

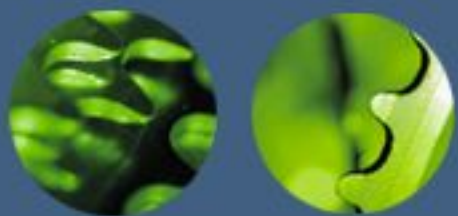


# 先进制造技术

## --微纳制造与精密工程

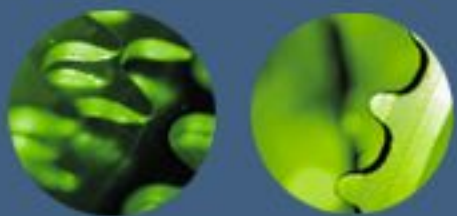
王文 博士、教授

杭州电子科技大学 机械工程学院



# 提 纲

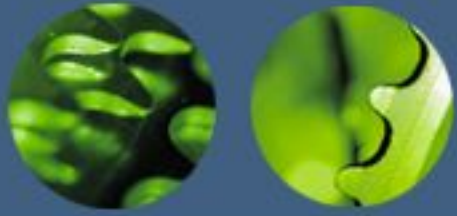
- 一、先进制造技术概论
- 二、产品快速数字化设计制造技术
- 三、几何量超精密测量技术
- 四、微纳制造与特种加工技术
- 五、学科相关特色研究工作



## 一. 先进制造技术概论

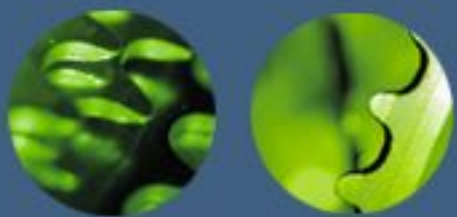
- 一) 制造技术的发展历史
- 二) 先进制造技术简介
- 三) 先进制造技术的现状
- 四) 先进制造技术的发展趋势





## 一). 制造技术的发展历史

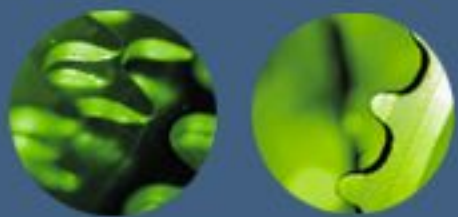
制造技术为满足社会需求服务，而又依赖于社会需求和生产力发展的水平，依赖于科学技术发展的整体水平



