

《先进制造技术》

实验指导书

《先进制造技术》课程组

学生姓名:

班 级:

专 业:

吉林大学 机械科学与工程学院

2006.9

目 录

1. 快速原型制造(RPM)技术.....	3
1.1 实验目的	3
1.2 实验要求	3
1.3 实验主要仪器设备	3
1.4 实验原理	3
1.5 实验方法和步骤	5
1.6 实验注意事项	7
1.7 思考题	7
2. 原子力显微镜、三坐标测量仪、柔性制造系统、加工中心	12
2.1 实验目的	12
2.2 实验要求	12
2.3 实验主要仪器设备	12
2.4 实验原理	12
2.4.1 原子力显微镜的工作原理简介	12
2.4.2 柔性制造系统工作原理	13
2.4.3 三坐标测量仪的工作原理	14
2.5 实验方法和步骤	16
2.6 实验注意事项	16
2.7 思考题	16

1. 快速原型制造(RPM)技术

1.1 实验目的

1. 掌握 RPM 技术的工作原理。
2. 掌握 RPM 系统的构成和 RPM 的一般工艺流程。
3. 了解 RPM 技术的应用。

1.2 实验要求

1. 熟悉和使用 CAD 三维造型软件，并进行特定零件的建模，构造原型件；
2. 利用专用计算机对原型件进行切片，生成 STL 文件，并将 STL 文件送入 FDM 快速成型系统；
3. 对模型制作分层切片；生成数据文件；
4. 快速原型机按计算机提供的数据逐层堆积，直至原型件制作完成；
5. 观察快速原型机的工作过程，分析产生加工误差的原因，提出解决的办法。

1.3 实验主要仪器设备

1. FDM 快速成型系统一台
2. 造型计算机
3. PVC 丝状材料

1.4 实验原理

1.4.1 快速原型技术简介

快速原型 (Rapid Prototyping, RP) 技术是 20 世纪 80 年代问世的一门新兴制造技术，自问世以来，得到了迅速的发展。由于 RP 技术可以使数据模型转化为物理模型，并能有效地提高新产品的的设计质量，缩短新产品开发周期，提高企业的市场竞争力，因而受到越来越多领域的关注，被一些学者誉为敏捷制造技术的使能技术之一。

1.4.2 RP 技术的基本工作过程

RP 技术是由 CAD 模型直接驱动的快速制造复杂形状三维物理实体技术的总称。其基本过程是：

- 1、首先设计出所需零件的计算机三维模型，并按照通用的格式存储 (STL 文件)；
- 2、据工艺要求选择成形方向 (Z 方向)，然后按照一定的规则将该模型离散为一系列有序的单元，通常将其按一定厚度进行离散 (习惯称为分层)，把原来的三维 CAD 模型变成一系列的层片 (CLI 文件)；
- 3、再根据每个层片的轮廓信息,输入加工参数，自动生成数控代码；
- 4、最后由成形机成形一系列层片并自动将它们联接起来，得到一个三维物理实体。



图 1 快速原型机

这样就将一个物理实体复杂的三维加工转变成一系列二维层片的加工，因此大大降低了加工难度。由于不需要专用的刀具和夹具，使得成形过程的难度与待成形的物理实体的复杂程度无关，而且越复杂的零件越能体现此工艺的优势。目前快速成形技术包括一切由CAD直接驱动的成形过程。

1.4.3 快速原形技术的特点

- 1、由CAD模型直接驱动；
- 2、可以制造具有复杂形状的三维实体；
- 3、成形设备是无需专用夹具或工具的成形机；
- 4、成形过程中无人干预或较少干预；
- 5、精度较低；分层制造必然产生台阶误差，堆积成形的相变和凝固过程产生的内应力也会引起翘曲变形，这从根本上决定了RP造型的精度极限。

