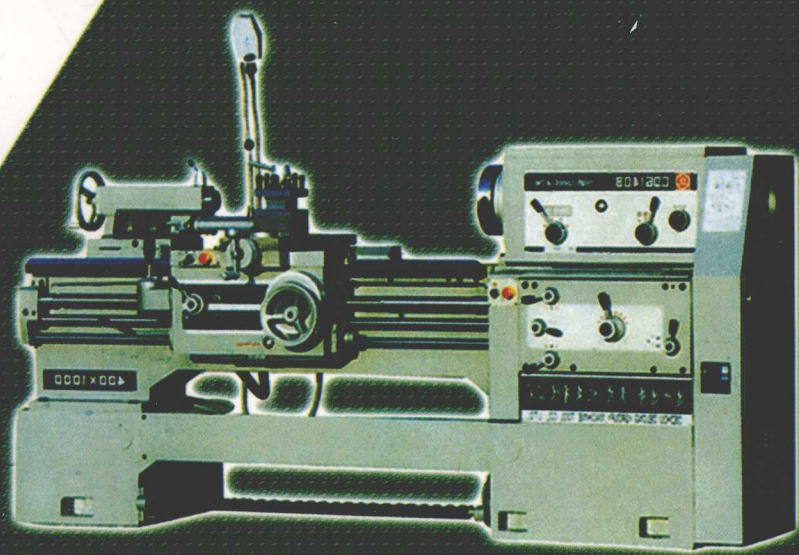


高等教育应用技术教材

金属切削机床

与刀具

宋时兰 高峰 编著



哈尔滨地图出版社

金属切削机床与刀具概论

JINSHU QIEXUE JICHUANG YU DAOJU

宋时兰 高峰 编著

哈尔滨地图出版社

• 哈尔滨 •

图书在版编目 (CIP) 数据

金属切削机床与刀具/宋时兰, 高峰编著. — 哈尔滨:
哈尔滨地图出版社, 2005. 3
ISBN 7 - 80717 - 037 - 9

**I. 金… II. ①宋…②高… III. ①金属切削—机
床②刀具 (金属切削) IV. TG**

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 022353 号

哈尔滨地图出版社出版、发行

(地址: 哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮政编码: 150086)

天兴速达印务有限公司印刷

开本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 14.5 字数: 353 千字

2005 年 3 月第一版 2008 年 3 月第三次印刷

印数: 1~1000 定价: 32.50 元

前 言

随着科学技术的飞速发展，传统的机械工业呈现出了新的技术发展趋势，进入了智能化领域，机电一体化的迅猛发展和数控加工技术的普遍应用，对生产一线操作技术工人的知识和能力要求越来越高，这本教材就是顺应这一发展趋势而编写的。

本书结合机电专业的课程改革“以机为主，突出工艺”，“以电为辅，够用为度”的原则，对传统的课程体系进行重组优化，将金属切削机床和金属切削刀具合并为一门课，将陈旧老化的知识予以删除，对繁琐的内容予以简化，更新了教材的内容，调整了教材的体系，精简了教材的篇幅，使教材具有科学性、针对性和实用性。

对教材内容的更新，突出了技能应用性的培养，如机床的操纵方法，常见故障与调整，典型部件调整、检测，刀具刃磨与保养等，培养了学生解决生产现场一般技术问题的能力；对教材篇幅的精简，以实用教学为出发点，贯彻“少而精”的原则，大量压缩篇幅，以典型机床和刀具为重点，以点带面，以符合教学的需要。

本书由宋时兰、高峰编著。鸡西大学宋时兰编写第一章至第十章，鸡西大学高峰编写第十一章至第十三章，全书由黑龙江科技学院教授王承福主审。

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2005 年 2 月

内 容 提 要

本书遵照全国高等工业学校机械类专业教学指导委员会制定的机床和刀具课程大纲要求，结合职业教育机电类专业的课程改革建设特点，对传统的课程体系进行重组优化而编写的。

全书共分两篇，第一篇为金属切削机床概论，主要有绪论、车床、磨床、铣床、其它机床、机床典型零件调整及精度检测。第二篇为金属切削刀具概论，主要有绪论、车刀、孔加工刀具、铣刀、其它刀具。本教材适用于职业技术教育机械类专业本科和专科教学用书，亦可供从事有关专业的工程技术人员参考用书。

目 录

第一篇 金属切削机床概论

第一章 概论	1
第一节 金属切削机床的发展概论	1
第二节 金属切削机床的基本知识	2
复习思考题	12
第二章 车床	14
第一节 车床的基本知识	14
第二节 CA6140 型卧式车床	16
第三节 其他车床介绍	38
第四节 车床常见故障与调整	43
复习思考题	46
第三章 磨床	47
第一节 磨削的基本知识	47
第二节 M1432A 型万能外圆磨床	48
第三节 外圆磨床的操纵	58
第四节 其他磨床	64
复习思考题	68
第四章 铣床	70
第一节 铣削的基本知识	70
第二节 卧式万能升降台铣床	73
第三节 其他铣床	82
第四节 铣床附件—万能分度头	84
复习思考题	87
第五章 其它机床	88
第一节 齿轮加工机床	88
第二节 钻床	93
第三节 镗床	95
第四节 直线运动机床	98
复习思考题	101
第六章 机床典型部件调整及精度检测	102
第一节 主轴部件	102
第二节 支承件与导轨	107
第三节 机床调整与精度检测	115
复习思考题	120

