

绪 论

一、光学加工机床在光学工业中的地位

光学工业是生产工农业、国防、科研和人民生活所需的各种光学仪器的，如显微镜、经纬仪、望远镜和照相机等。这些光学仪器的主要工作部分——光学系统由光学零件组成。这些光学零件（包括毛坯）都是由光学加工机床加工出来的。

一台普通精度的经纬仪，它在光学加工机床上进行的冷加工工时约占全部零件总工时的 34%；一个光学车间内，光学加工机床的总台数约占车间设备总数的 80%；生产显微镜的光学仪器厂，其光学加工机床的总台数约占全厂主要生产设备的 22%。可见，光学加工机床是光学仪器的主要加工设备。

现代科学技术的迅速发展，特别是激光、红外线、高空摄影和宇宙空间探测等所需的光学仪器，要求其光学零件具有很高的工作精度，这也就要求光学加工机床本身具有较高的加工精度和良好的工作性能，光学加工机床的先进程度已成为衡量光学工业技术发展水平的重要标志之一。

由此可见，光学加工机床在光学工业中占着重要的地位。

二、国内外光学加工机床的发展概况

随着社会主义经济建设的发展，我国相继新建和扩建了一些光学加工机床专业制造厂，同时许多光学仪器厂也提高

了自制机床的能力。研究所和工厂密切配合，根据我国光学生产实践的经验 and 特点，自行设计制造了各种光学加工机床，并逐步走向系列化，机床的加工精度、生产率、自动化程度和它的工作性能得到了不断提高和完善。目前已能为光学加工生产线提供成套的机床设备。此外，还能出口援外提供优质光学加工机床，促进了国际经济合作与技术交流。尽管如此，但和世界先进技术水平相比，差距还较大，为此必须不断提高光学加工机床制造工业的技术水平，以适应社会主义经济建设的需要。

国外的光学加工机床制造工业随着人造金刚石的扩大使用，近三十年来发生了根本的变化。五十年代初期，相继出现了用金刚石砂轮作为磨具的半自动、全自动铣磨机；六十年代生产了采用金刚石丸片加工的新型高速精磨机。同时，加强了对抛光机理和抛光模具的试验研究工作，各种新型抛光模（如塑料抛光模、金刚石微粉抛光模）和高速抛光机不断用于光学抛光加工，使抛光走向“三定”（即定时、定压、定光圈）。五十年代发展起来的机械自动定心磨边机，朝着高精度和全自动方向提高到了新的水平。

根据光学零件生产批量小、品种多的特点，为满足各种形状和不同尺寸的光学零件的加工需要，在各道工序上国外成套地配备了规格齐全的各种型号机床。为了减少光学零件的品种和扩大它的加工批量，提高光学零件的生产率和降低成本，国外成型精度较高的（毛坯单面加工余量小于 0.5 毫米）液态成型机和精密压型技术获得很大的发展，同时大力加强了光学新工艺、模具、辅料和新型机床设备的试验研究工作。对于批量大的中等精度的光学零件，大力组织自动流水线生产，除提供成套的机床设备外，还提供工艺、辅料、加

工液（俗称冷却液）[⊖]和检测工具。

近十几年来，由于光学工艺和科学技术的不断发展，各种新工艺、新技术、新材料在机床上的广泛应用，国外光学加工机床的技术水平和先进程度不断提高，正朝着高效、高精度、延长使用寿命和提高自动化程度等方面迅速发展。

三、本课程的内容和任务

《光学加工机床》的内容分为基础部分和专业部分。基础部分为有关光学加工机床的一些基础知识。如光学加工机床的基本概念，机床的各种传动方式和电器的一般常识等；专业部分为各类光学加工机床的用途、性能、加工方式、结构、传动系统和使用调整方法。基础部分的知识直接为学习专业部分的内容服务。

