



# 中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 408—2000

---

## 齿轮螺旋线样板

Gear Helix Master

2000—02—14 发布

2000—06—01 实施

---

国家质量技术监督局 发布

# 齿轮螺旋线样板检定规程

Verification Regulation of Gear

Helix Master

JJG 408—2000  
代替 JJG 408—1986

---

本规程经国家质量技术监督局于2000年02月14日批准，并自2000年06月01日起施行。

归口单位：全国几何量长度计量技术委员会

起草单位：中国计量科学研究院

本规程委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

**本规程起草人：**

张 伟（中国计量科学研究院）

李 锐（中国计量科学研究院）

## 目 录

1 范围	(1)
2 概述	(1)
2.1 齿轮螺旋线样板工作原理	(1)
2.2 样板准确度等级	(1)
2.3 样板的作用	(1)
2.4 常用样板规格尺寸	(1)
2.5 样板结构	(2)
3 计量性能要求	(2)
3.1 稳定性	(2)
3.2 其它计量性能	(2)
4 通用技术要求	(5)
4.1 外观	(5)
4.2 形状误差值	(5)
5 计量器具控制	(5)
5.1 检定条件	(5)
5.2 检定项目	(6)
5.3 检定方法	(6)
6 检定结果处理	(11)
7 检定周期	(11)
附录 A 螺旋角测量不确定度评定分析实例	(12)
附录 B 检定证书和检定不合格通知书内面格式	(23)

## 齿轮螺旋线样板检定规程

### 1 范围

本规程适用于齿轮螺旋线样板的首次检定、后续检定和使用中检验。

### 2 概述

#### 2.1 齿轮螺旋线样板工作原理

齿轮螺旋线样板（以下简称样板）是用于齿向测量仪、导程测量仪、齿轮测量机、齿轮测量中心（以上测量设备下文简称仪器）等螺旋线参数的检定、校准、调修和验收的标准计量器具。它以其工作面上的螺旋线与仪器形成的螺旋线进行比较来确定仪器示值误差，并可对仪器示值误差进行修正，使用坐标测量机测量产品齿轮螺旋线参数时，也应使用样板校准其示值误差。

#### 2.2 样板准确度等级

样板的制造准确度应符合《齿轮螺旋线样板》国家标准 GB/T 6468—2000 的要求。样板按其制造误差和测量不确定度分为一等螺旋线样板和二等螺旋线样板（以下简称一等样板和二等样板），两种样板均可称为标准样板。

#### 2.3 样板的作用

2.3.1 一等样板可用于检定二等样板，进行量值传递。检定时标准样板与被测样板角度应一致。

2.3.2 一等样板和二等样板均可用于校准仪器示值误差，由此得到修正值。在检查齿轮产品时，仪器应加修正值使用，由此提高仪器的使用准确度。

2.3.3 一等样板用于检定 3~4 级仪器螺旋线示值误差，二等样板用于检定 5 级和 5 级以下仪器螺旋线示值误差。检定时应使用两种不同角度的样板分别进行，以最大值确定仪器螺旋线示值误差。

#### 2.4 常用样板规格尺寸

常用样板规格尺寸见表 1。

表 1 常用样板规格尺寸

基圆半径 $r_b$ 或分圆半径 $r$	基圆螺旋角 $\beta_b$ 或分圆螺旋角 $\beta$	齿宽	旋向
$r_b 24 \text{ mm}$	$\beta_b 15^\circ$	90 mm	左旋、右旋
$r 31 \text{ mm}$	$\beta 15^\circ$	90 mm	0°、左旋、右旋
$r 31 \text{ mm}$	$\beta 30^\circ$	80 mm	0°、左旋、右旋
$r 31 \text{ mm}$	$\beta 45^\circ$	80 mm	左旋、右旋

表 1 (续)

基圆半径 $r_b$ 或分圆半径 $r$	基圆螺旋角 $\beta_b$ 或分圆螺旋角 $\beta$	齿宽	旋向
$r$ 50 mm	$\beta 15^\circ$	(60~80) mm	$0^\circ$ 、左旋、右旋
$r$ 50 mm	$\beta 15^\circ$	100 mm	$0^\circ$ 、左旋、右旋
$r$ 100 mm	$\beta 30^\circ$	170 mm	左旋、右旋

允许使用左、右旋对称的其它尺寸样板。

## 2.5 样板结构

样板的结构分整体式和镶嵌式两种, 常见外形如图 1、图 2 所示。

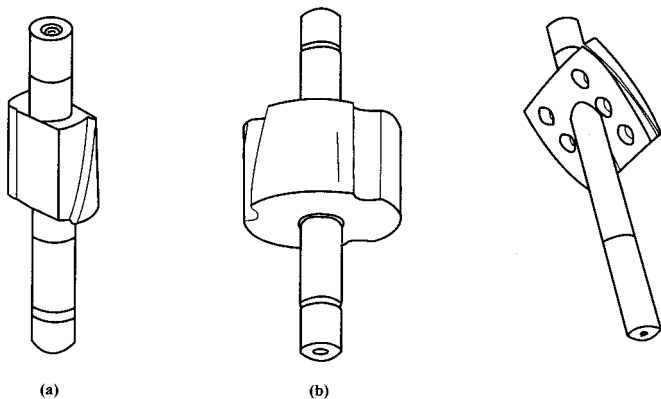


图 1 整体式样板

图 2 镶嵌式样板

## 3 计量性能要求

### 3.1 稳定性

螺旋线样板是一种性能稳定可靠的标准计量器具, 螺旋角 3 次周期检定结果, 其线值变化量不应超出  $3 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$ , 否则应在检定证书上写明缩短检定周期、降等级或建议不作标准使用等结论。

上述要求应在排除顶尖孔磕碰、磨损和工作面生锈因素之后进行判断。

### 3.2 其它计量性能

3.2.1 一等样板渐开线部分展开长度要求应符合表 2 规定, 并能从基圆开始画出齿廓误差曲线。

二等样板渐开线展开长度应大于 10 mm。

表2 渐开线展开长度要求

mm

基圆半径 $r_b$	展开长度 $\rho$
$\leq 24$	$> 18$
$24 < r_b \leq 50$	$> 30$
$50 < r_b \leq 100$	$> 40$
$> 100$	$> 60$