第二篇 金属切削刀具概论	121
第七章 金属切削的基本知识	121
第一节 切削运动及切削要素.....	121
第二节 刀具材料及刀具构造.....	124
第三节 金属切削过程.....	130
复习思考题.....	141
第八章 车刀	142
第一节 车刀的种类和用途.....	142
第二节 车刀的结构型式.....	143
第三节 可转位刀片夹固的典型结构.....	144
第四节 车刀的卷屑断屑结构.....	146
第五节 成形车刀的种类和用途.....	147
第九章 孔加工刀具	149
第一节 孔加工刀具的种类和用途.....	149
第二节 麻花钻.....	152
第三节 深孔钻结构特点及其工作原理.....	161
第四节 铰刀.....	166
第十章 铣刀	172
第一节 铣刀的种类和用途.....	172
第二节 铣刀的几何角度.....	173
第三节 铣削方式.....	175
第四节 硬质合金端铣刀简介.....	177
第五节 铣削特点及高效铣刀.....	179
第十一章 拉刀	182
第一节 拉刀的种类和用途.....	182
第二节 拉刀的结构.....	182
第三节 圆孔拉刀设计.....	184
第十二章 螺纹刀具	186
第一节 螺纹刀具的种类和用途.....	186
第二节 丝锥.....	190
第十三章 齿轮刀具	195
第一节 齿轮刀具的主要类型、工作原理.....	195
第二节 插齿刀的结构.....	196
第三节 直齿插齿刀的切削刃及前、后刀面.....	197
第四节 齿轮滚刀的基本蜗杆.....	198
第五节 齿轮滚刀的结构.....	199
附录 金属切削机床型号编制方法	201
参考文献	208

第一篇 金属切削机床概论

第一章 绪 论

第一节 金属切削机床的发展概论

在工业、农业、国防和科研领域中，在人们的日常生活里，大量使用着各种各样的机器、仪器、工具等，这些机器、仪器等又大多是由金属零件组成的。零件的制造方法有很多，如铸造、锻造、焊接、冲压等。但凡属尺寸精度、几何精度、位置精度要求较高，表面粗糙度要求较细的零件，一般都要求用切削加工的方法制造。金属切削机床就是用切削的方法将金属毛坯（或半成品）加工成机器零件的机器，它是制造机器的机器，所以又称为“工作母机”或“工具机”，习惯上简称为机床。金属切削机床是加工机器零件的主要设备。一个国家机床工业的技术水平，机床拥有量及现代化程度，是衡量这个国家工业生产能力和技术水平的重要标志之一。

机床是人类在改造自然的长期斗争中产生，又随着社会的发展和科学的进步而不断发展，不断完善。

通过考古，人们发现，早在 6000 多年前，就有了原始的钻床和木工车床。使用弓钻在石斧和陶瓷上钻孔，用支架支承木料，拉动绕在其上的绳子使木料来回运动，用手握刀具进行切削，这就是最原始的钻床和车床。

17 世纪中叶，开始用畜力等自然力代替人力作为机床的动力，但人们用手握刀具进行加工，其加工质量完全取决于操作者的熟练程度。

18 世纪，蒸汽机的出现，为机床提供了新型的动力能源，以蒸汽机为动力，并使用新创造的机动走刀架，使操作者的双手基本解放。零件的加工质量和加工效率明显提高，它是生产技术的一次革命性的变化。

19 世纪末，机床已扩大到许多种类。这些机床多采用天轴进行集群驱动，性能比较低。20 世纪以后，齿轮变速箱的出现，机床的结构和性能发生了根本性的变化。随着电气、液压等科学技术的发展并在机床上的普遍应用，使机床的技术有了迅速的发展，基本具备了现代机床的结构形式。

近些年来，随着电子技术、计算机技术、信息技术以及激光技术、超声技术等的发展，并且应用于机床领域，使机床的发展进入了一个新时代。这个新时代的主流就是数控机床。这种机床的操作完全由机器完成。人的工作只是编制加工程序和调整刀具，为机床的自动化加工准备好条件，然后则由电脑控制机床自动完成加工过程，由于人不参与操作，靠数控程序来完成加工循环，所以零件的加工精度较高，工件尺寸一致性较好，零件加工方法

变更方便，使得中小批生产自动化成为可能。

机床的发展和别的事物的发展一样，也是从无到有，从低级到高级发展并向着加工精度、自动化程度和生产率更高、更能适应被加工零件变更的方向发展。

第二节 金属切削机床的基本知识

一、机床型号编制

1. 机床的分类 金属切削机床的品种和规格繁多，为了便于区别、使用和管理，需对机床加以分类和编制型号。

根据机床的不同特征，分类的方法也有很多种。传统的分类方法主要是按加工方法和所用刀具进行分类。目前，我国制定的机床型号编制方法将机床分为 11 大类：车床、钻床、镗床、齿轮加工机床、磨床、螺纹加工机床、铣床、刨插床、拉床、锯床及其他机床。在每一类机床中，又按工艺范围、布局形式和结构等，分为若干组，每个组又分为若干系。

除上述基本分类方法外，机床还可按照通用性程度分成：普通机床、专门化机床、专用机床；按加工精度分成普通精度机床、精密机床和高精度机床；按自动化程度分成：非自动、半自动、全自动机床；按质量和尺寸分成：仪表机床、中型机床、大型机床和超重型机床。随着机床的发展，其分类方法也将不断发展。

