



普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

金属切削机床

李庆余 岳明君 主 编

孟广耀 侯荣国 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”
卓越工程能力培养规划教材

金属切削机床

主 编	李庆余	岳明君
副主编	孟广耀	侯荣国
参 编	牛宗伟	李 丽
	房晓东	张国海
主 审	李传义	



机械工业出版社

本书侧重于金属切削机床设计原理的剖析,阐述了常用和典型普通机床和数控机床的传动系统形成机理、典型结构和操纵机构的特点,理论和实际相结合,培养学生的逻辑思维能力,提高学生分析问题和解决问题的能力。本书主要包括:机床的基本知识(包括机床运动的一般规律)、车床、齿轮加工机床、镗铣加工机床、磨床。

本书可作为高等院校机械制造及自动化专业及其他机械设计相关专业师生的教材,也可作为机电工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

金属切削机床/李庆余,岳明君主编. —北京:机械工业出版社,
2014.6

普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 46728 - 1

I. ①金… II. ①李…②岳… III. ①金属切削 - 机床 - 高等学校 - 教材 IV. ①TG502

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 099481 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 章承林 冯 铤

版式设计:霍永明 责任校对:刘秀丽

封面设计:张 静 责任印制:刘 岚

北京京丰印刷厂印刷

2014 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·13 印张·317 千字

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 46728 - 1

定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是普通高等院校机械工程及自动化专业的教材，特别适合于卓越工程师教育培养计划的开展，也可作为机电工程技术人员的参考用书。本书是根据高等院校新世纪教学内容和教材体系改革计划的精神编写的，适应高校教学内容和教材改革的需要。

本书为李庆余等主编的《机械制造装备设计》的配套教材。

本书分为五章。第一章为机床的基本知识；第二章为车床；第三章为齿轮加工机床；第四章为镗铣加工机床；第五章为磨床。

本书分析了常用和经典机床的传动系统形成机理、典型结构和操纵机构的特点，理论和实际相结合，不仅能培养学生的逻辑思维能力，提高学生分析问题和解决问题的能力，而且可为机电工程技术人员提供参考。

对于少学时的课程安排，可只选取本书中的基础、精华部分，如车床、YW3150 滚齿机、M1432A 万能外圆磨床、X6132A 卧式万能升降台铣床等。

本书由山东理工大学李庆余、山东大学岳明君任主编，青岛理工大学孟广耀、山东理工大学侯荣国任副主编，参加编写的有山东理工大学牛宗伟、李丽、房晓东、张国海。全书由李庆余统稿，李传义教授主审。

由于编者学术水平有限，难免有不当之处，敬请广大读者批评指正，以便再版时修正完善。

编 者

目 录

前言		
绪论	1	
第一章 机床的基本知识	4	
第一节 金属切削机床的分类及型号编制	4	
第二节 机床的常用术语	8	
第三节 机床运动的基本规律	11	
习题与思考题	17	
第二章 车床	18	
第一节 概述	18	
第二节 CA6140 卧式车床的传动系统	20	
第三节 CA6140 卧式车床的主要结构	36	
第四节 数控车床	59	
习题与思考题	68	
第三章 齿轮加工机床	70	
第一节 滚齿机的运动分析	71	
第二节 YW3150 滚齿机	75	
第三节 YM5150A 插齿机	84	
第四节 弧齿锥齿轮机床	89	
第五节 齿轮机床的主要结构	97	
第六节 数控齿轮机床	103	
习题与思考题	112	
第四章 镗铣加工机床	114	
第一节 X6132A 万能升降台铣床	114	
第二节 XK5040-1 数控升降台铣床	126	
第三节 T6112 卧式镗床	129	
第四节 JCS-018 立式镗铣中心	141	
第五节 Z3040 摇臂钻床	148	
习题与思考题	160	
第五章 磨床	162	
第一节 磨削工艺特点及磨床分类	162	
第二节 万能外圆磨床	164	
第三节 卧轴矩台平面磨床	183	
第四节 MKS1332 数控高速外圆磨床	194	
习题与思考题	194	
附录 常用机床统一名称和类、组、系划分表	196	
参考文献	203	

绪 论

一、机械制造业在国民经济中的地位

金属切削机床 (Metal Cutting Machine Tools) 是用切削的方法将金属毛坯加工成机器零件的机器, 故又称为“工作母机”。

机械制造业是国民经济各部门赖以发展的基础, 是国民经济的重要支柱, 是生产力的重要组成部分。机械制造业不仅为工业、农业、交通运输业、科研和国防等部门提供各种生产设备、仪器仪表和工具, 而且为制造业包括机械制造业本身提供机械制造装备。机械制造业的生产能力和制造水平标志着一个国家或地区的科学技术水平和经济实力。

机械制造业的生产能力和制造水平, 主要取决于机械制造装备的先进程度。机械制造装备的核心是金属切削机床。精密零件的加工, 主要依赖切削加工来达到所需要的精度。金属切削机床所担负的工作量占机器制造总工作量的 40% ~ 60%, 金属切削机床的技术水平直接影响到机械制造业的产品质量和劳动生产率。换言之, 一个国家的机床工业水平, 在很大程度上代表着这个国家的工业生产能力和科学技术水平。显然, 金属切削机床在国民经济现代化建设中起着不可替代的作用。

二、机床的发展概况和我国机床工业的水平

金属切削机床是人类在改造自然的长期实践中产生的, 并经过不断改进完善而发展的。最原始的机床靠手拉或脚踏产生动力, 通过绳索使刀具或工件旋转, 加工对象为木料, 即最原始的机床是木工钻床。随着社会的发展, 出现了木工车床。

