

机械专业“十三五”规划教材

机械零件与机构

主编◎王爱平 朱同波 翟富林



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

机械专业“十三五”规划教材

机械零件与机构

主 编 王爱平 朱同波 翟富林

副主编 赵玉平

参 编 李宁艳 文 静



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

内 容 简 介

本书在编写过程中以典型产品或真实工作任务为载体设计学习项目,体现课程内容生产性、实用性和先进性。本书共 11 章,主要包括螺纹连接及螺旋传动、键连接、轴、轴承、平面连杆机构、凸轮及间歇运动机构、带传动与链传动、齿轮传动、蜗轮蜗杆传动、齿轮系及其设计、机械装置的润滑与密封。

本书既可作为应用型本科院校、职业院校工程技术类各专业的专业基础课程教材,也可作为教学实训用书,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械零件与机构 / 王爱平, 朱同波, 翟富林主编.
-- 北京: 北京希望电子出版社, 2019.2
ISBN 978-7-83002-674-5

I. ①机… II. ①王… ②朱… ③翟… III. ①机械元
件—高等职业教育—教材②机构学—高等职业教育—教材
IV. ①TH13②TH112

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 021680 号

出版: 北京希望电子出版社
地址: 北京市海淀区中关村大街 22 号
 中科大厦 A 座 10 层
邮编: 100190
网址: www.bhp.com.cn
电话: 010-82626270
传真: 010-62543892
经销: 各地新华书店

封面: 赵俊红
编辑: 金美娜
校对: 薛海霞
开本: 787mm×1092mm 1/16
印张: 13.5
字数: 345 千字
印刷: 廊坊市广阳区九洲印刷厂
版次: 2019 年 2 月 1 版 1 次印刷

定价: 39.80 元

前言

《机械零件与机构》是数控技术应用专业建设的工学结合教材之一，该教材在编写过程中以典型产品或真实工作任务为载体设计学习项目，体现课程内容生产性、实用性和先进性。

本书在内容的选取上按照由零件到部件，由部件到机构的逻辑，循序渐进地进行讲解。本书共八个项目，主要包括认识螺纹连接、键连接、轴、轴承、按照滚动轴承、平面连杆结构、凸轮机构和带传动与链传动。本书共学习了三种零件——螺纹、键、轴；一种部件——轴承；三种机构——平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构；四种常见机械传动——带传动、链传动、齿轮传动、蜗轮蜗杆传动。

本书共 11 章，主要包括螺纹连接及螺旋传动、键连接、轴、轴承、平面连杆机构、凸轮及间歇运动机构、带传动与链传动、齿轮传动、蜗轮蜗杆传动、齿轮系及其设计、机械装置的润滑与密封。

本书由宁夏工商职业技术学院的王爱平、闽南理工学院的朱同波和安徽汽车应用技师学院的翟富林担任主编，由清华大学的在读博士赵玉平担任副主编，宁夏工商职业技术学院的李宁艳、文静参与了本书编写工作，并绘制了相关图纸。

本书既可作为应用型本科院校、职业院校工程技术类各专业的专业基础课程教材，也可作为教学实训用书，还可供有关工程技术人员参考。本书的相关资料和售后服务可与 QQ（2436472462）联系获得。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，望广大读者批评指正，编者将不胜感激。

编者



目 录

第 1 章 螺纹联接及螺旋传动	1
1.1 螺纹基本知识	1
1.2 螺纹联接的基本类型及预紧和防松	6
1.3 螺旋传动	8
1.4 滚珠螺旋传动——滚珠丝杠	11
本章小结	14
本章习题	14
第 2 章 键联接	18
2.1 键	18
2.2 销	23
本章小结	24
本章习题	24
第 3 章 轴	28
3.1 轴的基本知识	28
3.2 轴的结构设计	30
3.3 轴的强度计算	33
本章小结	36
本章习题	36
第 4 章 轴承	39
4.1 滑动轴承	39
4.2 滚动轴承	42
本章小结	58
本章习题	58