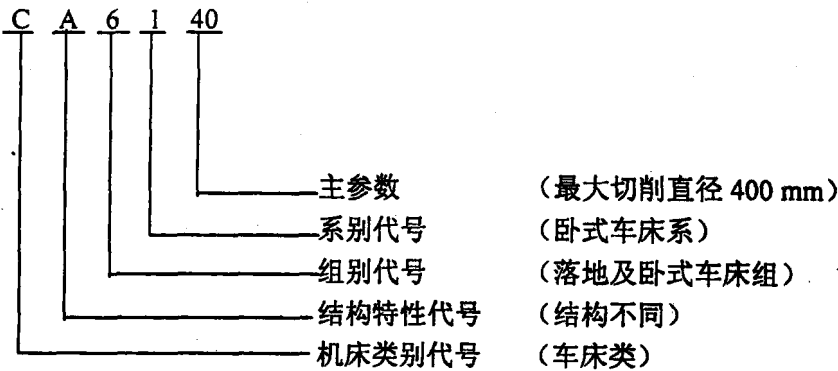
2. 机床型号编制的方法 机床的型号是用一个简明的代号来表示机床的类别、类型、主参数、性能和结构特点等。

我国的机床型号，现在是按 1994 年颁布的标准 GB / T15375 - 1994 《金属切削机床型号编制方法》编制的。此标准规定机床的型号由大写汉语拼音字母和数字按一定的规律组合而成，它适用于各类通用机床和专用机床。下面仅介绍普通机床型号编制。

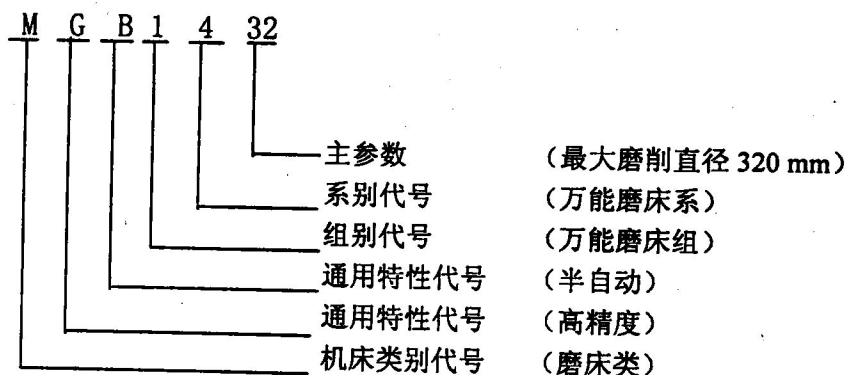
参照附录《金属切削机床型号编制方法》

举例：

例 1.1 CA6140 型卧式车床



例 1.2 MGB1432 高精度半自动万能磨床



二、工件的加工表面及其形成方法

1. 被加工表面分析 在切削加工过程中, 被加工表面是通过装在机床上的刀具和工件按一定规律相对运动而获得的。通过刀具的切削刃对工件毛坯的切削, 把毛坯上多余的金属切掉, 从而得到所要求的表面形状。尽管零件千姿百态, 形状各异, 但细细分析就能看出, 组成零件的加工表面主要有下面几种: 平面、圆柱面、圆锥面和各种成形表面, 如图 1-1 所示。

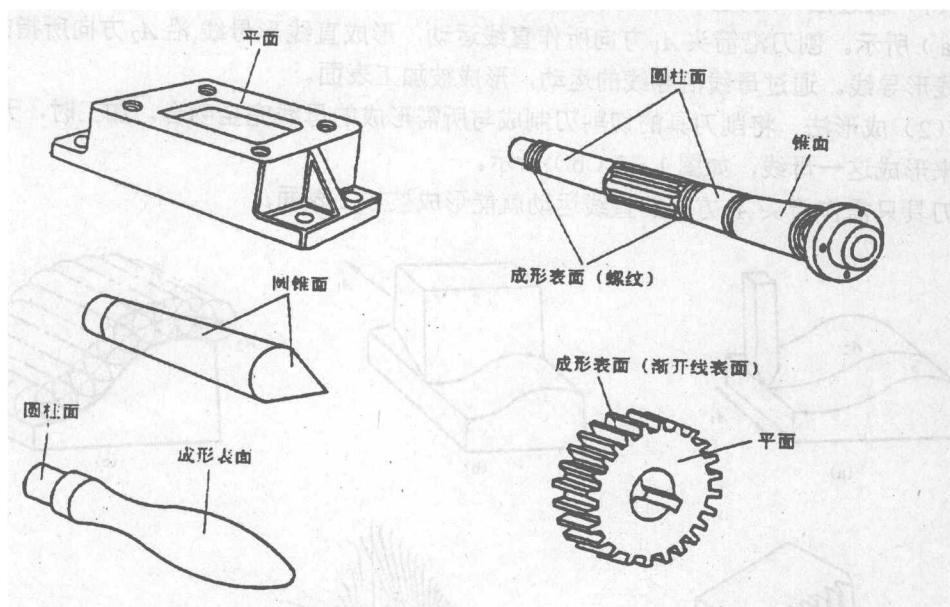
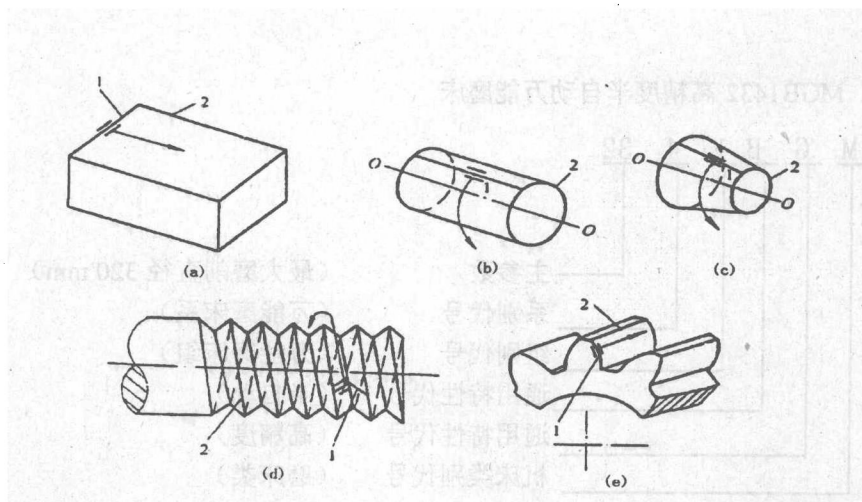


