



现代木工机床设计

花 军 等 编 著

XIANDAI
MUGONG
JICHUANG
SHEJI

东北林业大学出版社

现代木工机床设计

花 军 等编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代木工机床设计/花军等编著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社,
2004.10

ISBN 7-81076-710-0

I. 现… II. 花… III. 木工机床-机械设计 IV. TS 642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 024071 号

责任编辑: 任丹婷

封面设计: 彭 宇



NEFUP

现代木工机床设计

Xiandai Mugong Jichuang Sheji

花 军 等编著

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路26号)

东北林业大学印刷厂印装

开本960×787 1/16 印张17.5 字数298千字

2004年10月第1版 2004年10月第1次印刷

印数1—1 000册

ISBN 7-81076-710-0

TH·35 定价: 26.80 元

前 言

本书是根据高等林业院校机械设计制造及其自动化专业木工机械设计制造及其自动化方向的教学大纲编写的。

本书将机械设计制造及其自动化专业教学计划中有关机床设计的内容与木工机床设计的内容有机组合,构成一新的专业类设计课程体系,使之具有系统、宽泛的机床设计理论和方法,又具有鲜明的专业特色。本书在内容处理上,注意了共性集中论述,特殊性单独论述;点面结合,重点突出,力求做到理论联系实际,便于教学和自学。

本书共分十章,第一章为绪论,第二章为机床总体设计,第三章为主传动系统设计,第四章为主轴组件设计,第五章为进给机构设计,第六章为夹紧及压紧机构设计,第七章为支承件设计,第八章为导轨和操纵机构设计,第九章为供卸料装置设计,第十章为机床的润滑。

本书由东北林业大学花军教授任主编,由冯琪任副主编。其中第一、二、三、四章由东北林业大学花军编著,第五章由哈尔滨凌志机电技术有限公司王晓凌编著,第六、七、八、九章由东北林业大学冯琪编著,第十章由哈尔滨福马人造板机械制造有限公司阎建华编著。

本书可作为高等林业学校机械设计制造及其自动化专业和类似专业的教材,也可供从事木工机床设计和研究开发的工程技术人员、研究生和大、中专学校教师参考。本书从编写到出版得到了上海柱林机械有限公司等单位的大力支持和帮助,在此一并表示谢意!

限于编者水平,书中难免存在错误和不妥之处,敬请读者指正。

编 者

2004 年 10 月

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 木工机床设计的概念	(1)
1.2 我国木工机床的发展	(1)
1.3 机床设计方法	(5)
1.4 机床设计的任务和类型	(7)
1.5 机床设计与其他学科的关系	(8)
2 机床总体设计	(10)
2.1 机床总体设计应满足的基本要求	(10)
2.2 机床设计的程序及“四化”要求	(19)
2.3 机床的初步设计	(25)
2.4 机床造型、色彩与宜人人性设计	(45)
3 主传动系统设计	(52)
3.1 机床的传动联系和传动原理图	(53)
3.2 主传动方案选择	(56)
3.3 分级变速传动链设计	(60)
3.4 无级变速传动链设计	(75)
3.5 主轴箱结构设计	(80)
4 主轴组件设计	(87)
4.1 概 述	(87)
4.2 主轴传动件	(90)
4.3 主 轴	(92)
4.4 主轴轴承的选择和主轴的滚动轴承	(96)
4.5 滚动支承主轴组件设计计算	(105)
5 进给机构设计	(122)
5.1 辊筒进给机构	(123)
5.2 履带进给机构	(130)
5.3 链进给机构	(131)
6 夹紧及压紧机构设计	(135)
6.1 夹紧机构概述	(135)