本课程的任务是使光学加工工人了解光学加工机床的功用、性能、加工原理、切削方式和传动系统，了解常用机床典型部件的性能和构造，能够根据光学工艺的要求合理地使用、有效地维护和正确地调整机床，以期提高工人使用机床的技术水平，提高光学零件的生产率和加工质量，促进我国光学加工技术和整个光学工业的发展。

复 习 题

1. 国内外光学加工机床的发展概况。
2. 学习本课程的目的和要求。

⊖ 加工液包括铣磨液、精磨液和抛光液。

第一章 光学加工机床的基本概念

1-1 光学加工机床的功用

光学加工机床是对光学零件进行加工的一种机床。在光学零件各道加工工序上使用的各种冷、热加工设备和辅助设备[⊖]统称为光学加工机床。

光学加工机床的功用：一是用来制成各种型料、块料和棒料毛坯；二是从毛坯上借助切削工具（如锯片、砂轮）和成型模具切开或磨去多余的玻璃，并抛光光学零件的工作表面，使之加工出具有一定精度和光洁度的光学零件。

1-2 光学零件的表面形状及其形成方法

一、光学零件的表面形状

在光学仪器中应用的各种光学零件，尽管它们的形状、尺寸大小、材料性能和技术要求不同，但它们都是由一些平面、球面、圆柱面和非球面（如抛物面、双曲面）等基本表面所组成。图 1-1 为各种常用光学零件的表面形状。

二、表面形成方法

一般说零件的不同表面形状可有不同的形成方法，就是同一表面的形成方法也有所不同。图 1-2 为光学零件常用表

⊖ 由于光学零件加工的特殊性，在辅助工序上使用的机床设备并不对光学零件进行任何冷、热加工，但为光学零件生产所专有，一并划归入光学加工机床。

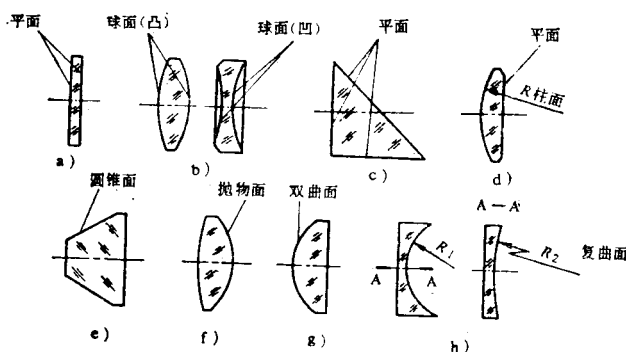


图1-1 各种常用光学零件的表面形状

- a) 平镜 b) 球面镜 c) 棱镜 d) 柱面镜 e) 锥面镜
f) 抛物面镜 g) 双曲面镜 h) 复曲面镜

面的形成方法。其中图 1-2 a 为一段圆弧 1 沿着它所在平面内的直线 2 移动所形成的轨迹即为平面 A ；图 1-2 b 为平行于轴线 OO 的直线 1 围绕轴线旋转在空间形成的轨迹，或者圆线 2 沿着直线 1 移动而形成的轨迹均为圆柱面 A ；图 1-2 c 为圆线 1 或者圆弧 mn 围绕轴线 OO 旋转在空间形成的轨迹均为球面 A 。

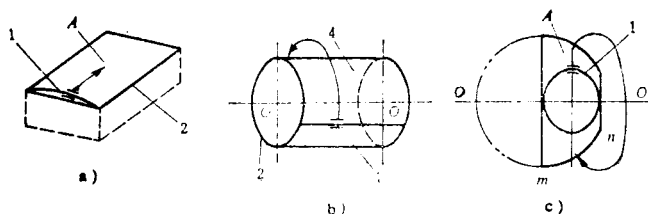


图1-2 光学零件常用表面的形成方法

要在机床上加工出零件的表面形状，必须使砂轮（或模具）和工件间产生确定的相对运动。例如在平面铣磨机上加工平面镜，必须使产生圆曲线的砂轮作旋转运动，同时又必须使装在工作台上的工件移动，使圆曲线相对工件作直线移动，砂轮和工件间的相对旋转运动和直线移动就加工出所需的平面。又如球面铣磨机加工球面镜，筒形砂轮刃口的圆曲线作高速旋转运动，同时又必须使装有工件的主轴回转，这样便形成圆曲线相对工件轴线的回转运动，从而加工出所需的球面。

