



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF××××-××××

---

## 圆锥螺纹量规校准规范

Calibration Specification of Taper Thread Gauges

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

---

国家市场监督管理总局发布

# 圆锥螺纹量规校准规范

JJF××××-××××

Calibration Specification

of Taper Thread Gauges

归口单位：国家市场监督管理总局

主要起草单位：

参与起草单位：

本规范委托全国几何量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 .....	1
2 引用文件.....	1
3 术语 .....	1
4 概述 .....	1
5 计量特性及符号 .....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 标准仪器及其他设备.....	2
7 校准项目和校准方法 .....	2
7.1 校准项目.....	2
7.2 校准方法.....	2
8 校准结果表达 .....	13
9 复校时间间隔 .....	13
附 录 A.....	14
附 录 B.....	15
附 录 C.....	18
附 录 D.....	26

# 引 言

本规范按照 JJF 1001-2011《通用计量名词术语与定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》为基础性系列规范进行制定。

本规范为首次制定。

# 圆锥螺纹量规校准规范

## 1 范围

本规范适用于圆锥螺纹量规的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

JJF 1345 圆柱螺纹量规校准规范

GB/T 14791-2013/ISO 5408: 2009 螺纹 术语

GB/T 32534 圆锥螺纹检测方法

JB/T 10031 55° 密封管螺纹量规

GB/T12716-2011 60° 圆锥管螺纹

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语和定义

GB/T 14791-2013/ISO 5408: 2009 界定的术语和定义适用于本规范。

基准平面：垂直于圆锥螺纹轴线，具有基准直径的平面，简称基面。垂直于螺纹轴线且到外螺纹小端面距离为基准距离（ $l_g$ ）的平面称为圆锥螺纹塞规的基准平面，垂直于圆锥螺纹环规轴线的大端面称为圆锥螺纹环规的基准平面；

测量平面：过测量线和螺纹轴线的平面为测量平面；

基准距离：从基准平面到外螺纹小端面的距离；

螺距  $P$ ：相邻两齿理论牙顶（全齿形）在轴线上的投影距离；

基面中径：基准平面上的中径；

基面大径：基准平面上的大径；

基面小径：基准平面上的小径。

## 4 概述

圆锥螺纹量规是对内、外圆锥螺纹要素尺寸边界条件进行综合检验的计量器具，用于控制圆锥螺纹要素的极限尺寸。

## 5 计量特性及符号

计量特性及符号见表 1。

表 1 计量特性及符号

名称	符号	名称	符号
基面中径	$d_2, D_2$	牙侧角	$a_1, a_2$
螺距	$P$	基面大径	$d, D$
牙型角	$a$	基面小径	$d_1, D_1$
台阶面位置	$l$	中径圆锥锥度	$T$

注：  $D$ 、 $D_1$ 、 $D_2$ 为内螺纹参数， $d$ 、 $d_1$ 、 $d_2$ 为外螺纹参数。

根据用户的预期应用来选择计量特性进行校准。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 温度为 $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ ，每小时温度变化不超过 $1^\circ\text{C}$ ，相对湿度小于 75%RH。

6.1.2 校准前被校仪器和所用标准器在室内平衡温度的时间一般不少于 2h。

### 6.2 标准仪器及其他设备

校准用计量标准其及配套装备见表 2。

表 2 主要标准器及配套设备

序号	被测参数	标准器名称及主要技术参数
1	台阶面位置	数显高度计 MPE: $\pm 0.5\mu\text{m}$ , 0 级平板
		测长机 MPE: $\pm(0.5\mu\text{m} + 5 \times 10^{-6}L)$ , 量球 (直径测量不确定度 $\leq 0.5\mu\text{m}$ )
		3 等量块, 电感仪 (测量重复性 $\leq 0.1\mu\text{m}$ )
2	螺距、基面中径、圆锥锥度	万能工具显微镜 MPE: $\pm(1\mu\text{m} + 10 \times 10^{-6}L)$
		坐标测量机 MPE: $\pm(1\mu\text{m} + 0.5 \times 10^{-6}L)$
		测长机 MPE: $\pm(0.15\mu\text{m} + 1 \times 10^{-6}L)$
		二维螺纹量规扫描仪 MPE: $\pm(2.5\mu\text{m} + 5 \times 10^{-6}L)$
		螺纹综合测量机 MPE: $\pm(2.0\mu\text{m} + 5 \times 10^{-6}L)$
3	基面大径、基面小径	测长仪 MPE: $\pm(0.5\mu\text{m} + 5 \times 10^{-6}L)$ +三针/T 形球探针 (直

		径测量不确定度 $\leq 0.5\mu\text{m}$ )
		万能工具显微镜 (轴切法) MPE: $\pm(1\mu\text{m}+10\times 10^{-6}L)$
		坐标测量机 MPE: $\pm(1\mu\text{m}+0.5\times 10^{-6}L)$
		二维螺纹量规扫描仪 MPE: $\pm(2.5\mu\text{m}+5\times 10^{-6}L)$
		螺纹综合测量机 MPE: $\pm(2.0\mu\text{m}+5\times 10^{-6}L)$
4	牙侧角	万能工具显微镜 (轴切法) MPE: $\pm 1'$
		牙侧角轮廓仪, MPE: $\pm 1'$
		坐标测量机 MPE: $\pm 1'$
		螺纹综合测量机 MPE: $\pm 1'$
注: 允许使用测量不确定满足要求的其它测量设备, 其中标准器的扩展不确定度应不超过被校准圆锥螺纹量规被测参数最大允许误差绝对值的 1/3		

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

基面中径、螺距、基面大径、基面小径、牙侧角、锥度、台阶面位置。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 基面中径

基面中径分为接触式测量和非接触式测量两种, 其中非接触式测量方式有采用万能工具显微镜、CCD 等方式进行测量; 接触式测量可以采用螺纹综合测量机或坐标测量机对圆锥螺纹量规基面中径进行测量, 也可以采用量球法或量针法对圆锥外螺纹基面中径进行测量。

以使用测长机采用量球法测量圆锥基面中径为例, 测量外螺纹基面中径和内螺纹基面中径的校准方法如下:

##### 7.2.1.1 影像法测量外螺纹基面中径

以在万能工具显微镜上采用影像法测量圆锥外螺纹基面中径为例, 校准方法如下:

对于开有纵向沟槽的圆锥螺纹塞规, 通过显微镜焦平面时可用影像法测量其中径。基面距离为 $l_g$ , 在被测圆锥螺纹塞规的上侧选择一个与基面最接近的牙型 (或牙槽), 将此牙型 (或牙槽) 角顶点与显微镜目镜头中的十字线交点对准, 同时使十字线与牙型两侧重合, 读出此牙型角平分线至端面的实际距离 $l_1$ 及横向尺寸 $M_1$ ; 将显微镜移至上侧, 由于螺纹锥角的影响, 与上侧牙型 (或牙槽) 相对应的牙型 (或牙槽) 必然偏移。这



时，应移动拖板，使十字刻线重新对准另一个牙型（或牙槽）的角度面及角平分线并读出此牙型（或牙槽）角的平分线至端面的距离  $l_2$  及横向尺寸  $M_2$ ，则所测圆锥螺纹塞规基面中径的计算公式如下：

$$d_2 = M_2 - M_1 + \frac{l_1 + l_2 - l_g}{\tan\varphi}$$

式中：

$l_1$ ——牙型（或牙槽）角的平分线至端面的距离；

$M_1$ ——牙型（或牙槽）角的平分线横向尺寸；

$\varphi$ ——圆锥半锥角。

### 7.2.1.2 量球法测量外螺纹基面中径

以在测长机上采用量球法测量圆锥外螺纹基面中径为例，校准方法如下：

根据被测螺纹的螺距和牙侧角，按照下式（1）选择适用的量球

$$d_m = \frac{P}{2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \left[ 1 + \tan^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 \right] \quad (1)$$

