

# 金属切削机床设计

(修订本)

《金属切削机床设计》编写组

02.1

上海科学技术出版社



# 金属切削机床设计

(修订本)

《金属切削机床设计》编写组

上海科学技术出版社

---

## 内 容 提 要

本书系统介绍了金属切削机床设计和计算的基本原则和方法。全书包括：绪论，机床总体设计，主传动设计，进给传动设计，主轴组件设计，支承件设计，导轨设计，操纵机构设计等八章。书中还扼要地介绍了机床设计的最新进展，如机床动态特性分析，电子计算技术应用等。正文后附有习题、思考题和本书技术名词的汉、英、日、俄文对照。

本书可供高等院校机械制造工艺及设备专业的师生作教材使用，又可供有关工程技术人员阅读参考。

## 金属切削机床设计

(修 订 本)

《金属切削机床设计》编写组

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷四厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.25 字数 408,000

1985 年 5 月第 1 版 1985 年 5 月第 1 次印刷

印数：1—22,500

统一书号：15119·2407 定价：(科四)3.20 元

## 修订本前言

本书由吉林工业大学、吉林工学院、东北工学院主编的《金属切削机床设计》修订而成。原书自1979年出版以来，承蒙广大读者予以鼓励，在使用中提出了一些宝贵意见，现根据1982年10月在西安召开的全国机械制造（冷加工）专业教材编审委员会机床编审小组会议对原书提出的评审和修订意见及会议通过的《金属切削机床设计教学大纲》，予以修订。

本书将原书上册（共六章）改为八章，将原书下册第十章《机床性能与实验》的部分内容分别编入本书有关章节。原书下册修订为《组合机床设计》，另成一书。本书在保持原来风格和特点基础上，作了必要的增减和修改，增加了某些新内容。另外，还增添了习题、思考题和汉、英、日、俄文技术名词对照，作为附录。

参加本书修订工作的有：第一章吉林工学院迟建山；第二章哈尔滨工业大学顾熙棠；第三、四章东北工学院胡宝珍；第五章江苏工学院金瑞琪；第六、七章上海工业大学陈光耀、陈敏贤；第八章吉林工学院迟建山。附录一、二由上述人员集体编写。本书经集体审稿后，由顾熙棠、迟建山、胡宝珍统稿。

参加原书编写的，除本书和《组合机床设计》修订人员外，还有：王启义、章继伟、郑成龙、毛锡鹤、庄三元、黄允中、陈贞念、郭之鑽、杨志玉、马之行、梁允奇、高承煜。

在修订过程中，吉林工业大学参加了本书编写大纲讨论会，修订人员所在各院校给予了大力支持，其他兄弟院校的有关同志也给予了热情帮助，在此一并表示谢意。因水平所限，错误、不足仍会存在，欢迎大家批评指正。

本书编写组

1984年2月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
§ 1-1 设计机床的基本要求 .....	1
§ 1-2 设计机床的方法和步骤 .....	9
一、设计机床的方法 .....	9
二、设计机床的步骤 .....	11
<b>第二章 机床总体方案设计</b> .....	13
§ 2-1 机床总体方案设计的依据 .....	13
§ 2-2 工艺分析 .....	15
一、工艺方法的确定 .....	15
二、机床运动的确定 .....	17
三、夹具方案的拟定 .....	18
四、加工示意图的绘制 .....	18
§ 2-3 机床总体布局 .....	20
一、运动的分配 .....	21
二、机床传动形式的选择 .....	23
三、机床支承形式的选择 .....	26
四、机床操作部位的布局 .....	26
五、改善机床性能和技术经济指标的措施 .....	27
六、机床总联系尺寸图 .....	29
§ 2-4 机床主要技术参数的确定 .....	31
一、主轴转速的确定 .....	32
二、进给量的确定 .....	38
三、主运动驱动电动机功率的确定 .....	39
四、进给驱动电动机功率的确定 .....	41
五、快速运动的速度和电动机功率的确定 .....	41
<b>第三章 主传动设计</b> .....	44
§ 3-1 主传动的组成及要求 .....	44
一、主传动的组成部分 .....	44
二、主传动的设计要求 .....	46
三、主传动的设计程序 .....	46
§ 3-2 主传动的运动设计 .....	47
一、转速图 .....	47
二、结构网及结构式 .....	51
三、转速图的拟定 .....	52

