

金属切削机床

机床设计部分

(机械制造工艺及设备专业用)

清华大学

《机床教材编写组》

1973.3



机床设计部分出版说明

一、这部份内容大体按 90 学时（包括讲课、自习、现坊、作业和实验）编写的。

二、所选用的资料以取自国内生产实践为主。遵照毛主席“洋为中用”的教导，也选用了一些国外的资料。

三、为了突出教学的基本内容，在许多结构图中把一些次要的细节结构删去了。

四、在编写过程中得到东北地区和上海地区一些机床厂和兄弟院校的帮助，本书的出版得到北京工业大学的热情支持，特此表示感谢。

五、由于水平不高，时间又比较仓促，一定有不少缺点和错误，请批评指正。

机床设计部分目录

第一章 机床设计的一般原则	1—6
§1.1 机床设计的指导思想	1
§1.2 机床的技术经济指标	1
§1.3 机床设计的步骤	5
第二章 机床主传动系统及其部件设计	7—45
§2.1 设计的基本要求	7
§2.2 主传动系统基本参数的确定	7
§2.3 机床主传动系统图的设计	13
§2.4 机床主传动系统的结构设计	34
第三章 机床的主轴部件	46—87
§3.1 对主轴部件的基本要求	46
§3.2 主轴部件的轴承	52
§3.3 主轴	75
§3.4 主轴部件的布局	79
§3.5 主轴部件的技术条件	83
第四章 机床的进给系统	88—111
§4.1 进给运动的特点	88
§4.2 进给运动的参数选择	91
§4.3 进给运动的变速系统	92
§4.4 旋转运动变直线运动的转换机构	103
§4.5 保险装置	107
§4.6 低速进给运动的爬行现象	109
§4.7 快速运动	110
第五章 机床的大件	112—144
§5.1 对大件的工作要求	112
§5.2 大件的受力分析举例	113

§5.3	大件的结构设计.....	115
§5.4	大件的材料和热处理.....	126
§5.5	滑动导轨.....	129
§5.6	滚动导轨.....	142
第六章	机床总体设计中的一些问题	145—164
§6.1	机床的总体布局.....	145
§6.2	组合机床总体设计实例.....	155

第一章 机床设计的一般原则

§ 1.1 机床设计的指导思想

机床设计是机床生产中的一项重要工作。机床的性能、生产率、成本、操作和安全等主要技术经济指标，首先是通过设计体现出来的。因此，要做好机床的设计工作，必须树立正确的指导思想。要无产阶级政治挂帅。要批判资产阶级。

伟大领袖毛主席给我们制定了“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。”的总路线。这是各项社会主义建设工作必须遵循的准则。

按照社会主义建设总路线的精神，我们设计的机床应该是：“体积小、重量轻、结构简单、使用方便、效率高、质量好”。机床的设计和制造，是为机床使用单位服务的。在设计过程中要实行“设计、制造、使用单位三结合”和“工人、技术人员、干部三结合”。

在机床设计工作中，存在着尖锐的两条路线的斗争。刘少奇一类骗子宣扬“业务挂帅”、“爬行主义”和资产阶级个人名利思想，推行一套脱离无产阶级政治，脱离群众，脱离实际的修正主义设计路线，千方百计地腐蚀机床设计人员。因此，要搞好机床设计，首先“要批判资产阶级”，树立正确的观点：

1. 全心全意为人民服务的观点。

在设计过程中，必然会遇到各种各样的问题和矛盾。要正确地分析矛盾和处理矛盾，就必须不为个人名利，坚持真理，一切从人民的利益出发，向人民负责。否则，就不可能正确贯彻“多快好省”的精神，不可能从政治上、经济上和技术上全面地分析和处理所遇到的各种问题。

因此，机床设计人员必须努力学习马列主义、毛泽东思想，坚持世界观的改造，端正设计态度，全心全意为人民服务，努力贯彻和执行毛主席的革命路线。

2. 辩证唯物主义的观点。

毛主席教导我们：“一切事物都是对立的统一。”“事物都是一分为二的。”“一切矛盾着的东西，互相联系着，不但在一定条件之下共处于一个统一体中，而且在一定条件之下互相转化，这就是矛盾的同性的全部意义。”

