

典型机床分析

沈阳航空工业学院翻印

第一章 概 述

第一节 机床的分类及编号

一、机床的分类

我国第一机械工业部机床研究所根据机床的工作方式和所用刀具的不同,将通用机床分为以下几类:1.车床;2.钻床;3.镗床;4.磨床;5.齿轮加工机床;6.螺纹加工机床;7.铣床;8.刨床及插床;9.拉床;10.超声波及电加工机床;11.切断机床;12.其它机床。每类机床还分若干组,每组又分若干型别。见表1—1(见第3~11页)。

除了通用机床外,还有适用于大批和大量生产的专用机床及组合机床。专用机床是专供某一零件的某一特定工序加工用。组合机床是由通用和标准的部件、零件及少数的特殊部件、零件组合起来的专用机床。

机床还可以按其它方式(精度、重量、自动化程度……等)来分类。

如按工作精度来分:可分为普通机床、精密机床及高精度机床。

如按重量来分:10吨以下为一般机床;10~30吨为大型机床;30~100吨为重型机床;100吨以上为特重机床。但内圆磨床、镗床及齿轮加工机床重量在20~60吨就为重型机床,60吨以上为特重机床。

二、机床型号的编制

机床型号的编制,不但对使用部门在选用及管理机床时有很大的方便,同样对于研究部门系统地分析机床和研究机床也有一定的帮助。因为机床的型号不但表示出机床的名称、主要规格,而且也表示了机床的结构特性,同时它只用简单的符号就能使人们对机床有一明晰的概念。

我国早在1957年就有了机床统一的分类编号制度。由于1958年大跃进以来机床工业不断发展,涌现了很多新品,许多产高、精、尖的产品也能自行设计制造了,这样原来的分类编号制度就不敷使用,因此在1959年及1964年先后修改了两次。兹将1963年全国机床统一的分类编号制度中有关通用机床、专用机床、组合机床及自动线所采用的型号意义分述于下:

1. 通用机床:用汉语拼音字母表示机床类别,车床Chechuang用第一个字母C表示;钻床Zuanchuang用Z表示。汉语拼音字母以后两个阿拉伯数字分别表示组及型别(见表1—1)。最后的两个数字表示其主要规格(即主参数,见表1—2,第12页)。

例如C6140在表1—1中所看出C代表车床类。6代表落地及普通车床组,1代表型别为普通机床,最后的两个数字40代表最大车削直径为400毫米。

M1040则表示最大磨削直径为40毫米的无心磨床。

有时在型号的主要规格后有A、B、C……等字母,表示经过重大改进的顺序号:例如C6140经第一次改进后,型号应为C6140A;第二次改进后为C6140B。

有时在型号的第一个字母后再加其它的字母表示其通用特性及结构特性。通用特性用下

面字母表示：高精度用G；精密用M；自动用Z；半自动用B；程序控制用K；自动换刀用H；轻便用Q；万能用W；筒式用J。例如CG6125表示最大车削直径为250毫米的高精度普通车床，又如MM1040表示最大磨削直径为40毫米的精密无心磨床。有些机床系同一类，同一组，同一型，而且规格也相同，但结构不相同，用结构特性的字母表示。结构特性所用的字母没有统一的规定。当有通用特性代号时结构特性字母应排列在通用特性字母之后。

多轴机床的主轴数也在型号中表示，但用“·”分开，并列在主要规格之后。例如C2150·4代表加工最大杆料直径为50毫米的四轴卧式自动车床。

2. 专用机床：不分机床类、组，一律用设计单位的代号及设计顺序号代表。例如沈阳第一机床厂设计制造的第一种专用机床其型号为S1—001。

3. 组合机床及自动线：其型号与专用机床类似，只在设计单位代号及设计顺序号间加上分类代号：小型及大型的组合机床分别用字母H、U表示；组合机床自动线用UX表示；一般机床自动线用ZX表示。例如ZHS—U001为大连组合机床研究所所设计的第一种大型组合机床。

按照1957年或1959年规定已授与型号的机床，其型号不更改。

第二节 机床的运动

机床的类型很多，但共同的目的是为加工出我们所需要的工件表面服务，为此在机床上都要保证使刀具与工件产生一定相对运动。因此要认识和分析机床时，首先应根据机床的用途和加工原理去分析机床的运动，进一步从机床的运动分析中去了解机床传动部分的组成及其相互关系。

我们以普通车床为例来分析。首先分析一下在车床上是怎样加工的。图1—1表示在普通车床上进行车削的各种方式。我们只有仔细分析各种加工方式才能知道车床各部分应有哪些运动；才能知道为了得到这些必要的运动，从刀架到床鞍在结构上为什么要分那么多层次。

从生产实践中我们知道，普通车床主轴的旋转（带动工件的旋转）运动，是产生切削速度的运动（刀具与工件切削表面的相对速度），其消耗的功率最大，是机床的主要运动，简称主运动。而刀架带动车刀作直线或曲线移动使切削工作持续地进行，称为进给运动。这两种运动的适当配合可以加工出各种旋转表面。进给运动的方向不同，加工出来的表面就不同，如图1—1(a)进给的方向为纵向，平行于主轴轴线；(b)和(c)为横向，垂直于主轴轴线；(g)为斜向；而(f)和(h)则同时有纵向和横向进给，为了达到一定的加工要求，其纵、横进给的快慢要适当配合，严格地适应加工表面所要求的形状；(e)的进

