

先进制造技术

第一章 先进制造技术的发展及体系结构

一、制造系统的定义和内涵 (P1)

- 1、制造系统的定义：制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员组成的一个将制造资源转变为产品（含半成品）的有机过程。
- 2、三个方面的定义：
 - 1) 制造系统的结构定义：制造系统是制造过程所涉及的硬件（物料、设备、工具和能源等）、软件（包括制造理论、制造工艺和制造信息等）和人员所组成的一个具有特定功能的有机整体。
 - 2) 制造系统的功能定义：制造系统是一个输入制造资源（原材料、能源等），通过制造过程输出产品或半成品的输入输出系统。
 - 3) 制造系统的过程定义：制造系统可看出是制造生产的运行过程，包括市场分析、产品设计、工艺规划、制造装配、检验出厂、产品销售及售后服务等各个环节的制造全过程。

二、先进制造技术的内涵、技术构成及特点 (P10)

- 1、先进制造技术的定义（内涵）：先进制造技术是制造业不断吸收机械、电子、信息（计算机与通信、控制理论、人工智能等）、能源及现代化系统管理等方面的成果，并将其综合应用于产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的制造全过程，以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产，提高对动态多变的产品市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称。
- 2、先进制造技术的主要内容：
 - 1) 现代设计技术；
 - 2) 现代制造工艺技术：精密和超精密加工技术、精密成型技术、特种加工技术、表面改性、制膜和涂层技术。
 - 3) 制造自动化技术
 - 4) 现代管理技术
 - 5) 现代生产制造系统
- 3、先进制造技术的特点：
 - 1) 先进制造技术的实用性；
 - 2) 先进制造技术应用的广泛性；
 - 3) 先进制造技术的动态特性；
 - 4) 先进制造技术的集成性：制造工程；
 - 5) 先进制造技术的系统性：物质流、能量流和信息流和信息流的系统工程
 - 6) 先进制造技术强调的是实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产
 - 7) 其目的是提高对产品市场的适应能力哦和竞争能力。

三、制造业的发展趋势：制造业发展的重要特性是向全球化、网络化和虚拟化方向发展；未来先进制造技术发展的总趋势是向精密化、柔性化、智能化、集成化和全球化方向发展。

四、如何理解制造业信息化及其关键技术???

答：制造业信息化将信息技术、自动化技术、现代管理技术与制造技术相结合，可以改善制造企业的经营、管理、产品开发和生产等各个环节，提高生产效率、产品质量和企业的创新能力，降低消耗，带动产品设计方法和设计工具的创新、企业管理模式的创新、制造技术的创新以及企业间协作关系的创新，从而实现产品设计制造和企业管理的信息化、生产过程控制的智能化、制造装备的数控化以及咨询服务的网络化，全面提升我国制造业的竞争力。

制造业信息化是运用现代信息技术改造传统的制造业，在产品研制生产全过程的各个方面应用现代信息技术，深入开发、广泛利用信息资源，实现设计、制造、管理与资源配置的信息化。

关键技术：

- 1、产品设计的信息化及应用技术：产品 CAD 应用技术，支持产品创新设计的 CAD；

- 2、基于 PDM 的设计制造工程集成化技术：网络化 CAD 技术，CAD/CAE/CAPP/CAM/PDM(4CP)集成技术；
- 3、企业管理信息化技术：适合我国国情的先进实用 ERP 技术，供应链管理与客户关系管理技术；
- 4、制造过程中的信息化技术：支持企业协作与资源共享的网络化制造平台，流程工业生产过程的先进控制技术；
- 5、应用集成技术：PDM/ERP 集成技术，企业信息化应用软件集成套件及整体解决方案，基于网络的 ASP 服务。

五、 如何发展我国的先进制造技术？

答：我国面临着从计划经济向市场经济过渡和从粗放型经营向集约型经营发展的双重挑战，存在资源相对不足、环境污染严峻、科技投入不足、教育不够发达等因素。针对这些因素，发展我国先进制造技术大概有如下举措：调整产业结构，扶植中小企业，增加知识投入，发展知识经济，促进学科交叉，加强基础研究。

第二章 现代设计技术

1、现代设计技术 (P23)

1)、现代设计技术定义：以满足应市产品的质量、性能、时间、成本/价格综合效益最优为目的，以计算机辅助设计技术为主体，以知识为依托，以多种科学方法及技术为手段，研究、改进、创造产品活动过程所用到的技术群体的总称。

2)、现代设计技术的特(P87)：设计范畴的扩展化；设计手段的计算机化；设计过程的并行化、智能化；设计手段的拟实化；分析手段的精确化；多种手段综合应用；强调设计的逻辑性和系统性；进行动态多变量的优化；强调产品的环保性、宜人性；强调用户参与；强调设计阶段的质量控制；设计和制造一体化；强调产品全寿命周期最优化。

3)、现代设计技术的发展趋势：设计过程的数字化及并行设计、协同设计，面向集成制造和分布式经营管理的设计，面向环境的绿色设计，综合优化设计等获得快速应用。

2、并行设计 (P70)

1)、(并行工程) **CD**：并行设计是一种对产品及其相关过程（包括制造过程和支持过程）进行并行和集成设计的系统化工作模式，这其思想是在产品开发的初始阶段，即规划和设计阶段，就以并行的方式综合考虑其寿命周期中所有后续阶段，包括工艺规划、制造、装配、试验、经销、运输、使用、维修、保养直至回收处置等环节，降低产品成本，提高产品质量。

