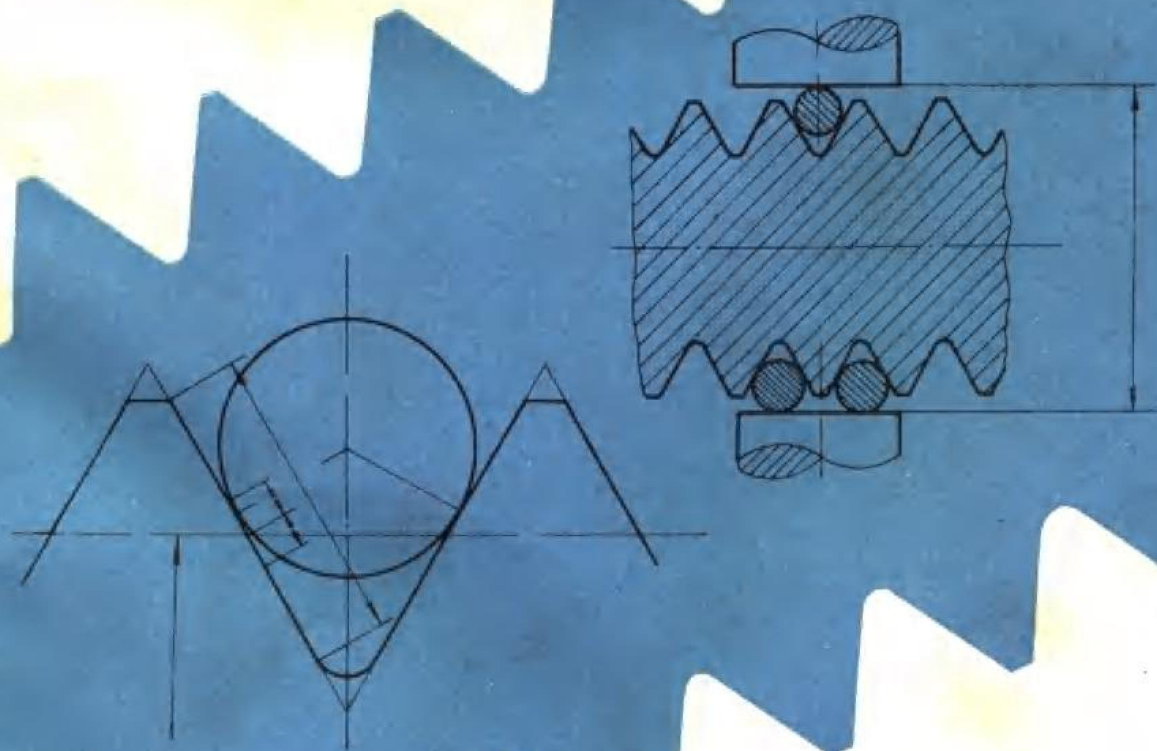


螺 纹 测 量

LUOWEN CELIANG

徐 孝 恩 编 著



机 械 工 业 出 版 社

本书根据螺纹参数的定义, 结合所用测量器具的光、机结构性质和被测螺纹的工艺特点, 阐述了各种螺纹的测量安装、定位和测量方法, 以及测量误差分析方法。并对螺纹三针测量的各种近似计算公式及其误差进行了系统的分析, 对国内外螺纹测量的新技术进行了较全面的介绍。书中列有大量数表可供测量时查用。

本书可供从事计量测试的科技人员使用, 也可供工艺人员和大专学校师生参考。

螺 纹 测 量

徐 孝 恩 编著

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张31.75·字数779千字

1986年12月重庆第一版·1986年12月重庆第一次印刷

印数 0.001—3,660·定价 6.50 元

*

统一书号: 15033·5899

前 言

本书系统介绍了国内外的螺纹测量技术，总结了作者对螺纹测量进行研究和实验的成果。作者以分析测量方法的科学性和提高螺纹测量的精确度为主要目的，从普及与提高相结合出发，根据螺纹参数的定义，结合所用测量器具的光、机结构性质，以及螺纹轮廓形成的工艺特点，详细阐述了螺纹测量的安装定位要求、测量方法及其合理选择，测量结果的处理和测量误差的分析，并对有关螺纹三针测量的各种近似计算公式及其误差进行了系统的分析。

作者注意到自七十年代开始，机械工业对螺纹精度要求的提高，以及螺纹测量领域中测量技术的发展和新技术的应用，在本书中较全面地介绍了国内外螺纹测量的新方法，特别是内螺纹单参数测量、圆锥螺纹测量和精密丝杠测量。对内螺纹单参数的测量，介绍了目前国内外实用、先进的测量方法；对丝杠测量，除结合我国实际情况讨论了各种测量方法，供读者参考使用外，并系统地对我国、美国、联邦德国、民主德国、日本等国的以激光和编码尺作测量元件的丝杠测量仪，从结构原理和测量方法上进行了介绍和比较。

