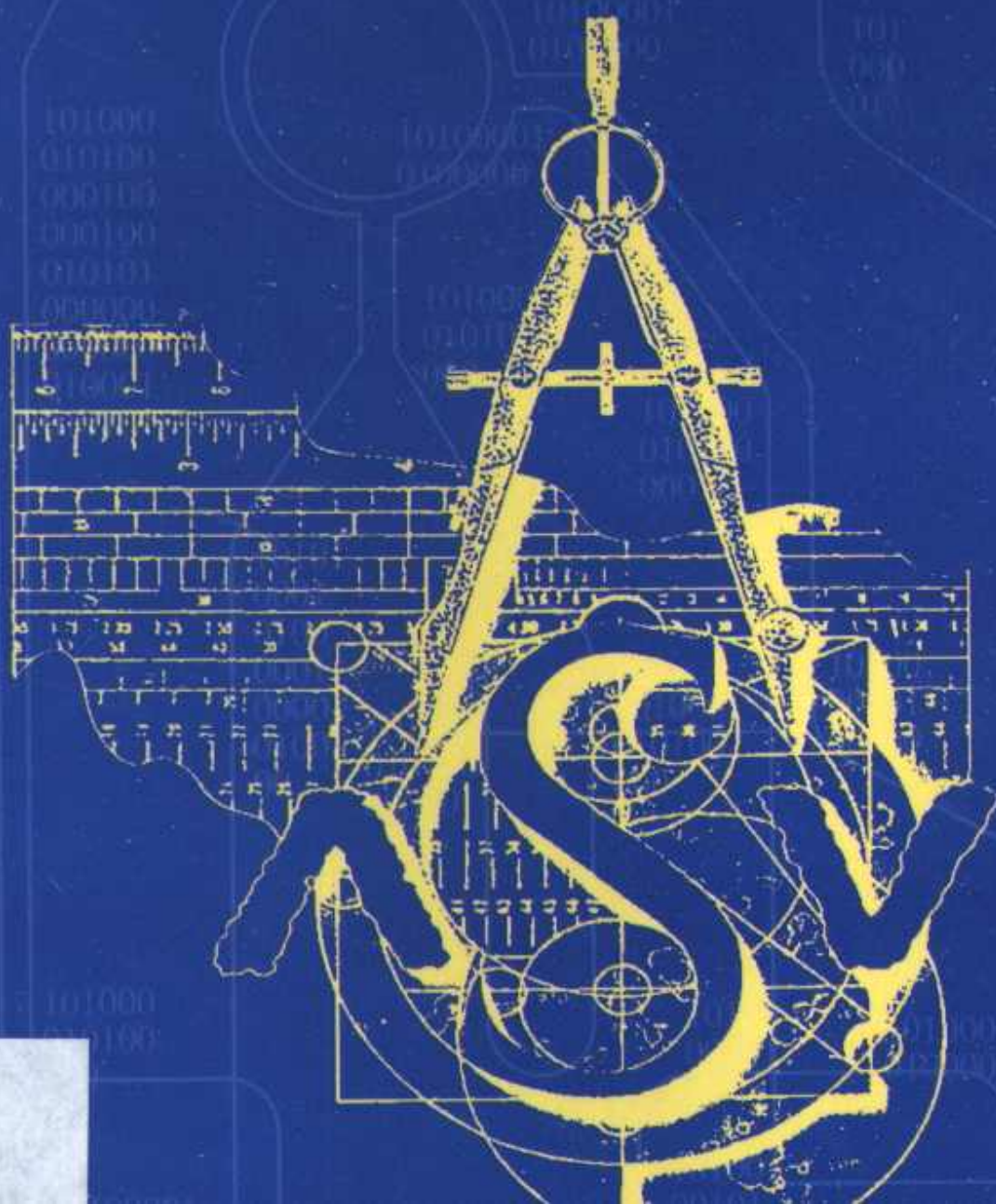


高职高专机电类系列教材

机电综合设计 指导

吴振彪 主编

GAOZHIGAOZHUANJIDIANLEI
XILIEJIAOCAI



中国人民大学出版社

145

74-1
128

高职高专机电类系列教材

机电综合设计指导

吴振彪 主 编
胡均安 杨光友 副主编

中国人民大学出版社

前 言

机械技术和以计算机为代表的微电子技术在相互渗透中获得迅速发展,形成了机电一体化技术,使机械制造技术产生了一场革命。不仅数控加工技术正在我国崛起和推广,机电一体化技术在其他诸多行业中获得了广泛的应用,机电一体化产品也达到了一个崭新的水平。

机电一体化技术不是机械技术和电子技术的简单叠加,而是二者的有机组合。但是,由于在教学中缺乏机电综合方法的讲授和训练,学生在学习了电子技术、计算机技术等电类课程和机械设计、机械制造基础等机电类课程后,对机电一体化技术改造和机电一体化产品综合仍然不能进行通盘考虑,两个学科的知识 and 技能尚不能贯穿起来。同时,目前社会上也大量需要机电结合的应用型技术人才。因此,开设机电综合设计课程和设置相应的实践环节对机电类、机类高年级学生,尤其是高职高专学生实属必须。

本书共分四章,主要内容有:机电一体化综合设计的基本方法和步骤;机械传动系统的设计和应用,包括同步带传动设计和谐波减速器选型的内容;控制系统的设计,考虑到可编程控制器的发展和被越来越多的应用,编写了可编程控制器的内容,形成了以单片机为核心的控制系统和以PC为核心的控制系统两大体系;安排了传统机械产品机电一体化技术改造和机电一体化新产品开发的实例。

全教材简明扼要,重在实用。每章有要点、基本要求和思考题,内容上突出方法和步骤,收录了较多的图表,提供了简明的技术资料,方便教学和自学。

教材最后一章的应用实例相当详尽,不仅对学生有示例的意义,而且也便于对实际应用课题进行机电综合设计部分有困难的学生在学习过程中加以摹仿。

教材尽可能吸收了现代传动设计等新科学技术知识,反映了现代科技成果,注意了综合能力和创新能力的培养。

本书第一章、第二章由吴振彪编写,第三章由杨光友、张铮、丁建军合写,第四章由胡均安、吴振彪合写。全书由吴振彪统稿。李梦卿、陈冬珍、陈钢、苏旭武等同志参加了本书的讨论和大纲拟定,给予了很多帮助。

湖北工学院高等职业技术学院非常关心本书的编写和出版工作,院长陈沛安同志给予了许多指导并参加了本书的策划工作。本书在编写过程中还得到机械工程系机制机电教研室、实验中心的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中肯定存在错误与不足,敬请读者批评指正。

