

第一章 机床的总体设计

机床设计,是设计人员根据使用部门的要求和制造部门的可能,运用有关的科学技术知识,所进行的创造性的劳动。随着生产的发展,使用部门对机床的要求也在不断地提高,而科学技术的发展和工艺水平的提高,又为制造部门创造了实现使用要求的条件,从而使机床的设计与制造获得了迅速的发展。

机床设计也是从低级向高级发展的。在开始设计机床的最初阶段,主要是考虑这样两点:首先,为了加工出一定形状的工件,必须保证刀具与工件之间具有一定的相对运动关系;其次是机件要有足够的强度。过了一段时间以后,又提出了对机床几何精度的要求。这时的机床设计是在满足机床几何精度要求的前提下,主要根据经验或者用类比的办法进行的,可统称为经验设计。

随着科学技术的发展和工艺水平的提高,尤其是先进刀具的出现,使机床向高速、大功率的方向发展。因此,对机床的精度和生产率等各方面的要求也就越来越高。于是,又相继提出了一些设计机床时必须考虑的问题,如机床的运动精度、刚度、抗振性、低速运动平稳性、热变形、噪声和磨损等等。对于这些问题的研究主要是通过机床性能试验进行的。通过试验,发现它们的规律性,分析影响机床性能的主要原因和寻求解决问题的方法。这时的机床设计是以实物测试和模型试验为基础进行的。与此同时,把技术科学中的理论应用到机床设计中来,初步建立起机床的基础理论。对于机床的刚度、抗振性、低速运动平稳性、热变形、噪声、磨损等方面的试验研究所取得的成果,应用于机床设计,显著地提高了机床的性能。例如,提高了机床的加工精度、生产率、寿命等。至此,机床的理论研究还主要是处于弄清机理、说明现象的定性阶段。

近年来,即从本世纪六十年代中期以来,现代科学技术的成就,为机床设计提供了大量的测试数据,理论研究也有了新的进展,尤其是电子计算机的应用,使机床设计开始进入计算机辅助设计(CAD)和优化的阶段。将有可能利用计算机对设计所需的大量技术资料进行检索,自动地对设计方案进行分析比较,从而选出最佳方案。也可对主要零部件进行强度、刚度等校核计算。有些机构可以在光屏上进行图形显示,由设计人员用光笔和通过人机对话对设计图进行修改,最后完成设计。这样,既可加快设计进程,又可得到比较理想的设计方案。

§ 1-1 设计机床应满足的基本要求

评价机床性能的优劣,主要是根据下述的技术-经济指标来判断的,这些指标也就是设计机床时要达到的具体要求。

一、工艺可能性

机床的工艺可能性是指机床适应不同生产要求的能力。大致包括下列内容:(1)在机床上可以完成的工序种类;(2)加工零件的类型、材料和尺寸范围;(3)毛坯的种类等。工艺

可能性主要根据生产批量,也就是根据工序要分散还是要集中而定。在大批、大量生产中,为了提高生产率,工序往往是分散的,一台机床只担负某几道甚至某一道工序的加工。因此,用于大批、大量生产的专用或专门化机床,必须适当地缩小其工艺可能性,以便提高效率,简化结构和降低成本。在小批、单件生产中,由于批量小产品多变,工序应适当集中,使一台机床能完成尽可能多的工序。因此,用于小批、单件生产的通用机床,要适应不同工业部门的需要和完成多种多样的工作,工艺可能性应当宽一些。例如应具有较宽的变速范围和较充裕的尺寸参数,以及配有较多的附件等,以便扩大机床的应用范围。自动换刀数控机床,可以在一次安装下完成较多工序的加工,并达到很高的精度,它的工艺可能性就是相当宽的。

二、加工精度和表面光洁度

机床的加工精度是指被加工零件在尺寸、形状和相互位置等方面所能达到的准确程度。影响机床加工精度的因素有很多,例如机床的几何精度、传动精度、运动精度和刚度等。几何精度决定于机床主要部件的几何形状和相互位置。传动精度决定于传动系统中机件的制造精度和装配精度以及传动系统设计的合理性。运动精度是指机床部件在无外载荷的条件下以工作速度运转时的精度。刚度是指机床部件抵抗弹性变形的能力,以保证机床在受力后,各主要零、部件相互位置的正确性。影响机床加工精度的因素还有由残余应力引起的变形,振动,热变形和磨损等。

机床所加工的工件表面的光洁度也是机床主要性能之一。它与工件和刀具的材料、进给量、刀具的几何形状以及切削时的振动等有关。

每种机床的加工精度和表面光洁度都必须符合所加工零件的要求。但是,也不能脱离实际需要盲目地提高机床的加工精度和光洁度,否则将提高机床的成本。

三、生产率

机床的生产率通常是指在单位时间内机床所能加工的工件数量。要提高机床的生产率,必须缩短加工一个工件的平均总时间,其中包括缩短切削加工时间、辅助时间以及分摊到每个工件上的准备和结束时间。采用先进刀具提高机床的切削速度,采用大切深、大进给、多刀多刃和成形切削,以铣代刨等都可以缩短切削加工时间以提高生产率。例如,在国外有的数控车床的切削速度已达 475米/分 或更高,磨削速度也在 60米/秒 以上,有的高速滚齿机的切削速度已达 305米/分 ;成批生产的中、小型机床床身导轨面,也可用组合铣刀或组合砂轮一次完成各面的铣削或磨削加工。在缩短切削加工时间的同时,还必须注意缩短辅助时间。例如,空行程用机动快移;夹紧用气压或液压卡盘;采用自动测量和数字显示,可以大大缩短甚至取消停机测量的辅助时间,从而提高生产率。

四、自动化程度

为了提高劳动生产率、减轻工人的劳动强度和更好地保证加工精度和精度的稳定性,机床应尽量提高自动化程度。自动化程度,可以用机床自动工作的时间与全部工作时间的比值来表示。根据自动化程度,机床大致可分为自动、半自动和普通机床三类。自动机床具有完整的自动工作循环,包括自动装卸工件,能够连续地自动加工出工件。半自动机床也有完整的自动工作循环,但装卸工件还需人工完成,因此不能连续地加工。普通机床虽然现在也不不同程度地采用了各种自动化装置,但是还没有一个完整的自动工作循环。

设计机床时应根据实际情况确定机床的自动化程度和实现自动化所采用的手段。一般地说,应尽可能提高机床的自动化程度。有的通用机床用途较广,工件变化较大,不易实现全

面的自动化,也应尽量争取实现局部的自动循环。实现自动化所采用的手段与生产批量有很大关系。在大批大量生产中应用的自动半自动机床,为了简化结构,往往用凸轮等机械的办法来实现自动化。在小批单件生产领域中,为了快速调整 and 保持机床的通用性,常用程序控制或数字控制。在装卸工件自动化方面,发展了各种机械手以至工业机器人。

五、结构、制造与维修

在满足使用要求的前提下,机床的结构应尽量简单,工艺性要好,容易制造和装配,维修方便等。机床的系列化、零部件的通用化和标准化,对机床的结构、制造与维修有直接的影响。机床的系列化可以用最少的品种满足各种不同的需要,又可使同类型机床结构典型化,以减少设计的劳动量。部件的通用化和零件的标准化既可缩短新机床的设计周期和制造周期又可以扩大生产批量,有利于实现生产的专业化。这不仅能提高产品质量而且还能降低成本。通用化和标准化程度的提高,使得使用厂容易买到易损件,维修时就可以不制造或少制造备件。关于三化的内容,在本章中还要较详细的讨论。

