螺纹、齿轮、花键和蜗杆的精密跨线测量

〔美〕沃勒　弗·沃格尔　著

国防工业出版社

螺纹、齿轮、花键和蜗杆的精密跨线测量

〔美〕沃勒　弗·沃格尔　著
西安应用光学研究所　郑德运　译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是理论性很强且非常实用的专著，其内容包括：量针和量球用于普通螺纹、渐开线螺纹、正方形和矩形螺纹及齿轮、花键、蜗杆测量的一般理论，精确测量的方程和近似公式的推导，用近似法测量侧隙的捷径，用近似法代替最佳针（球）法的捷径，用于普通螺纹的实用最佳针测量的推荐作法。

本书还有大量计算实例、实用图表，便于多种函数值的换算，对于跨针（跨球）测量计算非常方便。

本书适于测量人员使用，也可供技术人员、工人和有关师生参考。

THE EXACT OVER-WIRE MEASUREMENT OF SCREWS, GEARS, SPLINES, AND WORMS

Werner F. Vogel

Wayne State University Press Detroit 1973

*

螺纹、齿轮、花键和蜗杆的精密跨线测量

〔美〕沃勒 弗·沃格尔 著

西安应用光学研究所 郑德运 译

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张 24 560 千字

1982年5月第一版 1982年5月第一次印刷 印数：0,001—6,300册

统一书号：15034·2296 定价：3.20元

译者的话

长期以来，从事螺纹、齿轮、花键和蜗杆的生产和检测人员经常使用量针（或量线）或量球与测微装置（如千分尺，测长仪和比较仪等）配合，对螺纹、齿轮、花键和蜗杆的齿厚或节径进行精确测量，来确定螺旋体的相邻螺旋面的空间相互位置。由于使用的设备简单，操作简便，精度高，人们乐于使用这种方法。

国内从事多年测量的人员，有时希望对这方面的问题在理论上有更深刻的认识，从而使得测量工作更为自由。可是，又觉得手边资料和文献零散而缺乏，对实现这个设想有一定的困难。

已故美国标准局的物理学家，教授沃勒　弗.沃格尔博士在本书里总结了二十多年的关于螺纹和蜗杆测量的研究成果，使我们的希望变成了现实。

作者采用了“替换圆盘法”，简化了几何概念，并将一渐开线螺纹的球测量计算，化为简单的正齿轮测量的计算。此计算方程是量球与被测量螺纹表面的接触点的真实位置的极简单的精确方程，并且它的所有解可直接用于渐开线螺纹的针测量方面去。这种简化原则稍加修改就可广泛用于渐开线斜齿轮，渐开线斜花键和渐开线蜗杆的测量。

作者认为：在精确的渐开线螺纹测量中存在一极简单的几何关系，经过适当变换，就能使普遍的精确方程用于任意特性的螺纹。这是一完整的精确最佳针测量的精确理论。

在实际测量中，为方便起见，常使用某些近似公式代替精确方程。而精确方程的存在，有可能发展为具有较高价值的例行公式。

作者首次揭示了内螺纹的跨球测量的精确方程，同样，它也适用于具有任意特性的内螺纹。它有助于推导内螺纹的最佳球的最简单的近似公式。

在第九章，采用导出的精确方程对于V形圆盘铣刀和螺纹磨轮的尺寸及调整很有指导作用，有助于消除螺旋角的误差。螺纹球测量的精确方程也可被用来分析其刀具问题。

作者的老朋友，乔·西尔瓦吉运用电子数字计算机解算沃格尔的超越方程，使计算大为简化，精度随需要而取。从而使得这一测量方法达到了现代水平。

本书中的计算例题，大都需要参考作者的原著“渐开线学和三角学”(Involutometry and Trigonometry)的表格。这样既可简化计算，又可达到应有的精度。为了使读者便于查阅，故将有关表格编入第十一章。

有关美国齿轮标准请参看国防工业出版社出版的“精密齿轮传动装置——理论与实践”。

译者认为，对于从事机械几何尺寸检测人员，本书是一本较好的教材，它将使读者对于螺纹、齿轮、花键和蜗杆的概念清晰。关于它们的针（或线）或球测，既有公式可循，又有例子可仿。因此，在某种程度上，本书兼有手册的作用。

书中插图由陈凤英同志重新绘制。

由于译者水平所限，译文中的错误与不妥之处在所难免，恳切希望广大读者提出宝贵意见。

译　者

目 录

第一章　定义和名称

§1-1　概　　述

用线、针、圆棒或球来测量螺纹、蜗杆和齿轮只不过是螺纹和齿轮生产与测量中很多普遍性问题之一。

但是，圆柱齿轮和螺纹在几何原理和运动原理方面的共同点在工程界和工程教育中还没有被认识，因此，在教材和手册中螺纹和齿轮还作为完全不同的对象来对待，没有给读者任何关于它们的相互关系和异同点的概念。

我认为只要在螺纹和齿轮工业中存在相矛盾的专业术语就会妨碍相互的理解与协作。两个密切相联系的工业的重要术语（如螺旋角和节圆）使用相矛盾的定义几乎是可笑的；这也说明教材和手册的读者为什么迷惑。因为同样的问题使用不同的符号，甚至相矛盾的名称和符号使用在同一书的不同章节。

螺纹和齿轮工业相矛盾的专业标准术语导致刀具、量具和其它检测设备的生产者在生产中感到特别困难。这些生产单位的工程师室在同这些状况所造成的混乱局面所作的斗争既是可敬的，又是徒劳的。