我国新的普通螺纹国家标准已颁布实施，本书除对新标准进行了介绍外，对于上述内容的讨论，均以新标准为依据。同时对旧国标亦进行了必要的介绍。

本书可供从事计量测试的科技人员使用，也可供工艺人员和大专院校师生参考。

限于作者水平，书中不当之处在所难免，请读者指正。

目 录

前 言

第一章 螺纹的参数和公差 1

一、螺纹的分类 1

二、普通螺纹的术语 3

三、普通螺纹的公差与配合 6

1. 螺纹标准的发展史 6

2. 螺纹公差的基础 6

3. GB 197-81《普通螺纹 公差与配合》介绍 13

4. GB 197-81与GB 197-63、GB 964-67 螺纹公差带的比较 26

第二章 螺纹的综合检验 31

一、按GB 197-63的螺纹量规 31

1. 螺纹量规的种类 31

2. 螺纹量规的使用 31

3. 螺纹量规的中径偏差 33

4. 螺纹量规的螺距偏差 34

5. 螺纹量规的牙型半角偏差 35

6. 螺纹量规的大径偏差和小径偏差 35

7. 止端塞规、“校通一止”、校通一损”、 “验通一通”塞规和止端环规、卡规 的截短牙型 35

8. “校止一通”、“校止一止”和“校止一 损”塞规的大径偏差 38

二、ISO普通公制螺纹量规检验标准 38

1. ISO 1502-1978(E)的适用范围 38

2. ISO 1502-1978(E)的参照标准 38

3. 螺纹量规的型式 38

4. 螺纹的检验 39

5. 参照温度 40

6. 螺纹量规的功用、检验及其使用方 法 40

7. 螺纹量规的中径公差带 44

8. 螺纹检验用光滑量规的公差带 45

9. 螺纹量规的螺纹牙型 45

10. 螺纹量规的一般特点 48

11. 螺纹量规的公差与允许磨损量 50

12. 螺纹量规极限的计算公式 51

三、螺纹量规的周期检定和保养 55

1. 螺纹量规的使用和保养 55

2. 螺纹量规的终结检验 56

3. 螺纹量规的周期检定 56

4. 螺纹量规的使用寿命 56

四、螺纹环规综合检验用的内螺纹测头 57

1. 内螺纹测头的设计 57

2. 内螺纹测头的使用 61

3. 对内螺纹测头的评价 62

五、内螺纹综合检验用的折叠规 63

第三章 螺纹参数的机械接触测量法 64

一、螺纹中径的机械式测量器具测量法 64

1. 用带插头量具测量螺纹中径 64

2. 螺纹千分尺测量螺纹中径的测 量误差 66

3. 螺纹中径机械接触法测量用量仪 69

二、普通螺纹中径的三针量法 70

1. 三针量法的近似计算公式 71

2. 螺纹螺距、牙型角和测针直径的制造 误差的影响及其修正 73

3. 三针与螺纹齿面接触位置的影响及其 修正 77

4. 测量力的影响及其修正 84

5. 三针量法总的修正公式 92

6. 三针量法计算示例 93

三、螺纹中径的双针量法和单针量法 95

四、梯形螺纹和蜗杆中径的三针量法 97

1. 三针量法的M值计算公式和斜位修正 量公式 97

2. 计及斜位影响的最合适针径计算公 式 107

3. 斜位修正量公式的简化公式 110

4. 斜位影响和压陷影响的补偿 111

5. 测针直径的选择 114

6. 中径测量误差的修正 114

7. 双针量法和单针量法 116

8. 不同牙型轮廓的蜗杆的三针量法.....	116
9. 三针量法的其它公式.....	130
10. 多头螺纹三针量法的干涉现象.....	137
五、锯齿形螺纹中径的三针量法.....	139
1. 三针量法的M值计算公式.....	140
2. 测针直径的选择.....	142
3. 中径测量误差的修正.....	144
4. 斜位修正量计算公式.....	146
5. 压陷修正量计算公式.....	148
六、三针量法中螺纹牙型角的影响.....	149
1. 用螺纹牙型角实测值计算中径.....	149
2. 螺纹牙型角等分中线倾斜对中径测值的 影响.....	152
七、三针及其使用.....	154
1. 针径的尺寸系列.....	154
2. 三针的制造精度.....	154
3. 针径的选择范围.....	155
4. 三针的夹持形式.....	156
八、用钢丝弹簧夹圈测量螺纹中径.....	161
九、螺纹大径、小径、螺距和牙型角的机械 接触测量法.....	162
1. 大径和小径的机械接触测量法.....	162
2. 螺距和牙型角的机械接触测量法.....	170
第四章 螺纹参数的光学测量法.....	197
一、螺纹螺距的光学测量法.....	197
1. 普通螺纹螺距的光学测量法.....	197
2. 锯齿形螺纹螺距的光学测量法.....	204
3. 螺纹螺距的干涉测量法.....	208
4. 螺距测量用的光学量仪.....	210
二、螺纹牙型角的光学测量法.....	211
1. 普通螺纹牙型角的光学测量法.....	211
2. 锯齿形螺纹牙型角的光学测量法.....	215
三、螺纹中径的光学测量法.....	215
1. 影象法.....	216
2. 垂直投影法和轮廓目镜头标准轮廓 法.....	226
3. 齿厚测量法.....	227
4. 测量刀轴切法.....	233
5. 多头螺纹中径的测量.....	233
6. 干涉测量法.....	235
7. 锯齿形螺纹中径的光学测量法.....	236
四、螺纹大径和小径的光学测量法.....	242
第五章 内螺纹参数的测量.....	243
一、内螺纹参数的机械接触测量法.....	243
1. 内螺纹螺距的机械接触测量法.....	243
2. 内螺纹牙型角的机械接触测量法.....	245
3. 内螺纹中径的机械接触测量法.....	249
4. 内螺纹大径和小径的机械接触测量 法.....	259
二、内螺纹参数的光学测量法.....	259
第六章 圆锥螺纹的测量.....	269
一、圆锥螺纹的基本牙型、基本尺寸和公 差.....	269
1. API套管、油管与管线管螺纹的基本 牙型、基本尺寸和公差.....	270
2. API钻杆联接圆锥螺纹的基本牙型和 基本尺寸.....	273
3. ГОСТ 5286-75 钻杆接头螺纹的基本 牙型和基本尺寸.....	273
二、圆锥螺纹的参数.....	281
1. 圆锥螺纹的螺距.....	281
2. 圆锥螺纹的外径和内径.....	284
3. 圆锥螺纹的中径.....	287
4. 圆锥螺纹参数制造偏差在径向和轴向 的补偿.....	289
三、圆锥螺纹的综合检验.....	292
1. 检验方式.....	292
2. 圆锥螺纹量规的公差.....	293
3. 圆锥螺纹量规的使用.....	303
4. 圆锥螺纹量规磨损的检验.....	304
5. 我国钻杆接头螺纹量规紧密距值的传 递.....	305
6. 圆锥螺纹量规参数测量的部位.....	305
四、圆锥外螺纹参数的测量.....	307
1. 圆锥外螺纹外径的测量.....	307
2. 圆锥外螺纹内径的测量.....	315
3. 圆锥外螺纹中径的测量.....	320
4. 圆锥外螺纹锥度的测量.....	334
5. 圆锥外螺纹螺距的测量.....	335
6. 圆锥外螺纹牙型角的测量.....	338
五、圆锥内螺纹参数的测量.....	342
1. 圆锥内螺纹内径的测量.....	342
2. 圆锥内螺纹外径的测量.....	344
3. 圆锥内螺纹中径的测量.....	344
4. 圆锥内螺纹锥度、螺距和牙型角的测 量.....	353