曲线长度不满足上述要求时, 应使用渐开线样板确定基圆位置。

3.2.2 粗糙度  $R_a$  要求应符合表3规定。

表3 粗糙度  $R_a$  要求 $\mu\text{m}$ 

齿面	$< 0.2$
芯轴	$< 0.4$
顶尖孔 $60^\circ$ 锥面	$< 0.1$

3.2.3 顶尖孔要求应符合表4规定。

表4 顶尖孔要求

 $\mu\text{m}$ 

样板等级	顶尖孔圆度	芯轴外圆相对顶尖孔的全跳动
一等样板	$< 0.4$	$\leq 1.0$
二等样板	$< 0.8$	$\leq 2.0$

3.2.4 样板渐开线部分形状及基圆允许误差。

3.2.4.1 渐开线形状最大允许误差应符合表5规定, 齿根部展开长5mm范围内允许大于表5规定的3倍。

表5 渐开线形状最大允许误差  $\Delta f_{fe}$  $\mu\text{m}$ 

样板等级	基圆半径 $r_b$	
	$r_b \leq 100\text{mm}$	$100\text{mm} < r_b \leq 200\text{mm}$
一等样板	1.2	1.5
二等样板	1.5	2.0

3.2.4.2 渐开线基圆最大允许误差应符合表 6 规定。

表 6 渐开线基圆最大允许误差  $\Delta r_b$   $\mu\text{m}$

样板等级	基圆半径 $r_b$		
	$r_b < 50\text{mm}$	$50\text{mm} \leq r_b \leq 100\text{mm}$	$100\text{mm} < r_b \leq 150\text{mm}$
一等样板	1.2	1.3	1.5
二等样板	1.5	1.8	2.0

3.2.5 样板螺旋线形状和螺旋角最大允许误差。

3.2.5.1 螺旋线形状最大允许误差应符合表 7 规定。距样板齿宽方向两端各 5mm 范围内允许大于表 7 规定的 2 倍。

表 7 螺旋线形状最大允许误差  $\Delta f_{H\beta}$   $\mu\text{m}$

样板等级	基圆半径 $r_b$	
	$r_b \leq 100\text{mm}$	$r_b > 100\text{mm}$
一等样板	1.2	1.5
二等样板	1.5	2.0

3.2.5.2 螺旋角最大允许误差应符合表 8 的规定。

表 8 螺旋角最大允许误差  $\Delta f_{H\beta}$   $\mu\text{m}/100\text{mm}$

样板等级	基圆半径		
	$r_b \leq 50\text{mm}$	$50\text{mm} < r_b \leq 100\text{mm}$	$100\text{mm} < r_b \leq 150\text{mm}$
一等样板	1.2	1.3	1.5
二等样板	1.5	1.8	2.0

当被测样板测量长度  $L_{\beta 1}$  与表 8 所列不同时, 应按下式计算螺旋角允许误差  $\Delta f_{H\beta 1}$ 。

$$\Delta f_{H\beta 1} = \frac{\Delta f_{H\beta} \cdot L_{B1}}{L_{\beta}} \quad (1)$$

式中:  $\Delta f_{H\beta}$ ——螺旋角允许误差,  $\mu\text{m}$ ;

$L_{\beta}$ ——齿宽方向测量长度, 100 mm;


$\Delta f_{H\beta 1}$ ——所求的被测样板螺旋角允许误差,  $\mu\text{m}$ ;

$L_{\beta 1}$ ——被测样板齿宽方向测量长度, mm。



## 4 通用技术要求

### 4.1 外观

4.1.1 样板体上应标明分圆或基圆半径、分圆或基圆螺旋角、厂标和出厂编号及  标志。

4.1.2 样板的齿面、顶尖孔及芯轴等表面不应有碰伤、锈蚀、显著划痕及影响准确度的其它缺陷。

### 4.2 形状误差值

形状误差检定值应小于样板相应制造误差的 2 倍，超出者，则降等级使用或建议不做标准使用。

## 5 计量器具控制

包括首次检定、后续检定和使用中检验。

### 5.1 检定条件

#### 5.1.1 检定时环境条件

检定室内应保持清洁、无尘、无震动。

一等样板检定时的温度为  $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ ，温度变化率小于  $0.3^\circ\text{C}/\text{h}$ 。

二等样板检定时的温度为  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，温度变化率小于  $0.5^\circ\text{C}/\text{h}$ 。

湿度小于 70%。

#### 5.1.2 检定用设备

检定用设备见表 9。

表 9 检定用设备

检定项目 \ 样板等级	一等样板	二等样板
齿面粗糙度	粗糙度检查仪	
顶尖孔、芯轴表面粗糙度	粗糙度比较样块	
顶尖孔圆度	圆度仪	
芯轴外圆相对顶尖孔全跳动	齿轮检查仪	
渐开线形状误差和基圆半径	测量不确定度符合本规程要求的坐标式测量装置或检查仪，以直接法进行测量	坐标式测量装置、万能渐开线检查仪（包括补偿式）、齿轮测量中心、齿轮测量机
螺旋线形状误差和螺旋角	测量不确定度符合本规程要求的坐标式测量装置或检查仪，以直接法进行测量	坐标式测量装置、渐开线螺旋线检查仪、螺旋线检查仪、导程仪、齿轮测量中心

5.1.3 被检样板放置在检定室内平衡温度的时间应不少于 12 小时。

检定用仪器放置在检定室内平衡温度的时间应不少于 24 小时。

5.1.4 被检样板与检定用仪器的温差不大于 0.5℃。

5.1.5 其它要求

a) 检定样板前，应使用无腐蚀性汽油将样板光滑面及其余表面清洗干净，用清洁的棉布擦干光滑面，放置在平台上等待检定。

b) 样板检定时应轻拿轻放，不能磕碰。样板使用完毕应及时涂上防锈油。

c) 样板送检时，必须带包装箱。样板在包装箱内应稳固可靠并保证样板不发生磕碰、受潮等现象，否则引起的后果自负。

5.2 检定项目

检定项目列于表 10。

表 10 检 定 项 目

序号	检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
1	外观	+	-	-
2	表面粗糙度	+	-	-
3	顶尖孔	+	+	+
4	渐开线形状误差和基圆半径	+	+	-
5	螺旋线形状误差和螺旋角	+	+	-

注：表中“+”表示必须检定，“-”表示可以不检。

5.3 检定方法

5.3.1 表面粗糙度

齿面、顶尖孔和芯轴表面的粗糙度用粗糙度仪器或粗糙度比较样块比较检查。

5.3.2 顶尖孔

5.3.2.1 顶尖孔圆度用圆度仪检定。

5.3.2.2 芯轴外圆相对顶尖孔的全跳动

将样板顶在两顶尖同轴度不大于  $2\mu\text{m}$  的仪器上，电感测微仪或测微表的表头先后放在距芯轴两端各 10 mm 的位置上依次进行检定，转动芯轴一圈，观察指示表示值，最大最小值之差为芯轴外圆相对顶尖孔的全跳动。

全跳动超差时，不再进行其它项目检定。

5.3.3 样板渐开线形状误差和基圆半径

当样板渐开线部分不用于确定仪器基圆位置时，直接按本规程 5.3.4 检定。

5.3.3.1 渐开线形状误差和基圆半径可在同一次测量中得到，曲线展开长度应符合

3.2.1 的规定。测量时:

