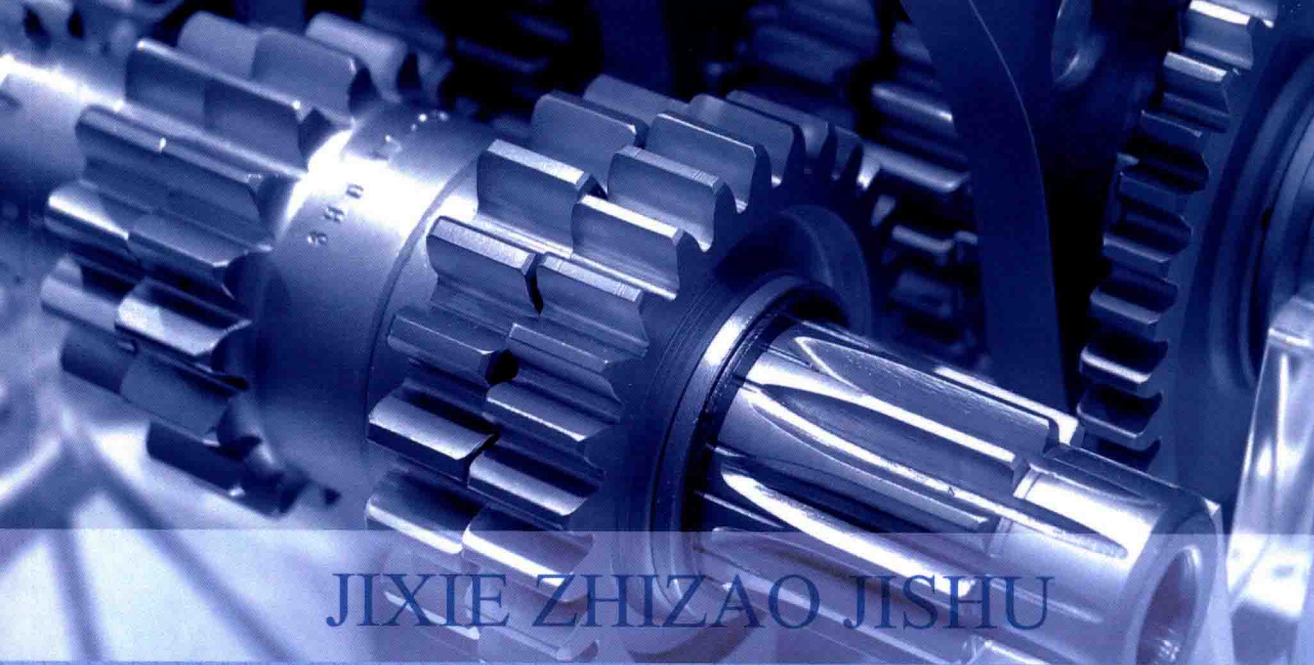




JIXIE ZHIZAO JISHU

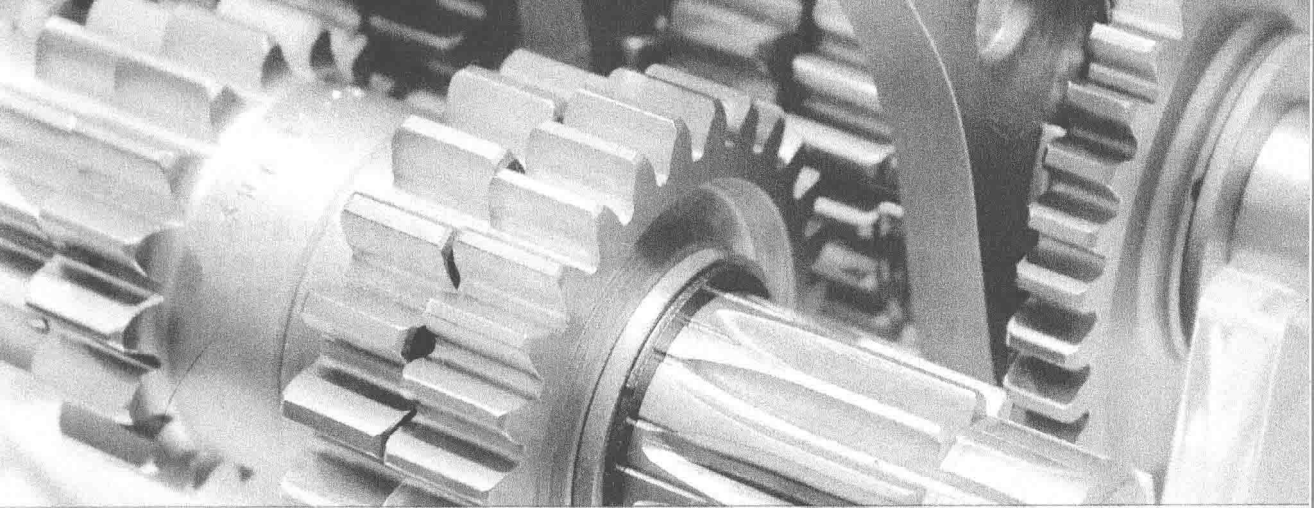
机械制造 技术

主 编◎李龙根

副主编◎吴铁军



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



JIXIE ZHIZAO JISHU

机械制造 技术

主 编◎李龙根

副主编◎吴铁军



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书以典型机械产品为载体,采取项目任务式教学方法,帮助学生通过学习,使知识和能力呈螺旋式上升发展。全书共分8个项目37个任务,分别对加工设备、工艺规程编制、零部件加工、质量分析及机械装配等进行了讲述,每个项目还设置了拓展训练栏目,以帮助学生巩固所学知识。