六、小尺寸圆锥螺纹的测量.....	353	2. 工艺过程中的车间测量.....	413
1. 小尺寸圆锥外螺纹的测量.....	353	3. 精密丝杠的测量.....	423
2. 小尺寸圆锥内螺纹的测量.....	363	六、丝杠螺距误差的动态测量.....	451
七、大尺寸圆锥螺纹的测量.....	368	1. 丝杠螺距误差动态测量的简易测定器.....	452
1. 大尺寸圆锥外螺纹的测量.....	368	2. HJY05型丝杠动态检查仪.....	457
2. 大尺寸圆锥内螺纹的测量.....	380	3. 丝杠动态测量的激光干涉仪.....	461
第七章 丝杠的测量.....	384	七、滚珠丝杠的测量.....	475
一、精密丝杠的特点和参数误差.....	384	1. 滚珠丝杠的特点和参数.....	475
1. 精密丝杠传动的特点和用途.....	384	2. 滚珠丝杠副参数误差对使用的影响.....	477
2. 丝杠的齿廓形状和参数误差.....	385	3. 滚珠丝杠的精度等级和公差.....	479
二、丝杠测量的积极意义.....	388	4. 滚珠丝杠的测量.....	483
1. 根据螺旋线误差曲线进行频谱分析.....	388	第八章 平面螺纹的测量.....	495
2. 提出丝杠安装的校正方式.....	393	一、平面螺纹的用途和测量原理.....	495
三、梯形螺纹丝杠的精度等级和公差.....	395	二、平面螺纹的测量方法.....	495
四、丝杠测量的注意事项.....	400	1. 在万能测量显微镜上测量.....	495
1. 温度对丝杠测量精度的影响.....	400	2. 在光学分度头和凸轮升程测量附件上测量.....	497
2. 丝杠测量安装的要点.....	403	3. 测值的数据处理.....	497
3. 丝杠的放置方式和清洗.....	407	参考文献.....	498
4. 丝杠测量仪器结构选择的一般原则.....	408		
五、丝杠的测量.....	411		
1. 机床丝杠切削系统传动精度的测量.....	411		

第一章 螺纹的参数和公差

在螺纹测量中,往往因螺纹类型不同,其测量方法和测量结果的数据处理方法也有所不同,对测量方法的选择和测量结果的评定又与螺纹参数的定义和公差标准密切相关。因此,在讨论螺纹测量之前有必要了解螺纹的分类、参数定义和公差标准。

一、螺纹的分类

1. 按螺纹用途分类

在机械制造中,螺纹是数量最大,应用最广泛的一种结构要素,可用于紧固、连接、密封、传动、传力和精密定位等。按其用途可分为普通螺纹、圆锥螺纹、梯形螺纹、锯齿形螺纹及圆弧螺纹等。

紧固连接用螺纹主要是普通螺纹。普通螺纹的制造精度直接影响机件的连接可靠性以及装配后的精度。紧固连接用普通螺纹,通常是大量成批生产的标准件,因此从其成品的综合检验,到螺纹量规、切削刀具和高精度螺纹的单参数测量,均要求有一套科学的方法和步骤。

各种液、气体传送管道的密封用螺纹主要是圆锥螺纹,圆锥螺纹也常用于钻探机械钻杆的接杆,因此不但要求具有密封性能,并且应易于装拆和定心。随着对输油管道和钻采机械的需要,以及钻探深度的增加,圆锥螺纹检验和圆锥螺纹量规测量的工作量猛增,精度要求也越来越高。从钻探工程现场事故分析得知,钻杆断裂与接杆圆锥螺纹的精度密切相关,因此,加强圆锥螺纹的检验和测量是当前螺纹测量领域中的一项重要任务。

传动螺纹和精密定位用螺纹主要是丝杠和微动螺丝。近年来精密丝杠精度提高得很快,美国莫尔专用工具公司(Moore Special Tool Co)的丝杠螺距累积误差在1m长度上仅有 $1\mu\text{m}$,据称用在M-48Z三座标测量机上可与激光定位精度相当。传动螺纹到目前为止主要是以方牙螺纹和梯形螺纹为主。方牙螺纹的传动效率较其它螺纹为高,但强度较低,螺纹牙型制造工艺性较差,磨损后无法以螺母的径向收缩来补偿。方牙螺纹一般多用于力的传递,如用作起重螺纹或材料拉伸试验机的丝杠。过去曾一度作为机床传动丝杠,后来为梯形螺纹所代替。目前作为精密传动和定位的丝杠主要是梯形螺纹丝杠。梯形螺纹传动效率虽比方牙螺纹低,但克服了方形螺纹上述的许多缺点。由于近几年来自控系统在工业上的大量应用,出现了新型的滚珠丝杠作为传动定位元件,如民主德国蔡司厂(DDR Zeiss)UMM500型带电子计算机的三座标测量机即采用了滚珠丝杠。它的牙型轮廓由圆弧线组成,与螺母组合时中间装以与之过盈配合的精密钢珠。在当前,无论何种牙型轮廓的丝杠,要提高工艺精度和实际应用于修正的丝杠误差曲线的精度,均取决于测量方法的精确度。

此外还有传力螺纹。传力螺纹主要是锯齿形螺纹,常用作锻压机、榨油机、打包机、轧钢机等压下的螺纹和用于螺旋压力机、千斤顶等。这种螺纹把螺牙做成锯齿形的,目的是改善工作效率和提高牙廓强度。工作时是由单一工作面承受载荷,因此在测量锯齿形螺纹的中

