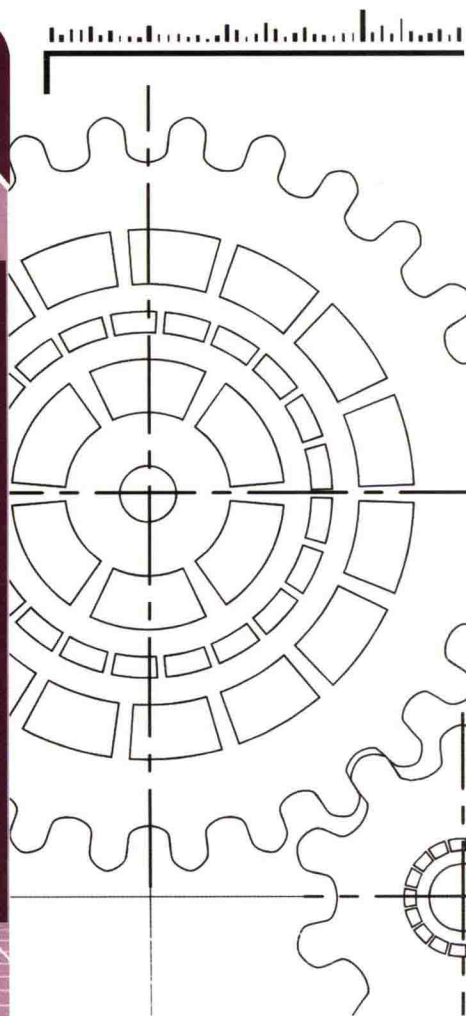




陈新民 赵燕 © 主编

JIXIE ZHIZAO
ZHUANGBEI SHEJI

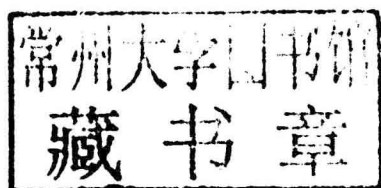
机械制造装备设计



东北师范大学出版社
NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

机械制造装备设计

主 审 王 为
主 编 陈新民 赵 燕
副主编 景修润



东北师范大学出版社
长 春

图书在版编目(CIP)数据

机械制造装备设计 / 陈新民, 赵燕主编. — 长春:
东北师范大学出版社, 2017.7
ISBN 978-7-5681-3494-1

I. ①机… II. ①陈… ②赵… III. ①机械制造—工
艺装备—设计—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第183779号

□责任编辑: 韩 烁 □封面设计: 东师鼎业
□责任校对: 杨 柳 □责任印制: 张允豪

东北师范大学出版社出版发行
长春净月经济开发区金宝街118号(邮政编码: 130117)

电话: 0431-82687213 010-82893515

传真: 0431-85691969 010-82896571

网址: <http://www.nenup.com>

东北师范大学出版社激光照排中心制版

北京俊林印刷有限公司印装

北京市平谷区峪口镇峪新北街2号(邮政编码: 101206)

2017年7月第1版 2017年7月第1版第1次印刷

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 16.5 字数: 342千

定价: 43.00元

前言

本书是“十三五”高等教育改革创新示范教材，是为适应普通高校大众化教育教学改革与教材建设的需要以及创新应用型人才的培养而编写的。本书围绕应用型人才培养的目标体系，以工作过程为导向，依据机制专业机械制造装备必备知识建立模块，采用项目教学法实施任务驱动教学，利用实际工程案例实现与未来工作岗位的零距离接触，力争培养基础知识扎实，专业应用技能较强且具有一定创新能力的优质应用型人才。

本书在教学内容上对传统的课程内容和前沿科技进行了有机整合，针对专业需求确立课程的深度和广度，并以机械制造装备设计的要求、方法及步骤引入，在充分认识几种典型切削机床的结构、原理及工艺范围的基础上分别介绍各个设计模块的设计要求、原理及方法建立课程体系。每个模块开篇之前都以表格形式提出知识目标、技能目标及教学重难点，并就其教学提供了课堂教学、课外阅读的参考学时。本书极力为32~48学时的中短学时打造，其课程内容根据教学实际情况可酌情取舍。