第 5 章 平面连杆机构	61
5.1 运动副	61
5.2 铰链四杆机构	62
本章小结	73
本章习题	74
第 6 章 凸轮及间歇运动机构	77
6.1 凸轮机构基本知识	77
6.2 凸轮机构中从动件常用的运动规律	81
6.3 凸轮轮廓曲线的设计	84
6.4 间歇运动机构	86
本章小结	89
本章习题	89
第 7 章 带传动与链传动	94
7.1 带传动	94
7.2 V 带和带轮	96
7.3 链传动	117
本章小结	128
本章习题	128
第 8 章 齿轮传动	132
8.1 齿轮传动的基本知识	132
8.2 斜齿轮传动	139
8.3 圆锥齿轮传动	146
本章小结	154
本章习题	155
第 9 章 蜗轮蜗杆传动	158
9.1 蜗轮蜗杆传动基本知识	158
9.2 蜗杆传动机构的基本参数	160
9.3 蜗杆传动的设计	165
本章小结	170
本章习题	171



第 10 章 齿轮系及其设计	172
10.1 轮系的基本知识	172
10.2 定轴轮系的传动比计算	175
10.3 周转轮系的传动比计算	180
10.4 复合轮系的传动比计算	183
本章小结	187
本章习题	187
第 11 章 机械装置的润滑与密封	190
11.1 润滑与密封的基本知识	190
11.2 润滑方式与润滑装置	193
11.3 密封方式与密封装置	196
11.4 静密封	197
11.5 动密封	198
本章小结	201
本章习题	202
附 录 常用滚动轴承参数	204
参考文献	207

第 1 章 螺纹联接及螺旋传动

本章导读

螺纹联接是一种广泛使用的可拆卸的固定联接，具有结构简单、联接可靠、装拆方便等优点，常用于螺纹联接和螺旋传动，具有足够的联接强度、刚度和自锁性。

本章目标

- 了解螺纹基本知识
- 掌握螺纹联接的基本类型及预紧和防松
- 了解螺旋传动的组成、分类和滑动螺旋传动
- 掌握滚珠螺旋传动的相关知识

1.1 螺纹基本知识

一、螺纹的形成

将一直角三角形绕在直径为 d_2 的圆柱表面上，使三角形底边 AB 与圆柱体的底边重合，则三角形的斜边在圆柱体表面形成一条螺旋线。三角形的斜边与底边的夹角 θ ，称为螺旋线升角。若取一平面图形，使其平面始终通过圆柱体的轴线并沿着螺旋线运动，则这平面图形在空间形成一个螺旋形体，称为螺纹，如图 1-1 所示。