式中：

$P$ ——螺距；

$\alpha$ ——牙侧角， $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ 。

$T$ ——圆锥锥度。

所选量球应先经过校准，在使用光面标准环规按式（2）对 T 型测头的  $K$  值进行校准，校准时 T 型测头的测力一般为 0.3N 或 0.5N（如无此选项，测力应不超过 0.5N）。

$$K = D_S - \delta L \quad (2)$$

式中：

$K$ ——T 型测头的  $K$  值（见图 2）；

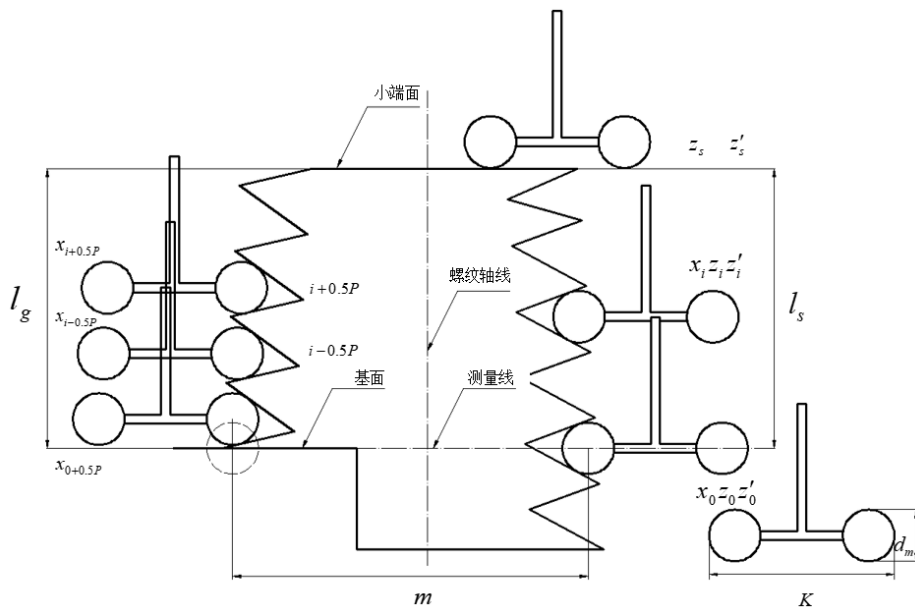
$D_S$ ——光面标准环规的直径；

$\delta L$ ——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之差。

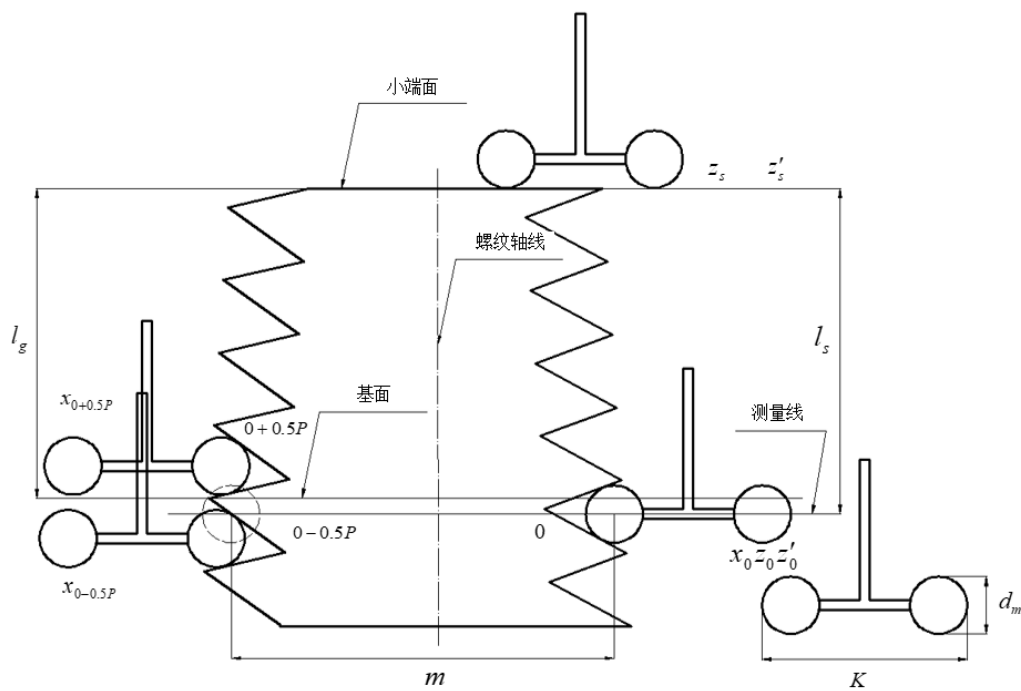
测量平面的选择：安装被测件时，调整工作台使螺纹轴线与仪器测量方向垂直；在保留全部螺纹牙槽范围内，确定基面所在的被测牙槽和被测直径方向，使测量线尽可能

接近基面（尽量使 $l_s=l_g$ ）；使量球与小端面接触，测量小端面的螺纹轴向位置，记录工作台螺纹轴向位移示值 $z_s$ 和T型测头螺纹轴向浮动位移示值 $z'_s$ 。

若基面处只能在螺纹一侧测量而另一侧牙槽已不存在，选择尽可能接近基面且两侧均可测量的被测牙槽 $i$ （由基面所在牙槽起向小端面数第 $i$ 个牙槽），将量球置于被测牙槽 $i$ 内，分别测量和记录测长仪测量示值 $x_i$ 、工作台螺纹轴向位移示值 $z_i$ 和T型测头螺纹轴向浮动位移示值 $z'_i$ ；将量球置于螺纹另一侧 $\pm 0.5P$ 的两相邻被测牙槽内，测量和记录测长仪测量示值 $x_{i+0.5P}$ 和 $x_{i-0.5P}$ ，再将量球置于被测牙槽 $0$ （基面所在牙槽）和螺纹另一侧 $+0.5P$ 的牙槽内，见图2（a），分别测量和记录测长仪测量示值 $x_0$ 、 $x_{0+0.5P}$ 、工作台螺纹轴向位移示值 $z_0$ 和T型测头螺纹轴向浮动位移示值 $z'_0$ 。若基面处螺纹两侧均可测量，被测牙槽 $i$ 即为基面所在牙槽，见图2（b），此时 $i=0$ ， $x_i=x_0$ ， $x_{i+0.5P}=x_{0+0.5P}$ ， $x_{i-0.5P}=x_{0-0.5P}$ ， $z_i=z_0$ ， $z'_i=z'_0$ 。



(a)



(b)