编者

2000年9月

第一章 绪 论

【主要内容】

1. 机电一体化技术的含义。
2. 设置机电综合设计课程的目的与意义。
3. 机电综合设计的基本方法和步骤。

【基本要求】

1. 了解机电一体化概念及机电一体化技术、机电一体化产品的含义。
2. 领会机电综合设计训练的意义。
3. 了解机电综合设计的几大步骤。

第一节 机电一体化技术

机电一体化的实质是机械工程技术与微电子技术的结合。机电一体化技术是一门跨学科的综合性的复合技术，它随机械工程技术、微电子技术、计算机技术、激光技术、材料工程技术的发展而进步。机电一体化的一些共性关键技术有：信息处理技术、检测传感技术、自动控制技术、伺服传动技术、精密机械技术、系统总体技术等。

把机电一体化技术应用于生产和生活所开发出来的新产品叫做机电一体化产品。数控机床、机器人、全自动智能洗衣机等是典型的机电一体化产品。在发达国家中，机床的数控化率已达 25% 以上，而我国还不到 1%。但是，随着国民经济的发展，各行业对数控机床的需求量逐年增加。世界机器人的拥有量在未来 10 年将以 25% ~ 30% 的速度增长，将进入生产自动化、航天、深海以及军事、农业、办公、医院、家庭、社区等诸多领域。像全自动智能洗衣机这样生活领域中的许许多多机电一体化产品已经被人们所喜爱，还正在大量地被开发出来。

以信息为主要工作对象，既有控制功能又有管理功能的系统工程可称为机电一体化系统。比如，CIMS 是比较大的机电一体化系统工程。它将制造系统、设计系统、经营管理系统、信息数据系统通过计算机及通信网络联系起来。它是一个闭环反馈系统，输

人的是关于产品的概念和需要，输出的是经检验合格可交付使用的产品，实现机械工厂综合自动化。

第二节 设置机电综合设计课程的目的和意义

一、课程综合化是课程体系改革的方向之一

为了保证教学培养目标和培养规格的实现，必须增加综合课程的设置。这不仅仅是专业、学科间不断交叉与融合以及界限逐渐淡化的需要，也是对原有课程体系进行改革，对课程设置进行优化、精简、合理组合和创新的需要。知识结构是人类各种知识之间的比例，相互关系，相互作用，以及由此而形成的整体功能。在大学生的知识结构调整中，首先，强调大学课程基础知识的宽度和稳固性；其次，强调知识的整体效应。课程体系改革不是简单地删除某些课程，加上某些课程，更重要的要注意到学科知识之间的共性和异性，相互依存和相互渗透。机电专业需要以计算机为媒介的机电知识复合和杂交的综合课程。

二、机电综合设计注重能力培养

应用型人才的培养要突出能力的培养，加强实践教学环节。实践环节之一是进行实习、实训，掌握生产操作技能；实践环节之二是进行设计、创新，提高处理技术问题的能力。强化实践教学环节，培养高素质人才，才能使学生在社会上受到欢迎。机电综合设计是一门综合性很强的实践教学课程，它不同于单一的课程设计。根据不同学校的具体情况，机电综合设计可以作为专业课综合设计课程，也可以作为毕业设计环节。

第三节 机电综合设计的基本方法和步骤

机电综合设计内容可能千变万化，其方法和步骤也会很不相同。但是，大体上可划分为三个阶段：总体方案确定、关键部件设计、软件设计；同时，在设计过程中要贯穿技术经济效益分析和现代设计手段的应用。

一、总体方案确定

1. 功能与技术参数分析

设计的最初环节必须理解和分析设计任务所提出的主要功能和技术指标。比如，普通车床的数控化改造要求利用数控系统代替人工或机械凸轮、靠模来控制车床的运动，提高车床的加工精度和自动化水平，满足多品种小批量零件加工的功能要求。设计任务给出了纵向走刀、横向走刀的定位精度、走刀速度、主轴变速等诸技术参数。并且，要求能进行人机对话，编程及操作方便，诊断功能和纠错功能强，具有显示和通信功能，缩短非生产准备时间，提高生产率。

2. 原理构思和技术路线确定

针对设计任务的主要功能和技术指标要求提出一些原理性的构思。比如，普通车床车削螺纹时为了防止乱扣，进给与主轴旋转之间用挂轮来实现严格的机械传动关系，改变螺纹的螺距就需改变挂轮。数控化改造后，省掉了挂轮，要提出合理的、先进的方法来解决进给与主轴旋转相配合的问题。要做到：主轴转一转，车刀精确移动一个螺距；螺纹加工不能一次切削完成时，每次进刀的位置必须相同；切制多头螺纹时，能正确分度。有了原理性构思，还要提出实现该功能原理的技术途径。没有合理的可行的技术途径来保障，好的原理性构思就成为空想。

3. 拟定总体方案

功能原理构思和技术路线确定后，对运动、布局、传动、结构、控制以及软件等方面作出总体方案设计。方案可以同时作几个，经过技术和经济评价后，选择其中一种较合理的作为最优方案加以采用。比如，普通车床的数控化改造方案应该在满足改造设计任务要求的前提下，尽可能对原普通车床作较少的改动，这样可以降低改造成本。

二、关键部件设计

设备机电一体化改造设计或机电一体化新产品设计都需要抓住关键部件的设计。比如，要做好普通车床的数控化改造；纵向进给系统、横向进给系统改造；主轴调速系统改造；螺纹加工改造；数控系统的选型和配置设计等。不能把某个关键部件设计简单地看做某个关键部件的结构设计。比如，纵向进给系统改造将遇到采用什么驱动装置，怎样提高传动精度和效率，原有的进给箱怎样处理，滚珠丝杠螺母副怎样支承等问题的综合性解决办法，而不是孤立地设计一对齿轮，一个丝杠副。

三、软件设计

机电综合设计是以计算机技术为媒介的，除了硬件系统的选择和配置外，还有一个软件配套和应用程序开发问题。比如，普通车床数控化改造后，实现数控车削需要进行

手工编程或自动编程。在熟悉编程的一般方法与步骤、程序的结构与格式、常用功能指令代码的基础上，针对车削的零件进行加工工艺设计和数控车削加工编程，程序的输入、编辑与修改。此外，还有信息存储、数据交换。