2)、并行设计的关键技术：

(1) 并行环境下的信息抽象与建模技术；

(2) 计算机辅助设计评价与决策——DFMA与RPM。DFMA是面向制造的设计DFM (Design For Manufacturing) 和面向装配的设计DFA (Design For Assembly) 的合称。快速原型制造技术RPM (Rapid Prototype Manufacturing)；

(3) 支持并型设计的分布式计算机环境。

3、**协同设计 (P27)**：不同的设计人员之间、不同的设计组织之间、不同的部门工作人员之间、通过全球性计算机网络实现资源共享、实时交互协同参与，合作设计，从而提高设计效率，避免不必要的重复工作。

4、**摩擦学设计 (P41)**：摩擦学设计是运用摩擦学的理论、方法、技术和数据，将摩擦和磨损减小到最低程度，从而设计出高性能、低功耗、具有足够可靠性及合适寿命的经济合理新产品。

5、**DFM (面对制造的设计)**：(P74、76)

1) **DFM**定义：该技术是在设计过程中考虑如何适应企业现有的制造条件和限制，根据存储在计算机中有关企业车间制造加工条件的数据库，自动对初步的产品设计进行可制造性检验，把检验结果反馈给设计人员，从而使他们能够不断调整和修改设计，使其满足制造条件的要求。

2) **DFM**关键技术 (P76)

- (1) 计算机辅助概念设计 CACD (Computer Aided Concept Design)
- (2) 产品可制造模型及其评价方法的研究
- (3) 并行设计过程建模
- (4) 设计试验技术

6、绿色产品设计

1) 定义 (P79)：绿色产品设计是以环境资源保护为核心概念的设计过程，它要求在产品的整个寿命周期内把产品的基本属性和环境属性紧密结合，在进行设计决策时，除满足产品的物理目标外，还应满足环境目标，以达到优化设计要求。

2) 绿色产品设计的主要内容 (P80)

- (1) 绿色产品设计的材料选择与管理
- (2) 产品的可回收性设计
- (3) 产品的可拆卸设计
- (4) 绿色产品的成本分析
- (5) 绿色产品设计数据库

3) 绿色产品设计的关键技术 (P82)

- (1) 面向环境的设计技术 DFE (Design For Environment)
- (2) 面向能源的设计技术
- (3) 面向材料的设计技术
- (4) 人机工程设计技术：以人机工程学理论为基础

第三章 先进制造工艺技术

一、先进制造工艺技术定义、发展现状与趋势 (P91)

1、先进制造工艺技术定义：先进制造工艺技术就是机械制造工艺不断变化和发展后所形成的制造工艺技术，包括了常规工艺经优化后的工艺，以及不断出现和发展的新型加工方法。其主要技术体系由先进成形加工技术、现代表面工程技术等技术构成先进制造加工技术。

2、先进制造工艺技术发展现状 (P91)

现状：加工精度不断提高、加工速度得到提高、材料科学促进制造工艺变革、重大技术装备促进加工制造技术的发展、优质清洁表面工程技术获得进一步发展、精密成形技术取得较大发展、热成形过程的计算机模拟技术研究有一定发展。

3、先进制造工艺技术的发展趋势 (P94)

趋势：从总体发展趋势看，优质、高效、低耗、灵捷、洁净是机械制造业永恒的追求目标，也是先进制造工艺技术的发展目标。21世纪，加工制造技术的热点和发展趋势大致是：先进精密超精密加工技术、特种加工技术、超高速切削及超高速磨削技术、微型机械加工技术、新一代制造装备技术及虚拟制造技术等。

二、主要的新型热加工技术 (铸造、塑性成形、焊接、现代切割技术、热处理、表面工程) 有哪些? (P95)

1、精密洁净铸造 (P95)：化学硬化砂铸造、高效金属型铸造 (包括压力铸造技术和挤压铸造技术)、消失模铸造技术 (气化膜)。

2、精确高效金属塑性成形 (P106)：超塑性成形、等温成型、辊锻技术、楔横轧技术、粉末成形等工艺。

3、优质高效焊接 (P119)：精密焊接 (激光焊接、电子束焊接、扩散焊、焊熔近终成形)、特殊环境下焊

接技术（空间焊接、水下焊接）；焊接机器人技术。

4、现代切割技术（P124）：激光切割、等离子弧切割、超声切割、高压水射流切割。

5、优质低耗热处理（P130）：真空热处理、离子热处理、激光表面和进化、热处理工艺专家系统。

6、表面工程：(P139)

1) 表面改性技术(P139)

- 等离子体表面处理：离子渗氮，离子渗碳，离子碳氮共渗，离子渗金属。
- 激光表面处理：激光表面强化，激光表面涂覆，激光表面非晶态处理，激光表面合金化，激光气相沉积。

- 电子束表面处理：电子束表面相变强化处理，电子束表面重熔处理，电子束表面合金化处理，电子束表面非晶化处理等。

- 高密度太阳能表面处理：太阳能相变硬化，太阳合金化处理，太阳能表面重熔处理。

- 离子注入表面改性

2) 表面覆层技术（P147）

- 热喷涂技术：火焰喷涂，电弧喷涂，等离子喷涂，爆炸喷涂等。

- 电火花表面涂敷、• 塑料涂敷、• 真空蒸镀、• 溅射镀膜、• 离子镀、• 化学气相沉积、• 分子束外延

- 离子束合成薄膜技术

3) 复合表面技术（P152）

- 复合表面化学热处理：多元素共渗。

- 表面热处理与表面化学热处理的复合强化处理。

- 热处理与表面形变强化的复合处理工艺。

- 镀覆层与热处理的复合处理工艺。

- 覆盖层与表面冶金化的复合处理工艺。

- 离子辅助涂覆。• 激光、电子束复合气相沉积和复合涂镀层。• 离子注入与气相沉积复合表面改性。

三、超高速加工技术（P155）

1、超高速加工技术是指采用超硬刀具磨具和能可靠地实现高速运动的高精度、高自动化、高柔性的制造设备，以极大地提高切削速度来达到提高材料切除率、加工精度和加工质量的现代制造加工技术，它是提高切削和磨削效果以及提高加工质量、加工精度和降低加工成本的重要手段。