$r_b$  小于等于 60 mm 时使用  $\phi 3$  mm 测头;  $r_b$  大于 60 mm 时使用  $\phi 6$  mm 测头; 测量在齿宽的中间位置进行; 渐开长度方向放大倍率 1:1; 齿形误差方向放大倍率 1000:1。

### 5.3.3.2 一等样板渐开线形状误差和基圆半径

一等样板渐开线形状误差和基圆半径用直接法检定, 采用极坐标测量方式在坐标式仪器上进行。根据渐开线理论公式:

$$\rho = r_b \theta \frac{\pi}{180} \quad (2)$$

测其转角  $\theta_i$  及相应展开长度  $\rho_i$ , 如图 3 所示。多点采样数据用最小二乘法进行计算, 见公式 (3)。

$$r_b = \frac{\sum (\theta_i - \bar{\theta})(\rho_i - \bar{\rho})}{\sum (\theta_i - \bar{\theta})^2} \times \frac{180}{\pi} \quad (3)$$

式中:  $\theta_i$ ——第  $i$  点的转角, ( $^\circ$ );

$\bar{\theta}$ ——多点角度测量平均值, ( $^\circ$ );

$\rho_i$ ——转角第  $\theta_i$  点的相应展开长, mm;

$\bar{\rho}$ ——多点展开长的平均值, mm。

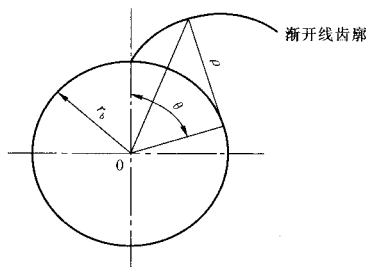


图 3 渐开线函数关系

$r_b$ —基圆半径;  $\theta$ —展开角;  $\rho$ —展开长

在评定范围内, 包容实际曲线且与回归直线平行的两条最接近的直线间的坐标距离为渐开线形状误差  $\Delta f_{ja}$ 。

### 5.3.3.3 二等样板渐开线形状误差和基圆半径

二等样板渐开线形状误差和基圆半径可以用微差比较法检定。所使用仪器型式可为展成式、坐标式。检定时, 被测样板半径与标准样板半径尺寸应相近, 当两者之差超过 5 mm 时, 应使用两种不同半径的标准样板进行, 两半径尺寸至少相差 80 mm。

a) 用展成式仪器检定时, 先用一等样板确定仪器基圆半径示值误差, 方法是将齿形误差曲线画正直 (即曲线不含基圆误差) (见图 4), 读取刻尺基圆半径值, 与样板检

定值（证书上的数据）之差为仪器示值修正值  $\Delta r_b'$ 。然后检定二等样板，同样将二等样板（即被测样板）齿形误差曲线画正直，读取刻尺基圆半径值  $r_b'$ ，将一等样板再求一次修正值  $\Delta r_b''$ ，取前后二次修正值的平均值对二等样板的示值进行修正。则二等样板的实测基圆半径  $r_b$  为：

$$r_b = r_b' + \frac{\Delta r_b' + \Delta r_b''}{2} \quad (4)$$

b) 用坐标式仪器检定时，同样先用一等样板确定仪器修正值，方法是当渐开线误差曲线无齿廓斜率偏差时，此时的输入值为仪器示值，与其检定值相减，差值即为修正值。再将二等样板放在仪器上检定，同样使曲线无斜率偏差，其示值加上修正值作为二等样板基圆半径检定值。

例如：一等样板在仪器上的示值  $r_{b\text{标}}' = 150.085$  mm，检定值即证书上的数据  $r_{b\text{标}} = 150.080$  mm，修正值  $\Delta r_b$  为：

$$\Delta r_b = r_{b\text{标}} - r_{b\text{标}}' = 150.080 - 150.085 = -0.005 \text{ mm}$$

设被测的二等样板在仪器上的示值为  $r_b' = 150.090$  mm，其基圆半径的最后检定结果  $r_b$  为：

$$r_b = r_b' + \Delta r_b = 150.090 + (-0.005) = 150.085 \text{ mm}$$

c) 渐开线斜率偏差  $\Delta f_{H\alpha}$  换算成基圆半径偏差的计算公式如下：

$$\Delta r_b = \frac{\Delta f_{H\alpha}}{L_a} \cdot r_b' \quad (5)$$

式中： $\Delta r_b$ ——基圆半径偏差，mm；

$\Delta f_{H\alpha}$ ——渐开线斜率偏差，mm；

$L_a$ ——评定范围内测量长度，mm；

$r_b'$ ——测量时输入值或刻尺示值，mm。

d) 渐开线形状误差应不含基圆误差（或斜率偏差）的正直曲线（见图4），误差方向的坐标值即为渐开线形状误差  $\Delta f_{fa}$ 。

### 5.3.4 样板螺旋线形状误差和螺旋角

5.3.4.1 螺旋线形状误差和螺旋角可在同一次测量中得到。测量时：

对展成式仪器，其基圆刻尺读数应为齿形误差曲线画正直时的读数；

对导程式仪器基圆刻尺读数应为在渐开线仪器上得到的检定值；

对坐标式仪器，当曲线无斜率偏差时的输入值为基圆半径值。

基圆测量滑架需沿切向导轨移动一段距离  $\rho'$ ，使测头处于样板分度圆上，与齿面呈法线方向接触， $\rho'$  计算公式如下：

$$\rho' = r_b \operatorname{tg} \alpha \quad (6)$$

式中： $\rho'$ ——测头沿切向导轨移动的距离，mm；

$r_b$ ——样板基圆半径名义值, mm;

$\alpha$ ——齿面端面压力角, ( $^\circ$ )。

### 5.3.4.2 一等样板螺旋线的检定方法

一等样板螺旋线形状误差和螺旋角用直接法在坐标式仪器上测量。图 5 为螺旋线展开原理图, 由图 5 知:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2\pi r}{P_Z} \quad (7)$$

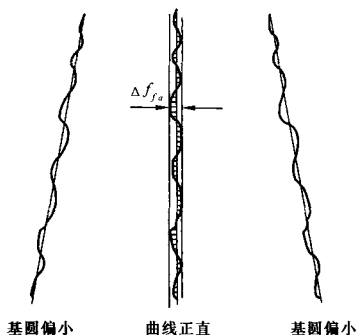


图 4 渐开线形状误差曲线

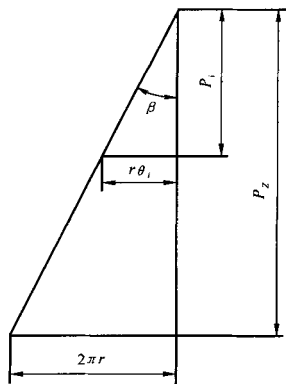


图 5 螺旋线展开图

又

$$P_i = \frac{P_Z}{2\pi} \theta_i \quad (8)$$

式中:  $\beta$ ——样板螺旋角;