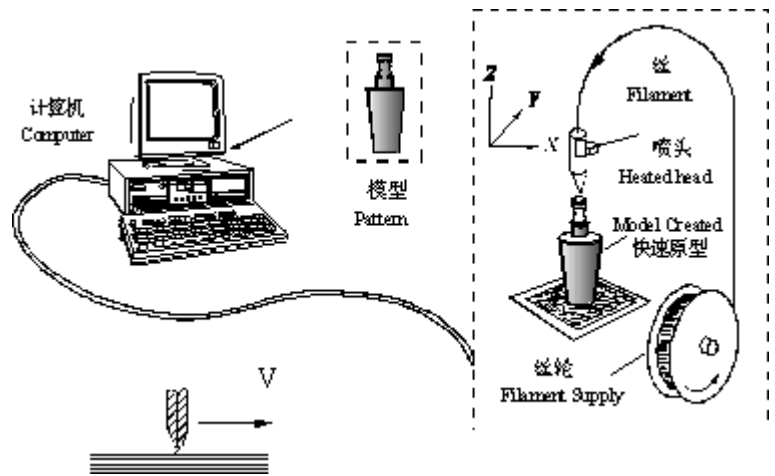


图2 LOM—熔融沉积成型原理图

1.4.4 RP技术发展及应用现状

自20世纪90年代初我国学者从国外认识了RP技术后，即着手研究。在我国科技人员不懈的努力下，经过10年的研究开发与推广应用，我国已掌握了从设备到工艺材料的生产技术，在RP技术应用方面亦开展了大量的研究并取得了可喜的成果。通过组建国家级RP技术推广应用服务中心，有效地推动了我国RP技术的发展。但整体水平与国外先进水平相比还有较大差距，主要表现在产品规格型号少，工艺材料品种单一，特别是在产业化和应用服务方面的差距尤为突出。

经过10年的努力，我国研制出了SSM、HRP、HRPS系列分层实体制造(LOM)成形机；LPS和CPS系列立体光造型(SLA)成形机；AFS-300型选择性激光烧结(SLS)成形机；MEM熔丝沉积制造(FDM)。有了具有自主知识产权的快速成形系统，申请了大量的专利。在某些基础技术研究方面我们达到了国际水平，如开发CAD原始数据直接切片方法；满足人体细胞生长并可降解的人造骨骼医用材料；基于RP的人工骨骼复制、生物活性材料成形技术研究等领域。

据不完全统计，我国现有RP设备100余台，其中国产设备约占50%，国产设备使用的工艺材料几乎全部由国内自己生产。在国家政策的引导下，国家级RP服务中心配备了国产设备。大部分国产设备在科研、教学和生产中发挥作用，得到用户认可，为进一步开拓市场奠定了基础。

另外，由于RP技术的问世，为电镀模、金属冷喷模、石膏模、硅胶模等模具制造技术注入新的活力，重新引发新一轮快速模具制造技术的攻关，并已在旅游纪念品、轻工等行业大量应用。航空航天、

医疗界复杂形状的单件产品，使用传统方法几乎难以生产，由于有RP技术，使得生产周期缩短，成本大大下降。

目前，抛开新成形材料和新成形工艺的进一步拓展不谈，快速成形技术的应用正朝两个方向发展：一是走大型化发展之路，利用大型成形机和其他技术相结合，直接或间接地快速制造出有实用功能的金属模具、金属零件；二是走小型化道路，开发出低能耗、低噪音的小型成形机，也即所谓的“三维打印机”，甚至于“彩色三维打印机”，可以走入寻常百姓家，自己设计自己制造所喜爱的工艺品。

1.4.5 快速原型机主要特性简介

- ◆ 成型工艺无需激光，节约投资、降低运行成本且造型速度快，在现有快速成型设备中运行费用最低；
- ◆ 设备以数控机床原理设计，刚性好，运行平稳，可靠性高；
- ◆ 特有的填充路径网格优化设计技术，使原型表面质量更高；
- ◆ 系统软件可以对 STL 格式原文件实现自动检验、修补功能；
- ◆ 丝材宽度自动补偿技术，保证零件精度；
- ◆ 丝材成型后的可打磨性好，易于后期精加工；
- ◆ 挤压喷射喷头无流涎、高响应；
- ◆ 高质量元器件及传感系统，具报警装置，可靠性高，可长时间连续运行；
- ◆ 精密微泵增压系统控制的远程送丝机构，确保送丝过程持续、稳定；
- ◆ 快速切换喷嘴结构，便于保养、维修及更换；
- ◆ 设备运行过程无毒，无味，无音，可在办公室工作。