本书可作为高职院校机械类及相关专业的教材,亦可作应用型本科机械类及相关专业教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术 / 李龙根主编. —上海:上海交通大学出版社,2014

ISBN 978-7-313-11905-6

I. ①机… II. ①李… III. ①机械制造工艺-高等教育-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 187809 号

机械制造技术

主 编: 李龙根

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

出 版 人: 韩建民

印 刷: 虎彩印艺股份有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

字 数: 357 千字

版 次: 2014 年 8 月第 1 版

书 号: ISBN 978-7-313-11905-6/TH

定 价: 29.80 元

副 主 编 吴铁军

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021-64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 15

印 次: 2014 年 8 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告 读 者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 0769-85252189

东莞职业技术学院校本教材编委会

主 任 贺定修

副主任 张玉昆 黄玲青

成 员 (按姓氏笔画为序)

王 毅 刘忠洋 朱彩莲 李小东 李龙根

何风梅 范明明 胡选子 郑继海 郭 洁

颜汉军

教育部《现代职业教育体系建设规划》(2014—2020年)明确提出:现代职业教育是服务经济社会发展需要,面向经济社会发展和生产服务一线,培养高素质劳动者和技术技能人才并促进全体劳动者可持续职业发展的教育类型。同时指出:改革职业教育专业课程体系为现代职业教育体系建设的重点任务之一,要建立产业技术进步驱动课程改革机制和真实应用驱动教学改革机制,按照真实环境真学真做掌握真本领的要求开展教学活动,即推动教学内容改革,按照企业真实的技术和装备水平设计理论、技术和实训课程;推动教学流程改革,依据生产服务的真实业务流程设计教学空间和课程模块;推动教学方法改革,通过真实案例、真实项目激发学习者的学习兴趣、探究兴趣和职业兴趣。为此,高等职业院校都在进一步推进教学改革工作以适应经济发展、产业升级和技术进步的需要,适应现代职业教育体系建设需要。

东莞职业技术学院积极推行“政校行企协同,学产服用一体”人才培养模式改革。政府、学校、行业、企业共同参与高素质技能人才的培养,通过“学产服用四位一体”的育人机制,将人才培养置于多方参与的开放系统中,贯穿于教学、生产、服务、应用四位一体的全过程。与之相适应的课程模式体现了如下两个特点:一是教学内容和生产、服务、应用的内容对接,即课程以职业工作任务(生产任务、服务任务、应用任务)来实现。二是教学过程和生产、服务、应用过程对接,即在真实的或模拟的生产、服务、应用的过程中,让学生参与这些过程之中,完成典型的生产、服务、应用的任务,从而完成相应的教学任务,将教学、生产、服务、应用的过程一体化。

本系列教材作为“政校行企协同,学产服用一体”人才培养模式改革的一项重要成果,打破了传统教材按学科知识体系编排的体例,根据职业岗位能力需求以模块式、项目化的结构来重新构架整个教材体系,较于传统教材有以下创新之处:

一、凸显高职教育特色,注重创新性

本教材以社会生活及职业活动过程为导向,以项目、任务为驱动,按项目或模块体例编排。每个项目或模块根据能力、素质训练和知识认知目标的需要,设计若干任务,并进行了项目描述,为任务设定了具体事件或情境,充分体现了突出职业能力和职业素养培养的职业教育理念和先进的课程教学观,在理念和体例上均有创新,对教师的教和学生的学,具有良好的引导和指导作用。

二、兼顾教材内容的稳定与更新,注重实践性

教材内容以介绍成熟稳定的、在实践中广泛应用的技术和国家标准为主,同时介绍新知识、新技术、新方法、新设备,并与职业资格证书内容相对接,使学生能够适应社会生活和技术进步的需要。本教材注重理论与实践相结合,训练项目、训练素材及案例丰富,实践内容充足,尤其是实习实训教材具有很强的直观性和可操作性,对生产实践具有直接指导作用。

三、编著团队“双师”结合,注重针对性

每本教材的编写团队都是校内专任教师与行业专家、企业能工巧匠相结合,能够较为准确地把握行业的最新发展动向及教材内容的取舍,具有较强的实用性和针对性,从而保证教材编写的质量。

东莞职业技术学院校本教材编委会

为适应高等教育向应用性方向改革的转变,培养面向 21 世纪的技术技能应用型人才,迫切需要一批与生产实际紧密联系的教材,并对教学内容进行重组和整合,反映新材料、新技术、新工艺,增强实用性,注重解决实际问题的能力培养。

目前全国高校种类、层次很多,且各类高校均非常注重应用型人才的培养。技术应用型本科和高等职业院校中机械类相关专业一般都开设有机械制造基础、机械制造技术、机械制造工艺学等涉及切削加工、刀具、机床、加工工艺知识的制造技术基础课程,对加工制造行业来说这些课程所涉及的知识是必需的。但是,这里存在一个如何取舍的问题,即如何解决“必需”和“够用”这一对矛盾。对于应用型技术技能人才的培养来说,这些课程有必要进行重新整合,突出关键知识点,特别是要强调知识与技能的有机结合。

本书突出职业技术教育精简实用的特色,适应技术技能型人才的培养要求,以机械制造生产一线需要的知识、技能培养为目标,将有关理论和实践知识进行有机整合,形成强化应用和技能培养的具有新时期高等职业教育特点的教材结构体系。本书结合当前市场、企业及与本行业相关领域的生产经营实际的需要,以典型机械产品为载体,采取项目式教学,每个项目完成若干个工作任务,使学生在知识和能力方面呈螺旋式上升发展。