$r$ ——样板半径;

$P_Z$ ——样板导程;

$P_i$ —— $\theta_i$  点的相应导程;

$\theta_i$ ——第  $i$  个测量点的转角。

从式 (8) 知, 只要测出部分样板导程, 就可通过螺旋线导程公式 (8) 算出螺旋角  $\beta$ :

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{r\theta_i}{P_i} \quad (9)$$

测量时, 样板转过一个角度  $\theta_i$ , 就可得到一个相应的导程  $P_i$ , 进行多点采样测量,

所采数据用最小二乘公式 (10) 计算导程  $P_Z$  :

$$P_Z = 2\pi \frac{\sum (\theta_i - \bar{\theta})(P_i - \bar{P})}{\sum (\theta_i - \bar{\theta})^2} \quad (10)$$

在评定范围内, 包容实际螺旋线且与回归直线平行的两条最接近的直线间的坐标距离为螺旋线形状误差  $\Delta f_{f\beta}$  (见图 6)。

为统一量值, 检定证书给出基圆半径  $r_b$  和基圆螺旋角  $\beta_b$  的测量值, 当需要得到分圆螺旋角  $\beta$  时, 应按公式 (11) 计算。

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \beta_b \frac{r}{r_b} \quad (11)$$

式中:  $r$ ——分圆半径。

#### 5.3.4.3 二等样板螺旋线的检定方法

二等样板螺旋线形状误差和螺旋角用微差比较法检定。所使用仪器型式为展成式、导程式、坐标式齿轮检查仪以及坐标测量机。检定时, 被测样板螺旋角标称值应与标准样板一致, 如相差  $5^\circ$  以上时, 应使用带有  $0^\circ$  槽的  $15^\circ$ 、 $30^\circ$  或  $45^\circ$  三种角度中至少两种角度样板应进行检定。

a) 用展成式仪器检定时, 同样将螺旋线误差曲线画正直, 度盘螺旋角示值, 与样板检定值 (证书上的数据) 之差为仪器示值修正值  $\Delta\beta'_b$ , 然后将二等样板 (即被测样板) 放在仪器上测量检定, 方法同一等样板, 得到被测样板螺旋角示值  $\beta'_b$ , 将一等样板再求一次修正值  $\Delta\beta''_b$ , 取前后两次修正值的平均值对二等样板螺旋角示值进行修正。则二等样板实际螺旋角  $\beta_b$  为:

$$\beta_b = \beta'_b + \frac{\Delta\beta'_b + \Delta\beta''_b}{2} \quad (12)$$

b) 用导程仪检定时, 基圆半径刻尺读数使用在渐开线仪器上得到的检定值。螺旋角的检定方法同 a)。

c) 用坐标式仪器检定时, 应先用一等样板确定仪器修正值, 方法是当螺旋线误差曲线无斜率偏差时, 输入值与其检定值相减, 差值即为修正值。再将二等样板放在仪器上检定, 同样使曲线无斜率偏差, 其示值加上修正值作为二等样板螺旋角检定值。

例如: 一等样板在仪器上的示值  $\beta_{b\text{标}}' = 15^\circ 00' 10''$ , 其检定值即证书上的数据  $\beta_{b\text{标}} = 15^\circ 00' 05''$ , 修正值  $\Delta\beta_b$  为:

$$\Delta\beta_b = \beta_{b\text{标}} - \beta_{b\text{标}}' = 15^\circ 00' 05'' - 15^\circ 00' 10'' = -5''$$

被测的二等样板在仪器上的示值为  $\beta'_b$ , 其螺旋角的最后检定结果  $\beta_b$  为:

$$\beta_b = \beta'_b + \Delta\beta_b$$

#### 5.3.4.4 螺旋线形状误差曲线应为不含螺旋角误差或螺旋线斜率偏差的正直曲线, 误

差方向的坐标值即为螺旋线形状误差  $\Delta f_{f\beta}$  (见图 6)。

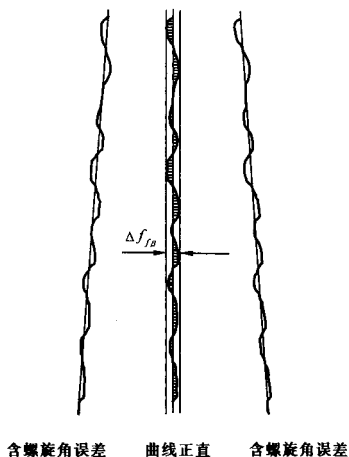


图 6 螺旋线形状误差曲线

## 6 检定结果处理

凡符合本规程要求的样板开具检定合格证书，证书上应注明基圆或分圆半径、基圆或分圆螺旋角、曲线放大倍率、起始点和终止点、测头形状、安装方式、测量室温等有关内容并附样板误差曲线。

不符合本规程要求的样板，开具检定不合格通知书。

## 7 检定周期

根据样板稳定性可延长或缩短检定周期，一般不超过 2 年。

## 附录 A

## 螺旋角测量不确定度评定分析实例

本规程规定了两种螺旋角测量方法，一种是直接测量法，另一种是微差比较法，下面分别举例说明螺旋角测量不确定度的评定方法和具体计算过程。

## A.1 直接法螺旋角测量不确定度的评定。

## A.1.1 测量过程和方法

一等样板螺旋角必须以直接法在坐标式仪器上检定。

坐标式仪器常用多齿台、激光干涉仪和光栅等测量元件进行采样测量。

由于不同型式的仪器采用的测量元件及结构有所不同，不确定度来源及其大小也不尽相同。因此，每种型式仪器的实际测量准确度应具体情况具体分析。

下面以一个测量样板螺旋角的装置为实例，进行不确定度评定及分析计算。

图 A.1 为该装置测量示意图。将样板安装在两顶尖间，下顶尖回转轴系采用圆光栅分度，测头靠在被测样板齿面分圆附近并沿垂直导轨移动，移动的距离用激光干涉仪

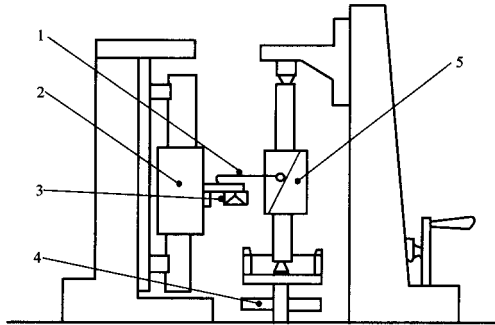


图 A.1 螺旋线样板测量装置测量示意图

1—电感测头；2—垂直导轨滑架；3—干涉仪测量镜；

4—光栅；5—被测样板

测量，当样板围绕主轴旋转某一角度  $\theta_i$ ，测头便沿垂直导轨上升一段距离即样板螺旋线的某一段导程  $P_i$ 。从本规程正文螺旋线展开图 6 得知：

