

机 制 专 业 参 考 讲 义

金属切削机床

上 册

湖南大学机械制造专业编



毛主席语录

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是马克思主义的认识论，就是辩证唯物论的认识论。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

一切产品不但求数量多，而且求质量好，耐穿耐用。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

目 录

第一篇 通用机床

绪 论

§ 1. 我国机床工业发展概况	1
§ 2. 机床的分类和技术规格	2
(一) 机床的分类	2
(二) 机床的技术规格	2
§ 3. 机床型号的编制	5

第一章 车 床

§ 1—1 车床的用途和分类	8
§ 1—2 C620—1型普通车床	8
(一) 机床的用途及其性能	8
(二) 机床的组成部分	8
(三) 机床主要技术性能	9
(四) 机床的传动系统	9
(五) 主要构造	20
§ 1—3 C620—1B型车床进给箱及CW6163型车床溜板箱	25
(一) C620—1B型车床进给箱	25
(二) CW6163型车床溜板箱	26
§ 1—4 六角车床	32
(一) 六角车床的工艺特点	32
(二) 六角车床的类型	33
§ 1—5 精密丝杠车床	36
§ 1—6 立式车床	38
§ 1—7 机床的运动分析	39
(一) 机床上运动的种类	39
(二) 机床的运动联系	40

第二章 铣 床

§ 2—1 铣床的用途、工艺特点及其分类	42
----------------------	----

(一) 铣床的用途	42
(二) 铣床的工艺特点	42
(三) 铣床的分类	43
§ 2-2 X62W型卧式万能升降台铣床	45
(一) 主要组成部分及其技术参数	45
(二) 传统系统图的介绍	46
(三) 典型机构	48
§ 2-3 分度头	51
(一) 直接分度法	52
(二) 简单分度法	52
(三) 差动分度法	53

第三章 钻床、镗床

§ 3-1 钻床	55
(一) 钻床的用途及分类	55
(二) Z3040×16型摇臂钻床	56
§ 3-2 镗床	61
(一) 卧式镗床	61
(二) 座标镗床	66

第四章 磨床

§ 4-1 概述	72
(一) 磨床的工艺特点	72
(二) 用途和分类	72
(三) 磨床的安全工作	72
§ 4-2 外磨床圆	73
(一) 用途和分类	73
(二) M1420型万能外圆磨床	75
(三) 无心磨床	80
§ 4-3 内圆磨床	82
(一) 内圆磨床	82
(二) 无心内圆磨床	83
(三) 行星内圆磨床	84
§ 4-4 平面及端面磨床	84
(一) 用砂轮圆周面磨削的平面磨床	84
(二) 用砂轮端面磨削的平面磨床	85

第二篇 其他机床

第一章 齿轮加工机床

§ 1-1 概述	86
§ 1-2 滚齿机	87
(一) 滚齿机工作原理及运动联系	87
(二) Y38型滚齿机运动分析	91
(三) 滚齿机换置机构的布置讨论	98
(四) 提高滚齿机加工精度的途径	101
§ 1-3 插齿机	104
(一) 插齿机的工作原理和表面形成运动	104
(二) Y54型插齿机	105
§ 1-4 锥齿轮加工机床	111
(一) 概述	111
(二) 锥齿轮齿形的形成原理	112
(三) Y236型锥齿轮刨齿机床	115
(四) 弧齿锥齿轮加工原理	124
§ 1-5 齿轮磨床的原理	125
§ 1-6 铲齿车床	126
(一) 用途和工作原理	126
(二) C8955型铲齿车床	129
§ 1-7 配换齿轮的选择方法	134
(一) 因子分解法	135
(二) 计算尺法	135
(三) 对数法	136

第二章 自动车床

§ 2-1 概述	138
§ 2-2 自动和半自动车床的特点和分类	139
(一) 一般概念	139
(二) 自动化的意义	139
(三) 自动和半自动车床的分类	140
§ 2-3 C124K型单轴六角自动车床	144

(一) 工艺特点	144
(二) 机床的组成部分	145
(三) 机床的主要技术性能	145
(四) 机床的自动循环和运动	147
(五) 机床传动系统分析	148
(六) 机床的典型机构	149
§ 2—4 C1325型单轴六角自动车床的特点	154
(一) 机床的主传动	155
(二) 高速钻孔传动	155
§ 2—5 C124K(C1325)型单轴六角自动车床的调整	156
(一) 调整的主要内容	156
(二) 调整计算实例	156