四、技术经济效益分析

在机电综合设计的过程中要作出技术评价和经济评价。除了完成设计任务规定的功能和技术指标外，技术经济指标主要有生产率、质量和成本。比如，普通车床经过数控化改造后对于多品种少批量零件加工的生产率会大大提高，改变加工零件对象只需调用对应的数控加工程序，省时省工。采用滚珠丝杠螺母副代替普通丝杠后，摩擦小，传动效率高。采用精密传动技术后，传动精度高，反向时无空程间隙。成本是指投入和产出效益的综合成本。如核算普通车床数控化改造的费用支出时要注意在生产率与质量效益的提高后，可以降低生产成本和提高产品价值的效益，同时还要注意费用的投入在几年内可望得到回报。

五、现代设计手段的应用

机电综合设计要采用 CAD 手段，使设计者节省大量的计算和制图工作量。此外，要积极采用优化设计、有限元分析、仿真技术和专家系统等现代设计方法，使设计更科学、更合理。设计和制造要走一体化道路，即 CAD 和 CAM 一体化，大量的设计数据资料、图面信息都存入数据库中，使 CAD 和 CAM 的数据通信能方便进行。

思考题

1. 液晶显示数字式电子表、指针式电子表及机械表三者在原理上和结构上有何不同？
2. 数字式电子表和指针式电子表是否都是机电一体化产品？为什么？
3. 数控机床和普通机床有何区别？数控机床体现了哪些机电一体化共性关键技术？
4. 什么是综合课程？
5. 应用型人才除了应具备一定的生产操作技能之外，还应具备哪些能力？
6. 机电综合设计步骤与一般机械产品设计步骤有何不同？

第二章 机械系统设计

【主要内容】

基本计算	脉冲当量 δ_p 和传动比 i
	传动系统等效转动惯量 J_Σ
	工作载荷(在进给工作台上) F_L (进给方向)、 F_V (垂直方向)、 F_C (横向)
基本设计	滚珠丝杠螺母副的选型及校核
	滚动导轨副的选型及校核
	步进电机的选型及校核
其他精密传动	齿轮传动消隙方法
	同步带传动设计
	谐波减速器选型

【基本要求】

1. 掌握脉冲当量的概念。正确理解传动比 i 对脉冲当量和传动系统结构设计的影响。
2. 理解各传动部件转动惯量向电机轴折算的目的；掌握传动系统等效转动惯量的计算方法。
3. 掌握车削、铣削及钻削的切削力分析及计算，注意应用简便的公式和实验数据。理解工作台上进给方向载荷 F_L 、垂直方向载荷 F_V 、横向载荷 F_C 与切削力有何对应关系。
4. 掌握滚珠丝杠副工作载荷（轴向牵引力）的计算公式；滚珠丝杠副的分类、主要参数、代号标注、预紧方式、选型及校核的方法和步骤。理解滚珠丝杠副最大动载荷校核的实质是工作寿命校核（类同滚动轴承）、刚度验算的实质是轴向变形量校核、稳定性校核的实质是细长杆纵向屈曲校核。
5. 掌握滚动导轨副预期寿命 L 和 L_h 的计算公式、型号选择方法。了解滚动导轨防护方法及塑料导轨的优点。
6. 掌握步进电机的选型和校核方法。理解最大静转矩校核、启动矩频特性校核、运行矩频特性校核的不同点。

7. 了解齿轮传动消隙的意义, 正确选用齿轮传动消隙的方法。
8. 掌握同步带传动的设计方法。
9. 了解谐波减速器的特点, 学习正确选择谐波减速器型号的方法。

机电一体化产品由机械系统、传感系统、控制系统三大部分组成。机械系统因产品的不同而有很大的差异。比如, 数控十字工作台机械系统由电机、齿轮传动副、滚珠丝杠螺母副、工作台和导轨等组成; 工业机器人的机械系统由电机、驱动装置、手臂、手腕和末端操作装置等组成。本章有关机械系统设计的内容是指机电一体化产品共性的内容, 即机械系统关键技术与关键部件的设计与计算。

第一节 脉冲当量和传动比的确定

机械系统的主要技术参数通常由设计任务书或由产品样本给出, 一般包含功能参数和精度参数两部分。例如, 一台立式钻削中心使用的两坐标 (X 和 Y) 数控十字工作台主要功能参数有最大钻孔直径 (mm)、工作台尺寸 (长×宽) (mm)、坐标行程 (X, Y) (mm)、快速定位速度 (m/min) 等, 主要精度参数有定位精度 (mm)、重复定位精度 (mm) 等。

一、脉冲当量的选定

图 2-1 表示某数控半闭环机床进给系统传动简图。伺服电机经齿轮传动副、滚珠丝杠拖动工作台。传感器与电机轴相联, 用来检测电机转角和转速, 并把它们转换为电信号反馈给数控装置。

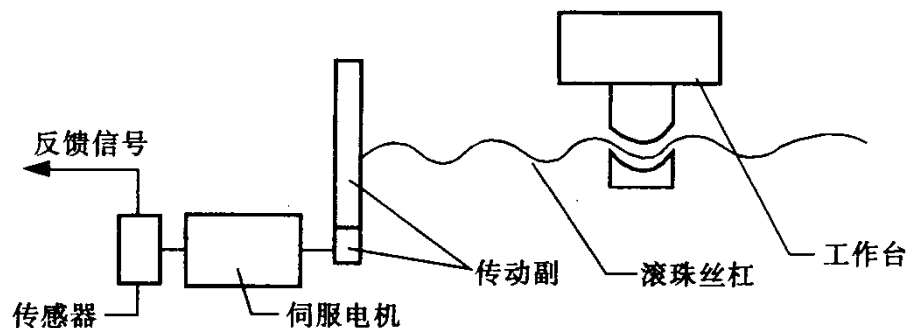


图 2-1 数控半闭环机床进给系统传动简图

目前, 常用脉冲编码器兼作位置和速度反馈。伺服电机

每转 1 转传感器发出一定数量的脉冲, 每个脉冲代表电机一定的转角。步进电机是一种电脉冲控制的特种电机, 对于每一个电脉冲步进电机都将产生一个恒定的步进角位移, 每一个脉冲或每步的转角称为步进电机的步距角 θ_b [$(^\circ)$ / 脉冲], 可由选用的步进电机型号从技术数据表中查出。

因此, 每脉冲代表电机一定的转角, 这个转角经齿轮副和滚珠丝杠使工作台移动一定的距离。每个脉冲所对应的执行件 (如工作台) 的移距, 称为脉冲当量或分辨率, 记

为 δ_p ，单位为 mm/脉冲。

应根据机床或工作台进给系统所要求的定位精度来选定脉冲当量。考虑到机械传动系统的误差存在，脉冲当量值必须小于定位精度值。例如，普通车床进行数控改造，对机床定位精度的设计 requirements 是 ± 0.015 mm，根据该精度要求可确定脉冲当量为 $\delta_p = 0.01$ mm/脉冲。又如，某镗铣加工中心的数控工作台要求重复定位精度为 ± 0.006 mm，根据该精度可确定脉冲当量为 $\delta_p = 0.003$ mm/脉冲。