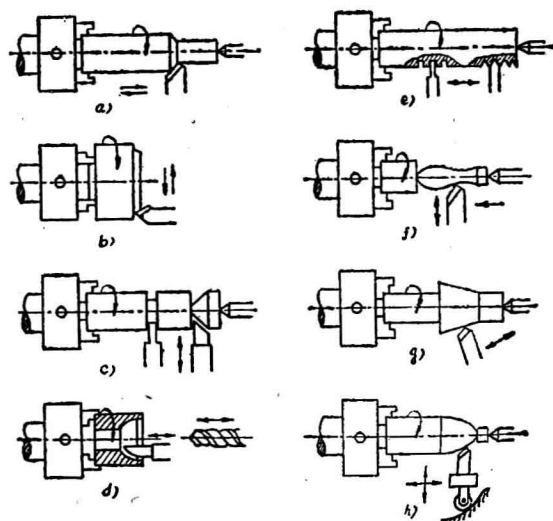


图 1—1 车削的各种方式

表1—2 机床型号中采用的主参数及其表示法（常用机床摘录）

机 床 名 称	主 参 数 及 表 示 方 法
杆料加工设计的车床类	高大棒料直径
卡盘工件加工的一般车床	最大车削直径 $\frac{1}{10}$
立式落地等大型车床	最大车削直径 $\frac{1}{100}$
钻床	最大钻孔直径
卧式镗床	主轴直径 $\frac{1}{10}$
座标镗床	工作台工作面宽度 $\frac{1}{10}$
无心磨床	最大磨削直径
外圆磨床	最大磨削直径 $\frac{1}{10}$
内圆磨床	最大磨削孔径 $\frac{1}{10}$
矩台平面磨床	工作台工作面宽度 $\frac{1}{10}$
圆台平面磨床	工作台工作面直径 $\frac{1}{10}$
齿轮加工机床	最大工件直径 $\frac{1}{10}$
螺纹铣、螺纹磨	最大工件直径 $\frac{1}{10}$
立式及卧式铣床	工作台工作面宽度 $\frac{1}{10}$
牛头刨床	最大刨削宽度 $\frac{1}{10}$
龙门刨、单臂刨	最大刨削宽度 $\frac{1}{100}$
插床	最大插削长度 $\frac{1}{10}$
拉床	额定拉力（吨）

注：尺寸单位一律用毫米。表中主参数及表示方法也有例外。

给方向亦为纵向，但是为了得到螺旋面，要求工件转一转时，刀具应准确地移动一个螺距 t 。

车床如此，其它机床也是同样道理。我们可讨论一下各种机床上加工的方法和机床运动的情况。从图 1—2 可以看出：
(a) 在钻床上，钻头旋转为主运动，钻头的垂直移动为进给运动；
(b) 在磨床上，砂轮旋转为主运动，工件旋转和移动为进给运动；
(c) 在铣床上，铣刀旋转为主运动，工件移动为进给运动；
(d) 在牛头刨床上，刨刀往复运动为主运动，工件移动为进给运动。

可见主运动和进给运动是各类机床上都有的，是形成零件表面的切削加工过程中必不可少的。没有这两种运动就不能加工出所需的表面。主运动和进给运动的运动形式，不外乎是旋转运动和直线移动或它们的组合。主运动和进给运动可以单独由工件或刀具来完成，也可以同时由刀具和工件来完成。

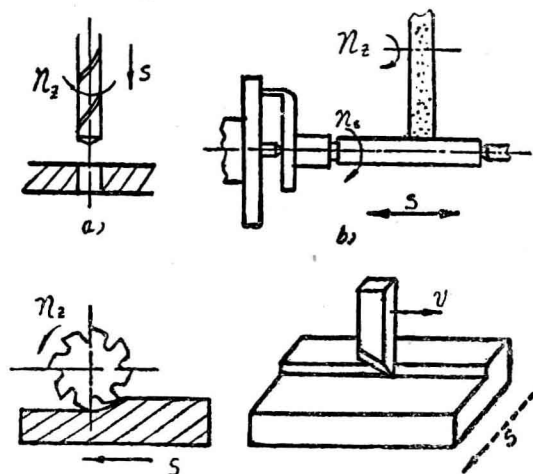


图 1—2 几种机床的加工简图

根据以上分析，机床应有什么样的运动，主要地取决于零件加工表面的形状和加工方法。因此只有在分析机床上加工零件的表面形状和加工方法的基础上，才能知道这类机床应保证工件和刀具之间应有怎样的相对运动，才能找到这类机床区别于其它类机床的最本质的东西。主轴带动工件绕固定的轴线旋转，刀具相对于工件作直线或曲线移动，加工出合乎要求的零件表面，这就是车床区别于其它机床最本质的东西。

机床上除了都有主运动和进给运动（一般称这两种运动为工作运动，因为它们直接参加了切削过程）外，还有一些不直接参加切削过程的运动，如车刀的进刀、退刀、溜板的快速移动，装卸毛坯，变速、变向以及一些机床上的分度、转位、定位、锁紧等运动，都称为辅助运动。辅助运动也是各类机床上为完成零件加工必不可少的运动，但并非每类机床都要具有上述全部的辅助运动。例如分度运动只有在加工零件需要分度时的机床上才有必要。使各种辅助运动自动化，这对减轻工人的体力劳动和提高生产率具有极其重要的意义。