六、操作安全方便和工作可靠性

机床应操纵方便、省力、容易掌握和不易发生故障和操作错误。这样不仅减少工人的疲劳、保证工人和机床的安全,还能提高机床的生产率。

机床的工作可靠性也是一项重要的技术-经济指标。随着自动化水平的不断提高,需要许多机床、仪表控制系统和辅助装置协同工作,例如自动线,由数控机床组成并用电子计算机控制的自动化加工系统,自动化工厂等。它们对机床可靠性指标的要求是相当高的,倘若因一台机床出故障而停车,往往会影响全线或某一部分的自动化生产。因此,对于纳入自动线、自动化加工系统或自动工厂的机床,应采取适当的措施来提高机床的可靠性。

七、效率、使用期限与成本

机床的效率就是有效功率对输入功率之比。两者的差值就是摩擦损失。摩擦功转化为热量,而引起机床的热变形,对机床的工作带来不良的后果。因此,必须重视提高机床的效率,特别是功率较大的机床和精加工机床,更应注意。

机床的使用期限就是机床保持它应具有的加工精度的时间。这个期限越长,就说明这台机床的精度保持性越好。机床的使用期限通常就是它的大修期。对于中、小型通用机床,约为八年左右。确保和提高机床的使用期限,主要是提高一些关键性零件(如主轴轴承和导轨)的耐磨性,并使主要传动件的疲劳寿命与之相适应。对于高精度机床,精度保持性是最重要的技术经济指标之一,设计时应予充分重视。

机床成本的高低,表示了它在经济上是否合理,同时也反映了管理水平的高低。必须十分重视和努力降低机床的成本。

八、其它

设计时还应注意使机床体积小、重量轻、占地面积小、外形美观以及注意防止污染环境,例如减少噪声、防止漏油、消雾等。

对于上述所提到的各项技术-经济指标,在设计机床时应该进行综合考虑。不能为了追求结构简单和容易制造而降低某些主要性能;也不能为了扩大一些不很必要的性能而使结构过于复杂,提高机床的成本。应在保证使用性能的前提下,尽可能使制造简单方便。对具有不同要求的机床,各项技术-经济指标也应有不同的侧重。例如,对于高精度机床必须首先保证它的加工精度;而多轴自动车床则应着重考虑提高生产率。对于各项指标,要确保重点,

兼顾一般。在综合考虑上述各项技术-经济指标的情况下,使所设计的机床重量轻、体积小、结构简单、使用方便、效率高、质量好、成本低。

§ 1-2 机床设计的步骤

机床设计工作大体可分为四个步骤:

1. 调查研究

调查研究的内容一般包括有:(1)学习有关机床设计的方针、政策,明确设计要求;(2)到使用单位调查,了解所设计的新机床将要承担的生产任务和加工工艺,了解使用单位对新机床的要求;(3)到制造单位调查,了解制造厂的设备条件、技术能力和生产经验;(4)收集国内外同类型机床的技术文献和图纸资料,并注意调查它的结构性能、使用和制造情况等,尤应注意了解新技术在同类型机床上应用的情况,以及在设计新机床时将要进行哪些科学实验;(5)对于新采用的工艺和结构,必须先经科学实验,通过实验取得足够的数

2. 方案拟定

在调查研究和科学实验的基础上,通常可拟订出几个方案进行分析比较。每个方案所包括的内容有:工艺分析、主要技术参数、总布局、传动系统、液压系统、电气系统、主要部件的结构草图、试验结果及技术经济效果分析等。

在制定方案时应注意以下几点:(1)处理好使用 and 制造之间的关系:应首先满足使用要求,其次才是尽可能便于制造。(2)注意倾听各方面的意见,包括企业内部的干部、技术人员和工人,企业外部的设计、制造和使用单位的人员的意见,经过分析比较,去粗取精,最后形成一个比较适用的方案。(3)实践是检验真理的唯一标准,设计必须以生产实践和科学实验为依据,凡是未经实践考验的方案,必须经过实验证明可靠后才能用于设计。(4)继承性与创造性相结合,尽量采用先进技术,迅速提高生产力,为实现四个现代化服务。要广泛地吸取前人和外国的先进经验,在此基础上有所发现,有所发明,有所创造,有所前进。

3. 工作图设计

首先,绘制机床总图和各部件装配图。为使各部件能够同时而且较为协调地进行设计,一般应画出机床的总体尺寸关系图,在图中确定各部件的轮廓尺寸和各部件间有联系的相关尺寸,以保证各部件在空间不发生干涉并能配合工作。同时画出机床的传动系统图、液压系统图和电气系统图。进行必要的计算。

其次,绘制机床的全部零件图。

然后,整理机床有关部件与主要零件的设计计算书,编制各类零件明细表,编写机床说明书等技术文件。

最后,对有关图纸进行工艺审查和标准化审查。

4. 样机试制和鉴定

如果所设计的新机床是成批生产的产品,在工作图设计完成后,应进行样机试制以考验设计。对样机要进行试验和鉴定,合格后再进行小批试制以考验工艺。在试制、试验和鉴定的过程中,根据暴露出来的问题,对图纸进行修改,直到产品达到使用要求为止。这时,设计工作就基本上完成了。

在所设计的机床投产使用以后,还应经常收集使用部门和制造部门的意见,注意科学技术的新发展和总结新经验,以便对机床产品改进和更新。

§ 1-3 系列化、通用化和标准化

品种系列化,零部件的通用化和标准化简称为“三化”,它是一项重要的技术经济政策。实行了“三化”,对国家、对用户、对制造厂都有利。尤其是按专业化组织生产,更需要迅速地实现“三化”。

一、机床的系列化

一类机床上能加工的工件有大有小,总不能用一种尺寸规格的机床来加工所有尺寸规格的工件。因此,对应于某一段尺寸规格的工件应有一种尺寸规格的机床。这样就出现了一些不同尺寸规格的机床,由它们组成这类机床的系列。机床系列化的工作应包括:(1)制订机床参数标准;(2)编制机床系列型谱;(3)进行系列设计。

制订机床的参数标准,主要是确定某类型机床的主参数系列和第二主参数,以使用几种规格的机床有效地满足国民经济各部门的需要。机床主参数系列通常是一个等比数列,其公比为1.26, 1.41或1.58等。系列公比的大小应根据机床需要量的多少而定。需要量多的机床,系列公比应选择小些,例如普通车床和升降台铣床的系列公比选为1.26。对需要量少和尺寸偏小的机床,系列公比可选得大些。也有的机床采用混合公比的系列,例如摇臂钻床的最大钻孔直径的系列为25、40、63、80、100、125,小于63的一段公比为1.58,大于63的一段公比为1.26。制订出的系列参数经国家批准后,作为部标准或国家标准。发展机床新产品时应符合机床主参数标准的规定。