6.2	常见典型的夹紧机构	(138)
6.3	压紧装置	(152)
7	支承件设计	(158)
7.1	支承件概述	(158)
7.2	支承件刚度	(159)
7.3	支承件动态特性	(164)
7.4	支承件热变形特性	(168)
7.5	支承件结构设计	(172)
7.6	支承件有限元法计算	(190)
8	导轨和操纵机构设计	(195)
8.1	导轨概述	(195)
8.2	普通滑动导轨	(196)
8.3	滚动导轨	(211)
8.4	操纵机构	(216)
9	供卸料装置设计	(228)
9.1	料垛供卸料装置	(229)
9.2	料箱供料装置	(235)
9.3	料斗供料装置	(243)
9.4	机床间工件传送装置	(249)
10	机床的润滑	(257)
10.1	润滑的作用及要求	(257)
10.2	润滑材料的选用与润滑系统	(258)
10.3	主要零部件的润滑	(262)
	参考文献	(273)

1 绪 论

1.1 木工机床设计的概念

1.1.1 设计

它是从给定的合理的目标参数出发,通过各种方法创造出一个所需的优化系统或结构的过程。设计是一种创新和综合过程;设计是一个迭代过程(信息反馈过程);设计是在约束条件下求优的过程。

1.1.2 机械设计

根据使用要求(市场、社会 and 用户)对机械(机床)工作原理、结构、运动方式、力和能量的传递方式,各个零件的材料和形状尺寸、润滑方式等进行构思、分析、计算并将之转化为具体的描述(方案、绘图、文件等),以作为制造依据的一系列创造性的工作过程。机械设计过程可作为以待定的技术系统来处理。

1.1.3 木工机床设计

依据木材加工、木制品制造等使用要求,对木工机床产品的工作原理、结构、运动方式、力和能量的传递方式,各个零件的材料和形状尺寸、润滑方式等进行构思、分析、计算并将之转化为具体的描述(方案、绘图、文件等),以作为制造木工机床产品依据的一系列创造性的工作过程。

1.2 我国木工机床的发展

改革开放 20 多年来,中国随着国民经济持续、高速、稳定地发展,使

其木材工业得以迅速向前迈进。据 2003 年统计资料,我国木材产量达 5 100 万 m^3/a ;人造板产量 4 553.36 万 m^3/a ,家具业创造产值为 2 040 亿元/a,比上年增长了 23.64%,建筑业和人造板工业平均每年以 20% 的速度增长。中国木材产品、人造板产品进口量、消费总量都居世界前列,已经成为一个木材生产、加工和消费大国,从而促进了中国木工机械制造业的发展。

1.2.1 我国木工机械发展现状

木工机械制造业广义上是指木工机床(制材设备和家具设备)和人造板机械(含二次加工设备)制造行业。目前,中国内地拥有木工机械制造业企业 1 000 余家,从业人员 10 万多人,年均工业总产值约 100 亿元,生产产品的品种达 1 200 多种。基本涵盖了制材、人造板、家具制作所需的全部设备,已成为名符其实的木工机械生产大国如图 1-1 所示。