图 1-1 机器零件上常用的各种表面

2. 工件表面形成方法 工件常见的表面有平面、回转表面及螺纹、齿轮轮齿成形面等, 这些都是线性表面, 即都可以通过一条母线沿另一条导线运动后而获得, 如图 1-2 所示。



1—母线； 2—导线

图 1-2 零件表面成形

机床加工机械零件的过程，其实质就是形成零件上各个工作表面的过程，也就是借助于一定形状的切削刃以及切削刃与被加工表面之间按一定规律的相对运动，形成所需的母线和导线。由于加工方法、刀具结构及切削刃的形状不同，所以，形成母线和导线的方法及所需运动也不相同。概括起来有以下四种：

(1) 轨迹法 用尖头车刀、刨刀等刀具切削时，切削刃与被加工表面为点接触，如图 1-3 (a) 所示。刨刀沿箭头 A_1 方向所作直线运动，形成直线形母线，沿 A_2 方向所指的曲线，为曲线形导线。通过母线沿导线的运动，形成被加工表面。

(2) 成形法 将削刀具的切削刃制成与所需形成的母线完全吻合。加工时，无需任何运动来形成这一母线，如图 1-3 (b) 所示。

刀具只需作箭头 A_1 方向的直线运动就能形成被加工表面。

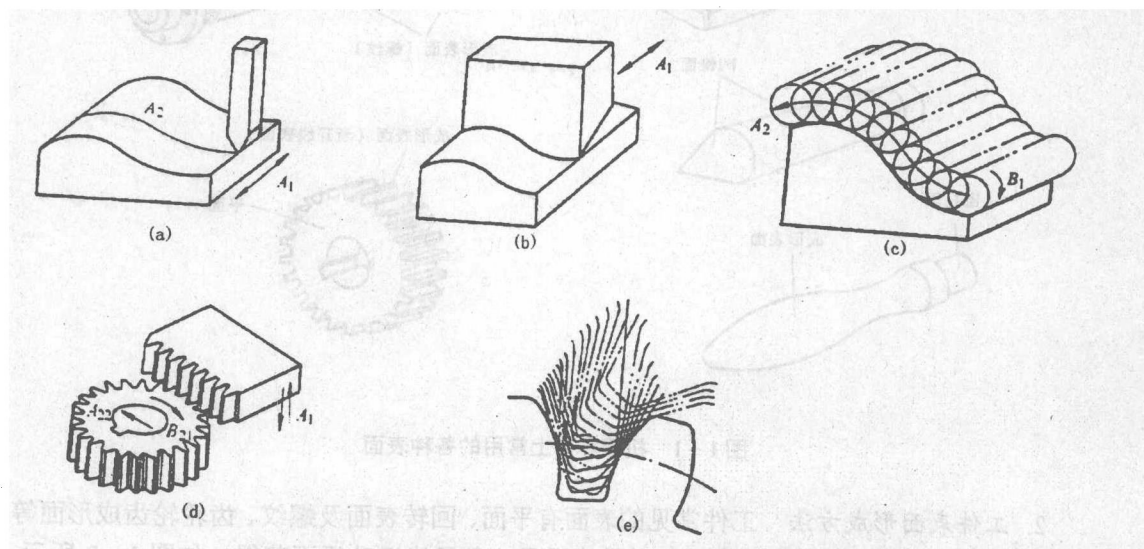


图 1-3 形成发生线的方法

(3) 相切法 相切法是利用刀具边旋转边作轨迹运动来对工件进行加工的方法。如图 1-3(c) 所示, 刀具作旋转运动 B_1 。刀具圆柱面与被加工表面相切的直线就是母线。刀具沿 A_2 作曲线运动, 形成导线。两个运动的叠加, 形成加工表面。相切法亦称包络线法。

(4) 范成法 用插齿刀、齿轮滚刀等加工工件时, 切削刃是一条与需要形成的发生线共轭的切削线。如图 1-3(d)、图 1-3(e) 所示, 用齿条插齿刀加工圆柱齿轮。插齿刀沿箭头 A_1 方向的直线运动, 形成了直线形母线, 而工件的旋转运动 B_{21} 和直线运动 A_{22} , 使插齿刀能不断地对工件进行切削。其直线形切削刃的一系列瞬时位置的包络线, 便是所需的渐开线形导线, 需要指出的是, 形成渐开线形的导线是由 A_{22} 和 B_{21} 组合而成, 这两个运动必须保持严格的运动关系, 彼此不能独立, 它们的复合形成的运动称为范成运动。

三、机床传动原理及传动系统分析

1. 机床传动原理 现代机床形式各异, 种类繁多。但从原理上分析, 机床加工过程中所需的各种运动, 是通过运动源、传动装置和执行件并以一定的规律所组成的传动链来实现的。