在一本书里排除这些矛盾和含糊不清的概念确实是一个难题，因为它们在这些工业中运用已根深蒂固。在为难之际，我决心偏袒齿轮专业术语，这是因为在多头螺纹和蜗杆的生产中所使用的刀具需要一般齿轮几何学和运动学的广泛概念。

这本书的表示法和术语与我的另一本书——《渐开线学和三角学》● 相同。在一些方面这将对读者希望有更多的详细的知识是有益的。一般，也包含美国标准协会(ASA)和美国齿轮制造者协会（AGMA）标准所采用的用于齿轮工程的文字符号。然而，这两本书里的新术语在这两标准内并没有提到。

§1-2　一般定义

1. 螺纹

本书里，螺纹或者普通螺纹意味着任意的圆柱螺纹。这样的螺纹的螺旋面是由许多同轴螺旋线组成，但是螺纹的任一截面可以是任意曲线。因此，这一定义包括各种类型的紧固螺纹、传力螺纹、圆柱蜗杆、斜齿轮和圆柱螺旋齿轮、花键以及锯齿轴等。

2. 量线或量针

所谓线测量、针测量和棒测量用的线、针和圆棒从几何学观点看意味着同一东西；即坐落在一螺纹的螺旋槽中的钢制圆柱体（见图 1）。

“线”通常用于螺纹测量和小模数齿轮的检验；而“针”和“圆棒”则用于大模数齿轮的测量。在本书内，针和线两者可以互相代替。

● 即参考书〔16〕。

3. 最佳线

所谓最佳线、最佳针和最佳球系指线、针或球在螺纹的节圆螺旋线上与螺纹接触。

4. 螺旋面要素

一螺纹的螺旋面要素是由一个螺旋面的两个无限接近的螺旋线组成。

5. 最佳螺旋面要素

一螺纹的最佳螺旋面要素是指包含有节圆螺旋线的螺旋面。这里，节圆螺旋线系指节圆柱螺旋线。

6. 最佳球截面

最佳球截面是螺纹的一特殊截面，在这个截面里最佳球的最大圆和螺旋槽相接触在两点（见图 6 和图 39）。

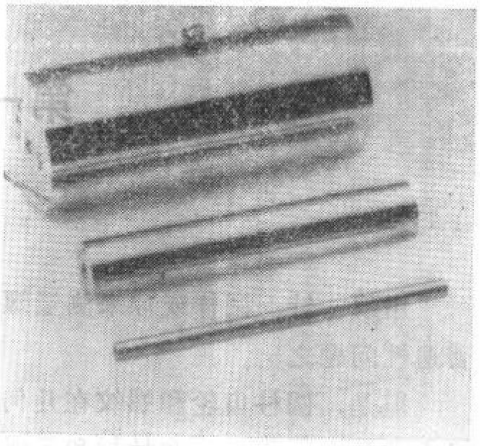


图 1　测量用的线、针和圆棒

标准局规定：一组线的不圆度、不直度和不均匀性都在 0.00002英寸之内。线的光洁度和硬度也已标准化。

最佳球截面是按几何原理由两根相交面法线来决定的。这两根相交面法线是该螺旋槽的相邻最佳螺旋面的法线。不言而喻，对于对称螺纹（译者注：指等牙距圆柱螺纹）来说，它们的最佳球截面也包含有通过这些螺旋面法线交点的螺纹槽对称轴线。

§1-3　螺纹几何学的基本术语

7. 导程

导程为螺纹旋转一圈，螺纹上的任一点轴向移动的距离。

这个尺寸比其它尺寸更为重要，不论它是否直接地或间接地标注出来。

在本书里用符号“l”表示导程，是与美国标准协会和美国齿轮制造者协会一致的（见参考书〔41〕）。可是在用打字机打的字母中还是用“L”比较合适，因为打字机打的字母“l”和数字“1”容易引起混淆。

8. 节圆柱

本书里的节圆柱总是意味着有一明确指定的节圆半径“R”的名义的或者基本的节圆柱。

节圆半径“R”和导程“l”是螺纹的基本参数。节圆柱是一不变的理论圆柱。所有其它的参数，譬如节距、压力角、牙形角和螺纹厚度等不是在节圆柱上，就是与它有关。

注意：作为对照，螺纹标准里节径的定义如下：“节径”是一假想的圆柱直径，它的表面与螺纹表面相交处的螺纹厚度与螺纹槽宽相等。

显然，按这一定义的节径尺寸将随螺纹厚度等于螺纹槽宽的位置而变化，因此，节径尺寸的位置是不可预言的，使节径必须具有径向公差。

节圆实际尺寸的不确定性将影响普通螺纹的其它重要尺寸（见表 1）。表 1 清楚地说明用齿轮术语来定义普通螺纹的节径比螺纹标准定义要优越得多。

9. 一螺纹的重要螺旋线（见图 2 和图 3）

1）螺纹的表面是螺旋面，即任一和螺纹同轴的假想圆柱表面与螺旋面相交为一同轴螺旋线。如果相交圆柱是螺纹的节圆柱，那么，所得到的螺旋线是节圆螺旋线。

表 1　用齿轮术语来定义普通螺纹节径的优越性

术　　语	基 本 含 义	结　　　果
齿轮标准	节圆直径是一假想值，对于一特定螺纹它是不变的	仅螺纹厚度受侧隙允差（即偏离标准厚度的允差）的影响
螺纹标准	螺纹厚度是一假想的不变值 即 $t_x=s_x=\frac{l}{2N}$	几乎所有其它基本尺寸，即节径、牙形角、压力角、导程角和螺旋角，都受节圆直径所允许的径向间隙的影响