本书的最大特点是所选典型机械产品,均能在一般工科院校金工实训车间完成加工和组装任务,使学生在学习过程中能体会到成功的快乐,最大限度地激发学生的学习兴趣,避免同类教材所选案例必须在专业厂家才能完成加工生产的弊端,因此非常适合作为高等职业院校机械类及相关专业的教材,同时也适合作为应用型本科院校机械类及相关专业的教材或参考用书。

本书由东莞职业技术学院副教授李龙根担任主编,吴铁军博士担任副主编,张海鹰教授、于剑锋讲师参编。项目 1、项目 2 由李龙根编写;项目 3、项目 4 由吴铁军博士编写;项目 5、项目 6 由于剑锋讲师编写;项目 7、项目 8 由张海鹰教授编写。全书由覃岭教授、何冰强副教授担任主审,刘志伟老师校稿,东莞市巨冈机械工业有限公司技术总监兰才汉、东莞职业技术学院实训中心高级工程师龙清参与教材的审定和指导,在此深表谢意!

由于编者水平所限,本书存在的错漏之处,敬请各位专家、读者指正。

编 者

2014 年 3 月

目 录

项目 1	加工设备及刀具准备	1
任务 1	掌握金属切削基础知识	1
任务 2	认识常用金属切削机床	4
任务 3	工件定位	18
任务 4	机床夹具应用	23
任务 5	正确选用刀具	27
任务 6	了解金属切削基本规律	35
★拓展训练		42
项目 2	机械加工工艺规程编制	44
任务 1	机械加工工艺文件制定	44
任务 2	机械零件工艺审查	52
任务 3	加工工艺路线拟定	56
任务 4	工序尺寸及公差确定	61
任务 5	提高生产率	67
★拓展训练		69
项目 3	螺旋千斤顶零件加工	70
任务 1	螺旋千斤顶结构及零件图分析	70
任务 2	螺纹杆加工	72
任务 3	底座加工	84
★拓展训练		92
项目 4	平口钳零件加工	94
任务 1	平口钳结构及零件图分析	94
任务 2	螺杆加工	98
任务 3	方块螺母加工	100
任务 4	固定钳身加工	100
任务 5	活动钳口加工	102
任务 6	了解万能分度头的工作原理和使用方法	102
★拓展训练		107

项目 5	减速器零件加工	108
任务 1	减速器结构分析和装配图识读	108
任务 2	减速器低速轴加工	112
任务 3	减速器齿轮加工	126
任务 4	减速器箱体加工	141
★拓展训练		149
项目 6	模具零件加工	150
任务 1	模具零件加工基础	150
任务 2	延伸模结构图和零件图识读	156
任务 3	凸模、凹模座板零件加工	161
任务 4	凸模、凹模垫板零件加工	163
任务 5	凸模、凹模固定板零件加工	163
任务 6	凸模顶柱与顶柱套零件加工	164
任务 7	凹模顶柱与顶柱套零件加工	165
任务 8	其他零件的加工	166
★拓展知识		169
★拓展训练		170
项目 7	机械加工质量分析	172
任务 1	机械加工精度认知	172
任务 2	机械加工表面质量分析	189
★拓展训练		198
项目 8	机械装配	200
任务 1	装配工艺尺寸链建立及计算	200
任务 2	装配工艺规程的制定	211
任务 3	减速器装配	215
★拓展训练		223
附录		225
参考文献		229

项目 1 加工设备及刀具准备

项目描述

本项目要求在学习金属切削基础知识、基本理论的基础上,了解常用金属切削机床结构,掌握机床操作、工件装夹定位、刀具选用及准备、机床夹具应用等知识和技能,为后续零件加工做准备。

项目分析

本项目必须结合金工实习,理论联系实际,才能被较快掌握,目的是保证加工质量,提高生产效率,降低生产成本。

知识目标

- 掌握切削运动、切削用量三要素、积屑瘤等概念;
- 了解车床、铣床、磨床的结构特点,掌握其操作应用;
- 掌握六点定位原理、定位基准选择和常用定位方法;
- 掌握刀具角度、常用刀具材料;
- 了解金属切削基本规律。

能力目标

- 会合理选用切削用量;
- 会调整和操作车床、铣床、磨床;
- 能正确确定工件定位方法;
- 初步掌握机床夹具类型及选用;
- 能正确选择刀具角度及刀具材料;
- 会初步分析及控制切削质量。

任务 1 掌握金属切削基础知识

一、切削运动

金属切削加工是用刀具切除工件多余的金属材料,使其形状、尺寸精度及表面质量达到设计要求的机械加工方法。为切除多余金属,刀具和工件之间必须有相对运动,这种相对运动被称为切削运动。按照切削运动所起作用的不同,可分为主运动(线速度 v_c)和进给运动(线速度 v_f)两种,如图 1-1 所示。

1. 主运动

主运动是切削加工中速度最快、消耗功率最大的运动。通常主运动只有一个,可由工件完成,也可由刀具完成。图 1-1 所示的车削工件旋转、钻削和铣削刀具旋转、磨削砂轮旋转等都是主运动。

