

机械类

高级技工学校统编教材 高级工培训教材

机械制造工艺与装备



 中国劳动社会保障出版社

机械类

7H16-45

6

高级技工学校统编教材
高级工培训教材

531 / 535

机械制造工艺与装备

高级技工学校机械类教材编审委员会组织编写

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国劳动社会保障出版社

类社林

林社类社类学工社类高
林社类社类学工社类高

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造工艺与装备/闫世才, 安平编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 1999.5
高级技工学校机械类统编教材

ISBN 7-5045-2498-0

I. 机…

II. ①闫… ②安…

III. ①机械制造工艺-技术学校-教材 ②机械设备-技术学校-教材

IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 04157 号

机械制造工艺与装备

高级技工学校机械类教材编审委员会组织编写

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029)

责任编辑: 王绍林

*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 19.25印张 477千字

1999年5月北京第1版 2006年7月北京第12次印刷

定价: 28.00元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

目 录

绪 论	(1)
第一章 机床传动的基本知识	(3)
§ 1.1 机床的运动	(3)
§ 1.2 机床的传动形式	(5)
§ 1.3 机床的传动系统	(5)
§ 1.4 机床运动的调整计算	(13)
§ 1.5 机床的技术性能	(15)
思考题	(16)
第二章 机械加工精度	(18)
§ 2.1 加工精度的基本概念	(18)
§ 2.2 影响加工精度的因素及其分析	(19)
§ 2.3 提高加工精度的工艺措施	(34)
§ 2.4 加工误差的综合分析	(37)
思考题	(46)
第三章 机械加工表面质量	(47)
§ 3.1 概述	(47)
§ 3.2 影响表面粗糙度的工艺因素	(48)
§ 3.3 影响表面层物理力学性能的因素	(52)
§ 3.4 表面质量对零件使用性能的影响	(54)
§ 3.5 机械加工中的振动简述	(57)
思考题	(62)
第四章 机床夹具基础	(63)
§ 4.1 机床夹具概论	(63)
§ 4.2 工件在夹具中的定位	(65)
§ 4.3 工件的夹紧与分度	(75)
§ 4.4 机床夹具的安装	(85)
思考题	(88)
第五章 机械加工工艺流程的制订	(90)
§ 5.1 生产过程的基本概念	(90)
§ 5.2 工艺流程的制订	(94)
思考题	(114)
第六章 车床和车削加工	(115)

§ 6.1	车床概述	(115)
§ 6.2	车削刀具	(122)
§ 6.3	车床夹具	(129)
§ 6.4	车削加工	(132)
§ 6.5	车削工艺特点与加工实例	(140)
	思考题	(141)
第七章	钻床和钻削加工	(143)
§ 7.1	钻床概述	(143)
§ 7.2	钻削刀具	(146)
§ 7.3	钻床夹具	(154)
§ 7.4	钻削加工	(159)
	思考题	(162)
第八章	镗床和镗削加工	(163)
§ 8.1	镗床概述	(163)
§ 8.2	镗削刀具	(169)
§ 8.3	镗床夹具	(170)
§ 8.4	镗削加工	(175)
	思考题	(178)
第九章	铣床和铣削加工	(179)
§ 9.1	铣床概述	(179)
§ 9.2	铣削刀具	(188)
§ 9.3	铣床夹具	(193)
§ 9.4	铣削加工	(196)
§ 9.5	铣削工艺特点与加工实例	(203)
	思考题	(206)
第十章	磨床和磨削加工	(208)
§ 10.1	磨床概述	(208)
§ 10.2	磨具	(217)
§ 10.3	磨床夹具	(221)
§ 10.4	磨削加工	(224)
§ 10.5	光整加工	(228)
§ 10.6	磨削工艺特点与加工实例	(231)
	思考题	(233)
第十一章	齿轮加工机床和齿轮加工	(234)
§ 11.1	齿轮加工机床	(234)
§ 11.2	齿轮加工刀具	(240)
§ 11.3	齿轮加工方法	(242)
§ 11.4	圆柱齿轮加工工艺过程	(246)

思考题.....	(251)
第十二章 典型零件工艺分析.....	(252)
§ 12.1 轴类零件加工工艺	(252)
§ 12.2 套筒类零件加工工艺.....	(257)
§ 12.3 箱体类零件加工工艺.....	(262)
§ 12.4 丝杠加工工艺.....	(267)
思考题.....	(271)
第十三章 复杂零件加工.....	(272)
§ 13.1 曲轴零件加工	(272)
§ 13.2 深孔加工.....	(275)
§ 13.3 细长轴加工.....	(278)
§ 13.4 连杆加工.....	(279)
思考题.....	(281)
第十四章 机械装配工艺.....	(282)
§ 14.1 机械产品的装配工艺和装配精度	(282)
§ 14.2 装配尺寸链.....	(284)
§ 14.3 保证装配精度的方法.....	(289)
§ 14.4 装配的生产类型和组织形式.....	(293)
§ 14.5 装配工艺规程的制订.....	(294)
思考题.....	(298)

在 CAD/CAM) 为代表的计算机辅助生产系统的广泛应用, 使机械化和机械加工技术得到了发展。加工精度已接近极限, 即加工到小于 $1\mu\text{m}$, 已接近目前国际先进水平 ($0.4\mu\text{m}$)。加工速度由 20 世纪 60 年代的 $10\text{m}/\text{min}$ 提高到目前加工精度要求, 达 0.001mm 的超精密加工。加工单位耗功率可减小到 $1/10$ 。

机械加工工艺学是“制造技术”专业的一门主干专业课, 通过对本课程的学习, 使学生掌握“制造技术”专业知识和“制造技术”专业英语等知识, 并能对制造技术进行分析和解决工程问题的能力及创新能力。本课程的教学内容, 包括: 刀具、夹具、量具、量规、工艺规程等知识。