二、传动比的选定

设传动副的传动比为 i ，若为一对齿轮减速传动，则 $i = n_1/n_2 = z_2/z_1$ ， n_1 ， z_1 为主动齿轮的转速和齿数， n_2 ， z_2 为从动齿轮的转速和齿数。若为多级传动装置，则 i 为总传动比。

对于步进电机，当脉冲当量 δ_p (mm/脉冲) 确定，并且滚珠丝杠导程 L_0 (mm) 和电机步距角 θ_b [(°) /脉冲] 都已初步选定后，则可用下式来计算该轴伺服传动系统的传动比

$$i = \frac{\theta_b L_0}{360 \delta_p} \quad (2-1)$$

尽可能使 $i = 1$ ，这时可使步进电机直接与丝杠联接，有利于简化结构，提高精度。

第二节 传动系统等效转动惯量计算

传动系统的转动惯量是一种惯性负载，在电机选用时必须加以考虑。由于传动系统的各传动部件并不都与电机轴同轴线，还存在各传动部件转动惯量向电机轴折算问题。最后，要计算整个传动系统折算到电机轴上的总转动惯量，即传动系统等效转动惯量。

一、转动惯量计算的基本公式

对于轴、轴承、齿轮、联轴节、丝杠等圆柱体的转动惯量计算公式为

$$J = \frac{M_C D^2}{8} \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}^2) \quad (2-2)$$

对于钢材，材料密度为 7.8×10^{-3} (kg/cm³)，代入式 (2-2)，有

$$J = 0.78 D^4 L \times 10^{-3} \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}^2) \quad (2-3)$$

式中： M_C 为圆柱体质量 (kg)； D 为圆柱体直径 (cm)； L 为圆柱体长度 (cm)。

电机转子转动惯量 J_D 可由资料查出。

二、齿轮转动惯量折算

1. 一对齿轮传动

小齿轮装在电机轴上转动惯量不用折算，为 J_1 。大齿轮转动惯量 J_2 折算到电机轴上为

$$\frac{J_2}{i^2} = J_2 \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^2 \quad (2-4)$$

2. 二对齿轮传动

传动总速比 $i = i_1 i_2$ ，二级分速比为 $i_1 = z_2/z_1$ 和 $i_2 = z_4/z_3$ 。于是，齿轮 1 的转动惯量为 J_1 。齿轮 2 和 3 装在中间轴上，其转动惯量要分别折算到电机轴上，分别为 $J_2 (z_1/z_2)^2$ 和 $J_3 (z_1/z_2)^2$ 。齿轮 4 的转动惯量要进行二次折算或以总速比折算为

$$\frac{J_4}{i^2} = J_4 \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^2 \left(\frac{z_3}{z_4} \right)^2 \quad (2-5)$$

因此，可以得到这样结论：在电机轴上的传动部件转动惯量不必折算，在其他轴上的传动部件转动惯量折算时除以该轴与电机轴之间的总传动比平方。

三、滚珠丝杠转动惯量 J_s 折算

按上述结论进行，滚珠丝杠转动惯量 J_s 折算到电机轴上为： J_s/i^2 ， i 为丝杠与电机轴之间的总传动比。

四、工作台质量折算

工作台是移动部件，其移动质量折算到滚珠丝杠轴（图 2-2）上的转动惯量 J_G 可按下式进行

$$J_G = \left(\frac{L_0}{2\pi} \right)^2 M \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}^2) \quad (2-6)$$

式中： L_0 为丝杠导程（cm）； M 为工作台质量（kg）。

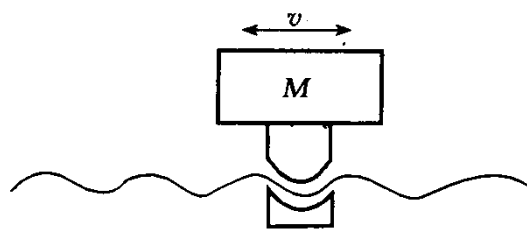


图 2-2 移动工作台质量折算

五、传动系统等效转动惯量计算

1. 一对齿轮减速传动（图 2-3）

$$J_{\Sigma} = J_D + J_1 + \left[J_2 + J_s + \left(\frac{L_0}{2\pi} \right)^2 M \right] \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^2 \quad (\text{kg} \cdot \text{cm}^2) \quad (2-7)$$

式中： J_{Σ} 为传动系统等效转动惯量； J_D 为电机转子的转动惯量。

2. 二对齿轮减速传动（图 2-4）

$$J_{\Sigma} = J_D + J_1 + (J_2 + J_3) \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^2 + \left[J_4 + J_s + \left(\frac{L_0}{2\pi} \right)^2 M \right] \left(\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} \right)^2 \quad (2-8)$$

