

计 量 出 版 社

Luowen Celiang Jishu
Duanwen Xuanbian

35

测量技术短文选编

螺纹测量技术短文选编

计 量 出 版 社

1984年·北京

内 容 提 要

本书收集了生产部门、科研单位和大专院校在各种典型螺纹的实际测量工作中的一些经验和探索性的意见共十八篇短文。本书介绍的测量方法,大部分经实践证明是行之有效的。书中还介绍了一些有关数据处理的简便方法。本书适于厂矿企业部门的计量测试人员、车间检验员阅读,也可供大专院校有关专业师生参考。

螺纹测量技术短文选编

—

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—

开本 787×1092 1/32 印张 5 3/4

字数 130 千字 印数 1—12000

1984年6月第一版 1984年6月第一次印刷

统一书号 15210·315

定价 0.90 元

前 言

在计量测试工作中，测量对象的技术要求和测量条件的不同，测量方法也就随之而异。如何在实际工作中根据不同的要求和条件选择测量方法是计量测试工作者迫切需要解决的问题。为了向读者提供一些可作借鉴的资料，本书收集了生产部门、科研单位和大专院校在各种典型螺纹的实际测量工作中的一些经验和探索性的意见共十八篇短文。本书介绍的测量方法和数据处理的简便方法，大部分经实践证明是行之有效的，探索性部分虽然总的说来是可行的，但其中某些环节则可能存在不足甚至有错误的地方。本书的宗旨主要是向读者介绍一些螺纹测量的典型方法，并使之臻于完善。为此希望读者就所涉及的技术内容继续切磋。

本书适于厂矿企业部门的计量测试人员、车间检验员阅读，也可供大专院校有关专业师生参考。

1983年1月

螺纹测量技术短文选编

目 录

一、普通 螺 纹

螺纹三针测量的算式和算法.....	(1)
内螺纹中径测量误差分析.....	(39)
万能测长仪上测量内螺纹中径的 两种简便方法.....	(62)
大型螺纹环规加工中的测量.....	(68)
用于三针法测量螺纹量规的 M 值允差表.....	(71)
螺纹校对规中径尺寸的确定.....	(77)
小螺距外螺纹的测量.....	(81)
精密丝杆螺距的测量和计算.....	(85)

二、圆 锥 螺 纹

外圆锥螺纹参数的测量.....	(90)
外圆锥螺纹基面中径的“双楔块”三针测量.....	(101)
确定L型斜块尺寸“X”的最简公式.....	(112)
圆锥内螺纹量规的单项测量.....	(116)
牙形垂直于锥体母线的圆锥螺纹的测量.....	(125)
牙形垂直于圆锥母线的圆锥螺纹塞规 基面中径的测量.....	(137)

三、锯 齿 螺 纹

锯齿内螺纹中径的测量.....	(146)
-----------------	-------

非标准锯齿形螺纹中径测量时钢针

的选择.....(156)

四、双圆弧滚道螺纹

双圆弧滚道螺杆.....(164)

五、阿基米德螺纹

阿基米德蜗杆 M 值的计算.....(170)

一、普通螺纹

螺纹三针测量的算式和算法

用三针法测量螺纹中径，使用工具简单、测量方便准确，因而在机器制造行业中获得广泛的应用。在各种专著、手册、文献中给出许多种不同的计算公式，而这些公式都是近似公式，其计算误差随被测件导程角增大而增大，直至不可忽视。本文拟对三针测量的几种公式作一粗浅分析，推导出精确的计算公式及其简化算法与近似算法。

在各种文献中对同一参量使用的符号往往不同，本文中统一用下列符号：

h ——导程； P ——螺距； n ——头数；

d_2 ——中径； R ——量针半径； α' ——牙形角；

λ_{d_2} 、 λ ——中径处、切点处导程角；

M ——测量读数； θ ——切点绕螺纹中心线旋转的角度（径）； τ ——量针中心线与被测件中心线的垂平面的夹角。

（一）对三针测量算式的分析

1. 螺纹三针测量几种公式的分析

通常所使用的螺纹三针测量的公式大致可分为两种类型，它们都是依据假设的几何关系推导出来的，而这些假设的几何关系并不确切地反应三针测量时量针表面和被测件螺旋面之间相切的情形，因而这两类公式都是近似公式。这里着重对第二种类型的公式做一些分析。

第一种类型的公式是假设切点在轴向截面内，量针的中

心线与被测件的中心线互垂，因而量针的截面为圆，螺纹的截面为斜线。并推导出：

$$M = d_2 + 2R \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) - \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

这是一个粗略的近似公式，常见于各种手册中。据此计算出的 M 值小于真值，且其误差随导程角的增大而增大。其计算误差在各类近似公式中是最大的。

第二种类型的公式是假设切点在轴向截面内，量针在螺旋槽内是倾斜的，量针中心线与被测件中心线的垂平面的夹角等于中径处的导程角，因而量针的截面为椭圆，螺纹的截面为二斜线。并推导如下：