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{r \theta_i}{P_i} \quad (\text{A.1})$$



$$\operatorname{tg}\beta = \frac{2\pi r}{P_Z} \quad (\text{A.2})$$

因此，可以把螺旋角的测量变成多个  $\theta_i$  和  $P_i$  的测量，通过最小二乘法计算被测样板导程  $P_Z$ ，利用导程公式得到螺旋角  $\beta$ 。

### A.1.2 数学模型

$$\beta = \arctg\left[\frac{r\theta}{P}\right] \quad (\text{A.3})$$

式中： $r$ ——样板半径；

$\theta$ ——样板测量回转角；

$P$ ——样板测量导程。

### A.1.3 不确定度传播律

依据：

$$u_c^2(y) = \sum_i \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right] \left[ \frac{\partial f}{\partial x_j} \right] u(x_i, x_j)$$

将式 (A.3) 偏微分后：

$$u_c^2(\beta) = \left( \frac{\partial \beta}{\partial \theta} \right)^2 u^2(\theta) + \left( \frac{\partial \beta}{\partial P} \right)^2 u^2(P) + 2 \frac{\partial \beta}{\partial \theta} \frac{\partial \beta}{\partial P} u(\theta, P)$$

因  $P_i$ 、 $\theta_i$  相互独立，所以  $u(\theta, P) = 0$ ，得：

$$\begin{aligned} u_c^2(\beta) &= \left( \frac{\partial \beta}{\partial \theta} \right)^2 u^2(\theta) + \left( \frac{\partial \beta}{\partial P} \right)^2 u^2(P) \\ &= c_1^2 u^2(\theta) + c_2^2 u^2(P) \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

灵敏系数  $c_1$ 、 $c_2$  由式 (A.3) 求得，分别为：

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{\partial \beta}{\partial \theta} = \frac{1}{1 + \left( \frac{r\theta}{P} \right)^2} \times \frac{r}{P} \\ c_2 &= \frac{\partial \beta}{\partial P} = \frac{1}{1 + \left( \frac{r\theta}{P} \right)^2} \times \left( -\frac{r\theta}{P^2} \right) \end{aligned}$$

将  $c_1$ 、 $c_2$  代入式 (A.4)：

$$u_c^2 = u_c^2(\beta) = \left[ \frac{1}{1 + \left( \frac{r\theta}{P} \right)^2} \right]^2 \times \frac{r^2}{P^2} u^2(\theta) + \left[ \frac{1}{1 + \left( \frac{r\theta}{P} \right)^2} \right]^2 \left( \frac{r^2 \theta^2}{P^4} \right) u^2(P)$$

整理后：

$$u_c = \frac{r}{P \left[ 1 + \left( \frac{r\theta}{P} \right)^2 \right]} \times \left[ u^2(\theta) + \frac{\theta^2}{P^2} u^2(P) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A.5})$$

## A.1.4 不确定度来源

测长误差  $P_i$ , 测角误差  $\theta_i$ , 各不确定度分量列于表 A.1

表 A.1 不确定度分量

不确定度来源 (测长)	标准不确定度符号	不确定度来源 (测角)	标准不确定度符号
PTF 测量及理论误差	$u_{P1}$	光栅测角	$u_{\theta1}$
激光干涉仪光路调整	$u_{P2}$	轴系回转	$u_{\theta2}$
干涉仪光路 (阿贝差)	$u_{P3}$	轴系与光栅不同心	$u_{\theta3}$
电感测量	$u_{P4}$	上下顶尖同轴度	$u_{\theta4}$
激光干涉仪测长	$u_{P5}$	垂直导轨扭摆	$u_{\theta5}$
工件温度	$u_{P6}$	垂直导轨与上下顶尖倾斜	$u_{\theta6}$
轴系端跳	$u_{P7}$	电感测微仪	$u_{\theta7}$
—	—	上顶尖回转精度	$u_{\theta8}$

## A.1.5 分量标准不确定度的评定

测长分量标准不确定度  $u_{P1}$  的评定。

a) PTF 测量误差及理论误差  $\Delta P_1 = \pm 0.02 \mu\text{m}$ , 该分量服从均匀分布, 取其半宽  $0.02 \mu\text{m}$ , 则标准不确定度  $u_{P1}$  为:

$$u_{P1} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.01 \mu\text{m}$$

b) 设激光干涉仪光路可调整至  $0.2 \text{ mm}/100 \text{ mm}$ , 该误差分量视为投影分布,  $\Delta P_2 = l (1 - \cos \alpha) = 100 \left( 1 - \cos \frac{0.2}{100} \right) = 0.2 \mu\text{m}$ , 其标准不确定度  $u_{P2}$  为:

$$u_{P2} = \frac{3 \times \Delta P_2}{10} = \frac{3 \times 0.2}{10} = 0.06 \mu\text{m}$$

c) 该干涉仪光路为消除阿贝误差光路, 残余阿贝差  $\Delta P_3 = 0.2 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$ , 该分量视为服从均匀分布, 取其半宽  $0.2 \mu\text{m}$ , 则标准不确定度  $u_{P3}$  为:

$$u_{P3} = \frac{\Delta P_3}{\sqrt{3}} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.12 \mu\text{m}$$

d) 电感测量误差

设电感测量误差为  $0.5 \mu\text{m}$ , 由于样板本身有一螺旋角, 故其端面示值误差应为:

$0.5 \times \sin 15^\circ = 0.13 \mu\text{m}$ , 视该分量服从均匀分布, 取其半宽  $\Delta P_4 = 0.13 \mu\text{m}$ , 则标准不确定度分量  $u_{P4}$  为:

$$u_{P4} = \frac{0.13}{\sqrt{3}} = 0.08 \mu\text{m}$$

e) 激光干涉仪的测长误差为  $\pm 1$  个脉冲, 该分量服从均匀分布, 取其半宽 1 个脉冲宽为  $0.08 \mu\text{m}$ , 则标准不确定度  $u_{P5}$  为:

$$u_{P5} = \frac{\Delta P_5}{\sqrt{3}} = \frac{0.08}{\sqrt{3}} = 0.05 \mu\text{m}$$

f) 样板温度误差

该误差包括温度计示值误差及样板本身温度不均匀误差, 设差值  $0.2^\circ\text{C}$ , 产生的长度变化  $\Delta = 0.2 \times 100 \times 11.5/1000 = 0.23 \mu\text{m}$ , 则标准不确定度  $u_{P6}$  为:

$$u_{P6} = \frac{0.23}{\sqrt{3}} = 0.13 \mu\text{m}$$

g) 轴系端跳引起的测量误差

设该装置一整圈端跳  $1.0 \mu\text{m}$ , 轴工作角即样板回转角为  $30^\circ$ , 按正弦曲线最高峰计算,  $\Delta = \sin 30^\circ \times 1.0 = 0.5 \mu\text{m}$ , 取其半宽  $0.25 \mu\text{m}$ , 该量视为反正弦分布, 则标准不确定度  $u_{P7}$  为:

$$u_{P7} = \frac{0.25}{\sqrt{2}} = 0.18 \mu\text{m}$$

分量  $u_{Pi}$  的合成标准不确定度  $u(P)$  为:

$$\begin{aligned} u(P) &= \sqrt{u_{P1}^2 + u_{P2}^2 + u_{P3}^2 + u_{P4}^2 + u_{P5}^2 + u_{P6}^2 + u_{P7}^2} \\ &= \sqrt{0.01^2 + 0.06^2 + 0.12^2 + 0.08^2 + 0.05^2 + 0.13^2 + 0.18^2} \\ &= 0.28 \mu\text{m} \end{aligned}$$