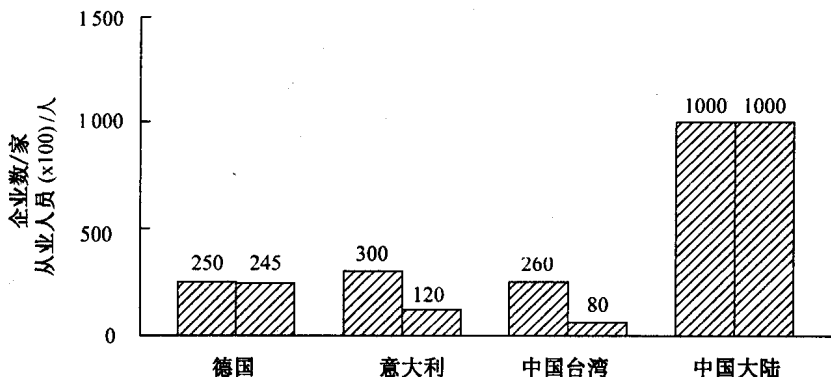


图 1-1 企业数及从业人员数示意图

1.2.2 中国木工机械发展特点

50 年来,中国内地的木工机械生产已从无到有、从少到多、从测绘仿制到自行设计制造,不断地发展起来。生产木工机械产品品种共有 1 200 多种。其中,通用木工机床品种基本齐全,满足制材、家具制作等生产要求,共 13 大类,400 多种产品;人造板机械成套设备和单机设备基本能满足胶合板、纤维板、刨花板和二次加工中、小规模的生产要求,共 48 类,800 多种产品,基本形成完整的工业体系。其产品结构简单、性能可靠、操作维修方便、耐用性好、价格便宜,以轻、简、廉为特点深受国内外市场的欢

迎。部分产品已出口销到东南亚、美国、欧洲、俄罗斯、非洲等国家和地区。

但是,科技含量高、采用先进制造技术的高、精、尖专用型产品奇缺,尤其是与先进工业国家德国、意大利、美国等比较,开发具有独立知识产权的新产品很少,仍处于仿制阶段如图 1-2 所示。关键设备和关键技术仍无法生产和应用,主要以进口为主。例如,制材、家具生产线的柔性制造技术、机器人技术;人造板机械成套设备中单层连续压机、热磨机、大型砂光机等关键设备以及控制、检验、测试技术等差距较大,严重制约着其下线产品生产效率和质量的提高,这是参与国际市场竞争的“瓶颈”问题。

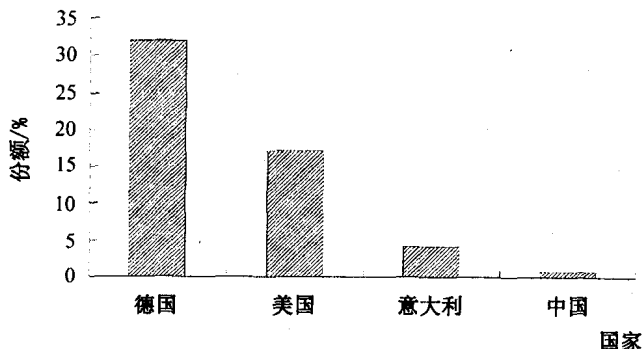


图 1-2 各主要国家的专利份额示意图

1.2.3 中国木工机械发展前景

1.2.3.1 引进吸收国外先进技术,走自我发展的道路

全球木工机械向着提高木材利用率,提高木材加工精度,提高生产效率和自动化程度,节能、环保、安全无公害方向发展。家具工业随着市场需求水平的变化提高,对木工机械标准化、专业化生产,提高产品质量,发展新品种,提高劳动生产率,节约资源等方面的要求也就越来越高。中国木工机械的发展要坚持走出去、引进来,吸收国外先进技术,用信息化改造传统产业,使之优化升级;以科学研究为先导,加强基础理论研究,促进木工机械制造业科技进步,产品不断更新换代,开发具有独立知识产权的新产品;要认真研究国情,立足国内,吸收国外先进技术,使其产品水平接近国际先进水平,使之具有较强的市场竞争力,走自我发展道路。

纵观国际木工机械制造技术的发展,RPM(快速原型制造技术)、CNC(计算机数控技术)和FMS(柔性制造技术)、机器人技术、先进测试技术等

是目前中国木工机械产品亟待引进的先进制造技术。以国内木工机床为例,数控机床约占2%,木制品制造业(制材、家具等)在2010年以前要达到10%的拥有量,这是一个极具潜力的市场需求。高新技术和传统技术相结合,使CNC技术、FMS技术和机器人技术满足木工机械制造业主导产品中中小批量、多品种、高精度的要求;单机及生产线加工方式机械化和自动化的要求,以适应家具制造业求新、求变,提高生产效率、加工质量和经济效益的变革。先进制造技术的引进,能优化生产工艺,提高产品质量和生产效率,提高产品市场竞争力,会带来丰厚的经济效益。