实现超高速加工技术的的核心关键技术主要有：超高速切削、磨削机理，超高速主轴单元制造技术，超高速进给单元制造技术，超高速刀具、磨具，超高速机床支承及辅助单元制造技术，以及超高速加工测试技术等。

2、简述高速切削的特点和技术关键。（）

优点：加工时间可缩短3-5倍；提高生产效率；表面粗糙度降低；轮廓精度提高；减少抛光时间；减少辅助时间；在同一工序上即可完成粗、精加工；可直接加工淬硬材料，实现“以切代磨”；可加工很薄的薄壁；降低加工成本。

不利因素：旧的加工习惯必须抛弃；更多的设备投资；更多的刀具成本；必须格外加强操作人员的保护；培训较复杂。

技术关键：

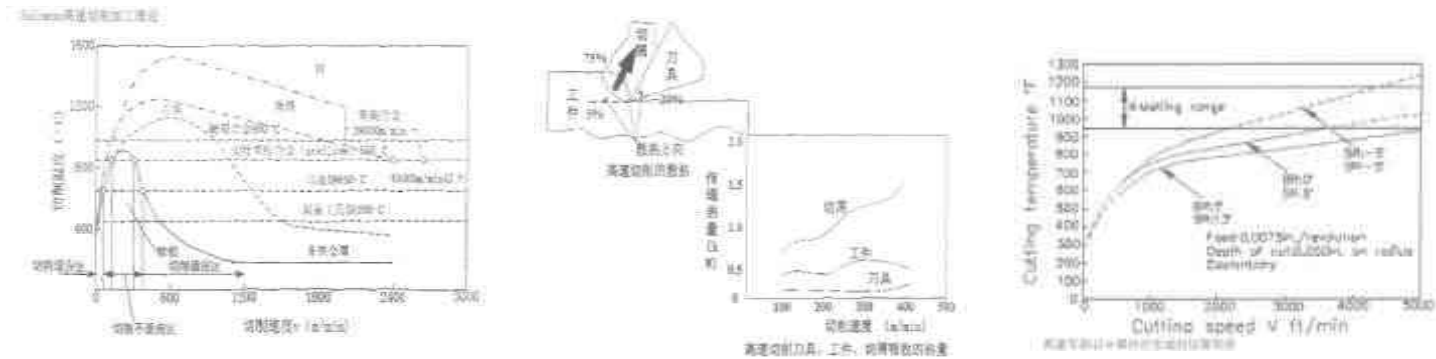
- 滚珠轴承高速主轴:转速特征值达 $1.1-2.6 \times 10^6 \text{r/min}$ ，最高回转精度可达 $0.5 \mu \text{m}$ ，• 液体静压轴承高速主轴:转速特征值可达 1×10^6 ，轴径为30mm的主轴，其最高转速可达30000r/min以上

- 空气静压轴承高速主轴:转速特征值可达 $2.7 \times 10^6 \text{r/min}$ ，回转误差在50nm以下，最高转速可达100000r/min。采用金刚石刀具可以进行镜面铣削，加工各种复杂的高精度形面。

- 磁浮轴承高速主轴:转速特征值达 $4 \times 10^6 \text{r/min}$ ，是滚珠轴承主轴的两倍，如主轴最高转速相同，则磁浮主轴可采用较大轴径，有较高刚性（约为滚珠轴承主轴的10倍）和较大承载能力。回转精度可达 $0.2 \mu \text{m}$ 。

- 驱动电机高速化

3、分析超高速切削时切削力和切削温度的变化特点。(P159)



萨洛蒙指出：在常规的切削速度范围内，切削温度随切削速度的增大而提高，但是，当切削速度达到某一数值 V_e 之后，切削速度再增加，切削温度反而降低； V_e 之值与工件材料有关，对每种工件材料，存在一个速度范围，在这个速度范围内，由于切削温度太高，任何刀具都无法承受，切削加工不可能进行，这个范围被称之为“死谷”。如果切削速度能越过“死谷”在高速区工作，则有可能用现有刀具进行超高速切削，切削温度与常规切削基本相同，从而大大减少切削工时，大幅度提高机床生产效率。

随着切削速度的提高，切屑形式依次为：弧形切屑、垫圈型螺旋切屑、条状切屑、短条切屑、碎断切屑。

4、简述超高速主轴单元制造技术的关键技术 (P161)

超高速主轴单元制造技术的关键技术有：超高速主轴材料、结构、轴承的研究与开发，超高速主轴系统动态特性及热态特性研究，柔性制造主轴及其轴承的弹性支承技术的研究，超高速主轴系统的润滑与冷却技术研究，以及超高速主轴系统的多目标优化设计、虚拟设计技术研究。

5、高速切削对机床的要求

- 1) 主轴转速高、功率大。一般都大于 10,000 r/m，有的高达 60,000—100,000 r/m，为常规机床的 10 左右；主电机功率为 15—80 Kw。
- 2) 进给量和快速行程速度高。高达 60-100 m/s 以上，是常规值的 10 倍左右。
- 3) 主轴和工作台运动都要有极高的加速度。
- 4) 机床要有优良的静、动态特性和热特性。
- 5) 要有其他配合高速度的部件，如快速刀具交换、快速工件交换以及快速排屑等装置以及高速下的安全保护、监测措施等。