四、齿轮齿数的确定 .....	57
§ 3-3 主传动的几种特殊变速方式 .....	63
一、交换齿轮变速 .....	64
二、多速电动机变速 .....	65
三、扩大变速范围的传动系统 .....	66
四、采用混合公比的传动系统 .....	69
五、采用公用齿轮的传动系统 .....	72
六、无级变速传动 .....	74
§ 3-4 主传动的结构设计 .....	75
一、主传动的布局及变速机构的类型 .....	75
二、齿轮的布置 .....	78
三、主传动的开停装置 .....	81
四、主传动的制动装置 .....	82
五、主传动的换向装置 .....	84
六、计算转速的确定 .....	86
§ 3-5 润滑系统 .....	89
一、润滑系统的要求 .....	89
二、润滑剂的选择 .....	89
三、润滑方式 .....	90
<b>第四章 进给传动设计</b> .....	<b>92</b>
§ 4-1 进给传动设计概述 .....	92
一、进给传动的组成 .....	92
二、进给传动的特点 .....	93
三、进给传动机构的类型 .....	95
四、快速空行程传动 .....	96
§ 4-2 直线运动机构 .....	98
一、滑动丝杠螺母机构 .....	98
二、滚珠丝杠螺母机构 .....	104
三、静压丝杠螺母机构 .....	109
§ 4-3 低速运动平稳性和防止爬行的措施 .....	109
一、爬行现象和机理 .....	109
二、爬行的临界速度 .....	111
三、消除爬行的措施 .....	112
四、微量进给机构 .....	112
§ 4-4 机床传动链的传动精度 .....	114
一、传动精度概述 .....	114
二、误差的来源和传递规律 .....	114
三、提高传动精度的途径 .....	117
<b>第五章 主轴组件设计</b> .....	<b>120</b>
§ 5-1 主轴组件的功用与基本要求 .....	120

一、主轴组件的组成、功用及特点	120
二、主轴组件的基本要求	120
§ 5-2 主轴组件的布局	125
一、两支承主轴轴承的配置型式	125
二、三支承主轴组件	130
三、传动件的合理布置	131
§ 5-3 主轴	135
一、主轴的结构	135
二、主轴的材料与热处理	136
三、主轴的技术要求	136
§ 5-4 主轴滚动轴承	140
一、常用主轴滚动轴承的类型	140
二、滚动轴承间隙的调整和预紧	142
三、滚动轴承的精度与配合	146
§ 5-5 主轴滑动轴承	148
一、液体动压轴承	148
二、液体静压轴承	150
三、空气静压轴承	156
§ 5-6 主轴组件的计算	156
一、主轴组件结构参数的确定	156
二、主轴组件的验算	162
三、主轴组件动态计算简介	166
§ 5-7 主轴组件的密封	170
一、密封装置的功用与要求	170
二、密封装置的结构、特点与应用	170
§ 5-8 提高主轴组件性能的一些措施	173
<b>第六章 支承件设计</b>	<b>176</b>
§ 6-1 支承件的功用及基本要求	176
一、支承件的功用	176
二、支承件的基本要求	176
§ 6-2 支承件的受力分析	178
一、普通车床床身受力分析	178
二、卧式升降台铣床床身受力分析	180
§ 6-3 支承件的刚度和动态特性	181
一、支承件的刚度	181
二、支承件的动态特性	182
§ 6-4 支承件的结构设计	184
一、确定满足工作要求的形状和尺寸	184
二、保证支承件本身的刚度	186
三、保证支承件连接处的刚度和局部刚度	191
四、合理选用支承件的材料和热处理	192
五、结构工艺性	194

§ 6-5 支承件的计算和试验 .....	195
一、摇臂钻床立柱刚度的计算 .....	195
二、支承件的有限元法计算 .....	198
三、支承件的计算机辅助设计 .....	200
四、支承件的模型试验 .....	204
<b>第七章 导轨设计 .....</b>	<b>206</b>
§ 7-1 导轨的功用、分类及基本要求 .....	206
一、导轨的功用及导向原理 .....	206
二、导轨的分类 .....	206
三、对导轨的基本要求 .....	207
四、导轨的摩擦和磨损 .....	203
§ 7-2 滑动导轨 .....	209
一、滑动导轨的结构 .....	210
二、导轨的间隙调整装置 .....	212
三、滑动导轨的设计计算 .....	216
四、提高导轨耐磨性的措施 .....	221
§ 7-3 动压导轨和静压导轨 .....	227
一、动压导轨 .....	227
二、静压导轨 .....	228
§ 7-4 滚动导轨 .....	231
一、概述 .....	231
二、结构型式 .....	232
三、滚动导轨的预紧 .....	235
四、滚动导轨的计算 .....	236
<b>第八章 操纵机构设计 .....</b>	<b>239</b>
§ 8-1 概述 .....	239
一、操纵机构的功用和要求 .....	239
二、操纵机构的组成 .....	239
三、操纵机构的分类 .....	240
§ 8-2 单独操纵机构 .....	241
§ 8-3 集中变速操纵机构 .....	243
一、顺序变速集中操纵机构 .....	243
二、选择变速集中操纵机构 .....	248
三、预选变速集中操纵机构 .....	251
四、变速中使齿轮顺利啮合的措施 .....	253
§ 8-4 操纵机构的定位和互锁 .....	254
一、操纵机构的定位方式 .....	254
二、操纵机构中的互锁装置 .....	256
附录一 习题、思考题 .....	258
附录二 本书技术名词的汉、英、日、俄文对照 .....	263