本课程的教学设计是符合现代机械加工工艺学的发展, 本课程的教学内容, 包括: 刀具、夹具、量具、量规、工艺规程等知识, 并能对制造技术进行分析和解决工程问题的能力及创新能力。本课程的教学内容, 包括: 刀具、夹具、量具、量规、工艺规程等知识。

本课程的教学设计是符合现代机械加工工艺学的发展, 本课程的教学内容, 包括: 刀具、夹具、量具、量规、工艺规程等知识, 并能对制造技术进行分析和解决工程问题的能力及创新能力。本课程的教学内容, 包括: 刀具、夹具、量具、量规、工艺规程等知识。

绪 论

不论是传统产业，还是新兴产业，都离不开各种各样的机械装备。机械制造业提供的装备水平对国民经济各部门的技术进步，有很大的影响。机械制造业的规模和水平是反映国民经济实力和科学技术水平的重要标志。因而，世界许多国家都把发展机械制造业作为振兴和发展本国经济的战略重点之一。

近代科学技术的高度发展，对各种机械设备的使用性能和制造精度要求越来越高。采用何种加工方式将各种材料制造成符合机械设备使用要求的零件，一直是机械工程界探索的课题。在这个探索过程中，不仅上述各类零件成型方式的技术水平会不断提高，操作工艺会逐渐完善，生产成本会进一步降低，而且更科学、更先进的零件加工方法也将不断涌现和推广。数控（NC）机床的出现，使机械制造业有了突破进展。加工中心（Machining Center）、柔性制造系统（FMS—Flexible Manufacturing System）、计算机集成制造系统（CIMS—Computer Integrated Manufacturing System）等的应用，不仅提高了机械制造业的生产率，而且也保证了产品质量，降低了生产成本。同时，由于计算机辅助编制工艺规程（CAPP—Computer Aided Process Planning）的推广，从根本上改变了依赖于个人经验、人工编制工艺规程的落后状况，促进了工艺过程的标准化和最优化，提高了工艺设计质量。以计算机辅助设计和计算机辅助制造（CAD/CAM）为代表的计算机自动化生产系统的广泛应用，使自动化和精密加工技术高度发展，加工精度已接近极限，即加工误差小于 1 nm ，已接近材料的原子晶格间距（ $0.2\sim 0.4\text{ nm}$ ）。加工精度由20世纪初的 $10\text{ }\mu\text{m}$ 提高到目前加工精度要求，达到 $0.001\text{ }\mu\text{m}$ 即纳米（nm）级。加工单位将以原子或分子计。

机械加工工艺学是“机械制造”专业的一门主要专业课。通过本课程的教学过程（如课堂理论教学、现场教学、实验和习题等）及有关教学环节（如生产实习和课程设计等）的配合，使学生初步具有分析和解决工艺问题的能力，及正确选择、设计机械加工中所用的常见机床、刀具、夹具类的工艺装备等的能力。

工艺装备的选择或设计是否合理，对零件加工的精度、表面质量、制造成本和生产率等至关重要。对于一些几何形状复杂、精度很高，或者二者兼而有之的零件，如果不使用专门的工艺装备，根本就无法加工，或者能加工出来，生产效率也是极低的。而工艺装备设计如果比较合理和先进，就能在保证加工精度和表面粗糙度的同时，还获得高的生产率。

研究开发优质高效加工工艺与装备，为新一代产品形成经济规模生产提供新工艺、新装备，就要加强基础技术研究，积极消化掌握引进技术，抓好技术储备，提高自主开发能力。工艺水平包括工艺技术水平、装备水平、检测水平、操作水平和工艺管理水平。对机械工业来讲，“工艺上水平”最核心的是装备（包括检测装备）上水平。因为工艺技术最终体现在装备上，高水平的技术装备还可以促进工艺管理水平的提高。这就进一步要求各级企业领导者、各类工程技术人员都要克服“重产品设计，轻制造工艺”的传统观念，重视工艺人员的作用；还

要造就一支数量庞大的高级技术工人队伍，因为许多企业的技术诀窍，往往为高级技工所拥有，他们真正掌握着公司的技术要害，只有发挥他们的作用，才能使企业产品的质量有所保证。

机械制造工艺中的经济性是与质量、生产率有密切联系的一个综合性指标。在给定的生产对象和技术要求的条件下，选择什么工艺方法和什么工艺装备来生产，就需要通过经济分析和经济论证加以确定。为了提高产品的制造质量或者提高劳动生产率而采用某种新的工艺方法和措施时，还必须考察其所获得的经济效果如何。

质量、生产率和经济性三者具有辩证关系，在解决某一具体的工艺技术问题时，需要全面地加以考虑。

当今，机械制造工艺学远没有达到完美的境地，许多工艺规律需要我们去探索，许多理论空白需要我们去填补，许多新的工艺方法需要我们去研究与开发。现代科学理论的发展，控制论、系统论、优化法的不断完善与推广应用，给机械制造业的发展开辟了广阔的前景。如何将现代科学理论的成果、现代技术的发展与机械制造结合起来，使机械制造工艺学朝着更加科学化、系统化方向发展，是摆在每一个机械制造工程技术人员面前的一个很值得研究的课题。