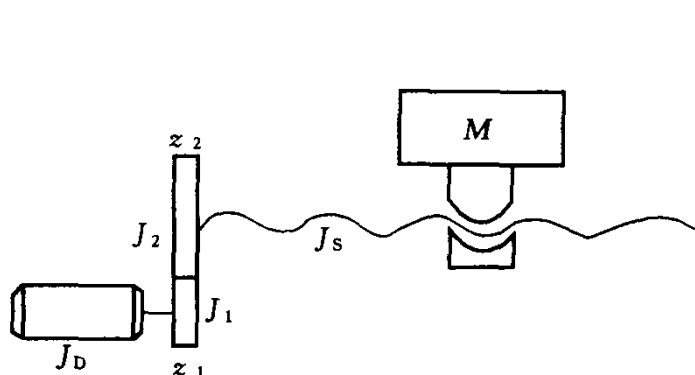


图 2-3 一对齿轮副减速

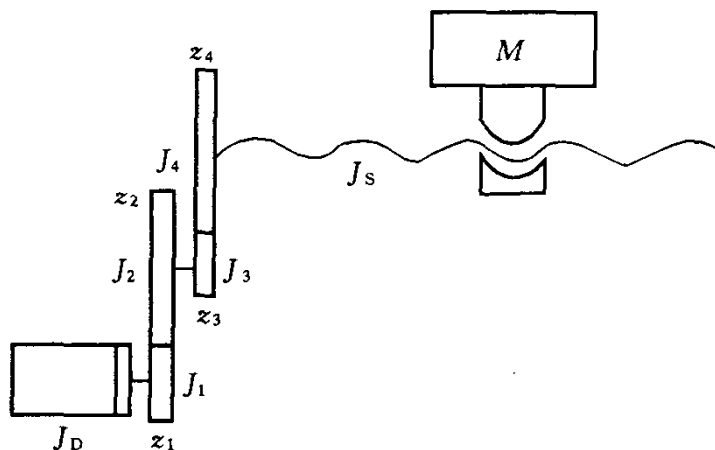


图 2-4 二对齿轮副减速

第三节 工作载荷分析及计算

一、车 削

1. 车削抗力分析

车削外圆时的切削抗力 F_x , F_y 及 F_z 如图 2-5 所示。主切削力 F_z 与切削速度 v 的方向一致, 垂直向下, 是计算车床主轴电机切削功率的主要依据。切深抗力 F_y 与纵向进给方向垂直, 影响加工精度或已加工表面质量。进给抗力 F_x 与进给方向平行且相反指向, 设计或校核进给系统时要用到它。

2. 拖板工作载荷的计算

由于 F_x 与 F_y 所消耗的切削功率可以略而不计, 因此车床的切削功率 P_m 为

$$P_m = F_z v \times 10^{-3} \text{ (kW)}$$

式中: F_z 和 v 的单位分别为 N 和 m/s。

考虑到机床的传动效率, 机床的电机功率 P_E 为

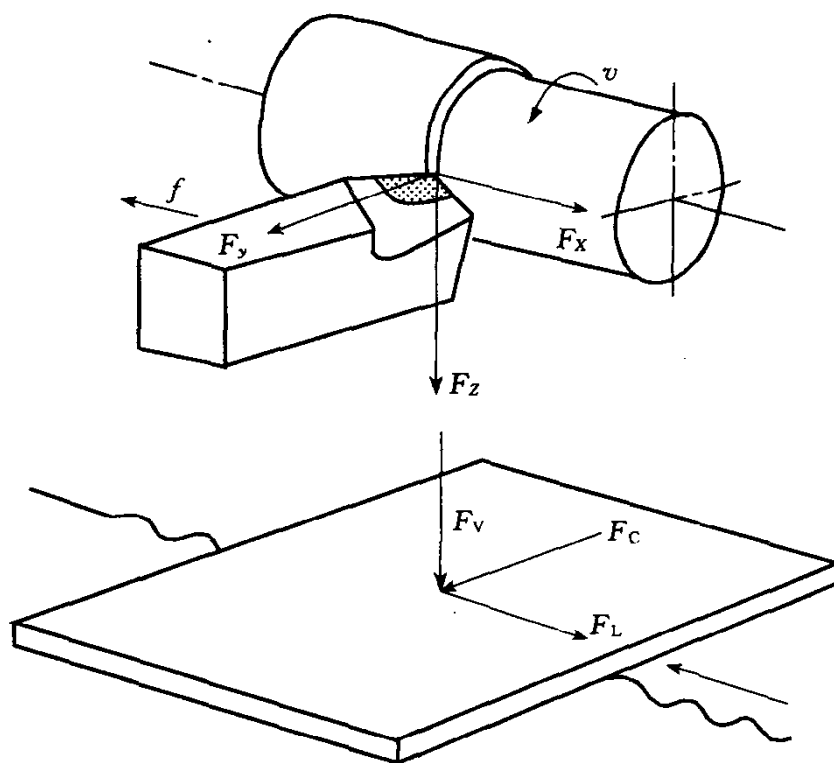


图 2-5 车削时进给拖板上的载荷

$$P_E \geq \frac{P_m}{\eta_m} = \frac{F_z v \times 10^{-3}}{\eta_m} \text{ (kW)} \quad (2-9)$$

式中: η_m 为机床主传动系统传动效率, 一般取 0.75~0.85。

因此, 主切削力 F_z 的大小可以按机床主电机功率计算

$$F_z = \frac{P_E \eta_m}{v} \times 10^3 \text{ (N)} \quad (2-10)$$

式中: v 可取主轴传递全部功率时的最低切削速度 (m/s)。

进给抗力 F_x 和切深抗力 F_y 可按下列比例分别求出

$$F_z : F_x : F_y = 1 : 0.25 : 0.4 \quad (2-11)$$

因为车刀装夹在拖板上的刀架内, 车刀受到的车削抗力将传递到进给拖板和导轨上。如图 2-5 所示, 车削作业时作用在进给拖板上的载荷 F_L , F_v 和 F_c 与车刀所受到的车削抗力有对应关系。因此, 作用在进给拖板上的载荷可以按下式求出

$$\begin{aligned} \text{拖板上进给方向载荷} \quad F_L &= F_x \\ \text{拖板上垂直方向载荷} \quad F_v &= F_z \\ \text{拖板上横向载荷} \quad F_c &= F_y \end{aligned} \quad (2-12)$$

二、铣 削

1. 铣削抗力分析

铣削运动的特征为主运动为铣刀绕自身轴线高速回转, 进给运动为工作台带动工件在垂直于铣刀轴线方向缓慢进给 (键槽铣刀可沿轴线进给)。铣刀的类型很多, 但以圆柱铣刀和端铣刀为基本形式。圆柱铣刀和端铣刀的切削部分都可看做车刀刀头的演变, 铣刀的每一个刀齿相当于一把车刀, 它的切削基本规律与车削相似, 所不同的是铣刀回转, 刀齿数多。

通常假定铣削时铣刀受到的铣削抗力是作用在刀齿的某点上, 如图 2-6 所示。设刀齿上受到切削抗力的合力为 F , 将 F 沿铣刀轴线、径向和切向进行分解, 则分别为轴向铣削力 F_x , 径向铣削力 F_y 和切向铣削力 F_z 。切向铣削力 F_z 是沿铣刀主运动方向的分力, 它消耗铣床主电机功率 (即铣削功率) 最多。因此, 切向铣削力可按铣削功率 P_m (kW) 或主电机功率 P_E (kW) 算出

$$F_z = \frac{P_m}{v} \times 10^3 \text{ (N)}$$

或

$$F_z = \frac{P_E \eta_m}{v} \times 10^3 \text{ (N)} \quad (2-13)$$

式中: v 为主轴传递全部功率时最低切削速度 (m/s); η_m 为机床主传动系统传动效率。

2. 进给工作台工作载荷计算

作用在进给工作台上的合力 F' 与铣刀刀齿上受到的铣削抗力的合力 F 大小相同, 方向相反, 如图 2-6 所示。合力 F' 就是设计和校核工作台进给系统时要考虑的工作载荷, 它可以沿着铣床工作台运动方向分解为三个力: 工作台纵向进给方向载荷 F_L , 工