图 2 外螺纹中径测量的量球法

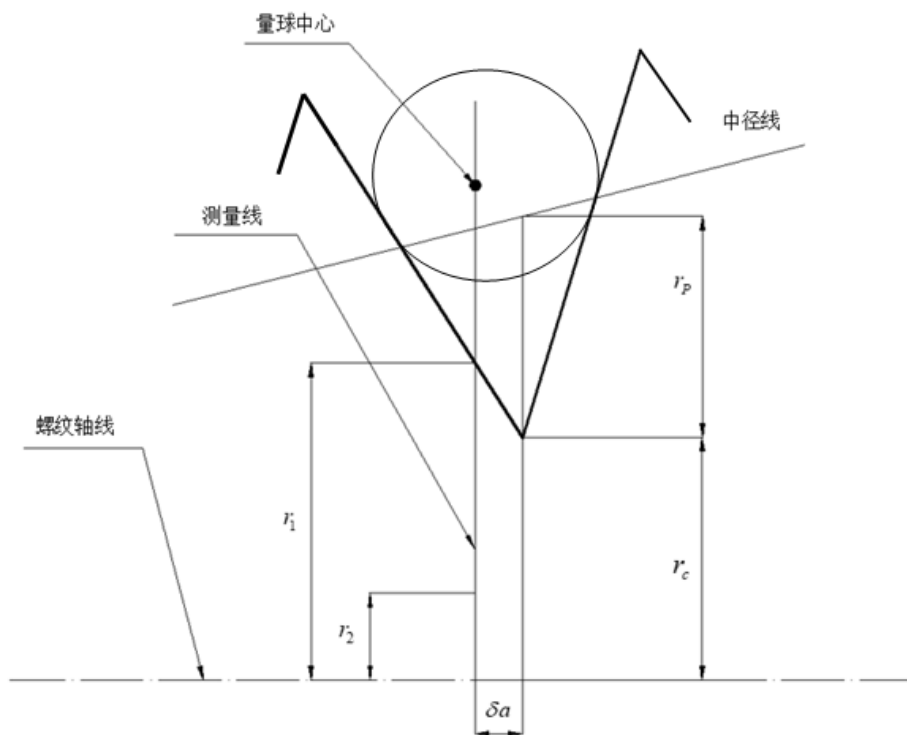


图 3 外螺纹量球法的轴向平面图

基面中径按式 (2) 计算。

$$d_2 = 2r_c + 2r_p + (\delta a + l_g - l_s) \cdot T \quad (2)$$

式中：

$r_c$ ——测量平面内，被测牙槽两牙侧线交点到螺纹轴线的径向距离；

$r_p$ ——测量平面内，被测牙槽两牙侧线交点到中径线的径向距离；

$\delta a$ ——测量平面内，被测牙槽两牙侧线交点到测量线的轴向距离； $\delta a > 0$  表示测量线比牙侧线交点更靠近大端面， $\delta a < 0$  表示测量线比牙侧线交点更靠近小端面， $\delta a = 0$  表示测量线过牙侧线交点；

$l_g$ ——从基面到小端面的轴向距离；

$l_s$ ——从测量线到小端面的轴向距离；

$T$ ——圆锥螺纹中径圆锥的锥度；

$r_c$ 、 $r_p$  和  $\delta a$  按式 (3)、式 (4) 和式 (5) 计算。

$$r_c = \frac{r_1 \cdot \tan \alpha_1 + r_2 \cdot \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \quad (3)$$

$$r_p = \frac{P \cdot (1 + \tan \alpha_1 \cdot T/2) \cdot (1 + \tan \alpha_2 \cdot T/2)}{2(\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2)} \quad (4)$$

$$\delta a = \frac{(r_2 - r_1) \cdot \tan \alpha_1 \cdot \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \quad (5)$$

式中：

$r_i$ ——在测量平面内，测量线与牙侧线交点到螺纹轴线的径向距离； $i=1$  表示靠近小端一侧， $i=2$  表示靠近大端一侧（见图 3）；

$\alpha_i$ ——被测螺纹的牙侧角（ $i=1, 2$ ），单位为弧度（rad）；

$P$ ——被测螺纹的螺距。

在不考虑过量球与牙侧面切点和螺纹轴线的平面（ $\theta_i$  平面）与过量球中心和螺纹轴线的平面的夹角  $\theta_i$  的影响，也不考虑量球中心与切点的连线与  $\theta_i$  平面的夹角  $\beta_i$  对测量结果的影响时，参考附录 B 中计算公式计算  $r_1$ ， $r_2$  可简化为式 (6)，式 (7) 和式 (8) 来计算。

$$r_1 = \frac{1}{2} \left[ m - \frac{d_m}{\sin \alpha_1} \right] \quad (6)$$

$$r_2 = \frac{1}{2} \left[ m - \frac{d_m}{\sin a_2} \right] \quad (7)$$

$$m = \frac{|x_{i+0.5P} - x_i| + |x_{i-0.5P} - x_i|}{2} + |x_{0+0.5P} - x_0| - |x_{i+0.5P} - x_i| - K \quad (8)$$

$$+ d_m + \delta l + \delta I + \delta T + \delta F + \delta S + \delta B$$

式中：

$m$ ——量球沿测量线与螺纹牙槽两侧接触，量球中心到螺纹轴线径向距离的2倍；

$d_m$ ——量球（针）直径；

$x_{i+0.5P}$ ——量球与被测牙槽 $i+0.5P$ 接触，测长仪的测量示值；

$x_i$ ——量球与被测牙槽 $i$ 接触，测长仪的测量示值；

$x_{i-0.5P}$ ——量球与被测牙槽 $i-0.5P$ 接触，测长仪的测量示值；

$x_{0+0.5P}$ ——量球与被测牙槽 $0+0.5P$ 接触，测长仪的测量示值； $x_0$ 为量球与被测牙槽0（基面所在牙槽）接触时的测长仪的测量示值；

$K$ ——T型测头的 $K$ 值；

$\delta l$ ——量球3次与不同轴向位置的牙槽接触，不同的切点处升角影响所引入的修正值；

$\delta I$ ——测量器具示值误差所引入的修正值；

$\delta T$ ——温度效应所引入的修正值；

$\delta F$ ——测力所引入的修正值；

$\delta S$ ——工作台导轨直线度所引入的修正值；

$\delta B$ ——牙侧面形状偏差、螺纹轴线与仪器测量方向不垂直等未考虑的非理想因素所引入的修正值。

### 7.2.1.2 量球法测量内螺纹基面中径

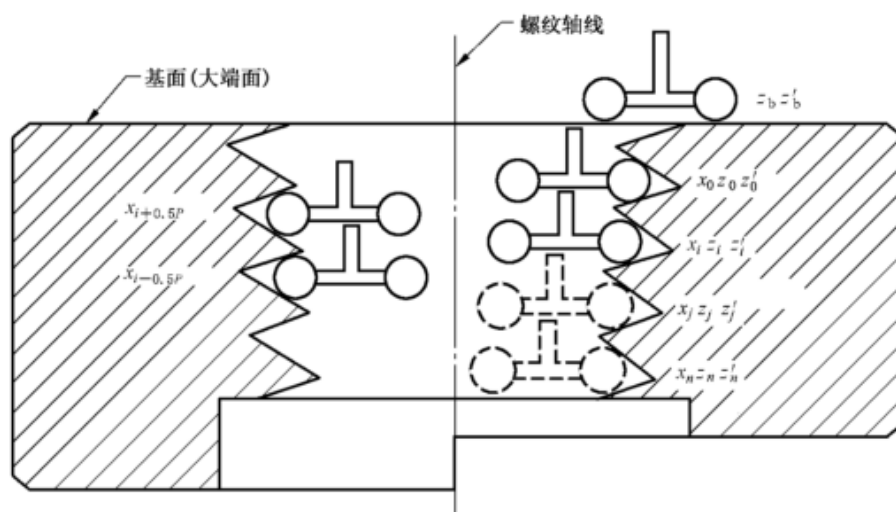


图4 内螺纹中径测量的量球法

选用合适的量球，校准时 T 型测头的测力一般为 0.3N 或 0.5N（如无此选项，测力应不超过 0.5N），由被测牙槽 0（最接近大端面牙槽）起沿被测螺纹母线向小端面逐牙测完所有可测量完整牙槽（见图 6），分别记录测长仪测量示值  $x_0 \dots x_i \dots x_j \dots x_n$ 、工作台轴向位移示值  $z_0 \dots z_i \dots z_j \dots z_n$ ，T 型侧头螺纹轴向浮动位移值  $z'_0 \dots z'_i \dots z'_j \dots z'_n$ ；再在被测牙槽  $i$  的螺纹另一侧测量  $\pm 0.5P$  的两相邻牙槽（见图 4），记录测长仪测量示值  $x_{i+0.5P}$  和  $x_{i-0.5P}$ 。