在机床设计中要把数量和质量的辩证关系统一起来。既要防止单纯追求结构简单和便于制造而不顾产品使用性能的倾向，也要防止片面强调性能好以致结构过于复杂，成本过高的另一种倾向。毛主席教导我们：“一切产品不但求数量多，而且求质量好，耐穿耐用。”这是整个设计过程中必须牢牢记住的原则。要根据不同的使用要求和制造条件，合理地制订各项技术经济指标。在分析这些问题时，首先要无产阶级政治挂帅。

正确的认识来源于实践，“离开实践的认识是不可能的。”上海机床厂在设计 and 制造镜面磨床时，就是深入地了解现有磨床在生产实践中存在的问题，认真总结了操作师傅的实践

经验，经过大量的试验研究，不断总结鏡面磨削的运动规律，攻克了一道道技术难关，并广泛征求各方面意见，反复修改设计，才成功地创造了具有世界先进水平的鏡面磨床。

3. 虚心向群众学习的观点。

毛主席教导我们：“群众是真正的英雄。”“人民，只有人民，才是创造世界历史的动力。”个人的认识是有限的，而广大工农兵群众在社会主义建设的实践中有着丰富的经验，他们的许多发明创造，赶上和超过了世界先进水平。设计人员必须虚心地向工人师傅学习，认真地听取和总结工人师傅的实践经验。

上海建设机器厂大搞技术革新和技术革命的群众运动，广大工人、技术人员和干部为了加工大型零件，创造了各种各样的“蚂蚁机床”，为社会主义建设作出了贡献。

4. 勇于创新的观点。

在机床设计中，要贯彻独立自主，自力更生的方针，不能跟在别人后面爬行，要立足于创新。毛主席教导我们：“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。”我国工人阶级的许多发明创造，有力地证明了这一条真理。外国资产阶级能做到的，我国无产阶级也能做到，并且一定会超过他们。

资本主义的工业发展已有比较长的历史，积累了不少生产经验和先进的科学技术成就。在走自己道路的前提下，要遵照毛主席“洋为中用”的教导，积极吸取那些对我们有用的外国先进科学技术。但同时必须看到，在他们的产品中必然会反映出资产阶级为了剥削、掠夺和谋取利润的生产特点。因此，在学习时必须注意批判资产阶级，反对盲目地“兼收并蓄”。

在学习先进经验时，要特别注意学习本国的先进经验。

§ 1.2 机床的技术经济指标

一台机床的好坏需要从多方面来衡量。从使用部门看，希望质量好、效率高、操作方便、价格低等。从制造部门看，要求工艺性好、结构简单、重量轻等。这些具体要求就组成了机床的技术经济指标，它综合地反映“多、快、好、省”的精神。

机床的技术经济指标有工艺可靠性、加工精度和光洁度、生产率等等。但对一台具体的机床来说是有所侧重的，如在设计精密絲杠车床时，首先考虑的是螺纹的加工精度；在设计多轴自动车床时，要着重考虑生产率的问题。同时各个技术经济指标间是相互联系，又相互约制的。要正确地处理好它们之间的关系才能符合“多、快、好、省”的精神。

目前常用的一些技术经济指标有：

1. 工艺可能性

即机床适应不同的生产要求的能力。如设计时，要考虑到该机床能加工的工序、使用刀具的种类和材料、工件类型和材料、加工精度和光洁度、适应的生产规模(批量)等等。

工艺可能性过窄，会使机床使用受到限制；过宽又会使机床结构复杂，因此在设计时必须充分调查分析，做出合理的判断。

2. 加工精度和光洁度

机床的加工精度是保证加工工件形状和尺寸的正确性的性能。

机床的加工精度取决于机床的几何精度、传动精度、静态刚度和动态刚度等。

机床的几何精度包括部件的准确性和各部件相对位置的准确性。对普通车床来说，就是指我国一机部颁布的车床十八项精度标准。

传动精度是指工作部件间相对运动有严格要求的那些机床，其相对运动的准确性。例如精密螺絲车床的传动精度直接影响加工螺紋的螺距误差。滚齿机的传动精度直接影响加工齿轮的周节误差。传动精度取决于传动系统的设计、传动件的制造精度和装配调整状况。