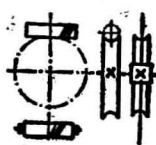
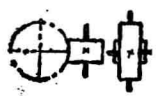
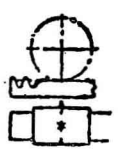
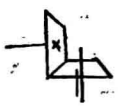
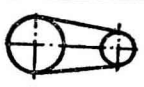
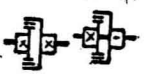
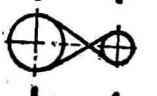
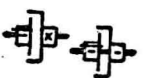
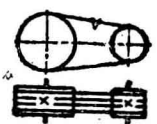
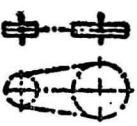
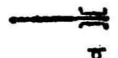
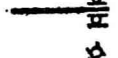
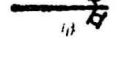
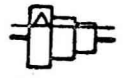
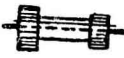
第三节 机床传动图的符号及传动比

一、传动符号

为了便于分析机床的各种运动，常使用一种传动图来表示机床传动的关系。这种传动图是用各种简单符号绘出的。

绘制传动图的几种常用符号见表1—3。

表 1—2 绘制传动图的几种常用符号

名 称	符 号	名 称	符 号
1 轴		7 蜗轮传动	
2 主轴		8 螺旋齿轮传动	
a. 车床		9 齿条传动	
d. 六角车床		10 锥齿轮	
c. 钻床		a. 固定在轴上	
b. 铣床		b. 沿轴向键滑动	
e. 磨床		11 摩擦离合器	
3 皮带传动		a. 圆锥式	
a. 开式皮带		b. 胀环式	
d. 交叉皮带		c. 摩擦片式	
4 三角皮带		12 爪式离合器	
5 链传动		a. 单向式	
		b. 双向式	
6 圆柱齿轮		13 轴承	
a. 空套在轴上		a. 滑动轴承 (或轴承总符号)	
d. 固定的轴上		b. 径向滚动轴承	
c. 沿轴向键滑动		c. 径向止推轴承	
b. 用拉键固定在轴上		14 丝杠螺母传动	
e. 沿轴向键滑动的双联齿轮			

二、各种简单传动件的传动比

带轮传动：如图 1—3a 所示，设主动轮及被动轮的直径各为 d_1 及 d_2 ，主动轮及被动轮的转速各为 n_1 及 n_2 ，则传动比 $i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2}$ 。被动轮的转速可直接由公式 $n_2 = n_1 \frac{d_1}{d_2}$ 得出。

皮带在开接时两轮转向相同；如皮带交叉则两轮转向相反。皮带传动属于摩擦传动，传动中皮带与皮带轮间可能产生滑动，因此传动比不精确。但皮带能吸收振动，传动平稳。

链轮传动：如图 1—3d 所示，设主动链轮及被动链轮的齿数各为 Z_1 及 Z_2 ，则传动比 $i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$ 。主动及被动两轮转向相同。链轮传动时传动比是变化的，因此与皮带轮一样不能用于要求精确传动比的运动链中。

齿轮传动：如图 1—3c 所示，设主动齿轮及被动齿轮齿数各为 Z_1 及 Z_2 转速各为 n_1 及 n_2 ，则传动比 $i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$ 。一对外齿轮啮合，两轮转向相反；外齿轮与内齿轮啮合，两轮转向相同。齿轮传动可以得到准确的传动比。

蜗杆蜗轮传动：如图 1—3b 所示，设蜗杆为 K 线，蜗轮为 Z 齿，则传动比 $i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{K}{Z}$ 。蜗杆蜗轮传动中，蜗杆为主动，蜗轮为被动。蜗轮的转向不但与蜗杆的转向有关，而且与蜗杆的螺旋线的旋向有关。即蜗杆旋转方向不变，分别用左旋蜗杆或右旋蜗杆传动时，蜗轮的转向是不同的。蜗杆蜗轮传动可以得到很大的降速比，但传动效率低。

齿轮齿条传动：如图 1—3e 所示，若齿轮轴心不能移动，则齿轮转动时齿条作直线移动。设齿轮齿数为 Z，模数为 m 毫米，每分钟转速为 n 转，则齿条移动速度 $s = \pi m Z n$ 毫米/分。除了上述传动方式外，若齿条固定不动，则齿轮轴将平行于齿条移动，移动的速度也为 $s = \pi m Z n$ 毫米/分。齿轮齿条传动中也可以以齿条的直线移动为主动，使齿轮被动地获得转动。

丝杠螺母传动：如图 1—3f 所示，螺距为 t 的 K 线丝杆每分钟 n 转时螺母轴向的移动速度为 $v = K \cdot t \cdot n$ 毫米/分。螺母移动的方向与丝杠的旋向及丝杠螺旋线方向有关。在丝杠螺母传动中也可以由螺母作主动。丝杠螺母的传动精度较齿轮齿条的传动精度为高。

传动链的传动比：传动链总的传动比等于传动链中各组成传动件传动比的乘积。如图 1—4 传动链中

$$i_{\text{总}} = i_{\text{皮带}} \cdot i_{\text{直齿轮}} \cdot i_{\text{锥齿轮}} \cdot i_{\text{蜗杆蜗轮}}$$

已知轴 I 的转速及传动件的传动比就可以列出传动方程式，并可方便地算出轴 V 的转速。

$$n_v = 1440 \cdot \frac{50}{120} \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{45}{45} \cdot \frac{2}{60} = 10 \text{ 转/分。}$$