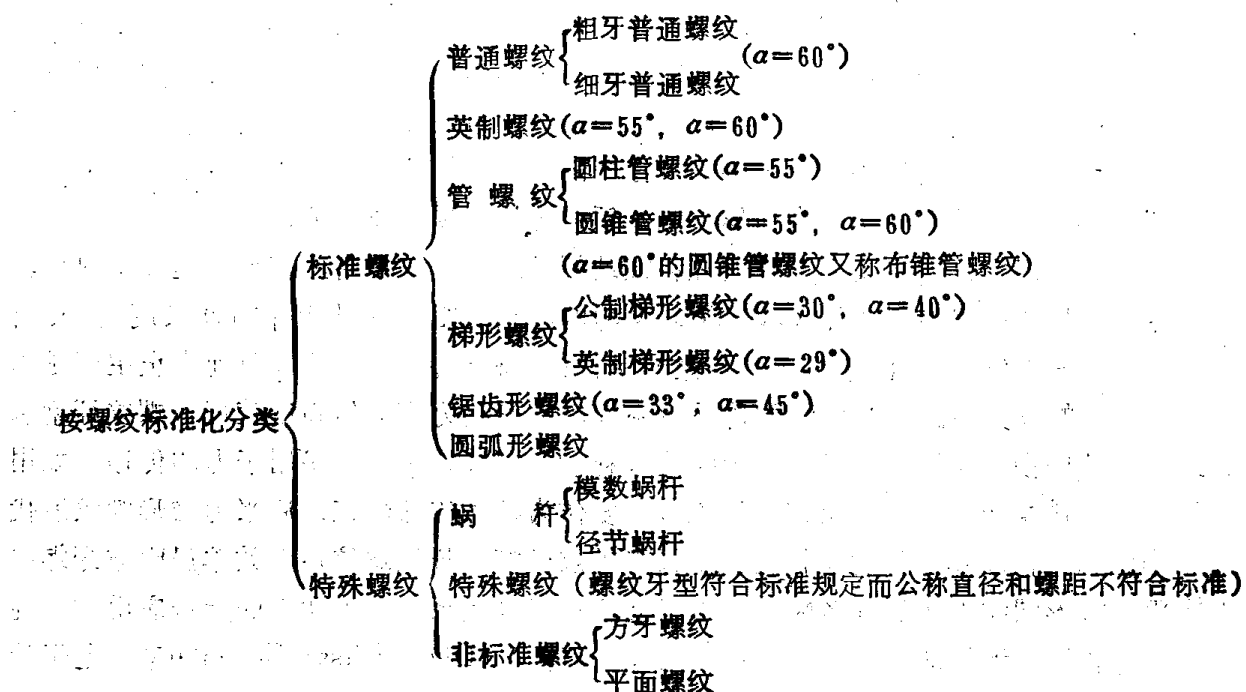
径、螺距和牙型角时，应充分注意这一特点。

用于传动和传力的蜗杆的齿形也属于螺纹结构要素。如由阿基米德螺旋线形成齿形的蜗杆，基本上与梯形螺纹无甚差异，联邦德国DIN标准中称这样蜗杆为 Z_A 蜗杆。其它还有法向直廓蜗杆（DIN标准中称为 Z_N 蜗杆）和曲面蜗杆（DIN标准中称为 Z_K 蜗杆）。曲面蜗杆无论在其轴线成何种角度的平面上截取牙型，均得不到具有直线的牙型线，实际上凡用圆片砂轮和圆片铣刀加工的蜗杆基本上都是这种形式，曲面蜗杆的牙型在加工中由切削刀具的圆锥面和螺旋面在空间接合而成。为了测量曲面蜗杆，联邦德国Günther Bock博士和联邦物理技术研究院(PTB)齿轮实验室前主任Rudolf Noch教授曾合作进行研究。我国前一时期对曲面蜗杆的测量很少进行研究，一般当切削该蜗杆的刀具直径较小时作为法向直廓蜗杆进行测量，在刀具直径较大时作为渐开线蜗杆来测量。此外，对于渐开线齿廓的蜗杆，DIN标准称为 Z_E 蜗杆。

蜗杆通常用作低速转台、精密分度装置、起重机构、汽车和各种仪器的传动、操纵机构中的传动元件，单级传动可以获得很高的传动比($i=500$)，传动平稳无噪音。对蜗杆中径的测量通常是控制蜗杆公称中径上的齿厚。

2. 按螺纹标准化分类

螺纹按螺纹标准化分类可以分为两大类，即标准螺纹和特殊螺纹。标准螺纹的特点主要是通用性和互换性较好，因此应用广泛；而特殊螺纹主要是应用于一些特殊机构中。按螺纹标准化分类如下：



3. 按内外螺纹配合间隙分类

按内外螺纹的配合间隙分类螺纹可分为三类：

- (1) 间隙特征 <0 ，长径比0.8~1.5，用于紧密配合和有密封性要求的配合。
- (2) 间隙特征 $=0$ ，长径比0.8~5，用于紧密配合和有旋合性使用要求的配合。
- (3) 间隙特征 >0 ，长径比5~80，用于最小空程和传动比准确性要求高的配合。