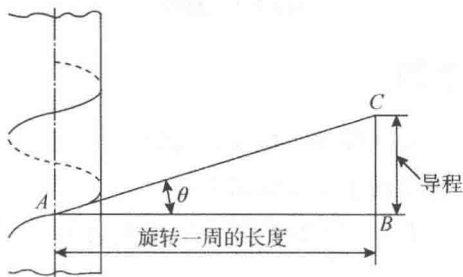


图 1-1 螺纹的形成



二、螺纹的牙型及旋向

1. 螺纹的牙型

螺纹根据平面图形的形状，可分为三角形、矩形、梯形、锯齿形和圆形螺纹等。如图 1-2 所示。

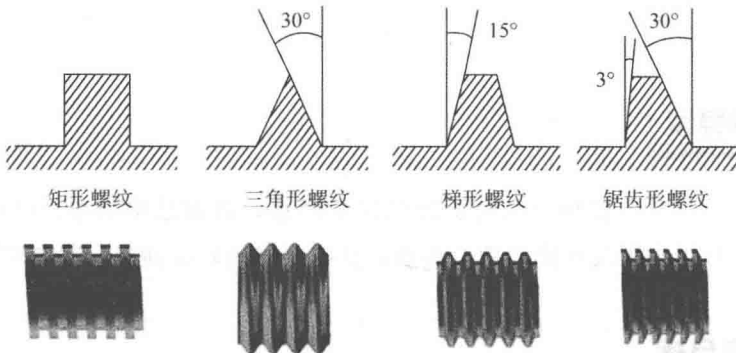


图 1-2 螺纹的牙型

2. 螺纹旋向

螺纹根据螺旋线的绕行方向，可分为左旋螺纹和右旋螺纹，规定将螺纹直立时螺旋线向右上为右旋螺纹，向左上为左旋螺纹，如图 1-3 所示。机械制造中一般采用右旋螺纹，有特殊要求时，才采用左旋螺纹。根据螺旋线的数目，可分为单线螺纹和等距排列的多线螺纹，为了制造方便，螺纹一般不超过 4 线。

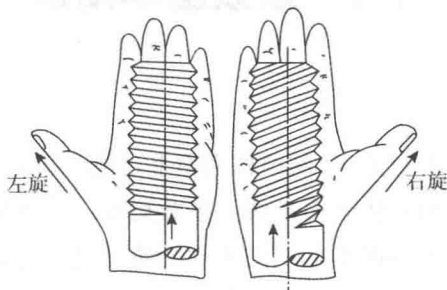


图 1-3 旋向

三、螺纹的主要参数

要区分不同的螺纹，就要掌握说明螺纹特点的一些参数，如图 1-4 所示。以广泛应用的圆柱普通螺纹为例，螺纹的主要参数如下。

(1) 大径 d (外径) (D): 与外螺纹牙顶相重合的假想圆柱面直径，也称公称直径。



(2) 小径 (内径) d_1 (D_1): 与外螺纹牙底相重合的假想圆柱面直径, 在强度计算中作危险剖面的计算直径。

(3) 中径 d_2 : 在轴向剖面内牙厚与牙间宽相等处的假想圆柱面的直径, 近似等于螺纹的平均直径 $d_2 \approx 0.5(d + d_1)$ 。

(4) 螺距 P : 相邻两牙在中径圆柱面的母线上对应两点间的轴向距离。

(5) 导程 (S): 同一螺旋线上相邻两牙在中径圆柱面的母线上的对应两点间的轴向距离。

(6) 线数 n : 螺纹螺旋线数目, 为便于制造一般, $n \leq 4$; 螺距、导程、线数之间关系: $L = nP$ 。

(7) 螺旋升角 ψ : 在中径圆柱面上螺旋线的切线与垂直于螺旋线轴线的平面的夹角。

(8) 牙型角 α : 螺纹轴向平面内螺纹牙型两侧边的夹角; 牙型斜角 β 指螺纹牙型的侧边与螺纹轴线的垂直平面的夹角。

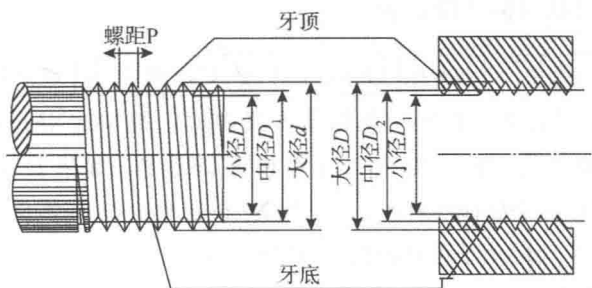


图 1-4 螺纹参数

四、螺纹的标注

凡是牙型、直径和螺距都符合国家标准螺纹称为标准螺纹。下面仅介绍普通螺纹、梯形螺纹和非密封管螺纹。由于螺纹采用了规定画法, 没有完全表示出螺纹要素及其精度等, 因此需要在图样中对螺纹进行标注。

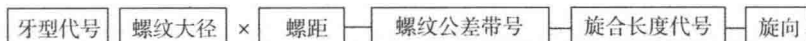
螺纹的完整标注为: 螺纹特征代号 (牙型)、尺寸代号 (大径、导程、螺距、线数)、公差带代号 (顶径中径)、旋合长度代号 (短、中、长三种)、旋向代号 (左旋右旋)。