6、超高速加工用刀具 (P163)

1)、高速切削对刀具材料的要求：高硬度、高强度和耐磨性；高热硬性、良好化学稳定性；高韧度、良好耐热冲击性。

2)、目前，高速切削加工常用刀具材料有：聚晶金刚石 (PCD) 材料、立方氮化硼 (CBN) 材料、陶瓷刀具 (Al_2O_3 、 Si_3N_4)、金属陶瓷、涂层刀具、超细晶粒硬质合金、粉末冶金高速钢等。

3)、高速切削用刀具特点：

(1) **PCD**的特点：精加工铝合金，有色金属及非金属材料，可获得优良的表面质量高耐磨性及优良的热传导性能，使刀片在高速切削时使用寿命延长不适用于加工钢与铸铁

(2) **CBN**的特点：适用于加工难切削材料，如烧结金属，淬硬钢及超耐热合金，可节约加工成本，缩短工序，优良的加工表面质量，高速切削淬硬钢时可大大提高生产效率，适用于高速切削铸铁。

(3) 陶瓷刀具的特点：优良的红硬性，适用于高速切削；适用于加工淬硬材料及其他难加工材料低的化学亲和性；高耐磨性使刀具寿命更长优良的加工表面质量

(4) 金属陶瓷的特点：在高温高硬度下可用高速切削、优良的抗氧化性，刀具寿命更长、切削速度范围广。

7、高速磨削

1) 高速磨削的特点：磨削速度高、在材料去除率不变的条件下，可降低单一磨粒的切削深度，从而减小磨削力，降低表面粗糙度，提高生产效率。

高速磨削的材料去除率与车、铣削相当，既可精加工，也可粗加工，大大减少机床种类，“以磨代削”降低生产成本。

2) 高速磨削的技术关键：(1) 高速主轴：滚珠轴承高速主轴，液体静压轴承高速主轴，空气静压轴承高速主轴，磁浮轴承高速主轴，电主轴；(2) 磨床结构：尽可能组合多种磨削功能，实现在一台磨床上完成全部的磨削工序；高动态精度、高阻尼、高抗震性和热稳定性；高自动化和可靠的磨削过程；(3) 高速磨削砂轮：砂轮基体的机械强度必须承受高速磨削时的磨削力；高速磨削时的安全可靠；外观锋利，磨粒（立方氮化硼与金刚石）突出高度大，以便容纳大量的长切屑；结合剂（多孔陶瓷和电镀镍）必须具有很高的耐磨性，以减少砂轮磨损。(4) 冷却润滑系统：冷却润滑液要求：较高的热容量和导热率，以提高冷却效率；能承受较高的压力；良好的过滤性能，防腐蚀性和附着力；较高的稳定性，不起泡，不变色；对健康无害，易于清洗；有利于保护环境，易于处理。

四、超精密加工技术 (P166)

1、精密加工：加工精度在 $10\sim 0.1\mu\text{m}$ ，表面粗糙度 R_a 在 $0.3\sim 0.8\mu\text{m}$ 的加工技术，如金刚车、金刚镗、研磨、超精细加工、砂带磨削、镜面磨削和冷压加工等。适应于精密机床、精密测量仪器等产品的关键零件加工，如精密丝杠、精密齿轮、精密蜗轮、精密导轨和精密轴承等。

2、超精密加工：加工精度在 $0.1\sim 0.01\mu\text{m}$ ，表面粗糙度 R_a 在 $0.03\sim 0.05\mu\text{m}$ 的加工技术，如金刚石刀具超精密切削、超精密磨料加工、超精密特种加工和复合加工等，使用于精密元件、计量标准元件、大规模和超大规模集成电路的制造，目前超精密加工的精度正处在亚纳米级工艺，正在向纳米级工艺发展。

3、纳米加工：加工精度高于 $0.001\mu\text{m}$ ，表面粗糙度 R_a 小于 $0.005\mu\text{m}$ 的加工技术。其加工方法大多已不是传统的机械加工方法，而是注入原子分子单位加工等方法。

4、纳米技术：是指纳米级 ($0.1\text{nm}\sim 100\text{nm}$) 的材料、设计、制造、测量、控制和产品的技术。

纳米技术的主要内容：1) 纳米测量技术；2) 纳米级加工技术；3) 纳米级器件；4) 纳米材料；5) 微型机械和微型机电系统；6) 纳米生物学。

5、超精密磨削和磨料加工技术 (P171-175)：

超精密磨削和磨料加工是利用细粒度的磨粒和微粉主要对黑色金属、硬脆材料等进行加工，可分为固结磨料和游离磨料两大类加工方式。其中固结磨料加工主要有：超精密砂轮磨削和超硬材料微粉砂轮磨削、超精密砂带磨削、ELID 磨削（电解在线修整超精密镜面磨削）、双端面精密剥削以及电泳磨削等。

6、简述游离磨料的高效加工工艺。(P173)

游离磨料加工是指在加工时，磨料或微粒不是固结在一起，呈游离状态。其典型方法有超精密研磨和抛光加工。研磨是在被加工表面和磨具之间置以游离磨料和润滑液，使被加工表面和磨具产生相对运动并加压，磨料产生切削、挤压作用，达到改善表面质量效果。超精密抛光主要指磨粒的挤压使工件表面产生塑性变形。

7、超精密加工装备的特点 (P176)

高精度、高刚度、高稳定性、抗振性好、控制好。

五、微型机械加工技术 (P177)

