



先进制造技术

教学目的与要求：

- 1. 了解先进制造工艺技术。
- 2. 了解自动化制造系统。
- 3. 了解工业机器人。
- 4. 了解先进制造模式。
- 5. 了解先进制造系统投资项目评价。

教学内容：

- 1. 先进制造工艺技术。
- 2. 自动化制造系统。
- 3. 工业机器人。
- 4. 先进制造模式。
- 5. 先进制造系统投资项目评价。

先进制造技术的主要特征

1. 先进制造技术不是一项具体的技术，而是一项综合系统的技术。
2. 先进制造技术的先进性是建立在不断地汲取其他相关领域新技术的基础上的，是动态的、相对的。
3. 创新是先进制造技术的灵魂，并贯穿于制造全过程（产品创新、生产工艺过程创新、生产手段创新、管理创新、组织创新及市场创新）。
4. 技术与管理的结合是先进制造技术的一个突破，对市场变化做出更敏捷的反应及对最佳技术经济效益的追求，使先进制造技术十分重视生产过程组织管理体制的合理化和最佳化。

5. 市场和工业界的需求是先进制造技术的出发点与归宿，是先进制造技术的动力和目标。先进制造技术成果的成败取决于生产检验，企业是先进制造技术的创新主体。

先进制造技术的核心是优质、高效、低耗、清洁、灵活等基础制造技术，其最终的目标是要提高对动态多变的产品市场的适应能力和竞争能力。

发展先进制造技术是当前世界各国发展国民经济的主攻方向和战略决策，同时又是一个国家独立自主、繁荣富强、经济持续稳定发展、科技保持先进领先的长远大计。

先进制造技术的研究领域：

1. 现代设计技术
2. 先进制造工艺技术
3. 自动化技术
4. 系统管理技术

第一节 先进制造工艺技术

一、超精密加工

精密与超精密加工是一个十分广泛的领域，它包括了所有能使零件的形状、位置和尺寸精度达到微米和亚微米范围的机械加工方法。

1. 金刚石精密切削

金刚石具有无与伦比的硬度，是最佳的切削刀具材料。用金刚石刀具进行精密切削，主要用来加工无氧铜、铝合金、黄铜、非电解镍等有色金属和某些非金属材料。

金刚石精密切削用于加工陀螺仪、天文望远镜的反射镜、激光切割机床中的反射镜等；也可以加工计算机磁盘、激光打印机的多面镜、录像机的磁头、复印机的硒鼓。

2. 镜面磨削

当磨削后的工件表面反射光的能力达到一定程度时，该磨削过程被称为镜面磨削。镜面磨削的工件材料有脆性材料、金属材料。

日本东京大学理化研究所发明了电解在线修整磨削法ELID(Electrolytic In-Process Dressing)。ELID磨削方法最适合于加工平面，磨削后的工件表面粗糙度可达1nm的水平，即使在可见光范围内，这样的表面确实可以作为镜面来使用。

ELID磨削的生产率远远超过常规的抛光加工，故在许多应用场合取代了抛光工序。ELID也可用于加工其他几何形状如球面、柱面和环面等。

二、超高速加工

通常把切削速度比常规高5~10倍以上的切削叫做超高速切削。

如车削700~7000m/min;

铣削300~6000m/min;

钻削200~1100m/min;

磨削150~360m/s。

在高速铣削时，进给速度随切削速度的提高相应提高5~10倍，单位时间材料切削率可增加6倍。

超高速切削目前主要用于飞机、汽车及模具工业。飞机制造工业中的轻合金零件特别适合采用超高速切削。

三、微型机械加工

在机械装置的小型化过程中出现两类机械，小型机械和微型机械。可以这样划分：10~1mm为小型机械，用精密加工的方法可以制造出来；1mm~1 μ m为微型机械，需要细微加工技术方法才能制造出来；1 μ m~1nm为纳米机械，是分子级的零件，需要采用生物工程技术制造。

微型机械是指集微型机构、微型传动器以及信号处理和电路，甚至外围接口电路、通讯电路和电源等于一体的微型机电系统（Micro Electro-Mechanical Systems，即MEMS）。

微型机械技术涉及电子、电气、机械、材料、制造、信息与自动控制、物理、化学、光学、医学以及生物技术等多种工程技术和科学并集约了当今科学技术的许多尖端成果。

微型机器可应用医疗、汽车运输、航空航天、环境、制造、军事等，尤其以其在生物医学、环境、交通和国防领域的应用令人瞩目。如日本名古屋大学研制出不需要电缆的管内移动微型机器人，可用于生物医学（如清理人体血管壁）、小直径管道检测等。

目前微型机械的制造主要采用基于半导体工艺的硅微细加工技术，以及德国研制的LIGA工艺（LIGA是德文Lithographie, Galvanoformung 和Abformung三个词，即光刻、电铸和注塑的缩写）。

四、快速原型制造技术

快速原型/零件制造（RPM—Rapid Prototyping/Parts Manufacturing）技术是综合利用CAD技术、数控技术、材料科学、机械工程、电子技术及激光加工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技术是直接根据产品CAD的三维实体模型数据，经计算机数据处理后，将三维实体数据模型转化为许多平面模型的叠加，然后直接通过计算机进行控制以制造一系列的平面模型，然后加以联结，即可形成复杂的三维实体。。