了解光学零件表面的形成方法，有助于正确理解机床所需的运动和运动的性质。

1-3 机床的运动和传动

一、机床的运动

机床的运动按其性质分为旋转运动和直线运动。按其功用可分为：

1. 主运动 以最大切削速度磨去玻璃的切削运动称为主运动 $\ominus$ 。机床绝大部分的功率消耗在主运动系统内。光学加工机床的主运动大部分是切削工具的旋转运动，例如铣磨机、磨边机的主运动是砂轮的高速旋转。

机床主运动的切削速度以切削工具的最大圆周速度（米/秒）表示。

2. 进给运动 使工件被加工表面不断扩大的运动称为进给运动。进给运动可以是直线移动或回转运动（圆周进给运动），由切削工具或工件来实现。

光学加工机床的进给速度比较低，它的大小常以每分钟

$\ominus$ 对抛光机是以最大抛光速度抛光玻璃表面的运动称为主体运动。

或每转移动的距离（毫米）表示。

机床的主运动和进给运动是形成工件表面的基本运动，统称为表面形成运动。

3. 辅助运动 在机床上除了直接参加切削的表面形成运动外，还有一些不参加切削的运动。例如把砂轮（或工件）引至切削开始的位置，切削完了砂轮（或工件）退出和返回原来位置；夹头夹紧和松开工件时的移动；回转盘的分度运动；压力球头的加压和卸压移动。这些运动统称为辅助运动。

机床的辅助运动有的是手动的，有的是机动的。为了减轻工人的劳动强度，缩短辅助运动的时间以提高机床的生产率，实现辅助运动的机械化和自动化具有重要的意义。

二、机床的传动

机床加工时所需的各种运动，是由驱动装置（电动机）经过一系列传动机构（皮带传动机构、齿轮传动机构、蜗杆蜗轮传动机构、液压传动和连杆机构等），把运动和动力传到工作部件（如工件轴、磨头、工作台和摆架等），从而使分别装在工作部件上的砂轮（模具）和工件产生确定的相对运动。传动机构起着把驱动装置的运动和工作部件的运动联系起来的作用。

机床的驱动装置一般采用电动机，而传动机构的型式和结构，为了满足机床工作的各种要求则是多种多样的。它的型式和元件数量的多少反映出机床结构的复杂程度。

按照传动机构的结构特点，机床运动的传动方式可以分为：

1. 机械传动 应用一些机械元件（如皮带、齿轮、丝杆、螺母等）的相互接触和连接，把运动和动力依次从电动机传

递到工作部件。这是机床上应用最普遍的一种传动方式。它广泛地用于机床的主运动、进给运动和辅助运动中；

2. 液压传动 应用液体的压力能传递动力和运动。它主要用于传递往复直线进给运动和控制机床的工作压力；

3. 气压传动 应用气体的压力能传递运动和动力。它主要用于机床上的一些辅助运动和控制机床的工作压力。

按照机床运动速度调节变化的特点，机床的传动方式又可分为有级传动和无级传动。有级传动的速度变换是不连续的，在最大和最小速度之间固定地分为若干等级；无级传动的速度变换是连续的，它可以在最大和最小速度之间调节到任意一个所需的速度数值。有级和无级传动广泛地用在光学加工机床的传动中。

1-4 机床的技术参数

选用和使用机床，事先要知道它的加工范围、加工精度、使用性能、结构特点、功率大小和附件规格等方面的内容。机床的技术参数是用文字说明和相应的具体数值(包括单位)来反映这些基本内容的。