1、简述微型机械加工技术的关键技术 (P181)

微型机械加工技术是微型机械发展的关键基础技术，其包括微型机械设计技术、微细加工技术、微型机械组装和封装技术、微系统的表征和测量技术及微系统集成技术。

2、光刻技术 (P181)

光刻加工是用照相复印的方法将光刻掩膜上的图像印制在涂有光致抗蚀剂（光刻胶）的薄膜或基材表面，然后进行选择性腐蚀，刻蚀出规定的图形。光刻工艺的基本过程包括涂胶、曝光、显影、坚膜、腐蚀、去胶。

3、LIGA 技术 (P183)

LIGA 技术是一种由半导体光刻工艺派生出来的采用光刻方法一次生产三维空间微机械构件的方法。技术机理是由深层 X 射线光刻、电铸成形及塑铸成形三个工艺组成。（在用 LIGA 技术进行光刻过程中，一张预先制作的模板上的图形被映射到一层光刻掩膜上，掩膜中被光照部分的性质发生变化，在随后的冲洗过程中被溶解，剩余的掩膜即是待生成的微结构的负体，在接下来的电镀成形过程中，从电解液中析出来

的金属填充到光刻出的空间而形成金属微结构)。工艺过程由 X 光掩膜板的制作、X 光深光刻、光刻显影、电铸成形、塑模制作、塑模脱模成形等组成。

六、简述电火花、激光束、电子束、离子束(P195)、高压水射流加工(P128)的原理与特点。

1、电火花加工原理：在一定液体介质中，利用脉冲放电对到点材料的电蚀现象来去除材料的加工方法。

电火花加工的特点：1) 可加工五高(高强度、高硬度、高韧性、高脆性和高纯度)导电材料；2) 加工时无明显机械力，适用于低刚度工件和微细结构的加工；3) 脉冲参数可调节，可在同一台机床上进行粗加工、半精加工和精加工；4) 电火花加工后的表面呈现凹坑，有利于贮油和降低噪声；5) 效率低于切削加工；6) 放电过程中有部分能量消耗在工具电极上，损耗电极，影响精度。

2、激光束加工的原理：工作介质(固体或气体)受光泵激发后辐射产生的加强光，经光学系统聚焦至几十至几微米的绩效光斑，获得极高的能量密度，依靠光热效应加工。(工件在光热效应下产生的高温熔融和冲击波的综合作用过程)

激光束加工的特点：1) 它属于高能束流加工，不存在工具磨损更换问题；2) 几乎可以加工任何材料；3) 属非接触加工，无明显机械力；4) 加工速度快，热影响区小；5) 易实现加工过程自动化；6) 可通过玻璃、空气及惰性气体等透明介质加工；7) 输出功率大小可调，可用于精密微细加工；8) 加工时不产生振动噪声，加工效率高。

3、电子束加工原理：由电子枪射出的电子束经过电磁透镜聚焦后轰击工件表面，形成局部高温，使材料瞬时熔化和汽化，从而达到材料去除、连接或改性的目的。

电子束加工的特点：1) 可实现极其微细的聚焦，可实现亚微米和毫微米级的精密微细加工；2) 电子束加工主要靠瞬时热效应，工件不受机械力作用，不产生宏观应力和变形；3) 加工材料范围广；4) 加工效率高；5) 真空加工无污染，加工表面不易氧化；6) 成套设备价格昂贵。

4、离子束加工原理：真空腔内，惰性气体如氩气在高速电子的撞击下被电离成离子，加速后的离子束撞击在工件表面上，引起材料变形、破坏和分离。

离子束加工的特点：1) 加工主要靠离子束的微观机械撞击，可实现纳米级的加工；2) 真空加工污染少，特别适宜加工易氧化的材料；3) 加工应力小，热变形小，加工表面质量高；4) 设备费用高、成本高，加工效率低。

5、高压水射流加工原理(P128)：利用水或水中添加剂的液体，经水泵至增压器，再经贮液蓄能器使高压液体流动平稳，最后由金刚石喷嘴形成 300-900m/s 的高速液体束流，喷射到工件表面，从而达到去除材料的目的。

高压水射流加工的特点：1) 加工精度较高，切边质量较好；2) 工件切缝很窄，喷嘴寿命非常耐久，喷嘴和加工表面无机械接触，能实现高速加工；3) 加工产物混入液体排出，故无灰尘、无污染，加工区域温度低，不产生热量，适于木材、纸张、皮革等材料的加工；4) 设备维护简单，操作方便，可灵活地任意选择加工起点和部位，可通过数控，容易地进行复杂形状的自动加工。

七、虚拟轴机床(P203)：虚拟轴机床(Virtual Axis Machine Tool)又称并联机床、六条腿机床或称 Stewart 机床，这种机床由并联杆系构成，通过控制杆系中杆的长度使杆系支撑的平台获得相应自由度的运动。杆系(六杆、三杆以及二杆)机床具有高刚度、低运动质量、高动态性能和构造简单、制造方便的优越性的特点。

八、快速原型/零件制造技术(RPM : Rapid Prototype/Part Manufacturing)(P208)

1、快速原型制造技术(RPM)(P208)：是由 CAD 模型直接驱动的快速制造任意形状的三维实体的技术总称。

是综合利用 CAD 技术、数控技术、材料科学、机械工程、电子技术及激光技术的技术集成以实现从零件设计到三维实体原型制造一体化的系统技术。RPM 技术采用(软件)离散/(材料)堆积的原理而制造零件，通过离散获得堆积的顺序、路径、限制和方式，通过堆积材料“叠加”起来形成三维实体。