1. RPM原理

(1) 零件的设计及分层切片

(2) 零件的成形

2. RPM方法

目前已开发出许多RPM方法，通常按制造工艺原理进行分类，主要有：

立体印刷成型 (SLA) ；

层合实体制造 (LOM) ；

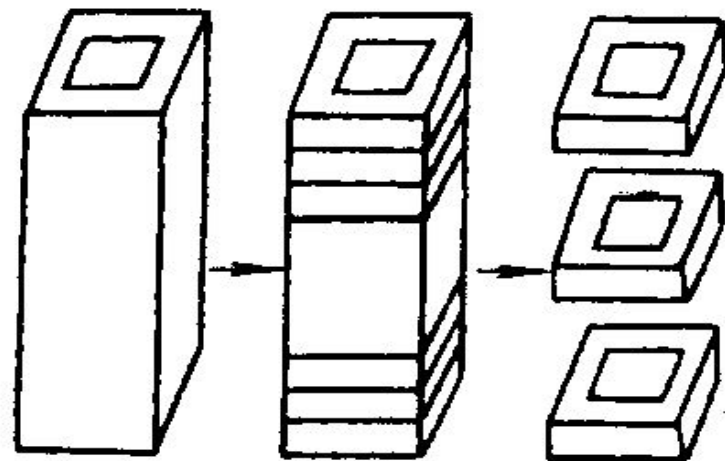
选域激光烧结 (SLS) ；

熔融沉积制模 (FDM) ；

三维喷涂粘接 (3DPG) ；

焊接成型 (WF) ；

数码累积造型 (DBL) 等。

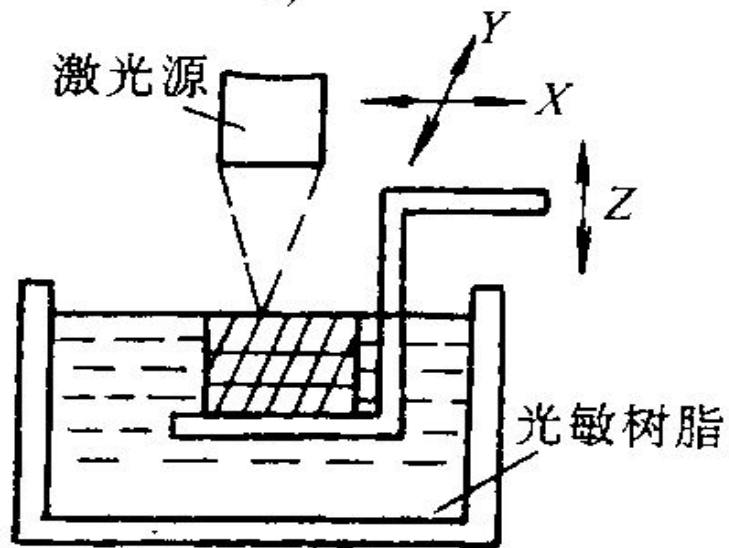


CAD模型

分层

切片

a)



b)

激光快速成形过程

五、特种加工

特种加工是指切削加工以外的一切新的去除加工方法，它与切削加工有着明显的区别。

1. 切削加工是靠机械能来切除多余材料，而特种加工是以电能、化学能、光能、声能、热能等来实现对零件材料加工的。
2. 特种加工用的工具材料硬度可以低于被加工工件材料的硬度，甚至可以不用加工工具。
3. 特种加工过程中工具与工件之间不存在明显的机械切削力。

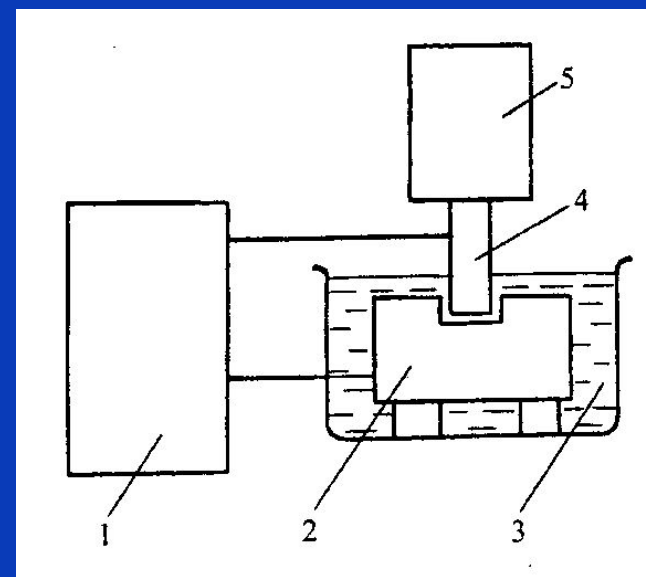
特种加工可以加工任何硬度、强度、韧性、脆性的金属或非金属材料，且专长于加工复杂、微细表面和低刚度零件，同时，有些方法还可以进行超精加工、镜面光整加工和纳米级加工。

（一）电火花加工

电火花加工（Electrical Discharge Machining 简称 EDM）是利用工具和工件（正、负电极）之间脉冲性电火花放电时的电腐蚀现象来除去工件上的多余金属以实现加工目的。

1. 电火花加工的基本原理

电火花放电时火花通道中瞬时产生大量的热，达到很高的温度，使电极表面的金属局部融化甚至气化蒸发而被蚀除，形成放电凹坑。



电火花加工原理

1—直流脉总电源 2—工件 3—工作液

4—工具电极 5—自动进给调节装置

实现电火花加工必须具备的条件：

(1) 工具和工件被加工表面之间经常保持一定的间隙通常为几微米至几百微米)。

(2) 火花放电必须是脉冲性放电(脉宽 $0.1\sim 1000\ \mu\text{s}$ ，脉间不小于 $10\ \mu\text{s}$)，这样才能使放电所产生的热量来不及传导扩散到其余部分，而仅仅使放电区域产生瞬时高温。

(3) 火花放电必须在有一定绝缘性能的液体介质进行，如去离子水、煤油、皂化液等。

解决上述问题的办法是：

使用脉冲电源和放电间隙自动进给控制系统，在具有一定绝缘强度和一定粘度的电介质中进行放电加工。

2. 电火花加工特点

- (1) 可加工任何导电材料，不受材料硬度、脆性、韧性、熔点的限制。
- (2) 适用于加工特殊及复杂形状的零件。
- (3) 脉冲参数可调，加工范围大，在一台机床上可连续进行粗、精加工。