# 第一章 绪 论

金属切削机床(以下简称机床)是用刀具或磨具对金属工件进行切削加工的机器。在一般机械制造厂中,机床约占机器设备总台数的50~70%。

现代化工业生产的特征主要表现在高生产率和先进的技术经济指标两方面,而这些则首先取决于机械制造业提供的装备的技术水平。机床工业是机器制造业的重要部门,担负着为农业、工业、科学技术和国防现代化提供技术装备的任务,在整个国民经济中占有重要地位。一个国家机床工业的技术水平、机床的拥有量和现代化程度,是衡量这个国家工业生产能力和技术水平的重要标志之一。

从事机床设计的人员,应妥善处理既要赶超国际水平,又要符合我国国情;既要技术上先进,又要经济效果好;既要好造,又要好用、好修。要努力实践,大胆创新,更多地设计和制造出生产率高、静、动态性能好、结构简单、成本低、使用方便、节省能源、造型美观的具有我国风格的机床。

## § 1-1 设计机床的基本要求

机械工业的一切技术经济活动最终都离不开技术经济效益的分析。在现代工业技术高度发展的情况下,同一技术问题可以用不同的方案来解决,不同方案有不同的技术经济效益。评价机床技术经济效益的目的是择优选用技术先进、经济效益显著的最佳可行方案。

对机床技术经济效益做出适当的评价,不仅是设计制造部门的事,也是使用部门的事。影响技术经济效益的因素很多,需要有一套科学、简明、实用的指标,把技术因素和经济因素相结合,当前效益与长远效益相结合,定量指标和定性指标相结合来进行综合评价。

机床技术经济效益的分析可分为三段进行:(1)在选择机床设计方案时,进行多方案的技术经济效益估算和比较,从中选出最佳方案。(2)机床总体设计完成后,进行技术经济效益的预算和分析。(3)机床试制完成后,在验收时进行技术经济效益的核算和分析,并加以改进。

为了获得一定的经济效益,对所设计机床,一般有如下几方面的基本要求:

### 1. 工艺范围

任何一台机床所能完成的加工零件类型、零件尺寸、毛坯形式和工序都是有一定范围的。如一台通用机床可以完成一定尺寸范围内的各种零件的多种工序加工,而专用机床只能完成一个或几个零件的特定工序。一般来说,工艺范围窄,则机床结构较简单,容易实现自动化,生产率也较高。但机床工艺范围过窄,会限制加工工艺和产品的革新;而盲目扩大机床工艺范围将使机床结构趋于复杂,不能充分发挥各部件的性能,甚至影响机床主要性能的提高,增加机床成本。

通用机床的工艺范围是在试图以最少的品种规格、经济地满足国民经济各部门需要的指导思想下规定的。专用机床的工艺范围主要根据用户的实际需要、工件的特点和生产批量等决定。因通用机床多用于单件小批生产,在同一机床上要求完成多种多样的工作,还要适应不同使用部门的需要,故通用机床的工艺范围较宽。专用机床多用于大批量生产,是针对特定工序的,故其工艺范围较窄;这样,可提高生产率,保证加工质量,简化机床结构,降低机床成本。

为了扩大机床工艺范围,可在各种通用机床,尤其是大型机床和专用机床上增设各种附件,或把不同的工种综合到一台机床上,如车镗床、镗铣床等。

有些特形零件,虽然批量不大,但使用通用机床或不能满足要求,或占用通用机床不经济,也须设计专用机床。这时,其工艺范围与批量无关,主要从满足工件要求和简化机床方面考虑。

## 2. 精度

机床应保证被加工零件达到规定的精度和表面粗糙度。并能在机床长期使用中保持这些精度和表面粗糙度。工件的精度和表面粗糙度是由机床、刀具、夹具、切削条件和操作者等方面的因素决定。就机床方面来说,要保证被加工零件的精度和表面粗糙度,机床本身就必须具备一定的几何精度、运动精度、传动精度和动态精度。

几何精度是指机床在不运转时部件间相互位置精度和主要零件的形位精度,如主轴中心线相对滑台移动方向的平行度或垂直度,主轴的端面跳动和径向跳动,工作台工作面的平面度等。这些精度是由机床制造和装配精度决定的。

运动精度是指机床在以工作速度运转时主要零部件的几何位置精度,如在高速下运动的主轴或工作台的几何位置,随油膜的动压效应变化及滑动面的形位误差而变化,这种变化对于加工精度要求较高的磨床、坐标镗床等是不能忽视的。变化量越大,则运动精度越低。