2）螺纹的侧向节圆螺旋线是螺纹表面内的节圆螺旋线（见图 3）。

3）一螺纹体的中心螺旋线是一假想的节圆螺旋线，它对中于它的两侧向节圆螺旋线（见图 3）。

4）一螺纹槽的对中螺旋线是一假想的节圆螺旋线，它对中于螺旋槽的两侧向节圆螺旋线（见图 2）。

螺纹槽的对中螺旋线与一相邻螺纹体的中心螺旋线的轴向距离和螺纹的侧隙无关。它始终等于$\frac{l}{2N}$。“N”为螺纹头数$\left(\text{见图 3 的}\frac{1}{2}P_x\right)$。

5）一螺纹的最佳球螺旋线是最佳球的中心“C”沿着螺旋槽（见图 6）滚动的轨迹（见定义 3）。

最佳球螺旋线也可以这样来定义：与最佳球的直径相同的最佳针在螺旋槽内摇动时，它的轴线螺旋包络线即为最佳球螺旋线。显然，最佳球螺旋线的轴和导程与螺纹的相同。

10. 对称轴（见图 2 和图 3）

1）从图 2 可以看出，螺纹体的轴向截面的对称轴同时也是螺纹体任何截面的对称轴。这意味着任何截面只要通过这一对称轴，那么，此截面与螺纹体相交的左右轮廓线是对称的。

一螺纹体的每个对称轴与螺纹轴和螺纹体中心节圆螺旋线都垂直相交。

2）同样可以看出，螺旋槽的每个对称轴是一束无数个平面的相交线，这些平面与螺旋槽相割，所切出的槽形是左右对称的。这意味着通过这个对称轴的任何平面与螺旋槽的相邻两螺旋面相交成左右一致的轮廓曲线。