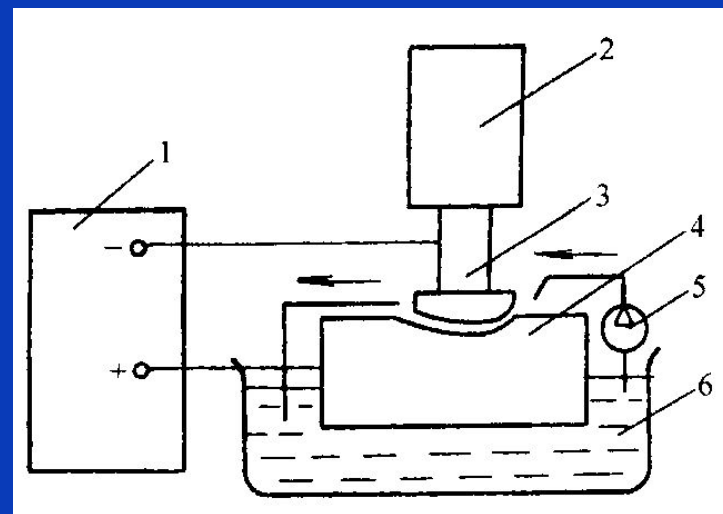
3. 电火花加工应用

电火花加工在特种加工中是发展比较成熟的工艺方法，主要有电火花穿孔成型加工、电火花线切割加工；电火花内孔、外圆和成型磨削；电火花表面强化、刻字等。广泛应用于机械（特别是模具制造）、航天、航空、电子、电机电器、精密机械、仪器仪表、汽车拖拉机、轻工等行业。

(二) 电化学加工

电化学加工（Electro-chemical Machining, 简称ECM）是当前迅速发展的一种特制加工方式，按加工原理可以分为三大类：利用阳极金属的溶解作用去除材料

（如电解加工、电解抛光、电解研磨等）、利用阴极金属的沉积作用进行镀覆加工（如电铸、电镀、涂镀等）、电化学加工与其他加工方法结合完成的电化学复合加工（如电解电火花复合加工、电化学阳极机械加工等）。



电解加工示意图

- | | |
|--------|--------|
| 1—直流电源 | 2—进给机构 |
| 3—工具 | 4—工件 |
| 5—电解液泵 | 6—电解液 |

电解加工的特点及应用

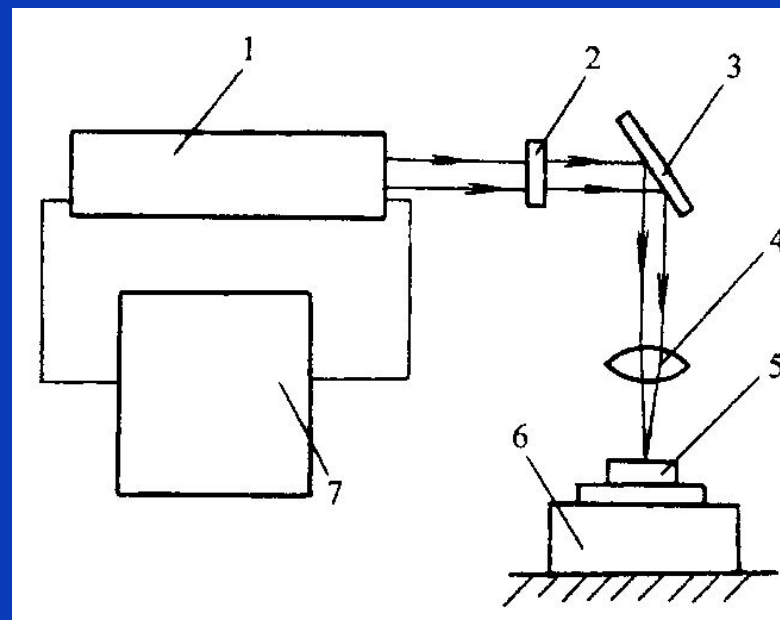
- (1) 不受材料的硬度、强度和韧性的限制，可加工硬质合金、淬火钢、不锈钢、高温合金等。
- (2) 能以简单进给运动一次加工出复杂的型面或型腔（如锻模、叶片），生产率比电火花加工高5~10倍以上。
- (3) 加工过程中无切削力或切削热影响，没有飞边和毛刺，可以加工薄壁、深孔零件。
- (4) 工具电极（阴极）基本不损耗。
- (5) 电解加工附属设备多，占地面积较大，初期投资较大。
- (6) 电解液的处理和回收有一定的难度，而且对设备有一定的腐蚀作用，加工过程中对环境有一定的污染。

（三）激光加工

1. 激光加工原理

激光与其它光源相比具有相干性好、单色性好、方向性好和能量密度高等特性，通过光学系统可以使它聚焦为一个极小的光斑（直径仅几微米到几十微米），从而获得极高的能量密度（可达 $10\sim 10^6\text{W/cm}^2$ ），温度可达 10000°C 以上。

当能量密度极高的激光束照射在被加工表面上时，光能被加工表面吸收，并转换成热能，使照射斑点的局部区域的材料在千分之一秒，甚至在更短的时间内，迅速被融化以至气化，从而达到材料蚀除的目的。