当加工对象由木材逐渐过渡到金属时, 车圆、钻孔等都需增加动力, 于是产生了绕垂直轴旋转的、以兽力为动力源的机床。明代宋应星所著《天工开物》中就已有对天文仪器进行铣削和磨削加工的记载。18 世纪出现了刨床。

1776 年, 詹姆斯·瓦特 (James Watt) 发明了蒸汽机, 为机床提供了绕水平轴旋转的、功率巨大的动力源, 使生产技术和机床产生革命性的巨变。1797 年, 英国机床工业之父亨利·莫兹利 (Henry Maudslay) 发明了具有丝杠、光杠、进给刀架和导轨的车床, 可车削不同螺距的螺纹, 并于 1800 年采用交换齿轮改变进给速度和被加工螺纹的螺距。1817 年, 英国理查德·罗伯茨 (Richard Roberts) 采用四级带轮和背轮机构改变车床主轴转速。1818 年, 美国惠特奈 (Whitnry E) 发明了铣床, 用单齿铣刀铣削麻花钻头的螺旋槽; 1829 年, 詹姆斯·内斯密斯 (James Nasmyth) 制造了分度铣床, 1836 年他又发明了刨床; 1835 年, 英国约瑟夫·惠特沃斯 (Joseph Whitworth) 发明了滚齿机, 创造了用滚刀按展成法原理加工渐开线齿形的方法; 1845 年, 美国菲奇 (Stephen Finch) 发明转塔车床; 1848 年, 美国又出现回轮车床; 1962 年, 美国布朗 J. R (Joseph Rogers Brown) 发明万能铣床, 12 年后他又发明了万能磨床; 1873 年, 美国斯潘塞 (Chrostopher Miner Spencer) 制成单轴自动车床, 不久他又制成三轴自动车床; 1888 年, 美国尼古拉·特斯拉 (Nikola Tesla) 发明了三相交流感应式电动机, 为机床提供了新动力源。1897 年, 美国 E. R. 费洛斯 (E · R · Fellows) 创造了插齿机, 使用盘形插齿刀按展成法加工齿轮, 同年德国的鲁道夫·狄塞尔 (Rudolf



Diesel) 发明并改进的具有使用价值的高压缩型压燃式柴油机, 为机床的快速发展奠定了坚实基础。到 19 世纪末, 机床已发展到各种类型, 同一加工车间的机床共用一台动力源, 采用架空传动轴(天轴)、带传动将旋转运动传递到各个机床。20 世纪以来, 齿轮变速器的诞生, 使机床的结构和性能发生了根本性变化, 随电气、液压、数控技术、电力电子技术的发展, 使机床获得了迅速的发展。目前, 普通机床分为 11 大类, 每类机床又按工艺特点、布局型式、结构特点等分为 10 个组, 每组中又分为若干系列; 各类机床都有相应的数控化产品以及多种加工功能的数控加工中心。

不同的“经济模式”对制造装备的要求不同; 制造装备决定了“经济模式”。工业发达国家为了将先进技术、先进生产模式、先进工艺应用于制造业, 增强其经济实力, 非常重视机械制造业的发展, 尤其是机械制造装备工业的发展。在刚刚过去的 20 世纪中, 他们对机械制造装备进行了多次更新换代。20 世纪 50 年代为“规模效益”模式, 即少品种大批量生产模式; 20 世纪 70 年代是“精益生产”(Lean Production) 模式, 以提高质量、降低成本为标志; 20 世纪 80 年代, 较多地采用数控机床、机器人、柔性制造单元和系统等高技术的集成机械制造装备; 20 世纪 90 年代以来, 机械制造装备普遍具有“柔性化”“自动化”和“精密化”的特点, 以适应多品种小批量和经常更新产品的需要。

我国过去实行计划经济, 传统产业的改造进展缓慢, 机械制造业的装备基本上处于工业发达国家 20 世纪 50 年代的水平, 适应“规模效益”的生产模式。改革开放以来, 我国机械制造装备工业迅猛发展。目前我国已能生产从小型仪表机床到重型机床的各种机床, 能够生产出各种精密的、高度自动化的以及高效率的机床和自动生产线; 已经具备了成套装备现代化工厂的能力。有些机床已经接近世界先进水平。我国已能生产 100 多种数控机床, 并研制出六轴五联动的数控系统, 分辨率可达 $1\mu\text{m}$, 适用于复杂形体的加工。我国生产的几种数控机床已成功用于日本富士通公司的无人化工厂。

虽然我国机械制造装备工业取得了很大成就, 但与世界先进水平相比还有很大差距, 主要表现为: 大部分高精度和超精密机床还不能满足现实需求, 精度保持性较差; 高效自动化和数控自动化装备的精度、质量、性能、可靠性指标等方面与国外先进水平相比落后 5 ~ 10 年, 在高精技术、尖端技术方面差距则达 10 ~ 15 年; 国外数控系统平均无故障工作时间为 10000h, 我国自主开发的数控系统仅为 3000 ~ 5000h, 整机平均无故障工作时间国外数控机床为 800h 以上, 国内数控机床仅为 300h。2004 年, 我国数控机床的产量仅为全部机床产量的 13.3%, 远低于日本同期的 75.5%、德国和美国的 60%; 2004 年, 我国数控机床的产值数控化率为 32.7%, 而日本同期机床产值数控化率为 88%, 德国和美国为 75% 左右; 并且在国产数控机床中, 数控车床和电加工机床占数控机床总产量的一半以上, 70% 的数控车床为单片机控制的两轴经济型数控车床, 经济型数控电加工机床则占电加工机床的 80%。2005 年, 我国进口数控机床均价为 12.04 万美元/台, 而同期我国国产数控机床均价为 3.66 万美元/台, 国外进口数控机床在我国市场的占有率为 70%。我国五轴联动数控机床、数控大重型机床、加工中心的年产量不足千台, 而德国、日本等机床制造业发达国家加工中心的年产量均在万台以上, 是我国的 20 倍以上。国外已能生产 19 轴联动的数控系统, 分辨率达 $0.1 \sim 0.01\mu\text{m}$ 。