基面中径按公式（9）～（15）计算。

$$d_2 = 2r_c - 2r_p + \delta a \cdot T \quad (9)$$

$$r_c = \frac{r_1 \cdot \tan \alpha_1 + r_2 \cdot \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \quad (10)$$

$$r_p = \frac{P \cdot (1 - \tan \alpha_1 \cdot T / 2) \cdot (1 + \tan \alpha_2 \cdot T / 2)}{2(\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2)} \quad (11)$$

$$\delta a = \frac{(r_1 - r_2) \cdot \tan \alpha_1 \cdot \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \quad (12)$$

$$r_1 = \frac{1}{2} \left[ m - \frac{d_m}{\sin a_1} \right] \quad (13)$$

$$r_2 = \frac{1}{2} \left[ m + \frac{d_m}{\sin a_2} \right] \quad (14)$$

$$m = \frac{|x_{i+0.5P} - x_i| + |x_{i-0.5P} - x_i|}{2} + |x_{0+0.5P} - x_0| - |x_{i+0.5P} - x_i| + K \quad (15)$$

$$- d_m + \delta l + \delta I + \delta T + \delta F + \delta S + \delta B$$

### 7.2.2 螺距

圆锥螺纹螺距（导程）除采用螺纹综合测量机测量外，也可采用量球法、二维轮廓扫描法等其他满足测量准确度要求的方法。在螺纹全长上至少 2 个位置的两个相互垂直的轴截面（A-B,C-D）进行。

完成中径测量后，由被测牙槽 0（基面所在牙槽）起沿被测螺纹母线向小端面逐牙测完所有可测量完整牙槽（见图 2），分别记录测长仪测量示值  $x_0 \dots x_i \dots x_j \dots x_n$ 、工作台轴向位移示值  $z_0 \dots z_i \dots z_j \dots z_n$ ，T 型侧头螺纹轴向浮动位移值  $z'_0 \dots z'_i \dots z'_j \dots z'_n$ 。

$$P_j = |z_j + z'_j - z_{j-1} - z'_{j-1}| + \delta a_j - \delta a_{j-1} + \delta z - \delta z' + \delta T + \delta \omega$$

式中：

$P_j$ ——第  $j$  牙单个螺距

$z_j, z_{j-1}$ ——在测量条件下，量球与被测牙槽  $j$  和被测牙槽  $j-1$  接触测量时，工作台螺纹轴向位移示值；

$z'_j, z'_{j-1}$ ——在测量条件下，量球与被测牙槽  $j$  和被测牙槽  $j-1$  接触测量时，T 型侧头

螺纹轴向浮动位移示值；

$\delta a_j, \delta a_{j-1}$ ——量球与被测牙槽  $j$  和被测牙槽  $j-1$  接触测量时，量球中心到两牙侧焦点的轴向距离；

$\delta z$ ——工作台螺纹轴向位移的示值修正值；

$\delta z'$ ——T 型测头螺纹轴向浮动位移示值修正值；

$\delta T$ ——温度效应所引入的修正值；

$\delta \omega$ ——螺纹轴线与螺距测量方向不平行所引入的修正值。

### 7.2.3 基面大径

圆锥外螺纹基面大径采用螺纹综合测量机或坐标测量机进行测量。也可采用压板（量块）、圆柱（量针）和测长类器具进行测量，还可采用工具显微镜影像法、轴切法等其他满足准确度要求的方法测量。

以测量圆锥外螺纹基面大径为例，其测量方式如下：

将被测螺纹的小端面置于工作台上，使压板（量块）、标准圆柱（量针）置于工作台上并紧靠大径圆锥两侧母线，测量  $M$  值；再将压板（量块）、标准圆柱（量针）置于垫块（量块组合）上并紧靠大径圆锥母线，测量  $\Delta M$  值（见图 5）。垫块（量块组合）高度  $H$  与标准圆柱（量针）半径之和应尽可能等于基准距离  $l_g$ 。基面大径按式（16）计算。

$$d = M - d_m - (d_m + 2B) \cdot \sin \varphi + (2l_g - d_m) \cdot \frac{\Delta M}{H} \quad (16)$$

式中：

$M$ ——标准圆柱外侧的跨距；

$d_m$ ——标准圆柱的直径，取两标准圆柱直径的平均值；

$B$ ——压板厚度，取两压板厚度的平均值；

$\varphi$ ——被测螺纹圆锥半角，取名义值；

$l_g$ ——基面到小端面的距离；

$\Delta M$ ——压板，标准圆柱两次分别置于工作台上和垫块上，并紧靠同一侧大径圆锥母线，两次观测值之差；

$H$ ——垫块高度。

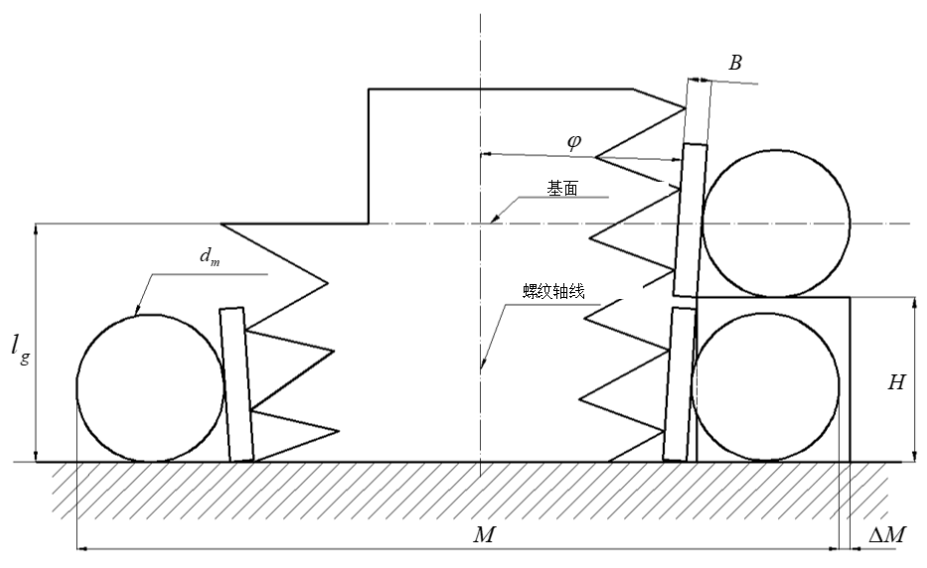


图5 外螺纹大径的压板、圆柱法

### 7.2.3 基面小径

圆锥螺纹量规基面小径采用螺纹综合测量机测量或坐标测量机进行测量。全牙型圆锥螺纹工作塞规基面小径也可采用显微镜影像法测量。

### 7.2.5 牙侧角

圆锥螺纹量规牙侧角除采用螺纹综合测量机测量外，外螺纹牙侧角还可采用万能工具显微镜轴切法、二维轮廓扫描法等其他满足准确度要求的方法测量；内螺纹牙侧角还可采用印模法、二维轮廓扫描法等其他满足准确度要求的方法测量。印模法是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。