(1) 运动源 它是提供运动和动力的装置。一般机床常用三相异步交流电动机, 数控机床常用直流或交流调速电动机或伺服电动机。

(2) 传动装置 它是传递运动和动力的装置。通过该装置, 把运动源的动力和运动传递给执行件或把一个执行件的运动传递给另一执行件。传动装置需要完成变速、变向和改变运动形式等任务。以使执行件获得所需要的运动速度、运动方向和运动形式。

(3) 执行件 它们是执行运动的部件。如主轴、刀架、工作台等。执行件用于安装刀具或工件, 并直接带动其完成一定形式的运动和保证准确的运动轨迹。下面来描述一下机床传动的联系:

运动源 → 传动装置 → 执行件 或者 甲执行件 → 传动装置 → 乙执行件

2. 机床的传动装置 机床的传动装置一般有机、液、电传动等形式。液、电传动由专门课程讲解, 不再赘述。机械传动按传动原理可分为分级传动和无级传动。常见的传动是分级传动(无级传动常被液、电传动取代), 下面着重介绍几种常用的机械传动装置。

(1) 离合器 离合器用于实现运动的起动、停止、换向和变速。

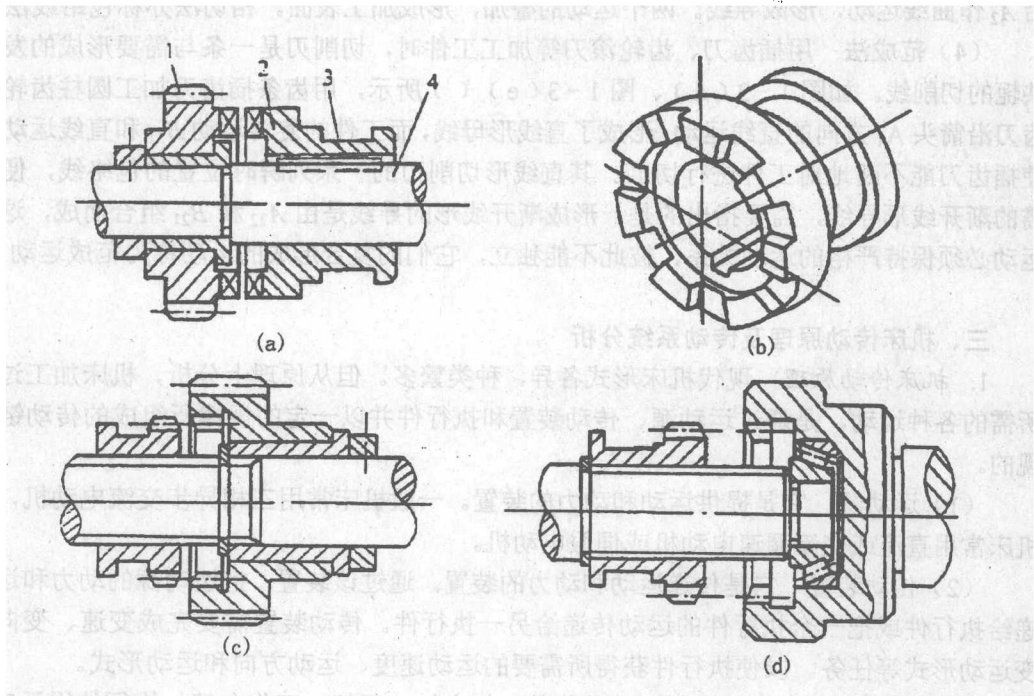
离合器的种类很多, 按其结构和用途不同可分为啮合式离合器、摩擦式离合器、超越式离合器和安全式离合器等。下面仅介绍前两种离合器。

① 啮合式离合器 啮合式离合器利用两个零件上相互啮合的齿爪传递运动和转矩。根据结构形状不同, 分为牙嵌式和齿轮式两种。

牙嵌式离合器由两个端面带齿爪的零件组成, 如图 1-4(a)、图 1-4(b) 所示。右半离合器 2 用导键或花键 3 与轴 4 联接, 带有左半离合器的齿轮 1 空套在轴 4 上, 通过操纵机构控制右半离合器 2 使齿爪啮合或脱开, 便可将齿轮 1 与轴 4 联接而一起旋转, 或使齿轮 1 在轴上空转。

齿轮式离合器是由两个圆柱齿轮所组成的。其中一个为外齿轮, 另一个为内齿轮(图 1

-4(c)、图 1-4(d)), 两者齿数和模数完全相同。当它们相互啮合时, 空套齿轮与轴联接或同轴线的两轴联接同时旋转。当它们相互脱开时运动联系便断开。



(a), (b) 牙嵌式离合器; (c), (d) 齿轮式离合器

图 1-4 啮合式离合器

② 摩擦式离合器 摩擦式离合器利用相互压紧的两个零件接触面间所产生的摩擦力传递运动和转矩, 其结构形式较多, 车床上应用较多的是多片摩擦式离合器。

图 1-5 所示为机械式多片摩擦离合器。它由内摩擦片 5、外摩擦片 4、止推片 3、压套 7、滑套 9 及空套齿轮 2 等组成。内摩擦片 5 装在轴 1 的花键上与轴 1 一起旋转, 外摩擦片 4 外圆上有 4 个凸齿装在齿轮 2 的缺口槽中, 外片空套在轴 1 上。当操纵机构将滑套 9 向左移动时, 通过钢珠 8 推动压套 7 带动圆螺母 6 使内片 5 与外片 4 相互压紧。于是轴 1 上的运动通过内、外片之间的摩擦力传给齿轮 2 而传递出去。