标准螺纹的代号直接作为尺寸文字标注, 管螺纹的尺寸代号是定性的, 用引线引出标注, 引出线从大径引出。

非标准螺纹: 牙型、直径等不符合标准的螺纹称为非标准螺纹。非标准螺纹没有专用代号, 需要标注每一个尺寸、技术要求等, 应当尽量采用标准螺纹。

1. 普通螺纹

(1) 单线普通螺纹的标注格式为 (GB/T197—2003 2004 年执行):



普通螺纹的牙型代号为 M, 有粗牙和细牙之分, 粗牙螺纹的螺距可省略不注, 如



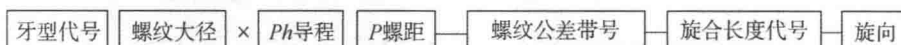
M16, 表示为粗牙普通螺纹, 螺距可以通过查阅标准获得。细牙螺纹必须标注螺距, 如 M16X1.25 表示为细牙普通螺纹, 螺距为 1.25; 中径和顶径的公差代号相同时, 只标注一次; 右旋螺纹可不注旋向代号, 左旋螺纹旋向代号为 LH; 旋合长度为中型 (N) 时不注, 长型用 L 表示, 短型用 S 表示。

对于粗牙普通螺纹, 不标注螺距。

公差代号按照中径、顶径的顺序标注, 表示螺纹联接时的松紧程度, 用数字、字母表示。数字代表精度等级, 数字越小、精度越高, 制造越难。字母代表尺寸与标准尺寸偏离的程度。一般外螺纹 (杆) 要比内螺纹 (孔) 小一些。外螺纹用小写字母表示, 只有 e、f、g、h 四个字母, 离 h 越近, 间隙越小。内螺纹用大写字母表示, 只有 G、H 两个字母。如果中径和顶径的公差代号相同, 标一个就可以了。

旋合长度分为短、中、长三种, 代号分别用 S、N、L 表示。一般中等旋合长度不用标注。右旋螺纹不标注旋向, 左旋标注 LH。

(2) 多线普通螺纹的标注格式为:



多线螺纹用 Ph 导程 P (螺距) 的标注方式表示, 如 M20XPh6P2。

螺纹的线数一般不用标注, 隐含在导程和螺距之中, 如果要表示的话, 可在后面增加括号说明 (例如双线为 two starts; 三线为 three starts; 四线为 four starts), 标注的线数必须使用英文。上面的例子可以改为: M14XPh6P2 (three starts) — 7H — L — LH。

梯形螺纹的标准为 GB/T 5796.4—1986, 跟原来的普通螺纹的标准一样 (标注格式)。其标注格式如下 (对于原来的老图, 包括普通螺纹大家也应该认识):

螺纹特征代号 大径 × 导程 (P 螺距) 旋向 — 公差代号 — 旋合长度代号

2. 梯形螺纹

梯形螺纹的特征代号为 Tr, 例如: 大径 40, 导程 14、螺距 7、左旋、中径顶径公差代号为 7e, 中等旋合长度的梯形螺纹的标注为: Tr40×14 (P7) LH—7e。

对于单线螺纹, 大径后面直接标螺距数值即可。如大径 40, 螺距 7、单线、右旋、中径顶径公差代号为 7e, 中等旋合长度的梯形螺纹的标注为: Tr40×P7—7e。

3. 55 度的非密封的管螺纹 (GB7307—2001)

标注格式: 螺纹特征代号 G/尺寸代号公差等级—旋向

尺寸代号为管螺纹的定性数据, 不是真正的大径尺寸, 用英寸表示, 但标注时不标注英寸的两撇 ("), 因此管螺纹尺寸标注中的尺寸代号表示的一个无量纲的数据, 不是毫米, 与一般的尺寸标注不同。

这种管螺纹外螺纹的公差等级只有 A、B 两种, 只是一个代号, 与普通螺纹的概念还不一样。

非螺纹密封的管螺纹, 内螺纹的公差代号只有一种, 一般不标注。旋向的标注与普通螺纹相同, 右旋不标注, 左旋标注 LH。如: G1/2A, 表示非螺纹密封的管螺纹外