在机床的技术参数中，最能反映它的加工性能的参数称为主参数（又称主要规格），其余的称为一般技术参数。

机床的主参数通常只有一个，常以机床上可以加工的最大工件尺寸表示，或者以机床上最大切削工具（如锯片）的直径、工作台工作面的宽度（或直径）来表示。例如外圆切割机的主参数是最大圆锯片直径，平面铣磨机的主参数是矩形工作台工作面的宽度或圆形工作台工作面的直径。有时某些机床的主参数还不能完全反映该机床的主要加工性能，或者为了区分同一主参数下而派生的不同机床，还需采用第二

主参数。它通常是指机床的主轴数、最大铣磨长度、最大精磨抛光长度、工作台工作面长度等。例如外圆铣磨机（除了主参数为最大铣磨直径外）的第二主参数为最大铣磨长度，平动精抛机（除了主参数为最大精磨抛光直径外）的第二主参数为轴数等。

关于各类光学加工机床的主参数和第二主参数参考附录附表 1。

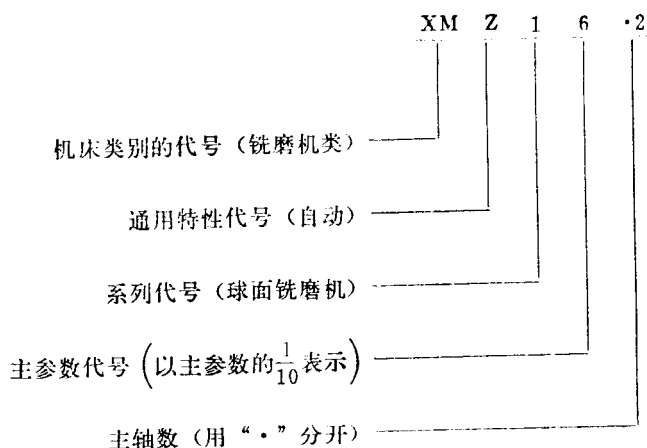
光学加工机床的一般技术参数项目很多，按其内容分为结构参数、运动参数、功率参数和其他参数。结构参数是指机床各部件的主要结构尺寸参数，如主轴锥度、工件轴定位面到摆动中心的距离、磨头架的回转角度等。运动参数是指工作部件的转速、进给速度的大小和调节范围。功率参数是指机床上各个电动机、电加热器的额定功率。其他参数一般指机床的外形尺寸、重量和加工精度等项目。

机床使用说明书内一般都载有上述技术参数。了解这些技术参数的内容对于正确地选用和使用机床具有重要的指导意义。

1-5 光学加工机床型号的编制

光学加工机床的品种规格日益增多，为了便于机床的研究、使用和管理，我国已制定“光学加工机床型号编制方法”标准（ZBY0701-81）。

编制机床的型号就是要给每种机床一个代号，这代号要完整地简明地表示机床的名称、主要规格、性能和结构特性，以便人们对该机床有一清楚的概念。例如机床型号 XMZ16·2 表示最大铣磨直径为 60 毫米的（双轴）自动球面铣磨机。其型号中各汉语拼音字母及数字的含义如下：



光学加工机床的类别共分八类。各类机床的代号 $\ominus$ 和读音见表 1-1。

表1-1 光学加工机床的类别代号和读音

类别	成型机	切割机	铣磨机	精抛机	磨边机	滴胶机	上盘机	下盘机
代号	CX	QG	XM	JP	MB	DJ	SP	XP
读音	成型	切割	铣磨	精抛	磨边	滴胶	上盘	下盘