已知：如图 1 所示，椭圆的长半轴 $a = \frac{R}{\cos \lambda_{d_1}}$ ，短半轴 $b = R$ ，椭圆与斜线 AB 相切于 $B(x_0, y_0)$ 点。A 点为螺纹中径处，其坐标为 $A(P/4, OC)$ ，且椭圆在 B 点的导

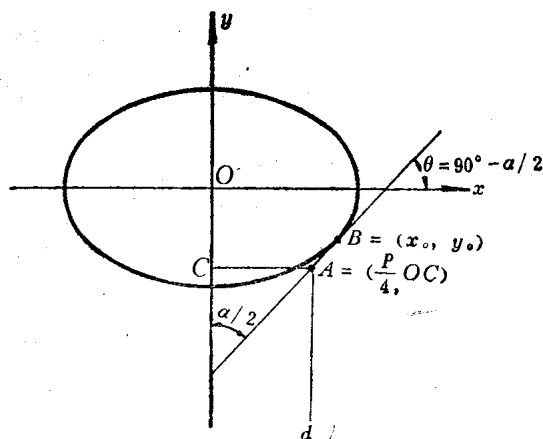


图 1

数等于线 AB 的斜率 $\operatorname{tg} \theta$ 。

而
$$\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} \left(90^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

求: OC

解: 椭圆的方程及其导数分别为:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$y' = -\frac{b^2 x^2}{a^2 y^2}$$

在 B 点处,

$$y' \Big|_{\substack{x=x_0 \\ y=y_0}} = -\frac{b^2 x_0^2}{a^2 y_0^2} = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad (2)$$

B 是椭圆上的点, 故有

$$\frac{x_0^2}{a^2} + \frac{y_0^2}{b^2} = 1 \quad (3)$$

切线 AB 的方程为:

$$y - y_0 = -\frac{b^2 x_0^2}{a^2 y_0^2} (x - x_0)$$

整理后得

$$\frac{x_0 x}{a^2} + \frac{y_0 y}{b^2} = \frac{x_0^2}{a^2} + \frac{y_0^2}{b^2}$$

将式(3)代入后得:

$$\frac{x_0 x}{a^2} + \frac{y_0 y}{b^2} = 1 \quad (4)$$

由式(2)、式(3) 联立解得 x_0 、 y_0 值代入式(4)并整理得:

$$y = \pm \sqrt{b^2 + a^2 \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}} - x \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

将 $a = \frac{R}{\cos \lambda_{d_2}}$, $b = R$, $x = \frac{P}{4}$ 代入, 得

$$OC = |y| = R \sqrt{1 + \frac{\operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos^2 \lambda_{d_2}}} - \frac{P}{4} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

亦知,

$$M = d_2 + 2(OC + R)$$

$$\text{则 } M = d_2 + 2R \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos^2 \lambda_{d_2}}} \right) - \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad (5)$$

式 (5) 就是螺纹三针测量的第二种类型公式的代表式。

由于推导式 (5) 时假设的切点在轴向截面内, 以及量针中心线与被测件中心线的垂平面的夹角等于中径处导程角, 这两点都不确切, 所以式 (5) 仍然是近似公式。所计算出的 M 值大于其真值。

式 (1) 是式 (5) 的一个特例。设量针中心线与被测件中心线的垂平面的夹角为零, 即 $\lambda_{d_2} = 0$, 则 $\cos \lambda_{d_2} = 1$, 代入式 (5) 即得式 (1)。式 (5) 与式 (1) 差值为

$$\Delta M = 2R \left(\sqrt{1 + \frac{\operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos^2 \lambda_{d_2}}} - \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right)$$

由式 (5) 利用幂级数展开式分别取其前 2 项或前 3 项……可以得到许多式 (5) 的近似表达式。因此, 式 (5) 是研究三针测量各种螺纹时的一个重要公式, 是一个公式族的代表, 由它派生出来的各种形式的公式载于各种文献之中。

实际上被大量引用的是在(1)、(2)中给出的方程组, 即

$$\begin{cases} M = d_2 + 2R \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\beta}{2}} \right) - \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cos \lambda_{d_2} \end{cases} \quad (6)$$

可以如下证明式(6)等于式(5):

$$\text{由于 } \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cos \lambda_{d_2}$$

$$\text{因此 } \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} / \cos \lambda_{d_2}$$

$$\text{于是 } \frac{1}{\sin \frac{\beta}{2}} = \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \frac{\beta}{2}} = \sqrt{1 + \frac{\operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2}}{\cos^2 \lambda_{d_2}}}$$