第三章 数字控制机床

§ 3—1 概述	165
§ 3—2 程序控制机床	167
(一) 程序控制的概念	167
(二) 行程程序控制机床	167
§ 3—3 数字程序控制机床(简称数控机床)	169
(一) 数字程序控制机床工作原理	169
(二) 数字程序控制机床的分类	181
(三) 数字程序控制机床的应用及其经济效果	182
§ 3—4 自动换刀数字控制机床	183
§ 3—5 “适应性”数字控制机床	185
§ 3—6 机床的“群控”	186

第一篇 通用机床

绪 论

§1 我国机床工业发展概况

解放前，由于帝国主义的侵略、压榨与掠夺，以及国民党反动统治的黑暗、腐败与无能，我国根本没有自己的机床工业。当时只有一些修配性质的机械厂曾经生产过一点性能很差、质量低劣、为数甚少、结构陈旧的机床，其他几乎全靠进口。

解放后，由于伟大领袖毛主席和党中央的英明领导，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，经过三年经济恢复时期，将一批机器修配厂改建为机床专业厂，到1952年底，机床年产量即达1万台以上。第一个五年计划期间，又新建和改建了一批现代化的机床厂，并建立了北京机床研究所等研究机构，规定了各厂的产品专业方向，机床品种发展到200多种，年产量达3万多台。第二个五年计划期间，在“**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义**”的总路线光辉指引下，机床工业出现了大跃进的局面，品种和产量都有了飞跃的发展，通用机床已初步形成系列，精密机床和重型机床也有了发展。再经过第三个五年计划，特别是经过史无前例的无产阶级文化大革命后，在毛主席和党中央提出的“中央工业和地方工业同时并举，发挥中央和地方两个积极性”的方针指引下，突出无产阶级政治，高举鞍钢宪法红旗，坚持“**独立自主，自力更生，艰苦奋斗，勤俭建国**”的方针，放手发动群众，大搞群众运动，狠批“洋奴哲学”和“爬行主义”，走自己工业发展的道路，使我国机床工业更加朝气蓬勃地向前发展，机床年产量比1965年增长了二倍多，品种增长了三倍多。各地区都相继地建立起自己的机床工业体系。全国各主要机床厂都相继地成立了机床专业研究机构。我们伟大的祖国已初步建成独立的机床工业体系。

伟大领袖毛主席教导我们：“**路线是个纲，纲举目张**”。历史的事实证明，坚决贯彻执行毛主席的革命路线，机床工业就蓬蓬勃勃地向前发展。由于刘少奇一类骗子的干扰，背离了毛主席的革命路线，机床工业的发展就受到影响。

经过24年的努力，在毛主席无产阶级革命路线的指引下，“**自力更生，艰苦奋斗**”我国机床工业从无到有，从小到大，走完了资本主义国家五十多年甚至百多年走过的路程，已经基本上能满足社会主义建设的需要，为国防建设和工农业生产，为支援世界革命提供了成套设备。某些产品已经赶上或超过了世界先进水平，出现了一批高、大、精、尖的新产品。如 $\phi 10$ 米的大型立车，5米 $\times$ 20米的龙门刨铣联合机床，工作台面积为2米 $\times$ 3米的座标镗床， $\phi 500 \times 5$ 米的大型螺纹磨床， $\phi 4$ 米 $\times$ 15米的落地车床， $\phi 3.2$ 米的滚齿机床， $\phi 300 \times M5$ 的数控非圆插齿机床，和劈锥数控铣床等，机床工业出现了赶超世界先进水平的可喜局面。

我国机床工业虽然已经取得了伟大的成就，但由于社会主义高速度发展的需要，国防

建设和工农业飞跃发展的需要,支援世界革命的需要,在重型机床和高效自动化机床方面,在机床基础理论和新技术、新工艺、新结构的研究方面,还远远满足不了国家建设的需要,与世界先进水平相比,还有一定的差距,有待我们的继续努力,迎头赶上。我们深信,在党中央和毛主席的英明领导下,中国人民有志气,有能力,一定要在不远的将来,赶上和超过世界先进水平。