# 一). 制造技术的发展历史

➤石器时代，人类利用天然石料和动植物骨骼、纤维、枝杆制作简单工具，生产方式以采集和利用自然为主





# 一). 制造技术的发展历史

➤青铜器和铁器时代，人们开始采矿、冶金、铸锻工具、纺织成衣，打造工具与车船，采取作坊手工生产方式



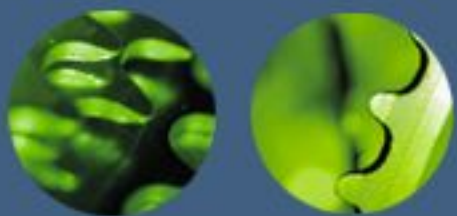
炼铁



纺织

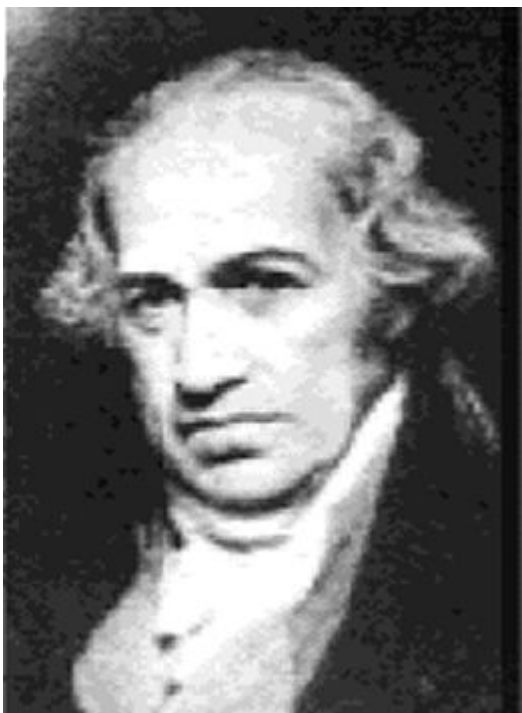


铁、青铜制品

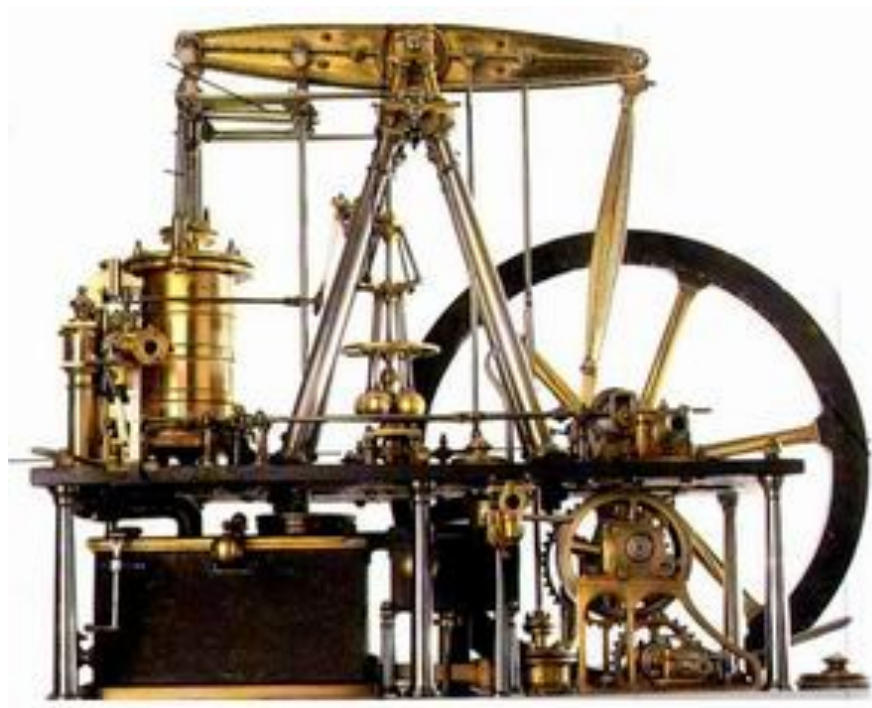


# 一). 制造技术的发展历史

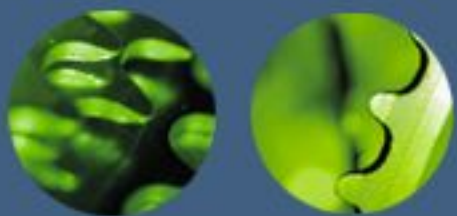
➤1765年瓦特改良蒸汽机，为机器大生产提供了动力，纺织业、机器制造业取得革命性的变化——引发了一场工业革命



瓦特



瓦特改良的蒸汽机



# 一). 制造技术的发展历史

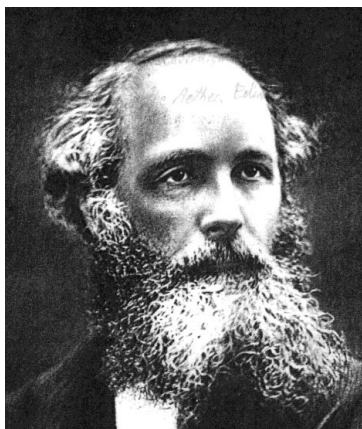
➤19世纪法拉第发现电磁感应现象，麦克斯韦建立电磁场理论，为电机的发明奠定了科学基础