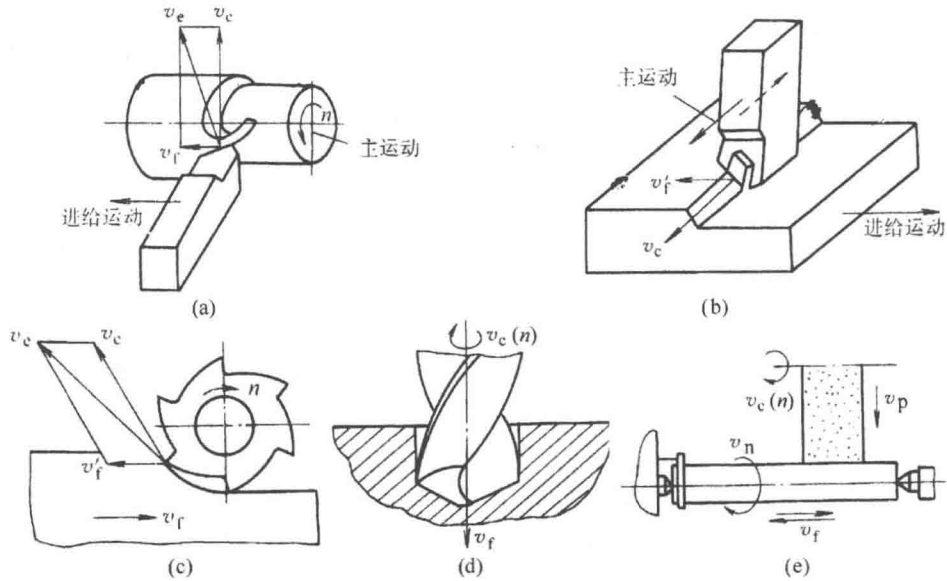


图 1-1 常见加工方法的切削运动

(a)车削 (b)刨削 (c)铣削 (d)钻削 (e)磨削

2. 进给运动

进给运动是由机床或人力提供的运动。它使刀具与工件之间产生附加的相对运动,加上主运动,即可连续地切除多余金属。其特点是速度较慢、消耗功率较小。进给运动可以是连续的,也可以是间歇的。

二、切削用量三要素

切削用量是表示主运动及进给运动的参数,是切削速度 v_c 、进给量 f 和背吃刀量(或称切削深度) a_p 三者的总称。它是调整机床,计算切削力、切削功率和工时定额的重要参数,如图 1-2 所示。

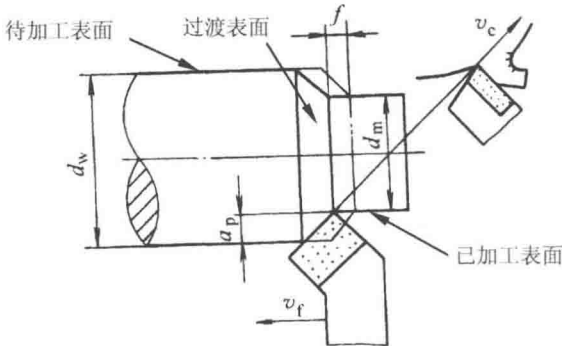


图 1-2 切削用量三要素

1. 切削速度

刀具切削刃上选定点相对于工件主运动的瞬时速度被称为切削速度,用 v_c 表示。当主运动为旋转运动时其计算公式为

$$v_c = \frac{\pi d n}{1\,000} \quad (1-1)$$

式中, d 为加工面对应的直径, mm; n 为主运动转速, r/s(或 r/min)。

2. 进给量

刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量被称为进给量,用 f 表示。当主运动为旋转运动时(转速为 n),切削刃选定点相对于工件进给运动的瞬时速度被称为进给速度 v_f (mm/s),与进给量之间的关系为

$$f = \frac{v_f}{n} \quad (1-2)$$

3. 背吃刀量(切削深度)

已加工表面与待加工表面之间的垂直距离被称为背吃刀量,用 a_p 表示,单位为 mm。

外加车削时背吃刀量为

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-3)$$

式中, d_w 为待加工表面直径; d_m 为已加工表面直径。

三、切屑种类

由于加工材料性质、切削条件、切削变形程度不同,形成四种不同形态的切屑,如图 1-3 所示。

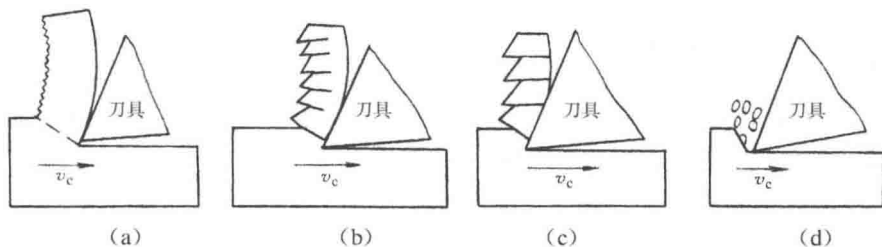


图 1-3 切屑的种类

(a) 带状切屑 (b) 节状切屑 (c) 粒状切屑 (d) 崩碎切屑

1. 带状切屑

带状切屑连续成带状,底面光滑,背面无明显裂纹,呈微小锯齿形。带状切屑时切削力波动小,切削过程比较平稳,加工表面粗糙度较小,但需采取断屑措施,尤其是自动生产线和自动机床生产。

2. 节状切屑

节状切屑又称挤裂切屑。形成节状切屑时,切削力波动较大,切削过程不太稳定,已加工表面粗糙度较大。

3. 粒状切屑

粒状切屑又称单元切屑。形成粒状切屑时,切削力波动大,切削过程不平稳,已加工表面粗糙度大。

4. 崩碎切屑

切削铸铁、青铜等脆性材料时,切削层通常在弹性变形后未经塑性变形就被挤裂,形成不规则的碎块状的崩碎切屑。形成崩碎切屑时,切削力波动大,且切削层金属集中在切削刃口碎断,易损坏刀具,加工表面也凹凸不平,已加工表面粗糙度大。