静态刚度是指机床受切削力和工件的重量作用时抵抗变形的能力。机床的静态刚度越大，它在同样的作用力下，产生的变形越小，因此能够得到较高的加工精度。

动态刚度是指机床在周期性变化的力的作用下抵抗变形的能力，也就是抗振性。机床在周期性变化的力的作用下如果产生显著的振动，不仅不能保证加工精度和表面光洁度，而且会损坏刀具和机床。随着机床向高精度、高表面质量和高生产率的方向发展，动态刚度的问题更显得日益重要。

由于影响机床精度的因素很多，而且各因素间相互联系和制约，通常需要用实验分析的方法确定机床的精度。

机床加工工件表面的光洁度是机床的主要性能之一，特别是对精加工机床更为重要。例如鏡面磨床，若加工工件表面光洁度达不到 $\nabla 13$ — $\nabla 14$ ，就不成为“鏡面磨床”了。

影响加工的光洁度的因素，除了刀具几何角度、加工材料性质等工艺因素外，对机床来说它的进给量、运动平稳性等，都是影响表面光洁度的因素。

3. 生产率

在保证加工质量的基础上，应当尽可能地提高机床的生产率。

表示生产率的一种方法是在单位时间内机床所能加工的工件数量。计算公式为：

$$Q = \frac{1}{T_{\text{总}}} = \frac{1}{T_{\text{切削}} + T_{\text{辅助}} + \frac{T_{\text{准、结}}}{n}} \text{件/小时}$$

式中： Q ——单位时间内机床生的产产品数量；

$T_{\text{总}}$ ——加工每一个工件的 averages 的总时间；

$T_{\text{切削}}$ ——每个工件的切削加工时间；

$T_{\text{辅助}}$ ——每个工件的辅助时间，如上、下料，回程等；

$T_{\text{准结}}$ ——每批工件的准备和结束时间，如装卸工夹具、调整机床等；

n ——每批工件的数量。

从上式可以明显地看出：要想提高机床的生产率，可以采取 措施 减小 $T_{\text{切削}}$ 、 $T_{\text{辅助}}$ 、 $T_{\text{准结}}$ ，如采用高速切削、多刀切削等措施以减少切削加工时间或采用机械化和自动化措施来减少辅助时间；另外在机床结构上还应考虑减少加工的 准备和结束 时间。

4. 系列化、通用化、标准化程度

机床系列化的目的是寻求一个合理的方案，确定同一类型机床应有那些规格和型式来满足社会生产的各种不同的需要。

系列化工作包括系列型谱的制订和产品系列的设计。我国机床系列化工作目前正在积极开展。

如：普通车床的系列型谱表(示意)

表 1.1

最大加工直径	系列	基 型	变 型				
			高精度 车床	轻型车床	马鞍车床	长轴车床	球面车床
φ800		△					
φ1000		△		△	△	△	△
φ1200		△					

在型谱表中：纵向表示车床的基本尺寸，即用这些规格来满足各种不同尺寸范围的加工要求。横向表示：同一规格的车床应当有那些型式车床来满足各种较为特殊的生产条件，如轮船上带动螺旋桨的大长轴；军工生产要求的球面加工等等，这些车床只需在普通车床的基础上对部分部件和零件作相应的演变而成为“长轴车床”“球面车床”等“变型”产品。