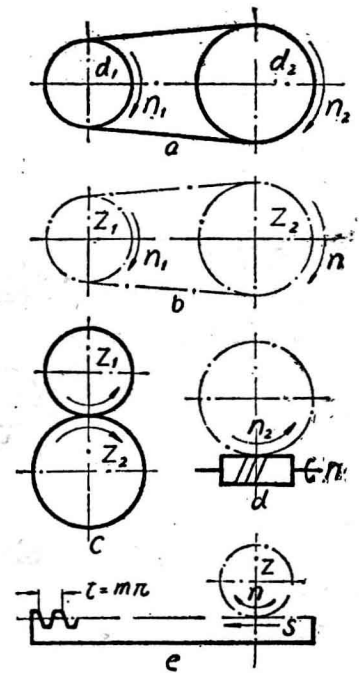


图 1—3 各种简单传动件

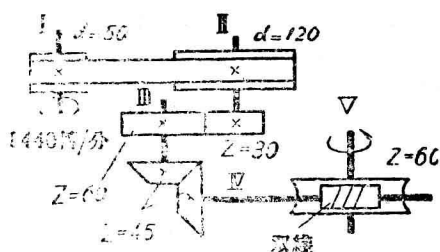


图 1—4 传动链计算举例

第四节 机床主运动的转速数列及转速图

一、机床主运动的转速数列

根据工件材料、尺寸、刀具和加工方法等不同，机床在加工时需要采用不同的主轴转速，以便得到较为理想的切削速度。但是电动机的转速一般只有一种（多速电动机可有双速，三速或四速）不能适应所需要的多种转速，因此要通过一个变速系统把电动机的单一转速变成主轴所需的各种转速。此变速系统可采用无级的变速系统，也可以采用分级的变速系统。为了在低速下得到足够的功率及保证有严格的传动比，目前通用机床的主运动采用分级变速系统仍较多。

采用分级变速，各级转速之间究竟有什么关系呢？我们以车床主轴箱的主轴转速为典型例子进行分析。先观察一下C336型六角车床的主轴箱传动系统见图1—9（见第22页）所示，主轴的各级转速为：

$$\begin{aligned} n_{min} = n_1 &= 48 \text{ 转/分}; & n_2 &= 77 \text{ 转/分}; & n_3 &= 120 \text{ 转/分}; \\ n_4 &= 192 \text{ 转/分}; & n_5 &= 310 \text{ 转/分}; & n_{max} = n_6 &= 480 \text{ 转/分}. \end{aligned}$$

这六种转速彼此有什么联系呢？可以看出两个相邻的转速的差值不等，因此不象3、6、9……那样的等差级数。如果我们用前一数去除后一数，可以发现它们的比值基本上都是1.58倍。这种具有相同倍数关系的一串数值，在数学上叫做等比级数。1.58这个比值就叫做该级数的公比，用符号“ φ ”来表示，即该级数的公比 $\varphi = 1.58$ 。这就如3、6、12、24……那样，也是等比级数，其公比 $\varphi = 2$ 。

1. 主轴转速的等比级数排列：从现有的通用机床来看，它的主轴转速数列一般是按等比级数排列的。为什么一般的通用机床的主轴转速数列按等比级数排列呢？

（1）在使用上转速间隔比较均匀，最大相对生产率损失为一常数。

我们用射线图来进行分析。按 $v = \frac{\pi n}{1000} \times d$ 作出 $v \sim d$ 图。令切削速度 v （米/分）为纵

坐标，被加工工件直径 d （毫米）为横坐标。当 $n = \text{常数}$ 时， $v = \frac{\pi n}{1000} d$ 式在 (v, d) 直角坐标系中是一条通过原点的直线，此直线的斜率为：

$$\tan \alpha = \frac{\pi n}{1000}$$

将机床主轴不同的转速 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_j, n_{j+1}, \dots, n_k$ 代入上式, 即可求得通过原点的一束射线, 如图1—5所示。

如果加工某一工件的直径为 d_k , 在刀具选定后, 就可以根据最有利的切削速度 v 求出相应的主轴转速为 n 。如果机床上的分级转速的某一级恰好可以得到这个转速 n , 当然这是最满意的情况; 但是在一般的情况下是不能恰好得到个这速度的, 而是最有利的切削速度 v 常常介于两个相邻速度 v_j 和 v_{j+1} 之间, 如图1—5所示的情况。亦即: $v_j < v < v_{j+1}$

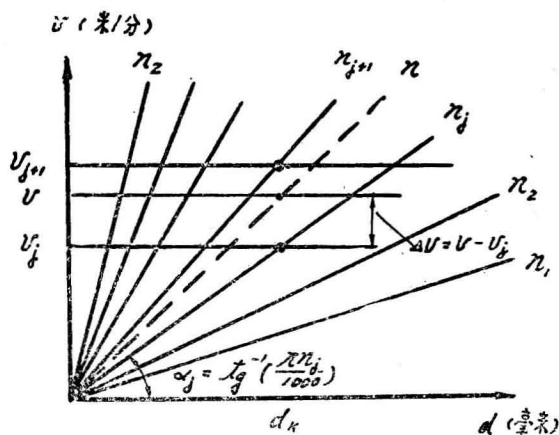


图 1—5 机床转速射线图

$$\frac{\pi d_k n_j}{1000} < v < \frac{\pi d_k n_{j+1}}{1000}$$

式中 n_j, n_{j+1} 为机床上二相邻转速。

这样, 就产生了最有利的切削速度和实际可能获得的切削速度的差别 Δv 。这时, 如果采用稍高的转速 n_{j+1} , 必将提高了切削速度。如果选定的切削速度 v 是考虑刀具耐用度等加工条件下的最大切削速度, 那么就会显著降低刀具的耐用度, 使刀具迅速磨钝, 影响刀具寿命及加工质量。因此, 在实际加工时一般采用邻近较低的转速 n_j , 使刀具具有一定的耐用度, 保证加工的正常进行。当然, 这会降低切削速度, 产生速度损失。当采用邻近稍低的转速 n_j 时, 产生的相对速度损失为:

$$A = \frac{\Delta v}{v} = \frac{v - v_j}{v} = \left(\frac{n - n_j}{n} \right) 100\% \quad (1-1)$$