四、积屑瘤

1. 积屑瘤的形成

在切削速度不快、连续性切屑的情况下,加工钢料或其他塑性材料时,常在切削刃口附近黏结一块很硬的金属堆积物,这就是积屑瘤,如图 1-4 所示。

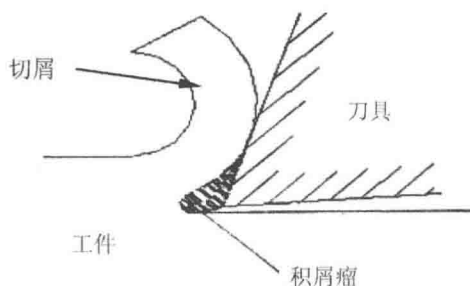


图 1-4 积屑瘤

2. 积屑瘤的控制

粗加工时积屑瘤对加工有一定帮助,但精加工时积屑瘤会严重影响加工精度和质量,必须控制。

(1) 工件材料塑性 通过热处理降低材料塑性,提高其硬度,可抑制积屑瘤的生成。

(2) 切削速度 低速切削时切屑流动慢,切削温度低,切屑与前刀面摩擦系数小,切屑不易黏结,不易形成积屑瘤;高速切削温度高,也不易生成积屑瘤;中速切削时切削温度在 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$,是形成积屑瘤的适宜温度,切削加工粗糙度大。

(3) 其他因素减小进给量、使用切削液等,可使切削变形减小,切削温度下降,都可抑制积屑瘤的生成。

任务 2 认识常用金属切削机床

机械制造企业最常用的金属切削机床有车床、铣床、钻床、磨床等。

一、机床编号

机床型号的编制方法可参照国家标准《金属切削机床型号编制方法》(GB/T 15375—1994)。通用机床按其产品工作原理、结构、性能特点及使用范围,被划分为 11 类,每类划分 10 个组,每组又划分 10 个系(系列)。机床主参数代表机床规格大小,用折算值表示,位于系代号之后;当机床结构、性能有重大改进,需按新产品重新设计、试制和鉴定时,按照改进顺序用字母“A、B、C…”表示,加在型号尾部,以区别原机床型号。

机床编号含义如图 1-5 所示,机床的 11 个类别如表 1-1 所示。

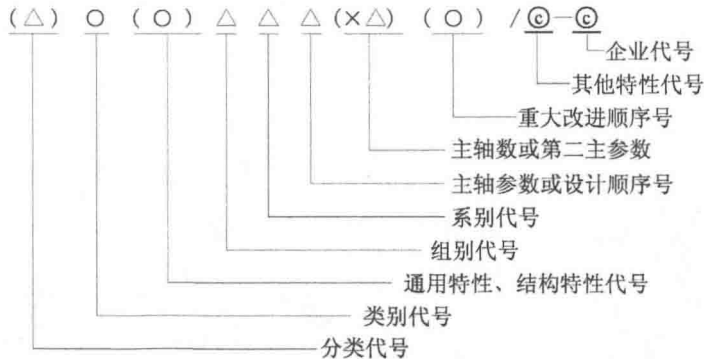


图 1-5 机床编号含义

有些企业采用与国家标准不同的编号,注意其说明。

表 1-1 机床类别

类别	车床	钻床	镗床	磨床	齿轮加工机床	螺纹加工机床	铣床	刨插床	拉床	锯床	其他机床
代号	C	Z	T	M	Y	S	X	B	L	G	Q
读音	车	钻	镗	磨	牙	丝	铣	刨	拉	割	其

例如,CA6140 的含义为:C—车床;A—重大改进号;6—落地式;1—卧式;40—最大回转直径 400 mm。

二、车床

1. 车削加工方法

如图 1-6 所示,用车床进行车削加工是最常用的机械加工方法,主要加工轴、套类零件,加工尺寸公差等级为 IT6—IT11,表面粗糙度 R_a 值为 $0.8 \sim 12.5 \mu\text{m}$ 。

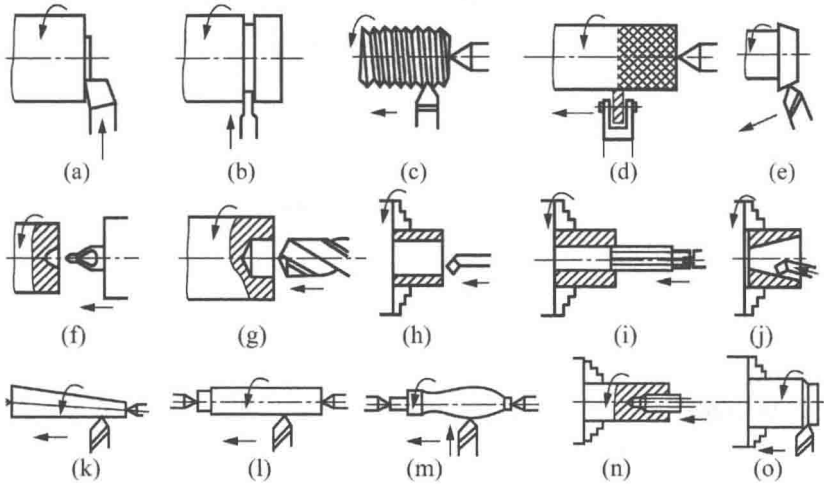


图 1-6 常见车削加工方法

- (a)车端面 (b)切断 (c)车螺纹 (d)滚花 (e)车短锥 (f)钻中心孔 (g)钻孔 (h)车内圆孔
(i)铰孔 (j)车内锥孔 (k)车长锥 (l)车细长轴 (m)车成型面 (n)攻螺纹 (o)车外圆