这样，可使同类机床的若干部件相互通用(图1.1)。

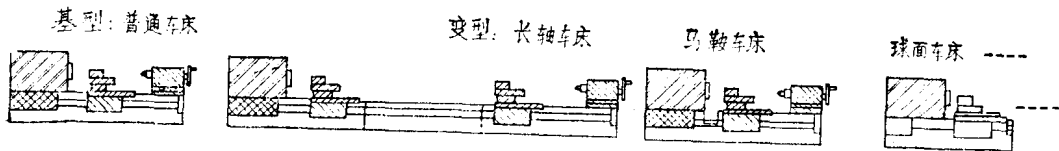


图 1.1 车床部件通用化的示意图

如CB3463型组合式半自动转塔车床，就是由多种通用部件组合化设计而成，性能和工艺都比较满意。

部件通用化后，扩大了零件制造批量，既便于生产管理，又降低了生产成本和缩短了生

产周期。而结构可靠性也提高了。

零件标准化有着显著的经济、技术效果。据统计：一般的紧固件(如螺钉、销子等)集中大量生产后成本降低到原有的1/4~1/8，材料利用率可从30%提高到80—95%。

“三化”间是密切关联的，品种系列化是部件通用化和零件标准化的基础，而后者又促进和推动品种系列化工作。

5. 寿命

机床寿命的长短是标志一台机床优劣的重要指标之一。如果机床零部件磨损很快，那么机床就很快地丧失了原有精度，这就需要经常地维修，因此是很不经济的。

在机床设计中应当充分注意结构的可靠性和耐磨性。对导轨、轴承等易损零件，应根据使用条件合理地进行设计，以延长其使用寿命。

6. 操作、维修要方便、安全

机床操作必须方便、省力、安全，同时也要考虑到维修的方便。

机床设计者应该带着无产阶级的思想感情，关心工人的工作条件，确保操作工人的安全和健康。

7. 其他方面

机床制造工艺性要好；机床的重量(机床单位功率所分担的机床重量 $M = \frac{G}{N}$ 公斤/千瓦)要轻；零件数目要少；成本要低；外形要美观；佔地面积要小等等都需要在设计时一一考虑。

§ 1.3 机床设计的步骤

各个机床厂根据自己的具体情况和所设计机床的不同类型，都总结了机床设计的步骤和程序，但总括起来，大体分为：

1. 调查研究阶段

(1) 学习有关新产品设计方针、政策和指示，明确产品设计的指导思想。

(2) 用户调查：了解使用工厂的生产、使用条件和发展趋势。并调查同类型机床使用情况和存在问题。

(3) 收集、参阅和分析有关国内外技术文献，同类型机床的图纸和总结。

(4) 加工工件的工艺分析：在具体设计之前，必须对要求加工的工作进行全面的工艺分析，作为机床总体布局 and 各项参数确定的基础。这对专门化和专用机床尤为重要。

2. 方案拟订和审批

在调研的基础上，一般都制订出几个比较方案，每种方案包括：工艺分析、总体布局、重要的技术参数、传动系统图、各部件草图、电液控制系统图、外观图、有关的机床特性说明、试验结果及技术经济综合效果分析等内容。这些都是进行具体设计的依据。

方案必须经过一定范围的讨论和必要的审查批准手续。

3. 工作图设计

(1) 绘制总图、各部件装配图及零件图。

(2) 整理机床部件和主要零件的计算书, 编制零件明细表及机床说明书等技术文件。

(3) 所有部件装配图要经过标准化和工艺部门的审查。

4. 样机试制鉴定和图纸整理

工作图设计完成后, 应试制一台(或几台)样机, 并对样机进行试验和鉴定。在试验和鉴定中发现的问题应及时总结并对工作图做必要的修改。

第二章 机床主传动系统及其部件的设计

§ 2.1 设计的基本要求

在前一章中已经扼要地说明了一台机床应该满足的各种技术经济指标。设计机床时就需在正确的思想指导之下充分考虑这些指标，并且尽可能地用合理的措施来实现它。从“典型机床”的学习中我们知道，机床的主传动系统是机床的主要组成部分之一。因此，必须对机床的主传动系统的设计给以充分的注意。

机床的主传动系统及其部件对整台机床应满足的绝大部分技术经济指标有着最密切的关系。例如：车床的主轴转速范围和级数以及主传动的功率将直接影响这台车床的使用范围；主轴部件的精度、刚度、抗振性和温升对机床的加工质量起着极重要的作用；传动系统的结构对机床的效率、操作、调整、维修、制造以及机床的成本等也有着明显的影响，并且所有这些因素都直接地或间接地影响着机床的生产率。

因此，机床的主传动系统及其部件的设计必须满足下列基本要求：

1. 机床的主轴必须有足够的转速范围和转速级数（对于作直线往复运动的机床则为每分钟往复次数或直线速度的变速范围和变速级数）；
2. 主电动机和全部机构必须能传递足够的功率和扭矩，效率要高；
3. 传动机构，特别是末端执行件（例如主轴部件）必须有足够的精度、刚度和抗振性，热变形要小；
4. 操纵灵便轻巧和安全，调整维修方便；
5. 结构尽量简单紧凑，制造方便成本低。