传动精度是指机床传动链各末端执行件之间运动的协调性和均匀性;对于内联系传动链,传动精度尤其重要,如精密丝杠车床主轴和刀架之间的传动链,滚齿机刀具主轴和工件主轴之间的传动链,要求传动链两端保持严格的定传动比。传动精度由传动系统的设计、传动件的制造和装配精度等决定。

常用几何精度的检验作为制造机床的精度检验。对于通用机床,国家已规定了检验标准,对专用机床可根据加工零件的要求参照相应的通用机床的检验标准而决定。

必须指出,以上精度由于都是在空载条件下检测的,它只能在一定程度上反映机床的加工精度。如有的机床由于设计得不合理,虽然几何精度较高,但在切削力的作用下会产生较大的变形、振动和热变形,实际加工精度并不高,甚至出现某些切削规范不能使用的状况,所以还须要求机床的动态精度。

机床的动态精度是指机床在重力、夹紧力、切削力、各种激振力和温升的作用下主要零部件的形位精度。目前尚无统一检验标准。影响动态精度的主要因素有机床的刚度、抗振性和热变形等。

一般情况下,机床的刚度越大则动态精度越高。机床的刚度包括构件本身刚度和构件之间接触刚度。机床的构件本身刚度取决于构件本身的材料性质、构件的截面形状和大小、壁厚、筋板的布置、窗孔的影响等。机床的接触刚度不仅与接触面的材料、几何尺寸、硬度有

关,而且还与接触面的表面粗糙度、几何精度、加工方法、相对运动方向、接触面间的介质、预紧力等因素有关。

切削过程中机床的振动降低了加工精度、工件表面质量和刀具耐用度,影响了生产率的提高,加速了机床的损坏。另外,振动产生的噪声不仅使操作者容易疲劳,还影响周围环境。

机床的振动可分为受迫振动和自激振动两类。受迫振动是由机床外部或内部的振源而引起的振动。自激振动包括切削自激振动和摩擦自激振动,它是由机床、工件、刀、夹具振动系统与切削过程相互作用而产生的振动,通常是由切削过程的动态不稳定或导轨上运动质量的动态不稳定等原因造成的。机床抵抗受迫振动的能力称为抗振性。习惯上把抵抗切削自激振动的能力称为切削稳定性。而把抵抗摩擦自激振动的能力称为低速运动稳定性。

机床的抗振性和机床的刚度、阻尼特性、固有频率等有关。机床结构的阻尼包括构件材料的内阻尼和部件结合部分的摩擦阻尼两部分。机床结构的阻尼主要是由结合部分的摩擦阻尼决定,而结合部分的摩擦阻尼又决定于接触面积、表面状态和预紧力等因素。提高机床系统的阻尼是提高机床抗振性最主要和最有效的途径。

机床属多自由度振动的系统,具有多个固有频率,在其中某一个固有频率下自由振动时,各点振幅的比值称为主振型,对应于最低固有频率的主振型称为一阶主振型,依次有二阶、三阶……等主振型。机床的振动乃是各阶主振型的合成,因此,研究机床的抗振性就要研究机床的主振型。

机床由于外部热源(包括阳光照射及环境温度的变化)和内部热源(如电机、齿轮箱、轴承、液压、电器系统和切削热等)的影响,使机床各部分温度发生变化,加上各种材料的热膨胀系数的不同,机床各部分的变形也不同,因此导致机床产生热变形。它不仅会破坏机床的原始几何精度,加快运动件的磨损,甚至会影响正常运转。据统计,机床在长期工作中由于热变形而产生误差最大可占全部误差的70%,特别是对精密机床、大型机床和自动化机床,热变形的影响尤其不能忽视。目前,机床个别部件或整机在热稳定状态下的平均温升的计算只能在一定的简化条件下进行。温度场的分布还是通过实测或电模拟方法确定,近年来发展了模型试验和用有限元法来计算温度场分布和热变形。

由于现代科学技术的高速发展,机床加工精度、生产率、自动化程度和产品质量的不断提高,机床在加工过程中的动态质量已成为极其重要的问题,国内外对机床动态特性的试验研究发展很快,其研究成果已应用于生产中,特别在机床结构设计方面也发挥了很大作用。但是,当前机床制造厂主要还是通过切削加工典型零件所达到的精度来考核机床的动态精度,间接地对机床动态精度作出综合评价。

机床长时间保持其合格精度的性能称为机床精度保持性。精度保持性差的机床不仅降低了设备利用率,而且增加了机床维修工作量。精度保持性差的原因是主要零件耐磨性差和支承零件的变形。

机床按精度可分为普通精度机床、精密机床(代号M)、高精度机床(代号G)和精密母机床。大多数机床是属于普通精度机床。精密机床是在普通机床的结构基础上,提高了主轴、导轨或丝杠等主要零件的制造精度。高精度机床不仅提高了主要零件的制造精度,而且采用了保证高精度的机床结构。以上三种精度等级的机床均有相应的精度标准,其允差若以普通精度级为1,则大致比例为1:0.4:0.25。精密母机床用于制造精密机床的主要零件和传动副,具有更高的精度,是专门制造的。