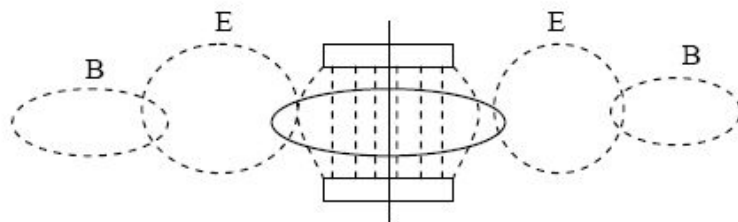
法拉第



法拉第实验所使用的线圈

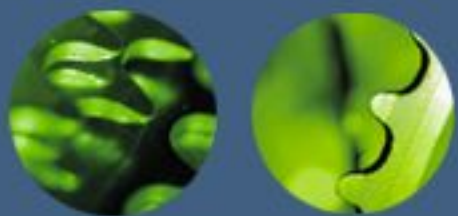


麦克斯韦



电磁波产生原理





## 一). 制造技术的发展历史

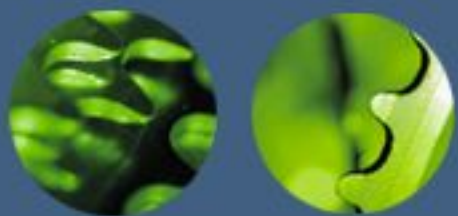
➤1886年德国的维尔内·西门子发明了发电机，电力与电机改变了机器结构，开拓了制造业的新时代



西门子



西门子发明的发电机



# 一). 制造技术的发展历史

➤19世纪末，  
20世纪初内燃  
机发明，引起  
了制造业新的  
革命，自动机  
床、自化生产  
线相继问世，  
工业制造泰勒  
管理理论应运  
而生



奥托



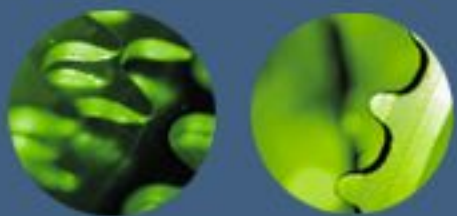
四冲程煤气内燃机



戴姆勒



汽油机



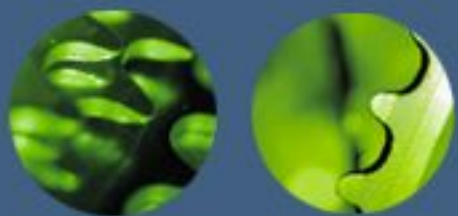
## 一). 制造技术的发展历史

➤ 二战后人类迎来了电子和信息时代，通讯的普及，电子技术的发展，计算机的发展和应用，半导体集成电路的出现，市场需求的多元化和商业竞争的激烈，引起了产品结构和产品制造的一场革命。



1946年美国—电子计算机诞生

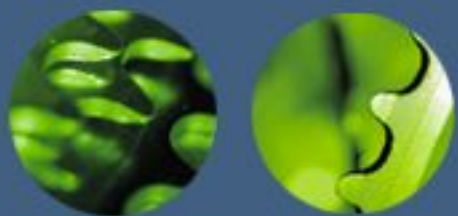




## 二). 先进制造技术简介

1. 先进制造技术的定义
2. 先进制造技术的构成
3. 先进制造技术的体系结构



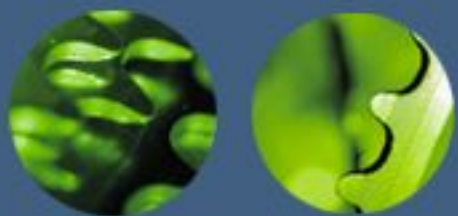


## 1. 先进制造技术的定义

先进制造技术（Advanced Manufacturing Technology, AMT）定义：

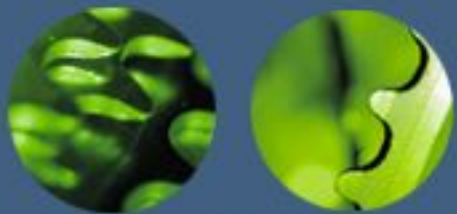
先进制造技术是制造业不断吸收机械、电子、信息（计算机与通信、控制理论、人工智能）、能源及现代系统管理等方面的成果，并将其综合应用于产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的全过程，以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产，提高对动态多变的产品市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称。