设计机床主传动系统首先要确定它的基本参数（变速范围、变速级数和电动机功率），然后根据所定的基本参数设计出主传动的传动系统图，最后设计出符合要求的全部结构。

§ 2.2 主传动系统基本参数的确定

机床主传动系统的基本参数包括主轴的转速范围、转速级数（或每分钟往复次数范围和级数）和主电动机功率或主轴的最大扭矩。机床必须满足所加工工件的工艺要求，因此确定基本参数时首先应对工艺要求进行全面分析，并充分考虑工艺和刀具的新发展，根据需求和可能来决定比较合理的数值。国内外经过实践考验证明其性能比较好的同类型机床，对新设计机床基本参数的确定有很大参考价值。

对于专用机床或用途较窄的机床，工艺要求比较单纯和具体，基本参数的确定比较容易，一般只要针对所加工工件的具体工艺要求通过参考有关经验和计算就可得出基本参数。必要时则应通过一定的试验来得到需要的数据。

对于通用机床，因为机床的适用面很广，工件种类繁多，要求也各不相同，工艺范围很

宽,确定基本参数时,必须使机床能够在经济合理的原则下,最大限度地满足各种不同的要求。为此,必须首先对所设计的这一类型机床的工艺范围和使用情况作全面的调研,经过分析,根据其中某些典型工艺确定机床的基本参数。

1. 机床主轴的转速(或作直线往复运动的机床的每分钟往复次数)

为了满足各种不同的工艺要求,通用机床的主轴必须能够得到若干级不同的转速。例如C620-1B车床主轴有11.5、14.5、19、24、30……1200转/分一共21级转速。

这些转速中每一级转速与比它低一级的转速之间的比值是基本上相同的,即

$$\frac{14.5}{11.5} \approx \frac{19}{14.5} \approx \dots \approx \frac{1200}{950} \approx 1.26,$$

因此,C620-1B车床的主轴转速是成等比关系的数列,1.26就是这个等比数列的公比。

机床主轴转速基本上都是成等比数列的或以等比数列为基础的数列。其原因一方面是转速同样的增值对于高转速时切削速度改变的比例不大,而对于低转速时切削速度的改变比例就较大,因此高转速之间差距需要比低转速之间的差距大,成等比数列的转速是具有这种特点的最简单的规律。更重要的是成等比数列的转速从变速机构的现实性来说是最经济合理的(见§2.3)。

如果机床主轴有一套等比数列的转速如下:

$$n_1; n_2; n_3; \dots n_{z-1}; n_z$$

其中 z 是转速的级数,最低一级转速为 $n_1 = n_{\min}$,最高一级转速为 $n_z = n_{\max}$ 。设 φ 为这套转速的公比,则

$$\frac{n_2}{n_{\min}} = \frac{n_3}{n_2} = \dots = \frac{n_{\max}}{n_{z-1}} = \varphi,$$

因此,

$$n_2 = n_{\min} \cdot \varphi,$$

$$n_3 = n_2 \cdot \varphi = n_{\min} \cdot \varphi^2,$$

.....

$$n_{\max} = n_z = n_{\min} \cdot \varphi^{z-1},$$

则

$$\varphi^{z-1} = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = R_n$$

其中 $R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$ 称为机床主轴的变速范围。

因此,如果确定了主轴的最高和最低转速以及转速的级数,全套转速就可以得到。

2. 最高转速、最低转速和转速级数的确定

为了确定主运动是旋转运动机床的主轴最高转速 n_{\max} 和最低转速 n_{\min} ,必须先该机床的全部工艺范围内找出有可能选用 n_{\max} 和 n_{\min} 的两个典型工艺,并用下列公式进行计算:

$$n_{\max} = \frac{1000v_{\max}}{\pi d_{\min}}; \quad n_{\min} = \frac{1000v_{\min}}{\pi d_{\max}}.$$

其中 v_{\max} 和 v_{\min} 是不同条件下可以采用的最大和最小合理切削速度。由“切削原理”可知,切削速度不仅决定于工件的材料和工艺的种类,而且决定于刀具的材料和它的几何角

度。因此，在确定 v_{max} 和 v_{min} 时，不仅要考虑到所设计机床加工的工件材料和工艺种类，而且还要考虑新型刀具材料和先进刀具结构的发展趋势和采用的可能性。