1.5 实验方法和步骤

1.5.1 课外造型

首先熟悉快速成形的机理、过程、工艺，尤其是熔融堆积成形工艺（FDM），以期在构造实习的基础上对实验设备 MEM250 有一个更深入的了解。

利用课外时间自己构思和完成薄壳类零件的造型。所使用的软件不限（推荐使用 CATIA），但出口文件必须保存为“*.STL”文件，否则无法进行后处理。文件命名规则为“班号_姓名.STL”，如“99032_taoyifei.stl”。

1.5.2 上机切片

在实验室里把设计好的三维零件图存入计算机中，选取组内有代表性的三维图由指导教师演示切片过程和处理结果，然后由部分同学自己动手操作。处理好的图形文件存为“班号_姓名.CLI”，如“99032_taoyifei.cli”。

1.5.3 机器造型

处理好的 CLI 文件经检查无误后即可送至成形机造型。先由指导教师演示成形机的使用方法，然后由部分同学操作。

其中造型前成形机的预热、调平和预先制作零件底座（便于成形件的剥离）均很耗时，建议机床调整和打底由指导教师预先准备好，实验开始后，同学只负责调整成形参数，认真观察造型工艺过程，认识成形所要求的各部件动作及其协调关系。

成形机的预热：喷头部位热至 220℃，成形室热至 70℃，热平衡后方可使用，尤其注意喷头部位未达到规定温度时不能打开喷头按钮。

成形机的调平：调节工作台三个支脚螺钉，并用塞尺测量喷头与工作台间隙，保证工作台水平；

打底：在工作台上制作一块 100×100×1mm 的方形基底，待实验完成后把成形件连同基底一起从工作台取下；

具体操作方法请指导教师参照机床操作规程给同学讲解。

另外，关于快速成形的工艺及应用也请指导教师结合墙上挂图在实验开始前再给同学作以简要介绍。

1.5.4 参观样品

实验前后，参观以前同学制作的样品，注意考察以下几点：

- 1) 成形方向的选取；
- 2) 扫描速度和出丝速度的匹配；
- 3) 零件和基底的粘结牢固度；
- 4) 成形件表面是否光滑；
- 5) 成形件的台阶效应是否明显；

1.5.5 实验报告

实验结束后，两周内提交一份打印的实验报告。内容应包括：

- 1) 总结你所查到的现有快速成形工艺的优缺点；
- 2) 本次实验你所设计的三维图（插入 word 文档中）；
- 3) 结合实验过程及你所看到的实体零件，总结你所想到的成形过程中应注意的问题及其对精度的影响（包括数据处理和加工过程）；
- 4) 阐述对快速成形技术推广的认识；

以上报告内容字数不限，但请如实填写你的真实看法，以便于我们集思广益，更好地作好该技术的教学和推广工作。

1.6 实验注意事项

- 1) 存储之前选好成形方向，一般按照“底大上小”的方向选取，以减小支撑量，缩短数据处理和成形时间；
- 2) 受成形机空间和成形时间限制，零件的大小控制在 $80 \times 80 \times 50\text{mm}$ 以内；
- 3) 尽量避免设计过于细小的结构，如直径小于 5mm 的球壳、锥体等；
- 4) 在切片之后文件的扩展名必须手工敲入，系统不能自动添加，如 99032_toyifei.cli；
- 5) 尤其注意喷头部位未达到规定温度时不能打开喷头按钮。

1.7 思考题

1. 快速原型制造过程中滚珠丝杠螺母之间的间隙会对造型产生怎样的影响？
2. 造型精度会影响零件精度吗？
3. 切片的间距的大小对成形件的精度和生产率会产生怎样的影响？
4. 快速原型制造方法使用的场合有哪些？
5. 你认为快速原型制造方法的应用前景怎样？