测角分量标准不确定度  $u_{\theta}$  评定。

a) 光栅测角精度为  $0.5''$ , 当分圆半径  $r = 50 \text{ mm}$  时, 误差  $\Delta = 50 \times 0.5'' \times \pi/180 = 0.12 \mu\text{m}$ , 该量服从反正弦分布, 则标准不确定度  $u_{\theta 1}$  为:

$$u_{\theta 1} = \frac{0.12}{\sqrt{2}} = 0.08 \mu\text{m}$$

b) 设轴系回转误差  $0.5 \mu\text{m}$ , 样板回转  $30^\circ$ ,  $\Delta = 0.5 \times \sin 30^\circ = 0.25 \mu\text{m}$ , 均匀分布的正弦或余弦函数服从反正弦分布, 则标准不确定度  $u_{\theta 2}$  为:

$$u_{\theta 2} = \frac{0.25}{\sqrt{2}} = 0.18 \mu\text{m}$$

c) 轴系与光栅同轴度  $0.5 \mu\text{m}$ ,  $\Delta = 0.5 \times \sin 30^\circ = 0.25 \mu\text{m}$ , 该量为均匀分布的正弦函数, 服从反正弦分布, 则标准不确定度  $u_{\theta 3}$  为:

$$u_{\theta 3} = \frac{0.25}{\sqrt{2}} = 0.18 \mu\text{m}$$

d) 上下顶尖同轴度引起的测角变化 (引起的测长误差为二次误差, 测角变化很小时可忽略不计), 当同轴度为  $2.0 \mu\text{m}/300 \text{ mm}$  时,  $\Delta = 0.7 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$ , 分布形式为均匀分布, 则标准不确定度  $u_{\theta 4}$  为:

$$u_{\theta 4} = \frac{0.7}{\sqrt{3}} = 0.40 \mu\text{m}$$

e) 垂直导轨扭摆误差

由垂直导轨本身直线度引起的导轨运动误差可使测头产生 3 个方向上的扭摆, 其中绕基圆切线方向和绕基圆半径方向的误差影响很小可忽略不计, 绕垂直导轨运动方向的误差影响较大, 可视其为随机误差, 设导轨直线性及运动误差为  $2''$ , 阿贝距离  $50 \text{ mm}$ , 扭摆引起测角误差  $\Delta = 50 \times 2'' \times \pi/180 = 0.48 \mu\text{m}$  该量视为均匀分布, 则标准不确定度  $u_{\theta 5}$  为:

$$u_{\theta 5} = \frac{0.48}{\sqrt{3}} = 0.28 \mu\text{m}$$

f) 垂直导轨与上下顶尖连线不平行度为  $0.7 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$ , 该量视为服从均匀分布, 则标准不确定度  $u_{\theta 6}$  为:

$$u_{\theta 6} = \frac{0.7}{\sqrt{3}} = 0.40 \mu\text{m}$$

g) 电感测微仪测量误差  $0.5 \mu\text{m}$ , 样板螺旋角  $15^\circ$ ,  $\Delta = 0.5 \times \cos 15^\circ = 0.48 \mu\text{m}$ , 该量视为服从反正弦分布, 则标准不确定度  $u_{\theta 7}$  为:

$$u_{\theta 7} = \frac{0.48}{\sqrt{2}} = 0.34 \mu\text{m}$$

h) 上顶尖回转误差引起的测量误差。上顶尖回转误差与轴系回转误差类同。

$\Delta = 0.5 \times \sin 30^\circ = 0.25 \mu\text{m}$ , 该量视为服从均匀分布的正弦函数, 服从反正弦分布, 则标准不确定度  $u_{\theta 8}$  为:

$$u_{\theta 8} = \frac{0.25}{\sqrt{2}} = 0.18 \mu\text{m}$$

则分量  $u_{\theta i}$  的合成标准不确定度  $u(\theta)$  为:

$$\begin{aligned} u(\theta) &= \sqrt{u_{\theta 1}^2 + u_{\theta 2}^2 + u_{\theta 3}^2 + u_{\theta 4}^2 + u_{\theta 5}^2 + u_{\theta 6}^2 + u_{\theta 7}^2 + u_{\theta 8}^2} \\ &= \sqrt{0.08^2 + 0.18^2 + 0.18^2 + 0.40^2 + 0.28^2 + 0.40^2 + 0.34^2 + 0.18^2} \\ &= 0.79 \mu\text{m} \end{aligned}$$

当半径  $r = 50 \text{ mm}$  时, 弧长增量  $u(\theta) = 0.79 \mu\text{m}$ , 它所对应的圆心角为  $1.58 \times 10^{-5}$

rad (弧度) (计算合成标准不确定度用弧度值进行计算)。

### A.1.6 合成标准不确定度评定

标准不确定度一览表 (见表 A.2)

表 A.2 标准不确定度一览表

序号	标准不确定度			灵敏系数
	来源	符号	数值 $\mu\text{m}$	
1	PTF 测量误差	$u_{P1}$	0.01	$c_1 = \frac{\partial \beta}{\partial \theta} = \frac{1}{1 + \left(\frac{r\theta}{P}\right)^2} \times \frac{r}{P}$ $c_2 = \frac{\partial \beta}{\partial P} = \frac{1}{1 + \left(\frac{R\theta}{P}\right)^2} \times \left(-\frac{r\theta}{P^2}\right)$
2	激光干涉仪光路调整差	$u_{P2}$	0.06	
3	光路残余阿贝差	$u_{P3}$	0.12	
4	电感测量误差	$u_{P4}$	0.08	
5	干涉仪测长误差	$u_{P5}$	0.05	
6	温度误差	$u_{P6}$	0.13	
7	主轴端跳误差	$u_{P7}$	0.18	
8	光栅测角误差	$u_{\theta 1}$	0.08	
9	轴系回转精度	$u_{\theta 2}$	0.18	
10	主轴与光栅同轴度	$u_{\theta 3}$	0.18	
11	上下顶尖同轴度	$u_{\theta 4}$	0.40	
12	垂直导轨扭摆误差	$u_{\theta 5}$	0.28	
13	垂直导轨与上下顶尖连线平行度	$u_{\theta 6}$	0.40	
14	电感测微仪误差	$u_{\theta 7}$	0.34	
15	上顶尖回转误差	$u_{\theta 8}$	0.18	