对于通用机床，加工工件的材料绝大部分是钢和铸铁。确定合理切削速度时一般只以加工钢和铸铁为依据，特殊需要的情况下才考虑其它材料。

必须注意，公式中的 d_{min} 并不是指所设计机床可以进行加工的最小直径，而是在机床全部工艺范围内可以用最大切削速度 v_{max} 来进行加工的最小直径。这个最小直径对于各种车床往往决定于工件在加工时的最大允许变形量，对于铣床和钻镗床往往决定于刀具的强度。同样，公式中的 d_{max} 是机床全部工艺范围内可以用最低切削速度 v_{min} 来进行加工的最大直径。

以 $\phi 400$ 普通车床为例：

v_{max} 为半精加工的合理切削速度，设 $v_{max} = 200$ 米/分；

d_{min} 为半精加工的最小直径，设 $d_{min} = 50$ mm；

v_{min} 为精加工丝杠螺纹的合理切削速度 设 $v_{min} = 1.5$ 米/分；

d_{max} 为丝杠的最大直径，设 $d_{max} = 40$ mm；

计算得出：

$$n_{max} = \frac{1000v_{max}}{\pi d_{min}} = \frac{1000 \times 200}{3.14 \times 50} = 1280 \text{ 转/分}；$$

$$n_{min} = \frac{1000v_{min}}{\pi d_{max}} = \frac{1000 \times 1.5}{3.14 \times 40} = 12 \text{ 转/分}。$$

$$\text{变速范围 } R_n = \frac{1280}{12} = 107$$

由公式 $\varphi^{z-1} = \frac{n_{max}}{n_{min}} = R_n$

可知，当主轴的变速范围确定之后，转速的级数 z 取决于公比 φ 。

根据国家标准，公比 φ 有下列标准值，它具有某些特殊有利的特性：

φ	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	1.78	2
$\frac{E_1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{2}{\sqrt{2}}$	$\frac{3}{\sqrt{2}}$	$\frac{4}{\sqrt{2}}$			$\frac{1}{\sqrt{2}}$
$\frac{E_2}{\sqrt{10}}$	$\frac{4}{\sqrt{10}}$	$\frac{2}{\sqrt{10}}$	$\frac{1}{\sqrt{10}}$	$\frac{2}{\sqrt{10}}$	$\frac{5}{\sqrt{10}}$	$\frac{4}{\sqrt{10}}$	$\frac{1}{\sqrt{10}}$

这些标准公比有两个特性：

① 除 $\varphi = 1.58$ 和 1.78 外，其他五个公比都具有 $\frac{E_1}{\sqrt{2}}$ 的特性。它的意思是，用这些公比的主轴转速中的任意一级与相隔 E_1 级的另一级转速成二倍的关系。例如：公比 $\varphi = 1.26$ 时，如果有一级转速是 100 转/分，则与它相隔三级 ($E_1 = 3$) 的另一级转速一定是 200 或 50 转/分。因此，用多速电机 (转速公比为 2 时) 的情况下必须与这些公比配合使用，才能够得到等比数列的主轴转速 (见后面)。

标准数列

表 2.1

公比 φ 的数值							公比 φ 的数值						
1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	1.78	2	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	1.78	2
1	1	1	1	1	1	1	6						
1.06							6.3	6.3	6.3		6.3		
1.12	1.12						6.7						
1.18							7.1	7.1					
1.25	1.25	1.25					7.5						
1.32							8	8	8	8			8
1.4	1.4		1.4				8.5						
1.5							9	9					
1.6	1.6	1.6		1.6			9.5						
1.7							10	10	10		10	10	
1.8	1.8				1.8		10.6						
1.9							11.2	11.2		11.2			
2	2	2	2			2	11.8						
2.12							12.5	12.5	12.5				
2.24	2.24						13.2						
2.36							14	14					
2.5	2.5	2.5		2.5			15						
2.65							16	16	16	16	16		16
2.8	2.8		2.8				17						
3							18	18				18	
3.15	3.15	3.15			3.15		19						
3.35							20	20	20				
3.55	3.55						21.2						
3.75							22.4	22.4		22.4			
4	4	4	4	4		4	23.6						
4.25							25	25	25		25		
4.5	4.5						26.5						
4.75							28	28					
5	5	5					30						
5.3							31.5	31.5	31.5	31.5		31.5	31.5
5.6	5.6		5.6		5.6		33.5						