1.2.3.2 木工机械向标准化、模块化、专门化生产迈进

标准化是组织现代化生产的重要手段和必要条件,是合理发展木工机械产品品种,组织专业化生产的前提,是企业实行科学管理和信息化管理的基础,是提高产品质量的技术保证,是减少原材料和能源浪费的根本,是推广新工艺、新技术的桥梁,是消除国际贸易壁垒,促进国际贸易发展的重要保障。实现木工机械标准化生产,可缩短木工机械设计和试制周期,加快品种发展,有利于木工机械的生产使用、维修、配套和管理等,降低生产、使用成本,提高经济效率,有利于推动家具行业生产标准化。

木工机械模块化是木工机械的同一功能单元,设计成具有不同用途(或性能)的、可互换选用的模块,用以更好地满足不同用户需要。所谓模块就是一组具有同一功能和结合要素,而有不同用途(或性能)和不同结构且能互换的各个单元(零、部件或系统),或是能增加机床功能的单元。将选用的模块和其他部件相组合,即可构成不同要求的机床产品。模块具有系列化和通用化的特性,也是标准化的一种形式,其优点是:机床产品更新快,缩短设计和试制周期,降低成本,适应用户需求的能力高,模块的性能稳定、可靠,维修方便。

我国木工机械标准化、模块化生产水平较低,机床型谱不规范,严重影响设备的购买,选型和优化利用,难以增加其柔性,实现以最少规格的设备,满足尽可能多的生产需要,降低设备投入,提高生产效率。

木工机械专门化生产是减少生产投资,提高产品质量、档次和技术水平,提高生产效率的有效途径,是克服计划经济模式下“大而全”的有效办法。努力实现产品生产的专业化,集中企业资源从事某一个领域的专业化经营,逐步形成自己在经营管理、技术、产品、销售、服务等方面与同行的差异,是建立自己企业核心竞争力的重要手段。木工机械产品品种繁多,机械产品生产的专业化势在必行。各企业应发挥自身的优势,选择合适的产品,在做“精”、做“专”上下工夫。专门化生产有利于社会分工,集中人力、

财力、物力等方面的优势，在市场经济的氛围中，高效率、高质量的生产木工机械产品；有利于营造良好的市场环境、避免恶性竞争；有利于服务的个性化，适应生产需求的不确定性。

总之，展望我国木工机械制造业，发展前景广阔，机遇和挑战并存。只有认识自我、立足国内、面向世界、抓住机遇、吸纳国际先进制造技术、先进的管理模式、不断创新、开拓进取、迎接挑战、发展壮大、提高竞争能力，才能使我国成为木工机械制造强国。

1.3 机床设计方法

1.3.1 机床设计方法的发展

随着机床工业的发展和新技术的采用，机床产品设计方法也在不断地发展，迄今大体可分为三个阶段。

1.3.1.1 经验设计阶段

20 世纪 40 年代中期之前，机床设计的主要任务是解决加工与强度问题，即刀具与工件之间需要某种相对运动，以加工出一定形状的工件，同时机床零部件还应具有足够的强度而不受破坏。当时采用经验（或类比）设计方法，即沿用以往设计经验，对现有机床类比，来选定机床产品零件材质及其结构尺寸和技术条件等。这种以经验数据为基础，以经验公式及技术标准为手段的设计方法，虽然能基本适应当时生产水平的要求，但产品结构安全系数偏大，也无法保证机床的良好性能。

1.3.1.2 试验设计阶段

第二次世界大战后的 20 年间，随着科学技术的发展及工艺水平的提高，机床的精度及各种性能问题逐渐突显起来，这时采用经验设计已无能为力。为此开展机床试验研究工作，通过实物测试或模型试验摸索规律，寻求解决途径，并初步建立起机床的基础理论。这时采用的试验设计方法，即通过机床的试验研究进行定性分析及定量比较，选择较好方案并确定零部件的合理结构尺寸等。这种设计方法虽能较好地利用材料并可明显的提高机床性能，但仍属“校验”性质，只能进行局部调整，还无法做到优化设计。