§2 机床的分类和技术规格

(一) 机床的分类

机床可以按其使用上的万能性、工作精度、重量、加工性质和所使用的刀具等来分类。

(I) 按机床的加工性质和使用的刀具来分类,有下列十二种类型:

机床类别及代号

机床类别	车床	钻床	镗床	磨床			齿轮机床	螺纹机床	铣床	刨床	拉床	电加工机床	切断机床	其他机床
代号	C	Z	T	M	2M	3M	Y	S	X	B	L	D	G	Q

(II) 按机床在使用上的万能程度来分类:

(1) 万能机床——用在单件小批生产中;

(2) 专门化机床——用在成批生产中;

(3) 专用机床——用在大批大量生产中。

(III) 按机床的工作精度来分类:

(1) 普通精度机床;

(2) 精密机床;

(3) 高精度机床。

(IV) 按机床的重量来分类:

(1) 一般机床——重量在10吨以下;

(2) 大型机床——重量在10~30吨之间;

(3) 重型机床——重量在30~100吨之间;

(4) 超重型机床——重量在100吨以上。

(二) 机床的技术规格

这是反映机床尺寸大小和工作性能的技术资料,包括下列主要内容:

(1) 机床的主要规格——一般以能在机床上加工的工件最大尺寸(如车床),或所用的切削刀具的最大尺寸(如钻床),或机床的额定拉力(如拉床)等来表示,(见表1);

(2) 机床主运动和进给运动的速度级数及调速范围;

(3) 机床主电动机功率;

(4) 机床的轮廓尺寸(长×宽×高);

(5) 机床的重量。

表 1

型号中采用的基本参数及其表示方法

机 床	基本参数	表示方法	机 床	基本参数	表示方法
车床:	(尺寸单位一律用毫米)		磨床:		
单轴自动车 床	最大棒料直 径	用基本参数 表示	无心磨床	最大磨削直 径	用基本参数 表示
多轴自动车 床	最大棒料直 径	用基本参数 表示	外圆磨床	工作台上最大磨削直径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
多轴半自动 车床	最大车削直 径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示	内圆磨床	最大磨削孔 径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
六角车床	最大棒料直 径	用基本参数 表示	砂轮机	最大砂轮直 径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
立式车床	最大车削直 径	用基本参数的 $\frac{1}{100}$ 表示	抛光机	抛光轮直径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
普通车床	床身上最大 车削直径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示	导轨磨床	工作台工作 面宽度	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
台式车床	床身上最大 车削直径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示	万能工具磨 床	最大工件直 径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
落地车床	最大车削直 径	用基本参数的 $\frac{1}{100}$ 表示	拉刀磨床	最大工件直 径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
多刀半自动 车床	床身上最大 车削直径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示	车刀磨床	最大工件宽 度	用基本参数 表示
钻床:			钻头磨床	最大工件直 径	用基本参数 表示
钻床	最大钻孔直 径	用基本参数 表示	滚刀磨床	最大工件直 径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
镗床:			铣刀磨床	最大工件直 径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
卧式镗床	主轴直径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示	锯片磨床	最大工件直 径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
立式金刚石 镗床	最大镗孔直 径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示	弧齿锥齿轮 刀盘磨床	最大工件直 径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
卧式金刚石 镗床	工作台工作 面宽度	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示	矩台平面磨 床	工作台工作 面宽度	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
座标镗床	工作台工作 面宽度	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示	圆台平面磨 床	工作台直径	用基本参数的 $\frac{1}{10}$ 表示
镗磨机	最大镗孔直 径	用基本参数 表示			