每一螺旋槽的对称轴与螺纹轴和螺旋槽（见图 3）的对称节圆螺旋线都垂直相交。

在轴向截面内相邻的两对称轴之间的距离与螺纹侧隙无关。这距离始终等于$\frac{l}{2N}=\frac{P_x}{2}$（见图 3）。

螺纹槽的对称轴对于所有测量和工具设计尤为重要。

11. 导程角

1）螺纹的任一节圆螺旋线的导程角 λ 可以由下式得到：

$$\tan\lambda=\frac{l}{2\pi R} \qquad (E.1)^{●}$$

方程里“l”指螺纹的导程，“R”为螺纹的节圆半径（见图 2）。

2）同样的道理，任一半径为“r”的螺旋线的导程角 λ_r 可以由下式计算：

● 公式代号冠以“E”为精确方程。——译注

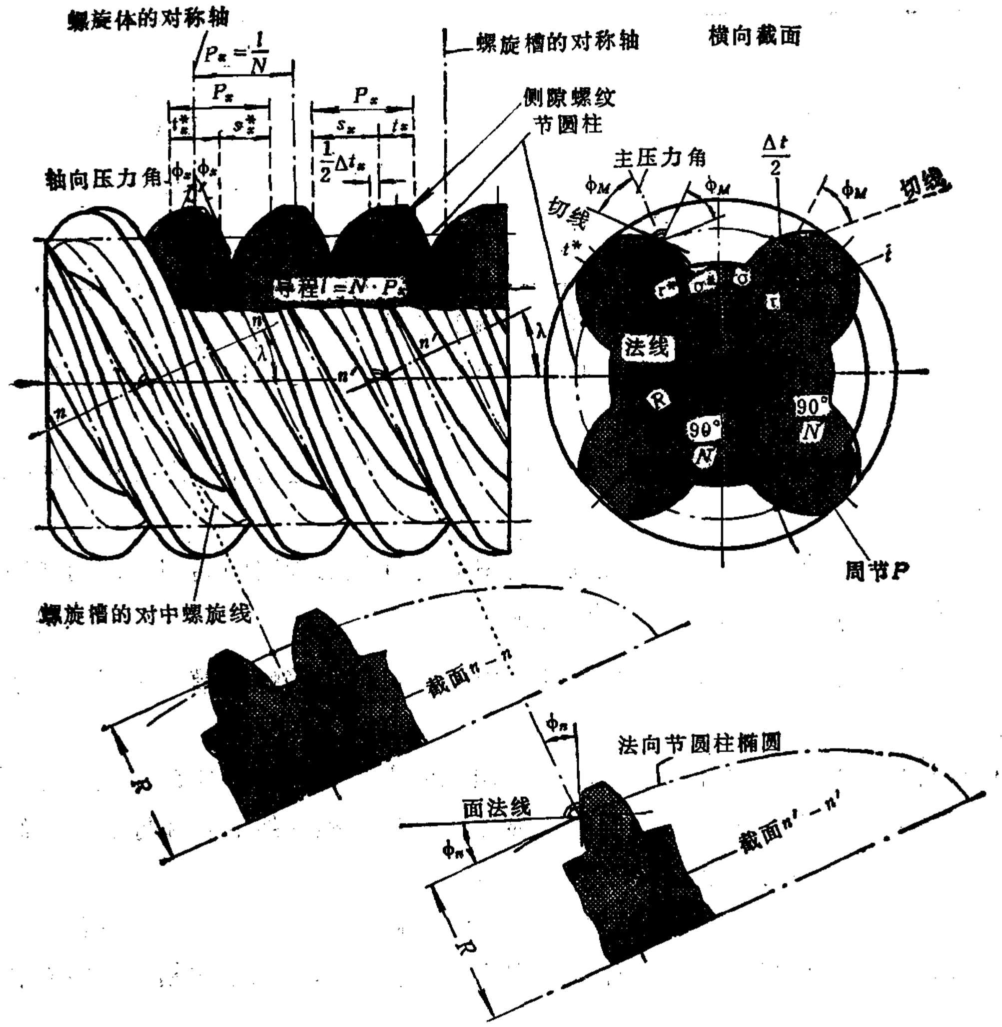


图 2　螺纹的名称

左图：轴向截面。右图：横向截面。中图：$n-n$ 截面垂直于一螺旋槽的对中节圆螺旋线。下图：$n'-n'$ 截面垂直于一侧向节圆螺旋线。

l：导程	ϕ_x：轴向压力角	P：周节	在横向截面（旋转面）内 τ：齿厚半角
λ：导程角	$2\phi_x$：牙形角	t：齿厚	
R：节圆半径	ϕ_M：主压力角	s：齿间	
N：头数	ϕ_n：法向压力角	Δt：侧隙允差	在横向截面（旋转面）内 σ：齿间半角

脚注"x"指位于轴向截面内。星号＊指标准齿厚（零侧隙）。图示为零侧隙的螺纹；画有剖面线的虚线轮廓表示侧隙螺纹的减薄齿。符号所代表的尺寸间的关系和附加图示见第十章表43到表50的资料。

$$\tan\lambda_r=\frac{l}{2\pi r} \tag{E.2}$$

3）因此，螺纹的球螺旋线的导程角 λ_e 可以写成：

$$\tan\lambda_e=\frac{l}{2\pi F} \tag{E.3}$$

"F"为螺纹轴和位于螺纹槽里的量球（或量针）的球中心（或量针中心轴）间的最短距离（见图 6）。

12. 螺纹的轴向截面（见图 2 和表 2）

1）一螺纹的轴向截面一般作为它的主要截面。其实是一个齿条。它的节距与螺纹的

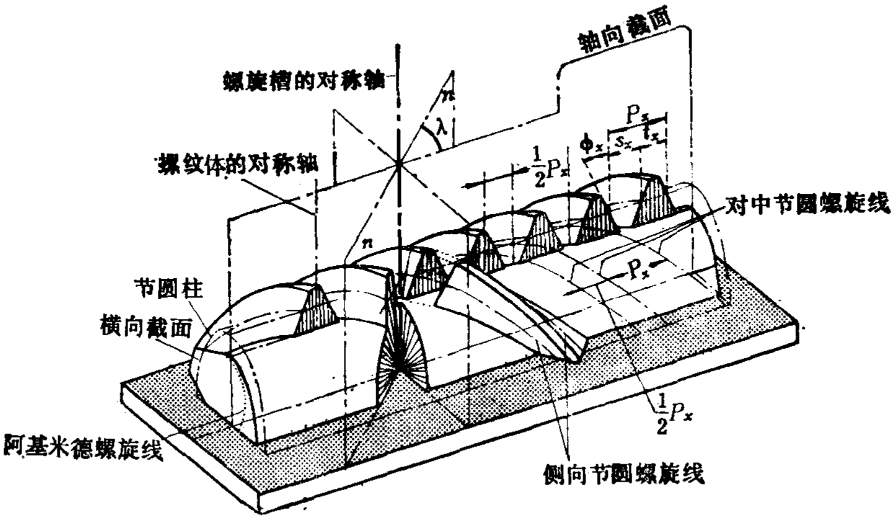
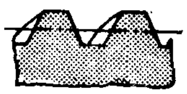
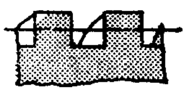
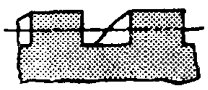
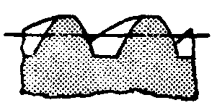
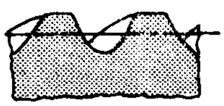


图 3　阿基米德螺纹模型

特点：在轴向截面内为直线；而在横向截面内为阿基米德螺旋线。任一螺纹的截面 $n-n$ 垂直于螺旋槽的对中（或中心）节圆螺旋线，此截面对于车刀是重要的；可是它不是最佳针截面。

表 2　螺纹的轴向截面

轴向螺纹轮廓		发生在		横向轮廓
特性	图示			
直线轮廓		三角螺纹	阿基米德螺纹	阿基米德螺旋线
		梯形螺纹		
		正方形螺纹		直线 （上述的特殊场合）
		矩形螺纹		
凸形轮廓		渐开线螺纹 “弧形”渐开线螺纹		（真）渐开线 “弧形”渐开线
		V形盘铣刀滚制的螺纹		见后
凹形轮廓		“简易”渐开线螺纹		“简易”渐开线
		法向直线轮廓的螺旋花键		直线