附表 1 CAD 系统输出 STL 文件方法

Alibre	File (文件) -> Export (输出) -> Save As (另存为, 选择.STL) -> 输入文件名-> Save (保存)
AutoCAD	输出模型必须为三维实体, 且 XYZ 坐标都为正值。在命令行输入命令“Faceters” -> 设定 FACETRES 为 1 到 10 之间的一个值 (1 为低精度, 10 为高精度) -> 然后在命令行输入命令“STLOUT” -> 选择实体 -> 选择“Y”, 输出二进制文件 -> 选择文件名
CADKey	从 Export (输出) 中选择 Stereolithography (立体光刻)
I-DEAS	File (文件) -> Export (输出) -> Rapid Prototype File (快速成形文件) -> 选择输出的模型 -> Select Prototype Device (选择原型设备) > SLA500.dat -> 设定 absolute facet deviation (面片精度) 为 0.000395 -> 选择 Binary (二进制)
Inventor	Save Copy As (另存复件为) -> 选择 STL 类型 -> 选择 Options (选项), 设定为 High (高)
IronCAD	右键单击要输出的模型 -> Part Properties (零件属性) > Rendering (渲染) -> 设定 Facet Surface Smoothing (三角面片平滑) 为 150 -> File (文件) > Export (输出) -> 选择 .STL
Mechanical Desktop	使用 AMSTLOUT 命令输出 STL 文件。 下面的命令行选项影响 STL 文件的质量, 应设定为适当的值, 以输出需要的文件。 1. Angular Tolerance (角度差) —— 设定相邻面片间的最大角度差值, 默认 15 度,

	<p>减小可以提高 STL 文件的精度。</p> <ol style="list-style-type: none"> Aspect Ratio (形状比例) —— 该参数控制三角面片的高/宽比。1 标志三角面片的高度不超过宽度。默认值为 0, 忽略。 Surface Tolerance (表面精度) —— 控制三角面片的边与实际模型的最大误差。设定为 0.0000, 将忽略该参数。 Vertex Spacing (顶点间距) —— 控制三角面片边的长度。默认值为 0.0000, 忽略。
ProE	<ol style="list-style-type: none"> File (文件) -> Export (输出) -> Model (模型) 或者选择 File (文件) -> Save a Copy (另存一个复件) -> 选择 .STL 设定弦高为 0。然后该值会被系统自动设定为可接受的最小值。 设定 Angle Control (角度控制) 为 1
ProE Wildfire	<ol style="list-style-type: none"> File (文件) -> Save a Copy (另存一个复件) -> Model (模型) -> 选择文件类型为 STL (*.stl) 设定弦高为 0。然后该值会被系统自动设定为可接受的最小值。 设定 Angle Control (角度控制) 为 1
Rhino	File (文件) -> Save As (另存为 .STL)
SolidDesigner (Version 8.x)	File (文件) -> Save (保存) -> 选择文件类型为 STL
SolidDesigner (not sure of version)	File (文件) -> External (外部) -> Save STL (保存 STL) -> 选择 Binary (二进制) 模式 -> 选择零件 -> 输入 0.001mm 作为 Max Deviation Distance (最大误差)
SolidEdge	<ol style="list-style-type: none"> File (文件) -> Save As (另存为) -> 选择文件类型为 STL Options (选项) 设定 Conversion Tolerance (转换误差) 为 0.001in 或 0.0254mm 设定 Surface Plane Angle (平面角度) 为 45.00
SolidWorks	<ol style="list-style-type: none"> File (文件) -> Save As (另存为) -> 选择文件类型为 STL Options (选项) -> Resolution (品质) -> Fine (良好) -> OK (确定)
Think3	File (文件) -> Save As (另存为) -> 选择文件类型为 STL
Unigraphics	<ol style="list-style-type: none"> File (文件) > Export (输出) > Rapid Prototyping (快速原型) -> 设定类型为 Binary (二进制) 设定 Triangle Tolerance (三角误差) 为 0.0025 设定 Adjacency Tolerance (邻接误差) 为 0.12 设定 Auto Normal Gen (自动法向生成) 为 On (开启) 设定 Normal Display (法向显示) 为 Off (关闭) 设定 Triangle Display (三角显示) 为 On (开启)