机床的系列型谱是根据机床参数标准的规定,确定某类型机床的品种,基型和变形,布局,以及它们应有的技术性能和技术参数水平。有关部门制定的机床系列型谱经一机部审批后作为指导性技术文件。它是制定机床品种发展规划和技术发展规划的依据,同时指导机床设计和用户选用机床。图1-1列举了摇臂钻床系列型谱中几种型式:图a是系列设计中的基型;图b是一种万能性较强的摇臂钻床,摇臂可以绕水平轴回转 $\pm 90^\circ$,主轴箱可以在摇臂上倾斜 $\pm 30^\circ \sim 45^\circ$;图c为车式摇臂钻床,机床能沿铁轨移动,常应用于在铁道桥梁上进行孔加工;图d为万向摇臂钻床,可以吊运到需要加工的大型工件旁,钻削任意轴线上的各种孔,可用于重型机器、机车车辆、船舶和锅炉等制造业中。

机床的系列设计应根据机床的系列型谱进行。工作内容包括编制整个系列的技术任务书,进行系列内各产品的设计、样机试制、图纸定型等工作。通过系列设计使制定参数标准和系列型谱时所预期的技术经济效果得以实现。机床进行系列设计,把系列内的各个产品放在一起全面考虑,能大大缩短设计周期,加快品种的发展;有利于提高产品的质量和技术水平,为机床产品逐步实现“五个统一”(型号统一,主要参数统一,安装和连接尺寸统一,易损件统一,质量检查标准和试验方法统一)创造条件;有利于机床的生产、使用、维修、配套和管理。

在进行系列设计时,应力求做到部件结构典型化。在摇臂钻床的系列设计中,从40至125毫米的摇臂钻床,某些起同样作用的一些部件采用同样或相似的结构,称为结构典型化。例如主轴变速和进给变速的操纵机构,均采用液压操纵的“轴心提拉式”结构,既可预选变

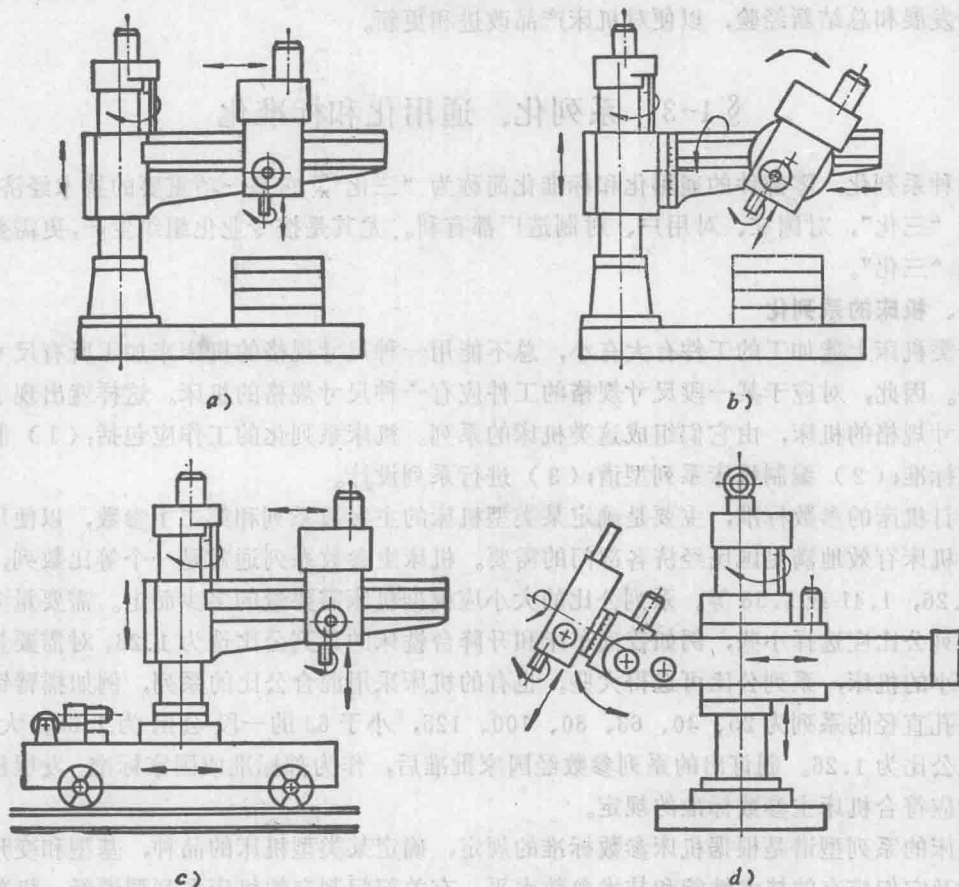


图1-1 摇臂钻床的型式

速，又省去了复杂形状的拨叉等，也消除了拨叉与齿轮端面的磨损；接合和脱开主轴机动进给的水平轴结构均采用了一套钢球、斜面 and 端面细齿组成的离合器；内外立柱、摇臂、主轴箱的夹紧均采用菱形块的增力机构，具有结构简单、制造容易、工作可靠、维修调整方便的优点。从试制、鉴定的结果来看，新系列摇臂钻床的技术水平比老产品有较大的提高。

在系列设计中，生产同类型机床的各厂在有关单位的领导下进行联合设计，也是一个好办法。有利于集中各方面的力量，提高设计质量，也容易做到五个统一。

二、零部件的通用化和标准化

零部件的通用化和标准化的目的，是要尽量加大通用件和标准件在零件总量中的比重。它的优点是：减少设计工作量，扩大生产批量，减少工艺装备，便于管理生产和组织专业化生产，降低成本，提高技术，保证质量。

部件的通用化，可以在系列型谱中相同规格的基型与变型机床之间通用，也可以在不同主参数的机床之间进行通用，还可以在不同系列之间通用。表 1-1 是三个型号龙门铣床部件通用的情况，画“○”表示整个部件通用，占部件总数的 66.7%，在未画“○”的部件中还有许多通用的零件。

当不能整个部件通用时，也可使部分零件通用。机床零件一般可分为专用件、通用件、

表1-1 铣床部件通用情况

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
名称 部件号	床 身	立 柱	横 梁	横梁升降	工作台	水平铣头	滑枕铣头	工作台 进给箱	右进给箱	左进给箱
机床型号	10	11	13	14	17	22	24	30	32	34
X 2116						○	○		○	○
X 2120						○	○		○	○
X 2125						○	○		○	○

序 号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
名称 部件号	滑 枕 进给箱	蜗杆箱	右传动箱	防护罩	溜 板	油 路	液压站	冷却箱	液压平台	总油器
机床型号	36	37	38	47	54	62	63	66	67	80
X 2116	○	○	○		○		○		○	○
X 2120	○	○	○		○		○		○	○
X 2125	○	○	○		○		○		○	○

序 号	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
名称 部件号	机床电器	可控硅 调速器	电柜电器	悬 挂 按钮站	附 件	万能铣头	直角铣头	运输车	吊 挂	液压装置
机床型号	81	85	86	88	90	91	94	99	25	70
X 2116	○	○		○	○	○	○	○	○	○
X 2120	○	○		○	○	○	○	○	○	○
X 2125	○	○		○	○	○	○	○	○	○