2. 车床结构组成

车床的种类很多,应用较广泛的是卧式车床,图 1-7 为 CA6140 型普通卧式车床及其组成。

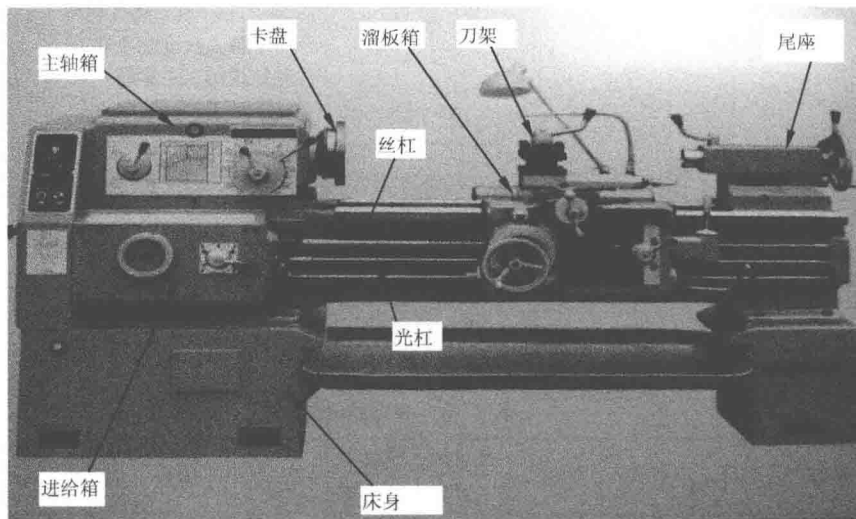


图 1-7 CA6140 型卧式车床及其组成

(1) 主轴箱:又称变速箱、床头箱,内装变速机构。主轴右端有外螺纹,用以连接卡盘、拨盘等附件。主轴为空心结构,是车床的重要部件,其精度和刚性直接影响到被加工零件的精度。主轴转速是通过操作主轴箱外面的变速手柄变换各种不同传动比的齿轮啮合或离合器而获得的。

(2) 进给箱:又称走刀箱,进给箱内也装有由滑移齿轮组成的变速机构。通过改变进给手柄的位置来操纵滑移齿轮,从而获得不同的光杠或丝杠转速,实现不同的进给速度。

(3) 溜板箱:又称拖板箱。溜板箱是车床进给运动的操纵箱,接通丝杠时,合上开合螺母,可车削螺纹,接通光杠时,可使刀架做纵向移动或横向移动,用来车削圆柱面或端面。

(4) 刀架:刀架用来夹持车刀,在水平面内可做纵向移动、横向移动和斜向移动,主要包括:大拖板、中拖板、转盘、小拖板、方刀架。

(5) 尾座:尾座可安装顶尖,用来支承长轴的加工,也可安装钻头、扩孔钻或铰刀,用来加工孔。尾座可以沿车床导轨移动,尾座装上顶尖后,顶尖的高度与主轴的轴线高度应一致。

(6) 床身:床身是用来支承车床的基础部分,并连接各主要部件。床身上面有两条互相平行的导轨,以确定刀架和尾座的移动方向。床身由床脚支承并固定在地基上。

3. CA6140 型车床传动系统

为了更好地使用和维护机床,必须分析其结构组成和传动系统,深刻理解机床工作原理、工作过程和操作要求。

分析机床结构和传动系统的基本方法是:首先找到传动链的两个端件,然后按照传动链的顺序从一个端件向另一端件依次分析各传动轴之间的传动结构和运动传递关系,查明该传动链的传动路线及变速、换向、接通和断开的工作原理。