第一章 机床传动的基本知识

§ 1.1 机床的运动

机床的运动是指金属切削机床上的各种运动及其相互联系。各种类型的机床，为了进行切削加工以获得所需的具有一定几何形状、一定精度和一定表面质量的工件，必须使刀具和工件完成一系列运动。以车床上车削圆柱面为例（图 1.1），在装夹好工件后，开车使工件旋转，首先需将车刀趋近工件（运动 I 和 II）；其次，为了得到图样所要求的尺寸 d ，还需车刀切入工件至适当深度（运动 III）；然后由工件旋转（运动 v_c ）和车刀纵向直线移动（运动 IV）车削出圆柱面；当达到所需的长度尺寸 L 时，车刀径向退离工件（运动 V），并纵向移动退回至起始位置（运动 VI）。

机床在加工过程中所完成的各种运动，按其功用可分为表面成形运动和辅助运动两类。

一、表面成形运动

在切削加工过程中，装夹在机床上的刀具和工件按一定的规律作相对运动，通过刀具的刀刃对工件毛坯的切削作用，把毛坯上多余的金属切除，从而得到所要求的表面形状。常见工件表面有：平面、圆柱面、球面、圆环面、螺旋面和成型面（如螺纹、渐开线、摆线表面）等。图 1.2 所示为机器零件上常用的各种表面。

表面成形运动（简称成型运动）是保证得到工件要求的表面形状的运动。例如：图 1.1 中工件的旋转运动 v_c 和车刀的纵向进给运动 IV，是形成圆柱面的成形运动。表面成形运动是机床最基本的运动，对被加工表面的精度和表面质量都有直接的影响。

表面成形运动分为简单成形运动和复合成形运动两类。简单成形运动指旋转运动和直线运动。在机床上，它以主轴的旋转，刀架（或工作台）的直线运动的形式出现。图 1.1 所示的成形运动为简单成形运动。简单成形运动之间是互相独立的，没有严格的相对运动关系，比如，主轴旋转的快慢，刀架移动的快慢，只对切削加工的生产率和表面质量有影响，而对零

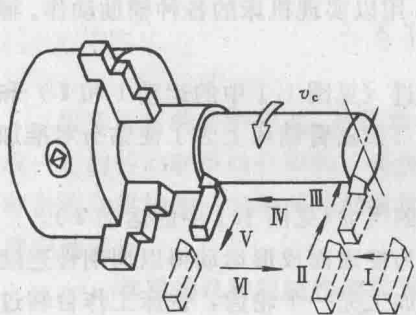


图 1.1 车削圆柱面过程中的运动

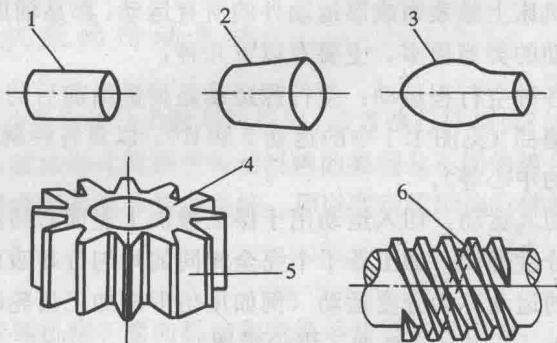


图 1.2 机械零件上常见的各种表面

1—圆柱面 2—圆锥面 3、5、6—成型面 4—平面

件几何精度无影响，因而可独立地调整各个运动的速度。

复合成形运动中主轴的旋转运动与刀架(或工作台)的直线运动之间保持着严格的相对运动关系。图 1.3 所示为用螺纹车刀切削螺纹。螺纹车刀是成型车刀，形成螺旋面可由工件的等速旋转运动 v_c 和刀具的等速直线运动 f 复合而成，为了得到一定导程的螺旋线，其旋转运动和直线运动保持严格的相对运动关系，即工件每转 1 周的时间内，刀具纵向移动的距离必须等于一个被加工螺纹的导程。类似的复合成形运动还有展成加工齿轮、车圆锥螺纹等。

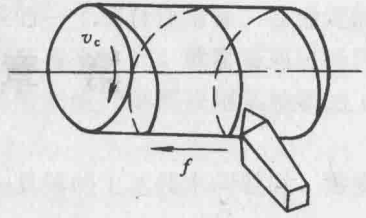


图 1.3 加工螺纹时的运动

由复合成形运动分解成的各个部分运动，虽然都是旋转或直线运动，与简单运动相似，但本质是不同的。复合成形运动各部分运动之间保持着严格的相对运动关系，是相互依存的，而不是独立的。所以复合成形运动是一个运动，而不是两个或两个以上的简单运动。

成形运动按其在切削加工中所起的作用，又可分为主运动和进给运动。

主运动：使刀具切除工件上的切削层，使其转变为切屑，从而形成工件新表面的主要运动。例如，车床主轴带动工件的旋转；钻、镗、铣及磨床主轴带动刀具的旋转；牛头刨床和插床的滑枕带动刨刀运动等。

进给运动：不断地把切削层投入切削，以逐渐切出整个工件表面的运动。例如，车床切削圆柱表面时，刀架带动车刀的连续纵向运动；在铣床上加工平面时，随着铣刀的旋转，工作台带动工件横向移动等。图 1.4 所示主运动用 v_c 表示，进给运动用 f 表示。

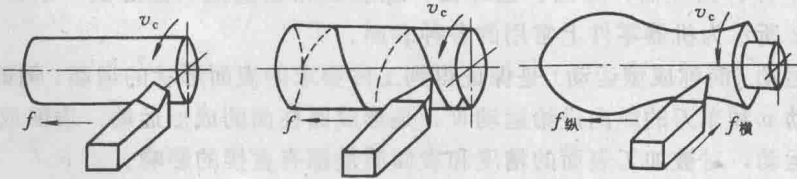


图 1.4 常见的几种工件表面成形运动

在表面成形运动中，必须有而且只有一个主运动。进给运动则可能是一个或几个，也可能没有。

二、辅助运动

机床上除表面成形运动外的所有运动，都是辅助运动，用以实现机床的各种辅助动作。辅助运动的类型很多，主要有以下几种：

各种空行程运动：空行程运动是指进给前后的快速驱进（见图 1.1 中的运动 I 和 II）和快速退回（见图 1.1 中的运动 V 和 VI），以及各种调整运动（如摇臂钻床上为了使钻头对准加工孔的中心等）。