### 3. 生产率和自动化程度

生产率的要求根据生产纲领决定,常用单位时间内机床所能加工出的工件数量表示。

$$Q = \frac{1}{T_{\text{总}}} = \frac{1}{T_{\text{切}} + T_{\text{辅}} + T_{\text{准}}/n} \text{ (件/小时)} \quad (1-1)$$

式中:  $Q$ ——单位时间内的工件数量;

$T_{\text{总}}$ ——单件总时间;

$T_{\text{切}}$ ——单件切削时间;

$T_{\text{辅}}$ ——单件辅助时间(如装卸工件,开停机床,快进快退等);

$T_{\text{准}}$ ——加工一批工件的准备终结时间(如调整机床,装卸工夹具等循环外的辅助时间);

$n$ ——每批工件数量。

从式(1-1)可以看出,要提高生产率,须缩短  $T_{\text{切}}$ 、 $T_{\text{辅}}$ 、 $T_{\text{准}}$ 。缩短  $T_{\text{切}}$  的方法有提高切削用量,采用多刀、多件、多工位加工等。缩短  $T_{\text{辅}}$  和  $T_{\text{准}}$  的方法有实现机械化、自动化、快速装夹、快速换刀等。这些都和机床有关。

通过对上式的进一步分析还可以知道,要提高  $Q$ , 单靠减少  $T_{\text{切}}$  或  $T_{\text{辅}}$  是有一定限度的, 必须使  $T_{\text{切}}$ 、 $T_{\text{辅}}$  和  $T_{\text{准}}$  同时减少才更有效。设计专用机床时, 当  $T_{\text{切}}$  与  $T_{\text{辅}}$  和  $T_{\text{准}}$  相比  $T_{\text{切}}$  较大时, 自动化程度对生产率影响不大, 提高生产率主要应减少  $T_{\text{切}}$ 。当  $T_{\text{切}}$  较小时, 自动化才显得迫切。因此, 从提高生产率的角度考虑, 高速机床主要应提高自动化程度, 而自动化程度高的机床则主要使机床高速化。

机床自动化程度可用自动化系数表示:

$$K_{\text{自}} = \frac{T_{\text{自}}}{T_{\text{循}}} \quad (1-2)$$

式中:  $T_{\text{自}}$ ——一个工作循环中由机床自动进行工作的时间;

$T_{\text{循}}$ ——完成一个工作循环的总时间。

为了提高机床的生产率和自动化程度, 就要在保证工件加工质量的前提下, 以最经济的方法, 合理地利用刀具, 最大限度地缩短机动时间和辅助时间。因此现代机床多采用高速磨削(60米/秒以上)、高速插齿(1000次/分以上)、高速车削(500米/分以上)和强力切削等; 大力发展各种组合机床、数控机床和自动换刀数控镗铣床; 在机床上广泛应用自动测量、自动补偿、自动调刀、自动显示等先进技术; 发展适应控制加工机床和计算机群控系统, 为建立更多的自动生产线、自动化车间和无人化自动工厂打下基础。

数控机床可提高中小批生产的加工效率, 它综合地利用计算技术、自动控制、精密测量和机床结构设计的最新成就, 其主要特点是灵活性大、适应能力强、生产率高, 尤其是加工形状复杂的工件时更有其独特之处。它与传统的自动化机床不同, 当改变加工工件时, 在数控机床上除重新装卡工件和更换刀具外, 一般只要变更控制介质即可, 如变更磁带、穿孔卡、穿孔带或拨码开关的位置, 除此之外, 不需对机床作大的调整, 全部加工过程就能自动进行, 大大缩短了辅助时间和机动时间, 能适应多品种小批量生产提高生产率的要求, 是实现机床自动化的一个重要方向。

### 4. 噪声

物理学称不协调者为噪声。但通常从生理学观点, 把人们不需要的声音, 不论是什么样

的声音,统称为噪声。

由于机床切削速度的提高,功率的增大,自动化功能的增多和机床变速范围的扩大,机床噪声已经成为机床设计和制造中一个不容忽视的问题。噪声损伤人的听觉器官和生理功能,妨碍语言通讯,降低劳动生产率,是一种公害,必须采取措施予以降低。

声音的大小是以声压级来衡量的,单位是帕斯卡或微巴(1微巴=0.1帕斯卡)。正常人的耳朵能听到的声音其声压相差达百万倍,因此直接用声压值来表示很不方便,习惯上用—个相对量的对数值即声压级来表示。

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0} \text{ (分贝)} \quad (1-3)$$

式中:  $L_p$ ——声压级;