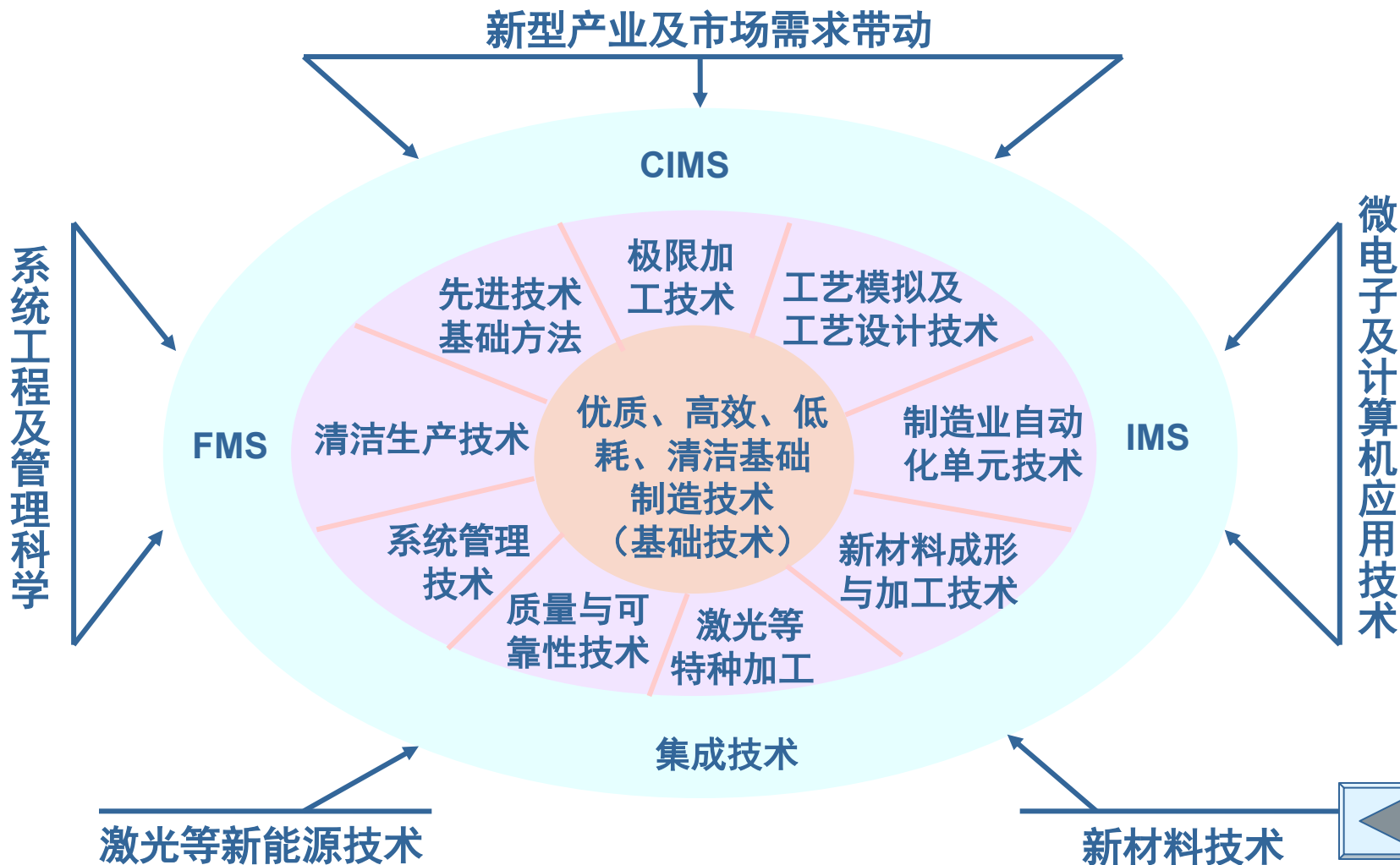


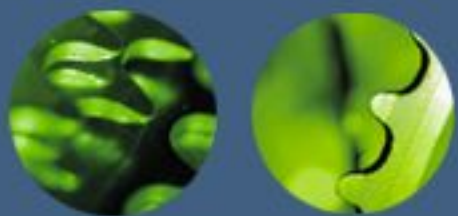
## 2. 先进制造技术的构成

- **基础技术**——铸造、锻造、焊接、热处理、表面保护、机械加工等基础工艺至今仍是生产中大量采用、经济适用的技术，这些基础工艺经过优化而形成的基础制造技术是先进制造技术的核心。
- **新型单元技术**——它是市场需求及新兴产业的带动下，将基础制造技术与电子、信息、新材料、新能源、环境科学、系统工程、现代管理等高新技术相结合而形成的崭新的制造技术。
- **集成技术**——它是应用信息、计算机和系统管理技术对上述两个层次的技术局部或系统集成而形成的先进制造技术的高级阶段。



## 2. 先进制造技术的构成





## 2. 先进制造技术的构成

国家鼓励的六大  
战略新兴产业



生物医药



新能源