附录 2 快速原型制造的典型零件



附图 1



附图 2



附图



附图



附图



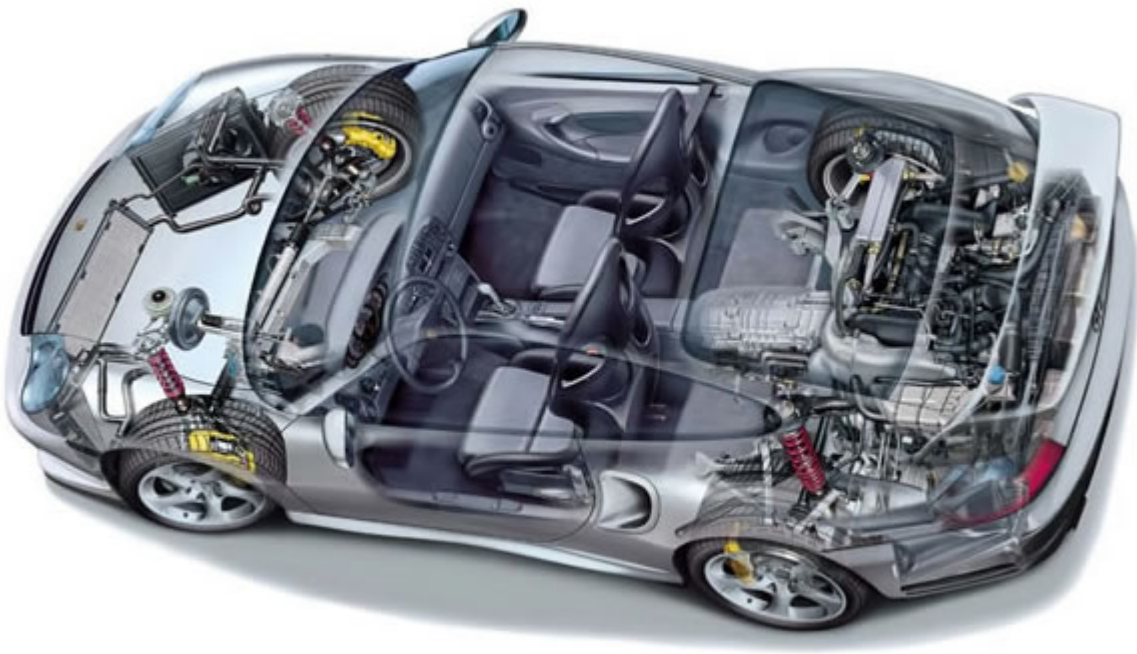
附图



附图 8



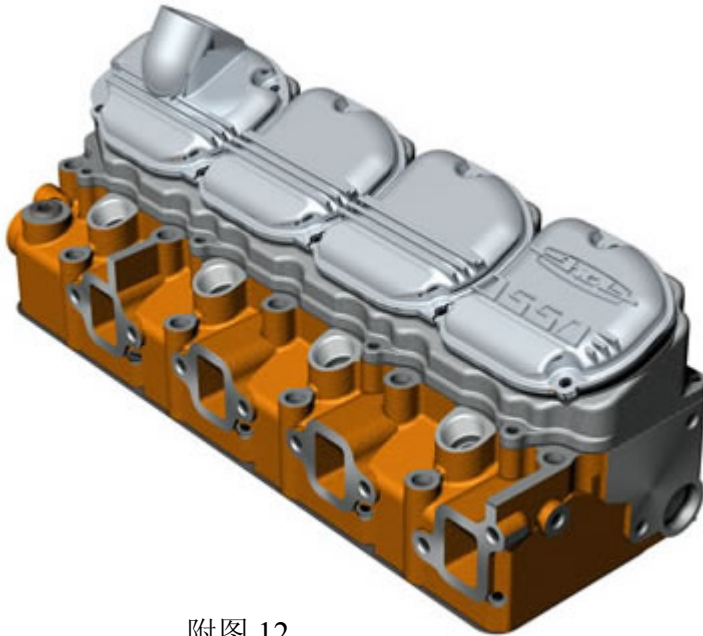
附图 9



附图 10



附图 11



附图 12

2. 原子力显微镜、三坐标测量仪、柔性制造系统、加工中心

2.1 实验目的

1. 掌握原子力显微镜的工作原理
2. 了解三坐标测量仪的工作原理
3. 了解柔性制造系统组成及功用

2.2 实验要求

1. 熟悉和掌握原子力显微镜的工作原理。
2. 熟悉和了解三坐标测量仪的工作原理。
3. 熟悉和了解柔性制造系统组成及功用。

2.3 实验主要仪器设备

1. 原子力显微镜
2. 三坐标测量机
3. 柔性制造系统

2.4 实验原理

2.4.1 原子力显微镜的工作原理简介

原子力显微镜的基本原理是：将一个对微弱力极敏感的微悬臂一端固定，另一端有一微小的针尖，针尖与样品表面轻轻接触，由于针尖尖端原子与样品表面原子间存在极微弱的排斥力，通过在扫描时控制这种力的恒定，带有针尖的微悬臂将对应于针尖与样品表面原子间作用力的等位面而在垂直于样品的表面方向起伏运动。利用光学检测法或隧道电流检测法，可测得微悬臂对应于扫描各点的位置变化，从而可以获得样品表面形貌的信息。下面，我们以激光检测原子力显微镜（Atomic Force Microscope Employing Laser Beam Deflection for Force Detection, Laser-AFM）——扫描探针显微镜家族中最常用的一种为例，来详细说明其工作原理。