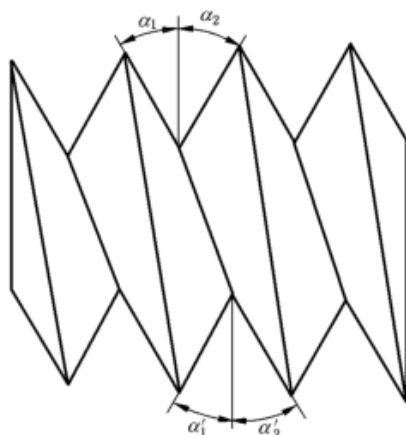


图6 轴切法测牙侧角



以万能工具显微镜轴切法测外螺纹牙侧角为例，其测量步骤如下：

被测螺纹安装在两顶针之间，根据螺距选取合适测量刀（见表3），使测量刃口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旋升角 $\phi$ （沿螺旋线方向倾斜），调整焦距使测量刃口影像清晰，将显微镜归零。

用测角目镜中心米字线瞄准测量刀刻线，在目镜角度盘上读取和记录两牙侧角示值 $\alpha_1, \alpha_2$ ；为了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，在螺纹轴线另一侧，测得 $\alpha'_1, \alpha'_2$ （见图6）；为了减小测量示值的测量不确定度，取平均值作为估计值。

表3 测量刀的选择

螺距 (mm)	测量刀
0.5~3	刃口与刻线间距为 0.3mm
3~6	刃口与刻线间距为 0.9mm

### 7.2.6 锥度

圆锥螺纹量规的锥度可沿中径线在不同轴向位置测量基面中径差来检测。建议在接近螺纹旋合区域两端的可测量完整牙槽处测量基面中径差。锥度可按定义计算基面中径差与轴向测量间距之比值求得，其测量模型见下式（17）。

$$T = \frac{\Delta d_2}{\Delta a} \quad (17)$$

式中：

$\Delta d_2$ ——两轴向测量位置的中径差；

$\Delta a$ ——两测量位置的轴向间距。

例，对于外螺纹圆锥螺纹量规来说，当已知俩直径值为大小端直径时，计算公式如下：

$$T = 2 \tan \varphi = \frac{D - d}{l} \quad (19)$$

式中：

$\varphi$ ——被测螺纹圆锥半角，（°）；

$D$ ——大端直径，（mm）；

$d$ ——小端直径，（mm）；

$l$ ——大小端直径的轴向距离，（mm）

### 7.2.7 台阶面位置

台阶面到小端面的距离通常可采用数显高度计和平板组合测量，也可以采用量块组合和电感仪进行比较测量，或可采用其他满足测量准确度要求的方法。

在采用数显高度计测量台阶面位置时，螺纹塞规小端放置在平板上，高度计测头在平板上对零，移动测头测量各个台阶面位置数值，每个台阶面测量三个位置，取平均值。

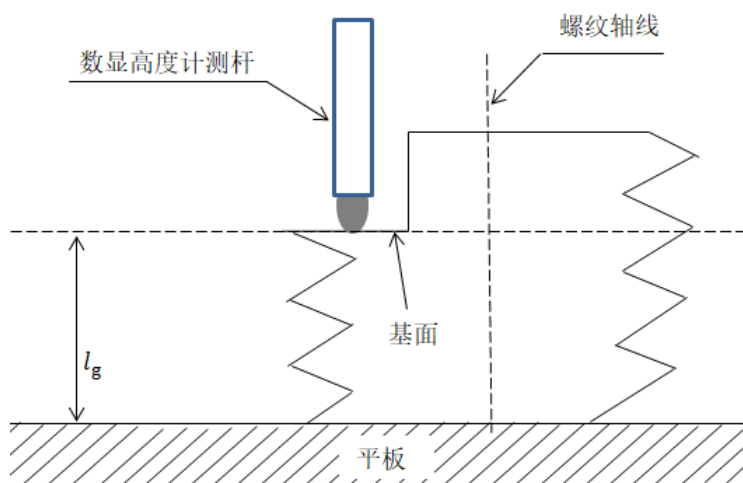


图 7 数显高度计测量台阶面位置

## 8 校准结果表达

经校准的圆锥螺纹量规出具校准证书。

## 9 复校时间间隔

螺纹量规的所有者也可根据使用频次、使用条件和磨损情况自行确定复校时间间隔定期进行复校。

## 附录 A

## 用于基面中径测量的量球（针）直径选择

使牙侧角可能偏差引起的基面中径测量不确定度分量最小的量球（针）直径为最佳直径。测量时建议选择具有最佳直径的量球（针），量球（针）的最佳直径按下列步骤计算。

a) 按式 (A.1) 设定量球（针）直径的初始值。

$$d_m = \frac{P}{2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right)} \left[ 1 + \tan^2\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2 \right] \quad (\text{A.1})$$

b) 根据基面基面中径名义值，按附录 B 的算法计算  $m$ 、 $\theta_i$  和  $\beta_i$  ( $i=1, 2$ )。

c) 计算牙侧角估计值的灵敏系数  $c_{\alpha_i}$  ( $i=1, 2$ )， $c_{\alpha_i} = \frac{\partial d_2}{\partial \alpha_i}$ 。

d) 由牙侧角的可能偏差引起的标准测量不确定度分量按式 (A.2) 计算。

$$u_\alpha(d_{2e}) = \sqrt{\sum c_{\alpha_i}^2 \cdot u^2(\alpha_i)} \quad (\text{A.2})$$

式中：

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

$c_{\alpha_i}$ ——牙侧角估计值的灵敏系数；

$u(\alpha_i)$ ——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。

e) 以适当的步进当量，逐渐改变量球（针）直径，按步骤 b) ~ 步骤 d) 计算  $u_\alpha(d_{2e})$ ，直至找到其最小值，与此最小值对应的量球（针）即是最佳直径。

如实际测量时无法选到具有最佳直径的量球（针），应保证所选量球（针）直径不超过最大和最小极限直径。

建议对实际选用的量球（针）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，确定是否需要测量牙侧角。

## 附录 B

已知基面中径计算  $m$  的方法

若已知被测牙槽两牙侧线交点处基面中径  $d_2$ ，当量球（针）与该牙槽两侧接触（此时测量线、两牙侧线交点和螺纹轴线在同一平面内），量球中心（量针轴线与测量线交点）到螺纹轴线径向距离的两倍  $m$  按下列步骤计算。

a) 按式 (B.1) 设定初始值  $m_i$ 。

$$m_i = d_2 + \frac{d_m \cdot (\sec \alpha_1 + \sec \alpha_2) - P \cdot (1 + \tan \alpha_1 \cdot T/2) \cdot (1 - \tan \alpha_2 \cdot T/2)}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \quad (\text{B.1})$$

b) 由  $m_i$  按外螺纹基面中径测算模型计算  $r_c$  和  $r_p$ 。

基面中径按式 (B.2) 计算。

$$d_2 = 2r_c + 2r_p + (\delta a + l_g - l_s) \cdot T \quad (\text{B.2})$$

式中：

$r_c$ ——在过测量线和螺纹轴线平面内，被测牙槽两牙侧线交点到螺纹轴线的径向距离；

$r_p$ ——在过测量线和螺纹轴线平面内，被测牙槽两牙侧线交点到中径线的径向距离；

$\delta a$ ——在过测量线和螺纹轴线平面内，被测牙槽两牙侧线交点到测量线的轴向距离； $\delta a > 0$  表示测量线比牙侧线交点更靠近大端面， $\delta a < 0$  表示测量线比牙侧线交点更靠近小端面， $\delta a = 0$  表示测量线过牙侧线交点；