螺纹，右旋；G1/2-LH，表示非螺纹密封的管螺纹内螺纹，左旋。

对于装配图中的非螺纹密封的管螺纹：只标外螺纹的标记。

表 1-1 是不同螺纹螺距对照表。

表 1-1 螺纹螺距对照表

公称直径			公称直径			公称直径		
牙距 mm			牙距 mm			牙距 mm		
mm	粗牙	细牙	mm	粗牙	细牙	mm	粗牙	细牙
M1	0.25	0.2	M5	0.8	0.5	M18	2.5	1.5
M1.2	0.25	0.2	M6	1	0.75	M20	2.5	1.5
M1.6	0.35	0.2	M8	1.25	1	M22	2.5	1.5
M2	0.4	0.25	M10	1.5	1.25	M24	3	2
M2.5	0.45	0.35	M12	1.75	1.25	M27	3	2
M3	0.5	0.35	M14	2	1.5	M30	3	2
M4	0.7	0.5	M16	2	1.5	(M33)	3.5	2

五、常用螺纹特点

螺纹是螺纹联接和螺旋传动的关键部分，现将机械中几种常用螺纹的特点和应用介绍如下。

1. 三角形螺纹

牙型角大，自锁性能好，而且牙根厚、强度高，故多用于联接。常用的有普通螺纹、英制螺纹和圆柱管螺纹。

(1) 普通螺纹：国家标准中，把牙型角 $\alpha=60^\circ$ 的三角形米制螺纹称为普通螺纹，大径 d 为公称直径。同一公称直径可以有多种螺距的螺纹，其中螺距最大的称为粗牙螺纹，其余都称为细牙螺纹，粗牙螺纹应用最广。细牙螺纹的小径大、升角小，因而自锁性能好、强度高，但不耐磨、易滑扣，适用于薄壁零件、受动载荷的联接和微调机构的调整。

(2) 英制螺纹：牙型角 $\alpha=55^\circ$ ，以英寸为单位，螺距以每英寸的牙数表示，也有粗牙、细牙之分。主要是英、美等国使用，国内一般仅在修配中使用。

2. 圆柱管螺纹

牙型角 $\alpha=55^\circ$ ，牙顶呈圆弧形，旋合螺纹间无径向间隙，紧密性好，公称直径为管子的公称通径，广泛用于水、煤气、润滑等管路系统联接中。

3. 矩形螺纹

牙型为正方形，牙型角 $\alpha=0^\circ$ ，牙厚为螺距的一半，当量摩擦系数较小，效率较高，但牙根强度较低，螺纹磨损后造成的轴向间隙难以补偿，对中精度低，且精加工较困难，因此，这种螺纹已较少采用。



4. 梯形螺纹

牙型为等腰梯形，牙型角 $\alpha=30^\circ$ ，效率比矩形螺纹低，但易于加工，对中性好，牙根强度较高，当采用剖分螺母时还可以消除因磨损而产生的间隙，因此广泛应用于螺旋传动中。

5. 锯齿形螺纹

锯齿形螺纹工作面的牙侧角为 3° ，非工作面的牙侧角为 30° ，兼有矩形螺纹效率高和梯形螺纹牙根强度高的优点，但只能承受单向载荷，适用于单向承载的螺旋传动，如螺旋压力机、千斤顶等。

1.2 螺纹联接的基本类型及预紧和防松

一、螺纹联接的基本类型

螺纹联接的基本类型主要包括螺栓联接、双头螺柱联接、螺钉联接和紧定螺钉联接。

1. 螺栓联接

被联接件的孔中不切制螺纹，装拆方便。如图 1-5a 为普通螺栓联接，螺栓与孔之间有间隙，由于加工简便，成本低，所以应用最广。铰制孔用螺栓联接，被联接件上孔用高精度铰刀加工而成，螺栓杆与孔之间一般采用过渡配合，主要用于需要螺栓承受横向载荷或需靠螺杆精确固定被联接件相对位置的场合。