续表 1

机 床	基本参数	表示方法	机 床	基本参数	表示方法
齿轮加工机床:			单柱铣床	最大铣削宽度	用基本参数的 $1/100$ 表示
齿轮加工机床	最大工件直径	用基本参数的 $1/10$ 表示	龙门铣床	最大铣削宽度	用基本参数的 $1/100$ 表示
螺丝加工机床			仿形铣床	最大铣削宽度	用基本参数的 $1/10$ 表示
螺丝加工机床	最大工件直径	用基本参数的 $1/10$ 表示	立式铣床	工作台工作面宽度	用基本参数的 $1/10$ 表示
刨床:			卧式铣床	工作台工作面宽度	用基本参数的 $1/10$ 表示
单柱刨床	最大刨削宽度	用基本参数的 $1/100$ 表示	其他机床:		
龙门刨床	最大刨削宽度	用基本参数的 $1/100$ 表示	长度刻线机床	最大加工长度	用基本参数的 $1/100$ 表示
牛头刨床	最大刨削长度	用基本参数的 $1/10$ 表示	圆刻线机	最大加工直径	用基本参数的 $1/100$ 表示
插床	最大插削长度	用基本参数的 $1/10$ 表示	注: 上表中, 其余机床如电加工机床与超声波加工机床等的基本参数及表示方法尚未规定, 以后将陆续公布。		
拉床:					
拉床	额定拉力(吨)	用基本参数表示			
切断机床:					
车刀切断机	最大切料直径	用基本参数表示			
砂轮切断机	最大砂轮直径	用基本参数的 $1/10$ 表示			
矫正切断机	最大工件直径	用基本参数表示			
弓锯床	最大锯料直径	用基本参数的 $1/10$ 表示			
带锯床	最大锯料厚度	用基本参数的 $1/10$ 表示			
圆锯床	最大锯片直径	用基本参数的 $1/100$ 表示			
铣床:					

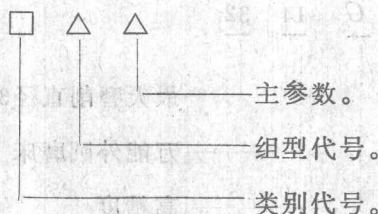
§3 机床型号的编制

机床的种类很多，规格不一，为了国家对机床产品有计划的发展，以及设计、制造和使用单位对机床的管理方便起见，就有必要用“型号”来区别各种不同的机床。

我国机床工业经过20多年来的迅速发展，机床型号的编制办法亦经过多次修改，到现在已逐步完善。1957年一机部第二管理局颁布了“机床型号编制办法”，1959年又颁布了“金属切削机床型号编制（修正）办法”，1971年又颁布了“金属切削机床型号编制办法（暂行）”。

现将1971年的编制办法简要说明如下：（见表2）

机床的型号是机床产品的代号，由汉语拼音字母和阿拉伯数字组成。为了全面反映出各种机床产品之间的差别，机床的型号也是很复杂的。但对于通用机床来说，型号的最基本形式为：



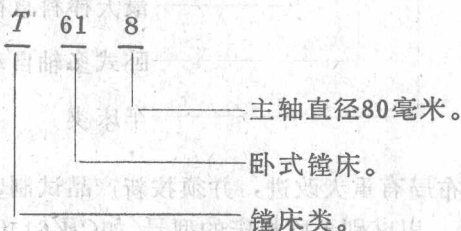
(1) 类别代号——以汉语拼音字母表示。如§2所示，共分12类。

(2) 组型代号——以两位数字表示。对不同类别的机床，相同的组型代号所代表的形

式不完全相同，因此不能互相套用。

(3) 主参数——用两位或三位数字表示，根据机床的具体情况，有的直接取机床主参数，有的取机床主参数的 $\frac{1}{10}$ 或 $\frac{1}{100}$ 。