$l_g$ ——从基面到小端面的轴向距离；

$l_s$ ——从测量线到小端面的轴向距离；

$T$ ——圆锥螺纹中径圆锥的锥度；

$r_c$ 、 $r_p$  和  $\delta a$  按式 (B.3)、式 (B.4) 和式 (B.5) 计算。

$$r_c = \frac{r_1 \cdot \tan \alpha_1 + r_2 \cdot \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \quad (\text{B.3})$$

$$r_p = \frac{P \cdot (1 + \tan \alpha_1 \cdot T/2) \cdot (1 + \tan \alpha_2 \cdot T/2)}{2(\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2)} \quad (\text{B.4})$$

$$\delta a = \frac{(r_2 - r_1) \cdot \tan \alpha_1 \cdot \tan \alpha_2}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2} \quad (\text{B.5})$$

式中：

$r_i$ ——在过测量线和螺纹轴线平面内，测量线与牙侧线交点到螺纹轴线的径向距离； $i=1$  表示靠近小端一侧， $i=2$  表示靠近大端一侧（见图 3）；

$\alpha_i$ ——被测螺纹的牙侧角（ $i=1, 2$ ），单位为弧度（rad）；

$P$ ——被测螺纹的螺距。

$r_1, r_2$  按式（6），式（7）和式（8）计算。

$$r_1 = \frac{1}{2} \left[ m \cdot \cos \theta_1 - \frac{d_m \cdot \cos \beta_1}{\sin \alpha_1} - \frac{P_h \cdot \theta_1}{\pi} \cdot \cot \alpha_1 \cdot (1 + \tan \alpha_1 \cdot T/2) \right] \quad (\text{B.6})$$

$$r_2 = \frac{1}{2} \left[ m \cdot \cos \theta_2 - \frac{d_m \cdot \cos \beta_2}{\sin \alpha_2} - \frac{P_h \cdot \theta_2}{\pi} \cdot \cot \alpha_2 \cdot (1 - \tan \alpha_2 \cdot T/2) \right] \quad (\text{B.7})$$

$$m = \frac{|x_{i+0.5P} - x_i| + |x_{i-0.5P} - x_i|}{2} + |x_{0+0.5P} - x_0| - |x_{i+0.5P} - x_i| - K + d_m + \delta l + \delta I + \delta T + \delta F + \delta S + \delta B \quad (\text{B.8})$$

式中：

$m$ ——量球沿测量线与螺纹牙槽两侧接触，量球中心到螺纹轴线径向距离的 2 倍；

$\theta_i$ ——过量球与牙侧面切点和螺纹轴线的平面（ $\theta_i$  平面）与过量球中心和螺纹轴线的平面的夹角（ $i=1, 2$ ），单位为弧度（rad）；

$d_m$ ——量球（针）直径；

$\beta_i$ ——量球中心与切点的连线与  $\theta_i$  平面的夹角（ $i=1, 2$ ），单位为弧度（rad）；

$P_h$ ——被测螺纹的导程；

$x_{i+0.5P}$ ——量球与被测牙槽  $i+0.5P$  接触，测长仪的测量示值；

$x_i$ ——量球与被测牙槽  $i$  接触，测长仪的测量示值；

$x_{i-0.5P}$ ——量球与被测牙槽  $i-0.5P$  接触，测长仪的测量示值；

$x_{0+0.5P}$ ——量球与被测牙槽  $0+0.5P$  接触，测长仪的测量示值； $x_0$  为量球与被测牙槽 0（基面所在牙槽）接触时的测长仪的测量示值；

$K$ ——T 型测头的  $K$  值；

$\delta l$ ——量球 3 次与不同轴向位置的牙槽接触，不同的切点处升角影响所引入的修正值；

$\delta I$ ——测量器具示值误差所引入的修正值；

$\delta T$ ——温度效应所引入的修正值；

$\delta F$ ——测力所引入的修正值；

$\delta S$ ——工作台导轨直线度所引入的修正值；

$\delta B$ ——牙侧面形状偏差、螺纹轴线与仪器测量方向不垂直等未考虑的非理想因素所引入的修正值。

$\theta_i$  和  $\beta_i$  ( $i=1, 2$ ) 按式 (B.9)、式 (B.10) 和式 (B.11) 进行迭代计算。

$$\sin \theta_i = \frac{d_m \cdot \sin \beta}{m} \quad (\text{B.9})$$

$$\tan \beta_1 = \frac{P_{\square} \cdot \cos \alpha_1}{\pi \cdot m \cdot \cos \theta_1} (1 + \tan \alpha_1 \cdot T/2) + \tan \theta_1 \cdot \sin \alpha_1 \quad (\text{B.10})$$

$$\tan \beta_2 = \frac{P_{\square} \cdot \cos \alpha_2}{\pi \cdot m \cdot \cos \theta_2} (1 - \tan \alpha_2 \cdot T/2) + \tan \theta_2 \cdot \sin \alpha_2 \quad (\text{B.11})$$

量球与牙槽两侧切点到螺纹轴线距离  $r_{Ti}$  ( $i=1, 2$ ) 按式 (12) 计算。

$$r_{Ti} = \frac{1}{2} (m \cdot \cos \theta_i - d_m \cdot \cos \beta_i \cdot \sin \alpha_i) \quad (\text{B.12})$$

c) 按式 (B.2) 计算  $m_{i+1}$ 。

$$m_{i+1} = m_i + d_2 - 2(r_c + r_p) \quad (\text{B.13})$$

d) 如  $m_{i+1}$  与  $m_i$  之差的绝对值大于设定的允许差，则继续迭代计算，直至两者之差的绝对值不大于设定的允许差，即求得  $m$ 、 $\theta_i$  和  $\beta_i$  等。

## 附录 C-1

## 锥管螺纹塞规基面中径测量不确定度的评定

## C.1 测量方法

开起螺纹机，安装与锥管螺纹塞规规格相应的测针以及夹具，对于夹具和测针进行标定。按规定方式完成锥管螺纹塞规的装夹，对锥管螺纹塞规基面进行互相垂直两个截面方向的接触式扫描，螺纹机自带软件对所测获得的参数进行计算，在工业 PC 显示器输出锥管螺纹塞规基面中径值。取两次测量获得值的均值为锥管螺纹塞规基面中径实测值。

## C.2 数学模型

$$d_2=Y \quad (\text{C-1.1})$$

式中： $d_2$ 为锥管螺纹塞规基面中径值； $Y$ 为显示器上的被测锥管螺纹塞规基面中径测得值。

## C.3 不确定度来源分析

影响锥管螺纹塞规基面中径测量结果的主要因素有测量重复性、标准器示值最大允许误差、环境条件、标准光面塞规等。下面从上述几个方面对螺纹综合测量仪测量锥度螺纹塞规的测量不确定进行评定。