光学加工机床的通用特性代号见表 1-2。

表1-2 光学加工机床通用特性及代号

通用特性	精密	自动	数控	仿形	万能	筒式
代号	M	Z	K	F	W	J

$\ominus$ 机床代号用机床名称的汉语拼音字第一个字母表示。如切割类机床的代号 QG 就是汉语拼音字 qī(切)和 gē(割)的第一个字母(大写)。

每类光学加工机床根据它的用途、加工方法和结构特征等不同又分为 10 个系列，用 0-9 的一位数字表示。

机床的主参数代号一律用主参数的 $\frac{1}{10}$ 表示。如果主参数折算后的数值大于 1 时取整数，小于 1 时则直接以主参数表示，并在主参数前加“0”。例如 JP005·20 型二十轴精抛机，因为它的主参数——最大精磨抛光直径 $\phi 5$ 经折算（乘以 $\frac{1}{10}$ ）后小于 1，则在主参数前附加“0”。

机床的第二主参数（如轴数）位于主参数之后，并用“·”号分开。

光学加工机床的统一名称及类、系列的划分见附录附表 1。

1-6 光学加工机床的特点

光学零件的几何精度和表面光洁度要求高，通常比金属零件高出 4~6 个公差等级，光学零件的材料——光学玻璃又脆又硬，机械装夹和加工容易碎裂。因此光学加工机床具有下列一些特点：

（1）机床的切削方式以磨削为主，它采用各种金刚石砂轮磨具；

（2）机床主运动的速度较高。有的砂轮转速高达 2 万转/分，砂轮边缘的最大线速度高达 35 米/秒；

（3）机床进给运动的速度很低，有些工件轴的转速几分钟才回转一转，有些工件（或砂轮）的纵向进给运动一分钟移动不到 1 毫米；

（4）机床的运动链比较简单，各个运动之间也没有复杂的传动联系；

(5) 机床工作部件上的砂轮轴和工件轴的旋转运动精度要求高。通常径向圆跳动允差 $0.02 \sim 0.005$ 毫米, 有的高达 0.002 毫米;

(6) 机床具有性能完善的冷却液、抛光液输送系统和净化处理装置。因为机床工作时, 冷却液、抛光液的有效供给和它们的清洁度对光学零件的表面加工质量影响很大;

(7) 机床设有可靠的防护装置。这是因为机床工作时的玻璃屑比起金属切屑更易使机床的相对运动表面(如导轨、轴承)磨损, 导致迅速降低机床的工作精度和使用寿命。

此外, 光学加工机床的精加工主要采用仿形法, 模具的成型精度直接影响机床加工零件的精度。

复 习 题

1. 机床上有哪一些运动? 它们的功用是什么?
2. 机床有哪一些技术参数? 它们表示的意义是什么?
3. 试述下列机床型号的含义:

(1) XMP18 型 (2) JP 025·2 型 (3) MB57 型

第二章 机床机械传动

2-1 概 述

机械传动是机床上应用最广泛的一种传动形式。它通过一些基本零件和构件[⊖]（如轴和轴承、蜗杆蜗轮、曲柄连杆等），把电动机的运动和动力传到工作部件，实现机床加工所要求的运动。

机械传动具有工作可靠、定位精度高、元件制造容易、操作方便、维护简单等优点。它的缺点是体积较大，容易产生振动和噪声。由于具有上述特点，它常和其他传动（如液压传动、电气传动等）组合使用，以满足机床的各种运动和工作性能要求。

2-2 机床上常用的典型传动机构

一、丝杆螺母传动机构

1. 丝杆螺母传动机构的组成和相对运动型式 丝杆螺母传动机构主要由丝杆和螺母两个零件组成。它主要用来把旋转运动变换为直线运动，如图 2-1 所示。其中丝杆作回转运动，套在滑座内的螺母沿着丝杆轴线移动。

丝杆螺母传动根据机床结构、工作性能和使用要求有以下几种相对运动型式：丝杆为主动件，作正向或反向回转，螺母为被动件，沿着丝杆前后轴向移动（图 2-2 a）；螺母为主