1.3.1.3 计算机辅助设计阶段

20 世纪 60 年代中期，科学技术新成就为机床设计提供了大量测试数据，理论研究也取得更大进展，特别是电子计算机的应用，使机床设计进入

一个崭新阶段。将实际问题简化为模型,根据提供的数据和选定的目标函数,用计算机进行分析、计算并选定最佳方案。其结果的精确性取决于模型与实际问题的拟合程度以及数据的完整与准确。机床的计算机辅助设计(CAD)是通过向计算机输入设计资料(数据),由计算机自动地编制程序,优化设计方案并绘制出产品或零件图的过程。计算机辅助设计可按既定要求进行优化设计,可缩短设计周期,提高设计质量,降低成本和节省人力。若将设计图纸和数据直接用于控制产品的加工、装配和检验,即为计算机辅助制造(CAM)。两者结合的CAD/CAM技术,则不仅能缩短设计和制造周期,还能提高整个制造系统对产品改型的适应能力。

目前,我国的机床产品设计工作也发生了巨大变化。建国初期还处于仿制阶段,设计工作的任务就是翻译和熟悉国外一些机床的图纸及资料。20世纪50年代后期开始走向自行设计,采用经验设计并制造了众多品种和规格的机床产品,从中获得了丰富的设计经验。60年代中期开始试验设计,为提高机床性能,开展了试验研究工作。70年代后期兴起计算机辅助设计,当今正在蓬勃发展,大力推广应用。我国的机床产品设计现已达到较高水平,许多机床产品已跻身于国际先进行列,越来越多的机床产品打入了国际市场。

1.3.2 现代设计方法的特点

传统设计方法的特点是静态的、经验的、手工式的设计方法。而近年来,国内外发展了许多新型的设计理论和方法,进入以试验研究及理论计算为基础的较高级阶段,而且逐步形成了设计科学和设计方法学这样一门新兴学科,研究设计程序、规律及设计思维和工作方法,不仅寻求品质本身的最佳化,还要实现从产品设计到制造、检验的全过程以至整个系统的最佳化。机床现代设计方法是与现代科技发展相适应的一种先进设计方法,其主要特点如下:

(1) 设计对象系统化:把设计对象即机床产品视为一个系统,不仅关注其组成单元要素,还要考虑边界、环境和输入输出等特征,避免传统设计的那种局部、孤立地处理问题,而是整体、系统地对待设计对象,这还有助于引入系统论、信息论和控制论等现代科学理论用系统观点进行全方位设计。

(2) 设计内容完善化:机床现代设计已超出常规的运动设计、动力设计和结构设计范畴,扩展到概念设计、可靠性设计和宜人性设计等更加完善的内容。使机床产品实用、经济及美观舒适,具有更强的竞争力。

(3) 设计目标最优化:现代设计追求的是目标最优化,这不仅对某项设

计参数的单一目标优化,而且要对系统的诸多参数进行多目标的整体优化,利用计算机求得理论上的精确解即最佳方案,使产品设计在各项技术性能、可靠性及经济性等方面,实现统一的最优效果。

(4) 设计问题模型化:模型是对设计问题的高度概括和抽象,各种模型已广泛用于现代设计中,其中数学模型是最适于分析和研究的一种形式。设计问题模型化的意义在于它把工程问题与数学理论紧密结合起来,借助计算机对设计问题进行定量运算和优化处理,并可应用动态设计和动态仿真等现代设计技术。

(5) 设计过程动态化:现代设计更加注重产品的动态性能,在设计阶段就要对产品动态性能进行预测和优化。动态设计首先要建立系统的动力学数学模型,并通过验算或实际测试加以验证。然后用计算机对模型进行动态分析,修改某项参数,比较相应结果,直至达到满意的动态性能,最后获得最优动态设计方案。