二、普通螺纹的术语

对GB 2515-81《普通螺纹 术语》介绍如下：

1) 螺纹基本牙型 在通过螺纹轴线的剖面上的作为螺纹设计依据的理论牙型，在测量条件许可的情况下，各参数均应在螺纹基本牙型上进行测量。

2) 凸起和沟槽 凸起是指在圆柱上沿螺旋面所形成的牙型实体，在通过轴线的剖面观察为沿螺距间隔凸起的牙型轮廓，沟槽是指两凸起之间的沟槽(图1-1a)。

3) 牙顶 牙顶是指在螺纹凸起部分的顶端，连接相邻两个侧面的那部分螺纹表面(图1-1b)。

4) 牙底 牙底是在螺纹沟槽的底部，连接相邻两个侧面的那部分螺纹表面(图1-1b)。

5) 牙侧 连接牙顶和牙底的那部分螺纹的侧表面，在通过螺纹轴线的剖面上是直线(图1-1c)。

6) 牙型高度 在螺纹基本牙型上，牙顶到牙底之间垂直于螺纹轴线方向的距离(图1-1d)。

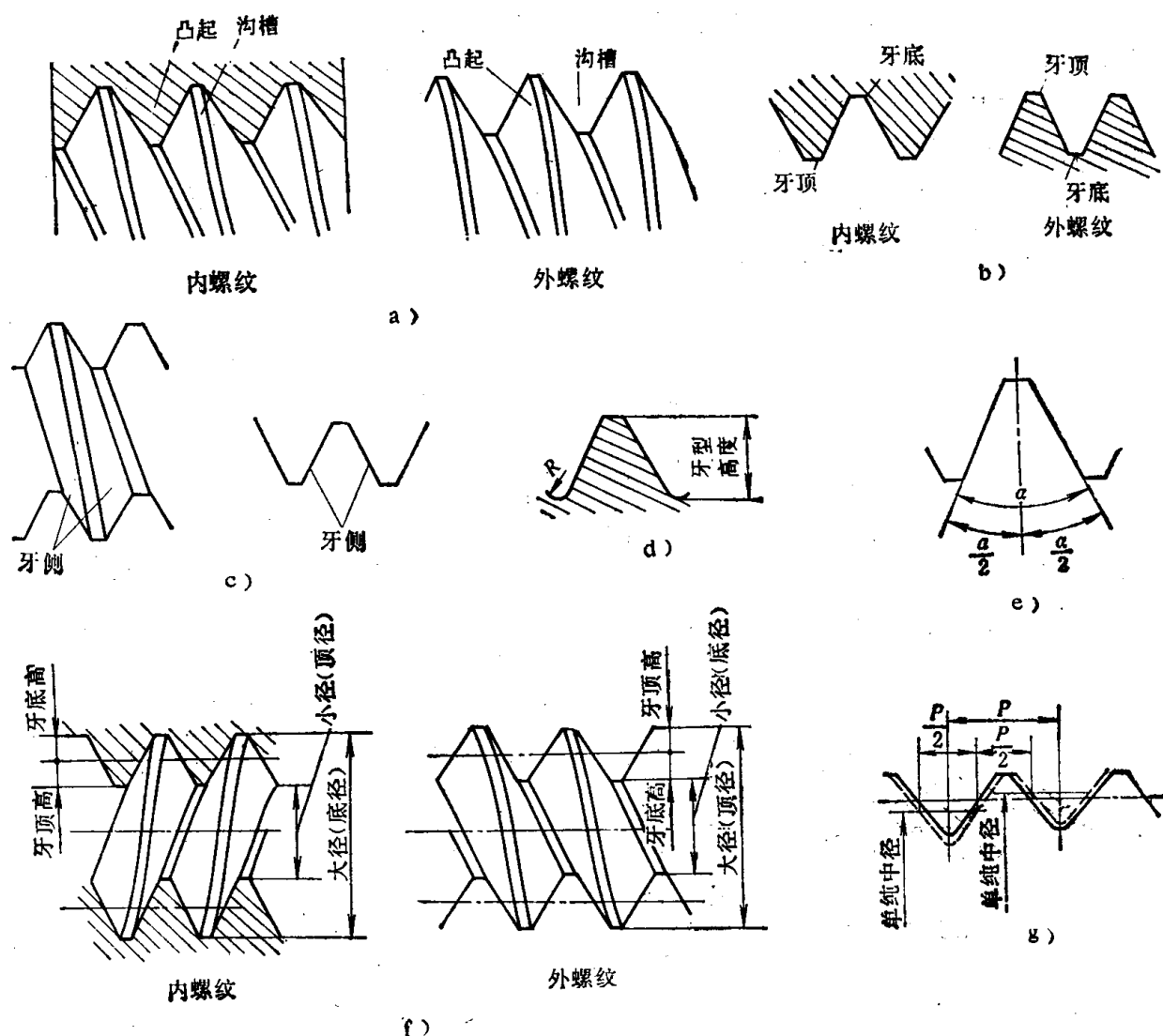


图1-1 螺纹牙型结构

图1-3 螺纹的中径线和螺距

18) 导程 同一条螺旋线上的相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离, 对于单头螺纹与螺距实质相同, 对于多头螺纹导程等于螺距和螺纹头数的乘积(图1-4a)。

19) 螺纹升角 中径圆柱上螺旋线的切线与垂直于螺纹轴线的平面间的夹角(图1-4b)。

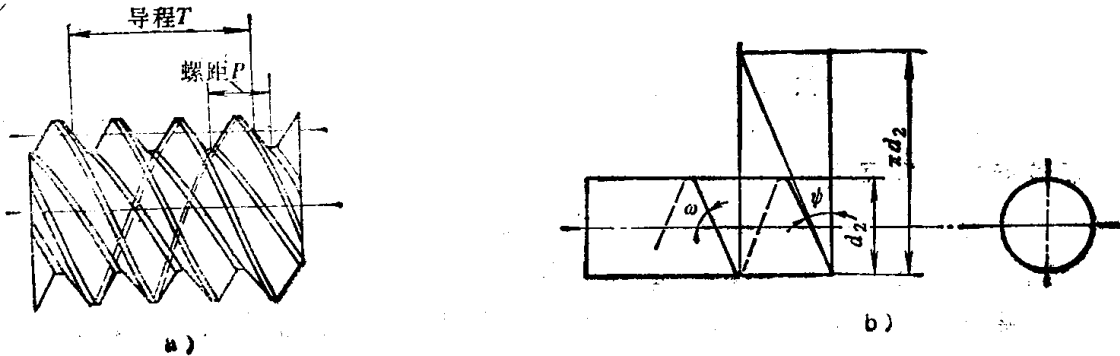


图1-4 螺纹等程

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{nP}{\pi d_2}$$

式中 ψ ——螺纹升角;
 n ——螺纹线数, 通常称为螺纹头数;
 P ——螺距;
 d_2 ——中径。

在国外, 如DIN等标准中把上述螺纹升角叫导程角, 把螺旋线切线和轴线所夹的角称为螺旋角 ω 。

$$\operatorname{ctg} \omega = \frac{nP}{2\pi r_2}$$

20) 理论高度 基本牙型牙侧延长线之三个连续交点连线构成的基本三角形的顶点到底边在垂直于螺纹轴线方向的距离(图1-5a)。

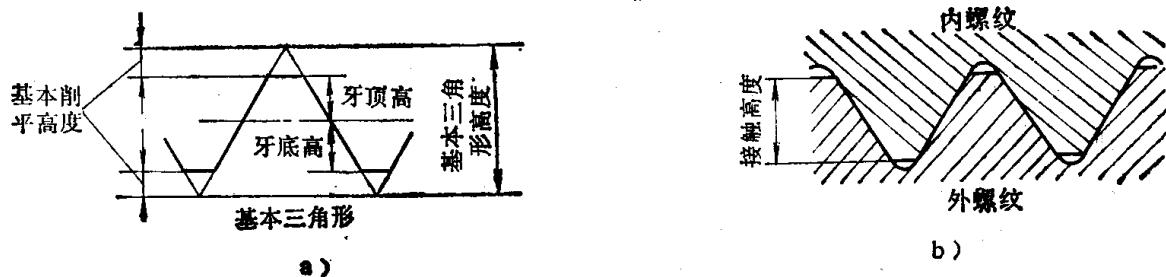


图1-5 螺纹的高度

21) 基本削平高度 从牙顶、牙底的削平处到所在基本三角形顶点在垂直于螺纹轴线方向的距离(图1-5b)。

22) 牙顶高 从中径线到牙顶在垂直于螺纹轴线方向的距离。

23) 牙底高 中径线到牙底在垂直于螺纹轴线方向的距离。

24) 接触高度(工作高度) 两个相互配合的螺纹在螺纹牙型上牙侧重合部分在垂直于螺

纹轴线方向上的距离(图1-5b)。

25) 螺纹旋合长度 两个相互配合的螺纹沿轴线方向相互旋合部分的长度。

这一旋合长度对测量来说也是很重要的,它是衡量螺距累积误差的一个依据,在旋合长度上把累积误差控制在一定范围内,是保证螺纹互换的一个重要因素。

三、普通螺纹的公差与配合

1. 螺纹标准的发展史

螺纹的公差与配合都包含在螺纹标准之中,因此螺纹标准是一项互换性要求较高的基础标准。它象圆柱体的公差与配合标准一样,对保证产品互换性和装配质量起着重要的作用。标准中规定了螺纹各参数的定义,公差的数值等,是研究螺纹测量方法和测值评定的依据。

我国解放前没有统一的标准,建国初期技术资料多取自苏联,各工业部门主要是翻译苏联的有关技术标准。第一机械工业部于1956年将ГОСТ 94、32、193米制基本螺纹尺寸订为部标“机52”,将ГОСТ 1250、1254~55米制基本螺纹公差部分订为“机57~60”,将ГОСТ 4608-49订为“机62”。1963年国家公布了GB 192~193-63米制普通螺纹国家标准。该标准对粗牙规定1、2、3级,与苏联当时标准一样,对细牙则只采用苏联标准中的C、E、F和H,订为1、2、2a和3级,这是因为我国实际生产中采用旋合长度内牙数等于8~20的较多,超过20的较少,所以取消了D和K级。