高端装备制造



新一代信息技术

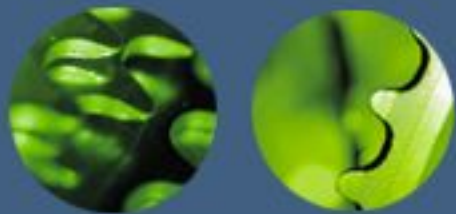


新材料



节能环保





### 3. 先进制造技术的体系结构

#### 主题技术群

##### 面向制造的设计技术群

- ① 产品、工艺设计      计算机辅助设计
- 工艺过程建模      工艺规程设计
- 系统工程集成      工作环境设计
- ② 快速成形设计      ③ 并行工程

##### 制造工艺技术群

- ① 材料生产工艺      ② 加工工艺
- ③ 连接与装配      ④ 测试和检验
- ⑤ 环保技术      ⑥ 维修技术
- ⑦ 其他

#### 支撑技术群

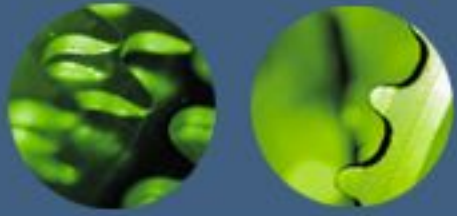
- ① 信息技术    接口和通信
- 集成框架    人工智能
- 数据库      软件工程
- 决策支持