工作台横向进给方向载荷 F_c 和工作台垂直进给方向载荷 F_v 。

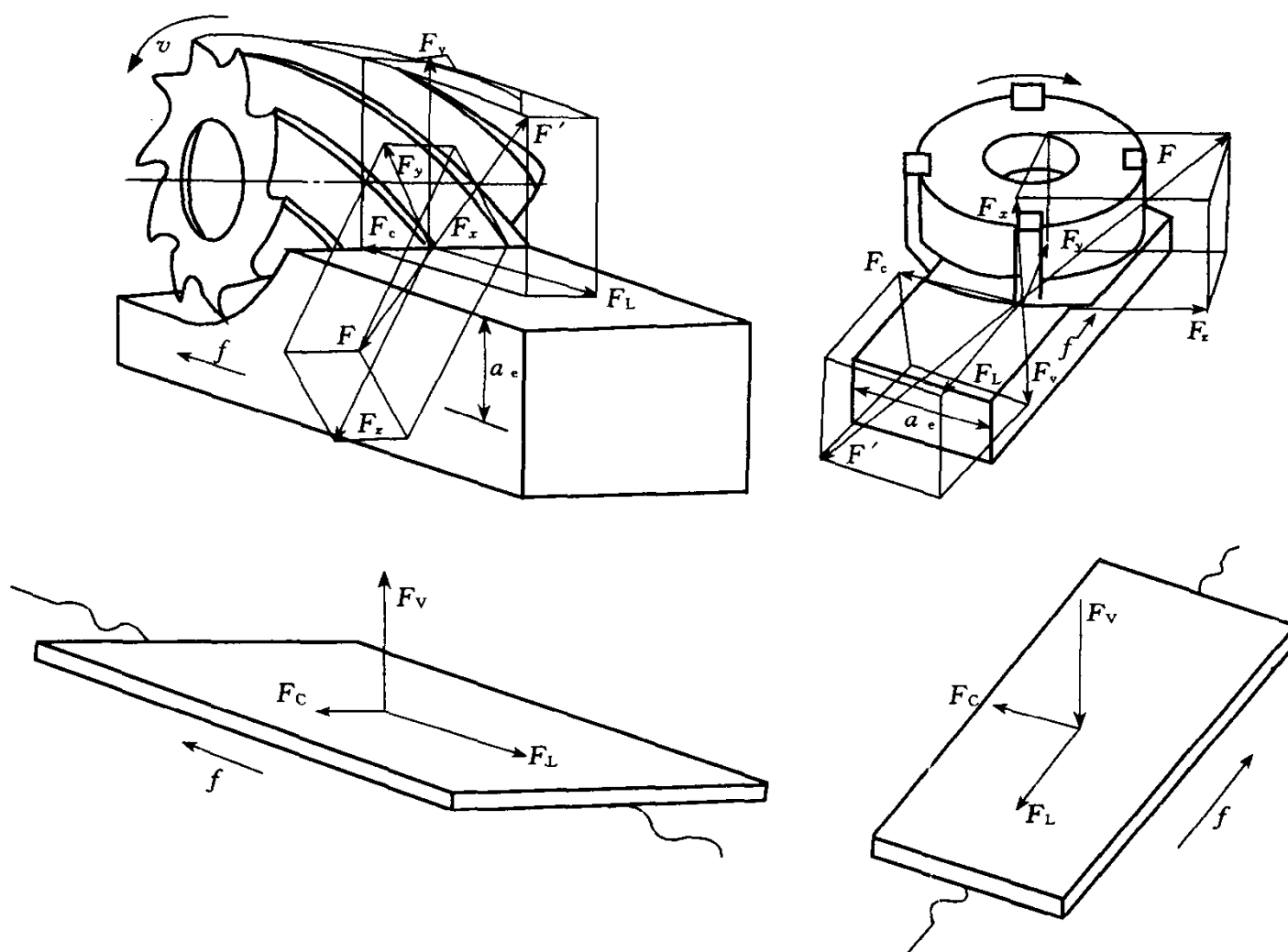


图 2-6 铣削力及工作台上的载荷

工作台工作载荷 F_L , F_c 和 F_v 与铣刀的切向铣削力 F_z 之间有一定的经验比值 (见表 2-1)。因此, 求出 F_z 后, 即可计算出进给工作台的工作载荷 F_L , F_c 和 F_v 。

表 2-1 工作台载荷与切向铣削力的经验比值

铣削条件	比值	对称端铣	不对称铣削	
			逆铣	顺铣
端铣: $a_e = (0.4 \sim 0.8)d_0$, $a_f = (0.1 \sim 0.2)$ 时	F_L/F_z	0.3~0.4	0.60~0.90	0.15~0.30
	F_v/F_z	0.85~0.95	0.45~0.70	0.90~1.0
	F_c/F_z	0.50~0.55	0.50~0.55	0.50~0.55
圆柱铣、立铣、盘铣和成型铣: $a_e = 0.05d_0$, $a_f = (0.1 \sim 0.2)$ 时	F_L/F_z		1.00~1.20	0.80~0.90
	F_v/F_z		0.20~0.30	0.75~0.80
	F_c/F_z		0.35~0.40	0.35~0.40

表 2-1 中 a_e 表示铣削用量要素之一铣削宽度, 它是垂直于铣刀轴线测量的切削层尺寸 (mm)。从图 2-6 可知, 圆柱铣削时 a_e 为待加工表面和已加工表面间的垂直距离; 端铣时 a_e 恰为工件宽度, 不是待加工表面和已加工表面间的垂直距离。表 2-1 中, d_0 表示圆柱铣刀直径或端铣刀直径 (mm)。