## C.4 标准不确定度评定

C.4.1 由测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(Y)$ 

选择规格：RC1的锥管螺纹塞规为测量对象，对其基面中径进行连续10次测量，采用A类方法进行评定，所得的数据如表A.1所示。

表 A.1 实验数据和实验结果（单位：mm）

次数	1	2	3	4	5
读数值	31.7720	31.7719	31.7721	31.7720	31.7720
次数	6	7	8	9	10
读数值	31.7720	31.7721	31.7720	31.7720	31.7719
平均值	31.7720				

按贝塞尔公式计算得测量重复性为： $s \approx 0.000067\text{mm}$ 。

因每点实际测量 2 次，以 2 次测量算术平均值作为测量结果，因此重复性引入的不确定度为：

$$u_1(Y) = \frac{s}{\sqrt{2}} = \frac{0.000067\text{mm}}{\sqrt{2}} \approx 0.047\mu\text{m} \quad (\text{C-1.2})$$

#### C.4.2 由螺纹综合测量机最大允许误差引入的标准不确定度分量 $u_2(Y)$

螺纹综合测量仪的最大允许误差 MPE 为： $\pm(2.0\mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} L)$ ，按均匀分布计算，则

$$u_2(Y) = \frac{(2.0 + 31.772 \times 5 \times 10^{-6})}{\sqrt{3}} \approx 1.246\mu\text{m} \quad (\text{C-1.3})$$

#### C.4.3 由温度差引入的标准不确定度分量 $u_3(Y)$

在实际测量时，由于螺纹塞规及螺纹综合测量仪温度偏离 $20^\circ\text{C}$ 所引入的测量误差为

$$\delta T = Y \cdot \Delta \alpha \Delta t \quad (\text{C-1.4})$$

式中：

$\Delta \alpha$ ——分别是被测锥度螺纹塞规线膨胀系数 $\alpha$ 、螺纹综合测量仪光栅尺的线膨胀系数 $\alpha_s$ 之差

$\Delta t$ ——分别是被测锥度螺纹塞规温度 $t$ 、螺纹综合测量仪光栅尺的温度 $t_s$ 的差值

螺纹综合测量仪在测量时要求温度在 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 范围内，且温度变化每小时小于 $1^\circ\text{C}$ ，得到温度偏离 $20^\circ\text{C}$ 最大差值为 $\Delta t = 2.0^\circ\text{C}$ 。螺纹综合测量仪光栅尺的线膨胀系数为 $(8.0 \pm 1.0) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ，被测锥度螺纹塞规线膨胀系数为 $(12.0 \pm 1.0) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ，得到螺纹综合测量仪光栅尺与被测锥度螺纹塞规的线膨胀系数差 $\Delta \alpha$ 为 $5.0 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 、服从三角分布，按均匀分布计算，则

$$u_3(Y) = \frac{\Delta \alpha \times \Delta t \times Y}{\sqrt{6}} \approx 0.130\mu\text{m} \quad (\text{C-1.5})$$

#### C.4.4 由光面标准塞规引入的标准不确定度分量 $u_4(Y)$

根据光面标准塞规校准报告，直径扩展不确定度 $U = 1.5\mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} L$ ， $k=2$ ， $L$ 为光面塞规的标称直径，单位： $\text{mm}$ ，所引入的测量不确定度 $u_4(Y)$ 为：



$$u_4(Y) = \frac{1.5+5 \times 10^{-6} \times 30 \times 10^3}{2} = 0.875 \mu\text{m} \quad (\text{C-1.6})$$

### C.5 标准不确定度汇总表

**表 A.2 标准不确定度一览表**

不确定度来源	标准不确定度 ( $\mu\text{m}$ )
重复性引入的标准不确定度 $u_1(Y)$	0.047
标准器引入的标准不确定度 $u_2(Y)$	1.246
由温度差引入的标准不确定度分量 $u_3(Y)$	0.130
光面标准塞规引入的标准不确定度分量 $u_4(Y)$	0.875

### C.6 合成标准不确定度的评定

以上不确定度分量没有任何值得考虑的相关性，故合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{u_1^2(Y) + u_2^2(Y) + u_3^2(Y) + u_4^2(Y)} = 1.53 \mu\text{m} \quad (\text{C-1.7})$$

### C.7 扩展不确定度的评定

当置信概率  $p = 95\%$ ，取  $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U = k \cdot u_c \approx 4 \mu\text{m} \quad (\text{C-1.8})$$

## 附录 C-2

## 锥管螺纹塞规基面中径测量不确定度的评定

## C.1 测量方法

量球法测量锥管螺纹塞规中径值，安装与锥管螺纹塞规规格相应的 T 型测球以及夹具，对于夹具和测针进行标定。按规定方式完成锥管螺纹塞规的装夹，对锥管螺纹塞规基面进行接触式测量，通过公式计算出锥管螺纹塞规基面中径值。假定锥管螺纹塞规牙侧角相等，其基面中径测量不确定度模型如下。

## C.2 数学模型

$$d_2 = m + \frac{d_m}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{1}{2}P \cdot \cot \frac{\alpha}{2} \left(1 + \tan \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{T}{2}\right)^2 + (l_g - l_s) \cdot T \quad (\text{C-2.1})$$

## C.3 方差和灵敏系数

考虑各分量间彼此相互独立，依据间接测量不确定度评定的基本公式  $u_c^2(\delta_i) =$

$\sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)$  得：

$$u^2(d_2) = c_1^2 u_1^2(m) + c_2^2 u_2^2(d_m) + c_3^2 u_3^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + c_4^2 u_4^2(P) + c_5^2 u_5^2(T) + c_6^2 u_6^2(l) \quad (\text{C-2.2})$$

NPT<sub>1/2</sub>-14圆锥螺纹塞规测量时，其基本参数如下：

$$\frac{\alpha}{2} = \frac{\pi}{6}, T=0.0625, d_m = 1.100\text{mm}, P = 1.814\text{mm}, l_g = 6.15\text{mm}$$

$$\text{式中：} c_1 = \frac{\partial d_2}{\partial m} = 1, c_2 = \frac{\partial d_2}{\partial d_m} = \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} = 2,$$

$$c_3 = \frac{\partial d_2}{\partial \frac{\alpha}{2}} = \frac{d_m \cdot \cot \frac{\alpha}{2}}{\sin^2 \frac{\alpha}{2}} - \frac{P}{2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} + \frac{PT^2}{8 \cos^2 \frac{\alpha}{2}} = 0.202,$$

$$c_4 = \frac{\partial d_2}{\partial P} = \frac{1}{2} \cot \frac{\alpha}{2} \cdot \left(1 + \tan \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{T}{2}\right)^2 = 0.866, \quad (\text{C-2.3})$$

$$c_5 = \frac{\partial d_2}{\partial T} = \frac{P}{2} \cdot \left(1 + \tan \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{T}{2}\right) = 1.059,$$

$$c_6 = \frac{\partial d_2}{\partial l_s} = -T = -0.0625$$

#### C.4 标准不确定度评定

影响锥管螺纹塞规基面中径测量结果的主要因素有测量重复性、标准器、环境条件等。

##### C.4.1 由测长机引入的标准不确定度 $u(m)$

由于  $m$  值受下式中各因素影响：

$$m = \frac{|x_{i+0.5P} - x_i| + |x_{i-0.5P} - x_i|}{2} + |x_{0+0.5P} - x_0| - |x_{i+0.5P} - x_i| - K$$

$$+ d_m + \delta l + \delta I + \delta T + \delta F + \delta S + \delta B$$

(C-2.4)