从上式可看出: 当 n 愈趋近于 n_{j+1} 时, 相对速度损失愈大。可能达到的最大的相对速度损失为:

$$A_{\max} = \frac{n_{j+1} - n_j}{n_{j+1}} = \left(1 - \frac{n_j}{n_{j+1}} \right) 100\% \quad (1-2)$$

在其他条件不变 (如进给量不变) 的情况下, 机床的速度损失和生产率损失成正比, 因此切削速度的损失亦将引起生产率的损失。

对机床来说, 希望各转速间隔中最大相对速度损失不致过大。对等比级数具有下列的特点: 即 $\frac{n_{j+1}}{n_j} = \varphi$, 因此最大相对速度损失:

$$A_{\max} = \left(1 - \frac{n_j}{n_{j+1}} \right) 100\% = \left(1 - \frac{1}{\varphi} \right) 100\% = \text{常数}$$

即等比级数各转速间隔之间的最大相对速度损失是相等的, 我们只要规定一定的 φ 值就可使最大相对速度损失的数值控制在要求的范围内。我国机床主轴转速系列采用的标准公比值及其相应的最大相对速度损失见表1—4。

表 1—4 标准公比及其相应的最大相对速度损失

φ	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	1.78	2
$A_{max} = \frac{\varphi - 1}{\varphi} 100\%$	5 %	10 %	20 %	30 %	40 %	45 %	50 %

图 1—6 是等差数列转速射线图，图 1—7 是等比数列转速射线图。比较这两个转速射线图，可以看出：采用等差级数的转速系列时，转速间隔分布极不合理，高转速太密，低转速太疏。如机床主轴转速按等差级数排列，设 $Z = 24$ ， $n_1 = 20$ 转/分， $n_{24} = 480$ 转/分，每级高相差都是 20 转/分。则当由 n_1 提成 $n_2 = 40$ 转/分时，速度增加了一倍；而当由 $n_{23} = 460$ 转/分提高到 n_{24} 时，速度只增加了 0.36%，前者转速间隔太大，造成实际使用上的不便；后者转速间隔太小，没有实用的价值。

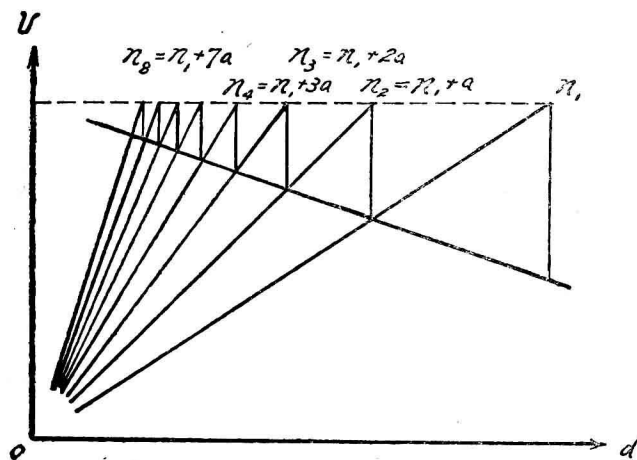


图 1—6 等差数列转速射线图

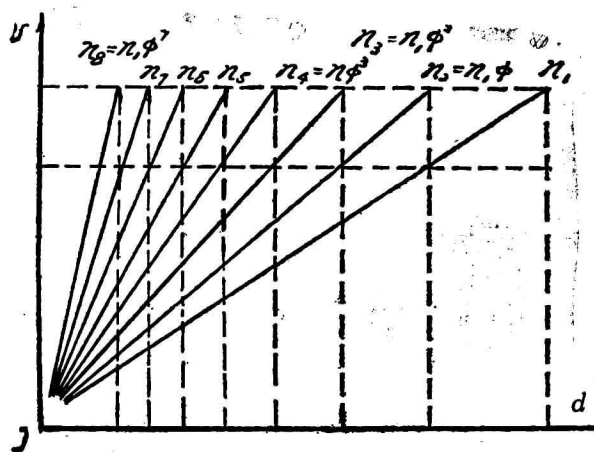


图 1—7 等比数列转速射线图

(2) 便于采用多轴传动变速，简化结构。如果主轴转速采用等差级数排列，则在结构上采用双轴传动变速机构，也就是只能利用转换两轴之间的传动副改变传动比而得到所需的各级主轴转速。

如果在结构上采用多轴传动变速机构（图1—8）时，主轴转速就只能实现等比数列，否则它们的排列就没有规律性。

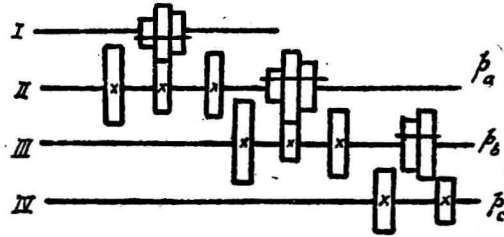


图 1—8 多轴传动变速机构

多轴传动与双轴传动相比较，它具有下列优点：

（1）增加了主轴转速级数。很明显如果采用双轴传动变速机构要实现较多的主轴转速级数，必将使变速箱体积十分庞大。

（2）扩大变速范围。由于变速箱体积的限制，双轴传动变速机构能实现的变速范围是很小的。

（3）减少传动副的数目。例如同样要实现18级转速，采用双轴传动变速机构时，就必须有18对传动副，而采用多轴传动时只要有8对（见图1—8）传动副就行了。

因此，主轴转速采用等比级数排列，便于采用多轴传动变速机构，有着结构简化的优点。

由于有上述使用上和简化结构上的优点，因此现代分级变速传动的机床主轴转速系列，大多数采用等比数列。

2. 公比 φ 的标准值和标准转速系列

（1）公比 φ 的标准值。前面已经讲过，机床主轴转速的分级由 n_1 至 n_z 是递增的，在采用等比级数排列时， φ 为任意两个相邻转速之间的公比。即 $\frac{n_{j+1}}{n_j} = \varphi$ 。因此 φ 的数值必须大于1。