- ② 标准和框架    数据标准    工艺标准
- 接口框架    产品定义和标准    检验标准
- ③ 机床和工具技术
- ④ 传感器和控制技术

#### 制造技术环境

- ① 质量管理      ② 用户和供应商交互作用      ③ 工作人员培训和教育
- ④ 全国监督和基准评测      ⑤ 技术获取和利用

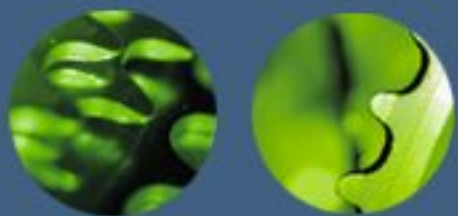




### 三) 先进制造技术的现状

制造科学已成为多学科交叉的学科：

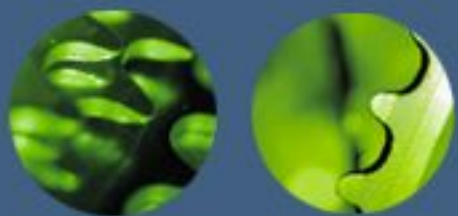
- 制造技艺→制造技术→制造科学
- 制造活动的社会性、制造系统的开放性→制造科学综合性
- 制造科学已不可能在孤立、封闭的状态下发展，必然走兼采百家之长、交叉融合的道路
- 现代物理、数学、化学、生命、信息、材料、管理和系统等科学的发展，为制造科学不断提供新的推动力，也不断丰富着现代制造科学的内涵和外延



### 三) 先进制造技术的现状

先进制造技术是工业发达国家的国家级关键技术和优先发展领域：

| 国别/地区 | 科技计划            |
|-------|-----------------|
| 美国    | 先进制造技术计划        |
|       | 关键技术(制造)计划      |
|       | 敏捷制造使能技术计划      |
| 日本    | 智能制造技术国际合作计划    |
| 欧共体   | 尤里卡计划           |
|       | 信息技术研究发展战略计划    |
| 德国    | 制造2000年计划       |
| 韩国    | 高级先进技术国家计划(G-7) |

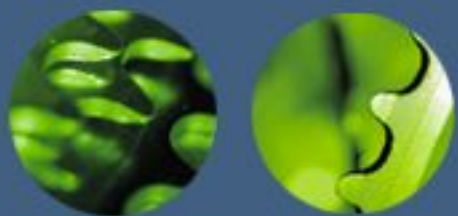


### 三) 先进制造技术的现状

许多高技术我国尚未掌握，许多重大装备我国不能自主制造，缺乏自主创新能力：

- 是制造大国，不是制造强国
- 发电设备、机床、汽车、电子制造等产品产量居世界前列，却没有一家装备制造企业能跻身世界500强
- 关键装备大多依赖进口
  - 光电子制造设备的100%
  - IC制造装备的85%
  - 高档数控机床的70%
- 原创性的技术和成果缺乏，企业的核心竞争力不足，制造科学基础研究相对薄弱





## 四) 先进制造技术的发展趋势

当前的竞争形式：

科学技术突飞猛进

知识经济初见端倪

国力竞争日趋激烈

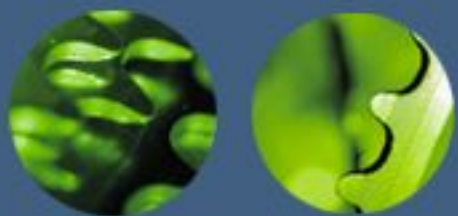
制造业市场特征：

多变性市场

国际化市场

虚拟市场

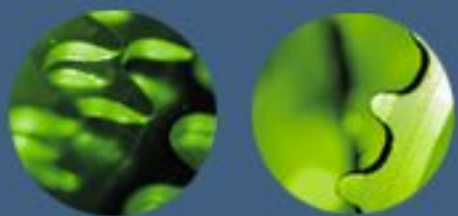
新兴产品市场



## 四) 先进制造技术的发展趋势

机械行业的巨变：

1. **产品本身** “质”、“量”
2. **生产模式** 快速响应、快速重组
3. **增产方式**  
(消耗资源) 粗放型 → (知识创新) 集约型  
网络化、全球化、知识化
4. **生产要求**  
实用、价廉、物美 → 价廉、物美、交货期短、  
服务好、文化含量高
5. **学科基础**  
力学经验 → 多学科及其最新成就
6. **立足之本**  
设备、技术 → 高素质人才



## 四) 先进制造技术的发展趋势

### ■ 先进制造技术的发展趋势

制造产品:

“精确化”

加工精度  
操作尺寸  
物理特性

“极限化”