各种机床的型号编制办法，可参阅“金属切削机床型号编制办法（暂行）”的规定。现举例说明如下：

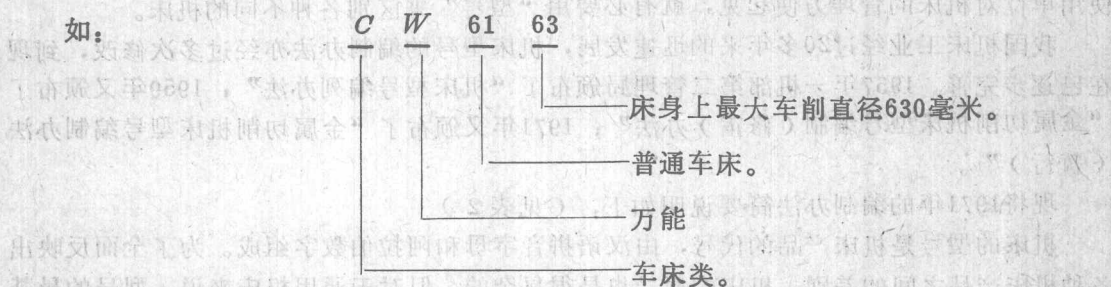


以上三个代号是任何机床的型号中必不可少的。此外，尚有一些代号则根据机床的具体情况，在需要的时候插入规定的位置。

例如：某一类型的机床中，除一般形式的以外，还有一些具有某种特性时，为了便于区别，在类别代号之后再加一个特性代号。其特性代号也是用汉语拼音字母表示，如下表：

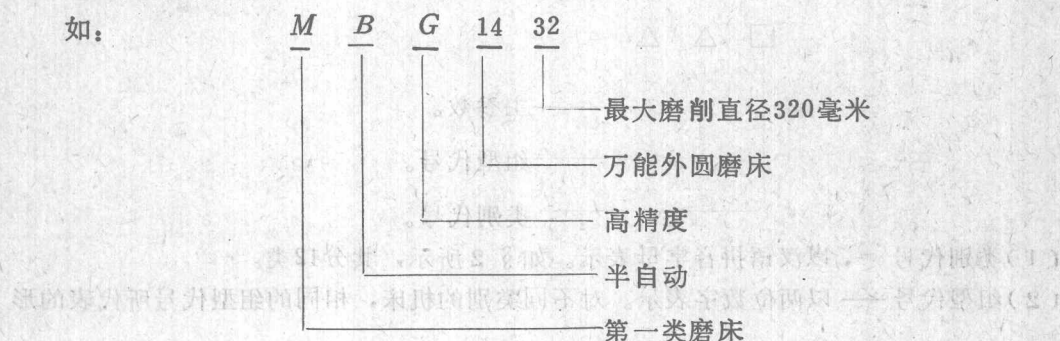
特 性	高精度	精 密	自 动	半自动	程序控制	轻 便	万 能	简 式
代 号	G	M	Z	B	K	Q	W	J

如:



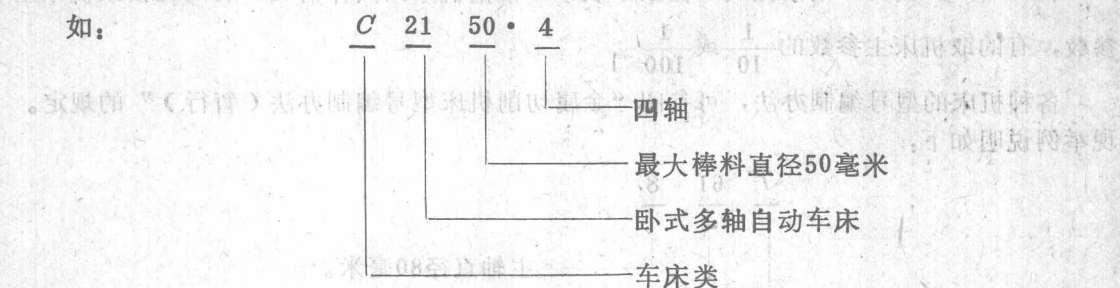
同时具有两种特性时, 可用两个代号同时表示:

如:



对于多轴机床, 在型号的主参数后用数字表示主轴数目, 并用“.”与主参数分开。

如:

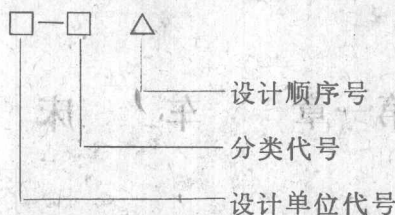


当机床的性能及结构布局有重大改进, 并须按新产品试制鉴定时, 在原型号的尾部加用A, B, C, ……等字母, 以区别于原机床的型号。如CW6140A就是CW6140车床的第一次改进型式。

对于两种机床, 如果用上述各种代号编列所成的型号完全相同, 但机床实际结构仍有差别, 则允许在型号的最后再依次加1, 2, 3……等数字, 并用“/”分开, 以示区别。

以上是通用机床型号的编制办法。

关于组合机床及自动线型号的编制办法, 基本形式为:



(1) 设计单位代号——以汉语拼音字母表示，由国家机关统一规定。

(2) 分类代号——以汉语拼音字母表示，如下表。

分 类	大型组合机床	小型组合机床	组合机床自动线	一般机床自动线
代 号	U	H	UX	ZX

(3) 设计顺序号——按一个设计单位的产品设计先后，由001起开始排列。

如：大连组合机床研究所设计的第一种大型组合机床的型号为ZHS—U001。

任何一种机床，在设计试制并通过有关机关鉴定以后，才授以正式的型号。在这之前，工厂或设计单位为了便于管理和称呼，可临时采用本厂或本单位的型号。

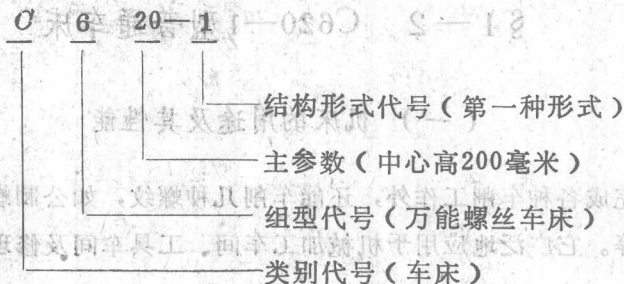
如：沈阳第一机床厂设计试制的第194号车床。

设计顺序号

沈阳第一机床厂代号

目前我国各机床厂还继续生产某些老产品，这些老产品仍采用老的型号，如X62W，C620—1，T68等。老型号与新型号的主要差别是组型代号只用一个数字，因此，组型区分不如新型号仔细，容易混淆。

如：



我国机床老型号的编制办法，可参阅1957年、1959年颁布的有关文件。

第一章 车 床

§1—1 车床的用途和分类

车床是机械制造业中使用最广泛的一类机床。这类机床的共同特征是，以车刀为主要切削刀具车削回转体表面（圆柱表面、圆锥表面和成型表面等），端面、螺纹和内孔等，也可以用钻头、铰刀和螺纹刀具加工内孔和螺纹。

由于多数机械零件都具有回转表面，同时车床本身的万能性大，使用的刀具又较简单，所以一般机械工厂中车床所占比重较大。

根据车床的用途和构造不同，这类机床可分为下列几种：

普通车床，六角车床，立式车床，自动和半自动车床，曲轴及凸轮轴车床和仿形及多刀车床等。

毛主席教导我们：“一定要抓好典型”。“由于特殊的事物是和普通的事物联结的，由于每一个事物内部不但包含了矛盾的特殊性，而且包含了矛盾的普遍性，普遍性即存在于特殊性之中，所以，当我们研究一定事物的时候，就应当去发现这两方面及其互相联结，发现一事物内部的特殊性和普遍性的两方面及其互相联结，发现一事物和它以外的许多事物的互相联结”。

本章内容着重讲述C620—1型普通车床，通过对它特殊性的分析，使我们了解车床的性能、传动、结构和使用等，从而为以后分析其他机床打下有利的基础，这样，就能使我们更好地认识一般机床的普遍性。除此以外，还扼要地介绍六角车床、丝杠车床和立式车床等。

§1—2 C620—1型普通车床

（一）机床的用途及其性能

本车床除能完成各种车削工作外，还能车削几种螺纹，如公制螺纹、英制螺纹、模数螺纹和径节螺纹等。它广泛地应用于机械加工车间、工具车间及修理车间。

（二）机床的组成部分

如图1—1所示，机床由下列几个主要部件组成：床身1；床头箱2；尾架3；进给箱4；溜板箱5；刀架6；丝杠7；光杠8等。

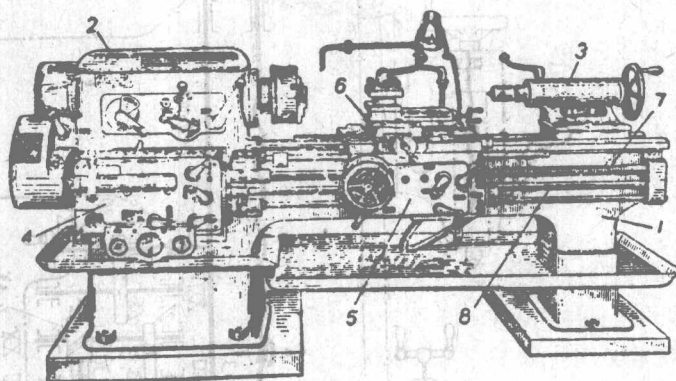


图1-1 C620—1型车床

(三) 机床主要技术性能

1. 被加工工件最大直径

床面上.....	400毫米
拖板上.....	210毫米
棒料.....	37 毫米
2. 顶尖中心高..... 200毫米
3. 顶尖间最大距离..... 750, 1000, 1400, 2000毫米
4. 主轴转速范围(21级)..... 12~1200转/分
5. 进给量