由式 (A.5) 得螺旋角的合成标准不确定度  $u_c$  为:

$$u_c = \frac{r}{P \left[ 1 + \left( \frac{r\theta}{P} \right)^2 \right]} \times \left[ u^2(\theta) + \frac{\theta^2}{P^2} u^2(P) \right]^{\frac{1}{2}}$$

设半径  $r = 50 \text{ mm}$ , 测量量程  $P = 100 \text{ mm}$ , 回轴角  $\theta = 0.5 \text{ rad}$ , 代入上式后:

$$u_c = \frac{50}{100 \left[ 1 + \left( \frac{50 \times 0.5}{100} \right)^2 \right]} \times \left[ (1.58 \times 10^{-5})^2 + \left( \frac{0.5}{100} \right)^2 \times (0.28 \times 10^{-3})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 7.46 \times 10^{-6} \text{ rad}$$

将弧度换算成角度 = 1.54"。

#### A.1.7 扩展不确定度评定

测长和测角的各项标准不确定度，包含因子  $k=3$ ，则扩展不确定度  $U$  为：

$$U = k u_c = 3 \times 1.54'' = 4.62'' (2.48 \mu\text{m}/100 \text{ mm})$$

#### A.1.8 最后结果的报告

多点采样测量通过最小二乘法得到导程  $P_z$ ，利用导程公式求出螺旋角  $\beta_{\text{实}}$ ，其扩展不确定度  $U$  由合成标准不确定度  $u_c = 1.54''$  以及包含因子  $k=3$  而得。

因此所测螺旋角  $\beta$  的不确定度报告为：

$$\begin{aligned} \beta &= \beta_{\text{实}} \pm U \\ &= \beta_{\text{实}} \pm 4.62'' \end{aligned}$$

### A.2 微差比较法螺旋角测量不确定度的评定

微差比较法用于检定二等样板或校准齿轮仪器示值误差。

#### A.2.1 测量方法和数据处理

测量方法见正文 5.3。

检定或校准时，先用标准样板求得仪器修正值  $\Delta\beta_b$ 。

$$\Delta\beta_b = \beta_{b\text{标}} - \beta'_{b\text{标}}$$

式中： $\beta_{b\text{标}}$ ——上级计量机构对标准样板的检定值；

$\beta'_{b\text{标}}$ ——标准样板在仪器上的示值。

被测样板在仪器上得到的示值加上修正值作为最后结果。

对于被测齿轮工件，其螺旋角读数机构示值  $S$  为：

$$S = \beta_{b\text{理}} + \Delta\beta_b$$

式中： $\beta_{b\text{理}}$ ——被测齿轮工件的设计螺旋角。

#### A.2.2 数学模型

被测样板的数学模型为：

$$\beta_b = \beta'_{b} + \Delta\beta_b$$

式中： $\beta_b$ ——被测样板检定结果；

$\beta'_{b}$ ——被测样板在仪器上的示值。

#### A.2.3 不确定度传播率

依据不确定度传播率得到：

$$\begin{aligned} u_c^2(\beta_b) &= \left( \frac{\partial \beta_b}{\partial \beta'_b} \right)^2 u^2(\beta'_b) + \left( \frac{\partial \beta_b}{\partial \Delta\beta_b} \right)^2 u^2(\Delta\beta_b) \\ &= c_1^2 u^2(\beta'_b) + c_2^2 u^2(\Delta\beta_b) \end{aligned}$$

$$\text{式中: } c_1 = \frac{\partial \beta_b}{\partial \beta_b'} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \beta_b}{\partial \Delta \beta_b} = 1$$

$$\text{因此得: } u_c^2(\beta_b) = u^2(\beta_b') + u^2(\Delta \beta_b) \quad (\text{A.6})$$

## A.2.4 不确定度来源

不确定度来源见表 A.3。

表 A.3 不确定度来源

来源	符号	说明
标准样板螺旋角不确定度	$u_1$	$\beta_b'$ 的不确定度分量
标准样板基圆半径不确定度	$u_2$	
仪器测量重复性	$u_3$	
读数误差 (或量化误差)	$u_4$	$\Delta \beta_b$ 的不确定度分量
样板安装误差	$u_5$	
标准与被测样板温度差	$u_6$	
仪器示值误差	$u_7$	

## A.2.5 分量标准不确定度评定

设被测样板螺旋角  $\beta = 15^\circ$ , 测量齿宽  $L_\beta = 100 \text{ mm}$ , 分圆半径  $r = 50 \text{ mm}$ 。

a) 标准样板螺旋角的检定不确定度为  $1.0 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$  ( $3\sigma$ ), 该分量服从正态分布, 则标准不确定度  $u_1$  为:

$$u_1 = 1.0/3 = 0.33 \mu\text{m} \quad \text{自由度 } \nu_1 = \infty$$

b) 标准样板渐开线部分的检定不确定度为  $1.0 \mu\text{m}$  ( $3\sigma$ ), 该分量服从正态分布, 则标准不确定度  $u_2$  为:

$$u_2 = 1.0/3 = 0.33 \mu\text{m} \quad \text{自由度 } \nu_2 = \infty$$

## c) 仪器测量重复性

对样板螺旋角进行独立重复测量 10 次, 单次测量标准差  $S$  由贝塞尔公式得到:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.5 \mu\text{m} (\text{测量数据从略}, n = 10)$$

平均值的标准差  $S_{\bar{x}}$  为:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{10}} = 0.16 \mu\text{m}$$

标准不确定度  $u_3$  为:

$$u_3 = S_{\bar{x}} = 0.16 \mu\text{m} \quad \text{自由度 } \nu = n - 1 = 9$$

## d) 读数误差

如读数装置最小分度值为  $2''$ ，齿宽 100 mm 时，其线值误差为  $1.0 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$ ，做读数对准实验 10 次，极差  $0.5 \mu\text{m}$ ，该量服从均匀分布，则标准不确定度  $u_4$  为：

$$u_4 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29 \mu\text{m} \quad \text{自由度 } \nu_4 = \infty$$

## e) 安装误差

安装误差可包括样板本身定位基准的稳定性及安装时轴线的倾斜，设该量为  $0.5 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$ ，视其服从均匀分布，则标准不确定度  $u_5$  为：

$$u_5 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29 \mu\text{m} \quad \text{自由度 } \nu_5 = \infty$$