(6) 设计手段计算机化:计算机辅助设计(CAD)已成为现代设计方法中必不可少的设计手段和强大支柱。在机床初步设计阶段,可进行方案的分析、选择、评价和决策。在技术设计阶段,可进行结构和参数确定,运动、动力或其他特性分析,材料选择,成本计算,参数优化和绘图等工作。在工作图设计阶段,可绘制零件图、标注尺寸及公差配合,编制、存贮和管理各种技术文件。

1.4 机床设计的任务和类型

1.4.1 机床设计任务

机床设计的任务就是根据客观需求,通过人们的创造性思维活动,借助人们已掌握的各种信息资源(科学技术知识),经过反复的判断和决策,设计出具有特定功能的机械装置、系统或产品,以满足人们的日益增长的生活和生产需求。

1.4.2 机床设计类型

机床设计常见三类不同的设计:

(1) 开发性设计:也叫“零”或“原型”的创新开发性设计。在工作原理、结构等完全未知的情况下,应用成熟的科学技术或经过实验证明是可行

的新技术,设计过去没有过的新型机械产品。

(2) 适应性设计:在原理方案基本保持不变的前提下,对机械产品做局部的变更或设计一个新部件,使其产品在质和量方面更能满足使用要求。

(3) 变型设计:在工作原理和功能结构都不变的情况下,变更现有机械产品的结构配置和尺寸,使之适应更多的量的要求。

在工业生产实践上,开发性设计总是少量的,为充分发挥现有机械设备的潜力,适应性设计和变型设计就显得很重要了。

1.5 机床设计与其他学科的关系

一是新兴技术对机械产品的渗透、改造和应用,使产品的功能和结构产生较大的变化;

二是科学技术的发展促使设计方法和技术的现代化;

三是机床设计是连接需求到满足需求这一链条上的最基本环节;

四是机床设计很大程度上决定了机械产品质量、性能和成本;

五是机床设计水平与工业发展水平是相互影响的。

1.5.1 机床产品生产方式的转变

机床产品的生产已由少品种、中批量生产转变为多品种、小批量生产,机床产品变型更加频繁,更新速度逐渐加快,寿命周期明显缩短,20世纪50~60年代的机床寿命周期约为13年,70~80年代为5~8年,进入90年代就更短。因此,机床产品必须根据市场需求进行设计与生产,不断寻求市场—设计—生产的最佳化关系。要由落后的经营管理方式即市场服务于设计、设计服从于工艺、工艺服从于设备转变过来,设计要服务于市场要求,使产品经济走向市场经济。

机床产品的设计与生产要由单纯提供装备转变为提供成套制造技术及装备。不仅主机要工装齐备,而且还要配套提供适于用户生产特点的优化生产组织技术、工艺方法和工艺参数。

1.5.2 基本发展方向

随着工业发展的需要,机床产品的多样化、精密化、高效化、自动化、最佳化和系统化,是现代机床的基本发展方向。要注意提高机床的功率、刚度和速度,要改变当前国内机床存在的功率偏大、刚度较差和速度过低的现

象,以便提高效率和应用高性能的切削刀具,适应不同材料切削数据库的要求。

为此,机床设计人员必须了解我国机床工业的现状和任务,了解世界机床工业的技术水平,要随时掌握有关市场和机床技术的信息,关注微电子技术和刀具新材料的应用,学习现代设计方法,加强试验研究工作等,才能具有较强的应变能力和更高的设计水平。

复习题与作业题

1. 解释设计、机械设计、木工机床设计的概念。
2. 中国木工机械发展的特点、发展前景是什么?
3. 机床设计方法的几个发展阶段是什么?现代设计方法的特点是什么?
4. 机床设计的主要任务是什么?常见的设计类型有哪几类?