$p_0$ ——基准声压,噪声中常用的基准声压是0.00002帕斯卡,即0.0002微巴。基准声压对应于声压级标准中的“0”分贝值;

$p$ ——被研究的声压。

这样就把相差一百万倍的声压范围变成0~120分贝的声压级变化范围(图1-1)。

声压级没有量纲,是表示声音的客观量。但为了使测量结果能反映出人耳对声音在听觉上的主观感受,在声级计中加入了频率计权网络,以修正仪器的频率响应。频率计权网络分A、B、C三种,C网络能使所有频率的声音一样通过而不予衰减,B网络使低频段有一定衰减,A网络使500赫以下的低频声音有一定衰减。用A网络测得的噪声值较为接近人耳对噪声的感觉,因此常用A网络测得的声级来代表噪声大小称为A声级,记为分贝(A)或dB(A)。经过频率计权后得出的声压级称为噪声级,它已不是一个表征噪声的客观量。

机床噪声的测量应按照《金属切削机床噪声测量标准草案》的要求进行,一般机床允许噪声不大于85分贝(A),精密机床不大于75分贝(A)。

机床主要噪声源是齿轮、油泵、轴承和风扇等。噪声可直接从这些零件发出,还可通过其周围的结构作二次声发射,故应从控制噪声的生成和隔音两方面着手降低噪声。前者应先找出机床最主要的噪声源,再采取降低噪声的措施。如传动系统的合理安排,轴承及齿轮结构的合理设计,提高主轴箱体和主轴系统的刚度,避免结构共振,选用合理的润滑方式和轴承结构形式等。后者则应根据噪声的吸收和隔离原理,考虑隔音措施,如将齿圈与辐板分离,通过分层面的摩擦阻尼消声,齿轮箱严格密封,选用吸振材料作箱体罩壳等。

出厂的机床并不是每台都作噪声检查,故主要是在设计和制造过程中设法降低噪声,以保证出厂机床不超过规定标准。

### 5. 可靠性

可靠性就是机床在规定使用期间内,其功能的稳定程度和性质。也就是要求机床不轻易发生或尽可能少发生故障。所谓故障就是机床或其零部件失去所规定性能。可靠性对任何产品都是极其重要的指标,对于机床制造企业来说,是提高产品信誉,增强产品竞争力的

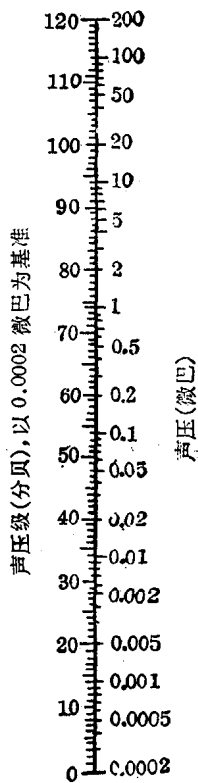


图1-1 声压和声压级间的关系



主要手段,在企业经营中有相当重要的作用。实践证明,产品的可靠性本质上取决于设计和研制阶段,所以必须把提高可靠性的重点放在设计阶段。

为了维持使用可靠性所采取的措施称为维护。实际上在使用中的可靠性是靠检查、分解、修理、变换、调整和清扫等各种维护手段来维持的。这就要求在设计时就考虑机床的维护问题,如机床的操纵、观察、调整、装卸工件和工具应方便;机床维护简单,使用安全;零、部件便于拆装,有互换性,易于查找故障进行修理,并便于安装、包装、运输和保管等。使用安全包括操作者的安全,误动作的防止,超载超程的保护,有关动作的互锁,用检测试验和报警等手段确认动作状态,探测故障和缺陷,记录和跟踪故障趋向等。

衡量可靠性的主要尺度有:

(1) 可靠度

是指机床或零件在规定条件下,在规定运行时间内,执行所规定的功能无故障运行的概率。用以时间  $t$  为随机变量的分布函数  $R(t)$  表示

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (1-4)$$

式中:  $F(t)$ ——不可靠度;

$f(t)$ ——故障概率密度分布函数。

(2) 平均故障间隔

是指发生故障但经修理能继续使用的机床,其相邻故障之间工作时间的平均值。

(3) 故障率

是指机床工作到某一时刻时,在连续的单位时间内发生故障的概率,可表示为

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{dF(t)}{dt}}{R(t)} = \frac{\frac{d[1-R(t)]}{dt}}{R(t)} = \frac{-\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} \quad (1-5)$$

式中  $\lambda(t)$  也就是在  $t$  时刻以后的  $d(t)$  时间里发生故障的条件概率密度函数。故障率的单位大多用单位时间内的百分数表示。