激光加工机示意图

- 1—激光器 2—光圈 3—反射镜
4—聚集镜 5—工件 6—工作台 7—电源

2. 激光加工的特点

- (1) 激光加工的能量密度高，几乎可以加工任何材料。高硬、耐热合金，陶瓷、石英、金刚石等材料都能加工。
- (2) 激光加工不需要工具，不存在工具损耗、更换和调整等问题，适应于自动化连续操作。
- (3) 激光束可聚焦到微米级，输出功率可以调节，且加工中没有机械力的作用，故适合精密微细加工。
- (4) 激光可以透过透明的物质（如空气、玻璃等），故激光加工可以在任何透明的环境中进行，包括空气、惰性气体、真空甚至某些液体。

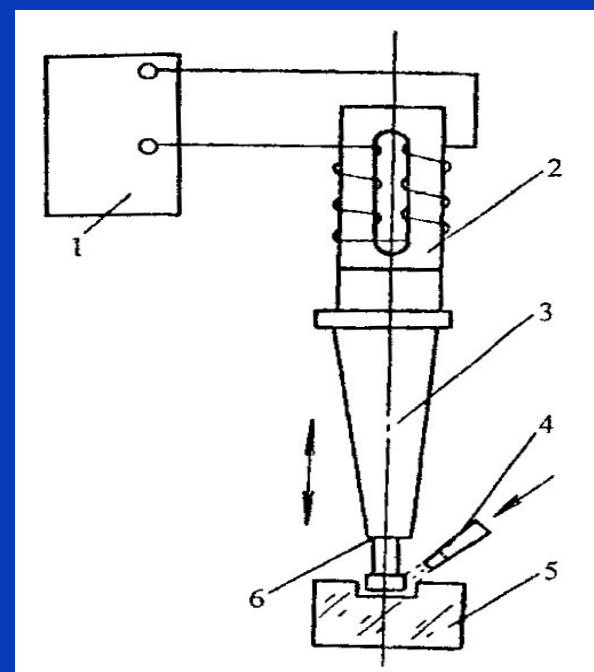
激光是20世纪60年代发展起来的一项重大科技成果，它的出现深化了人们对光的认识，扩展了光在人类服务的领域。目前，激光加工已较为广泛地应用于切割、打孔、焊接、表面处理、切削加工、快速成形、电阻微调、半导体处理等领域中。

(四) 超声加工

声波是人耳能感受的一种纵波，它的频率在16~16000Hz范围内。当频率超过16000Hz就称为超声波。超声波具有波长短、能量大，传播过程中反射、折射、共振、损耗等现象显著的特点。

1. 超声加工

利用工具端面作16 ~ 25kHz的超声频振动，使工作液中的悬浮磨粒对工件表面撞击抛磨来实现加工，称为超声加工。



超声波加工原理

1—超声波发生器 2—换能器 3—振幅扩大棒 4—工作液 5—工件 6—工具

超声加工是基于局部撞击作用，越是脆硬材料，受撞击作用遭受的破坏愈大，愈易超声加工。相反，脆性和硬度不大的韧性材料，由于它的缓冲作用而难以加工。

2. 超声波加工的特点

- (1) 适应于加工硬脆材料，特别是不导电的非金属材料，如玻璃、陶瓷、石英、硅、锗、玛瑙、宝石、金刚石等。
- (2) 加工精度高，表面质量好。工件在加工过程中受力较小，可以加工薄壁、窄缝等低刚度工件。
- (3) 加工出工件的形状与工具形状一致，只要将工具做成不同的形状和尺寸，就可以加工出各种复杂形状的型孔、型腔、成形表面，不需要使工具和工件做较复杂的运动。因此，超声波加工机床结构比较简单，操作维修方便。

（五）水喷射加工

水喷射加工（Water Jet Machining）又称水射流加工或水刀加工。它是利用超高压水射流及混合与其中的磨料对各种材料进行切割、穿孔和表层材料去除等加工。加工机理是综合了由超高速液流冲击产生的穿透割裂和由悬浮于液流中的磨料的游离磨削作用。

水喷射加工使用廉价的水作为工作介质，是一种冷态切割新工艺，属于绿色加工范畴。它可以切割金属材料，还能加工特别硬脆、柔软或屑尘飞扬的非金属材料加工。

如：塑料、皮革、纸张、布匹、化纤、木材、胶合板、石棉、水泥制品、玻璃、花岗岩、大理石、陶瓷和复合材料等。水喷射加工具有切口平整、无毛刺和飞边，无火花、无热变形、无尘、无毒等特点，特别适用于恶劣的工作环境和有防爆要求的危险环境下加工。