几何形体  
物理性能

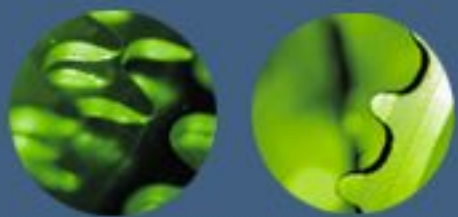
制造过程:

“快、省”

市场响应  
生产重组  
优化配置

“效、绿”

个性化、大批量  
高效、低耗  
无污染



## 四) 先进制造技术的发展趋势

- 制造方法:

“数字化”



数字化设计

数字化控制

数字化管理

“自动化”

、

“集成化”

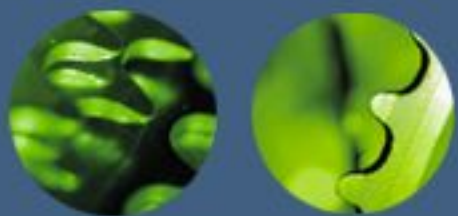
“网络化”

、

“智能化”



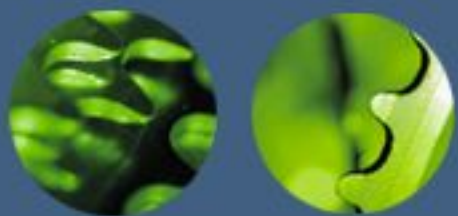




## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

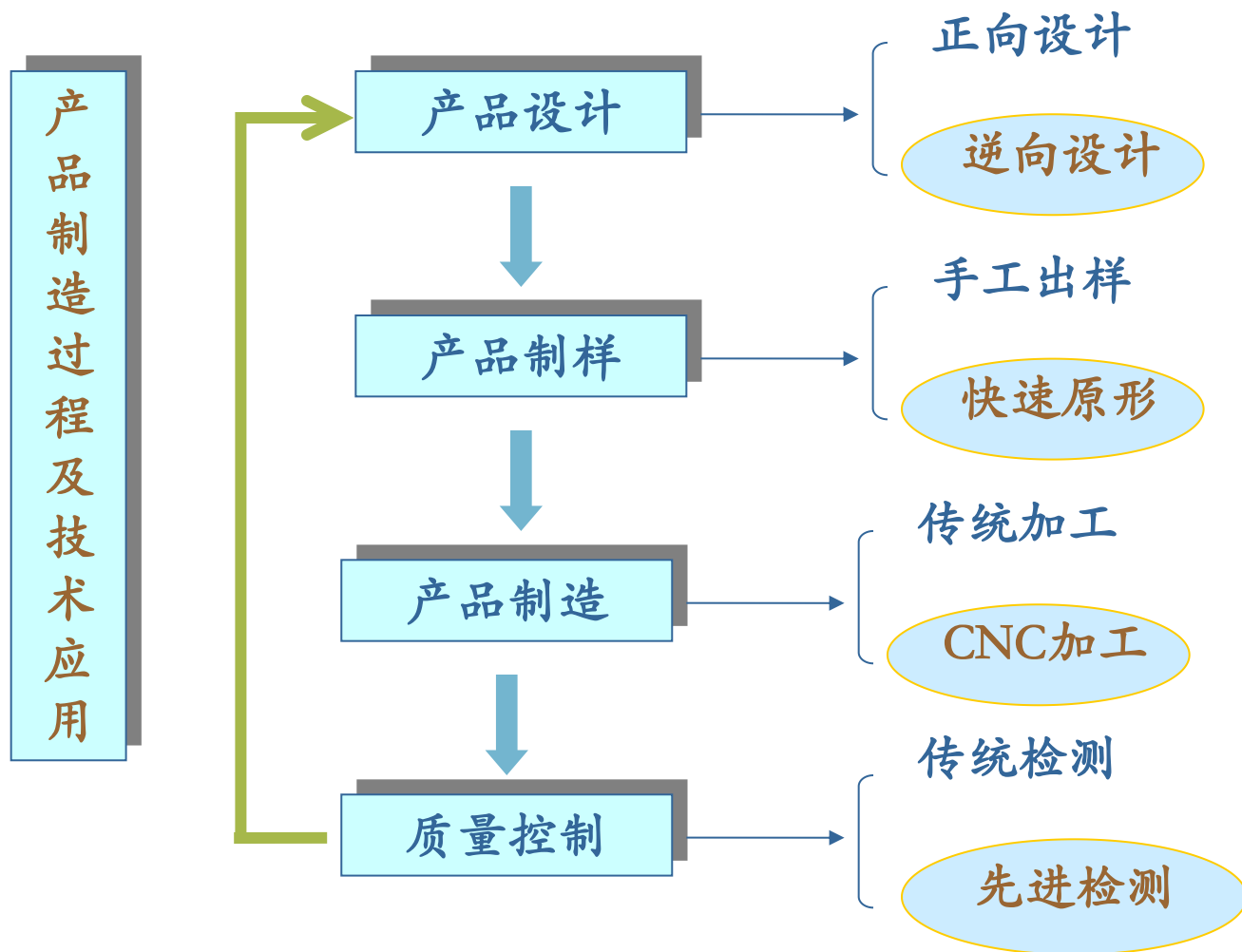
- 一) 产品设计制造过程技术简介
- 二) 正向设计与逆向设计
- 三) 快速数字化设计制造基本流程
- 四) 快速数字化设计制造的技术优势