纵向(35级).....	0.08~1.59毫米/转
横向(35级).....	0.027~0.52毫米/转
6. 螺纹

公制螺纹螺距(43种).....	1~192毫米
英制螺纹, 每吋扣数(20种).....	2~24扣/吋
模数螺纹的模数(38种).....	0.5~48毫米
径节螺纹的径节(37种).....	1~96牙/吋
7. 机床的功率..... 7 瓩
8. 机床重量(对应于顶尖间最大距离)..... 1930, 2010, 2100, 2280公斤

(四) 机床的传动系统

C620—1型车床的传动系统见图1—2。它主要由床头箱、进给箱、溜板箱和挂轮 四部

分组成。可将它分为主运动传动链和进给运动传动链。

(I) 主运动传动链

在加工中,随着工件、刀具材料、工件尺寸及工艺要求等因素的变化,需要变换主轴的转速来满足加工要求。

变换主轴的转速由床头箱实现。

由电动机通过三角皮带把运动传至变速箱中的轴 I。在轴 I 上设有摩擦片离合器。该离合器是用来控制主轴Ⅶ正转、反转和停止。当离合器向左接通 $\frac{56}{34}$ 或 $\frac{51}{39}$ 而带动轴Ⅱ时,主轴Ⅶ得到正转。当离合器向右接通 $\frac{50}{24}$, $\frac{36}{36}$ 而带动轴Ⅱ时,这时由于经过一中间轴Ⅵ,因此轴Ⅱ得到反转,故主轴Ⅶ也反转。当离合器处于中间位置时,运动不能传给轴Ⅱ,主轴Ⅶ也就停止转动。

主轴Ⅶ正转的变速级数计算如下:

从轴 I 至轴Ⅱ,通过一个双联齿轮滑块(34与39)与轴 I 上的齿轮(56与51)啮合,获得两种不同的传动比,即 $\frac{56}{34}$ 和 $\frac{51}{39}$,使轴Ⅱ得到两级转速。从轴Ⅱ至轴Ⅲ,通过一个三联齿轮块(44与52及36)与轴Ⅱ上的齿轮(28—20—36)啮合,获得三种不同的传动比,即 $\frac{28}{44}$, $\frac{20}{52}$ 和 $\frac{36}{36}$,使轴Ⅲ得到三种转速。于是,从轴 I 至Ⅲ共获得 $2 \times 3 = 6$ 级转速。

从轴Ⅲ至主轴Ⅶ有两条传动路线。一条传动路线是通过螺旋齿轮 $\frac{50}{50}$ 直接传至主轴使其获得 6 级高转速。此时,主轴Ⅶ上的离合器 M_1 向左与空套齿轮 50 接合。另一条传动路线则是通过 $\frac{20}{80}$ 或 $\frac{50}{50}$ 先传至轴Ⅳ,再经 $\frac{20}{80}$ 或 $\frac{50}{50}$ 传至轴Ⅴ,最后才由螺旋齿轮 $\frac{32}{64}$ 传至主轴Ⅶ。此时,主轴Ⅶ上的离合器 M_1 向右与空套齿轮 64 上的内齿相接合。在理论上,这条传动路线可使主轴获得 $2 \times 3 \times 2 \times 2 = 24$ 级较低的转速。但是,其中有 6 级近似重复,实际上只有 18 级。重复的原因是轴Ⅲ至轴Ⅴ之间在理论上应有 $2 \times 2 = 4$ 的传动比,而实际有效的只有 3 种传动比。如以 i 表示轴Ⅲ至轴Ⅴ的总传动比,则

$$i_1 = \frac{20}{80} \times \frac{20}{80} = \frac{1}{16};$$

$$i_2 = \frac{20}{80} \times \frac{50}{50} = \frac{1}{4};$$

$$i_3 = \frac{50}{50} \times \frac{20}{80} = \frac{1}{4};$$

$$i_4 = \frac{50}{50} \times \frac{50}{50} = 1。$$

由此可知,实际有效的只有 $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{4}$ 和 1 三种传动比。

但是这 18 级转速中的三级转速(380, 480, 600 转/分)又与第一条传动路线中的三级转速(370, 460, 610 转/分)近似重复。所以实际有效的转速只有 $6 + 18 - 3 = 21$ 级。