为了实现四个现代化的需要,便于国际范围内的技术交流,自一九七八年起第一机械工业部标准化研究所组织了普通螺纹国家标准制订工作组,把现行的GB192~197-63普通螺纹国家标准与ISO国际标准结合起来,在ISO标准的基础上,根据我国科研及实际生产的情况制订出新的标准,计有

- GB 192-81《普通螺纹 基本牙型》
- GB 193-81《普通螺纹 直径与螺距》
- GB 196-81《普通螺纹 基本尺寸》
- GB 197-81《普通螺纹 公差与配合》
- GB 2515-81《普通螺纹 偏差表》
- GB 2516-81《普通螺纹 术语》

这些标准已于一九八三年起颁布实施。由于原标准GB 192~197-63的基本牙型与ISO完全相同,因此二者可以互相旋合,螺纹规格尺寸也基本相同,差别较大的只是螺纹公差制度。但由于ISO螺纹公差制允许各种组合,因而可以找到接近新国标规定的相应级别的公差,从而使新旧标准能顺利过渡。我国新制定的普通螺纹国家标准与原国标GB 192~197-63的术语、符号和含义略有不同(前文已介绍),在测量螺纹时应予以注意。

2. 螺纹公差的基础

一个螺纹在通过轴线的剖面上的基本尺寸通常被称作理论的轮廓尺寸,因为实际上这种理想的螺纹轮廓尺寸,是不可能在加工中得到的。由于各参数制造误差的存在,因此需要规定允许的范围,即螺纹的制造公差。在制订螺纹的各项公差时,应以满足下列螺纹配合功能要求的三个条件为前提:

- 1) 螺钉和螺母应能互相旋合,而且在某一相应精度内相互之间不必经过选择即可以互

换。

2) 螺钉和螺母在相应的齿面上应有较均匀的负荷。

3) 在齿面上应当有足够高的接触高度以确保轴向承受的拉压应力在一定范围之内。

因此为了使螺纹能够相互旋合，第一个要明确的是，外螺纹的中径制造偏差应当位于公差带零线之内，而对内螺纹则应当位于零线之外（这里的里外是指内、外螺纹对同一理论轮廓的相对位置）。

第二个条件同样地要求内、外螺纹能很好地旋合，而且要求齿面上的负荷均匀。每一个螺纹制造时均存在误差，包括直径误差、螺距误差和牙型角误差等，这些误差往往影响到能否旋合，并或多或少地使结合的齿面位置及其负荷分布产生不均匀现象（这对旋合性来说在一定程度上还是允许的）。为此下面以图1-6为例进行分析。

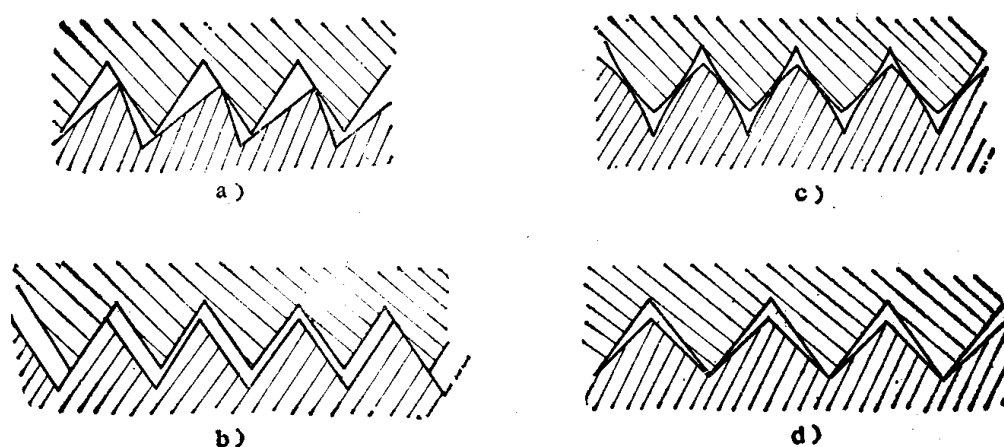


图1-6 螺纹轮廓误差引起的几种旋合情况

第一种情况 内外螺纹有同样的牙型角，但其中之一的位置发生倾斜(图1-6a)，由于两者的中径不同，其旋合是可能的，但这时齿面上的负荷只集中在接触点所形成的一条螺旋线上。

第二种情况 内外螺纹螺距有一定误差(图1-6b)，当两者中径的差别在一定限度内时，还可以进行旋合，但是负荷集中在单个齿面的接触高度上。

第三种情况 内外螺纹有同样的中径，但齿面由曲线组成(图1-6c)，这种情况大多不能旋合。

第四种情况 内外螺纹有不同的牙型角(图1-6d)，当其中径的差别在一定范围内时，可以互相旋合。

对于情况一、二、四，仅从螺纹旋合要求来看是合适的，但这种所谓的合适，其齿面的负荷分布是不利的，接触的位置仅仅在接触点的一条螺旋线或者在一个螺牙上。

从上例可知，螺纹的配合受到关联的参数的影响，它们在旋合中互相掩饰。由于螺距和牙型角制造误差的存在，将限制螺钉的制造中径，从而以中径的减小来补偿由螺距和牙型角误差所引起的作用中径的增大；而螺母则始终是以加大它的制造中径来补偿螺距和牙型角误差所引起的作用中径的减小。因此用量规检验螺纹时虽然被检验螺纹的中径、螺距和牙型角误差较大，有时仍可能误判为合格。要避免这一现象，就应当研究螺纹公差中各单项的分配关系。

(1) 中径公差

研究各项误差对旋合的影响时,对螺距和牙型角误差转化到中径尺寸上的变化,用公差 f 来限制。公差 f 由 $f_{\delta P}$ 、 $f_{\delta \alpha}$ 和 f_s 三方面构成。 $f_{\delta P}$ 相当于用来补偿螺距误差 δP 所引起的中径变化的中径公差部分,即 $f_{\delta P}$ 为螺距误差中径当量; $f_{\delta \alpha}$ 相当于牙型角误差 $\delta \alpha$ 所引起的中径变化的中径公差部分,即 $f_{\delta \alpha}$ 为牙型角误差中径当量;而剩余的公差 f_s 是中径本身在制造中可用的公差。