切入运动：切入运动用于保证被加工表面获得所需要的尺寸（见图 1.1 中的运动 III）。

分度运动：加工若干个完全相同的均匀分布表面时，为使表面成形运动得以周期性连续进行的运动称为分度运动（例如用仿形法加工齿轮时，每加工完一个轮齿，铣床工作台转过 $360^\circ/z$ ，其中 z 为被加工齿轮齿数）。

操纵及控制运动：包括启动、停止、变速、换向，以及部件与工件的夹紧和松开、转位和自动换刀、自动测量、自动补偿等操纵控制运动。

§ 1.2 机床的传动形式

为了实现加工过程中所需的各种运动，机床必须具备以下 3 个基本部分：

一、执行件

执行机床运动的部件，如主轴、刀架以及工作台等，其任务是带动工件或刀具完成一定形式的运动（旋转或直线运动）和保持准确的运动轨迹。执行件是传动的末端。

二、动力源

提供运动和动力的装置，是执行件的运动来源。普通机床一般都用三相异步电动机作动力源，现代数控机床的动力源采用直流或交流调速电机和伺服电机。

三、传动装置

传递动力和运动的装置，通过它把动力源的动力和运动传递给执行件。通常，传动装置还包括改变传动比、改变运动方向和改变运动形式（从转动到摆动或移动等），从而使执行件获得所需要的运动速度、方向和运动形式。

通常采用的传动装置按照传动所采用的装置或工作介质的不同，可分为：机械传动、电气传动、气压传动和液压传动等多种传动形式。

机械传动形式常用带、链、齿轮、蜗杆蜗轮和丝杠螺母传动等。这种传动结构简单、可靠，传动比较为准确，实现定传动比较为方便，应用广泛。

电气传动应用电能通过电气装置传递运动和动力。这种传动形式的电气系统比较复杂，成本较高，主要用于大型和重型机床，如龙门刨床、重型镗床等。

气压传动应用空气作介质，通过气动元件传递动力和运动。这种传动形式动作迅速，易于实现自动化，但运动不易稳定，驱动力较小，主要用于机床的某些辅助动作（如夹紧工件等）及小型机床的进给运动中。

液压传动以油液作为工作介质，依靠液体在密封容积变化中的压力能实现运动和动力的传递。这种传动结构简单、运动平稳、操作方便、易于实现自动化和无级变速，在机床中得到广泛应用，但液压故障一般不易排除。

根据机床的工作特点不同，可采用以上几种传动装置的组合应用。传动装置把执行件和动力源或者把有关的执行件联系起来，构成一定的传动系统。

§ 1.3 机床的传动系统

机床所需的各种传动，是依靠各种传动机构使动力源与执行件，或者执行件与执行件，构成一定的传动联系而获得的。而执行件的运动形式取决于传动机构的类型及不同的组合，这种由传动机构按一定的关系形成的确定组合就是机床传动系统，用以实现机床执行件的各种确定的运动。

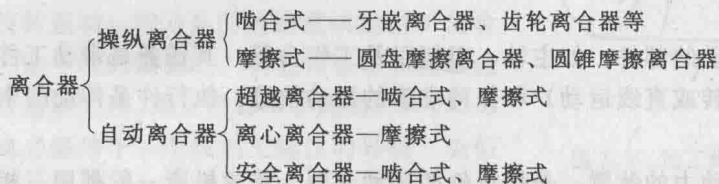
一、常用的几种机械传动装置

常用的机械传动装置有：离合器、变速机构、换向机构和变换运动形式机构等。

1. 离合器

离合器是机械传动中常用的部件，它的主要功用是联接轴与轴或其他回转零件，以传递

运动和转矩,有时也可作安全装置。离合器在机器运转过程中可随时将两轴接合和分离,从而达到操纵机器传动系统的转动与否,以便进行变速及换向等。离合器的类型很多,其中大多已标准化,可参考有关手册,根据工作要求选择合适的类型。下面主要介绍几种常用的离合器:



从上面的类型中可知,不论是操纵离合器还是自动离合器,其接合元件可分为啮合式和摩擦式两大类。啮合式离合器利用接合元件间的啮合来传递转矩;摩擦式离合器则利用接合元件工作表面间的摩擦力来传递转矩。

下面分别介绍操纵离合器中常用的牙嵌离合器、圆盘摩擦离合器。

(1) 牙嵌离合器 由两个端面带牙的套筒组成(图 1.5),套筒 1 紧配合在轴上,而套筒 2 可以沿导向平键 5 在另一根轴上移动。利用操纵杆移动滑环 4,可使两个套筒接合或分离。为避免滑环的过量磨损,可动的套筒应装在从动轴上。为便于两轴对中,在套筒 2 中装有对中环 3,从动轴端可在对中环中自由转动。牙嵌离合器结构简单,外廓尺寸小,能传递较大的转矩,故应用较多。但牙嵌离合器只宜在两轴静止时或转速差很小时进行接合,否则牙齿可能会因受撞击而折断。