② 除 $\varphi=1.41$ 和 2 以外, 其它五个公比都具有 $\sqrt[10]{10}$ 的特性, 它的意思是, 用这些公比的主轴转速中的任意一级与相隔 E_2 级的另一级转速成 10 倍的关系。例如, $\varphi=1.26$ 的时候, 如果有一级转速是 50 转/分, 则相隔 10 级 ($E_2=10$) 的另一级转速一定是 500 或 5 转/分。这个特性使主轴转速有可能标准化, 而且使标准十分简单。对于 $\varphi=1.41$ 和 2 两种标准公比, 则两个相隔 20 级和 10 级的转速成 1000 倍的关系, (见表 2.1)

七个标准公比中, 以 $\varphi=1.26$ 和 1.41 用的最多。

在同样转速范围时, 公比 φ 选的愈小, 则转速的级数就愈多, 结构就愈复杂。公比愈大, 则每两级转速之间相差愈大, 使用时不容易找到所需的相近转速。因此确定公比时, 必须从两个方面全面考虑。

选择公比 φ 时, 必须同时考虑到可能采用的转速级数 z 。一般情况下尽可能使 z 为可以分解成因子 2 和 3 的数值, 即 z 为 2、3、4、6、8、9、12、16、18、24、27 和 32 (见 §2.3)。

续前表

公比 φ 的数值							公比 φ 的数值						
1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	1.78	2	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	1.78	2
35.5	35.5						212						
37.5							224	224					
40	40	40		40			236						
42.5							250	250	250	250	250		250
45	45		45				265						
47.5							280	280					
50	50	50					300						
53							315	315	315			315	
56	56				56		335						
60							355	355		355			
63	63	63	63	63		63	375						
67							400	400	400		400		
71	71						425						
75							450	450					
80	80	80					475						
85							500	500	500	500			500
90	90		90				530						
95							560	560				560	
100	100	100		100	100		600						
106							630	630	630		630		
112	112						670						
118							710	710		710			
125	125	125	125			125	750						
132							800	800	800				
140	140						850						
150							900	900					
160	160	160		160			950						
170							1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
180	180		180		180								
190													
200	200	200											

- 注：1. 这种标准可以应用在转速、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，可低于由同步转速计算所得的数值 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。

3. 主电动机功率的确定

机床电动机的功率必须满足机床工作的需要。机床结构是根据所选的电动机功率来设计的。电机功率选择过小，将使机床的工艺范围缩小，不能满足生产的需要，有时甚至使机床启动不了。电机功率选择过大，则电机本身的效能不能充分发挥，而且效率低浪费电力，并使机床的结构过分庞大。因此，对电机功率，特别是主电动机功率的确定必须给以足够的注意。

一般情况下机床主电机的输出功率大部分是用作切削工作的有效功率 $N_{切}$ 。在确定电动机功率时,可以对所设计机床工艺范围内的不同工艺情况下所需的有效功率进行计算(同时也要计算所需的扭矩),从中找出机床可能用到的最大有效功率(和最大扭矩)。但在实践经验的指导下,只要对少数起决定性作用的工艺进行计算,即可得到所需的结果。

“切削原理”中提供了一般常见工艺的有效功率计算公式,对于某些没有现成计算公式的特殊工艺则应该通过切削试验来确定有效功率。

机床电动机功率除一部分用作切削的有效功率外,另一部分则成为传动链中的各种摩擦损耗。

传动链中的摩擦损耗功率是由两方面原因引起的。一方面是各传动件接触表面因相对运动而产生的摩擦损耗,称为机械摩擦损耗功率;另一方面是各传动件在运转时搅油和克服空气阻力所引起的损耗,称为搅油损耗功率。这两部分损耗功率都与传动链的转速以及各传动件的种类尺寸和数目有关,而机械摩擦损耗功率又与负荷大小、零件的制造和装配质量有关。对于一台已定的机床,机械摩擦损耗功率主要随负荷和转速的提高而增大。而搅油损耗功率则仅与全部传动件的转速大小有关,转速愈高搅油损耗愈大。