本书既是普通高校机械类、近机械类的相关专业本及专科学生的教学用书，也可供相关专业工程技术人员和教学人员参考。

本书提供了必要的教学资源，如视频、动画、PPT课件以及习题解答等，以便于教学。

本书由湖北工业大学工程技术学院、武汉首义学院两校合力打造，由湖北工业大学工程技术学院陈新民、武汉首义学院赵燕担任主编，由湖北工业大学工程技术学院景修润担任副主编。其中课程导入、模块一、模块二由陈新民编写，模块三、模块四、模块五由赵燕编写，模块六、模块七由景修润编写，全书由陈新民统稿。本书在编写过程中，得到了两校专业教师的支持，在此一并表示感谢！

本书由湖北工业大学王为教授主审。

编者

目 录

前 言

课程导入	1
项目一 机械制造装备应具备的主要功能	3
项目二 机械制造装备的设计方法及步骤	7
项目三 金属切削机床总体设计	10
模块一 认识金属切削机床	25
项目一 金属切削机床的基础知识	27
项目二 认识车床	34
项目三 认识数控机床	44
模块二 机床传动系统设计	53
项目一 机床主传动系统的概述	55
项目二 分级变速主传动系统	58
项目三 无级变速的主传动系统	75
项目四 进给传动系统的设计	79
模块三 机床主要部件的结构设计	85
项目一 主轴部件的设计	87
项目二 支承件的设计	105
项目三 导轨的设计	114

模块四	组合机床的设计	123
项目一	组合机床的组成及类型	125
项目二	组合机床的总体设计	140
项目三	通用多轴箱的设计	162
模块五	机床夹具的设计	179
项目一	机床夹具的基础	181
项目二	机床夹具定位机构的设计	185
项目三	机床夹具夹紧机构的设计	201
项目四	另类典型夹具的介绍	210
模块六	物流系统的设计	217
项目一	物流系统的总体设计	219
项目二	机床上料装置的设计	223
项目三	物料输送装置设计	229
项目四	自动化立体仓库简介	242
模块七	机械加工生产线总体设计	247
项目一	机械加工生产线的类型	249
项目二	机械加工生产线的设计	252
参考文献		258

机械是人为的产物，是由人们利用机械制造装备制造出来的。不同的行业有不同的机械，如交通运输系统的运输机械，化工系统的化工机械及军工系统的军工机械等，都有其不同的用途，而且都是由机械制造装备制造出来的。机械制造装备的制造能力是决定各种行业机械性能好坏的重要因素之一。

在现代机械制造工业中，机械制造装备是加工机器零件的主要设备。它所担负的工作量，约占机器总制造量的40%~60%。机床的技术水平和生产能力直接影响到机械制造工业的产品质量和劳动生产率。因此，机械制造业是国民经济赖以发展的基础。显然，机械制造装备在国民经济现代化建设中起着重大的作用。

随着社会需求和科学技术的发展，人们对机械制造装备设计的技术要求越来越高。一方面为了适应社会需求的变化，出现了柔性制造系统（FMS）等先进的自动化制造系统，除了传统的机床设计要求之外，还要求机械制造装备增加柔性，并能与系统有机结合；另一方面，数控技术和CAD、CAM、CAE技术的发展，为机械制造装备设计提供了新的条件和支撑。因此，机械制造装备的设计方法和设计技术也在发生着深刻变化。

机械制造装备包括：加工装备、工艺装备、仓储输送装备和辅助装备等。加工装备主要指机床（工作母机），包括金属切削机床、锻压机床、特种加工机床、木工机床等；工艺装备是指在产品制造过程中所用各种工具的总称，包括刀具、夹具、量具、辅具、模具、检具、钳具、工具、工位器等，是保证产品质量、贯彻工艺规程、提高生产效率的重要手段；输送及仓储装备主要包括物料输送装置、机床上料装置、各级仓储装置及立体仓库等，物料输送装置用于实现毛坯、半成品、成品等在车间内工作中心传送的设备。仓储是用来存储原料、毛坯、外购件、半成品、成品、工具等物品的设施。