注：○表示全部通用

标准件和外购件等几种，专用件和通用件又统称为基本件。专用件是某一型号机床所特有的零件；通用件是某型号机床和其它型号机床间所通用的零件；标准件是由国家或行业标准化的，在各种机床以至各种机器上都可采用的零件，有的工厂也有本厂适用的标准化零件；外购件是由专门工厂生产，可以购买的零部件如滚动轴承、三角皮带、电机、电器以及许多标准件。表 1-2 是新系列摇臂钻床六种基型之间按零件种数表示的通用化程度。其中 Z 3040×16 是整个系列中基型的基型，其它各尺寸的基型都与它通用。在各基型之间也有通用，例如，Z 30125×40 与四个基型都有通用，通用件数为 58+16+22+290=386 件，通用化程度达到 84.8%。

表1-2 新系列摇臂钻床通用化程度

机 床 型 号	被通用机床型号及通用件数(种)						专 用 件 数 (种)	基 本 件 数 (种)	通用化 程 度 (%)
	Z 3025×10	Z 3040×16	Z 3063×20	Z 3080×25	Z 30100 ×31	Z 30125 ×40			
Z 3025×10		7					270	277	2.5
Z 3040×16							356	356	
Z 3063×20		135					251	386	35
Z 3080×25		119	141				134	394	66
Z 30100×31		57	18	21			350	446	21.5
Z 30125×40		58	16	22	290		71	457	84.8
总 计		376	175	43	290		1432	2316	38.5

零件标准化以后,可以集中生产,经济效果是很大的。据统计,一般的紧固件集中到专业化工厂大量生产,采用先进的无切削、少切削工艺后,材料利用率由原来采用切削工艺只有30%而提高到80~95%,成本则降低到原来的 $1/4 \sim 1/8$,工时定额降低到原来的 $1/14 \sim 1/23$,占用的厂房设备为原来的 $1/10$ 或更低。

在设计机床时,凡是有可能采用通用件和标准件的地方就应尽量采用。

§ 1-4 机床的总布局

机床的总布局就是确定机床各主要部件之间的相对位置关系以及它们之间所需要的相对运动关系。根据前面所提到的机床应满足的基本要求,进行总布局的设计。其中以工艺要求尤为重要。由工艺方案决定机床所需要的运动,完成每个运动又应有相应的部件,从而确定各部件的相对运动和相对位置关系。通用机床的布局已经形成了传统的方式,随着生产的发展,也还会不断有所改进。专用机床的布局往往灵活性较大。机床总布局的设计是带有全局性的一个重要问题,它对机床的制造和使用都有很大影响。在进行机床总布局设计时可从两方面来考虑。一方面从机床内部(本身)考虑,要处理好工件与刀具间相对关系,例如位置与运动、工件重量和形状特点等。另一方面还要考虑到机床外部的因素,也就是人机之间的关系,例如,外形、操作和管理等。下面将分析上述因素对机床总布局的影响,以供设计时参考。

一、机床的运动及其分配

在机床上,依靠刀具与工件之间的相对运动,加工出一定形状的工件表面。不同的工件表面,往往需要采用不同类型的刀具,作不同的表面形成运动,而成为不同类型的机床。如车、钻、铣、刨、磨等,从运动的性质来看,它们都有主运动和进给运动。例如,车床为获得外圆柱面,应有主轴的回转运动(主运动)和刀架溜板的纵向移动(进给运动),车端面时则刀架作横向进给运动。有的机床为了满足特殊的加工要求,除主运动和进给运动外,还有一些辅助运动。例如,凸轮轴车床为了在加工非圆轮廓时保持刀具的后角不变,设有刀台的摆动运动;铲齿车床为完成对滚刀的铲背,设有刀架的铲削运动等。

上述各种运动都是根据工艺要求确定的。但是,工艺要求所确定的仅仅是相对运动。例如刨削平面,可以由刀具作往复运动如牛头刨床;也可以由工件作往复运动如龙门刨床。两者的效果是一样的。至于各个运动到底由哪个部件去完成,要根据实际情况而定。

决定部件运动关系的因素之一是坯料的形式。例如同样是车床,加工卷料的小型自动车床,由于工件不能旋转,主运动必须由刀具来完成:刀具装在刀具盘上,刀具盘绕工件高速旋转,使刀具切削工件,这种加工方式常称为“套车”。

影响部件运动关系的另一因素是加工的尺寸比例。例如立式钻床和摇臂钻床,由钻头同时作回转主运动和轴向进给运动。但是在深孔钻床上钻深孔时(孔深为孔径的十几倍、几十倍的深孔),为了减少孔的歪斜和便于排屑,常由工件作回转主运动,钻头只作轴向进给运动。

工件的重量也是影响到部件之间运动关系的一个很重要的因素,一般来说,都是让重量较轻的部件运动。如图1-2。图a是加工重量较轻的工件的升降台铣床。加工时刀具只作回转运动,工件的三个方向的移动分别由工作台、滑鞍和升降台完成。当工件较重时,则不适