为了使最大相对生产率损失不超过50%，由 $A_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\varphi}\right) 100\% = \frac{\varphi - 1}{\varphi} 100\%$ 式中可知 φ 值不应大于2。

为了简化机床的设计和制造，规定 φ 值在1与2之间的几个标准数值。主轴转速系列公比 φ 的标准值及其相应的最大相对生产率损失见前面的表1—4（第18页）。

（2）标准转速系列。根据标准公比 φ 规定的标准转速系列见表1—5中所示。按选定的转速级数 Z 、公比 φ 和极限转速 $n_{\min}$ 或 $n_{\max}$ ，即可查出各级转速的数值。

表 1—5 标准转速数列

公比 φ 的数值					公比 φ 的数值					公比 φ 的数值				
1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58
1.12	1.12				1.12	1.12				1.12	1.12			
1.18					1.18					1.18				
1.25	1.25	1.25			1.25	1.25	1.25			1.25	1.25	1.25		
1.32					1.32					1.32				
1.4	1.4		1.4		1.4	1.4				1.4	1.4			
1.5					1.5					1.5				
1.6	1.6	1.6	1.6		1.6	1.6	1.6			1.6	1.6	1.6		
1.7					1.7					1.7				
1.8	1.8			1.8	1.8	1.8				1.8	1.8			
1.9					1.9					1.9				
2	2	2	2		2	2	2			2	2	2		
2.12					2.12					2.12				
2.24	2.24				2.24	2.24				2.24	2.24			
2.36					2.36					2.36				

2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	15					90	90			530			
2.65					16	16	16	16	16	16	95			560	560		
2.8	2.8	2.8		2.8	17					100	100	100	100	600			
3					18	18			18		106			630	630	630	
3.15	3.15	3.15	3.15		19						112	112		670			
3.35					20	20	20	20			118			710	710	710	
3.55	3.55				21.2					125	125	125	125	750			
3.75					22.4	22.4		22.4			132			800	800	800	
4	4	4	4	4	23.6						140	140		850			
4.25					25	25	25		25		150			900	900		
4.5	4.5				26.5						160	160	160	950			
4.75					28	28					170			1000	1000	1000	1000
5	5	5	5		30						180	180	180				
5.3					31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	190						
5.6	5.6			5.6	33.5						200	200	200				

- 注: 1. 这种标准可以应用在转数、进给、功率、尺寸和其他的参数。
2. 大于1000和小于1的数列, 可将表中数值乘或除以1000。
3. 转速数列的偏差不应大于表中数值的 $\pm 10 (\varphi - 1) \%$ 。由异步电动机驱动时, 可低于同步转数计算所得的数值 5 %。
4. 可由标准数列中选用具有某一公比的数值组成派生数列, 例如132, 190, 265, 375, 530等等。

二、转速图

转速图是一种帮助我们分析和设计机床分级变速传动系统的工具。它能较全面地和简明地反映出机床分级变速传动系统的组成结构和运动参数。

1. 怎样从传动图转化为转速图？图 1—9 及图 1—10 为 C336 型六角车床主运动的传动图及转速图。

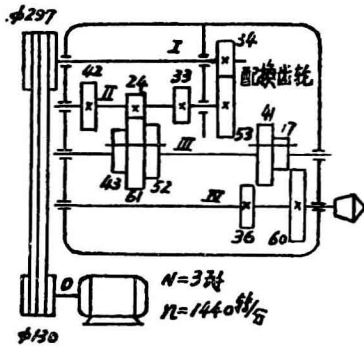


图 1—9 C336型六角车床
主运动传动图

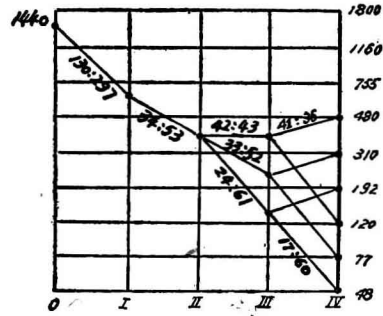


图 1—10 C336型六角车床主运
动转速图

在转速图中用 0 ~ IV 根平行的垂直线（垂直线之间的间隔可取任意相等的距离）顺次代表传动图中的五根传动轴（0 为电动机轴，IV 为主轴，I ~ III 为中间轴），6 根等距的水平线代表主轴的 6 级转速，每一根水平线代表一级转速。因为主轴各级转速是成等比级数排列的，因此，如果纵坐标选用对数坐标，则各级转速之间的间隔距离是相等的，也就是每格代表一个 J9φ。

0 轴是电动机轴，它总是以 1440 转 / 分的转速旋转，因此它只有一个转速，我们就在 0 轴上相应于 1440 转 / 分处画一个小圈，表示它的速度。轴 I 是电动机经过一对皮带轮（ $i = \frac{\Phi 130}{\Phi 297}$ ）驱动的，因此轴 I 也只有一个转速即 $1440 \times \frac{130}{297} = 630$ 转 / 分，于是我们就在轴 I