如图 1 所示，二极管激光器（Laser Diode）发出的激光束经过光学系统聚焦在微悬臂（Cantilever）背面，并从微悬臂背面反射到由光电二极管构成的光斑位置检测器（Detector）。在样品扫描时，由于样

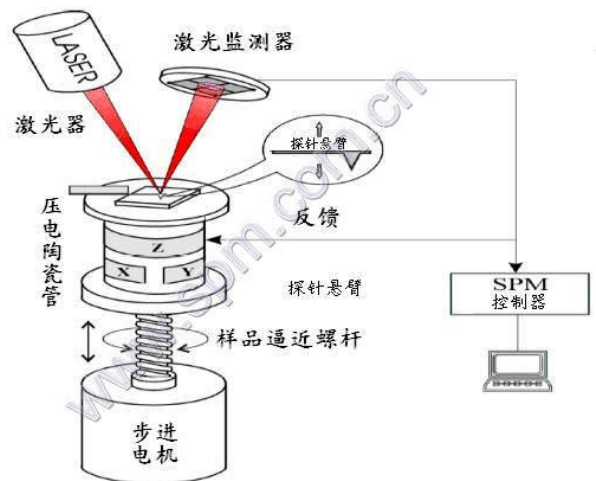


图 3. 激光检测原子力显微镜探针工作示意图

品表面的原子与微悬臂探针尖端的原子间的相互作用力，微悬臂将随样品表面形貌而弯曲起伏，反射光束也将随之偏移，因而，通过光电二极管检测光斑位置的变化，就能获得被测样品表面形貌的信息。

在系统检测成像全过程中，探针和被测样品间的距离始终保持在纳米（ 10^{-9} 米）量级，距离太大不能获得样品表面的信息，距离太小会损伤探针和被测样品，反馈回路(Feedback)的作用就是在工作过程中，由探针得到探针-样品相互作用的强度，来改变加在样品扫描器垂直方向的电压，从而使样品伸缩，调节探针和被测样品间的距离，反过来控制探针-样品

2.4.2 柔性制造系统工作原理

1、 柔性制造系统的分类

柔性制造单元

柔性制造单元由一台或数台数控机床或加工中心构成的加工单元。该单元根据需要可以自动更换刀具和夹具，加工不同的工件。柔性制造单元适合加工形状复杂，加工工序简单，加工工时较长，批量小的零件。它有较强的设备柔性，但人员和加工柔性低。

②柔性制造系统

柔性制造系统是以数控机床或加工中心为基础，配以物料传送装置组成的生产系统。该系统由电子计算机实现自动控制，能在不停机的情况下，满足多品种的加工。柔性制造系统适合加工形状复杂，加工工序多，批量大的零件。其加工和物料传送柔性大，但人员柔性仍然较低。

③柔性自动生产线

柔性自动生产线是把多台可以调整的机床(多为专用机床)联结起来，配以自动运送装置组成的生产线。该生产线可以加工批量较大的不同规格零件。柔性程度低的柔性自动生产线，在性能上接近大批量生产用的自动生产线；柔性程度高的柔性自动生产线，则接近于小批量、多品种生产用的柔性制造系统。

2、 柔性制造系统的组成

①自动加工系统 指以成组技术为基础，把外形尺寸(形状不必完全一致)、重量大致相似，材料相同，工艺相似的零件集中在一台或数台数控机床或专用机床等设备上加工的系统。

②物流系统 指由多种运输装置构成，如传送带、轨道—转盘以及机械手等，完成工件、刀具等的供给与传送的系统，它是柔性制造系统主要的组成部分。

③信息系统 指对加工和运输过程中所需各种信息收集、处理、反馈，并通过电子计算机或其他控制装置(液压、气压装置等)，对机床或运输设备实行分级控制的系统。

④软件系统 指保证柔性制造系统用电子计算机进行有效管理的必不可少的组成部分。它包括设计、规划、生产控制和系统监督等软件。柔性制造系统适合于年产量 1000~100,000 件之间的中小批量生产。