注意：标明这些螺纹时，用横向轮廓比用轴向轮廓要好。

测量半径和侧隙无关。

2）这个节距同时也是螺纹的轴向节距，即

$$P_x=\frac{l}{N} \tag{E.4}$$

这里，“l”指螺纹的导程，N为它的头数（见图2）。

3）小导程角的螺纹其轴向齿条轮廓的侧面通常为直线。在紧固螺纹里，其齿条轮廓为三角形；通常所说的方头螺纹，它的齿条轮廓为矩形或正方形；许多其它标准螺纹的齿条轮廓为梯形。在所有阿基米德螺纹的轴向截面内存在着简单的直线侧边（见分类和图3）。

4）然而，为了简化生产和其它一些原因，具有大导程角的多头螺纹的轴向轮廓往往不能保持直线。

5）牙形角“$2\phi_x$”是指在轴向截面内，与牙形相切于节点的两切线的夹角。阿基米德螺纹的牙形角与它的轴向齿条牙形角相同。

6）牙形半角即轴向压力角ϕ_x（见图2和图3）。

7）螺纹的轴向厚度“t_x”、轴向齿间“s_x”和轴向侧隙允差“Δt_x”见图2和表45的资料。

13. 螺纹的横向截面（见图2和表2）

1）垂直于螺纹轴的任一平面称为螺纹的旋转面。

2）螺纹同它的任一旋转面相交的交面被称为螺纹的横向截面。

3）螺纹的任意横向截面可以被当作一平面齿轮，它的齿数就是螺纹头数“N”，它的节圆是螺纹的节圆柱同任一旋转面的交线。

因此，平面齿轮（即齿面宽度为无穷小）的所有几何关系就可以直接运用到螺纹的横向截面中去，从而得出轴向截面尺寸与横向截面尺寸间的一般关系，它们列于第十章的表43～表45中。

下面的角度用于螺纹的跨线测量尤为重要。

4）主压力角“ϕ_M”在螺纹的横向截面内，处于节圆上的压力角为主压力角。它也是节圆径向直线与横向螺纹轮廓切线的夹角（见图2）。它也可以由下式得到：

$$\tan\phi_M=\frac{\tan\phi_x}{\tan\lambda} \tag{E.5}$$

5）齿间半角“σ”在螺纹的横向截面内，节圆齿间之半所对的中心角称为齿间半角（见图2）。

对于标准厚度螺纹＊可以写成：

$$\sigma^*=\frac{90^\circ}{N}\text{（度）} \tag{E.6}$$

$$\sigma^*=\frac{\pi}{2N}\text{（弧度）} \tag{E.7}$$

侧隙螺纹的附加方程可以从表45中查得。

＊ 本书中的星号总是代表标准厚度（具有零侧隙）螺纹。

14. 法线和法面

几何学告诉我们，所谓“对……的法线意味着对……垂直”

1）通过一曲线上点“Q”的法线是一直线，它垂直于这根曲线及其过“Q”点的切线。

2）通过一面上的点“Q”的法线是一直线，它垂直于此面及其过“Q”点的切面。

两面彼此接触在点“Q”，则通过此点它们有一共同的切面和一共同的法线。这些共同法线对于两齿轮的齿面接触、两螺纹面接触以及螺纹表面与它们的量针或量球接触都有重要的价值。

3）通过一曲线上的点“Q”的法面，意味着这个平面垂直于这条曲线及其过“Q”点的切线。这个法面包含了过“Q”点的曲线的所有法线。

4）一表面的法面意味着它们是以这样的方法相交：法面内的法线既是它们相交曲线的法线，也是该表面的法线。

假如所有表面都存在着法面，那么，可以在很大程度上简化几何概念；遗憾的是，只不过一些有限类型的表面具有这样的法面。这些有代表性的类型是：

所有的普通圆柱（在任一横向截面内的）；

所有的平面；

所有的旋转面；

所有带状渐开面（见参考书〔16〕的图 27）。

测量用针正是圆柱体，属于上述特有的类型。它们的每一轴向截面和每一旋转面都垂直于圆柱体的表面。测量用球更为简单，因为通过它的中心的所有平面都是垂直于它的表面的。

5）将“一曲线的法面”和“一表面的法面”区别开来是非常重要的。换言之，“法面”这一术语，如果不说明是垂直什么的，则是不够的和无意义的。

几乎所有螺纹的螺旋面没有法面，但是任一根螺旋线有无数的法面。因此，螺纹的法面由垂直于它的特定的螺旋线来表示（见图 2 和图 3）（渐开线螺纹是唯一的例外，它的特性截面是它的螺纹表面部分的法面，见参考书〔16〕）。

15. 垂直于螺纹的对中节圆螺旋线的截面

1）垂直于螺纹体对中节圆螺旋线的截面。

2）垂直于螺旋槽的对中节圆螺旋线的截面。

后者经常被误认为是最佳量针的接触面。对于齿轮和齿轮刀具设计，这截面尤为重要。此截面垂直于螺旋槽的对中节圆螺旋线，同时也是螺纹车刀的轮廓，这时螺纹车刀被调整到垂直于这个特定螺旋线（见图 2 和图 3 及参考书〔23〕、〔29〕、〔30〕和〔31〕）。

16. 螺纹的最佳球截面

此名称（见本章定义 6）表示一重要螺纹截面，至今在螺纹几何学内还未提及。从几何学的观点，它可以被定义为一截面，它由两条相交的面法线所决定；两法线各垂直于螺旋槽两侧并通过节圆螺旋线。