[⊖] 构件可以是单独一个零件或彼此间无相对运动的几个零件组成。

动件，作正向或反向回转，丝杆在螺孔内前后轴向移动（图 2-2 b）；丝杆在固定的螺孔内一面转动一面移动（图 2-2 c）；螺母在固定不动的丝杆上边转动边移动（图 2-2 d）。

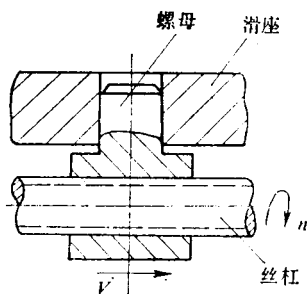


图2-1 丝杆螺母机构

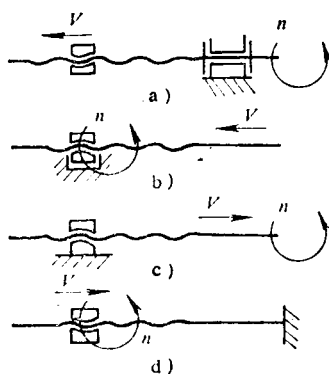


图2-2 丝杆螺母传动相对运动型式

2. 梯形螺纹的形成和主要参数 如图 2-3 所示。若把一直角三角形 abc 围绕直径为 d_2 的圆柱体一周则斜边 ac 在圆柱表面上便形成一条螺旋线。斜边 ac 和底边 ab 的夹角为螺旋线的升角 λ 。若把一梯形的底边（较长的一边）紧贴圆柱表面的母线并沿着螺旋线移动，移动时使梯形平面通过圆柱体的轴线，就形成了梯形螺纹。

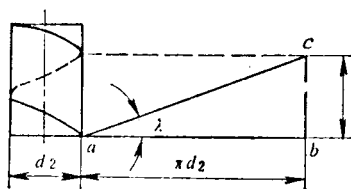


图2-3 螺旋的形成

参看图 2-3，当 bc 长度不变时，如圆柱体的直径大于（或小于） d_2 ，则它的圆周展开长也相应大于（或小于） πd_2 ，这样斜边和底边间的夹角则小于（或大于） λ 。这说明

梯形螺牙上不同半径处的螺纹升角是不相等的，并随着半径的增大而减小。

丝杆螺母传动主要采用梯形螺纹，这种螺纹已标准化 (GB784-65)。梯形螺纹的牙型剖面形状见图 2-4。它的主要参数有：

(1) 外径 d —— 梯形螺纹的最大直径，并规定为它的公称直径；

(2) 内径 d_1 —— 梯形螺纹的最小直径；

(3) 中径 d_2 —— 螺牙宽度和牙槽宽度相等处的假想圆柱的直径。中径 $d_2 = d - 0.5t$ (其中 t 为螺距)；

(4) 螺距 t —— 沿丝杆轴线方向量得的两相邻螺牙上对应点间的距离；

(5) 导程 s —— 螺旋线上任一点旋转一周所移动的轴向距离 ($s = zt$ ，其中 z 为头数)；

(6) 升角 λ —— 螺旋线与垂直于其轴线的平面所夹的角，通常是指螺纹中径上螺旋线的升角；

(7) 牙形角 β —— 螺牙轴向剖面两侧边间的夹角， $\beta = 30^\circ$ ；

(8) 头数 z —— 外径 d 的圆柱面上螺旋线的数目，通常 $z = 1$ 。

此外，根据螺纹旋向，梯形螺纹可分为右旋和左旋。把梯形螺纹轴线垂直放置，若螺旋线自左向右上升则为右旋，若螺旋线自左向右下降则为左旋。一般采用右旋螺纹，机床

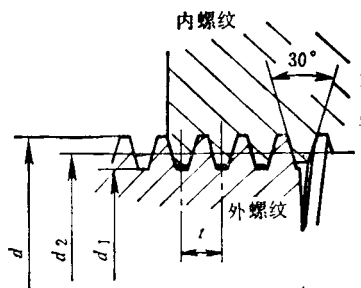


图 2-4 梯形螺纹的牙型剖面形状

中的手动丝杆为了符合操作者的习惯常采用左旋螺纹。

3. 丝杆螺母传动的运动计算 丝杆螺母传递运动时,螺母(或丝杆)的移动方向根据主动件的旋转方向和螺纹的旋向而定,其移动速度可按下式求出:

$$V = ns = nzt \quad \text{毫米/分} \quad (2-1)$$

式中 n ——丝杆(或螺母)的转速(转/分);

s ——导程(毫米);

t ——螺距(毫米);

z ——头数。

4. 丝杆螺母传动机构的特点和应用 丝杆螺母传动机构因采用梯形螺纹,故制造容易,对中性好,轴向移动的精确度高,而且运动比较平稳,能传递较大的轴向力和获得很大的减速比。如果螺纹升角小于摩擦角,垂直方向移动的部件不会因自重而下坠。它的缺点是丝杆的刚度较低,高速旋转时容易产生振动;丝杆和螺母间的摩擦较大,容易磨损,传动效率较低。

为了减少丝杆螺母间的摩擦和磨损,并具有良好的加工性和尺寸稳定性,通常丝杆的材料用45号钢并经调质处理,螺母用青铜制造。

丝杆螺母传动机构广泛用在光学加工机床的进给运动和辅助运动中。图2-5为移动滑台的丝杆螺母传动机构的结构图。旋转手轮1带动丝杆8回转,使螺母10带着滑台9移动。丝杆8的一端支承在固定套5内,借一对单向推力球轴承6承受传动中的轴向力。固定套5借螺钉(图上未示出)固定在底座7的端面上。滚花刻度环4松套在刻度盘体2上,它的内孔由弹簧钢丝撑紧。刻度环4的圆周上刻有许多小格,以指示滑台9移动的距离。

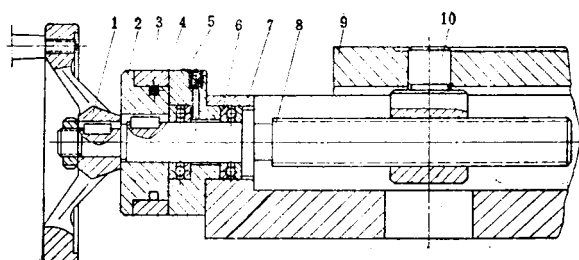


图2-5 丝杆螺母传动机构的结构

螺母 10 活套在滑台 9 的孔中，它可补偿丝杆螺母因制造、装配而造成的不同轴误差。

二、皮带传动机构

1. 皮带传动的工作原理和特点 皮带传动机构主要由

装在轴上的主动

轮、被动轮和皮带

组成，如图 2-6 所

示。皮带紧紧地围

绕在两个皮带轮

上。当主动轮以 n_1

的转速回转时，它

借压紧力产生的摩

擦力带动皮带运动，

运动着的皮带又借摩

擦力带动从动轮以

n_2 的转速回转，这

样就把主动轮的回

转运动通过中间件

皮带变为从动轮的

回转运动。

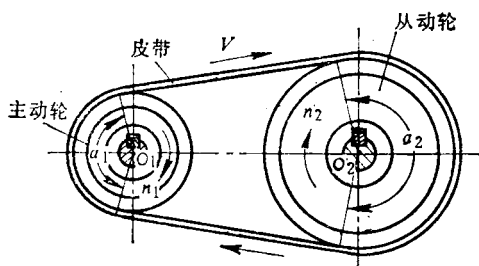


图2-6 皮带传动示意图

摩擦带动皮带运动，运动着的皮带又借摩擦力带动从动轮以 n_2 的转速回转，这样就把主动轮的回转运动通过中间件皮带变为从动轮的回转运动。

皮带传动机构在光学加工机床上获得广泛的应用，因为它具有下列一些优点：

(1) 能够传递中心距较大和变化范围较广的两轴间的运动，