本书将以金属切削机床的设计、夹具的设计及机床上下料装置、输送装置的设计及机械加工生产为主要内容分别进行介绍。

知识目标	了解金属切削机床在国民经济中的地位、作用及发展概况；掌握机械制造装备应具备的主要功能、机床设计方法及步骤			
技能目标	对机械制造装备应具备的主要功能有较深刻的了解，熟悉机床设计步骤			
教学重点	机械制造装备应具备的主要功能			
教学难点	机械制造装备应具备的主要功能			
教学方案（情景）	多媒体教学、视频播放、自我阅读			
选用工程应用案例	机械加工机床在工程实际中的应用			
建议学时	课堂学时	2 学时	阅读学时	2 学时

项目一

机械制造装备应具备的主要功能

在机械制造装备应具备的主要功能中，除一般的功能要求外，还应强调柔性化、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的要求。

任务一 一般的功能要求

机械制造装备应满足的一般功能包括以下几种。

一、工艺范围、加工精度方面的要求

机床是用来完成工件表面加工的，应该具备完成一定工艺范围（包括加工方法、工件类型、加工表面形状、尺寸等）的加工功能。因此，也可以把工艺范围称为机床的功能。

对于专用机床，工艺范围较窄，相应的功能也较少；而通用机床工艺范围较宽，功能也比较强，特别是多品种、小批量生产需求的增加，要求扩大机床的功能；机床功能的增加，将使机床的结构复杂程度也相应增加。

加工精度是指加工后零件对理想尺寸、形状和位置的符合程度，一般包括尺寸精度、表面形状精度、相互位置精度和表面粗糙度等。满足加工精度方面的要求应是机械制造装

备的基本要求。

影响机械制造装备加工精度的因素有很多,与机械制造装备本身有关的因素有几何精度(机床空载条件下机床主轴不转或运动速度较低时各主要部件的形状,相对位置和相对运动的精确程度)、传动精度(机床传动系各末端执行件之间运动的协调性和均匀性)、运动精度(机床在额定载荷作用下各主要零部件的几何位置精度)、定位精度(机床的定位部件运动到达规定位置的精度)和低速运动平稳性等。

二、强度、刚度和抗振性方面的要求

为了提高加工效率,切削速度越来越高、切削力越来越大,机械制造装备应具有足够的强度、刚度和抗振性。提高强度、刚度和抗振性不能一味地加大制造装备零部件的尺寸和重量,成为“傻、大、黑、粗”的产品。应利用新技术、新工艺、新结构和新材料,对主要零件和整体结构进行改进设计,在不增加或少增加重量的前提下,使装备的强度、刚度和抗振性满足规定的要求。

三、加工稳定性方面的要求

机械制造装备在使用的过程中,因受到切削热、摩擦热、环境热等的影响,会产生热变形,影响加工性能的稳定性。对于自动化程度较高的机械制造装备,加工稳定性方面的要求尤为重要,提高加工稳定性的措施是减少发热量、散热和隔热、均匀热、热补偿、控制环境温度等。

四、对耐用度方面的要求

机械制造装备经过长期使用,因零件磨损、间隙增加,原始工作精度将逐渐丧失,对于加工精度要求很高的机械制造装备,耐用度方面的要求尤为重要。提高耐用度应从设计、工艺、材料、热处理和使用等多个方面综合考虑,从设计角度来看,提高耐用度的主要措施包括减少磨损、均匀磨损、磨损补偿等。