上相应于 630 转 / 分处画一个小圈，表示 I 轴的转速，并把 0 轴的小圈和 I 轴上的小圈联成一根斜线，这种两轴之间的连线就表示一个传动副（如皮带轮和齿轮之类）。由于轴 II 的运动是通过配换齿轮对（ $\frac{34}{53}$ ）而得到的，因此当配换齿轮的齿数固定时，轴 II 得到相应的一种转速（404 转 / 分），我们在轴 II 上相应于这一种转速处画一个小圈，以表示在轴 II 上能得到的一种转速，并把轴 I 和轴 II 的小圈用直线连接，这一根斜线表示了轴 I 和轴 II 间有一对传动副。而轴 III 的运动是通过改变一个三联滑动齿轮块的位置，使传动比不同的三对齿轮分别

啮合（ $\frac{42}{43}$ 、 $\frac{32}{52}$ 、 $\frac{24}{61}$ ）而得到的，因此轴 III 有三种不同的转速（395 转 / 分，256 转 / 分，159 转 / 分），我们同样在轴 III 上相应于这三种转速处画上三个小圈，以表示轴 III 上有这三种转速，并把轴 II 上的一个小圈和轴 III 上的三个小圈分别用直线连起来，得到三根斜线，它表示了轴 II 和轴 III 间的三对传动副。根据同样的道理我们可在 IV 轴（主轴）上画 6 个小圈，表示主轴有六种转速，轴 III 和轴 IV 之间有两组平行的斜线，表示轴 III 和轴 IV 之间的两对传动副

$\left(\frac{41}{36}, \frac{17}{60} \right)$ 。这样就把传动图转化为转速图了。

2. 从转速图上可以说明那些问题?

(1) 传动系统中共有几根轴? 转速图中垂直线的数目表示传动轴的数目。图中有五根平行垂直线表示 C366 六角车床主运动传动系统中 (包括电动机轴在内) 共有五根轴。

(2) 传动系统中共有几个传动组? 其中那几个为变速传动组? 每相邻两轴间的各传动副组成一个传动组; 凡是参与变速的传动副的传动组称为变速传动组。图 1—10 中有四个传动组, 其中有二个定比传动组, 二个变速传动组。轴 0 和轴 I 之间的皮带轮传动副 i_a 组成定比传动组 a; 轴 I 和轴 II 之间的配换齿轮副 $i_b \left(\frac{34}{53} \right)$ 组成定比传动组 b; 轴 II 和轴 III 间参与变速的齿轮传动副 i_{c1}, i_{c2}, i_{c3} 组成变速传动组 c; 轴 III 和轴 IV 间参与变速的齿轮传动副 i_{d1}, i_{d2} 组成变速传动组 d。

(3) 每个传动组内有几对传动副? 两轴线间的一束幅射线中的数目即为该传动副的数目。图 1—10 中传动组 a 中只有一根射线, 表示传动组 a 只有一对传动副; 传动组 b 中也只有一根射线, 表示传动组 b 只有一对传动副; 传动组 c 中有一束幅射线, 这一束幅射线中有三根射线, 就表示传动组 c 有三对传动副; 同理可知传动组 d 中有二对传动副。

(4) 每对传动副传动比的大小? 根据代表传动副的射线跨越水平线的格数就可算出传动比的大小。如果射线本身为水平线, 则表示这对传动副的传动比等于 1; 射线向上跨越为升速 (即传动比大于 1); 射线向下跨越为降速 (即传动比小于 1)。向上跨越 1 格, 则传动比等于 φ , 向下跨越 1 格, 则传动比等于 $\frac{1}{\varphi}$; 向上跨越 2 格, 则传动比为 φ^2 , 向下跨越

2., 则传动比为 $\frac{1}{\varphi^2}$, 其他依此类推。

(5) 每根轴上有几种转速? 转速的大小数值? 每根垂直线上有几个小圈即表示有几个转速。根据小圈在纵座标上的位置, 就可判断各个转速的数值。例如: 图 1—10 中 0 轴和 I 轴均只有一个小圈, 就表示 0 轴和 I 轴均只有一种转速; 0 轴的转速即为电动机轴的转速为 1440 转/分, 故 0 轴上的小圈位于稍低于 1800 转/分的水平线; 轴 I 的转速为 630 转/分, 故轴上的小圈位于 480 和 755 转/分的两根水平线之间, 并靠近 755 转/分的水平线。

(6) 传动顺序: 各传动组在变速箱中安排的先后次序称为“传动顺序”。由于转速图上的平行垂直线是顺次代表传动图中各根传动轴, 也就是说转速图上的各个传动组的位置就是按照它在变速箱中安排的先后次序排列的, 因此, 在转速图上很容易看出“传动顺序”。

转速图主要是用来设计和计算多级变速箱传动系统时的一种工具, 它可以很简明地表示出所需传动轴的数目、转速、轴与轴之间的传动比和转速的变化等运动参数和结构参数, 并可利用它来分析传动系统的优缺点, 以找出较好的传动系统分案 (这一问题在以后机床设计的学习中还需作深入分析)。就现在来说学习这一节的目的是认识转速图以便初步掌握分析现有机床运动时更简明的一种工具。

第五节 机床配换齿轮的选择

普通车床利用主轴变速箱及进给箱来改变它的转速及进给量，工人只要用手柄搬动滑动齿轮就可以很快地变速，利用配换齿轮（亦称交换齿轮）来变速则需花费较多的时间，但机床转速级数越多，用变速箱变速时变速箱结构将越复杂，因此机床上也广泛使用配换齿轮变速。