表 2-1 中 a_f 表示每齿进给量 (mm/齿), 即铣刀每转一个齿间角时, 工件与铣刀

的相对移动量。每齿进给量 a_f 、每转进给量 f (mm/r) 和工作台进给速度 v_f 三者之间的关系为

$$v_f = a_f z n \quad (\text{mm/min}) \quad (2-14)$$

式中： z 为铣刀齿数； n 为铣刀转速 (r/min)。

图 2-7 (a) 表示圆柱铣的顺铣和逆铣的不同方式。顺铣时纵向进给方向载荷 F_L 与进给方向一致，垂直进给方向载荷 F_V 向下；逆铣时反之。

图 2-7 (b) 表示对称端铣和不对称端铣。不对称端铣有逆铣和顺铣之分。

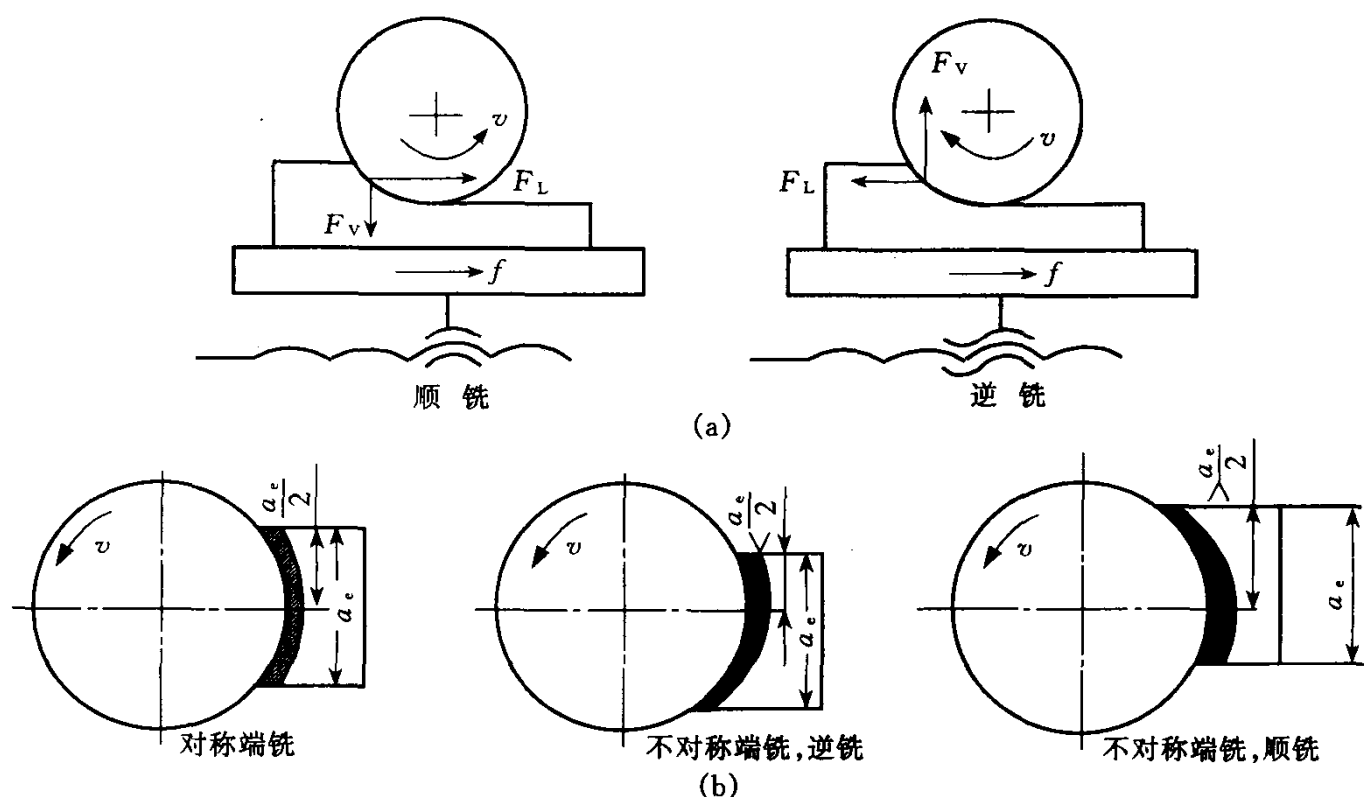


图 2-7 顺铣与逆铣

(a) 圆柱铣；(b) 端铣

三、钻 削

普通麻花钻每一切削刃都产生切向切削抗力 F_z 、径向切削抗力 F_y 与轴向切削抗力 F_x 。当左、右切削刃对称时，径向抗力 F_y 相互平衡。切向抗力 F_z 形成钻削扭矩 M (N·m)，它消耗了切削功率 P_m 。所有切削刃上轴向抗力 F_x 之和形成了钻头上的轴向力 $F = \sum F_x$ (图 2-8)。

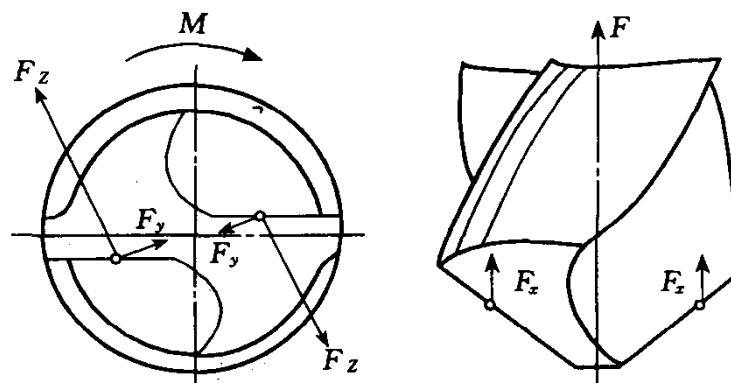


图 2-8 钻削力

钻削时安装工件的工作台是静止的，不作纵、横向进给运动，因此钻削时工作台载荷主要是垂直进给方向载荷 F_v ，其大小与钻削轴向力 F 相同，方向相反。当钻削工作台不作垂直进给时， F_v 是工作台的静压垂直载荷；当工作台作垂直进给时， F_v 是工作