(2) 分级变速机构 分级变速机构通常为定比传动副。由变换传动比的变速组和改变运动方向的变向机构等组成。

① 定比传动副 常见的定比传动副包括: 齿轮副、带轮副、蜗杆副及齿轮齿条副和丝杠螺母副等。定比的含意是传动比固定不变。

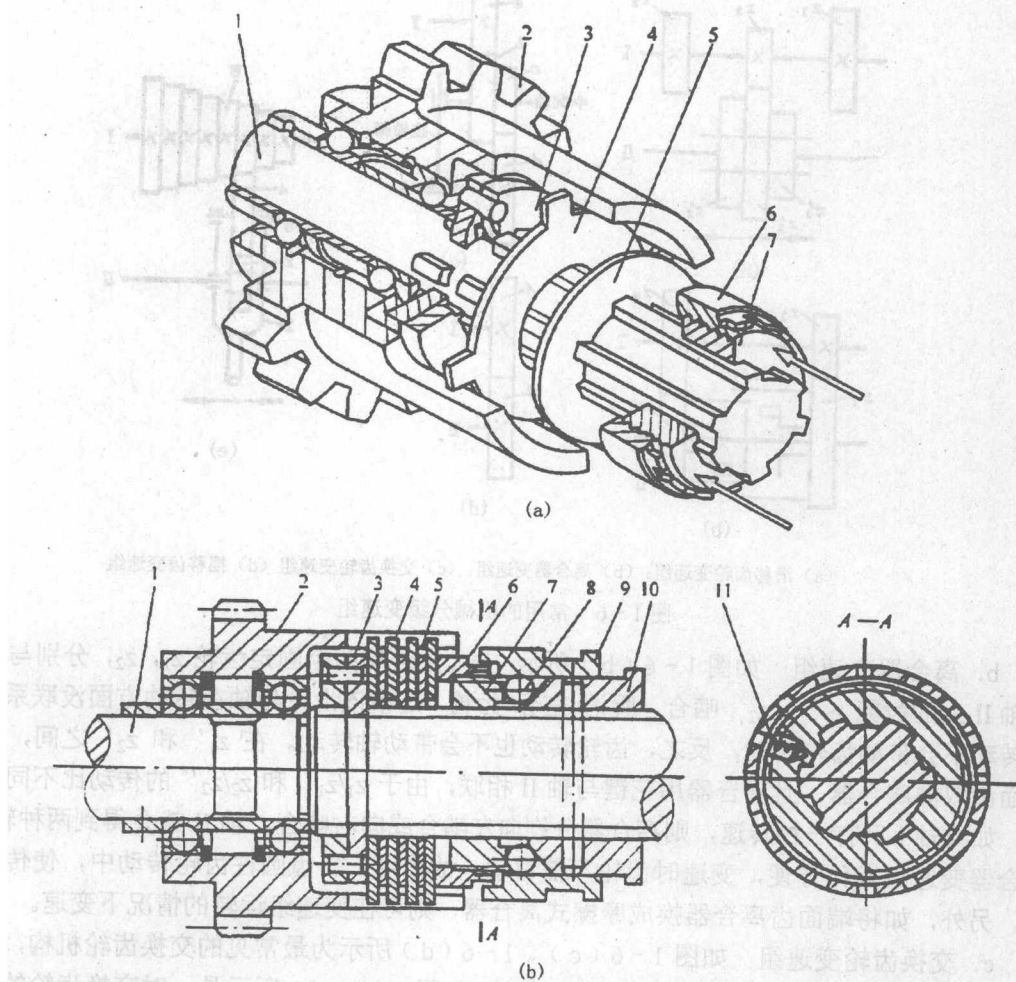
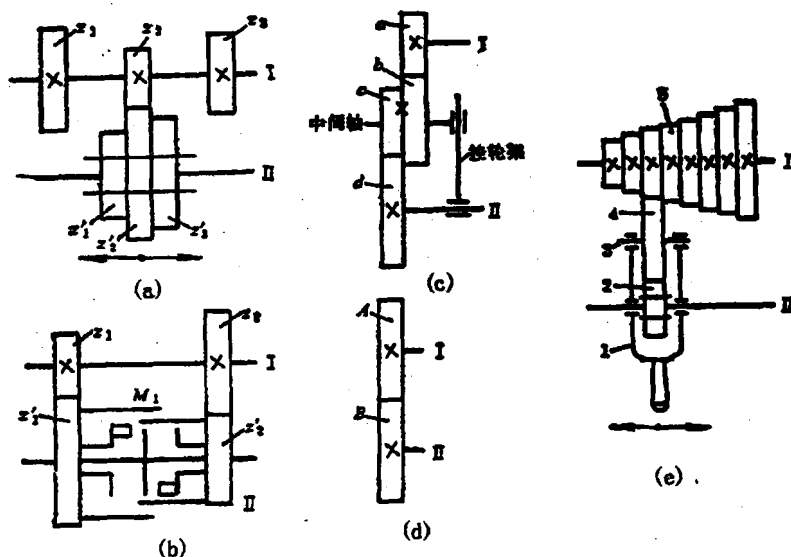