2、特征：1) 可以制造任意复杂三维几何实体；2) CAD 模型直接驱动；3) 成型设备无需专用夹具或工具；4) 成形过程中无人干预或较少干预。

应用领域：基于 RPM 快速制造模具、快速制造金属原型零件。

3、快速原型技术采用离散堆积成型的原理，其过程是：先由三维 CAD 软件设计出所需要零件的计算机

三维曲面或实体模型（亦称电子模型），然后根据工艺要求，将其按一定厚度进行分层，把原来的三维电子模型变成二维平面信息（截面信息），即离散的过程；再将分层后的数据进行一定的处理，加入加工参数，产生数控代码，在微机控制下，数控系统以平面加工方式有序地连续加工出每个薄层并使它们自动粘接而成形，这就是材料堆积的过程。

4、RPM 技术的主要方法-5 类方法：1) 选择性液体固化；2) 选择性层片粘接；3) 选择性粉末熔结粘接；4) 挤压成形；5) 喷墨印刷。

1) 选择性固化原理：将激光聚集到液态材料（如光固化树脂）表面，令其有规律地固化，由点到线到面，完成一个层面的建造，而后升降移动到一个层片厚度的玻璃，重新覆盖一层液态材料，再建造一个层面，由此层层迭加成为一个三维实体。该方法的典型实现工艺有立体光刻（SL, Stereolithography），实体磨固化（DGC, Solid Ground Curing），激光光刻（LS, Lith Sculpting），总的来说，都以选择性固化液体树脂为特征。

2) 选择性层片粘接原理：采用激光或刀具对箔进行切割。首先切割出工艺边框和原型的边缘轮廓线，而后将不属于原型的材料切割成网络状。通过升降平台的移动和箔材的送给可以切割出新的层片并将其与先前的层片粘接在一起，这样层层迭加后得到下一个块状物，最后将不属于原型的材料小块剥除，就获得所需的三维实体。层片添加的典型工艺是分层实体制造（LOM, Laminated Object Manufacturing）。这里所说的箔材可以是涂覆纸（涂有粘结剂覆层的纸），涂覆陶瓷箔、金属箔或其他材质基的箔材。

3) 选择性粉末熔结粘接原理：对于由粉末铺成的有良好密实度和平整度的层面，有选择地直接或间接将粉末融化或粘接，形成一个层面，铺粉压实，再熔结或粘接成另一个层面并与原层面熔结或粘接，如此层层叠加为一个三维实体。索寞直接熔结是将粉末直接融化而链接；间接熔结是指仅融化粉末表面的粘结涂层，以达到互相粘结的目的。粘结则是指将粉末采用粘接剂粘接。其典型工艺有选择性激光烧结（SLS, Selective Laser Sintering）和三维印刷（3DP, 3D Printing）等。

4) 挤压成形原理：将热熔性材料（ABS、尼龙或蜡）通过加热容器融化，挤压喷出并堆积一个层面，然后将第二个层面用同样的办法建造出来，并与前一个层面熔结在一起，如此层层堆积而获得一个三维实体。采用熔融挤压成形的典型工艺为熔融沉积成形（FDM, Fused Deposition Modeling）。

5) 喷墨印刷原理：Ink-Jet Printing 是指将固体材料熔融，采用喷墨打印原理（气泡法和晶体振荡法）将其有序地喷出，一个层面由一个层面的堆积建造而成一个三维实体。

5、RPM 的发展趋势：1) 不同制造目标相对独立发展；2) 向大型制造与微型制造进军；3) 要求 RPM 有更快的制造速度、更高的制造精度、更高的可靠性；4) RPM 设备的使用外设操作智能化，使 RPM 设备的安装和使用变得非常简单，不需要专门的操作人员；5) RPM 行业标准化，并且整个产品制造系统相融合。

6、典型的快速原型制造技术有哪几种？分别简述他们的工作原理。（P209）

典型的快速原型制造技术主要有立体印刷、分层实体制造、选择性激光烧结和熔融沉积成形。

1) 立体印刷（SLA, Stereolithography apparatus），又称立体光刻，光造型。液槽中盛满液态光固化树脂，它在一定剂量的紫外激光照射下就会在一定区域内固化。成形开始时，工作平台在液面下，聚焦后的激光光点在液面上按计算机的指令逐点扫描，在同一层内逐点固化。当一层扫描完成后被照射的地方就固化，未被照射的地方仍然是液态树脂。然后升降架带动平台再下降一层高度，上面又布满一层树脂，以便进行第二层扫描，新固化的一层牢固地粘在前一层上。如此重复直到三维零件制作完成。

2) 分层实体制造（LOM, Laminated Object Manufacturing），根据零件分层几何信息切割箔材和纸等，将所获得的层片粘接成三维实体。首先铺上一层箔材，然后用 CO₂ 激光在计算机的控制下切出本层轮廓，非零件部分全部切碎以便于去除。当本层完成后，再铺上一层箔材，用滚子碾压并加热，以固化粘结剂，使新铺上的一层牢固地粘接在已成形体上，再切割该层的轮廓，如此反复直到加工完毕。最后去除切碎部分以得到完整的零件。

3) 选择性激光烧结（SLS, Selective Laser Singtering），SLS 采用 CO₂ 激光器，使用的材料多为粉末材料。现在工作台上铺上一层粉末，用激光束在计算机控制下有选择的进行烧结（零件的空心部分不烧结，仍未粉末材料），被烧结部分便固化在一起构成零件的实心部分。一层完成后再进行下一层，新一层与其上一层被牢牢的烧结在一起。全部烧结完成后，去除多余的粉末，便得到烧结成的零件。常采用的