图 1-8 为 CA6140 型卧式车床的传动系统图,它是反映机床全部运动传递关系的示意图。

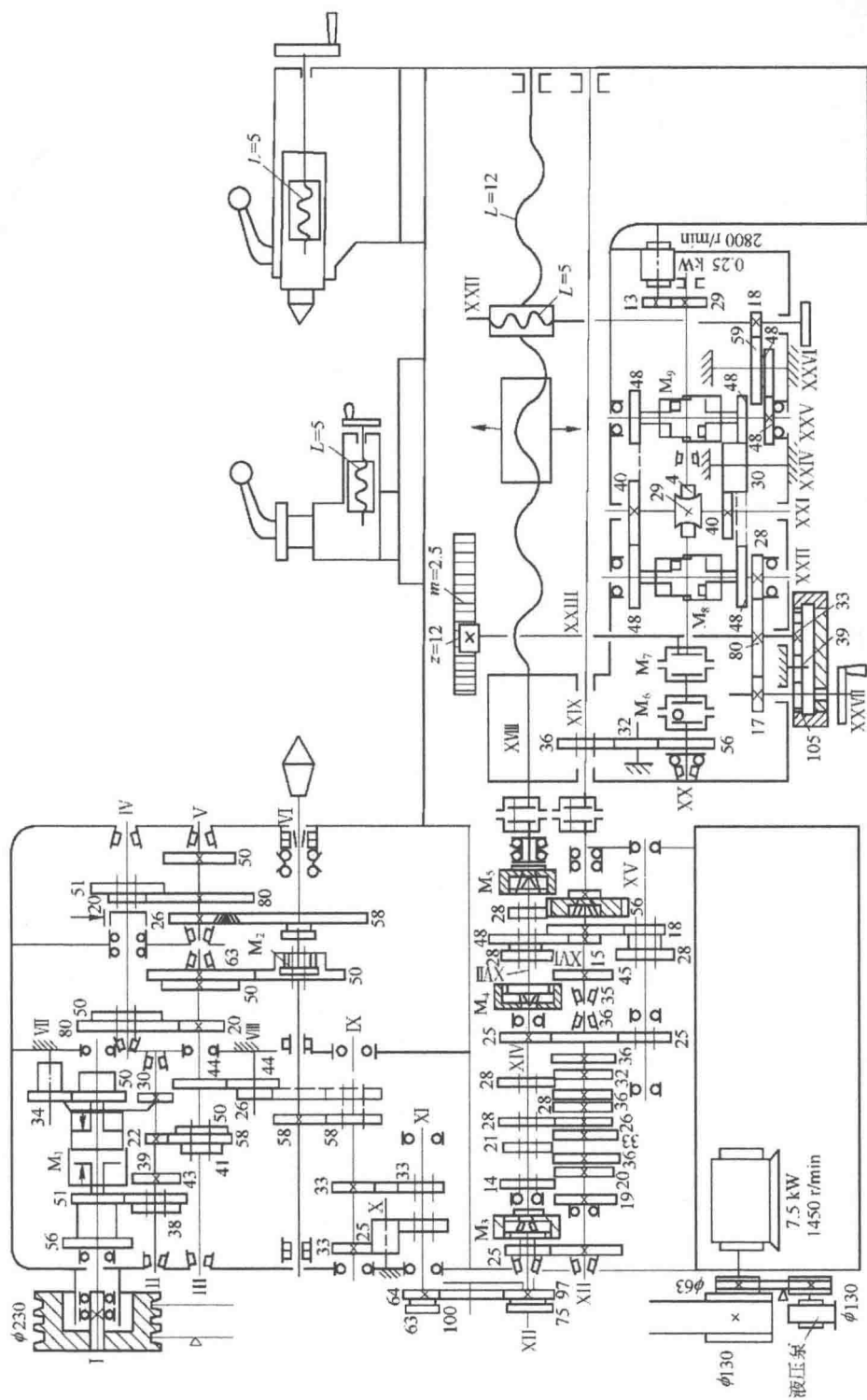
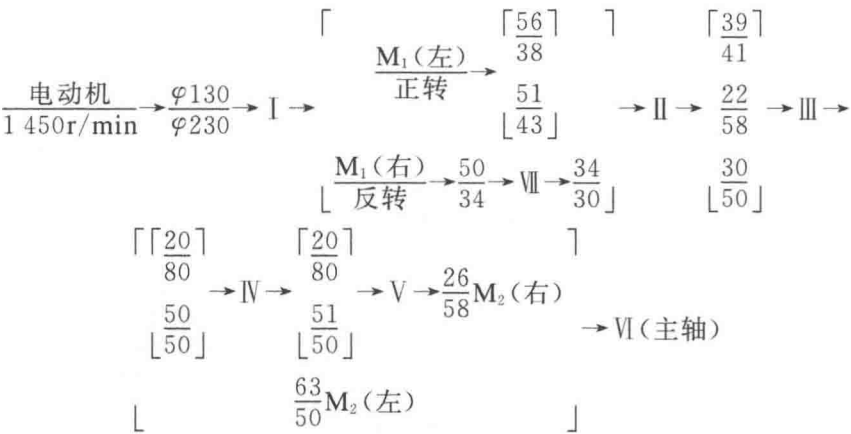


图 1-8 CA6140 型卧式车床传动系统图

1) 主运动传动链

主运动传动链的传动路线表达式如下：



主轴的转速可应用下列运动平衡式计算：

$$n_{\text{主}} = n_{\text{电}} \times \frac{d}{d'} (1 - \epsilon) u_{\text{I-II}} u_{\text{II-III}} u_{\text{III-VI}} \quad (1-4)$$

- 式中, $n_{\text{主}}$ ——主轴转速(r/min);
 $n_{\text{电}}$ ——电机转速(r/min);
 d ——主动带轮直径;
 d' ——从动带轮直径;
 ϵ ——带传动滑动系数;
 $u_{\text{I-II}}、u_{\text{II-III}}、u_{\text{III-VI}}$ ——I—II、II—III、III—VI间传动比。

图 1-9 为 CA6140 型卧式车床的主运动转速图。

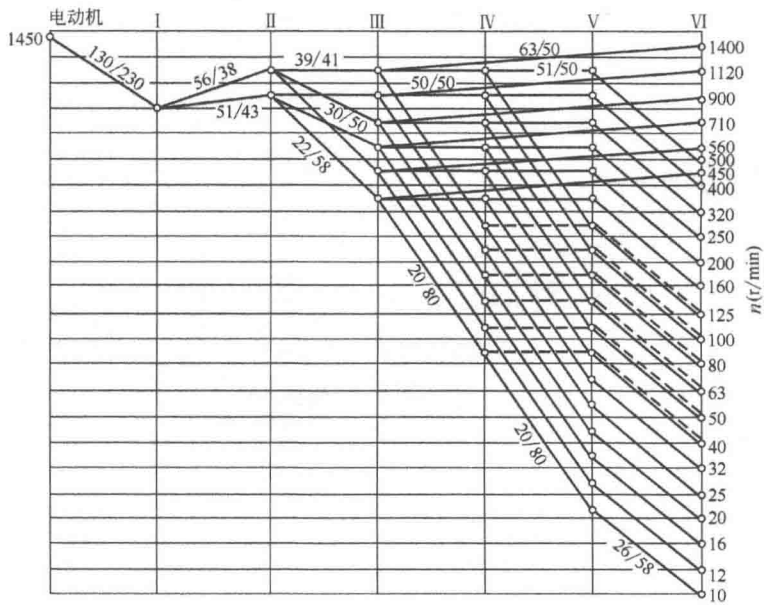


图 1-9 CA6140 型卧式车床主运动转速图

主轴正转转速级数为 $2 \times 3 \times (2 \times 2 + 1) = 30$ 级,但在Ⅲ轴、Ⅴ轴之间 4 种传动比分别为:

$$u_1 = \frac{50}{50} \times \frac{20}{80} = \frac{1}{4} \quad u_2 = \frac{20}{80} \times \frac{20}{80} = \frac{1}{16} \quad u_3 = \frac{50}{50} \times \frac{51}{50} \approx 1 \quad u_4 = \frac{20}{80} \times \frac{51}{50} \approx \frac{1}{4}$$