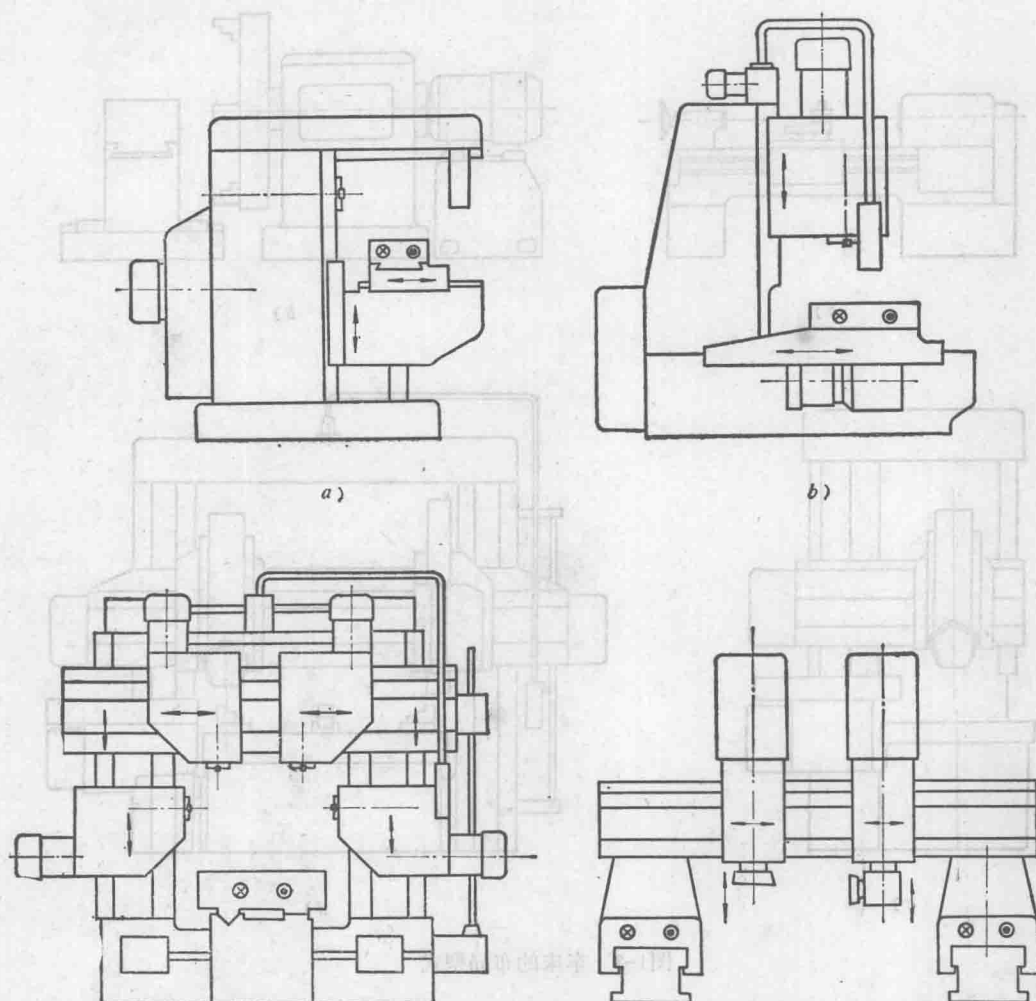


图1-2 铣床的几种布局型式

于由工件作竖直方向的移动了，应改由铣头来完成，见图 *b*，工件只作纵、横向运动，这就是工作台不升降式铣床。对于更大一些的工作，工件只随工作作纵向移动，见图 *c*，升降和横向运动由横梁和铣头完成，这就是龙门铣床。当工件特大时就让工件不动，成为龙门移动式的布局了，见图 *d*，三个方向的运动由龙门架和铣头来完成。这类情况在各类机床中都可见到，例如钻床，工件较小较轻时采用立式钻床的布局，可用手移动工件把被加工的孔对准钻头；当工件较重较大时，就采用移动主轴来对准钻孔位置的摇臂钻床布局了。牛头刨床和龙门刨床之间的关系也是如此。

二、工件的形状、尺寸和重量

车床用于车削轴类零件，一般应采用卧式布局，如普通车床，见图 1-3 *a*，它也可以加工相应直径的盘形零件。用于加工大直径但重量相对较轻的盘形或环形工件，可用落地车床式布局，见图 *b*。这种布局型式车床没有床身，主轴箱和刀架座分别安装在基础上。当用

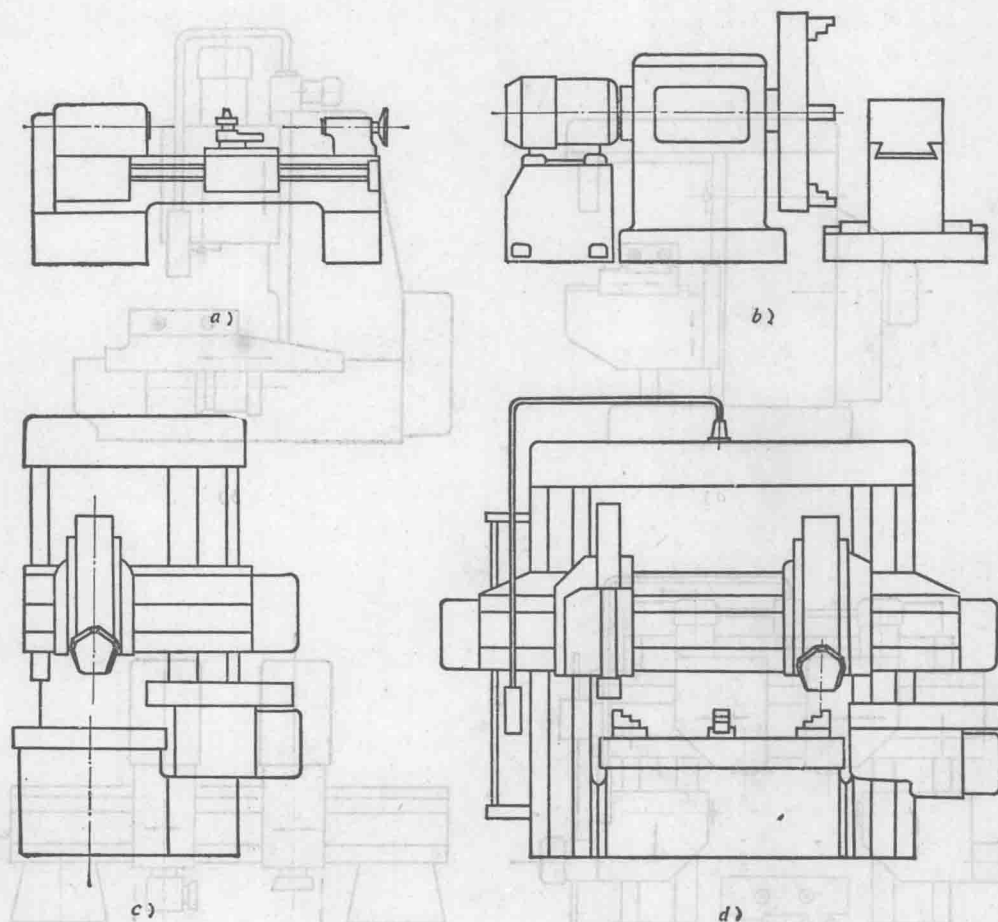


图1-3 车床的布局型式

来加工短而粗的盘形零件、尤其是重量大的零件时，最好采用立式车床的布局型式，使受力状态和使用情况都得到改善。直径较小（一般小于1600毫米）时，可采用单柱式布局，见图c，有两个刀架，一个立刀架和一个侧刀架，横梁也短些，使结构简单紧凑。工件直径再大时，例如大于2000毫米，就可采用双柱式布局，见图d，有两个立刀架和一个侧刀架，横梁也较长。

三、加工精度和光洁度

设计对加工精度和光洁度要求较高的机床时，在考虑机床布局阶段就要注意采取措施，以便尽量提高机床的传动精度和刚度，减少振动和热变形等。

为了提高机床的传动精度，除了适当地选择传动件的制造精度外，应尽量缩短传动链。在设计传动精度要求特别高的机床，例如精密丝杠车床时，为了缩短传动链，就取消了普通车床所用的进给箱。从主轴到刀架之间只经过挂轮架。另外还把传动丝杠移在床身的两导轨之间，以减少刀架的颠覆（侧转）力矩。

为了提高机床的刚度，机床应尽量形成框架式结构。例如龙门刨床、龙门铣床、座标镗床、立式车床等都采用龙门框架式结构以增强刚性。有的机床，例如单臂龙门刨床为了加大

被加工工件的尺寸范围而不用龙门式结构，这时刚度将有所降低。

为了减少机床在加工中的振动，精密和高速机床常采用分离传动，将电机和变速箱等振动较大的部件与工作部件（如主轴）分装在一个地方。

在决定机床的布局型式时，也应考虑热变形的影响。例如液压传动的油箱常常与床身分开，以减少热变形的影响。但是，也有的平面磨床，将它的液压系统的回油通过床身底部再返回油箱，以补偿导轨与床身底部的温差，使床身得到均匀变形。