第二节 自动化制造系统

一. 柔性制造系统

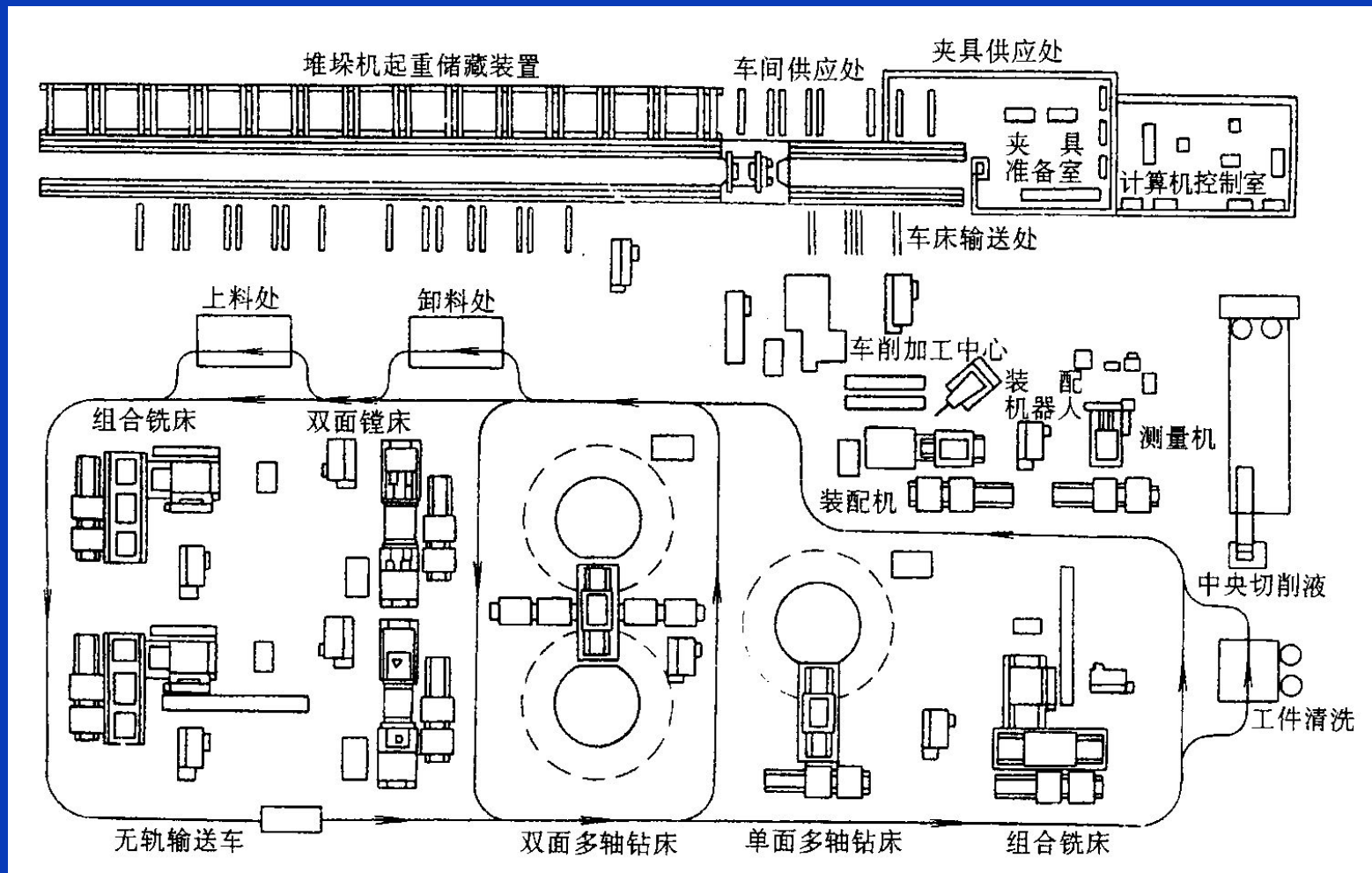
(FMS—Flexible Manufacturing System)

(一) 柔性制造单元

(FMC—Flexible Manufacturing Cell)

1. 增加柔性、降低库存
2. 可以实现24小时连续运转，降低生产成本
3. 便于实现计算机集成制造系统

(二) 柔性制造系统



柔性制造系统

1. 加工系统

按加工工件类别划分，加工系统的主要类型包括：

- (1)以加工箱体类零件为主的FMS，这类FMS配备有数控加工中心；
- (2)以加工回转类零件为主的FMS，这类FMS配备有CNC车削中心、CNC车床、CNC磨床；适应于混合零件加工的FMS，即能加工箱体类零件和回转体类零件的FMS，它既配备有CNC加工中心，又配备有CNC车削中心或CNC车床；
- (3)用于专门零件加工的FMS，如加工齿轮类零件FMS，它除配备CNC车床还需配备CNC齿轮加工机床。