台垂直进给力。

高速钢钻头钻孔时的轴向力 F 值可从表 2-2 中查到。

表 2-2 高速钢钻头钻孔时的轴向力

钢 $\sigma_b=0.537\text{ GPa}$												
钻头直径 d_0/mm	进 给 量 $f/(\text{mm/r})$											
	0.10	0.13	0.17	0.22	0.28	0.36	0.47	0.60	0.78	1.0	1.3	1.7
	轴 向 力						F/N					
10.2	1 240	1 480	1 770	2 120	2 520	3 000	3 580	4 280	—	—	—	—
12	1 480	1 770	2 120	2 520	3 000	3 580	4 280	5 120	6 090	—	—	—
14.5	1 770	2 120	2 520	3 000	3 580	4 280	5 120	6 090	7 330	8 740	—	—
17.5	2 120	2 520	3 000	3 580	4 280	5 120	6 090	7 330	8 740	10 420	—	—
21	2 520	3 000	3 580	4 280	5 120	6 090	7 330	8 740	10 420	12 360	—	—
25	3 000	3 580	4 280	5 120	6 090	7 330	8 740	10 420	12 360	14 830	—	—
30	3 580	4 280	5 120	6 090	7 330	8 740	10 420	12 360	14 830	17 660	21 190	25 160
35	4 280	5 120	6 090	7 330	8 740	10 420	12 360	14 830	17 660	21 190	25 160	30 020
42	—	6 090	7 330	8 740	10 420	12 360	14 830	17 660	21 190	25 160	30 020	36 200
50	—	7 330	8 740	10 420	12 360	14 830	17 660	21 190	25 160	30 020	36 200	42 380
60	—	8 740	10 420	12 360	14 830	17 660	21 190	25 160	30 020	36 200	42 380	51 210
灰铸铁 HBS=190; 可锻铸铁 HBS=150												
钻头直径 d_0/mm	进 给 量 $f/(\text{mm/r})$											
	0.17	0.21	0.26	0.33	0.41	0.51	0.64	0.8	1.0	1.3	1.6	2.0
	轴 向 力 F/N											
12	1 230	1 470	1 760	2 110	2 500	2 990	3 580	4 270	—	—	—	—
14.5	1 470	1 760	2 110	2 500	2 900	3 580	4 270	5 100	6 080	—	—	—
17.5	1 760	2 110	2 500	2 900	3 580	4 270	5 100	6 080	7 260	8 630	—	—
21	2 110	2 500	2 900	3 580	4 270	5 100	6 080	7 260	8 630	10 300	—	—
25	2 500	2 900	3 580	4 270	5 100	6 080	7 260	8 630	10 300	12 260	14 720	—
30	2 990	3 580	4 270	5 100	6 080	7 260	8 630	10 300	12 260	14 720	17 560	21 090
35	3 580	4 270	5 100	6 080	7 260	8 630	10 300	12 260	14 720	17 560	21 090	25 020
42	—	—	—	—	8 630	10 300	12 260	14 720	17 560	21 090	25 020	29 920
50	—	—	—	—	—	12 260	14 720	17 560	21 090	25 020	29 920	35 810
60	—	—	—	—	—	14 720	17 560	21 090	25 020	29 920	35 810	42 680

第四节 滚珠丝杠螺母副的选型和校核

一、滚珠丝杠螺母副类型选择

(一) 主要种类

滚珠丝杠螺母副由专门工厂制造，当类别、型号选定和校核后，可以外购。

滚珠丝杠副的类别主要从三个方面考虑：循环方式、循环列数与圈数、预紧方式。

钢珠在丝杠与螺母之间的滚动是一个循环闭路。根据回珠方式，可分为两类：内循环，回珠器处在螺母之内，图 2-9 (a)；外循环，插管式回珠器位于螺母之外，图 2-9 (b)。

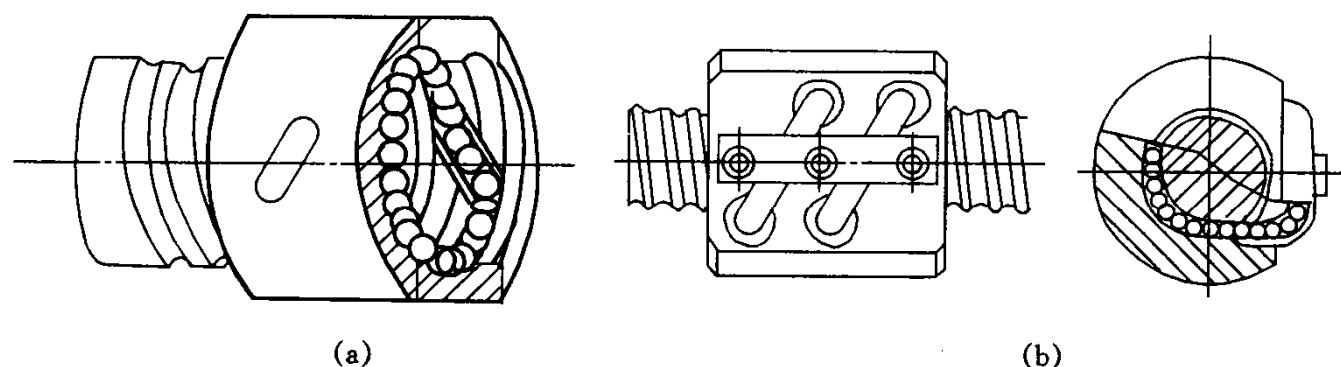


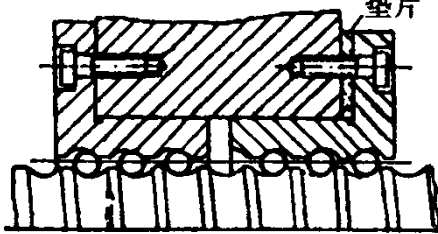
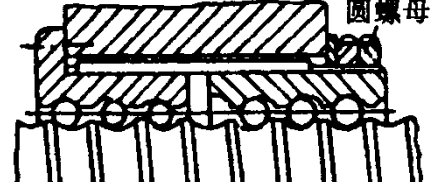
图 2-9 滚珠丝杠副传动原理

(a)内循环；(b)外循环

钢珠每一个循环闭路称为列。每个滚珠循环闭路内所含导程数称为圈数。内循环滚珠丝杠副的每个螺母有 2 列，3 列，4 列，5 列等几种，每列只有一圈。外循环每列有 1.5 圈，2.5 圈，3.5 圈等几种，剩下的半圈作回珠。外循环滚珠丝杠副的每个螺母有 1 列 2.5 圈，1 列 3.5 圈，2 列 1.5 圈，2 列 2.5 圈等，种类较多。

为了消除间隙和提高滚珠丝杠副的刚度，可以预加载荷，使它在过盈的条件下工作，称为预紧。常用的滚珠丝杠副预紧方法有（表 2-3）：双螺母垫片式预紧、双螺母螺纹式预紧、双螺母齿差式预紧等。预紧后的刚度可提高到为无预紧时的 2 倍。但是，预加载荷过大，将使寿命下降和摩擦力矩加大。通常，滚珠丝杠在出厂时，就已经由制造厂调好预加载荷，并且预加载荷往往与丝杠副的额定动载荷有一定的比例关系。

表 2-3 滚珠丝杠副预紧方式

类 别	简 图	调 整 方 法	特 点
垫片式		调整垫片厚度，使螺母产生轴向位移	结构简单，装卸方便，刚度高；但调整不便，滚道有磨损时，不能随时消除间隙和预紧 适用于高刚度重载传动
螺纹式		调整端部的圆螺母，使螺母产生轴向位移	结构紧凑，工作可靠，调整方便；但准确性差，且易于松动 用于刚度要求不高或需随时调节预紧力的传动