两面法线的相交点（在图 6 中“C”点）同时也是最佳球截面与最佳球螺旋线的垂直相交点，因此，此截面与螺纹轴的夹角始终是 λ_c（见定义 11）。

“C”点同样位于螺旋槽的对称轴上，对称牙形的每一最佳球截面都有这样的对称轴。

此截面对于跨线测量和螺纹的磨削的意义将在第九章里解释。

17. 螺纹的纵向截面

平行于螺纹轴的所有截面被称为螺纹的纵向截面。它们在螺纹的跨线测量的进一步研究中是需要的；在圆柱蜗轮机构的接触精度分析中有重要运用（见参考书〔38〕）。

§1-4 螺纹的分类

螺纹螺旋面是由许多同轴螺旋线组成的。一螺纹的所有螺旋线有一共同的导程“*l*”，而它们的区别仅在于有不同的半径。

一螺纹的特性由这些螺旋线的相对位置来决定。在螺纹表面上的任一曲线（或直线）已经知道时，则螺纹的特性就被确定了。

大多数螺纹的螺旋面上有直线轮廓，此面被称为规则螺旋面。这些重要规则螺旋面多存在于阿基米德螺纹和渐开线螺纹内。

1. 阿基米德螺纹

阿基米德螺纹的特点是螺旋面上的所有直线交于螺纹轴。因此，这类螺纹的每一轴向截面都为直线侧边，而横向截面（被任一旋转面所截）显示出像齿廓曲线一样的阿基米德螺旋线（见图3和表2）。

经常碰见的阿基米德螺纹的轴向轮廓为三角形和梯形。所有的紧固螺纹属于这种类型。

正方形和矩形螺纹有一正方形或者矩形的轴向轮廓，它为阿基米德螺纹的一特殊形式，即 $\phi_x=\phi_M=\phi_n=0$。它们是唯一的在轴向和横向截面内均为直线轮廓（见表2和图28)的螺纹。

2. 渐开线螺纹

图17～图19所示渐开线螺纹的任何旋转面里呈现真实的渐开线轮廓，在轴向截面为一斧式螺旋形的轮廓曲线；在切于基圆柱的所谓特性截面内为直线轮廓（详见参考书〔16〕图示）。

渐开线螺纹把渐开线蜗杆、斜齿轮、圆柱螺旋齿轮、花键、滚刀、剃齿刀以及其它的齿轮刀具完全地合并在一起。它对于所有螺纹跨线测量的重要性将在第三章里解释。

3. 直线轮廓的螺旋花键

直线轮廓的螺旋花键也属于规则螺旋面。在它的横向截面内呈现直线轮廓；然而在其轴向截面内为凹形曲线轮廓。这种花键很难见到。由于人们喜欢用螺旋渐开线花键而导致它的完全消失。

4. 用V形车刀生产螺纹

如果将V形车刀的直刃装在螺纹的轴向平面内，则形成的螺纹为阿基米德螺纹。车刀的这种装法只能用在具有小导程角的螺纹。

为了加工大导程角的螺纹，车刀刀刃与螺纹轴应有一夹角，通常，此安装夹角等于螺纹的导程角；同时切削刃面垂直于螺旋槽的对中节圆螺旋线。

这种方法形成的螺纹面是规则的螺旋面，其特点为 $\phi_n=\phi_刀$，其中 ϕ_n 为法向压力角，$\phi_刀$ 是V形车刀的轮廓半角。螺旋面上的直线位于垂直于螺旋槽对中节圆螺旋线的平面内，在其横向截面内，螺纹的轮廓一般为曲线渐开线。仅在特殊情况下将形成阿基米德螺

纹（见参考书〔29〕和〔30〕）。

5. 用V形刀具铣削或磨削螺纹

锥形刀（例如端铣刀）和圆盘形刀（例如铣刀）属于这种类型。锥形刀的轴线将同一螺旋槽的对称轴一致；而盘形刀的轴线垂直相交螺旋槽的对称轴，同时与螺纹轴夹一角度，这个安装角度通常不必等于螺纹的导程角“λ”。

用这种类型的刀具所形成的螺纹表面不包含可以用简单的几何或解析法表示的任何直线或任何曲线（见参考书〔23〕和〔26〕）。实际上，对于它们的跨线测量，我们将它们作为未知特性的螺纹来对待。

至今，圆盘V形工具用于螺纹的磨削特别普遍而重要。我们将这种工具制造或精加工的螺纹归类为V形圆盘所生产的螺纹（见图4）。

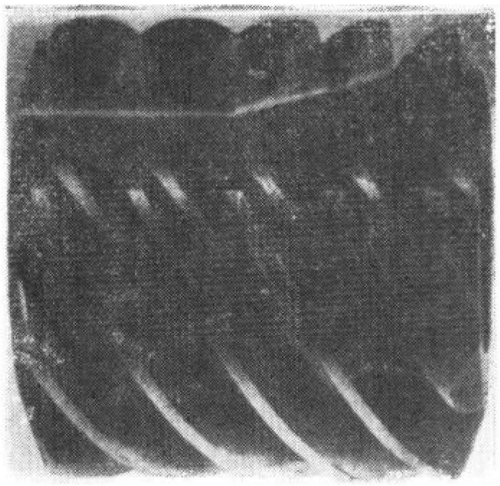


图4　V形圆盘刀具生产的螺纹
用V形圆盘砂轮磨削的螺纹和砂轮相比较，螺纹的表面通常不包含任何直线。

精确尺寸的针测量及其磨轮调整的重要性将在第九章里叙述。

6. 极限螺纹

导程、压力角同螺纹头数（$N=1\sim\infty$）一起决定了螺纹的几何可能性和限制。因而有如下一些特殊情况：

1）$\lambda=0$代表零导程（$l=0$）螺纹。这意味着螺纹变为回转的齿条或环形轴，在其旋转面内有齿厚和齿间。

2）$\lambda=90^\circ$代表导程为无穷大（$l=\infty$）螺纹，它是非常重要的。这意味着螺纹变为一正齿轮（或者正花键），或者变为直锯齿轴，它有许多平行于轴线的直的锯齿。每一螺纹表面是由无限多平行直线组成。这种情况可在电动机的纵向制动器和花键里见到。

