螺纹中径的测量结果为 $(10.875 \pm 0.005) \text{ mm}$ ，包含因子 $k=2$ 。

E.5 外径千分尺法外螺纹中径测量不确定度评估实例

E.5.1 测量概述

- 测量温度条件：符合表 1 规定的低准确度测量的温度要求。
- 测量设备及技术指标：外径千分尺最大允许示值误差为 $\pm 4 \mu\text{m}$ ；量针直径测量不确定度 $\leq 0.5 \mu\text{m}$ 。
- 被测螺纹塞规规格：M12-6H。
- 测量分类：2a 类。

E.5.2 输入量标准不确定度评估

M_d ：重复测量 10 次，根据贝塞尔公式，得 $s(M_d) = 2 \mu\text{m}$ ，故 $u(M_d) = 2 \mu\text{m}$ 。

d_m 、 δB 、 $a/2$ ：同 E.3.2。

δI ：外径千分尺最大允许示值误差为 $\pm 4 \mu\text{m}$ ，故 $u(\delta I) = 4/\sqrt{3} = 2.31 \mu\text{m}$ 。

δT ：根据外径千分尺法的不确定度汇总表， $u(\delta T) = 8.2 \times 10^{-6} M_d$ ，现 $M_d = 12.653 \times 10^3 \mu\text{m}$ ，故 $u(\delta T) = 0.1 \mu\text{m}$ 。

δF ：估计 $u(\delta F) = 0.3 \mu\text{m}$ 。

P_h ：按其公差估计， $u(P_h) = 4/\sqrt{3} = 2.3 \mu\text{m}$ 。

标准不确定度汇总见表 E.5。

表 E.5 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
M_d	12.663 mm	2 μm	正态	1	2 μm
d_m	1.1000 mm	0.25 μm	正态	-3	-0.75 μm

表 E.5 (续)

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
δI	0	2.3 μm	矩形	1	2.3 μm
δT	0	0.1 μm	正态	1	0.1 μm
δF	0.002 8 mm	0.3 μm	矩形	1	0.3 μm
$\alpha/2$	0.523 6	0.002 7	正态	316.14 μm	0.85 μm
P_b	1.750 0 mm	2.3 μm	正态	0.86	2 μm
δB	0	0.3 μm	矩形	1	0.3 μm

E.5.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 d_2 的估计值 d_{2e} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得： $d_{2e} = 10.879 \text{ mm}$ 。因所有输入量都被认为是独立无关的，所以合成标准不确定度 $u_c(d_{2e}) = \sqrt{\sum u_i^2(d_{2e})} = 0.003 9 \text{ mm}$ 。扩展不确定度 $U(d_{2e}) = k \cdot u_c(d_{2e}) = 2 \times 0.003 9 = 0.008 \text{ mm}$ 。

E.5.4 测量结果报告

被测外螺纹中径的测量结果为 $(10.879 \pm 0.008) \text{ mm}$ ，包含因子 $k=2$ 。

E.6 影像法外螺纹牙侧角测量不确定度评估实例

E.6.1 测量概述

- 测量设备及技术指标：万工显最大测角允许示值误差为 $\pm 1'$ 。
- 被测螺纹塞规规格：M12-6H。
- 重复测量次数：4 次。

E.6.2 输入量标准不确定度评估

$\overline{\alpha_{id}}$ ：事先重复测量 10 次，根据贝塞尔公式，得 $s(\frac{\alpha_{id} + \alpha'_{id}}{2}) = 1.6'$ ，实测时重复测量四次取平均值，故 $u(\overline{\alpha_{id}}) = s(\frac{\alpha_{id} + \alpha'_{id}}{2}) / \sqrt{4} = 1.6/2 = 0.8'$ 。

δI ：万工显最大测角允许示值误差为 $\pm 1'$ ，故 $u(\delta I) = 1/\sqrt{3} = 0.6'$ 。

α_{in} ： $u(\alpha_{in}) = \sqrt{u^2(\overline{\alpha_{id}}) + u^2(\delta I)} = \sqrt{0.8^2 + 0.6^2} = 1'$

标准不确定度汇总见表 E.6。

表 E.6 标准不确定度汇总

输入量 X_i	估计值 x_i	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $u_i(y)$
α_{in}	$30^\circ 1'$	$1'$	正态	1	$1'$

E.6.3 输出量估计值及其合成标准不确定度和扩展不确定度

输出量 α_i 的估计值 α_{ie} 可将各项输入量估计值代入测量模型求得： $\alpha_{ie} = 30^\circ 1'$ 。合成标准不确定度 $u_c(\alpha_{ie}) = 1'$ 。扩展不确定度 $U(\alpha_{ie}) = k \cdot u_c(\alpha_{ie}) = 2 \times 1' = 2'$ 。

E.6.4 测量结果报告

被测外螺纹牙侧角的测量结果为 $30^\circ 1' \pm 2'$ ，包含因子 $k=2$ 。



参 考 文 献

- [1] 苏宗康. 螺纹精密跨线测量精确公式的改进——兼论近似公式原理误差的解析表达方法. 计量技术, 1993. 11
- [2] 苏宗康. 非对称螺纹精密跨线测量的误差研究. 实用测试技术, 1999. 6
- [3] IFI-301-2008 螺纹量规校准的要求和程序 (thread gage calibration requirements and procedures) 美国工业紧固件协会标准
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
圆 柱 螺 纹 检 测 方 法
GB/T 28703—2012

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 4 字数 110 千字
2012年11月第一版 2012年11月第一次印刷

*

书号: 155066·1-45806 定价 54.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 28703-2012