对于转速不高的机床主传动系统,传动件的搅油损耗功率较小,可以不单独考虑,而在确定主电动机功率 $N_{主}$ 时,机械摩擦损耗功率 $N_{机}$ 可以用一般机械效率的形式表示如下:

$$N_{主} = N_{切} + N_{机} = \frac{N_{切}}{\eta'} \quad (1)$$

其中 η' 为传动链的总机械效率,而且

$$\eta' = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdots \cdots,$$

$\eta_1, \eta_2, \cdots \cdots$ 为传动链中各传动付和轴承等的局部机械效率,其数值可查阅《机器零件》。

对于绝大部分机床由于目前广泛采用高速切削的加工方法,主轴和传动件的转速很高,传动件的搅油损耗功率和空载时的机械摩擦损耗功率,在电动机功率中占有相当大的比重。特别是对于精加工的高速机床,有效功率较小,而传递有效功率时的传动件转速则较高,因此搅油损耗功率和空载时的机械摩擦损耗功率甚至超过有效功率,成为决定电动机功率的主要因素。

如果以 $N_{空}$ 代表空载功率,它是指主传动的转速与传递 $N_{切}$ 时的转速相同,但不加切削负载(即空载运转)时的功率损耗,以 $N_{附}$ 代表有了负载 $N_{切}$ 以后所增加的机械摩擦损耗功率,则主电机功率为

$$N_{主} = N_{切} + N_{空} + N_{附}.$$

$N_{空}$ 中包括了传动件的搅油损耗和空载时的机械摩擦损耗,而 $N_{附}$ 与公式(1)中的在负载时的全部机械摩擦损耗功率 $N_{机}$ 比较接近。为方便起见,可用 $N_{机}$ 代替 $N_{附}$ 。则主电机功率可以近似地计算如下

$$N_{主} \cong N_{切} + N_{空} + N_{机} = \frac{N_{切}}{\eta'} + N_{空}$$

所以在确定主电机功率前还必须确定 $N_{空}$ 。 $N_{空}$ 可以用试验方法来确定,也有用经验公式来确定的(注)。

作为设计机床时的初步依据,电动机功率可近似地用以下的公式来估计,即

$$N_{\text{主}} = \frac{N_{\text{切}}}{\eta}$$

其中 η 为传动系统的总效率,它与 η' 不同,它不仅考虑了传动件负载时的机械摩擦损耗,而且也考虑了传动件的空载损耗。对于主运动和进给运动公用一个电机作旋转主运动的机床(例如一般车床和钻床),一般可取

$$\eta = 0.70 \sim 0.85,$$

传动链愈复杂,传动件转速愈高,则 η 取较小值,反之则取较大值。

机床电机功率的确定到目前为止还没有一个完善的计算方法。比较可靠的办法是根据现有同类型机床的实际使用情况和生产的发展趋势来确定。必要时则通过试验来确定之。

(注):苏联机床实验科学研究院推荐用下面的经验公式计算机床主传动的空载功率:

$$N_{\text{空}} = \frac{K d_{\text{平均}}}{10^6} (\sum n + c n_{\text{主}}) \text{ 千瓦},$$

其中 $K = 3 \sim 5$, 根据传动链结构、制造装配和润滑情况而定,情况好时取小值;

$d_{\text{平均}}$ 为除主轴以外的其他各传动轴的平均直径, mm ;

$\sum n$ 为主轴转速为 $n_{\text{主}}$ 情况下其他各传动轴的转速之和, 转/分;

$n_{\text{主}}$ 为主轴转速转/分;

$c = k \frac{d_{\text{主}}}{d_{\text{平均}}}$ 为系数;

主轴上用滚动轴承时,取 $k = 1.5$;

主轴上用滑动轴承的时,取 $k = 2$;

$d_{\text{主}}$ 为主轴平均直径, mm 。

§ 2.3 机床主传动系统图的设计

机床主传动系统的基本参数确定以后,就可以设计它的传动系统图(简称传动图)。在设计传动图时往往利用一种线图(称为转速图)。为此必须先了解一下什么是转速图,它和传动图之间有什么关系。

1. 转速图

图 2.1a) 是一台机床的主传动系统图。图 2.1b) 是它的转速图。主轴转速 $n = 31.5 \sim 1400$ 转/分, 公比 $\varphi = 1.41$, 级数 $z = 12$ 。

转速图中有五条间隔距离相等的竖线依次代表传动图中从电机轴到主轴的五根轴。每条竖线上有几个小圆点表示各轴可能得到的几个转速。

由于主轴的转速是按等比数列排列的, 即

$$\frac{n_j}{n_{j-1}} = \varphi = \text{常数},$$

其中 n_j 代表主轴的任意一级转速, n_{j-1} 代表比 n_j 低一级的转速, φ 为转速的公比。上式取