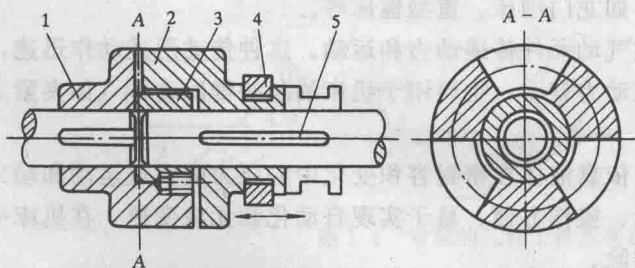


图 1.5 牙嵌离合器

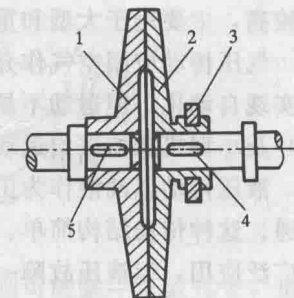


图 1.6 单片圆盘摩擦离合器

(2) 圆盘摩擦离合器 有单片式和多片式两种。

1) 单片圆盘摩擦离合器由两个半离合器 1、2 和拨叉 3 组成(图 1.6)。半离合器 1 与主动轴通过平键 5 相联,半离合器 2 与从动轴通过导向平键 4 相联,它可沿从动轴作轴向移动。单片圆盘摩擦离合器结构简单、散热性好,但传递的转矩较小。

2) 多片圆盘摩擦离合器由两组摩擦片和一些辅助件组成(图 1.7a)。外摩擦片 4(图 1.7b)利用外圆上的外齿插入主动轴 1 上的外鼓轮 2 内缘的纵向槽中,外摩擦片组的孔壁则不与从动轴相联接,故外摩擦片组只随主动轴一起转动,并在轴向力推动下可沿轴向移动;内摩擦片 5(图 1.7c)利用内圆上的凹槽与从动轴 9 上的内套筒 10 上的凸齿相配合,内摩擦片组的外缘不与任何其他零件接触,故其可与从动轴一起转动,也可在轴向力推动下沿轴向移动。当滑环 8 在操纵系统控制下作轴向移动时,将拨动曲臂压杆 7,使压板 3 压紧或松开内外摩擦片组,从而使离合器接合或分离。圆螺母 6 是用来调节内外摩擦片组间隙大小。若将内

摩擦片改为碟形(图 1.7d), 离合器分离时摩擦片便自行弹开, 接合时也比较平稳。多片摩擦离合器比单片摩擦离合器传递转矩的能力大得多。

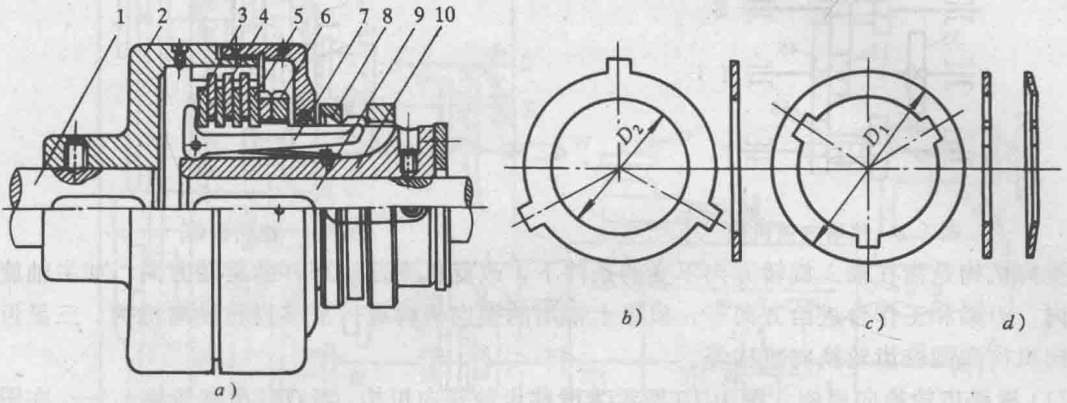


图 1.7 多片圆盘摩擦离合器

摩擦离合器可在运转中接合, 接合过程平稳, 载荷过大时, 接触面间可产生相对滑动, 保护机件不受损坏。但是其传动比不准确, 在接合过程中有磨损和发热, 且尺寸较大, 一般用于转速较高的传动轴上。

操纵离合器的方式有: 机械、气动、液压和电磁等方法。

2. 变速机构

变速机构是指在输入转速不变的条件下, 使从动轮(轴)得到不同转速的传动装置。机床上常用的变速机构有滑移齿轮变速机构、塔轮变速机构、倍增变速机构和拉键变速机构等。但无论哪一种变速机构, 都是通过改变一对齿轮的传动比大小, 来改变从动轮(轴)的转速, 这些变速机构通常称为分级变速机构。

(1) 滑移齿轮变速机构 卧式车床主轴变速箱中有多个滑移齿轮组成的变速机构。图 1.12 所示 I 轴上有一个两联滑移齿轮 z_{38-29} 。当齿轮 z_{38} 与齿轮 z_{42} 啮合时, I 轴和 II 轴间的传动比为 $i_{I-I} = 38/42$, 当滑移齿轮右移至 z_{29} 、与 z_{51} 啮合时, 传动比 $i_{I-I} = 29/51$, 由此可以改变 II 轴的转速。同样, 在 II 轴和 III 轴之间、III 轴和 IV 轴之间均可通过滑移齿轮变速。这种变速机构变速比较方便(但不能在运转中变速), 且结构紧凑, 传动效率高, 在机床上应用最广。

(2) 倍增变速机构 图 1.8 所示为一倍增变速机构, 它由三根轴、滑移齿轮和固定齿轮组成。I 轴上装有一个二联滑移齿轮 z_{18-28} 。II 轴上装有三个固定齿轮 z_{35} 、 z_{15} 和 z_{45} 。III 轴上装有一个二联滑移齿轮 z_{28-48} 。这种倍增变速机构可以得到四种传动比:

第一种: $i_{I-I} = n_{II}/n_I = (15/48) \times (18/45) = 1/8$

第二种: $i_{I-I} = n_{II}/n_I = (15/48) \times (28/35) = 1/4$

第三种: $i_{I-I} = n_{II}/n_I = (35/28) \times (18/45) = 1/2$

第四种: $i_{I-I} = n_{II}/n_I = (35/28) \times (28/35) = 1$

(3) 配换齿轮变速机构(挂轮机构) 图 1.9 所示为一种挂轮机构。I 轴和 II 轴固定在机架上, 分别安装固定齿轮 a 和 d , 齿轮 b 和 c 安放在中间轴上, 通过改变配换齿轮 a 、 b 、 c 和 d , 可以获得可变传动比, 以输出多种转速。

3. 换向机构

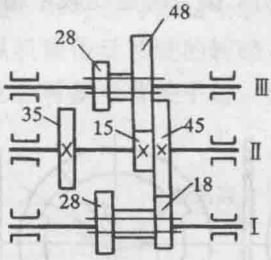


图 1.8 倍增变速机构

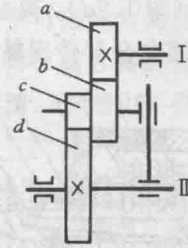


图 1.9 挂轮机构

换向机构是指在输入旋转方向不变的条件下，改变机床运动部件的运动方向，如主轴旋转方向、刀架和工作台进给方向等。机床上常用的换向机构有：滑移齿轮换向机构、三星齿轮换向机构和圆锥齿轮换向机构等。

(1) 滑移齿轮换向机构 图 1.10 所示为滑移齿轮换向机构。当双联滑移齿轮 z_1-z_2 在图示位置时，运动由齿轮 z_2 传至齿轮 z_3 ，I 轴和 III 轴转向相反；当滑移齿轮右移至 z_1 与介轮 z_5 相啮合时，运动经 z_1 传至 z_4 ，I 轴和 III 轴转向相同。

(2) 圆锥齿轮—离合器换向机构 图 1.11 所示为圆锥齿轮—离合器式换向机构。齿轮 z_1 、 z_3 空套在 II 轴上，I 轴为输入轴，当离合器 M 右移与 II 轴连接时，II 轴如图所示方向转动。当离合器左移与 II 轴连接时，II 轴换向。

4. 变换运动形式机构

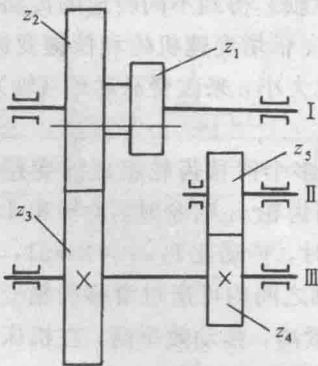


图 1.10 滑移齿轮换向机构

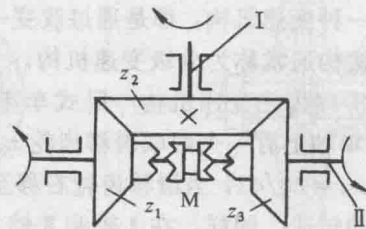


图 1.11 圆锥齿轮—离合器式换向机构

变换运动形式是指转动—移动或移动—转动等运动形式的变换。图 1.12 所示的卧式车床传动系统中，通过丝杠 X 与开合螺母的啮合，把电动机传给丝杠的旋转运动转换成溜板箱的纵向移动；同样，齿轮齿条机构也是一种变换运动形式机构。

二、机床的传动系统

1. 传动系统图

为了便于了解和分析机床的传动结构和运动联系，通常采用机床的传动系统图。机床的传动系统图是用国标规定的有关符号代表各种传动元件来表示机床全部运动传动关系的示意图。它画在一个能反映机床基本外形和各主要部件相互位置的投影面上，并尽可能画在机床外形的轮廓线内。在图中，各传动元件是按照运动传递的先后顺序，以展开图的形式画出来。要把一个立体的传动结构展开并绘制在一个平面图内，有时需采用一些特殊的表示方法，例