故障率也可用平均故障率来表示

$$\text{平均故障率} = \frac{\text{在规定时间内总故障数}}{\text{总工作时间}} \quad (1-5a)$$

(4) 经济尺度

从费用方面考虑可靠性可使用以下经济尺度

$$\text{成本比} = \frac{\text{全年维护费}}{\text{购买费}} \quad (1-6)$$

$$\text{单位时间的费用} = \frac{\text{维护费} + \text{运转费}}{\text{工作时间}} \quad (1-7)$$

## 6. 三化程度

三化指的是机床品种系列化、零部件通用化和零件标准化。提高三化程度对发展机床品种、规格、数量与质量,对于机床的制造、使用与修理,对于新产品设计和老产品革新等方

面都有十分重要的意义。三化是我国一项重要的技术政策,也是产品设计的方向。

系列化包括机床参数标准的制定、型谱的编制和产品的系列设计,主要用于通用机床,目的是用最少品种的机床,最大程度地满足国民经济各部门的需要。

不同型号的机床采用相同的零部件称零部件通用化。这些适用于不同品种机床中的零部件称为通用件。通用化使零部件品种减少,生产批量增加,便于组织生产,降低机床成本,缩短设计制造周期,加快机床品种的发展。

机床零件设计中应尽量使用国家规定的标准化零件,标准件可以外购或按国家标准制造。据统计,由专业厂大量生产所提供的紧固件,其成本可降低到 $1/8\sim 1/4$ ,材料利用率可达 $80\sim 95\%$ ,工时降低到 $1/23\sim 1/14$ ,占用的设备减少为 $10\%$ ,大大节省了设计和制造工作量。

一般以通用零件在零件总数(标准化零件除外)中所占百分比来表示机床的通用化程度;用标准零件在零件总数中所占百分比来表示机床的标准化程度。表1-1和表1-2分别表示我国新系列摇臂钻床的通用化程度和标准化程度。

表1-1 新系列摇臂钻床的通用化程度(按种数计)

机床型号	通用零件总数				通用零件 总种数	零件 总种数	通用化 程度(%)
	被通用的机床						
	Z3040×16	Z3063×20	Z3080×25	Z30100×31			
Z3025×10	7				7	277	2.5
Z3040×16						356	
Z3063×20	135				135	386	35.0
Z3080×25	119	141			260	394	66.0
Z30100×31	57	18	21		96	446	21.5
Z30125×40	58	16	22	290	386	457	84.8

表1-2 新系列摇臂钻床的标准化程度(按件数计)

机床型号	Z3040×16	Z3063×20	Z3080×25	Z30100×31	Z30125×40
标准化程度(%)	79.8	77.0	78.2	80.0	77.0

机床三化之间有着密切的关系,零部件通用化依赖于产品系列化,而通用化和标准化又推动系列化。只有产品系列化才能使通用化和标准化有可靠的基础。

#### 7. 成本

机床设计完成后,经过试制、生产,最终要交付用户使用,因此要用最低成本获得产品必要的功能,以提高使用价值。价值、功能、成本三者关系可用下式表达

$$\text{价值} = \frac{\text{功能}}{\text{成本}} \quad (1-8)$$

由上可知,功能一定成本降低或成本一定功能提高都使价值变高,式中所说的功能主要包括产品性能、产品使用方便性、外观(形状、色彩)、维护保养方便性、产品寿命等。这种评价不仅取决于技术方面,而且还加入了用户的爱好、经济能力和使用目的等因素,所以,不是

绝对的。要使生产的机床保持在社会的高水平上，必须不断提高功能降低成本这是毫无异议的。

此外，机床成本和机床寿命要同时考虑，即所谓寿命周期成本。它包括下述四种成本之和：购入时机床的成本、使用时必需花费的操作与动力成本、维修成本、作为废物处理时的成本。因此从设计开始就要对机床进行全面的价值分析。

设计者考虑总体和零部件设计方案时应使成本降低。这就是说应尽量使机床金属消耗量小，机床结构工艺性好，零件数少。

机床金属消耗量通常用机床单位传动功率所分担的机床重量表示：

$$M = \frac{G}{N} \text{ (公斤/千瓦)} \quad (1-9)$$

式中：G——机床重量(公斤)；

N——机床主传动功率(千瓦)。

M 越小表示机床所消耗的材料越少。不同类型机床 M 值差别很大，通用机床 M 在 200~1000 公斤/千瓦范围内。近年来随着机床功率的加大和新材料的应用，M 值有下降的趋势。

机床结构工艺性是由机床零件上加工表面的数量、尺寸精度、复杂程度、机床结构对制造单位的适应性，以及标准化通用化程度来评定的。工艺性不好不仅使机床成本增加，而且使制造和修理周期加长，直接影响机床的生产。