五、技术经济方面的要求

投入机械制造装备上的费用将分摊到产品成本中去,如产品产量过大,分摊到每个产品的费用较少。反之,产品的产量较少,尤其是单件,过多地在机械制造装备上投资,将大幅度地提高产品的成本,削弱产品的市场竞争力。因此,不应盲目地追求机械制造装备的技术先进程度和无计划地加大投入,而应该进行仔细的技术经济分析,确定机械制造装备设计和选购方面的指导方针。

任务二 其他方面的要求

一、柔性化

柔性化在这里有两种含义,即产品结构柔性化和产品功能柔性化。

(1) 产品结构柔性化是指产品设计时采用模块化设计方法和机电一体化技术, 只需对结构做少量的重组和修改, 或者修改软件, 就可以快速地推出满足市场需求的、具有不同功能的新产品。

(2) 产品功能柔性化是指只需进行少量的调整或修改软件, 就可以方便地改变产品系统的运行功能, 以满足不同的加工需要。数控机床、柔性制造单元或系统具有较高的功能柔性化程度, 在柔性化制造系统中, 不同工件可以同时上线, 实现混流加工。这类加工装备投资极大, 研制周期长, 使用维护涉及的技术难度大, 应通过认真的技术经济分析认为有利可图时才考虑使用。

要实现机械制造装备的柔性化, 不一定非要采用柔性制造单元或系统。专用机床, 包括组合机床及其组成的生产线也可设计成具有一定的柔性。完成一些批量较大、工艺要求较高的工件加工任务, 其柔性化表现在机床可进行调整以满足不同工件的加工。调整方法如采用备用主轴、位置可调主轴、工夹具具成组化、工作程序软件化和部分动作实现数控化等。

二、精密化

随着市场竞争的国际化, 对产品技术性能的要求越来越苛刻, 制造精度的要求也越来越高。为了提高产品的质量, 许多工艺还不断地压缩工件制造的公差带, 机械制造装备的精密化成为普遍发展的趋势, 从微米级发展到亚微米级乃至纳米级。在这种情况下, 采用传统的措施提高机械制造装备自身的精度已无法奏效, 需采用误差补偿技术。误差补偿技术可以是机械式的, 如为提高丝杠或分度蜗轮的精度采用的校正尺或校正凸轮等。较先进的是采用数字化技术, 仔细分析各种引起加工误差的因素, 建立误差的数学模型, 确定众多因素引起的综合误差, 如机械制造装备的热变形、几何误差、传动误差、运动误差、定位误差和工艺系统的弹性变形等, 将误差的数学模型存入计算机中。在加工时, 由传感器不断地将引起误差的因素测出, 输入计算机中, 算出将产生的综合误差, 然后由误差补偿装置按算出的综合误差进行补偿。

三、自动化

机械制造装备实现自动化后, 除了可以提高加工效率和劳动生产效率外, 还可以提高产品质量的稳定性和改善劳动条件等。

四、机电一体化

机电一体化是指机械技术与微电子、传感检测、信息处理、自动控制和电力电子等技术, 按系统工程和整体优化的方法, 有机地组成的最佳技术系统。机电一体化系统和产品的结构通常是用传感器检测来自外界和机器内部运行状态的信息, 由计算机进行处理, 经控制系统由机械、液压、气动、电气、电子及它们的混合形式的执行系统进行操作, 使系统能自动适应外界环境的变化, 机器始终处于正常的工作状态。故设计机电一体化产品要充分考虑机械、液压、气动、电力电子、计算机硬件和软件的特点, 充分发挥各自的特点, 进行合理的功能搭配, 将不同类型的元件和子系统用“接口”连接起来, 构成完整的系统。这个系统应该是功能强, 质量好和故障率低、节能和节材, 性能价格比高, 具有足

够的“结构柔性”的系统。

五、节 材

我国产品设计水平低,选取的安全系数一般偏大,产品肥头大耳,造成所谓的结构性材料浪费。又由于工艺水平落后,铸造、锻造过程中金属回收率低,毛坯的加工余量大,不仅浪费了原材料,也浪费了加工工时和能源,造成了所谓的工艺性材料浪费。因此,采用现代设计法,合理地选取安全系数,对主要零部件进行精确计算和优化,改进产品的结构,采用先进的制造装备提高材料的利用率是必要的。