2. 双头螺柱联接

使用两端均有螺纹的螺柱，一端旋入并紧定在较厚被联接件的螺纹孔中，另一端穿过较薄被联接件的通孔（如图 1-5b）。适用于被联接件较厚，要求结构紧凑和经常拆装的场合。

3. 螺钉联接

螺钉直接旋入被联接件的螺纹孔中（如图 1-5c），结构较简单，适用于被联接件之一较厚，或另一端不能装螺母的场合。但经常拆装会使螺纹孔磨损，导致被联接件过早失效，所以不适用于经常拆装的场合。

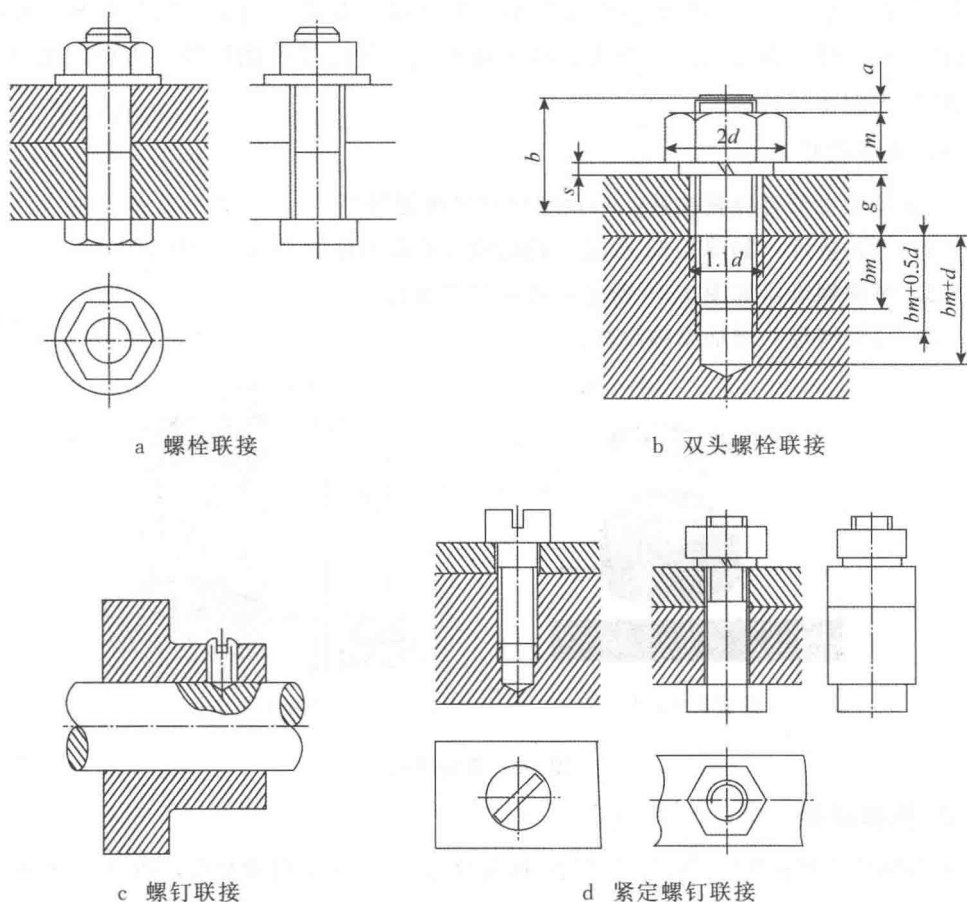


图 1-5 螺柱的联接

4. 紧定螺钉联接

将紧定螺钉拧入一零件的螺纹孔中，其末端顶住另一零件的表面，或顶入相应的凹坑中。常用于固定两个零件的相对位置，并可传递不大的力或转矩，如图 1-5d 所示。

二、螺纹联接的预紧

螺纹联接有松联接与紧联接之分。

松联接——在装配时不拧紧，只承受外载时才受到力的作用，应少用。

紧联接——在装配时需拧紧，即在承载时已预先受力。

预紧目的：①保持正常工作。如汽缸螺栓联接，有紧密性要求，防漏气，接触面积要大些，靠摩擦力工作时，可增大刚性等。②增大刚性。增加联接刚度、紧密性和提高防松能力。

三、螺纹联接的防松

螺纹联接一般具有自锁性，此外，螺母及螺栓头部的支撑面上的摩擦力也有防松



作用，故拧紧后一般不会松脱。但在冲击、振动或变载荷作用下，以及在高温或温度变化较大时，螺纹钢之间的摩擦力会减小或消失，联接就可能松动。防松的关键就是防松螺旋钢的相对转动。

1. 摩擦防松

摩擦防松主要有弹簧垫片、对顶螺母和自锁螺母等。

- (1) 弹簧垫片：如图 1-6a 所示，利用收口的弹力使旋合螺纹间压紧。
- (2) 对顶螺母：如图 1-6b 所示，增加摩擦防松。
- (3) 自锁螺母：增加摩擦防松。