图 1-5 机械式多片摩擦离合器

② 变速组 变速组是实现机床分级变速的基本机构。常见的形式如图 1-6 所示。

a. 滑移齿轮变速组 如图 1-6 (a) 所示, 轴 I 上装有 z_1, z_2, z_3 三个齿轮, 它们与轴牢固联接, 称为固定齿轮。轴转动一定带动三个齿轮转动。反之, 任何一个齿轮转动也一定带动轴 I 转动。轴 II 上装有一个联体齿轮 (z_1', z_2', z_3'), 称为三联齿轮。该联体齿轮与轴 II 的联接是滑移联接。即该三联齿轮可以沿轴 II 的轴线方向移动, 但不能与轴 II 发生相对转动。当三联滑移齿轮分别滑移至左、中、右三个不同的啮合工作位置时, 即会获得三种不同的传动比 $z_1/z_1', z_2/z_2', z_3/z_3'$ 。此时, 如果 I 轴只有一种转速, 则轴 II 可得三种不同的转速, 这个机构就称为滑移齿轮变速组。当然, 除了上述三联滑移齿轮变速组外, 还有常见的双联滑移齿轮变速组。滑移齿轮变速组结构紧凑, 传动效率高, 变速方便, 能传递很大的动力, 但不能在运动过程中变速, 只能在停车或很慢转动时变速。



(a) 滑移齿轮变速组; (b) 离合器变速组; (c) 交换齿轮变速组 (d) 摆移齿变速组

图 1-6 常用的机械分级变速组

b. 离合器变速组 如图 1-6 (b) 所示, 轴 I 上装有两个固定齿轮 z_1, z_2 , 分别与空套在轴 II 上的齿轮 z_1', z_2' 啮合。所谓“空套”齿轮, 是指该齿轮与轴在转动方面没联系, 即轴转动不会带动齿轮转动, 反之, 齿轮转动也不会带动轴转动。在 z_1' 和 z_2' 之间, 装有端面齿双向离合器, 且离合器用花键与轴 II 相联, 由于 z_1/z_1' 和 z_2/z_2' 的传动比不同, 所以, 如果轴 I 只有一种转速, 则离合器分别向左啮合或向右啮合, 轴 II 就会得到两种转速。离合器变速组操作方便, 变速时齿轮不需移动, 故常用于斜齿圆柱齿轮传动中, 使传动平稳。另外, 如将端面齿离合器换成摩擦式离合器, 则可在变速组运转的情况下变速。

c. 交换齿轮变速组 如图 1-6 (c)、1-6 (d) 所示为最常见的交换齿轮机构, 所谓交换齿轮是指根据传动需要可装拆的活络齿轮。如图 1-6 (d) 所示是一对交换齿轮的变速组, 只要在固定中心距的轴 I 和轴 II 上装上传动比不同 (即不同的 A, B), 但“齿数和”相同的齿轮到 A 和 B , 则可由轴 I 的一种转速, 使轴 II 得到不同的转速。图 1-6 (c) 所示为两对交换齿轮, 其工作原理与另一对交换齿轮变速组相似, 不同的是两对交换齿轮的变速组需要有一可以绕轴 II 摆动的交换齿轮架, 中间轴在交换齿轮架上可作径向调整移动, 并用螺栓紧固在一定的径向位置上, 以适合不同的齿轮 a, b, c, d 啮合之需。交换齿轮变速组可使机构简单、紧凑, 但变速较费时。

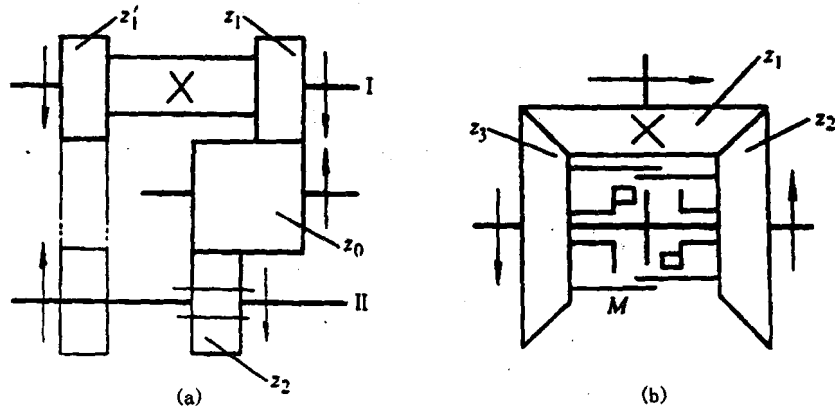
d. 摆移齿轮变速组 如图 1-6 (e) 所示, 在轴 I 上装有 8 个齿数按一定规律排列的固定齿轮, 通常称为塔齿轮, 轴 II 上装有一个滑移齿轮 2, 它通过一个可以轴向移动又能摆动的架子推动作左、右滑移, 摆移架 1 的中间轴 3 上装有一中间空套齿轮, 因此, 当摆移架 1 连摆带移动依次地使中间轮 4 与塔齿轮中的一个齿轮相啮合时, 如轴 I 只有一种转速, 则轴 II 可得到不同的 8 种转速。该变速机构变速方便, 结构紧凑。但由于该种变速组中有一摆移架, 故刚性较差。