将其代入式(6)的 M 式即可得到式(5)。可见两公式本质上是一个公式, 它们根据同样的几何关系假设被推导出来。一些著作^{〔2〕〔3〕〔4〕}认为测量时量针不可能和被测螺纹的牙形在轴向截面内接触, 而是和法向牙形相切, 在这样的假设下用投影法推导出式(6)的方程组。其实恰恰相反, 方程组(6)就是式(5)。它们以及所派生出来的一些近似公式, 所反映的正是假设量针和牙形在轴向截面内相切, 并且量针的倾斜角等于中径处的导程角时的一些数量关系。顺便提一下, 由后面的证明可知, 三针测量时量针与牙形的切点是既不在牙形的轴向截面内, 也不在牙形的法向截面内的。

在《三丝量法》^{〔3〕}一书中, 给出了一组“斜度校正值”(导程角修正值)的计算公式。

其一为使用蔡司型三针时:

$$\delta_1 = R \frac{n^2 P^2}{\pi^2 d_1^2} \cos \frac{a}{2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2}$$

$$= R \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} \cos \frac{a}{2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2}$$

$$M = M_1 + \delta_1$$

$$= d + 2R \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{a}{2}} \right) - \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2} +$$

$$+ R \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} \cos \frac{a}{2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2}$$

(7)

式(7)推导如下:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sin \beta / 2} &= \sqrt{1 + \frac{\operatorname{ctg}^2 \frac{a}{2}}{\cos^2 \lambda_{d_2}}} \\ &= \frac{\sqrt{1 + \cos^2 \frac{a}{2} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2}}}{\sin \frac{a}{2}} \end{aligned}$$

应用幕级数展开式, 并取前二项后, 上式为:

$$\frac{1}{\sin \frac{\beta}{2}} = \frac{1}{\sin \frac{a}{2}} + \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2} \cos \frac{a}{2} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2}$$

将其值代入式(5)或式(6), 即可得出式(7)。可见式(7)是将式(5)或式(6)的某一项用幕级数展开并取前二项而得到的, 它是两公式的近似表达式。

其二是使用直径最合适三针且导程角较小时:

$$C_2 = \frac{\operatorname{ctg} \frac{a}{2}}{4\pi^2}$$

$$A_1 = \frac{C_2 n^2 P^3}{d_1^2} = \frac{P}{4} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2}$$

$$M = M_1 + A_1$$

$$\begin{aligned} &= d_2 + 2R \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{a}{2}} \right) - \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2} + \\ &\quad + \frac{P}{4} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2} \end{aligned} \quad (8)$$

式(8)的推导过程如下:

由标准量针公式 $R = P/4 \cos \frac{a}{2}$ 可得:

$$P/4 = R \cos \frac{a}{2}$$

将其代入 A_1 值得:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{P}{4} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2} \\ &= R \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} \cos \frac{a}{2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2} = \delta_1 \end{aligned}$$

因此, 式(8)是将标准量针公式代入式(7)而得到的。

其三是当使用最合适的三针时:

$$C_2 = \operatorname{ctg} \frac{a}{2} / 4\pi^2$$

$$B_1 = \frac{C_2 n^2 P^3}{d_1 \left(d_2 + \frac{P}{2} \operatorname{tg} \frac{a}{2} \right)}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{P}{4} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2} \cdot \frac{d_2}{d_2 + \frac{P}{2} \operatorname{tg} \frac{a}{2}} \\
&= A_1 \frac{d_2}{d_2 + \frac{P}{2} \operatorname{tg} \frac{a}{2}} \\
M &= M_1 + B_1 \\
&= d_2 + 2R \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{a}{2}} \right) - \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2} + \\
&\quad + \frac{P}{4} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} \operatorname{ctg} \frac{a}{2} \frac{d_2}{\left(d_2 + \frac{P}{2} \operatorname{tg} \frac{a}{2} \right)} \quad (9)
\end{aligned}$$

显见式(9)是式(8)的近似式。

$$\text{又由 } B_1 = A_1 \frac{d_2}{\left(d_2 + \frac{P}{2} \operatorname{tg} \frac{a}{2} \right)}$$

$$\frac{d_2}{d_2 + \frac{1}{2} P \operatorname{tg} \frac{a}{2}} < 1$$

$$B_1 < A_1$$

可见式(9)计算的 M 值恒小于式(8)计算出的 M 值。

在文献^{[3][4][5][6]}中介绍的均为这一类型的公式，它们都是式(5)的近似表达式。式(7)和式(8)因其推导过程中只取幂级数展开式的前二项，故所计算出的 M 值恒大于式(5)计算出的 M 值，因而更大于真值。笔者认为式(7)、式(8)的使用价值不大，不如直接使用式(5)或式(6)方便，且误差较小。