3）$\phi_x=\phi_M=\phi_n=\pm0$体现了内（指负号）外螺纹间的极端情况。如果螺纹面包含有直线，在这特定情况下意味着螺纹变为矩形螺纹或者正方形螺纹。

4）$\phi_x=\phi_M=\phi_n=90^\circ$仅为极限情况而没有任何实际用途。从几何的观点看，它意味着每一螺纹面在节圆柱上的切面平行于螺纹轴线。

5）$N=\infty$在螺旋齿条方面有重要运用。从几何的观点看，它意味着螺纹的节圆柱变为一平面（即$N=\infty$）。

对于螺纹跨线测量，极值的意义在图36上讨论并在表62示出。

§1-5　螺纹的基本尺寸

导程“l”、头数“N”、节径“$2R$”及牙形角“$2\phi_x$”是一螺纹的基本尺寸（见图2和图3）。如果它们没有直接给出，可用表43推算。

此外，螺纹厚度或侧隙必须给出*（见表45）。通常仿效花键标准程序来确定螺纹的最佳针尺寸和螺纹的量线尺寸的上、下值。这些尺寸的确定是本书的主要目的，并且，在本书中用数字表示的例子示出。

虽然这些规范用于螺纹的基本检查已经足够了，可是附加说明螺纹的特性和形成也是合适的。

关于其它资料（本书不需要）的详细说明，譬如螺纹、齿轮和花键标准，应参阅有关书籍（见参考书〔3〕、〔14〕、〔16〕、〔40〕、〔41〕、〔44〕和〔46〕）。

* 在螺纹测量中，习惯规定节径的径向允差 Δd，而不用表45里的侧隙允差。从表1可以看出这个规定对于普通螺纹是不合理的。下面将直径允差转化为侧隙允差是本书提倡的。

Δd和侧隙允差的精确关系取决于螺纹的特性，因此，普遍的精确方程不能用于所有类型的螺纹进行变换。

用于阿基米德螺纹的精确方程可以写成：

$$\Delta t_x = \Delta d \cdot \tan\phi_x$$

$$\Delta t = \Delta d \cdot \tan\phi_M$$

（见用数字表示的例题1）

这些方程用在其它类型螺纹是一近似值，它的误差仅在很小的螺纹侧隙时才忽略不计。其它近似侧隙计算的捷径见F.86。

第二章　针和球测量的一般理论

§2-1　量针在螺旋槽内的运动和平衡

在一正齿轮齿槽内的任一量针与齿槽的两侧面的接触为线接触。

通常，一针坐落在普通螺纹的螺旋槽中，它们的接触不再是线接触。经验表明，针未进入确定的平衡位置之前一定要摇动(见图5和图6)。

如果我们用球代替针，球将在螺纹槽内滚动。在所有情况下，球都能在螺纹槽内自由滚动，而针在螺纹槽内的摇动有时则不可能，因为沿着针长的其它点和某些形式的螺纹相干涉。关于干涉将在本章下节里叙述。应该指出，如下陈述的前提是针能自由摇动。

因为球或针能在螺旋槽内自由运动，所以我们能够断定球或针与螺旋槽的每一螺旋面只有一个接触点。

另一个重要结论是接触的两面在接触点有一公共面法线。

因为球表面的所有面法线都通过它的球心，即与螺纹的两螺旋面的两个公共面法线也相交于球心。换言之，我们得到：

定理1　一球静止在螺旋槽内，其接触点总是位于球的最大圆上。此球同螺旋面接触的两公共面法线相交于球心。

一针静止在一螺旋槽内，它受三个力即重力和对它的两支承力的作用；支承力的作用方向沿着量针与螺旋面的公共面法线(见图7)。

因为处于平衡的一物体受三个力的作用，只能假定这三个力处于同一平面内，因此，我们可以断定量针同螺旋面相接触的两公共接触法线总是相交，从而决定一公共的接触面。事实上，这个接触面是这针的一法面，于是，可导出如下结论：