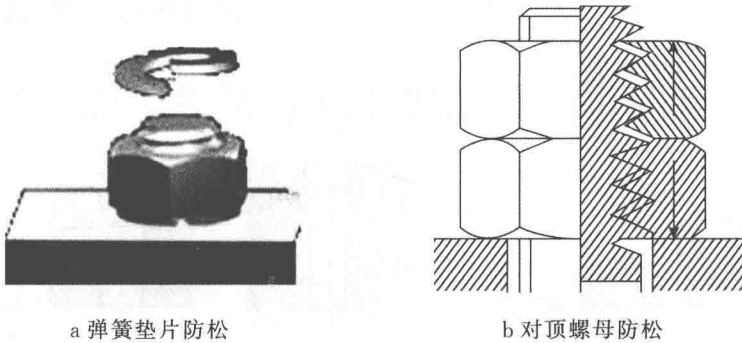


图 1-6 摩擦防松

2. 机械防松

机械防松主要有开槽螺母与开口销，圆螺母与止动垫圈，带翅垫片，如图 1-7 所示。

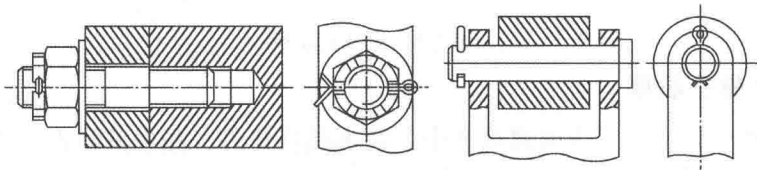


图 1-7 机械防松

3. 变为不可拆联接

使用端铆、冲点（破坏螺纹）、点焊，使得可拆螺纹联接变为不可拆联接。

1.3 螺旋传动

螺旋传动主要由螺杆（丝杆）和螺母组成。



一、螺旋传动的分类

1. 按螺旋传动的作用分类

螺旋传动按作用分类,可分为读数螺旋机构、传动螺旋机构和传力螺旋机构。

(1) 读数螺旋机构:用于测量微量长度和传递数值反映被测物理量大小的螺旋机构。

(2) 传动螺旋机构:以传递运动为主,用于变换、传递运动和产生微量位移,调节零部件之间相对位置的螺旋机构。

(3) 传力螺旋机构:一般传递的载荷较大、速度较低。

2. 按螺旋传动的接触面间的摩擦性质分类

螺旋传动按其接触面间的摩擦性质,可分为滑动螺旋传动、滚动螺旋传动和静压螺旋传动(流体液压)。

二、滑动螺旋传动

1. 滑动螺旋传动的特点

滑动螺旋传动的特点主要有以下几个。

(1) 降速传动比大:转角很大,直线位移量很小,结构紧凑。

(2) 具有增力的作用:给主动件一个小转矩,从动件可获得大的力。

(3) 能自锁: $\psi < \rho$ 时。

(4) 效率低,磨损快。

2. 滑动螺旋传动的型式及应用

(1) 螺母固定,螺杆转动并移动,如图 1-8 所示。

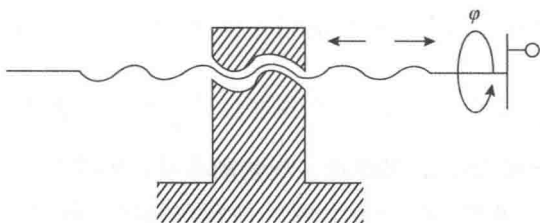


图 1-8 螺母固定,螺杆转动并移动

优点:精度高,结构简单,不需支承螺杆的轴承,消除了轴承误差对传动精度的影响。

缺点:外廓尺寸较大,几乎是工作行程的二倍。刚性较差,仅适用于行程较短的情况。

(2) 螺杆传动,螺母移动,如图 1-9 所示。

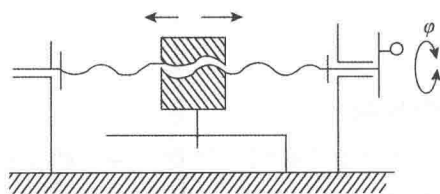


图 1-9 螺杆传动, 螺母移动