六、符合工业工程要求

工业工程是对由人、物料、设备、能源和信息所组成的集成系统进行设计、改善和实施的一门学科。其目标是设计一个生产系统及其控制方法,在保证工人和最终用户健康和安全的条件下,以最低的成本生产出符合质量要求的产品。

七、符合绿色工程要求

企业必须纠正不惜牺牲环境和消耗资源来增加产出的错误做法,使经济发展更少地依赖于地球上的有限资源,而更多地与地球的承载能力达到有机的协调,这就是所谓的绿色工程要求。按照绿色工程要求设计的产品称为绿色产品。绿色产品的设计的在充分考虑产品的功能、质量、开发周期和成本的同时优化各有关设计因素,使产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个生命周期中,对环境的影响最小,资源效率最高。

项目二

机械制造装备的设计方法及步骤

随着科学技术的进步和社会需求的变化，机械制造装备的设计理论和技术也在不断地发展。计算机技术和分析技术的飞速进步，为机床设计方法的发展提供了有力的技术支撑，计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助工程（CAE）已在机床设计的各个阶段中进行了应用。使机床的设计理论和方法由人工绘图转向计算机绘图，改变了传统的经验设计方法，由定性设计向定量设计、由静态和线性分析向动态和非线性分析、由可行性设计向最佳设计过渡。尤其是数控技术的发展与应用，使机床的传动与结构发生了重大变化，伺服驱动系统可以方便地实现机床的单轴运动及多轴联动，从而可以省去复杂的机械传动系统设计，使其结构及布局也有很大变化。

任务一 机械制造装备的设计方法

机械制造装备的设计方法是根据其设计类型而定的，机械制造装备中的通用机床采用系列化设计方法。系列中基型产品属于创新设计类型，其他属于变型设计类型。有些机床，如组合机床属于组合设计类型。在创新设计类型中，机床总体方案（包括运动功能方案和结构布局方案）的产生方法可采用分析式设计或创成式设计，前者是用类比分析、推理方法产生方案，是目前创新设计一般采用的方法。后者则用创成解析的方法生成方案，创新能力强，这种方法尚在研究发展之中。

任务二 机床的设计步骤

不同的机床类型的设计步骤也不同，一般机床设计的内容及步骤有以下几种。

一、总体设计

(1) 机床的主要技术指标。

机床的主要技术指标是设计的前提和依据。设计任务的来源不同,如工厂的规划产品,或根据机床系列型谱进行设计的产品,或用户订货等,具体的要求不同,但所要进行的内容却大致相同,主要技术指标包括以下几种:

- ① 用途即机床的工艺范围,包括加工对象的材料、质量、形状及尺寸等。
- ② 生产率包括加工对象的种类、批量及所要求的生产率。
- ③ 性能指标加工对象所要求的精度(用户订货设计)或机床的精度、刚度、热变形、噪声等性能指标。
- ④ 主要参数即确定机床的主要技术参数。
- ⑤ 驱动方式有电动机驱动方式和液压驱动方式。电动机驱动方式中又有普通电动机驱动、步进电动机驱动和伺服电动机驱动。驱动方式的确定不仅与机床的成本有关,还将直接影响传动方式的确定。
- ⑥ 成本及生产周期无论是订货还是工厂规划的产品,都应确定成本及生产周期方面的指标。