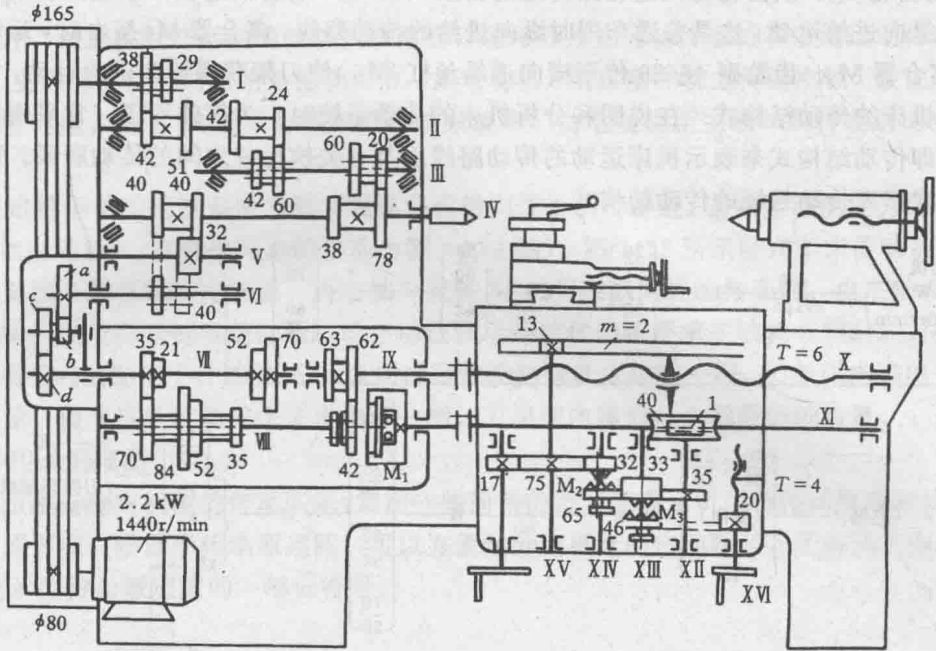


图 1.12 卧式车床传动系统图

如，把图中的某一根轴绘制成折断线连接的两部分，或弯曲成一定夹角的折线；有时，对于展开后失去联系的传动副，要用大括号或虚线连接起来以表示它们的传动联系（图 1.12 中的一些齿轮）。传动系统图只能表示传动关系，并不代表各元件的实际尺寸或空间位置。在图中通常还需注明齿轮及蜗轮的齿数、带轮的直径、丝杠的导程和头数、电动机的转速或功率、传动轴的编号等。传动轴的编号，通常从动力源（如电动机等）开始，按运动传递顺序，依次地用罗马数字 I, II, III, ……表示。图 1.12 是一台卧式车床的传动系统图。

(1) 传动系统图的传动路线分析 传动路线分析常采用“抓两端、连中间”的方法，先看传动机构的末端执行件有几个，执行件的动力源是哪个（“抓两端”），然后抓它们之间的传动联系（“连中间”），就可很容易地找出传动路线。下面通过对图 1.12 卧式车床传动系统的传动路线分析来说明机床传动系统图的传动路线分析方法。

从图中可以看到该车床有两个执行件，即主轴和刀架。主轴和刀架的动力源是同一电动机（图 1.12）。工作时主轴作旋转运动，刀架作纵向和横向进给运动。主轴和刀架通过传动机构保持传动联系。

主轴传动路线：由电动机经带传动传至主轴箱的 I 轴，然后经轴 I—II、II—III 和 III—IV 间的三个滑移齿轮变速组，传至主轴 IV，使其旋转，并获得 8 级转速。刀架的传动路线：主轴得到转速后，运动经轴 IV—轴 VI 间的滑移齿轮换向机构、轴 VI—轴 VII 间的配换齿轮、轴 VII—轴 VIII 之间的滑移齿轮变速机构传至轴 VIII。当轴 VIII 上的滑移齿轮 z_{42} 与轴 IX 上的齿轮 z_{62} 或 z_{63} 啮合时，运动可传至轴 IX，然后经联轴器带动丝杠 X 旋转，通过开合螺母使刀架纵向移动，这是车螺纹时刀架的传动路线；当滑移齿轮 z_{42} 移至右边，与轴 XI 上的内齿轮离合器 M_1 接合时，运动由轴 VIII 传至光杠 XI，然后经蜗杆蜗轮副 1/40 传至轴 XII 和齿轮 z_{35} ，带动传动轴 XIII 上的空套齿轮 z_{33} 旋转；将离合器 M_2 接合时，运动经齿轮副 33/65、离合器 M_2 、齿轮副 32/75 传至

轴 XV 上的齿轮 z_{13} 。该齿轮与固定在床身上的齿条 ($m=2$) 啮合, 它在齿条上滚动时, 便驱动刀架作纵向进给运动, 这是普通车削时纵向进给的传动路线。离合器 M_3 接合时, 运动由齿轮 z_{33} 经离合器 M_3 、齿轮副 46/20 传至横向进给丝杠 XVI, 使刀架获得横向进给运动。

(2) 机床的传动结构式 在说明和分析机床的传动系统时, 为简便明了, 常采用传动路线表达式即传动结构式来表示机床运动的传动路线以及有关执行件之间的传动联系。图 1.13 所示为卧式车床传动系统的传动结构式。