#### 8. 造型与色彩

机床的造型与色彩是机床功能、结构、工艺、材料及外观形象的综合表现，是科学与艺术的结合。按照人机学的要求进行机床造型与色彩的设计是机床设计中不可忽视的内容。

人机学是综合研究人-机械-环境的一门科学，在机床造型与色彩设计中所涉及到的人机学问题有：人与机床的关系；同人体的各种能力有关的机床本身及环境因素的处理；视觉、听觉及其他感觉的输入途径选择和相互关系；操作件、观察表盘、开关按钮的合理布置；充分考虑造型及色彩对人的生理特征与心理因素的效果等。

机床造型要根据机床的功能和特点决定。要求简洁明快，美观大方，使用舒适方便。简洁的外形便于制造，符合人的视觉特征，看后易于记忆，印象深刻。使用舒适方便，如将操作手柄集中在人的主操作位置、设计坐着操作的机床、站着操作的靠式座椅、可调整高度的操作面板等。

机床造型有曲线型、方型和梯型三种。目前趋向以方型和梯型相结合的造型。“梯型”造型的最大特点是利用斜线斜面构型，增加造型的多变性和生动感。加之一般上小下大能增强稳定感。

机床色彩的设计应有利于产品功能的发挥，符合时代特点，满足使用对象、环境的审美要求。色彩设计应充分表达产品功能特征并与使用环境相协调。如底座，为耐油污和表示稳定用色宜深沉，面板要求醒目用色要对比度强又不刺眼，警示部分色调要鲜艳夺目而引起注意。

我国机床传统色多为灰色，其优点是不眩目，不易造成视觉疲劳。但明度较低，使人有平淡、沉闷的感觉。机床理想的颜色是黄色系和绿色系中的一些颜色，如淡黄、奶黄、淡绿、果绿等。因黄色属比较温和的颜色，给人以柔和、明快的感觉。而绿色给人的感觉最为

舒适,它有新鲜、安全之感。

机床色彩要充分利用各种材料的质地纹理和加工的效果,使其组成机制产品特征的色彩意境。应避免用手工工艺的装饰手法去表现现代工业产品的外观形象。色彩的安排要有明确的基调,注意配合的主次,避免一件产品上色彩繁多杂乱,机床主体色一般一至二色。

整体的协调统一是任何造型艺术的基本尺度,也是衡量机床造型与色彩效果的主要标准。造型与色彩设计要有创造性,应不断的掌握分析客观规律、资料情报、人的生理与心理要求及时代特点等,根据具体情况灵活运用有关知识,创造出具有时代气息的造型和色彩风格。

上述各项指标之间是互相联系又互相制约的。要求精度高则生产率往往受到限制;若精度和生产率都要求很高,则制造就可能比较困难,成本也将提高。因此设计机床时必须从实际情况出发,合理的解决各项要求之间的矛盾,既要抓住重点又要照顾其他。一般应当优先考虑加工质量生产率和可靠性。

应该指出,衡量机床技术经济指标的最终标准不仅是在机床制造厂内,而主要应以用户厂所创造的技术经济效果为依据。

## § 1-2 设计机床的方法和步骤

### 一、设计机床的方法

机床设计和其他机器设计一样,也经历了由静态分析向动态分析,由定性分析向定量分析,由线性分析向非线性分析,由安全设计向优化设计,由手工计算向自动化计算的发展过程。

四十年代以前,因受当时理论水平和试验手段的限制,主要是用一些具有不同条件系数的经验公式进行计算,并辅以“类比法”来确定零部件结构和尺寸。这种方法虽然目前在某些机床设计中仍不失其实用价值,但总的说盲目性比较大,往往导致机床尺寸增加,重量偏大,特别是为了保证某些动态性能,更会引起不应有的加大结构尺寸现象。

理论分析计算和试验研究相结合的设计方法是机床设计的主要方法。首先根据理论计算和局部试验确定结构尺寸,制造样机;再对样机进行整机和局部薄弱环节的各种试验;最后补充修改定型。

实物试验比较直观和精确,但必须制造实物机床,花费大、时间长,有时不可能或不适于制造实物。所以在设计当中,一般采用的是根据相似理论把构件实体按一定比例缩小,用有机玻璃或钢料做成模型进行试验。模型试验虽很有成效也比较成熟,但需要熟练的模型制作技术和一定的测试手段,特别是改型设计和重新考虑机床配置时,都需要制作新的模型。近代发展起来的模拟试验,不仅不需要模型;而且不必画出详细设计图,只要有结构方案和主要参数即可通过电子模拟确定出符合要求性能的某些参数。

随着电子计算机的广泛应用和先进测试技术的发展,使得在机床设计中可以主要利用分析算法来计算机床的静态和动态应力、变形等。在设计阶段根据设计条件和图纸即可进行方案比较和选择。分析算法常用的有集中参数法、分布参数法和有限元法。

集中参数法计算机床动态特性时,把机床构件看成由若干集中质量的质点和无质量的弹簧组成的振动系统。建立动力学模型,再按动力学模型建立数学模型,即列出振动系统的