四、生产批量

生产批量也影响到机床的总布局。应用于单件、小批生产的机床，要求具有较广的万能性，调整要迅速，但生产率往往要低一些。应用于大批大量生产的机床，则要求有较高的生产率，而万能性和调整的方便程度则往往低于前者。例如车加工，在小批单件生产时应采用普通车床的布局，而加工批量较大、形状较复杂、尺寸较小的盘类工件时，可采用六角车床式的布局，见图 1-4 a。这种布局方式与普通车床的不同点在于将尾架换成转塔 1，在转塔上可以安装多组刀具，依次转位，进行多工序的加工。加工尺寸都是事先调整好的，在加工中不需对刀和测量。这就提高了生产率。但是，当更换一批工件时，需要重新调整机床和刀具，所需的准备结束时间比普通车床长。当生产批量更大，例如在汽车工业中进行单一品种大量生产时，为了进一步提高生产率，可采用多轴半自动车床的布局型式，见图 1-4 b。这类机床有几个工位（例如六工位或八工位）和同样数量的主轴 2。每个工位都有立刀架和水平刀架对工件进行一道工序的加工。主轴转盘周期地转位，使工件顺次通过各个工位，完成全部加工。最后一个工位用于装卸工件。这种机床的生产率比普通车床要高出几倍甚至几十倍，但调整更复杂了。

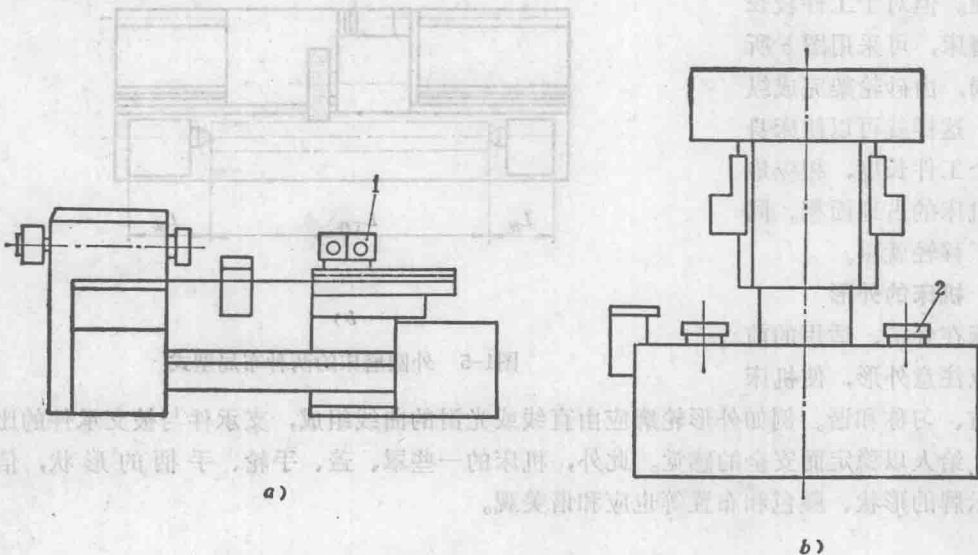


图1-4 不同生产率的车床布局

五、便于操作、维修

机床的布局应便于操作和观察加工情况。例如普通车床的床头箱在左面，而镗床的镗头在右边，都是为了适应右手操作的习惯和便于观察测量。普通车床由于车刀和刀架构造简单，为便于操作，刀架一般布置在工件前面；外圆磨床的砂轮架较大，为便于接近工件，一

般布置在工件后边。安装工件部位的高度通常在 1 米左右,以适应一般操作者的身材高度;安装工件位置较低的机床,应将床腿或底座垫高;安装工件位置较高的大型机床,应备有相应的操作踏板。常用的操纵机构,应集中在便于操作的区域,例如重型车床,把进给箱和溜板箱合在一起,装在刀架的前下方,可使较多的操纵手柄集中在刀架附近而便于操作。在大型机床上,还可以采用可移动的悬挂式按钮站。

对于生产率和自动化程度较高的机床,应特别注意排屑问题。例如多轴自动车床的凸轮轴布置在纵刀架的上面就比布置在下面有利于排屑。

六、简化机构、缩小机床体积和占地面积

在布局时如能设法使传动路线较短,通常也就容易简化机构,并提高传动效率。所以,摇臂钻床常把主运动和进给运动机构装在一个箱体内,既可缩短传动路线又能简化机构。

设计大型机床时尤应注意考虑缩小机床体积和占地面积。图 1-5 a 所示的外圆磨床纵向运动由工件完成,这种布局适用于中小型磨床,因为这时工件移动较砂轮架轻便。但对于工件较长的大型磨床,可采用图 b 所示的布局,由砂轮架完成纵向运动,这样就可以使床身缩短一个工件长度,相应地减少了机床的占地面积。同时也为了移轻就重。

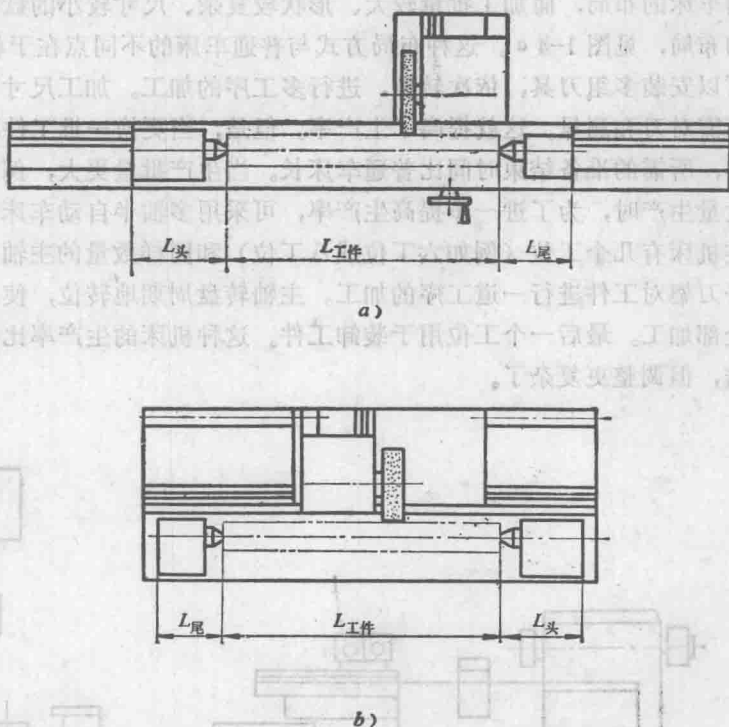


图1-5 外圆磨床的两种布局型式

七、机床的外形

机床在经济、适用的前提下,应注意外形,使机床美观大方、匀称和谐。例如外形轮廓应由直线或光滑的曲线组成,支承件与被支承件的比例要适当,给人以稳定而安全的感觉。此外,机床的一些罩、盖、手轮、手柄的形状,信号灯、指示牌的形状、颜色和布置等也应和谐美观。

§ 1-5 机床主要参数的确定

机床的主要参数包括机床的尺寸参数、运动参数和动力参数。

一、尺寸参数

机床尺寸参数的确定,主要是确定影响机床加工性能的一些尺寸,其中包括机床的主参数、第二主参数和其它一些尺寸参数。

机床的主参数是代表机床规格大小的一种参数, 各类机床以什么尺寸作为主参数已有统一的规定 (详见 JB1838-76 金属切削机床型号编制办法)。例如, 普通车床是床身上工件的最大回转直径; 齿轮加工机床是最大工件直径; 外圆磨床和无心磨床是最大磨削直径; 龙门刨床、龙门铣床、升降台铣床和矩形工作台的平面磨床是工作台工作面宽度; 卧式镗床是主轴直径; 立式钻床和摇臂钻床是最大钻孔直径; 牛头刨床和插床是最大刨削和插削长度 (以上单位均为毫米); 也有的机床不用尺寸参数作为主参数, 如拉床的主参数是额定拉力, 吨, 等。