我国已加入世界贸易组织, 经济全球化时代已经到来, 我国机械制造工业正面临严峻的挑战。我们必须发愤图强, 努力工作, 不断扩大技术队伍和提高人员技术素质, 学习和引进

国外的先进科学技术，大力开展科学研究，尽快赶上世界先进水平。

国家中长期科技发展规划纲要（2006—2020）中规定：提高装备设计、制造和集成能力，以促进企业技术创新为突破口，通过技术攻关，基本实现高档数控机床、工作母机、重大成套技术装备、关键材料与关键零部件的自主设计制造。

第一章 机床的基本知识

第一节 金属切削机床的分类及型号编制

一、金属切削机床的分类

在 GB/T 15375—2008《金属切削机床 型号编制方法》中，机床按其工作原理划分为车床、铣床、钻床、磨床、齿轮加工机床等 11 类。机床的分类及代号见表 1-1。磨床有三个分类，第一分类代号的“1”省略，第二、三分类代号的“2”“3”须标注在类代号前。对于具有两类特性的机床，主要特性应放在后面。次要特性放在前面。例如，铣镗床就是以镗为主、铣为辅的。每一类机床中，又按机床的工艺范围、布局型式和结构特点分为 10 个组，见表 1-2。每一组中，主要参数相同，主要结构及布局型式相同的机床，划分成一个系（系列），最多 10 个系。

表 1-1 机床的类别及代号

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	2M	3M	Y	S	X	B	L	J	Q
读音	车	钻	镗	磨	二磨	三磨	牙	丝	铣	刨	拉	锯	其

表 1-2 金属切削机床类、组代号

组别		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
类别											
车 床 C		仪表小 型车床	单轴自 动车床	多轴自 动、半自 动车床	回 转、 转塔车床	曲轴及 凸 轮 轴 车床	立 式 车 床	落 地 及 卧 式 车 床	仿 形 及 多 刀 车 床	轮、轴、 锭 及 铲 齿 车 床	其 他 车 床
			坐标镗 钻床	深 孔 钻床	摇 臂 钻床	台 式 钻床	立 式 钻床	卧 式 钻床	铣钻床	中心孔 钻床	其 他 钻床
				深 孔 镗床		坐 标 镗床	立 式 镗床	卧 式 铣 镗床	精镗床	汽 车、 拖 拉 机 修 理 用 镗 床	其 他 镗床
磨 床	M	仪 表 磨床	外 圆 磨床	内 圆 磨床	砂 轮 机	坐 标 磨床	导 轨 磨床	刀 具 刀 磨床	平 面 及 端 面 磨 床	曲 轴、 凸 轮 轴、 花 键 轴 及 轧 辊 磨 床	工 具 磨床
	2M		超 精 机	内 圆 珩 磨 机	外 圆 及 其 他 珩 磨 机	抛 光 机	砂 带 抛 光 及 磨 削 机 床	刀 具 刀 磨 及 研 磨 机 床	可 转 位 刀 片 磨 削 机 床	研 磨 机	其 他 磨床
	3M		球 轴 承 套 圈 沟 磨 床	滚 子 轴 承 套 圈 滚 道 磨 床	轴 承 套 圈 超 精 机		叶 片 磨 削 机 床	滚 子 加 工 机 床	钢 球 加 工 机 床	气 门、 活 塞 及 活 塞 环 磨 削 机 床	汽 车、拖 拉 机 修 磨 机 床

(续)

组别 类别	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
齿轮加工机床 Y	仪表齿轮加工机		锥齿轮加工机	滚齿及铣齿机	剃齿及珩齿机	插齿机	花键轴铣床	齿轮磨齿机	其他齿轮加工机	齿轮倒角及检查机
螺纹加工机床 S				套丝机	攻丝机		螺纹铣床	螺纹磨床	螺纹车床	
铣床 X	仪表铣床	悬臂及滑枕铣床	龙门铣床	平面铣床	仿形铣床	立式升降台铣床	卧式升降台铣床	床身铣床	工具铣床	其他铣床
刨插床 B		悬臂刨床	龙门刨床			插床	牛头刨床		边缘及模具刨床	其他刨床
拉床 L			侧拉床	卧式外拉床	连续拉床	立式内拉床	卧式内拉床	立式外拉床	键槽、轴瓦及螺纹拉床	其他拉床
锯床 G			砂轮片锯床		卧式带锯床	立式带锯床	圆锯床	弓锯床	铰锯床	
其他机床 Q	其他仪表机床	管子加工机床	木螺钉加工机		刻线机	切断机	多功能机床			