分析引起测长机不确定度分量  $u(m)$  受测长机测量重复性、示值误差、线膨胀系数、温度差、测力大小、测球不确定度等因素影响，现分析各影响分量如下：

##### C.4.1.1 由测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(m)$

选择规格：NPT1/2-14型号美制圆锥螺纹塞规进行10次独立重复测量，得到10组测量数据，采用A类方法进行评定，所得的数据如表A.1所示。

表 A.1 实验数据和实验结果（单位：mm）

次数	1	2	3	4	5
读数值	19.7695	19.7692	19.7690	19.7693	19.7687
次数	6	7	8	9	10
读数值	19.7688	19.7687	19.7690	19.7694	19.7696
平均值	19.8091				

按贝塞尔公式计算得测量重复性为： $s \approx 0.098 \mu\text{m}$ 。

$$u_1(m) = 0.098 \mu\text{m} \quad (\text{C-2.5})$$

##### C.4.1.2 由测长机示值误差引入的标准不确定度 $u_2(m)$

SJ5100 高精度光栅测长机测量外尺寸最大允许误差为： $MPE = \pm (0.15 + L/1000)$  ( $\mu\text{m}$ )， $L$ —被测长度（单位 mm），以均匀分布估计，由于测杆两次移动引入的不确定度分量彼此完全正相关，故：

$$u_2(m) = \frac{\left[\left(0.15 + \frac{L}{1000}\right) + \left(0.15 + \frac{L}{1000}\right)\right]}{\sqrt{3}} = \frac{0.34}{\sqrt{3}} \approx 0.196\mu\text{m} \quad (\text{C-2.6})$$

#### C.4.1.3 由线膨胀系数及温度差引入的标准不确定度 $u_3(m)$

由于测长机带有自动温度补偿功能，故此测长机和室温的温度差引入的不确定度分量可忽略不计，经等温后及温度补偿后，被测圆锥螺纹量规与测长机光栅尺温度差估计 $\leq \pm 0.1^\circ\text{C}$ ，该分布为均匀分布，则：

$$u_3(m) = \frac{d_2 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6} \times 1}{\sqrt{3}} \approx 0.001\mu\text{m} \quad (\text{C-2.7})$$

#### C.4.1.4 由测力引入的标准不确定度 $u_4(m)$

测量时，不同测力导致测球产生的形变和测杆弯曲程度也不同，在实用实用 SJ5100 高精度光栅测长机进行测量时，控制每次测量时测力为 0.3N 左右，测量力变化较小，由测力带入的标准不确定可以忽略。

$$u_4(m) = 0\mu\text{m} \quad (\text{C-2.8})$$

#### C.4.1.5 由 T 型测头常数引入的标准不确定度 $u_5(m)$

T 型测头常数  $K = D_S - \Delta l$ ，在计算  $m$  值时已考虑测长机示值误差带入测量不确定分量的影响，在此仅考虑环规的测量不确定度对  $K$  值的影响，其中环规的测量不确定度分量为 B 类不确定度，从证书可知，其  $U = 0.7\mu\text{m}$ ， $k = 2$ 。其引入的测量不确定度为均匀分布，其测量不确定分量为：

$$u_5(m) = \frac{0.35}{\sqrt{3}} \approx 0.202\mu\text{m} \quad (\text{C-2.9})$$

#### C.4.1.6 由测长机测量 $m$ 值带入的测量不确定度分量 $u(m)$ 为：

$$u(m) = \sqrt{u_1^2(m) + u_2^2(m) + u_3^2(m) + u_4^2(m) + u_5^2(m)} = 0.298\mu\text{m} \quad (\text{C-2.10})$$

#### C.4.2 由测球直径引入的标准不确定度 $u(d_m)$

测球的测量不确定度为 B 类不确定度，从证书可知，其  $U = 0.5\mu\text{m}$ ， $k = 2$ 。其引入的测量不确定度为均匀分布，其测量不确定分量为：

$$u(d_m) = \frac{0.25}{\sqrt{3}} \approx 0.144\mu\text{m} \quad (\text{C-2.11})$$

#### C.4.3 圆锥螺纹塞规牙侧角引入的标准不确定度分量 $u(\alpha/2)$

在实际测量时，牙侧角很难正好均分，参照行业标准 GB/T 12716-2011《60° 密封管螺纹》中对于圆锥螺纹塞规牙型半角的允差  $\pm 11'$ ，按均匀分布计，则

$$u\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{11}{\sqrt{3}} \times \frac{\pi}{180 \times 60} \approx 0.00185 \text{rad} \quad (\text{C-2.12})$$

#### C.4.4 圆锥螺纹塞规螺距误差引入的标准不确定度分量 $u(P)$

参照行业标准 GB/T 12716-2011《60° 密封管螺纹》中对于圆锥螺纹塞规螺距的允许误差 $\pm 5\mu\text{m}$ ，我们认为它服从三角分布，则

$$u(P) = \frac{5}{\sqrt{6}} \approx 2.042\mu\text{m} \quad (\text{C-2.13})$$

#### C.4.5 圆锥螺纹塞规锥角误差引入的标准不确定度分量 $u(T)$

对 NPT1/2-14 圆锥螺纹塞规来说，锥角标称值为  $3^\circ 34' 47''$ ，锥角最大允许偏差为  $54''$ ，即最大允许锥角为  $3^\circ 35' 41''$ ，带入计算 $u(T)$ ，

$$u(T) = 0.386 - 0.384 = 0.002\mu\text{m} \quad (\text{C-2.14})$$

#### C.4.6 圆锥螺纹塞规基面距离误差引入的标准不确定度分量 $u(l)$

圆锥螺纹塞规基面距离误差引入的标准不确定度分量 $u(l)$ 主要取决于 Z 方向数显千分表引入的测量不确定度，该表最大允许误差为 MPE:  $2\mu\text{m}$ ，按均匀分布计算，

$$u(l) = \frac{2}{\sqrt{3}} \approx 1.155\mu\text{m} \quad (\text{C-2.15})$$

### C.5 标准不确定度汇总表

表 A.2 标准不确定度一览表

不确定度来源	灵敏系数 $c_i$	标准不确定度( $\mu\text{m}$ )
测长机引入的标准不确定度 $u(m)$	1	0.298
测球直径引入的标准不确定度 $u(d_m)$	2	0.144
牙侧角引入的标准不确定度分量 $u(\alpha/2)$	0.202	0.00185rad
螺距误差引入的标准不确定度分量 $u(P)$	0.866	2.042
锥角误差引入的标准不确定度分量 $u(T)$	1.059	0.002
基面距离误差引入的标准不确定度分量 $u(l)$	-0.0625	1.155

#### C.6 合成标准不确定度的评定

以上不确定度分量没有任何值得考虑的相关性，故合成标准不确定度：

综上，由测长机带入的测量不确定度分量  $u(m)$  为：

$$u(d_2) = \sqrt{c_1^2 u_1^2(m) + c_2^2 u_2^2(d_m) + c_3^2 u_3^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + c_4^2 u_4^2(P) + c_5^2 u_5^2(T) + c_6^2 u_6^2(l)}$$

$$u(d_2) \approx 1.827 \mu\text{m} \quad (\text{C-2.16})$$

### C.7 扩展不确定度的评定

当置信概率  $p = 95\%$ ，取  $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U = k \cdot u_c \approx 4 \mu\text{m} \quad (\text{C-2.17})$$

## 附录 D

### 校准证书内容

- a) 标题“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。