2. 物料运储系统

FMS物料系统主要完成两种不同的工作，即工件的输送和工件的存储。

工件输送包括两部分：

一是系统与外界的工件交换，如从外界获取零件毛坯、原材料、工具和配套件等，以及将加工好的成品和换下的工具从系统中移出；

二是零件、工具和配套件等在系统内部的搬运。

工件的存储包括：

物品在仓库中的保管和生产过程中在制品的临时性停放。要求FMS的物料系统中设置适当的中央料库和拖板库以及各种形式的缓冲储区，以保证系统的柔性。

在FMS中，中央料库和拖板库往往采用自动化立体仓库。

3. 计算机控制系统

计算机控制系统通过主控制计算机或分布计算机系统来实现系统的主要控制功能。控制系统通常采用三级分布式体系结构。

第一层为设备层，主要是对机床和工件装卸机器人的控制，包括对各种加工作业的控制和检测；

第二级工件层，它包括对整个系统运转的管理、零件流动的控制、零件程序的分配以及对第一级生产数据的收集；

第三级为单元层，主要编制日程进度计划，把生产所需的信息如加工零件信息、刀夹具信息等送到第二级系统管理计算机。

（三）FMS的优点

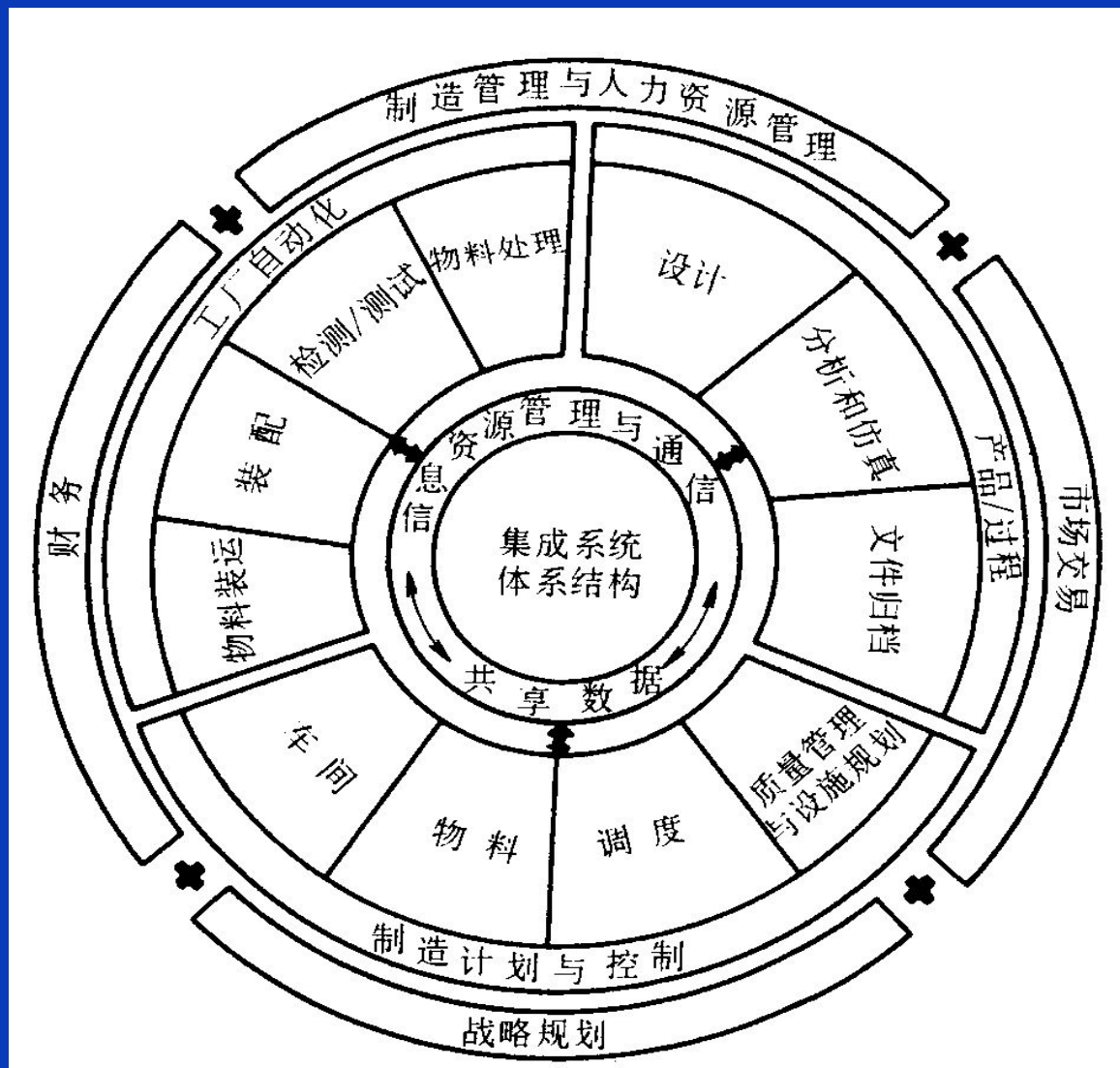
1. 在计算机直接控制下实现产品的自动化制造，大大提高了加工精度和生产过程的可靠性。
2. 生产过程的控制和流程连续，并且达到最佳化，有效地提高了生产效率。
3. 在系统内材料、刀具、机床、贮存、夹具以及测量检查站的理想配置，具有良好的柔性。
4. 直接调整物流（即工件流、工具流）和制造中的各项工序，制造不同品种的产品，大大提高了设备的利用率。

二、计算机集成制造系统 (CIMS –Computer Integrated Manufacturing System)

(一) CIMS的组成及其功能

1. 管理信息系统 (MIS—Management Information System)
2. 工程设计集成系统 (EDIS—Engineering Design Integrated System)
3. 制造自动化系统 (MAS—Manufacturing Automation System)
4. 质量保证系统 (CAQ—Computer Aided Quality)
5. CIMS数据库系统
6. CIMS计算机通信网络系统

(二) CIMS面向功能构成的系统结构



（三）CIMS的应用

由于CIMS对广大制造业企业生存和发展所具有战略意义，而制造业对一个国家的国民经济发展有举足轻重的作用，因而工业发达国家先后都对CIMS的发展给予了很大关注，制定了长期发展规划，并采取切实有效的措施推进其在众多企业中的应用。

如美国的通用汽车公司、波音飞机公司等都耗巨资应用CIMS技术，使工厂生产效率提高40%~70%，工程费用减少15%~30%，产品研制周期缩短30%~60%，设备利用率提高2~3倍。日本不仅将CIMS应用于离散型制造业，也应用于流程型制造业。如食品、造纸、化学、橡胶、采煤、钢铁、电器等行业。

典型自动化制造系统：

富士达公司专业提供自动化立体仓库系统，包括立体仓库成套设备和计算机监控和管理系统。

1. 高层托盘型自动化双立柱立体仓库适用于更高的场合：

专为二十米以上的立体仓库设计的双立柱堆垛机，在大规模自动化立体仓库中发挥着快速、高效的作用。在仓库建筑和立体仓库货架联成一体、库架一体式立体仓库得到应用。最大承重可达5吨，特别适合单元货物较重的立体仓库系统。对应于单一、大容量的库存和出入库要求，双叉双深系统可有效提高效率。



2. 堆垛机

根据不同的立体仓库使用要求，堆垛机有多种形式。苏州富士达引进德国技术生产的堆垛机已发展成系列化、模块化，该。并具有以下特点：

(1) 多重安全保护： 为确保万无一失，堆垛机采用的安全装置有 16 道之多。

(2) 模块化设计： 使生产、维护更加快 。

(3) 人机界面友好： 操作简单、方便，操作面板一目了然，即使是第一次操作，也能得心应手。



(4) 运用特殊型材：使得堆垛机本身重量较轻，堆垛机运行更加平稳，噪声低。

项目/型号	DB20	DB24	DB28	DB32	DB36
货架高度 (米)	Max.20	Max.24	Max.28	Max.30	Max.36
货物尺寸	Max. 2000 (W) ×2000 (D) ×2000 (H)				
额定载重量	Max.5000公斤				
运行速度	Max.180米/分钟				
升降速度	Max.60米/分钟				
叉取速度	Max.50米/分钟				
备注	具体参数可根据用户实际设定				