同类机床按工艺范围可分为通用机床、专门化机床和专用机床。通用机床是指能够加工多种工件的不同工序的机床，工艺范围广，又称为万能型机床；但其结构复杂，刚度相对较低，生产率相对较低；适用于单件、小批量生产模式，如卧式车床、万能升降台式铣床、万能外圆磨床、摇臂钻床等。专门化机床是指能加工一类或几类工件的某道或几道特定工序的机床，其工艺范围较窄，如曲轴车床、凸轮轴车床等。专用机床是指能完成某一特定工件的特定工序的机床，工艺范围最窄，如组合机床，适用于大批大量生产模式。

机床按加工精度可分为普通精度机床、精密机床和高精度机床。

机床按自动化程度可分为手动机床、机动机床、半自动机床和自动机床。

机床按加工工件质量和尺寸可分为仪表机床（微型机床）、中小型机床、大型机床（工件质量 10t 以上）、重型机床（工件质量 30t 以上）和超重型机床（工件质量 100t 以上）。

机床按其主要工作部件的多少可分为单轴、多轴机床或单刀、多刀机床。

通常，机床按加工性能分类，再根据其某些特点进行进一步的描述，如多刀半自动车床、多轴自动车床等。

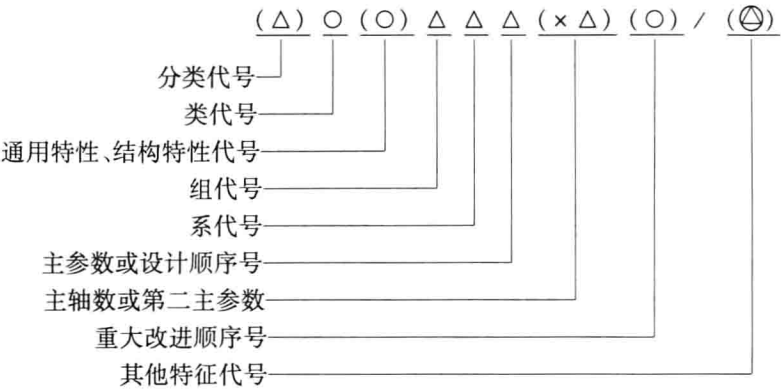
二、机床通用型号

机床型号可以简明地表示机床的类型、通用特征和结构特征以及主要技术参数。GB/T 15375—2008 规定，机床型号由汉语拼音字母和数字按一定规律组合而成，适用于除组合机床、特种加工机床外的通用机床。机床通用型号表示方法如图 1-1 所示。

机床型号由基本部分和辅助部分组成，中间用“/”隔开。基本部分内容及代号统一，辅助部分是否纳入型号由企业自定。

机床的通用特性代号见表 1-3。当某类机床在普通型（基本型）外，又派生其他型机床，须在类代号后增加通用特性代号，如“CK”表示数控车床；如果某类机床同时具有两

种通用特性，可用两个通用特性代号同时表示，如“MBG”表示半自动高精度磨床；如果某类型机床仅有某种通用特性，没有普通型号，则通用特性不必表示，如 C1107 型单轴纵切自动车床，由于这类机床没有“非自动”型，所以型号中不必用“Z”表示通用特性。



- 注：1. 标有“（ ）”的代号或数字，当无内容时，则不表示；若有内容则不带括号。
2. 标有“O”符号的代号为汉语拼音大写字母。
3. 标注“Δ”的代号为阿拉伯数字。
4. 标注“⊕”的代号为汉语拼音大写字母或阿拉伯数字，或两者兼有之。

图 1-1 机床通用型号表示方法

表 1-3 机床的通用特性代号

通用特性	高精度	精密	自动	半自动	数控	加工中心 (自动换刀)	仿形	轻型	加重型	柔性加工单元	数显	高速
代号	G	M	Z	B	K	H	F	Q	C	R	X	S
读音	高	密	自	半	控	换	仿	轻	重	柔	显	速

对主参数值相同而结构、性能不同的基本型机床，在型号中加结构特性代号予以区别，如 CA6140 型卧式车床型号中的“A”。根据各类机床的具体情况，对某些结构特性代号，可赋予一定含义。但结构特性代号与通用特性代号不同，在型号中没有统一的含义，只在同类机床中起区分机床结构、性能不同的作用。当型号中有通用特性代号时，结构特性代号应排在通用特性代号之后。结构特性代号用通用特性代号已用的字母之外的英文大写字母表示，但不得用“I”和“O”，即用 A、D、E、J、L、N、P、T、Y 表示。

机床主参数代表机床的规格，用折算值（主参数乘以折算系数），位于系代号之后。常用机床的主参数有规定的表示方法，见附录。主参数的折算值小于 10 时，在折算值前加“0”，如 CM1107 车床。

某些通用机床无法用一个主参数表示时，则在型号中用设计顺序号表示。设计顺序号起始于 1，当设计顺序号小于 10 时，由 01 开始编号。

对于多轴车床、多轴钻床等，其主轴数量置于型号的主参数后，用“×”（读作“乘”）分开。

第二主参数（多轴机床的主轴数例外）一般不予表示；在型号中表示的第二主参数一般折算成两位数，最多为三位数。以长度、深度值等表示的第二主参数，折算系数为 1/100；以直径、宽度值表示的，折算系数为 1/10；以厚度、最大模数值表示的，其折算系数为 1。当折算值大于 1 时，取整数；折算值小于 1 时，则取小数点后第一位，并在前加“0”。常用机床的第二主参数见表 1-4。