3、柔性制造系统的优点

柔性制造系统是一种技术复杂、高度自动化的系统，它将微电子学、计算机和系统工程等技术有机地结合起来，理想和圆满地解决了机械制造高自动化与高柔性化之间的矛盾。具体优点如下。

①设备利用率高。一组机床编入柔性制造系统后，产量比这组机床在分散单机作业时的产量提高数倍。

②在制品减少 80%左右。

③生产能力相对稳定。自动加工系统由一自或多台机床组成，发生故障时，有降级运转的能力，物料传送系统也有自行绕过故障机床的能力。

④产品质量高。零件在加工过程中，装卸一次完成，加工精度高，加工形式稳定。

⑤运行灵活。有些柔性制造系统的检验、装卡和维护工作可在第一班完成，第二、第三班可在无人照看下正常生产。在理想的柔性制造系统中，其监控系统还能处理诸如刀具的磨损调换、物流的堵塞疏通等运行过程中不可预料的问题。

⑥产品应变能力大。刀具、夹具及物料运输装置具有可调性，且系统平面布置合理，便于增减设备，满足市场需要。

2.4.3 三坐标测量仪的工作原理

Z00 小型三坐标测量机是由测量机体、测量系统、控制系统和数据处理系统组成。工作方式采用点位测量，即由测量机采集零件上的一系列空间点，经过计算机的运算处理，求出有这些点确定的几何元素的形状和位置，并将结果打印输出。

2.4.4 加工中心的工作原理

加工中心是备有刀库，并能自动更换刀具，对工件进行多工序加工的数字控制机床。

工件经一次装夹后，数字控制系统能控制机床按不同工序，自动选择和更换刀具，自动改变机床主轴转速、进给量和刀具相对工件的运动轨迹及其他辅助机能，依次完成工件几个面上多工序的加工。

可用驱动器输入。以上是最常用的程序输入方法。另一种方法是利用计算机和加工中心直接通信，实现零件程序的输入和输出。

进入数控装置的信息，经过一系列处理和运算转变为脉冲信号。有的信号送到机床的伺服系统，通过伺服机构进行置换和放大，再经过传动机构，驱动机床执行机构，使刀具和工件严格执行零件程序所规定

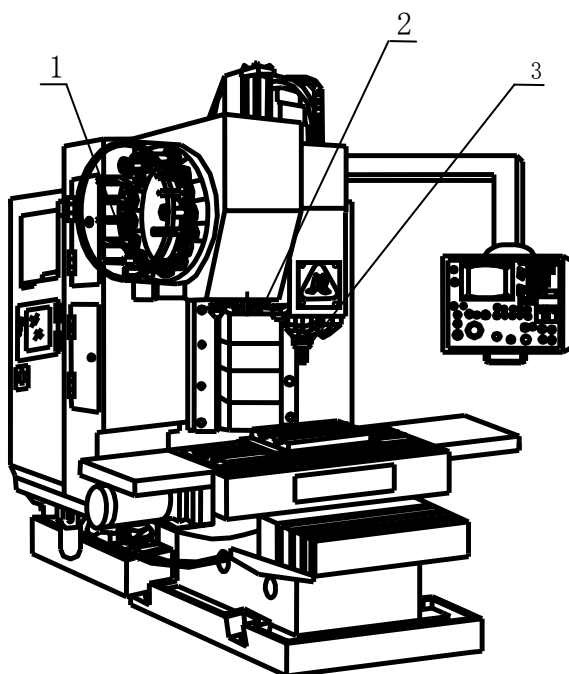
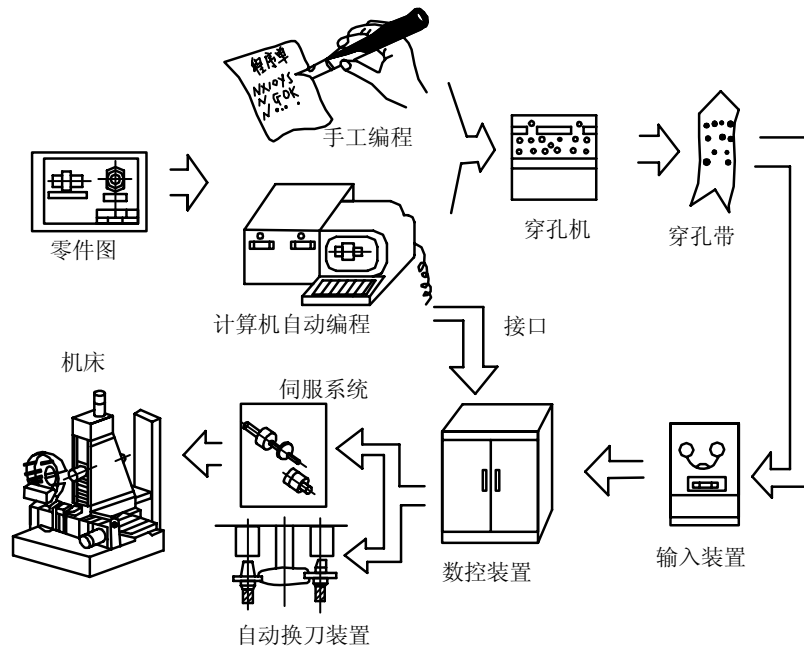