(2) 总体方案设计包括的内容。

- ① 运动功能设计包括确定机床所需运动的个数、形式(直线运动、回转运动)、功能(主运动、进给运动、其他运动)及排列顺序,最后画出机床的运动功能图。
 - ② 基本参数设计包括尺寸参数、运动参数和动力参数设计。
 - ③ 传动系统设计包括传动方式、传动原理图及传动系统图设计。
 - ④ 总体结构布局设计包括运动功能分配、总体布局、结构形式及总体结构方案图设计。
 - ⑤ 控制系统设计包括控制方式及控制原理,控制系统图设计。
 - ⑥ 总体方案综合评价与选择在总体方案设计阶段,对其各种方案进行综合评价,从中选择较好的方案。
 - ⑦ 总体方案的设计修改或优化对所选择的方案进行进一步修改或优化,确定最终方案。
- 上述设计内容,在设计过程中要交叉进行。

二、详细设计

详细设计的主要任务是在总体设计的基础上,对结构原理方案结构化,绘制产品总装图、部件装配图;在技术设计阶段,掌握了更多的信息,有条件比方案设计阶段更具体、更定量地根据要求表中提出的要求,分析必须达到的程度,希望达到要求的处理结果,在此基础上作出精确的技术经济评价,并找出设计的薄弱环节,进一步改进设计。技术经济评价通常从以下几个方面进行:实现的功能、作用原理的科学性、结构合理性、参数计算准确性、安全性、人机工程要求、制造、检验、装配、运输、使用和维护的性能、资源回用、成本和产品研制周期等。

详细设计时必须遵守有关国家、部门和企业颁布的标准规范。充分考虑诸如人机工程、外观造型、结构可靠和耐用性、加工和装配工艺性、资源回用、环保及材料、配件

和外协件的供应、企业设备、资金和技术资源的利用、产品系列化、零部件通用化和标准化、结构相似性和继承性等方面的要求。通常要经过设计、审核、修改、再审核、再修改多次反复。

对造价较高而设计成功把握不太高的产品可通过模型试验检查产品的功能和零部件的强度、刚度、运动精度、振动稳定性、噪声、外观造型等方面的性能，在模型试验的基础上对设计做必要的修改。

三、施工设计阶段

在施工设计阶段，将广泛运用工程图学、机械制造工艺学等理论和方法来解决设计中出现的问题。施工设计阶段主要进行工件工作图设计，完善部件装配图和总装配图，进行商品化设计，编制各类技术文档等。

1. 零件图设计

在零件图中包含了为制造零件所需的全部信息，这些信息包括几何形状、全部尺寸、加工面的尺寸公差、形位公差和表面粗糙度要求、材料和热处理要求、其他特殊技术要求等，组成产品的零件有标准件、外购件和基本件。标准件和外购件不必提供零件图，基本件无论是自制或外协，均需提供零件图。零件图的图号应与装配图中的零件号对应。

2. 完善装配图

在绘制零件图时，更要具体地从结构强度、工艺性和标准化等方面进行零件的结构设计，不可避免地要对技术设计阶段提供的装配图做些修改，所以零件图设计完毕后，应完善装配图的设计。装配图中的每一个零件应按企业规定的格式标注件号。零件件号是零件唯一的标识符，不可乱编，以免造成生产混乱。件号中通常包含产品型号和部件号信息，有的还包含材料、毛坯类型等其他信息，以便备料和毛坯的生产与管理。

三、商品化设计

商品化设计的目的是进一步提高产品的市场竞争力。商品化设计的内容一般包括进行价值分析和价值设计，在保证产品功能和性能的基础上，降低成本；利用工业美学原理设计精美的造型和悦目的色彩，改善产品的外观功能、精化包装设计等。

四、编制技术文档

应重视技术文档的编制工作，将其看成是设计工作的继续和总结。编制技术文档是为产品制造、安装调试提供所需要的信息，为产品的质量检验、安装运输、使用等作出相应的规定。因此，技术文档应包括产品设计计算书、产品使用说明书、产品质量检查标准和规则、产品明细表等。产品明细表包括基本件明细表、标准件明细表和外购件明细表等。