$u_1 \approx u_4$, 故实际的级数为 $2 \times 3 \times (3 + 1) = 24$ 级。

主轴反转转速级数为 12 级。主轴反转转速较高,通常不用于车削,主要用于车螺纹时退回刀架等。

2) 螺纹进给传动链

车削螺纹时,主轴回转与刀具纵向进给必须保证严格的运动关系:主轴每转一转,刀具移动一个螺纹导程。其运动平衡式为

$$L_{\text{工}} = 1_{\text{主轴}} \times u_{\text{主轴—丝杠}} \times L_{\text{丝}} \quad (1-5)$$

式中, $L_{\text{工}}$ ——螺纹导程 mm;

$1_{\text{主轴}}$ ——指主轴每转一转;

$u_{\text{主轴—丝杠}}$ ——主轴至丝杠间的总传动比;

$L_{\text{丝}}$ ——机床丝杠导程, mm。

要车削不同标准和不同导程的螺纹,只需改变传动比,即改变传动路线或更换齿轮。CA6140 型卧式车床可车削公制、英制、模数、径节 4 种螺纹,也可车大导程、非标准及较精密螺纹,或上述各种左、右螺纹。加工螺纹时,主轴Ⅵ的运动经 $\frac{58}{58}$ 传至轴Ⅸ,再经 $\frac{33}{33}$ (右螺纹)或 $\frac{33}{25} \times \frac{25}{33}$ (左螺纹)传至轴Ⅺ及挂轮。挂轮架的三组挂轮分别为: $\frac{63}{100} \times \frac{100}{75}$ (车公制、英制螺纹)、 $\frac{64}{100} \times \frac{100}{97}$ (车模数、径节螺纹)、 $\frac{a}{b} \times \frac{c}{d}$ (车非标准和较精密螺纹)。车公制和模数制螺纹时 M_3 、 M_4 分离, M_5 接合;车英制螺纹和径节螺纹时 M_3 、 M_5 接合, M_4 分离; M_3 、 M_4 、 M_5 同时接合,便可车非标准和较精密螺纹,根据螺纹导程大小配换挂轮;车大导程螺纹,需将轴Ⅸ滑移齿轮 Z_{58} 向右移动,使之与轴Ⅷ上的 Z_{26} 齿轮啮合。

下面仅以车公制螺纹为例,简要说明其传动路线:

$$\begin{aligned} & \left[\begin{array}{c} \frac{33}{33} \text{(右)} \\ \frac{33}{25} \times \frac{25}{33} \text{(左)} \end{array} \right] \\ \text{主轴 Ⅵ} & \xrightarrow{\frac{58}{58}} \text{Ⅸ} \xrightarrow{\left[\begin{array}{c} \frac{33}{33} \text{(右)} \\ \frac{33}{25} \times \frac{25}{33} \text{(左)} \end{array} \right]} \text{Ⅺ} \xrightarrow{\frac{63}{100} \times \frac{100}{75}} \text{Ⅻ} \xrightarrow{\frac{25}{36}} \text{Ⅼ} \xrightarrow{u_{\text{基}}} \text{Ⅽ} \\ & \text{Ⅽ} \xrightarrow{\frac{25}{36} \times \frac{36}{25}} \text{Ⅾ} \xrightarrow{u_{\text{倍}}} \text{ⅰ} \xrightarrow{M_5} \text{ⅱ} \text{(丝杠)} \text{—刀架} \end{aligned}$$

$u_{\text{基}}$ 传动比共有 8 种,这 8 种传动比近似为等差级数,是获得各种螺纹导程的基本机构。

$$u_{\text{基}1} = \frac{26}{28} = \frac{6.5}{7}, \quad u_{\text{基}2} = \frac{28}{28} = \frac{7}{7}, \quad u_{\text{基}3} = \frac{32}{28} = \frac{8}{7.7}, \quad u_{\text{基}4} = \frac{36}{28} = \frac{9}{7},$$

$$u_{\text{基}5} = \frac{19}{14} = \frac{9.5}{7}, \quad u_{\text{基}6} = \frac{20}{14} = \frac{10}{7}, \quad u_{\text{基}7} = \frac{33}{21} = \frac{11}{7}, \quad u_{\text{基}8} = \frac{36}{21} = \frac{12}{7}$$

$u_{\text{倍}}$ 传动比共有 4 种,这 4 种传动比按倍数关系排列,将由基本组获得的导程值成倍扩大或缩小。

$$u_{\text{倍}1} = \frac{28}{35} \times \frac{35}{28} = 1, \quad u_{\text{倍}2} = \frac{18}{45} \times \frac{35}{28} = \frac{1}{2}, \quad u_{\text{倍}3} = \frac{28}{35} \times \frac{15}{48} = \frac{1}{4}, \quad u_{\text{倍}4} = \frac{18}{45} \times \frac{15}{48} = \frac{1}{8}$$