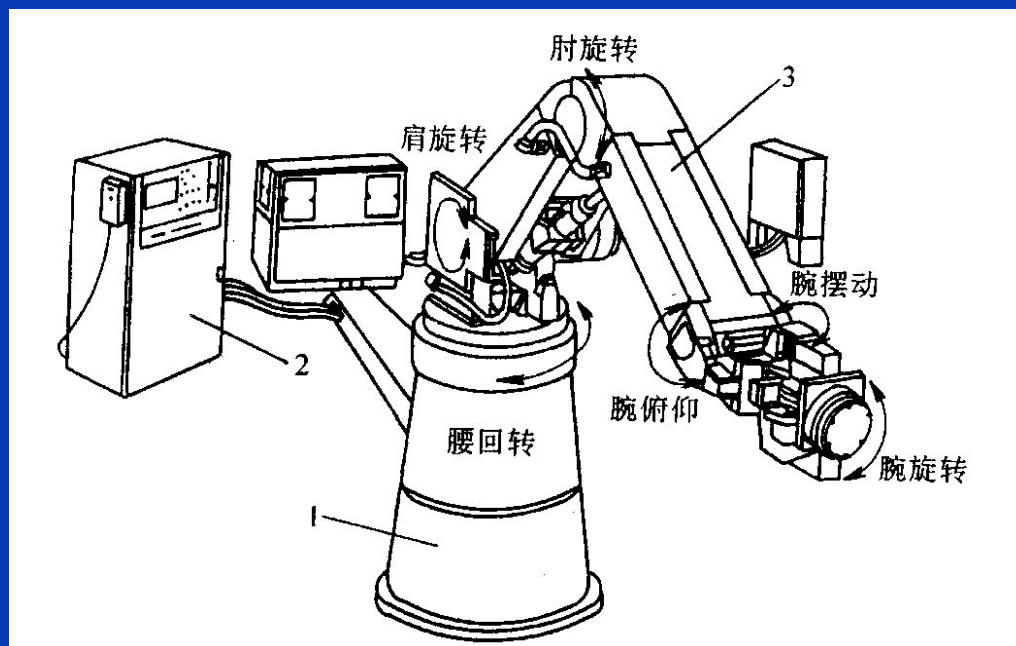
第三节 工业机器人

一. 工业机器人的定义

关于机器人的定义有多种，国际标准化组织（ISO）的定义是“机器人是一种自动的、位置可控的、具有可编程能力的多功能机械手，这种机械手具有几个轴，能够借助于可编程序操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置，以执行种种任务”。

二、工业机器人的组成

- (一) 执行机构
- (二) 控制系统
- (三) 驱动系统



1—驱动系统 2—控制系统 3—执行机构

三、工业机器人的分类

(一) 按信息输入方式分

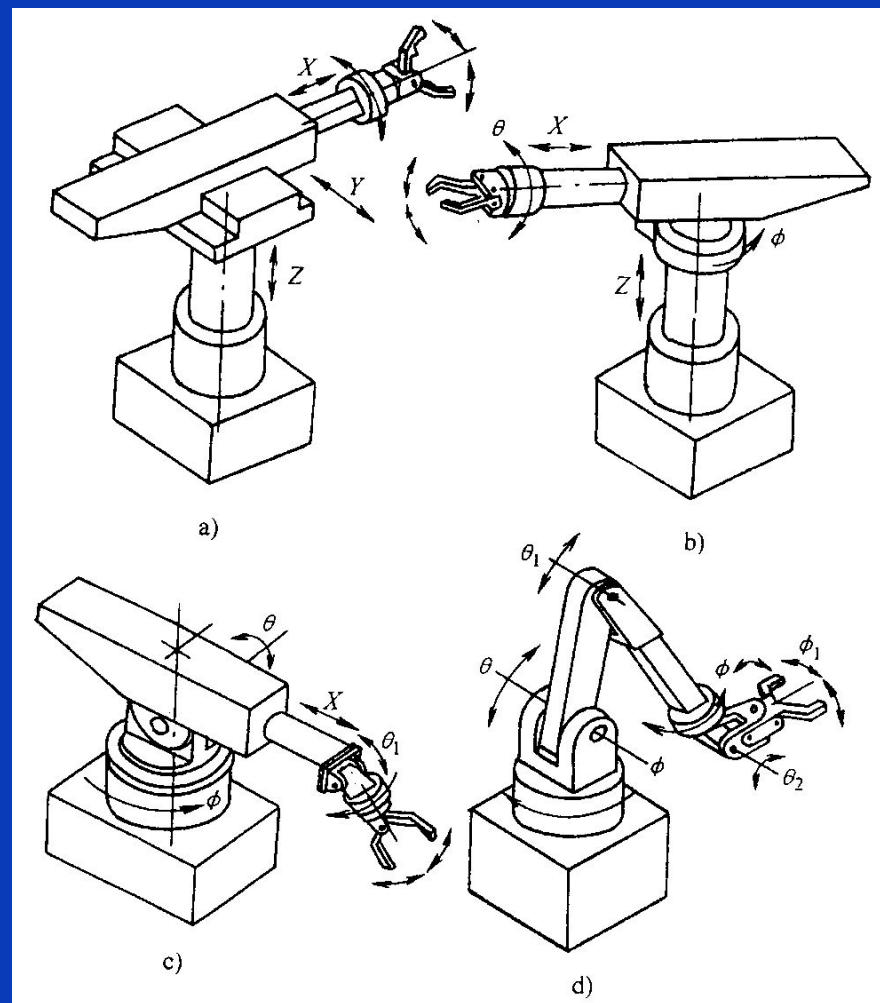
1. 人操作机械手
3. 固定程序机器人
3. 可编程序机器人
4. 程序控制机器人
5. 示教机器人
6. 智能机器人