优点: 结构紧凑, 所占轴向空间略大于螺杆的工作行程, 刚度较大, 适用于工作行程较大的场合, 精度较高。

缺点: 零件较多, 影响传动精度。此时螺母要限制转动综合工艺性、装调等方面的因素, 一般应用较广泛, 如车床的走刀机构、工具显微镜工作台的纵向传动机械等。

(3) 螺母转动, 螺杆移动。

特点: 结构要求限制螺母移动和螺杆的转动, 结构较为复杂, 故应用较少。

(4) 螺杆固定, 螺母又转又移。

特点: 结构简单、紧凑, 但精度低, 结构上难于实现运动的连续传递, 在多数场合下使用不便, 故应用较少, 用作简易调整装置。

(5) 差动螺旋传动是上述基本传动型式的组合, 如图 1-10 所示。

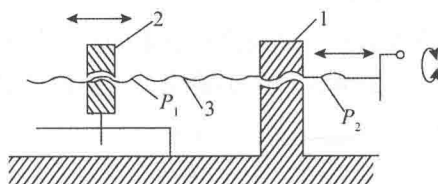


图 1-10 差动螺旋

螺杆 3 左、右两段螺纹旋向相同, 导程分别为 P_{h1} 和 P_{h2} , 可动螺母的移动距离为 $l = \frac{\varphi}{2\pi} (P_{h1} - P_{h2})$ 。若 P_{h1} 与 P_{h2} 相差很小, l 很小, 即微动装置; 如螺杆左右

两段旋向相反: $l = \frac{\varphi}{2\pi} (P_{h1} + P_{h2})$, 则快速移动螺旋, 即快速夹紧装置。

螺杆转动, 螺母也转动, 结果螺母实现差动移动, 即螺杆转 Δn 周, 则螺母移距大小为 $P_h \pm \Delta P_h$, P_h —导程, 正号表示两构件转向相同, 则移距为二者移距之和, 负号表示两构件转向相反, 则移距为二者移距之差。该机构结构简单, 可实现微动和快速移动。

两个螺母, 一个移动, 一个固定。当螺杆转动时, 移动螺母可实现快速或慢速移动, 即螺杆转一周, 移动螺母移动 $P_{h1} \pm P_{h2}$ (P_{h1} 、 P_{h2} 为两螺旋的导程, 旋向相同时为正, 螺母快速移动; 反之, 螺母慢速移动。)

同轴双螺旋传动, 两螺母同时与机架组成移动副, 工作时螺杆转动, 两螺母实现移动, 两段螺旋线螺距相同, 但旋向相反。该机构常用于车辆之间的联接, 可使车钩