项目三

金属切削机床总体设计

机床总体设计是机床设计中的关键环节，它对机床所能达到的技术性能和经济性能起着决定性的作用。

任务一 机床系列型谱的制订

为满足国民经济不同部门对机床的要求，机床分成若干种类型，如通常所说的车、钻、铣、磨等11大类通用机床，同种机床又分为大小不同的几种规格。根据机床的生产和使用情况，在调查研究的基础上，规定了每一种通用机床的规格（主要参数）称为参数系列，这是一个等比级数的数列。例如，中型卧式车床的主参数是床身上工件最大回转直径。其系列为250 mm、320 mm、400 mm、500 mm、630 mm、800 mm、1000 mm七种规格。该系列是公比等于1.25的等比数列。其他各类机床的规格见《GB/T 15375-91金属切削机床编号编制方法》。

由于各使用部门的工件和生产规模不同，对机床性能和结构的要求也就不同。因此，同一规格的同类机床，还需要具备各种不同的形式，以满足各种各样的要求。通常是按照该机床的参数标准，先确定一种用途最广、需要量较大的机床系列作为“基型系列”。在此系列基础上，根据用户的需要派生出若干变型机床，形成变型系列，“基型”和“变型”构成了机床的“型谱”。表0-1为中型卧式车床的简略系列型谱表。

表0-1 中型卧式车床的简略系列型谱表

最大上件 直径/mm	型式	万能式	马鞍式	提高精度	五四杠式	卡盘式	球面加工	断面车床
250		○		△	△			
320		○		△	△			
400		○	△	△	△	△	△	
500		○	△		△	△	△	
630		○	△		△	△	△	
800		○	△		△	△	△	△
1000		○	△		△	△	△	△

注：○—基型；△—变型。

由表0-1可见，每类通用机床都有它的主参数系列，而每一规格又存在基型和变型，合称为这类机床的系列型谱。机床的主参数系列是系列型谱的纵向（按尺寸大小）发展，而同规格的各种变型机床则是系列型谱的横向发展。因此，“系列型谱”也是综合地表明机床产品规格参数的系列性与结构相似性的表现。

规定机床的系列型谱，对机床工业的发展有很大好处。因为基型机床和变型机床之间的大部分零部件是相同的（通用件或通用部件）。同一系列中尺寸不同的机床，结构形式是相似的，因此部分零部件可以通用。另一些零部件结构相似，便于设计和组织生产，可缩短设计制造周期，降低成本，提高机床产品质量。

任务二 机床的运动功能设计

一、机床的工作原理

金属切削机床的基本功能是提供切削加工所必需的运动和动力。机床的基本工作原理是通过刀具与工件之间的接触及相对运动，切除工件加工表面多余的金属材料，形成工件表面的几何形状、尺寸，并达到其精度要求。若机床功能的实现是人为控制的，则为普通机床；若是自动控制的，则为自动化机床。

由此可见，工件的加工表面是通过机床刀具与工件的相对运动而形成的。因此，要进行机床的运动设计，则需要先了解工件表面的形成方法。

二、工件表面的形成方法

1. 几何表面的形成原理

任何一个表面都可以看成是一条曲线（或直线）沿着另一条曲线（或直线）运动的轨迹，这两条曲线（或直线）称为该表面的发生线。前者称为

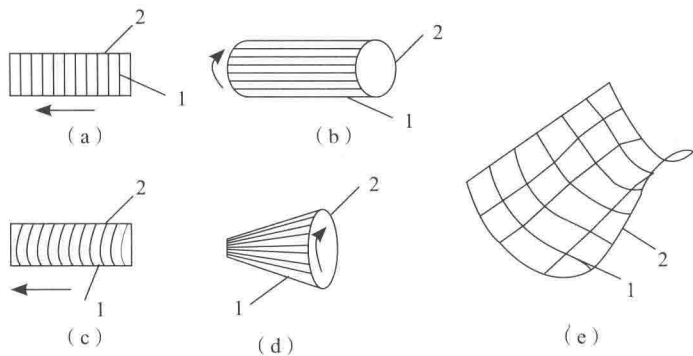


图 0-1 表面形成原理