(二) 按驱动方式分

1. 电力驱动
2. 液压驱动
3. 气动驱动

(三) 按坐标形式分

1. 直角坐标机器人 (a)
2. 柱面坐标机器人 (b)
3. 球面坐标机器人 (c)
4. 关节式机器人 (d)



典型机器人： 弧焊机器人的应用

弧焊机器人其主要应用于汽车制造业，在通用机械、金属结构等许多行业中也都有应用。这是因为弧焊工艺早已在诸多行业中得到普及的缘故。



弧焊机器人

焊接是工业生产中重要的工艺流程和加工手段，广泛应用于汽车、摩托车以及其他工程机械的整机装配和零部件加工过程中。目前，随着汽车制造业的迅速发展，对许多构件的焊接精度和速度等指标提出越来越高的要求，一般工人已难以胜任这一工作；此外，焊接时的火花及烟雾等对人体也将造成危害。因此，焊接过程的完全自动化和智能化已成为重要的研究课题，其中，最为重要的就是要应用焊接机器人。

日本MOTOMAN弧焊机器人不仅能够连续且稳定的进行复杂的焊接，而且还具备自动原点定位、焊缝自动跟踪、多层焊接补偿、自动摇摆及波动动作和外部轴协调联动控制等辅助功能，能够充分满足制造业用户对焊接工艺的各种要求。可以看出高效稳定的机器人焊接设备将极大的提高产品的产量和质量。

从20世纪90年代，国内的汽车车身制造厂就开始引进、应用焊接机器人，年产量达10万辆以上的车身制造厂几乎都采用了机器人焊装线（根据已报道的资料统计，国内车身焊装线的焊接机器人约600台套）。

这不仅提高了车身整车及零部件生产的自动化水平及生产效率，更由于机器人焊装生产线具有柔性，使汽车车身，特别是轿车车身的改型生产，在技术上得到基本解决，同时车身的焊接质量也得到了保证。

如一汽二轿厂使用6台点焊机器人焊接全新“红旗”轿车前、后风窗洞，左、右侧围门洞，三角窗洞的焊接，提高了国产轿车焊装技术水平及焊接质量。



后桥焊缝熔核成型好，解决了久攻不破的后桥渗漏质量难题，产品实现免检，而且劳动效率、生产能力都取得了大幅度的提高。

“一汽”红旗轿车机器人焊接线

1. 装配机器人系统

装配在现代工业生产中占有十分重要的地位。有关资料统计表明，装配占产品生产劳动量的50%~60%，而在电子厂的芯片装配、电路板的生产中，装配工作占劳动量高达70%~80%。

随着装配生产线的应用，手工装配已无法满足装配效率和装配质量的要求，而机器人可不知疲倦的长时间工作，并且具有较高的重复定位精度，可提高产品的装配精度减少废品率，降低成本。因此，采用机器人来实现自动化装配作业是十分重要的。

机器人正式进入装配作业领域是在“机器人普及元年”的1980年。现在日本许多厂家都在生产电伺服装配机器人(Assembly robot)，它较之前述的液压机器人制造简单、价格低廉，因此更利于普及。迄今为止，装配机器人的应用水平限于简单重复操作，引入装配作业的机器人在早期主要用来代替装配线上手工作业的工序，随后工厂里很快出现了以机器人为主体的装配线。和机械加工自动化的迅速发展相比，装配生产自动化的进展一直相当迟缓，究其原因，主要是因为装配生产过程即使自动化了，当产品更换时，准备工作也将十分繁重和耗时。为解决这些困难，可选择装配机器人，机器人的优点之一是能通过程序的变更，迅速适应作业内容的变化，从而组成一个装配系统FMS。

FMS—Flexible manufacturing system



汽车装配生产线

先进制造模式

- 一、敏捷制造
- 二、虚拟制造 (VM—Virtual Manufacturing)
- 三、智能制造系统 (IMS—Intelligent Manufacturing System)
- 四、精良生产(LP—Lean Production)
- 五、并行工程(CE—Concurrent Engineering)
- 六、可持续发展制造战略

先进制造系统投资项目评价

一. 先进制造系统项目评价的特点

1. 先进制造系统投资决策是具有战略性质的多目标决策，对先进制造系统投资需要在多层次、多维评价的基础上作综合评价。

2. 先进制造系统投资决策问题属于半结构化问题，评价先进制造系统投资问题要定量分析与定性分析相结合。

3. 先进制造系统由多个子系统组成，子系统之间的相关性决定了集成效益是先进制造系统投资效益的重要组成部分，对先进制造系统投资项目要强调整体效益的评价。

4. 先进制造系统项目一般是在原有企业生产经营系统基础上分阶段投资实施的，应选择合理的分析期和适合项目现金流量特点的分析指标，用增量分析方法评价项目投资的阶段效益与总体效益。

5. 先进制造系统的开发应用是将一种新的生产模式引入企业，开发难度大，周期长，开发与运行过程中涉及各种不确定因素较多，风险分析是项目评价中不可缺少的重要内容。

二、先进制造系统项目的费用、效益与风险

1. 费用
2. 财务收益
3. 战略效益
4. 外部影响
5. 项目风险

三、先进制造系统项目的评价过程

1. 企业目标结构与关键成功因素的认识
2. 企业经营环境与项目实施条件的了解
3. 备选方案技术功能的分析评价
4. 费用、效益和风险的识别与计量
5. 备选方案的综合评价与比选