材料为尼龙、塑料、陶瓷和金属粉末。

4) 熔融沉积成形 (FDM, Fused Deposition Modeling), 它是一种不使用激光器的加工方法, 技术关键在喷头, 喷头在计算机控制下作 X-Y 联动扫描及 Z 向运动, 丝材在喷头中被加热并略高于其熔点。喷头在扫描运动中喷出熔融的材料, 快速冷却形成一个加工层并与上一层牢牢连接在一起。这样层层扫描便形成一个空间实体。

第四章 制造自动化技术

一、 数控技术 (CNC) (P242)

1、 数控技术 (P242): 指用数字化信号 (记录在媒介上的数字信息及数字指令) 对设备运行及其加工过程进行控制的一种自动化技术, 它是一种可编程的自动控制方式, 它所控制的量一般是位置、角度、速度等机械量, 也有温度、压力、流量、颜色等物理量。

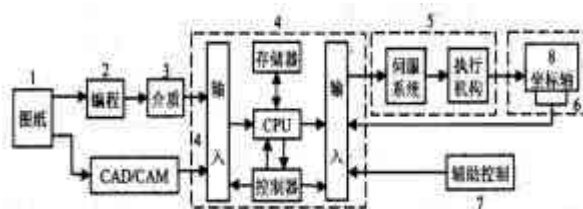
2、 计算机数控系统由哪几部分组成? 各部分的功用是什么?

1 为加工零件的图样, 作为数控装置工作的原始数据;

2 为程序编制部分;

3 为控制介质, 存储加工零件所需要的全部操作信息;

4 为数控系统, 它是数控机床的核心环节。数控系统的作用是接收介质输入的信息, 经过处理运算后控制机床运行。



5 为伺服驱动系统, 它包括伺服驱动电路 (伺服控制线路、功率放大线路) 和伺服电动机等驱动机构, 作用是把数控装置发来的速度和移位指令 (脉冲信号) 转换成执行部件的进给速度、方向和位移。

6 为坐标轴或执行机构的测量装置。前者用以测量坐标轴的实际位置, 并将测量结果反馈到数控系统 (或伺服系统), 形成全闭环控制。后者用以测量执行伺服电动机轴的位置, 并予以反馈, 形成半闭环控制。

7 为辅助控制单元, 用以控制其他部件的工作。

8 为坐标轴 (如工作台轴)。

3、 简述 CNC 装置/技术的插补原理 (P250、252)。

插补运算是为了控制加工运动轨迹所必要的一种运算。插补的任务是在一条已知的起点和终点的曲线上进行 “数据点的密化”。插补运算根据数控语言 G 代码提供的轨迹类型 (直线、顺圆或逆圆) 及所在的象限、平面等选择相应的插补运算公式, 保证在一定精度范围内计算出一段直线或圆弧的一系列中间点的坐标值, 并逐次以增量坐标值或脉冲序列形式给出, 使伺服电机以一定速度移动, 控制刀具按预定的轨迹加工。

插补运算就是 CNC 系统根据输入的基本数据, 如直线终点坐标、圆弧起点、圆心、终点坐标值、进给速度等, 通过计算, 将工件轮廓形状描述出来, 边计算边根据计算结果向各坐标发出进给指令。

数控机床常用的插补原理从产生数学模型来分, 有直线插补/二次插补/曲线插补/样条插补等。从基本原理分: 以区域判别为特征的逐点比较法插补, 以比例乘法为特征的数字脉冲乘法器插补, 以数字积分法进行运算的数字积分插补, 以矢量运算为基础的矢量判别法插补, 以速度运算为基础的时间分割法以及兼备逐点比较法和数字积分特征的比较积分法插补等。在 CNC 系统中, 除采用上述各种插补原理外, 还可以采用扩展积分法等插补方法。

二、 柔性制造技术 (P279)

1、柔性制造技术（FMT, Flexible Manufacturing Technology）定义：是集数控技术、计算机技术、机器人技术以及现代生产管理技术为一体的现代制造技术。

我国定义：由数控加工设备、物料运储装置和计算机控制系统等组成的自动化制造系统，它包括多个柔性制造单元，能根据制造任务或生产环境的变化迅速进行调整，以适宜于多品种、中小批量生产。

柔性制造技术是现代先进制造技术的统称。柔性制造技术集自动化技术、信息技术和制作加工技术于一体，把以往工厂企业中相互孤立的工程设计、制造、经营管理等过程，在计算机及其软件和数据库的支持下，构成一个覆盖整个企业的有机系统。

2、柔性制造系统的组成：多工位数控加工系统、自动化的物料储运系统和计算机控制的信息系统。

第五章 先进制造生产模式

一、敏捷制造（AM, Agile Manufacturing）（P318）：是利用先进制造技术和信息技术对市场的变化做出快速响应的一种生产方式，通过可重用、可重组的手段与动态的组织结构和高素质工作人员的集成，获得企业的长期经济效益。它是一种提高企业竞争能力的全新制造组织模式。

基本原理：采用标准化和专业化的计算机网络和信息集成基础结构，以分布式结构连接各类企业，构成虚拟制造环境；以竞争合作为原则在虚拟制造环境内动态选择成员，组织面向任务的虚拟公司进行快速生产；系统运行目标是最大限度满足客户的要求。

二、智能制造系统（IM, Intelligent Manufacturing）（P281、P328）：是一种由智能机器人和人类专家共同组成的人机一体化智能系统。它在制造过程中能进行智能活动，诸如分析、推理、判断、构思和决策等。智能制造技术的宗旨在于通过人与智能机器的合作共事，去扩大、延伸和部分地取代人类专家在制造过程中的脑力劳动。同时，手机、存贮、完善、共享、继承和发展人类专家智能。