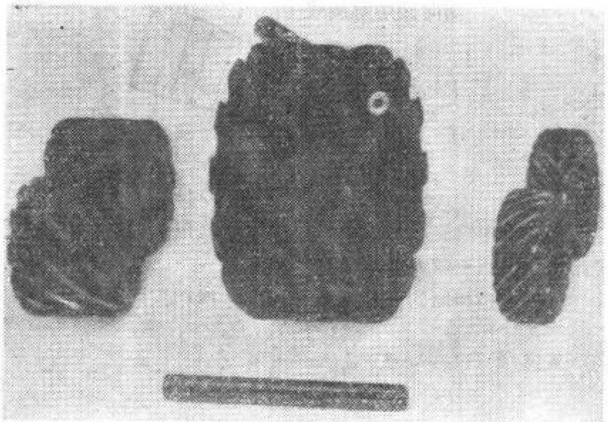


图5　针坐落在斜齿轮的螺旋槽中
针坐落在槽里，在它进入平衡位置之前将摇动。

定理2　静止在一螺旋槽内针的两接触点总是位于针的一横向截面内，螺旋面同针的公共面法线彼此相交于针的横截面的圆心(见图6)。

事实上，球和针的垂直接触截面是圆，由定理1和定理2可推出如下重要结论：

定理3　一球在一螺旋槽内的接触位置和接触点与相同直径的针的接触位置和接触点相同。

这个结论用于分析是特别有价值的，因为很多针测量的几何学可以用一假想的球测量来代替。

如果我们将坐落在螺旋槽内的球事先着上色，然后滚动它，将成功地在螺旋面上留下

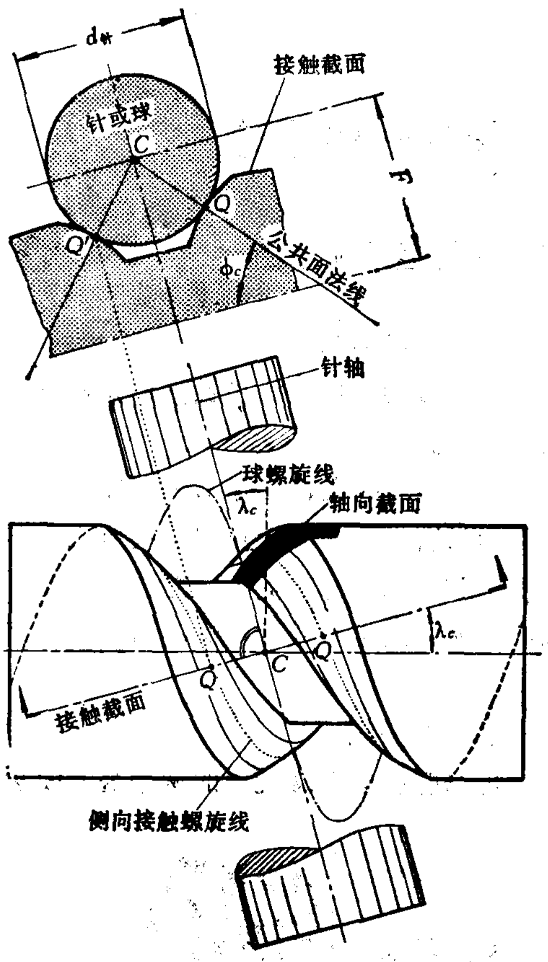


图 6　接触截面和针的位置

着色球在螺旋槽里滚动，在螺旋面上留下着色接触螺旋线，而此球心沿着一较大的球螺旋线移动。

与球直径相同的一针坐落在螺旋槽内，针的轴线切于球螺旋线，其位置由$\tan\lambda_c=\frac{l}{2\pi F}$确定。

两条着色痕迹，它们即为螺旋槽的侧向接触螺旋线。

应该指出的是，上述运动着的球的中心实际沿着一螺旋线移动，对于球和针测量，此螺旋线的重要性可以总结如下：

定理 4　在一螺旋槽内滚动的一球的中心的轨迹是一螺旋线，它被称为球螺旋线。它总是比与螺旋槽两侧相接触的螺旋线的直径大；但是它的导程和轴线总是和螺纹的相同。此球螺旋线总是垂直于球和螺纹的任意瞬时接触截面。此瞬时接触截面与球螺旋线的相贯点同时又是球和螺旋面的两瞬时面法线（定理 1 里定为公共面法线）的交点。

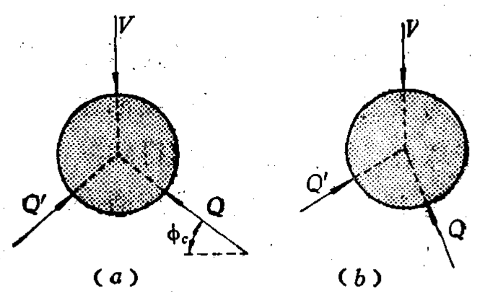


图 7　针在螺旋槽里平衡

（a）对称槽中的自由体；（b）非对称槽中的自由体。

Q、Q′为静止针接触点；在Q、Q′上的矢量为螺旋面的支承力。

定理 3 和定理 4 的同时存在，揭示了如下结论：

定理 5　静止在一螺旋槽里的量针的轴线可以想像切于球螺旋线；此球螺旋线是由与这个针的直径相同的球的球心形成的。

定理 6　在螺旋槽内摇动的量针的轴线包络线与其直径相同的球的球螺旋线相同。

定理 1 ～ 6 适用于任何螺纹的螺旋槽，对于对称螺纹轮廓，我们可以增加：

定理 7　针、球在一对称螺旋槽内的任一接触截面包含了槽的对称轴。

此对称轴总是通过在两接触点上的两面法线的交点；同时垂直于螺纹轴和所选的球或针的螺旋线。

任意球的球螺旋线位于螺旋槽的所有对称轴上。

定理 1 ～ 7 适用于任一针或者球在螺旋槽里没有干涉（见下节）的情况。如果需要使用最佳针或者最佳球（见定义 3），我们增加：

定理 8　对于同一螺旋槽，最佳针和最佳球的直径相等。