## f) 温度误差

温度误差指标准样板与被测样板温度差。

$$\Delta\beta = \arctan\left[\frac{\theta r}{L_\beta}\right] - \arctan\left[\frac{\theta r}{L_\beta(1 + \Delta t\alpha)}\right]$$

代入  $\theta = 30^\circ$ ， $L_\beta = 100 \text{ mm}$ ， $r = 50 \text{ mm}$ ， $\Delta t = 1^\circ\text{C}$ ， $\alpha = 11.5 \times 10^{-6}$ ，得：

$$\begin{aligned} \Delta\beta &= \arctan\left[\frac{30^\circ \times 50}{100}\right] - \arctan\left[\frac{30^\circ \times 50}{100(1 + 1^\circ \times 11.5 \times 10^{-6})}\right] \\ &= 0.7 \end{aligned}$$

式中： $\theta$ ——样板回转角， $(^\circ)$ ；

$r$ ——样板半径，mm；

$L_\beta$ ——测量导程，mm；

$\Delta t$ ——偏离  $20^\circ\text{C}$  的差值；

$\alpha$ ——材料线胀系数， $11.5 \times 10^{-6}$ 。

经计算  $\Delta\beta = 0.7''$ ，换算成线值为  $0.35 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$ ，视该分量服从均匀分布，取其半宽  $\Delta = 0.35 \mu\text{m}$ ，标准不确定度  $u_6$  为：

$$u_6 = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.35}{\sqrt{3}} = 0.20 \mu\text{m}$$

标准不确定度的相对不确定度为 50%，即：

$$\text{由 } \frac{u(u_6)}{u_6} = 50\% \text{，} \quad \text{得自由度 } \nu = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sigma(u)}{u} \right]^{-2} = 2$$

## g) 仪器示值误差

仪器示值误差包括仪器机构误差，零位误差等，它与很多因素有关，如仪器制造误差、调整误差，环境温度变化，仪器工艺稳定性等等。使用标准样板可以得到仪器示值误差，设示值不确定度为  $3.0 \mu\text{m}$ ，其分布取为正态分布，则标准不确定度  $u_7$  为：

$$u_7 = \frac{3.0}{3} = 1.0 \mu\text{m}$$

标准不确定度的相对不确定度为 25%，则  $\nu_7$  为：



$$\nu_7 = \frac{u(u_7)}{u_7} = 25\%, \quad \text{得自由度 } \nu = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sigma(u)}{u} \right]^{-2} = \frac{1}{2 \left[ \frac{1}{4} \right]^2} = 8$$

## A.2.6 合成标准不确定度评定

标准不确定度一览表 (见表 A.4)

表 A.4 标准不确定度一览表

序号	标准不确定度			自由度	
	来源	符号	数值	符号	数值
1	标准样板螺旋角不确定度	$u_1$	0.33	$\nu_1$	$\infty$
2	标准样板基圆半径不确定度	$u_2$	0.33	$\nu_2$	$\infty$
3	仪器测量重复性	$u_3$	0.32	$\nu_3$	9
4	读数误差	$u_4$	0.29	$\nu_4$	$\infty$
5	样板安装误差	$u_5$	0.29	$\nu_5$	$\infty$
6	温度误差	$u_6$	0.20	$\nu_6$	2
7	仪器示值误差	$u_7$	1.00	$\nu_7$	8

由于各分量无关, 则  $u_c$  为:

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2} \\ &= \sqrt{0.33^2 + 0.33^2 + 0.32^2 + 0.29^2 + 0.29^2 + 0.20^2 + 1.00^2} \\ &= 1.24 \mu\text{m} \end{aligned}$$

有效自由度

$$\begin{aligned} \nu_{\text{eff}} &= \frac{u_c^4}{\sum u_i^4 / \nu_i} = \frac{1.24^4}{\frac{0.33^4}{\infty} + \frac{0.33^4}{\infty} + \frac{0.32^4}{9} + \frac{0.29^4}{\infty} + \frac{0.29^4}{\infty} + \frac{0.20^4}{2} + \frac{1.0^4}{8}} \\ &= \frac{2.34 \times 10^3}{1.16 + 0.80 + 125} = 18 \end{aligned}$$

据  $\nu_{\text{eff}} = 18$ , 取置信水准  $P = 99\%$ , 查  $t$  分布表得覆盖因子  $k$  为:

$$k = t_{0.99}(18) = 2.88$$

## A.2.7 扩展不确定度评定

置信水准 99%, 覆盖因子  $k = 2.88$ , 则:

$$U = k u_c = 2.88 \times 1.24 = 3.57 \mu\text{m}$$

扩展不确定度  $3.57 \mu\text{m}$  为螺旋角的线值误差, 将其换算成角度值误差:

$$\begin{aligned}\Delta\beta &= \operatorname{tg}^{-1}\left[\frac{\Delta f_{H\beta}}{L_\beta}\cos^2\beta\right] \\ &= \operatorname{tg}^{-1}\left[\frac{0.003\ 57}{100}\times\cos^2 15^\circ\right] \\ &= 6.8''\end{aligned}$$

则：

$$U = 3.57\ \mu\text{m} = 6.8''$$

式中： $\Delta f_{H\beta} = 3.57\ \mu\text{m}$ ， $\beta = 15^\circ$ ， $L_\beta = 100\ \text{mm}$ 。

#### A.2.8 最后结果的报告

其扩展不确定度  $U$  由合成标准不确定度  $u_c = 1.24\ \mu\text{m}$  以及覆盖因子  $k = 2.88$  而得，被测样板螺旋角  $\beta_b$  最后结果的报告为：

$$\beta_b = \beta_{b\text{实}} \pm U = \beta_{b\text{实}} \pm 6.8''$$

式中： $\beta_{b\text{实}} = \beta_b' + \Delta\beta_b$ 。

## 附录 B

## 检定证书和检定不合格通知书内面格式

## B.1 检定证书内面格式

旋向	右旋	左旋	(直齿)
基圆半径 $r_b$ :	_____	_____	_____
基圆螺旋角 $\beta_b$ :	_____	_____	_____
(齿向误差)			
测量截面:	渐开线中截面	螺旋线在基圆展开	_____ mm 处测量
测头直径:	渐开线 $\phi$ _____ mm	螺旋线 $\phi$ _____ mm	
测量放大比:	长度方向 1:1	误差方向 1 000:1	
测量位置:	渐开线从 _____ mm 开始	螺旋线测 _____ mm 至 _____ mm	
测量安装方式:			
测量室温度: $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ (一等样板)			
误差曲线:			
	渐开线误差曲线 (标明正负号)		螺旋线误差曲线 (标明正负号)
	右旋	左旋	直齿
		右旋	左旋
			直齿

齿根

上

齿顶

下

## B.2 检定不合格通知书内面格式

检定不合格通知书内面应有以下内容:

- 1 按照本规程检定不合格的项目及具体误差值;
- 2 处理意见或建议。