1) $f_{\delta P}$ 的计算

从图1-7所示的三角形 ABC 中可以计算出螺距误差所引起的中径配合尺寸的影响,在螺纹牙型角 α 一定时, $f_{\delta P}$ 和 δP 有如下的关系:

$$\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{f_{\delta P}}{2}}{\frac{\delta P}{2}} = \frac{f_{\delta P}}{\delta P}$$

$$f_{\delta P} = \delta P \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

式中 δP ——旋合长度内任意两牙之间的最大螺距误差。

2) $f_{\delta \alpha}$ 的计算

一个具有比标准牙型半角大 $\delta \frac{\alpha}{2}$ 的螺钉,与单纯中径和中径均为 D_2 的理想螺母旋合时,

D_2 就相当于一个作用中径,如图1-8所示。在 $\delta \frac{\alpha}{2} = 0$ 时,齿面 $\overline{BD}$ 和 $\overline{BC}$ 重合,图上的点 F 落在 G 上,也就是 $d_2 = D_2$ 。因此由于螺钉牙型半角的偏差产生的差值为

$$D_2 - d_2 = 2\overline{FG} = f_{\delta \alpha}$$

由于牙型角偏差一般不大, $\overline{GH}$ 可以认为是以 $\overline{BG}$ 为半径, B 点为中心的圆弧上被齿面 $\overline{BD}$ 和 $\overline{BC}$ 所截取的弧段。因此可以有

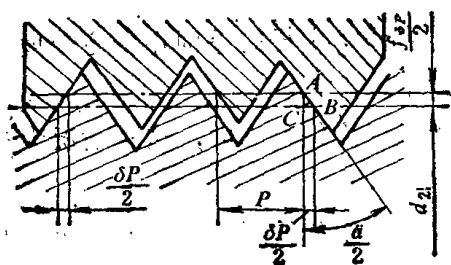


图1-7 螺距误差对中径配合的影响

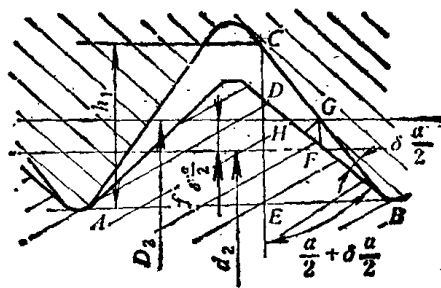


图1-8 螺钉有 $+\delta \frac{\alpha}{2}$ 牙型角偏差时对中径的影响

$$\overline{GH} \approx \widehat{GH} = \frac{2\pi \overline{BG}}{360^\circ \times 60} \delta \frac{\alpha}{2} = 0.000291 \overline{BG} \delta \frac{\alpha}{2}$$

式中 $\delta \frac{\alpha}{2}$ 用角度的分值代入。三角形 GHF 作为直角三角形则有

$$\angle F = \frac{\alpha}{2} + \delta \frac{\alpha}{2}$$

可以得出

$$f_{\delta\alpha} = 2\overline{FG} = \frac{2\overline{GH}}{\sin\left(\frac{\alpha}{2} + \delta\frac{\alpha}{2}\right)}$$

而

$$\overline{GH} = \overline{BG} \frac{2\pi}{360^\circ \times 60} \delta\frac{\alpha}{2}$$

$$\overline{BG} = \frac{h_1}{2\cos\frac{\alpha}{2}}$$

因为

$$\overline{BG} = \frac{1}{2}\overline{BC}, \quad \overline{BC} = \frac{\overline{CE}}{\cos\frac{\alpha}{2}}, \quad \overline{CE} = h$$

所以

$$\overline{GH} = \frac{h_1}{2\cos\frac{\alpha}{2}} \frac{2\pi}{360^\circ \times 60} \delta\frac{\alpha}{2}$$

因此

$$f_{\delta\alpha} = \frac{h_1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2} + \delta\frac{\alpha}{2}\right) \cos\frac{\alpha}{2}} \frac{2\pi}{360^\circ \times 60} \delta\frac{\alpha}{2}$$

对 $\delta\frac{\alpha}{2}$ 弧度值化成角分的系数加以归并, 并乘以1000, 则可得结果单位为微米的计算式为

$$f_{\delta\alpha} = \frac{0.291h_1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2} + \delta\frac{\alpha}{2}\right) \cos\frac{\alpha}{2}} \delta\frac{\alpha}{2} (\mu\text{m})$$

现在再研究与图1-8相似的图1-9。这时 $\overline{CG}$ 绕C点作圆弧为 $\widehat{GH}$, 得近似的直角三角形 GHF , $\angle F = \left(\frac{\alpha}{2} - \delta\frac{\alpha}{2}\right)$, 然后可得:

$$f_{\delta\alpha} = \frac{0.291h_1}{\sin\left(\frac{\alpha}{2} - \delta\frac{\alpha}{2}\right) \cos\frac{\alpha}{2}} \delta\frac{\alpha}{2}$$

上述两式中 $\delta\frac{\alpha}{2}$ 相对 $\frac{\alpha}{2}$ 来说是非常小的, 因此把分母中的正弦数值中舍去 $\delta\frac{\alpha}{2}$ 不计, 则有

$$\sin\left(\frac{\alpha}{2} - \delta\frac{\alpha}{2}\right) \cos\frac{\alpha}{2} \approx \sin\frac{\alpha}{2} \quad \cos\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2}\sin\alpha$$

这时因舍去 $\delta\frac{\alpha}{2}$ 所引入的计算误差 $\angle$ 如表1-1所列。

由于 $f_{\delta\alpha}$ 一般均不太大, 因此上述简化是允许的, 简化后的计算公式为

$$f_{\delta\alpha} = \frac{0.582h_1}{\sin\alpha} \delta\frac{\alpha}{2}$$

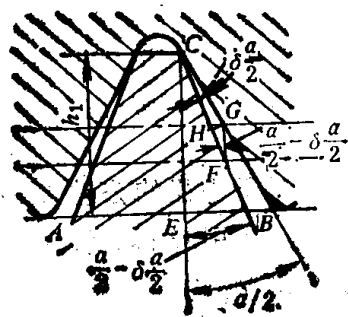


图1-9 螺钉有 $-\delta\frac{\alpha}{2}$ 牙型角

偏差时对中径的影响

表1-1 舍去 $\frac{\alpha}{2}$ 后公式所引起的计算误差数值

α	60°				30°			
$\delta \frac{\alpha}{2}$ $\Delta(\%)$	+10'	-10'	+50'	-50'	+10'	-10'	+50'	-50'
	0.48	0.50	2.50	2.60	1.07	1.10	5.14	5.75

式中， $\delta \frac{\alpha}{2}$ 以角分代入。 h_1 值由于螺纹牙顶和牙底削平高度不同，严格说应当结合牙型角误差的符号来具体取数，但实际应用上多以螺纹工作面高度 h 代入，即 $h_1=h_0$ 。