如应用幂级数展开式 $(1+x)^n = 1 + nx + \frac{n(n-1)}{2}x^2 + \dots$

取前三项，即可得到文〔7〕所推荐的公式。

$$\frac{1}{\sin \frac{\beta}{2}} = \frac{\sqrt{1 + \cos^2 \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2}}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

$$= \frac{1 + \frac{1}{2} \cos^2 \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} - \frac{1}{8} \cos^4 \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

（该文将第 3 项系数误取为 $-\frac{1}{4}$ 后，推导出下式）：

$$\frac{1}{\sin \frac{\beta}{2}} = \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} -$$

$$- \sin \frac{\alpha}{2} \left(\frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right)^2$$

$$= \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + K - \sin \frac{\alpha}{2} K^2$$

式中 $K = \frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$

将其代入式（5）或式（6）得

$$\left\{ \begin{aligned} M &= d_2 + 2R \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) - \frac{1}{2} P \operatorname{ctg} \alpha \times \\ &\quad \times \frac{\alpha}{2} + 2R \left(K - \sin \frac{\alpha}{2} K^2 \right) \\ K &= \frac{1}{2} \operatorname{tg} \lambda_{d_2} \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \right. \quad (10)$$

式(5)近似表达式(10)中,因在推导过程中取幂级数展开式的前3项,且第3项的系数误取为 $-1/4$ (比应取值大了一倍),故所计算出的 M 值比式(5)的计算 M 值小得多。这使得在某些情形下其计算误差较其它各式小。随着所选用的量针直径的不同,它计算的 M 值可能大于(或小于) M 的真值。

在上述推导过程中,若将第3项系数取为 $-1/8$,则可得式(5)的又一近似公式,即:

$$\left\{ \begin{aligned} M &= d_2 + 2R \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) - \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + \\ &\quad + 2R \left(K - \frac{1}{2} \sin \frac{\alpha}{2} K^2 \right) \\ K &= \frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \lambda_{d_2} \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \right. \quad (11)$$

此时,式(11)的 M 计算值小于式(5)的计算 M 值,而大于式(10)所计算出的 M 值。此式的计算误差亦较小,甚至比式(10)的计算误差更小。

2. 三针量法精确公式的推导

二牙形半角相等的阿基米德螺旋面（在轴向截面内为二斜线）与半径为 R 的圆柱面相切。三针测量时，圆柱面的中心线在测量力作用下应处于平衡位置及最低位置（即距被测件中心线最近）。

设：空间坐标系的 xoz 平面上的两条斜线 L_1 及 L_2 分别过螺旋面中径处的点 $M_1\left(\frac{d}{2}, 0, -\frac{P}{4}\right)$, $M_2\left(\frac{d}{2}, 0, \frac{P}{4}\right)$ ，且与 x 轴的夹角均为 $\alpha/2$ （如图2所示），令圆柱面顶点的水平线与斜线交点至 M_1 、 M_2 间的距离分别为 t_1 、 t_2 ，则 L_1 、 L_2 的方程为：

$$\begin{aligned} \text{线 } L_1 \quad & \begin{cases} x_0 = \frac{d}{2} + t_1 \cos \frac{\alpha}{2} \\ y_0 = 0 \\ z_0 = -\frac{P}{4} - t_1 \sin \frac{\alpha}{2} \end{cases} \quad \left(\frac{d}{2}, 0, -\frac{P}{4} \right) \\ \text{线 } L_2 \quad & \begin{cases} x_0 = \frac{d}{2} + t_2 \cos \frac{\alpha}{2} \\ y_0 = 0 \\ z_0 = \frac{P}{4} + t_2 \sin \frac{\alpha}{2} \end{cases} \quad \left(\frac{d}{2}, 0, \frac{P}{4} \right) \end{aligned}$$

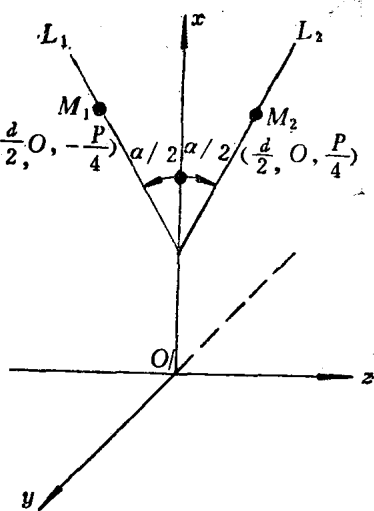


图 2

当取螺旋面导程角为 h ，绕 z 轴旋转角度为 θ 时，二螺旋面方程为：

$$\begin{cases} x_1 = \left(\frac{d}{2} + t_1 \cos \frac{\alpha}{2} \right) \cos \theta_1 \\ y_1 = \left(\frac{d}{2} + t_1 \cos \frac{\alpha}{2} \right) \sin \theta_1 \\ z_1 = -\frac{P}{4} - t_1 \sin \frac{\alpha}{2} \end{cases}$$