③ 变向机构 变向机构的作用是改变机床执行件的运动方向。下面介绍两种常见的变

向机构。

a. 滑移齿轮变向机构 如图 1-7(a) 所示, 轴 I 上装有一双联固定齿轮 ($z_1=z_1'$), 轴 II 上装有一滑移齿轮 z_2 , 中间轴上装有一空套齿轮 z_0 。当 z_2 滑至图示位置, 轴 I 的运动经 z_0 传给 z_2 , 使轴 II 的转向与轴 I 相同; 当滑移齿轮 z_2 向左滑移至与 z_1' 啮合位置, 则轴 I 的运动经 z_2 直接传给轴 II, 使轴 II 的转动方向与轴 I 相反。这种变向机构刚性较好。

b. 锥齿轮与离合器组成的变向机构 如图 1-7(b) 所示, 主动轴 I 上装有固定锥齿轮 z_1 , z_1 同时与 z_2, z_3 啮合, 使空套的 z_2, z_3 具有不同的转向。离合器 M 依次与 z_2, z_3 的端面齿相啮合, 则轴 II 将获得两个不同的运动方向。这种变向机构刚性较圆柱齿轮变向机构差些。



(a) 滑移齿轮变向机构; (b) 锥齿轮与离合器组成的变向机构

图 1-7 常见的变向机构

3. 机床的传动系统 机床的执行件 (如车床中的主轴与刀架) 为了得到所需要的运动, 需要通过一系列的传动件把执行件和运动源连接起来, 以构成传动联系。构成一个传动联系的一系列顺序排列的传动件, 称为传动链。根据传动联系性质不同, 传动链可以分为外联系传动链和内联系传动链两大类。外联系传动链通常是联系运动源和执行件, 使执行件得到预定的运动, 并传递一定的动力。外联系传动链传动比的变化, 只影响生产率或表面粗糙度等, 不影响发生线的性质。因此, 外联系传动链不要求运动源与执行件之间有严格的传动比关系。例如, 在车床上用轨迹法车削外圆。主轴的旋转和刀架的移动就是两个互相独立的成形运动, 有两条外联系传动链, 工件的旋转与刀架的移动之间, 没有严格的相对运动速度关系。内联系传动链是联系复合运动之间的各个运动分量, 因而传动链所联系的执行件之间的相对速度有严格的要求, 用来保证运动轨迹的准确性。例如, 在车床上车削螺纹, 为了保证被加工螺纹导程的精度, 主轴带动工件转一转时, 刀架必须准确地移动一个被加工螺纹的导程。联系主轴与刀架之间的传动链, 就是一条内联系传动链。内联系传动链必须保证传动的精度。因而该传动链中不能有传动比不确定或瞬时传动比有变化的传动件存在, 如链传动、摩擦传动等。

机床有多少个运动 (一般指机动的运动) 就有多少条传动链。或者说, 某条传动链中

只要改变了某一传动副，就认为是重新构成了新的传动链。各条传动链的组合就组成了机床的传动系统。研究机床的传动系统，通常是通过用规定符号绘制的传动系统图来进行。下面以典型主传动变速系统图来分析主传动系统。

例 1.3 如图 1-8 所示。

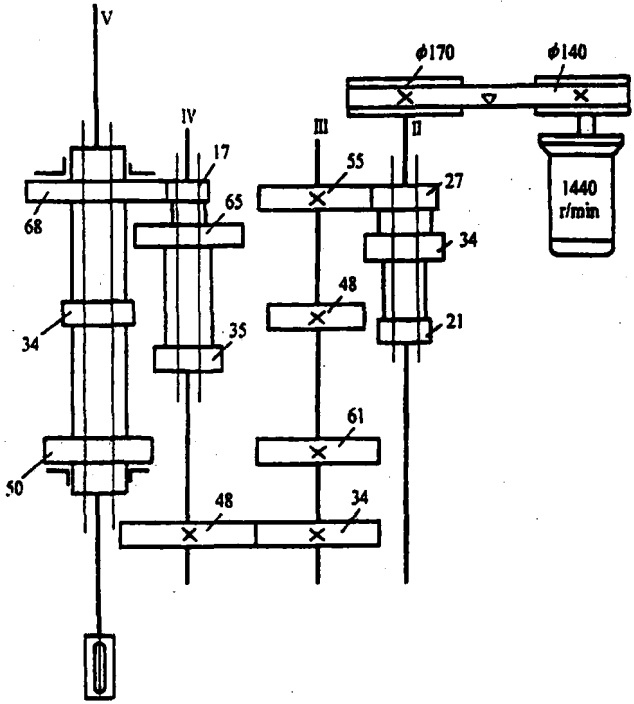


图 1-8 立式钻床传动变速系统图

主运动是由 1 440 r/min 的电动机带动，经 $\phi 140/\phi 170$ V 带传动，使主轴箱内的轴 II 获得旋转运动，经轴 II 和轴 III 间、轴 III 和轴 IV 间、轴 IV 和轴 V 间的三个变速组传动，最终使主轴（即 V 轴）转动。

由电动机至主轴的传动，可用传动路线表达式来表示：

$$\text{电动机/1440r/min} - 140/170 - \text{II} - \left\{ \begin{array}{l} 27/55 \\ 34/48 \\ 21/61 \end{array} \right\} - \text{III} - 34/48 - \text{IV} - \left\{ \begin{array}{l} 17/68 \\ 65/34 \\ 35/50 \end{array} \right\} - \text{V-主轴}$$

由传动路线表达式可以进行下面两方面的计算：其一是主轴变速级数计算，其二是主轴极限转速计算。

先讨论主轴转速级数的计算，电动机是单一转速的，经过 V 带轮定比传动，轴 II 的三个齿轮带动轴 III 的三个齿轮传动，使轴 III 得到三级转速；同理轴 III 传给 IV 只有一种途径，轴 III 的每一种转速都可以传递给轴 IV，则轴 IV 将获得三种转速，轴 IV 的每一种转速又可以以三种方式传给轴 V，轴 V（即主轴）将获得九种转速。由变速组的变速方式与主轴变速