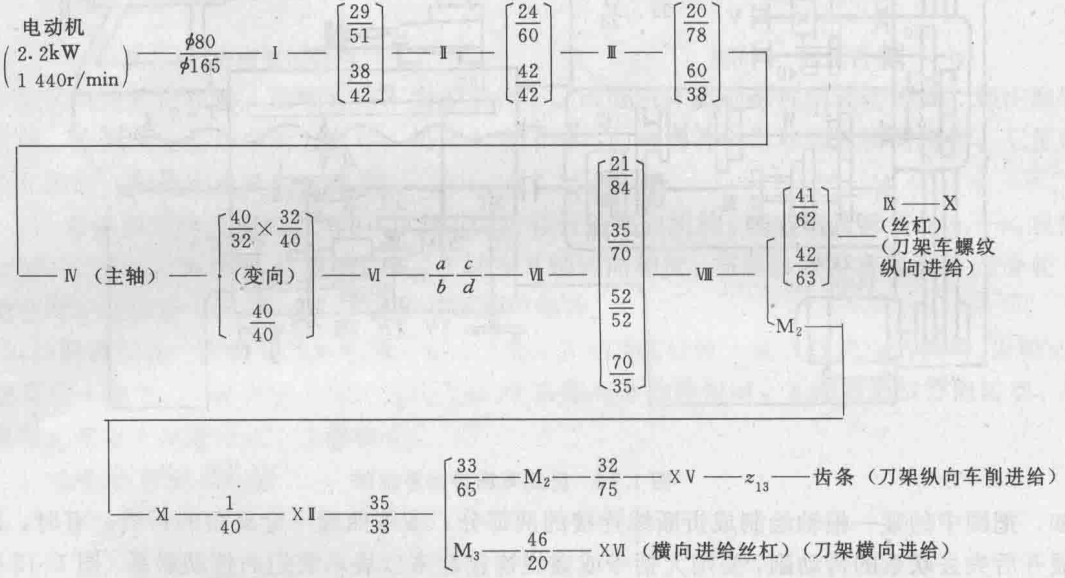


图 1.13 卧式车床传动系统的传动结构式

2. 机床的传动链

把动力源和执行件或执行件和执行件联系起来, 构成一个传动系统的一系列传动件称为传动链。传动链根据传动联系的性质不同, 可分为外联系传动链和内联系传动链。

(1) 内联系传动链 内联系传动链连接复合成形运动中的各个相关的执行件, 以保证它们有严格的相对运动关系, 用来形成准确的运动轨迹。图 1.12 所示的卧式车床传动系统中, 联系主轴 IV 和丝杠 X 之间的传动链就是内联系传动链, 这条传动链可以保证主轴转一周, 刀架移动一个被加工螺纹的导程。内联系传动链有严格的传动比要求, 否则就不能保证被加工零件的几何形状精度 (如螺纹的导程得不到保证等)。因此, 为了保证内传动链有准确的传动比, 内传动链不能采用传动比不准确的摩擦传动 (如带传动和摩擦轮传动) 或瞬时传动比不恒定的传动件 (如链传动)。

(2) 外联系传动链 外联系传动链联系动力源 (如电动机) 和执行件 (如主轴和刀架), 使执行件得到预期的运动, 并传递一定动力。外联系传动链传动比只影响切削速度、进给量的大小或表面粗糙度, 不影响被加工零件的表面几何形状, 所以外联系传动链的传动比不要求调整得非常准确。图 1.12 所示的卧式车床传动系统中, 电动机至主轴 IV 的传动链是外联系传动链, 它的传动比只影响主轴的旋转速度。另外, 主轴 IV 至轴 XV 使刀架纵向进给的传动链, 主轴 IV 至轴 XVI 使刀架横向进给的传动链都是外联系传动链 (此时主轴 IV 可看作间接动力源), 其传动比只影响进给速度, 而不影响加工零件的几何精度, 故外联系传动链没有严格的传动

比关系。

另外，根据执行件运动的运动性质不同，还可分为主运动传动链和进给运动传动链等。

1) 主运动传动链的功用是把动力源（如电动机）的运动和动力传给主轴，使主轴旋转并获得所需转速。图 1.12 所示卧式车床传动系统中，由电动机至主轴 IV 的传动链为主运动传动链。

2) 进给运动传动链是使刀架实现纵向或横向进给的传动链。进给运动的动力源可以是原动机（如电动机），有时也可是间接动力源（如主轴）。图 1.12 所示卧式车床传动系统中，由主轴 IV 至轴 X 的车螺纹传动链、由主轴 IV 至轴 XII 的刀架纵向进给传动链、由主轴 IV 至轴 XVI 的刀架横向进给传动链都是进给运动传动链。车螺纹传动链要求主轴转一周时，刀架纵向移动一个导程（被加工工件的导程）；纵向进给传动链保证主轴转一周，刀架纵向进给一个所需的进给量；横向进给传动链保证主轴转一周，刀架横向移动一个所需的进给量。

3. 传动原理图

为了便于研究机床的传动联系，常用一些简单的符号来表示机床的传动原理和传动路线，即传动原理图。借助于传动原理图，可以方便地分析机床的传动联系，了解其工作原理。图 1.14 所示为传动原理图的一部分符号。

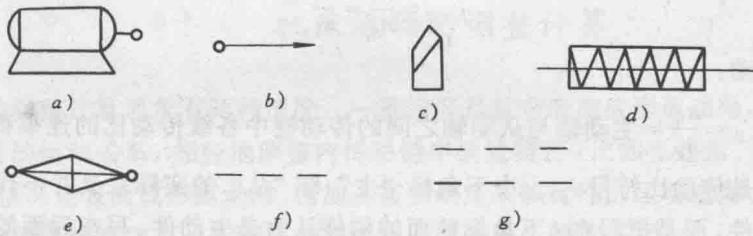


图 1.14 传动原理图常用的部分示意符号

- a) 电动机 b) 主轴 c) 车刀 d) 滚刀
e) 传动比可变换的换置器官 f) 传动比不变的机械联系 g) 电的联系

机床的传动链中通常可包含两类传动机构，一类是固定传动比的传动机构，简称“定比机构”（如带传动、链传动、定比齿轮传动、螺旋传动等）和变换传动比的传动机构，简称“换置器官”（如变速箱、配换齿轮等）。

图 1.15a 所示为卧式车床车螺纹时的传动原理图。车螺纹的运动是复合成形运动，可以分解成为主轴的旋转运动和刀的纵向进给运动，这两个运动通过内联系传动链（进给传动链）主轴—4—5— i_t —6—7—丝杠发生联系，使其保证严格的传动比关系。 i_t 表示车螺纹换置器官传动比，如挂轮架上的配换齿轮和进给箱中的滑移齿轮变速机构等，可通过这一换置器官来调整被车削螺纹的导程。主轴的运动通过外联系传动链（主运动传动链）：电动机—1—2— i_v —3—4—主轴，动力由电动机提供，其中 i_v 为换置器官传动比，表示主变速机构，如床头箱中的滑移齿轮变速机构等，通过该变速机构可调整主轴的转速。

图 1.15b、c 所示为车外圆柱面和端面时的传动原理图。其中电动机—1— i_v —3—4—主轴这一段传动链都同于图 1.15a 所表示的外联系传动链（主运动传动链）。4—5— i_t —6—7 分别表示纵向进给传动链（外联系传动链）和横向进给传动链（外联系传动链）。

4. 传动副的传动比计算