图 4 有机械手的立式加工中心
1.刀库；2.机械手；3.主轴



的相应运动。其它信号被送到可编程序控制器，用以顺序控制机床的其它辅助动作，实现刀具自动更换。

2.4.5 电火花成型加工的工作原理

电火花加工是基于工具电极和工件之间脉冲性火花放电时的电腐蚀现象蚀出多余金属，对零件进行加工的。图所示为电火花加工原理图，工具电极3和工件4都浸泡在绝缘的工作液中，并分别与直流电源或交流电源1的负极和正极相联。电源是由限流电阻R与电容器C组成的RC脉冲电路或者其他晶体管脉冲电源和可控硅脉冲电源，其作用是利用电容器C的充电和放电，将直流电转换成脉冲电流。

在接通高频脉冲电源后，当工件和工具电极的距离小于放电间隙时，便在两点间产生了电场，在电场力的作用下，大量电子高速运动并撞击工件，从而将动能转化成热能，使工件表面融化，甚至气化，局部温度可瞬时达到8000—12000

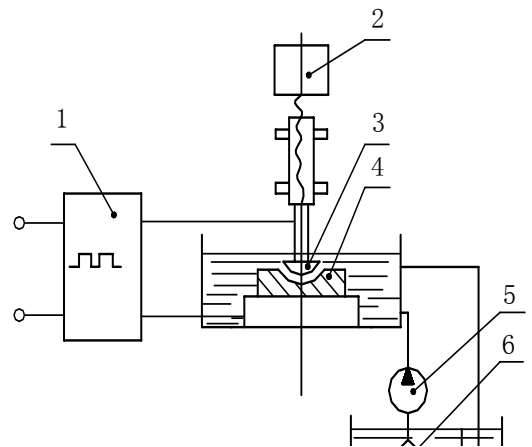


图5 加工中心工作原理示意图

图6 电火花加工原理图

1.脉冲电源；2.伺服控制系统；3.工具电极；4.工件；5.泵；6.过滤装置

°C。被融化和气化的工件微粒被工作液冷却并冲刷带走，工件表面上的金属被蚀除形成小凹坑。一次火花放电形成一个小凹坑，多次火花放电就在工件表面上形成无数个小凹坑，如图4

—2 所示。在控制系统的控制下，进给系统带动工具电极连续进给即可达到对工件的加工要求。

2.5 实验方法和步骤

1. 由教师在现场讲解柔性制造系统、原子力显微镜、三坐标测量仪、加工中心、电火花成型加工机床、虚拟轴机床等工作原理。
2. 学生观察各类设备的组成情况，分析其结构特征。
3. 结合教师的讲解深入理解以上设备的工作原理、应用场合、存在的问题和发展的趋势。

2.6 实验注意事项

1. 学生应事先预习实验报告的内容；
2. 上网查询相关的资料；

2.7 思考题

1. 原子力显微镜的工作原理？适合于检测哪些方面？
2. 三坐标测量机应用于什么样的场合？测量原理如何？
3. 柔性制造系统的组成部分有哪些？
4. 加工中心的组成以及与数控机床的区别？
5. 虚拟轴机床的概念如何？
6. 电火花成型加工的工作原理？