表 1-4 常用机床的第二主参数

机 床 名 称	第二主参数	机 床 名 称	第二主参数	机 床 名 称	第二主参数
卧式车床	最大工件长度	立式车床	最大工件高度	摇臂钻床	最大跨距
坐标镗床	工作台面长度	外圆磨床	最大磨削长度	内圆磨床	最大磨削深度
矩台平面磨床	工作台面长度	齿轮加工机床	最大模数	龙门铣床	工作台面长度
升降台铣床	工作台面长度	龙门刨床	最大刨削长度	拉床	最大行程

注：1. 本表非 GB/T 15375—2008 中的内容。
2. 齿轮加工机床中，花键轴铣床的第二主参数为最大铣削长度。

机床的结构布局有重大改进，并按新产品重新设计、试制、鉴定时，在原机床型号基本部分的尾部加改进顺序号，改进顺序号用 A、B、C、…（但不得选用“I”“O”）表示，以区别原有机床。

重大改进设计不同于完全的新设计，它是在原有机床基础上进行改进设计的，因此重大改进后的产品与原型号是一种替代关系。

凡属局部改进，或增减某些附件、测量装置及改变装卡工件的方法等，因对原机床的结构、性能没有作重大的改变，故不属于重大改进，其型号不变。

其他特性代号置于型号辅助部分之首。同一型号机床的变型代号，放在其他特性代号之首。

其他特性代号主要用以反映各类机床的特性。对于数控机床，可用来反映不同的数控系统等；对于加工中心，可用来反映控制系统、联动轴数、自动交换主轴头、自动交换工作台等；对于柔性单元，可用来反映自动交换主轴箱；对于一机多能机床，可用以补充表示某些功能；对于一般机床，可表示同一型号机床的变型等。

其他特性代号可用除“I”“O”以外的大写英文字母表示。“L”表示联动轴数，联动轴数用阿拉伯数字表示，写在“L”前；“F”表示复合。其他特性代号也可单独用阿拉伯数字表示。

综合上述通用机床型号的编制方法，举例如下：

例 1 CA6140 车床：卧式、结构与 C6140 有重大区别的，最大加工直径为 400mm 的基本型车床。

例 2 MG1432A 磨床：第一次重大改进的高精度、万能外圆磨床，最大磨削直径 320mm。

例 3 最大磨削直径为 400mm 的高精度数控外圆磨床，其型号为 MKG1340。

例 4 最大钻孔直径 40mm、最大跨距为 1600mm 的摇臂钻床，其型号为 Z3040 × 16。

例 5 工作台面宽度为 400mm 的五轴联动卧式加工中心，其型号为 TH6340/5L。

三、专用机床型号

专用机床型号一般由机床制造企业代号或机床研究单位代号和设计顺序号组成，设计顺序号为三位数字，起始于 0001。专用机床型号表示方法如图

1-2 所示。

例 上海机床厂设计制造的第 15 种专用机床为专用磨床，则其型号为 H-015。

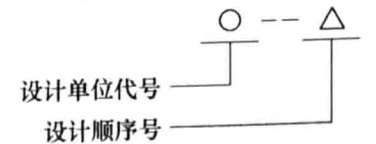


图 1-2 专用机床型号表示方法

四、机床自动线型号

机床自动线由通用机床和专用机床组成，其型号构成与专用机床型号相同，只是在设计顺序号前增加“ZX”（读作“自线”）代号。

例 北京机床研究所设计的第一条机床自动线，则其型号为 JCS-ZX001。

五、GB/T 15375—2008 与 JB1838—1985 的区别

- 1) GB/T 15375 机床分类中无特种加工机床。
- 2) JB 1838 将主轴数归属为第二主参数；GB/T 15375 则将其分解为主轴数和第二主参数，主轴数必须表示，第二主参数一般不表示。
- 3) GB/T 15375 通用特性代号中增加“R”“S”“X”。
- 4) GB/T 15375 将变型代号归属为辅助部分。

第二节 机床的常用术语

一、表面成形运动

为获得工件所需的形状，刀具与工件须产生的相对运动，称为表面成形运动。车削外圆柱面，需要两个表面成形运动，即刀具和工件的相对旋转运动和刀具的轴向移动，也可认为是一个空间螺旋线成形运动，螺旋线导程小于车刀切削刃宽度，切削刃宽度与刀具移动量之间没有严格传动联系，刀具移动量的大小只影响圆柱面的表面精度。成形车刀切削螺纹，也需要一个空间螺旋线运动，但切削刃形状已定，工件旋转运动与刀具移动量有严格传动联系，工件旋转一圈刀具必须移动一个螺纹导程。总之，表面成形运动必须分解成圆周运动和直线运动，便于运动的产生。

二、表面成形运动的分类

表面成形运动按切削加工过程中的作用，分为主运动和进给运动。

1. 主运动

成形运动中速度高、旋转（运动）精度高、消耗功率最大的运动称为主运动。如 CA6140 车床主轴带动工件旋转是主运动，工件直径为 d ，转速为 n ，刀具纵向移动量 $f_{\max} = 6.33\text{mm/r}$ ，则成形运动的速度 v 为

$$v = \sqrt{(\pi dn)^2 + (nf)^2} = \pi dn \sqrt{1 + \left(\frac{f}{\pi d}\right)^2} \approx \pi dn \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{f}{\pi d}\right)^2\right] \approx \pi dn$$