三、绿色制造（GM, Green Manufacturing）（P334）：是一个综合考虑环境影响和资源效率的现代制造模式，其目标是使产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个产品生命周期中，对环境的影响（副作用）最小，资源效率最高。

绿色制造实施的主要内容：关键是绿色设计，它包括绿色材料、绿色工艺、绿色包装和绿色处理。

四、全能制造系统（HMS, Holoson Manufacturing）（P331）：意思是全能的，整体是可以分解为局部的。它有两个含义：一是如果一个复杂系统由若干个简单系统组成，这个系统将比全新设计的一个系统更快和更稳定；二是整体和局部是相对的，一台机器可以看成整体，但对企业来说，它又是局部。全能制造的要点就是建立一个高度分布的制造系统的体系结构，它由一系列标准的、半标准的、独立的、协作的智能模块组成。它适用于整个制造系统，也适用于某种制造手段。

五、现代集成制造系统（CIMS, Contemporary Integrated Manufacturing System）：是一种组织、管理、企业生产的新哲理，借助计算机，综合应用现代管理、制造、信息、自动化、系统技术，将企业生产全部过程中有关人、技术、经营管理三要素，机器信息物流与物质流有机的集成并优化运行，实现产品高质、低耗、上市快、服务好，从而使企业赢得市场竞争。

六、计算机集成制造（CIMS, Computer Integrated Manufacturing System P338）：是应用现代管理、制造、信息自动化、系统技术于一体的系统工程。CIMS 的核心在于集成，在于企业内的人、生产经营和技术这三者之间的信息集成，以便在信息集成的基础上使企业组成一个统一的整体，保证企业内的工作流程、物质流和信息流畅通无阻。

七、ERP 企业资源计划（P342）：ERP 是英文 Enterprise Resource Planning(企业资源计划)的简称。ERP 系统是指建立在信息技术基础上，以系统化的管理思想，把客户需求和企业内部的生产活动，以及供应商的制造资源整合在一起，为企业决策层及员工提供决策运行手段的管理平台，体现了完全按用户需求制造的思想。其核心思想是将制造业企业的制造流程看做是一个紧密链接的供应链。

八、虚拟制造（VM, Virtual Manufacturing P345）

1、 虚拟制造(VM, P345): 是以信息技术、仿真技术、虚拟现实技术为支持, 在产品设计或制造系统的物理实现之前, 就能使人体体会或感受到未来产品的性能或者制造系统的状态, 从而可以做出前瞻性的决策和优化实施方案的新的制造技术。

2、 虚拟制造的作用: 1) 运用软件对制造系统中的五大要素(人、组织管理、物流、信息流、能量流)进行全面仿真, 使之达到了前所未有的高度集成, 为先进制造技术的进一步发展提供了更广大的空间, 同时也推动了相关技术的不断发展和进步; 2) 可加深人们对生产过程和制造系统的认识和理解, 有利于对其进行理论升华, 更好的指导实际生产, 即对生产过程、制造系统整体进行优化配置, 推动生产力的巨大跃升。3) 在虚拟制造与现实制造的相互影响和作用过程中, 可以全面改进企业的组织管理工作, 而且对正确作出决策有不可估量的作用。4) 虚拟制造技术的应用将加快企业人才的培养速度。

3、 虚拟制造的类别: 1) 以设计为中心的 VM; 2) 以生产为中心的 VM; 3) 以控制为中心的 VM;

4、 虚拟制造的技术特征 (P346): 交互性、沉浸性、想象力

5、 虚拟制造的体系结构 (P346): 1) 虚拟制造技术 VMT (Virtual Manufacturing Technology): VMT 是以计算机支持的仿真技术为前提, 对设计、制造等生产过程进行统一建模, 在产品设计阶段, 适时地、并行地模拟出产品未来制造全过程及其对产品设计的影响, 预测产品性能、产品制造技术、产品的可制造性、产品的可装配性, 从而更有效、更经济、柔性灵活的组织生产, 以提高产品生产效率和质量, 降低产品开发周期和生产成本的综合系统知识。2) 虚拟企业 (VE, Virtual Enterprise): 是虚拟制造环境下的一种企业生产模式和组织模式, 是一种企业的合作伙伴关系, 这些企业以快速响应市场机遇的快速配套、多重关系的网络形式所组成。3) 系统集成: 综合建模和仿真、虚拟企业中产生的信息、并以数据、知识和模型的形式, 建立交互通信的网络体系, 支持分布式的、不同计算机平台和开放式的虚拟制造环境。

6、 虚拟制造的关键技术 (P348): 1) 计算机及虚拟现实 (VR, Virtual Reality) 技术, 包括人一机接口、软件技术、虚拟现实计算机平台。2) 制造应用技术, 包括建模、仿真、可制造性评估。

九、分散化网络制造系统 (DNPS, Dispersed Network Production System, P348)

1、定义 (P349): 分散网络化制造系统是利用不同地区现有的生产资源, 把他们迅速组合为一种没有围墙的、超越空间约束的、靠电子手段联系的、统一指挥的经营实体, 以便快速推出高质量、低成本的产品。

2、组成 (P349): 由企业内联网和企业外联网、系统集成、数据库技术、系统安全和防火墙技术、网络和通信技术等支撑组成。

3、类型: 一主多从型、专有技术型、动态联盟型。

4、关键技术 (P350): 制造企业信息网络、快速产品设计和开发网络、由独立制造岛组成的产品制造网络、全面质量管理和用户服务网络、电子财务网络、制造工程信息的通道。