2 机床总体设计

2.1 机床总体设计应满足的基本要求

机床总体设计除应满足一般的功能要求外，还应满足柔性化、精密化、自动化、机电一体化、节材节能、符合工业工程和绿色工程等的要求。

2.1.1 一般的功能要求

机床总体设计应满足的一般功能要求包括：

2.1.1.1 机床工艺范围

(1) 机床工艺范围是指机床适应不同生产要求的能力。

(2) 内容主要包括：机床上被加工工件的类型、材料、尺寸范围和毛坯形式，可完成的工序种类，使用刀具的类型和材料等。工艺范围过窄，机床的正常使用会受到限制；工艺范围过宽，则使机床结构复杂，成本提高。因此，为了满足使用要求，机床应有足够的工艺范围，并尽量简化机床结构，降低成本和提高生产率。

2.1.1.2 机床精度和精度保持性

机床本身的误差会影响工件的加工精度和表面粗糙度。机床精度能够反映机床本身误差的大小，它主要包括机床的几何精度、传动精度、运动精度、定位精度及工作精度。

(1) 几何精度。几何精度是指最终影响机床工作精度的那些零部件的精度，包括尺寸、形状、位置精度和相互间运动的精度（如平面度、垂直度、直线对直线或平面对平面以及直线与平面间的平行度和垂直度等）。它是衡量机床精度的表征之一，表明各有关零部件之间以及它们运动轨迹之间的相对位置允差。因此，对所有机床都必须规定几何精度要求。几何精度主要取决于机床产品的加工和装配质量。

(2) 传动精度。传动精度是指机床内联系传动链两端件之间的相对运动

的准确性。对于两端件为“旋转—旋转”式传动链（如齿轮加工机床），则需要规定传动角位移误差。对于“旋转—直线”式传动链（如螺纹加工机床），需要规定传动线位移误差。传动精度主要取决于传动链各元件，特别是末端件（如母蜗轮或母丝杠）的加工、装配精度以及传动件设计的合理性。

(3) 运动精度。运动精度是指机床主要零部件在以工作状态速度运动时的精度，包括回转精度（如主轴轴心漂移）和直线运动不均匀性精度（移动部件产生进给速度的周期性波动），这对于加工精度要求较高的机床尤为重要。运动精度取决于传动件设计、零件加工与装配质量、运动速度及其他特性的影响。

(4) 定位精度（或位置精度）。定位精度是指机床有关部件在所有坐标（包括直线坐标和回转坐标）中定位的准确性，即实际位置与要求位置之间的误差大小。特别是精密级和高精度级多坐标工作的机床（包括数控机床），需要规定该项要求。定位精度取决于机床测量系统、进给系统、伺服系统以及有关特性的影响。

(5) 工作精度。工作精度是指机床在有负载、正常工作速度时的精度。工作精度是通过对规定的试件或工件进行加工来检验机床是否符合规定的设计要求。工作精度主要取决于机床的刚度、抗振性和热变形。

国家制定的有关机床精度标准能够简明地反映机床的精度。机床产品的设计与制造，必须贯彻新标准。需要指出的是，为了提高加工质量，机床的原始精度应有一定的储备量，即精度储备，比如卧式车床的几何精度要比标准中规定的临界值压缩 1/3。

(6) 精度保持性。精度保持性是指机床长期保持其原始精度的能力，这是保证产品性能不断提高的重要技术基础，对于高精度机床则是一项关键的评价指标。该项指标由机床某些关键零件（如主轴、导轨、齿轮、丝杠等）的首次大修期所决定。为了提高这些零件的耐磨性，必须注意选材、热处理、润滑与防护等。对于中型机床，首次大修期应保证在 8 年以上。

2.1.1.3 机床生产率

机床生产率通常是指单位时间内机床所能加工的工件数量

$$Q = \frac{1}{t} = \frac{1}{t_1 + t_2 + \frac{t_3}{n}}$$

式中：Q——机床生产率；

t——加工一个工件的平均总时间；