机床的第二主参数一般是指主轴数、最大跨距、最大磨削长度、最大工件长度、工作台工作面长度及最大模数等。

在确定机床尺寸参数时除主参数和第二主参数外, 还要确定其它一些尺寸参数。例如, 普通车床除确定工件在床身上的最大回转直径和最大工件长度外, 常常还要确定在刀架上工件的最大回转直径和主轴孔所允许通过的最大棒料直径等。龙门铣床除确定工作台工作面宽度和长度外, 还应确定横梁的最高与最低位置等。摇臂钻床除确定最大钻孔直径和最大跨距外, 还要确定主轴下端面对底座间的最大与最小距离 (其中包括了摇臂的升降距离与主轴的最大伸出量) 等。

当主参数、第二主参数和其它一些尺寸参数确定后, 也就基本上确定了该机床所能加工或安装的最大工件的尺寸。因此, 对绝大多数机床来说尺寸参数的确定基本上是围绕着被加工零件的尺寸进行的。

二、运动参数

1. 主运动参数

对于主运动是回转运动的机床, 它的主运动参数是主轴转速, 它与切削速度的关系是:

$$n = \frac{1000 v}{\pi d} \quad (\text{rpm}) \quad (1-1)$$

式中 n —— 转速;

v —— 切削速度 (m/min);

d —— 工件 (或刀具) 直径 (mm)。

对于主运动是直线运动的机床, 如插床或牛头刨床, 主运动参数是插刀或刨刀的每分钟双行程数 (次/分)。

对于不同的机床, 主运动参数有不同的要求。专用机床和组合机床是为某一特定工序设计制造的, 每根主轴一般只有一个转速, 是根据最有利的切削速度而定, 故没有变速要求。通用机床是为适用多种零件加工而设计制造的, 主轴需要进行变速。因此需确定它的变速范围, 最低与最高转速。如果采用分级变速, 则还应确定转速分级数。

(1) 最低和最高转速 $n_{\min}$ 和 $n_{\max}$ 的确定

确定 $n_{\min}$ 和 $n_{\max}$ 的方法, 主要是向实际调查和比较同类型机床, 考虑技术发展情况, 再经过分析研究加以确定。

根据式 (1-1) 可知:

$$\left. \begin{aligned} n_{\min} &= \frac{1000 v_{\min}}{\pi d_{\max}} \\ n_{\max} &= \frac{1000 v_{\max}}{\pi d_{\min}} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

$n_{\max}$ 和 $n_{\min}$ 的比值叫做变速范围, 用 R_n 表示:

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} \quad (1-3)$$

从式(1-2)中可以看出, $n_{\min}$ 和 $n_{\max}$ 与切削速度和被加工零件的直径大小有关。由于通用机床要适应多种零件的加工, 在调查的过程中确定典型工艺时, 应尽可能多方照顾。然后将调查来的材料进行统计、分析。

在确定切削速度时, 应考虑到多种工艺的需要。切削速度与刀具材料、工件材料、进给量和切深都有关, 其中主要是与刀具材料和工件材料有关。常用的刀具材料有高速钢、硬质合金和陶瓷等。工件的材料可以是钢、铸铁、以及铜、铝等有色金属。

在计算 $n_{\max}$ 时, 不是把一切可能出现的 $v_{\max}$ 、 $d_{\min}$ 代入 $n_{\max}$ 公式中(对 $n_{\min}$ 也同理), 而应当是在实际使用的情况下采用 $v_{\max}$ 时常用的 d 值中较小的数值。对于 $n_{\min}$ 也是同样, 即在实际使用的情况下采用 $v_{\min}$ 时, 常用的 d 值中较大的数值。这样就可以通过计算得到较为合理的 $n_{\max}$ 和 $n_{\min}$ 以及变速范围 R_n 。这里, 关键在于通过调查、分析比较后, 确定进行计算时的典型工艺。有时为了考虑工艺和刀具方面的发展, 将通过调查和比较同类机床而得到的最高转速适当地给以提高。

在确定了 $n_{\min}$ 和 $n_{\max}$ 后, 如果采用分级变速, 下一步就要进行转速分级了。

(2) 主轴转速数列

如某机床的分级变速机构共有 z 级, 其中 $n_1 = n_{\min}$, $n_z = n_{\max}$, z 级转速分别为:

$$n_1, n_2, n_3, \dots, n_j, n_{j+1}, \dots, n_z$$

如果加工某一工件所需要的最有利的切削速度为 v , 相应的转速为 n , 如果机床上分级变速中的某一级恰好等于 n , 这是理想的情况。但是, 更多的情况是不能恰好得到这个转速, 而是处于某两级转速 n_j 与 n_{j+1} 之间:

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

如果采用较高的转速 n_{j+1} , 必将提高切削速度, 刀具的耐用度将要降低。为了不降低刀具耐用度, 以采用较低的转速 n_j 为宜。这时转速的损失为

$$n - n_j$$

相对速度损失为

$$A = \frac{n - n_j}{n}$$

最大的相对转速损失是当所需的转速 n 趋近于 n_{j+1} 时, 也就是

$$A_{\max} = \lim_{n \rightarrow n_{j+1}} \frac{n - n_j}{n} = \frac{n_{j+1} - n_j}{n_{j+1}} = 1 - \frac{n_j}{n_{j+1}} \quad (1-4)$$

在其它条件(直径、进给、切深)不变的情况下, 转速的损失就反映了生产率的损失。对于通用机床, 如果认为每个转速的使用机会都相等的话, 那么应使 $A_{\max}$ 为一定值, 即

$$A_{\max} = 1 - \frac{n_j}{n_{j+1}} = \text{const}$$

或

$$\frac{n}{n_{j+1}} = \text{const} = \frac{1}{\phi}$$

从这里可看出, 任意两级转速之间的关系应为

$$n_{j+1} = n_j \varphi$$

(1-5)

即机床的转速应该按等比数列（几何级数）分级。其公比为 φ ，各级转速应为

$$\left. \begin{aligned} n_1 &= n_{\min} \\ n_2 &= n_1 \varphi \\ n_3 &= n_2 \varphi = n_1 \varphi^2 \\ &\vdots \\ n_z &= n_{z-1} \varphi = n_1 \varphi^{z-1} = n_{\max} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

最大相对转速损失率为

$$A_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\varphi} \right) = \frac{\varphi - 1}{\varphi} \times 100\% \quad (1-7)$$

变速范围为

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{n_1 \varphi^{z-1}}{n_1} = \varphi^{z-1} \quad (1-8)$$