再如，滚齿机齿轮滚刀的旋转是主运动，滚刀转速为 n ，滚刀分度圆直径为 d 、滚刀模数为 m 、滚刀导程角 $\gamma_{\max} = 4.57^\circ$ ，加工的圆柱直齿轮齿数为 z ，滚刀刀架的垂直进给量为 $f_{\max} = 4\text{mm/r}$ （Y3150E 滚齿机的刀架移动量），总进给量为 $\frac{nf}{z}$ ，滚齿机加工齿轮为展成法加工，单头滚刀旋转一圈工件旋转一个齿，齿坯分度圆速度 πmn 小于滚刀切向速度，滚刀旋转运动为主运动，则成形运动的速度 v 为

$$v = \pi dn + \frac{nf}{z} = \pi dn \left(1 + \frac{f}{\pi dz}\right) \approx \pi dn$$

成形运动的速度近似等于主运动速度，因而将主运动速度称为切削速度，或者说产生切削速度的运动称为主运动。

钻床主轴带动钻头旋转、镗床主轴带动镗刀旋转、磨床砂轮的旋转运动、铣床铣刀的旋转运动等都是主运动，刨插床刨刀的直线移动、龙门刨床的工作台移动等也是主运动。

2. 进给运动

维持切削连续的运动。也可以说除主运动外的表面成形运动称为进给运动。进给运动可以是一个，也可以由多个运动合成。如车削圆柱体或圆柱螺纹是一个进给运动；磨床磨削外圆柱面则需工件旋转作圆周进给运动，工件纵向移动轴向进给两个进给运动；滚齿机滚铣圆柱斜齿轮则需要齿坯旋转实现展成进给运动、齿坯附加转动形成斜齿的进给运动，以及刀架带动滚刀垂直移动形成齿宽的进给运动三个进给运动。

三、传动链

除高频微量进给链采用直线电动机直接驱动执行件运动外，一般成形运动动力源为交流电动机，动力源的运动为旋转运动；动力源的旋转运动经传动件产生加工工艺所需要的运动速度和精度，由末端传动件输出并带动工件或刀具产生成形运动。将动力源的旋转运动改变为成形运动所需的具有一定精度和运动速度的传动件构成传动链，末端传动件称为传动链的执行件。按传递的速度、功率分为主运动传动链和进给运动传动链。

1. 传动副的传动比

机床传动链中，输出转速（速度）与输入转速（速度）之比称为传动比。即传动比 i 为

$$i = \frac{n_o}{n_i} = \frac{v_o}{v_i}$$

式中 n_o 、 v_o ——输出转速（速度）；

n_i 、 v_i ——输入转速（速度）。

若传动副为带传动，则传动比为主动带轮计算直径与从动带轮计算直径之比；若传动副为齿（链）轮传动，则传动比为主、从动齿（链）轮的齿数比。

当传动比大于 1 时，传动副为升速传动；当传动比小于 1 时，传动副为降速传动。

2. 内联系传动链

主运动和进给运动或两个进给运动的执行件之间有严格运动要求的，一般将运动速度高的执行件作为间接动力源，因为降速传动能缩小传动误差，降低噪声，传动精度高。这种将执行件与间接动力源有严格要求的传动链称为内联系传动链。如车削螺纹的成形运动，由主运动和刀具纵向移动组成，主运动的执行件与刀具有严格的运动要求，工件旋转一圈时刀具必须移动一个螺纹导程，因而车削螺纹的传动链是内联系传动链，主运动转速高作为间接动力源。单头滚刀滚切斜齿圆柱齿轮有两条内联系传动链：一条为形成渐开线齿廓的展成运动，由滚刀的旋转运动和齿坯的旋转运动组成，滚刀的旋转运动是主运动，为间接动力源，滚刀旋转一圈齿坯转动一个齿距角；另一条是形成螺旋线形斜齿的运动，由滚刀刀架的垂直移动和齿坯的旋转运动组成，刀架移动一个齿轮导程齿坯旋转一圈。若加工法向模数为 m_n 、齿数为 z 、螺旋角为 β （一般 $\beta = 8^\circ \sim 15^\circ$ ）的斜齿圆柱齿轮，其分度圆直径 d 为

$$d = \frac{m_n z}{\cos \beta}$$

斜齿圆柱齿轮的导程 T 为

$$T = \frac{\pi m_n z}{\cos\beta \tan\beta} = \frac{\pi m_n z}{\sin\beta}$$

$$\frac{1}{\tan\beta} < 1 \quad T > \pi d$$

由此可见, 齿轮螺旋线斜齿的导程 T 大于分度圆周长, 因此滚刀刀架的垂直移动为螺旋线形斜齿成形运动的间接动力源。从另一角度考虑, 齿轮宽度远小于 T , 若齿轮旋转运动为形成螺旋线形斜齿运动的间接动力源, 不可能加工出完整齿轮。齿坯由展成运动和螺旋线形斜齿成形运动的末端执行件带动旋转, 为防止运动干涉, 须设置运动合成机构。

3. 外联系传动链

成形运动分解的两机床运动的执行件之间没有严格运动要求, 机床运动只与动力源有联系的, 称为外联系传动链。即动力源不是传动链的组成部分, 但变速电动机 (包括双速电动机、变频调速电动机、交流伺服电动机) 是动力源和传动变速机构的合成部件, 当然是传动链的一部分。例如, 外圆磨床砂轮主轴带动砂轮旋转为主运动, 砂轮相对于工件的螺旋线形成运动分解为工件的旋转 (圆周进给运动) 和工件的往复移动 (轴向进给运动), 这些运动不要求有严格的运动关系, 因此磨削外圆柱面时, 主运动传动链、圆周进给运动传动链、轴向进给运动传动链都是外联系传动链。