在大批及大量生产用的一些专用机床上，主轴转速或进给量在加工某固定零件时是不变的。由于零件批量较大，配换齿轮变速所占的时间分摊到每个零件上是很小的，因此，经常使用配换齿轮的方法代替多级变速箱，以便简化机床结构。

在旧式的车床上主轴至丝杠和光杠间是没有进给变速箱的，完全用配换齿轮来改变进给量。即使在发展到目前的一些普通车床上也常常备有挂轮架，靠配换齿轮来简化进给变速箱。这挂轮架也用作车削精密螺纹及特殊螺距螺纹时配换齿轮用。图 1—11 为车床进给运动最一般的传动方式，其进给运动链平衡方程式为：

$$1 \cdot i_{\text{固}} \cdot i_{\text{挂}} \cdot t_{\text{丝杠}} = t_{\text{螺纹}}$$

因 $i_{\text{固}} = 1$ ， $i_{\text{挂}} = -\frac{a}{b} \times \frac{c}{d}$ ，代入上式得进给运动链中调整环节 $i_{\text{挂}}$ ——挂轮架上配换齿轮的传动比为：

$$i_{\text{挂}} = -\frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{t_{\text{螺纹}}}{t_{\text{丝杠}}}$$

若被加工螺纹的螺距（ $t_{\text{螺纹}}$ ）及机床丝杠的螺距（ $t_{\text{丝杠}}$ ）为已知，亦即要求调整环节的传动比 $i_{\text{挂}}$ 为已知。我们如何根据机床上备有的配换齿轮中选择合适齿数的齿轮 a 、 b 、 c 及 d 来满足运动链调整的需要，这就是本节所要解决的主要问题。

当然选择配换齿轮的问题，不仅在车床碰到，而且在齿轮机床、螺纹机床、铣床、自动及半自动机床等许多机床上都会遇到。配换齿轮选择得精确与否直接影响零件的加工精度。而在精密螺纹车床和在齿轮加工机床上尤为重要。我国工人阶级在常期的生产实践中积累和创造了许多选择配换齿轮的方法，如上海工人夏顺元编写的《利用对数计算机床交换齿轮》就是其中一个代表。现把常用的几种配换齿轮选择的方法归纳介绍如下。

一、常用的配换齿轮选择方法

1. 因子分解法：就是先将配换齿轮的传动比化为分数，把分子和分母分解成许多因子，然后适当合并加大倍数，配成机床上备有的齿轮齿数。

例如：要在 C620—1 车床上车精密公制螺纹，其螺距为 3.6 毫米，已知丝杠螺距为 12 毫米，代入公式得：

$$i = \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{t_{\text{螺纹}}}{t_{\text{丝杠}}} = \frac{3.6}{12}$$

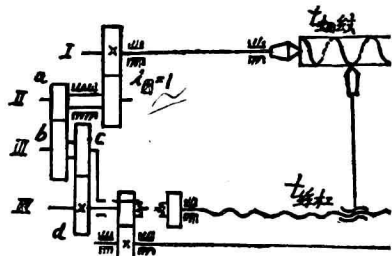


图 1—11 车床进给运动最一般的传动方式

若用一对齿轮，则因降速比太大，使这对齿轮齿数相差太大，因此，改用能对串联，上式可分解因子。

$$\frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{4}{12} \times \frac{0.9}{1} = \frac{4 \times 10}{12 \times 10} \times \frac{0.9 \times 100}{1 \times 100} = \frac{40}{120} \times \frac{90}{100}$$

这样，配换齿轮a, b, c, d的齿数各为40, 120, 90, 100它们在车床配备的22个标准齿数的配换齿轮中都可找到。

$$\begin{aligned} \text{同理, 假如 } i &= \frac{a}{d} \times \frac{c}{b} = \frac{57}{91} = \frac{3 \times 19}{7 \times 13} = \frac{3 \times 15}{7 \times 15} \times \frac{19 \times 5}{13 \times 5} \\ &= \frac{45}{105} \times \frac{95}{65} \end{aligned}$$

这里，a、b、c、d的齿数各为95, 70, 30, 65。这些齿数也应该是所调整的机床上所备有的。

经过长期实践，认为比较合理的配换齿轮标准齿数系列如表1—6所示，它需要的齿轮数目较少，而所搭配出的传动比较多，推荐使用。

这个方法简单而精确，是配换齿轮最基本的计算方法，一般应首先考虑采用。但在实际工作中常常会碰得无法分解因子的传动比，此时可用其他方法来解决。

2. 求近似分数法：利用近似分数代替不能分解因子的传动比，计算出配换齿轮的齿数。

(1) 用近似分数代替常见数字：例如在C620—1车床上车 $m = 3$ 的精密模数螺纹（蜗杆螺纹），其螺距 $t_{\text{螺纹}} = \pi m = 3\pi$ 由式

$$i = \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{t_{\text{螺纹}}}{t_{\text{丝杠}}} = \frac{3\pi}{12}$$

因 $\pi = 3.1416\ldots$ ，不好分解因子，但可用分数 $\frac{22}{7}$ 近似地代替 π ，则

$$i = \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} = \frac{3 \times 22}{12 \times 7} = \frac{3 \times 2 \times 11}{12 \times 7} = \frac{60}{120} \times \frac{110}{70}$$

此处a, b, c, d的齿数，各为60, 120, 110, 70。在螺纹车床调整中常常碰到 π ；25.4； $\frac{\pi}{25.4}$ ； $25.4 \times \pi$ 等数字出现于配换齿轮传动比的公式中。这些常见数字可用表1—7所列的近似分数来代替。分数比值的误差在括号内注。其数值代表用这个近似分数计算配换齿轮车出的螺纹在一米长度上带来误差的毫米数值。