例如有一台车床，主轴转速共 12 级，分别为 31.5、45、63、90、125、180、250、355、500、710、1000、1400，公比为 $\varphi = 1.41$ 。则最大相对转速损失率

$$A_{\max} = \frac{1.41 - 1}{1.41} \times 100\% = 29\%$$

变速范围

$$R_n = 1.41^{12-1} = 1.41^{11} \approx 45$$

等比数列同样适用于直线往复主运动（刨床、插床）的双行程数列，进给数列以及尺寸和功率参数数列。

2. 进给运动参数

大部分机床的进给量用工件或主轴每转的位移表示，即单位为毫米/转，如车床、钻床、镗床、滚齿机等；对于直线往复运动的机床，如刨、插床则以每一双行程的位移表示。对于铣床和磨床，由于使用的是多刃刀具，进给量常以每分钟的位移量表示，即单位为毫米/分。

对于那些因进给量的变化只影响生产率的机床，为使相对损失为一定值，进给量的数列也应取等比数列。例如 T68 型镗床的进给数列是：0.05、0.07、0.10、0.13、0.19、0.27、0.37、0.52、0.74、1.03、1.43、2.05、2.9、4、5.7、8、11.1、16 共 18 级，公比 $\varphi = 1.41$ 。但是也有的机床进给量数列不采用等比数列，例如刨床和插床等，为使进给机构简单而采用间歇进给的棘轮机构，进给量由每次往复转过的齿数（1、2、3…）而定。供大量生产用的自动和半自动车床，常用交换齿轮来调整进给量，可以不按一定的规则，而用交换齿轮选择最有利的进给量。这样一来，它们的进给数列则不是等比数列。对于普通车床因为要车螺丝，它的进给分级就应根据螺纹标准而定，也不是一个等比数列，而是一个分段的等差数列。

3. 标准公比和标准数列

机床转速是从小到大地递增的，因此 $\varphi > 1$ 。为使最大相对转速损失率不超过 50%，即

$$\frac{\varphi - 1}{\varphi} \times 100\% \leq 50\% \quad \text{则 } \varphi \leq 2。 \text{ 因此}$$

$$1 < \varphi \leq 2$$

(1-9)

为了简化机床的设计与使用,根据机床实际使用情况,规定了公比的几个标准值,这些数值是选取 2 或 10 的某次方根(见表 1-3),这样选的好处是:

表1-3 标准公比

φ	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	2
$\sqrt[4]{2}$	$\sqrt[3]{2}$	$\sqrt[6]{2}$	$\sqrt[3]{2}$	$\sqrt{2}$	—	2
$\sqrt[4]{10}$	$\sqrt[6]{10}$	$\sqrt[20]{10}$	$\sqrt[10]{10}$	—	$\sqrt[3]{10}$	—
相对速度损失	5.6%	11%	21%	29%	37%	50%

(1) 公比 φ 选为 2 的某次方根后便于采用双速电机驱动,以便简化机床的变速机构。因为双速电机的两个同步转速的比值通常为 2,例如 3000/1500 或 1500/750 等。公比 φ 选为 2 的某次方根后,如在转速数列中有某一转速 n ,则每隔几级就会出现一个转速 $2n$ 。

另外公比 φ 选为 2 的某次方根后还便于记忆和写出等比数列。例如当 $\varphi = 1.41$ 时,在数列中每隔一级就出现 2 倍关系,如果 $n_1 = 10$ 转/分,就可以很方便地写出数列是 10、14、20、28、40、56……等;当 $\varphi = 1.26$ 时,在数列中每隔两级就出现 2 倍关系,如果 $n_1 = 10$ 转/分,就可以写出 10、12.5、16、20、25、32……等。这样对设计和使用都很方便。

(2) 因为通常计数是采用 10 进位的,公比 φ 采用 10 的某次方根后,就会使这个等比数列中每隔几级后的数字,恰好是前面数字的 10 倍,使数列整齐好记。

当采用标准公比后,转速数列可从表 1-4 中直接查出。例如设计一台普通车床 $n_{\min} = 12.5$ 转/分, $n_{\max} = 2000$ 转/分, $\varphi = 1.26$ 。可从表 1-4 中查得转速数列为: 12.5、16、20、25、31.5、40、50、63、80、100、125、160、200、250、315、400、500、630、800、1000、1250、1600、2000 等 23 级。如果在 1.26 这一行查不到需要的数值,可从 1.06 那一行相应查出。如前例 $n_{\min} = 10.6$ 转/分时,查出数列为: 10.6、13.2、17、21.2、26.5、33.5、42.5、53、67、85、106……等。

此表不仅可用于转速、双行程数和进给量数列,而且也可用于机床尺寸和功率参数等数列。表中的数列应优先选用。

还可利用此表进行标准数的相乘、相除、开方和乘方的运算。表 1-4 中右面四行的序号是 1.06 的指数,因此,求两个标准数的积或商时,可将相应的序号相加或相减求得新序号,与新序号对应的标准数就是所要求的积或商。

例 1 $u_1 = \frac{1}{1.6}$, $u_2 = \frac{1}{2.5}$, 求 $u = u_1 u_2$

解 1.6 对应的序号为 8, 2.5 对应的序号为 16, $8 + 16 = 24$, 序号 24 的对应值为 4。
所以 $u = \frac{1}{4}$ 。

例 2 $n_{\min} = 12.5$ (rpm), $n_{\max} = 2000$ (rpm)。求 R_n 。

解 $R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$ 。12.5 对应的序号为 44, 2000 对应的序号为 132。132 - 44 = 88, 序号 88 的对应值为 160, 所以 $R_n = 160$ 。

表1-4 标准数列表

1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	2	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	2	1.06	1.12	1.26	1.41	1.58	2
1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	10	10	10		10		100	100	100		100	
1.06						10.6						106					
1.12	1.12					11.2	11.2		11.2			112	112				
1.18						11.8						118					
1.25	1.25	1.25				12.5	12.5	12.5				125	125	125	125		125
1.32						13.2						132					
1.4	1.4		1.4			14	14					140	140				
1.5						15						150					
1.6	1.6	1.6		1.6		16	16	16	16	16	16	160	160	160		160	
1.7						17						170					
1.8	1.8					18	18					180	180		180		
1.9						19						190					
2.0	2.0	2.0	2.0		2.0	20	20	20				200	200	200			
2.12						21.2						212					
2.24	2.24					22.4	22.4		22.4			224	224				
2.36						23.6						236					
2.5	2.5	2.5		2.5		25	25	25		25		250	250	250	250	250	250
2.65						26.5						265					
2.8	2.8		2.8			28	28					280	280				
3.0						30						300					
3.15	3.15	3.15				31.5	31.5	31.5	31.5		31.5	315	315	315			
3.35						33.5						335					
3.55	3.55					35.5	35.5					355	355		355		
3.75						37.5						375					
4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	40	40	40		40		400	400	400		400	
4.25						42.5						425					
4.5	4.5					45	45		45			450	450				
4.75						47.5						475					
5.0	5.0	5.0				50	50	50				500	500	500	500		500
5.3						53						530					
5.6	5.6		5.6			56	56					560	560				
6.0						60						600					
6.3	6.3	6.3		6.3		63	63	63	63	63	63	630	630	630		630	
6.7						67						670					
7.1	7.1					71	71					710	710		710		
7.5						75						750					
8.0	8.0	8.0	8.0		8.0	80	80	80				800	800	800			
8.5						85						850					
9.0	9.0					90	90		90			900	900				
9.5						95						950					