机床的主运动传动链都是外联系传动链。这是由于切削速度不影响表面成形, 只影响加工效率和表面加工精度。一般主运动采用等比传动, 数控机床多采用变频无级调速和串联等比传动组合的传动形式。

四、传动原理图

为满足不同的工艺需求, 保证机床具有一定工艺范围, 传动链须有多级速度, 即传动链由固定传动比传动机构和可变传动比变速机构组成。为便于研究机床的传动联系, 常用简单符号表示动力源和执行件以及执行件与执行件之间的传动联系, 形成的简图称为传动原理图。传动原理图常用示意符号如图 1-3 所示。

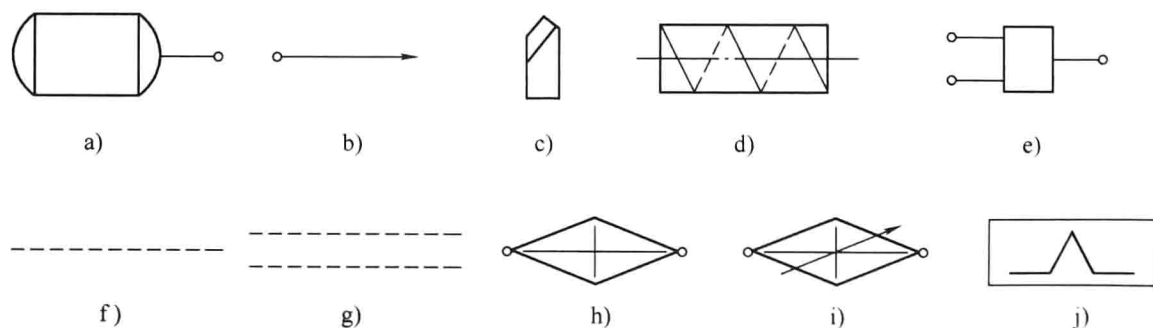


图 1-3 传动原理图常用示意符号

- a) 电动机 b) 主轴 c) 车刀 d) 滚刀 e) 合成机构 f) 定比机械联系
g) 电联系 h) 变速机构 i) 数控变速系统 j) 脉冲发生器

CA6140 卧式车床螺纹链的传动原理图如图 1-4 所示。卧式车床加工圆柱螺纹时仅需一个刀具相对于工件的螺旋成形运动, 由主轴带动工件旋转的主运动 B_1 和刀具轴向移动的进给运动 A_1 组成。螺纹链是内联系传动链, 主运动链为外联系传动链。图 1-4 中 5 为主轴, 3~5 有两条传动路线, 称为分支传动; 高速分支为定比传动; 低速分支则由变速机构 3—4、

定比传动副 4—5 组成。螺纹传动链动力源为主轴 5，末端件为车刀 8，5—6—8 为正常螺纹导程加工路线，5—3—6—8 的传动路线则表示主运动处于低速传动中。3~5 为降速传动，5—3—6 的传动路线是升速传动，此时传动轴 6 转速高，螺纹车刀 8 移动量大，即此传动路线为扩大螺纹导程传动路线，主运动低转速时车削大导程螺纹，符合工艺规范。主运动的低速变速机构同时又是螺纹传动链的导程扩大变速机构，其传动比须准确，以满足内联系传动链的需求。

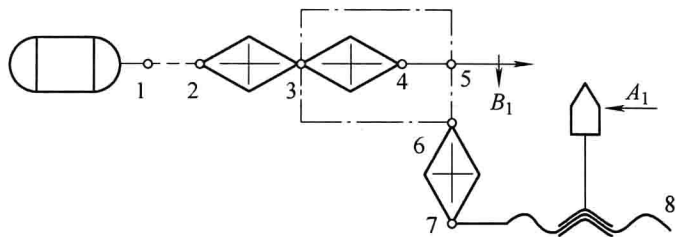


图 1-4 CA6140 卧式车床螺纹链传动原理图

CA6140 卧式车床机动车削传动原理图如图 1-5 所示。图 1-5 中进给量的变速机构仍是螺纹进给链的变速机构，7—8—9—10、7—8—11—12 传动路线具有减速、换向功能。从传动动原理图中不难看出，机动进给有三条传动路线：①5—6—7—8 传动路线为正常进给传动路线；②5—4—3—6—7—8 传动路线为大进给量传动路线；③主运动高速旋转时，3~5 处于工作状态，3~5 是定比升速传动，5—3—6 传动路线则为降速传动，因而主运动高速旋转时，利用 5—3—6—7—8—9—10（8—11—12）的传动路线可获得细小进给运动。

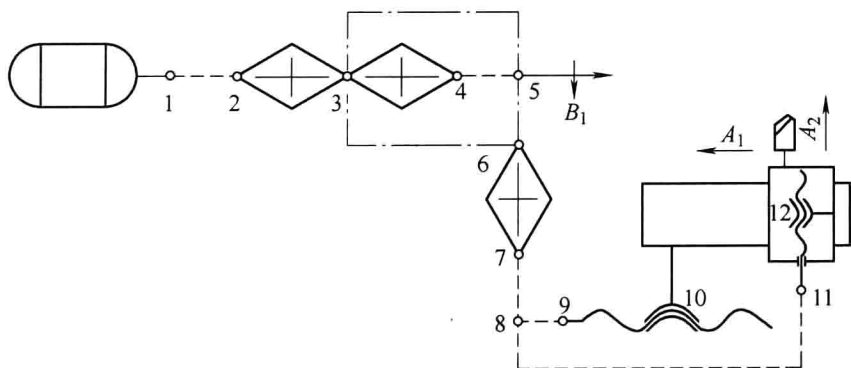


图 1-5 CA6140 卧式车床机动车削传动原理图

第三节 机床运动的基本规律

一、主轴转速的基本规律

1. 主轴转速的合理排列

机床的主轴转速绝大多数是按照等比数列排列的，以 φ 表示公比，则转速数列为

$$n_1 = n_{\min}; n_2 = n_1 \varphi; n_3 = n_1 \varphi^2; \cdots; n_j = n_1 \varphi^{j-1}$$