标准牙型角偏差 $\delta \frac{\alpha}{2}$ 无论是正或是负，对螺钉来说，均产生比单纯中径要大的由正向中径当量组成的作用中径。

当牙型轮廓具有不对称的牙型半角误差时，应当用误差大的一个数代入计算。

图1-10是螺纹 f_{dP} 和 f_{da} 的图解， f_{dP} 的数值与 δP 成正比（由于螺距累积误差的影响， δP 的大小与旋合长度有密切关系），而 f_{da} 与 $\delta \frac{\alpha}{2}$ 成正比亦与 P 有关，因此中径公差是 f_{dP} 、 f_{da} 和本身偏差 f_s 三部分之和。

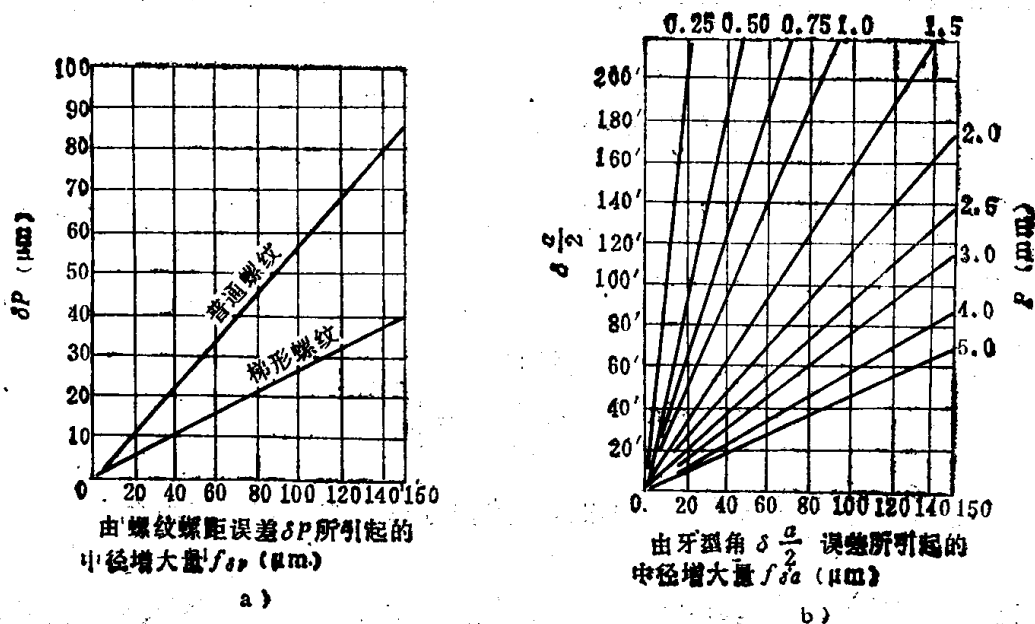


图1-10 螺距误差、牙型半角误差中径当量
a) 螺距误差中径当量 b) 牙型半角误差中径当量

对于中径的公差是作为圆柱配合的直径公差来考虑的，在中径公差中，包含了螺距和牙型半角所引起的形状误差的影响。因此当这些参数本身没有确定的单独公差时，即由中径公差来限制。

综上所述可知，单纯中径和作用中径（配合中径）对螺纹配合和检验是很重要的。作用中径可用下式计算：

内螺纹的作用中径为

$$D_2\text{作用} = D_2\text{单纯} - (F_{\delta P} + F_{\delta \alpha})$$

外螺纹的作用中径为

$$d_2\text{作用} = d_2\text{单纯} + (f_{\delta P} + f_{\delta \alpha})$$

式中 $F_{\delta P}$ 和 $f_{\delta P}$ ——分别为内螺纹和外螺纹螺距误差所引起的中径补偿量(中径当量), 即

$$F_{\delta P} = \delta P_{\text{内}} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

$$f_{\delta P} = \delta P_{\text{外}} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$$

$F_{\delta \alpha}$ 和 $f_{\delta \alpha}$ ——分别为内螺纹和外螺纹牙型半角误差所引起的中径补偿量(中径当量), 即

$$F_{\delta \alpha} = \delta \left(\frac{\alpha}{2} \right)_{\text{内}} \frac{0.582 h_1}{\sin \alpha}$$

$$f_{\delta \alpha} = \delta \left(\frac{\alpha}{2} \right)_{\text{外}} \frac{0.582 h_1}{\sin \alpha}$$

保证螺纹旋合性的条件为

$$D_2\text{作用} \geq d_2\text{作用}$$

牙面间的作用间隙为

$$D_2\text{作用} - d_2\text{作用}$$

例 普通螺纹 M6 × 1.0 螺距误差为 $\delta P = 22 \mu\text{m}$ 和牙型半角误差 $\delta \frac{\alpha}{2} = 90'$, 可以计算出

$$F_{\delta P} \text{ 或 } f_{\delta P} = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \delta P = \operatorname{ctg} 30^\circ \times 22 = 38 \mu\text{m}$$

$$F_{\delta \alpha} \text{ 或 } f_{\delta \alpha} = \frac{0.582 h_1}{\sin \alpha} \delta \frac{\alpha}{2} = \frac{0.582 \times 0.5413 P}{\sin 60^\circ} \times 90 = 32 \mu\text{m}$$

内螺纹的单纯中径 $D_2 = 5.450 \text{mm}$, 外螺纹的单纯中径 $d_2 = 5.250 \text{mm}$, 则作用中径分别为

$$D_2\text{作用} = 5.450 - (0.038 + 0.032) = 5.380 \text{mm}$$

$$d_2\text{作用} = 5.250 + (0.038 + 0.032) = 5.320 \text{mm}$$

单纯间隙为 0.200mm , 而作用间隙为 0.060mm , 符合 $D_2\text{作用} \geq d_2\text{作用}$, 所以螺纹可以旋合。

(2) 大径和小径公差

螺纹大小径的公差没有中径复杂。如果螺纹的尖端没有接触上的影响, 则对螺纹直径位置没有多大作用, 螺纹大、小径的公差所影响的只是接触高度。最小的接触高度可以为 $\frac{5}{12} h$ (h 为螺纹轮廓理论高度), 因此螺纹大、小径公差是比较大的。

(3) 精度等级

螺纹配合的精度等级根据用途分为三种等级。三种等级具有不同的中径公差, 其中也包含不同的螺距和牙型角偏差允许值。为了得到各等级的公差系数和实际数值, 曾对各种精度的螺纹 1922 件进行了大量测量, 从统计分析得到, 在理论中径上分布的公差指数为 $100\sqrt{P}$ μm (P 为螺距), 对于配合较好的螺纹, 其公差为该值的 $\frac{2}{3}$; 对于配合较差的螺纹, 其公差