则 Z 级转速的变速范围为

$$R_n = \varphi^{Z-1} \quad (1-1)$$

主轴转速数列呈等比数列的原因是：设计简单，使用方便，最大相对转速损失率相等。

(1) 简化设计 如果机床的主轴转速数列是等比的，公比为 φ ，且转速级数 Z 为非质数，则这个数列可分解成几个等比数列的乘积，使传动设计简化。

例 $Z = 24$ ，则该数列分解成为

$$\begin{Bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_{24} \end{Bmatrix} = n_1 \begin{Bmatrix} 1 \\ \varphi \\ \vdots \\ \varphi^{23} \end{Bmatrix} = n_1 \begin{Bmatrix} 1 \\ \varphi \\ \varphi^2 \\ \vdots \\ \varphi^{21} \end{Bmatrix} = n_1 \begin{Bmatrix} 1 \\ \varphi \\ \varphi^2 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ \varphi^3 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ \varphi^6 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ \varphi^{12} \end{Bmatrix} \quad (1-2)$$

四个等比数列变速组串联，使机床主轴获得 24 种等比数列转速。因子数列从左到右称为 a、b、c、d 数列；各因子数列的项数分别用 P_a 、 P_b 、 P_c 、 P_d 表示；各因子数列的公比称为级比，以防止与主轴转速数列的公比相混淆；各因子数列的级比是公比的整数次幂，幂指数称为级比指数，分别用 x_a 、 x_b 、 x_c 、 x_d 表示。从数列分解式中可知：各因子数列项数之积等于 Z 。即

$$Z = P_a P_b P_c P_d$$

将因子数列的级比指数写在该因子数列项数的右下角，形成机床设计最基本的公式——结构式

$$Z = (P_a)_{x_a} (P_b)_{x_b} (P_c)_{x_c} (P_d)_{x_d} \quad (1-3)$$

上例主轴转速数列的结构式为

$$24 = 3_1 \times 2_3 \times 2_6 \times 2_{12}$$

(2) 使用方便，最大相对转速损失率相等 等比数列转速的转速通式为

$$n_j = n_1 \varphi^{j-1} \quad (1-4)$$

则机床的切削速度与工件（或刀具）直径的关系为

$$d = \frac{1000v}{\pi n_j} = \frac{1000v}{\pi n_1 \varphi^{j-1}}$$

将上式两边取对数得

$$\lg d = \lg v + (3 - 0.497 - \lg n_1) - (j-1) \lg \varphi = \lg v - (j-1) \lg \varphi + k$$

从式中可知： d 的对数值是 v 的对数值的一次函数，斜率为 1，函数图像是与切削速度对数坐标轴成 45° 的斜线，取 $j = 1 \sim Z$ ，可得到 Z 条平行间距相等的斜线，如图 1-6 所示。在图中，从选择的速度点向上作平行于纵轴（ d 轴）的直线，从已知的工件（或刀具）直径点向右作平行于横轴（ v 轴）的直线，两直线垂直相交点就是要选择的转速点。这样使用方便。车床、铣床、镗床等都配有速度选择图。

如果加工某一工件需要的最佳切削速度为 v ，相应的转速为 n 。一般情况下， n 不可能正好在某一转速线上，而是在两转速线 n_j 与 n_{j+1} 之间。即

$$n_j < n < n_{j+1}$$

此时，采用较高转速 n_{j+1} 会提高切削速度，降低刀具使用寿命。为保证刀具的使用寿命，应选择较低的转速 n_j ，这时转速的损失为 $n - n_j$ ，相对转速损失率为

$$A = \frac{n - n_j}{n} \times 100\%$$

最大相对转速损失率为 n 趋近于 n_{j+1} 时的 A 值。即

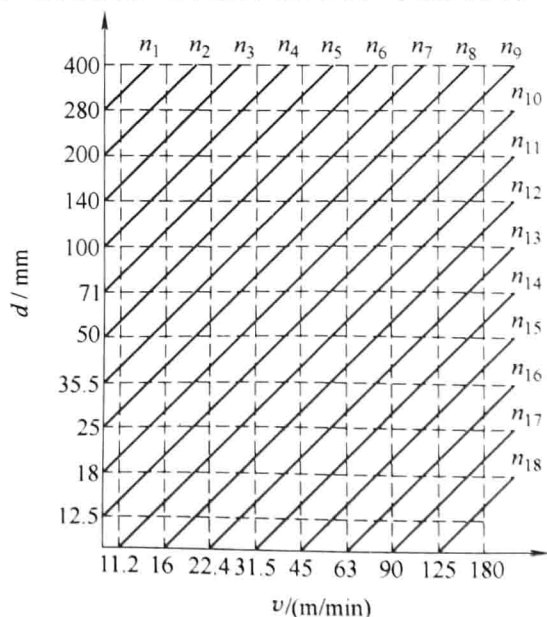


图 1-6 转速选择图