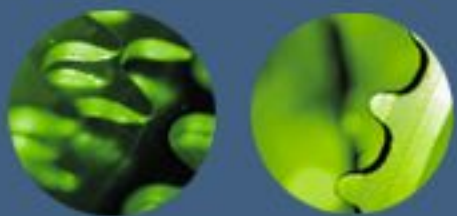




## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

### □ 产品设计制造过程技术简介

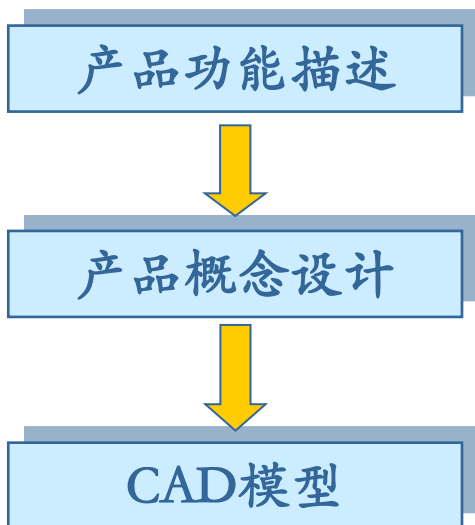




## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

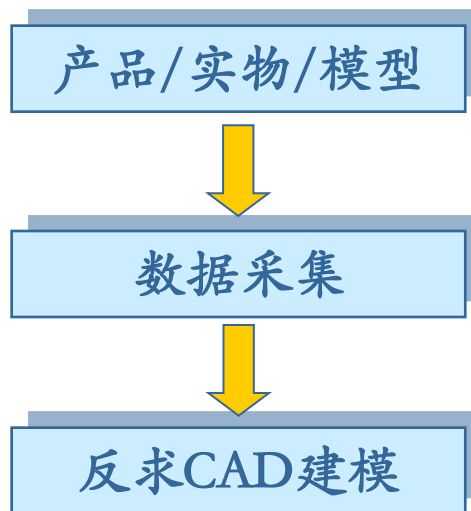
### □ 正向设计与逆向设计

#### 正向设计



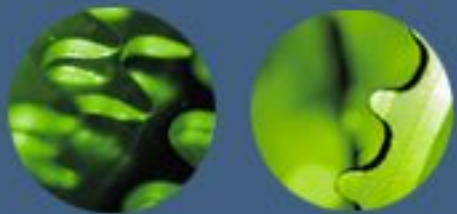
抽象概念→CAD模型  
(困难)

#### 逆向设计



实物模型→CAD模型  
(容易)



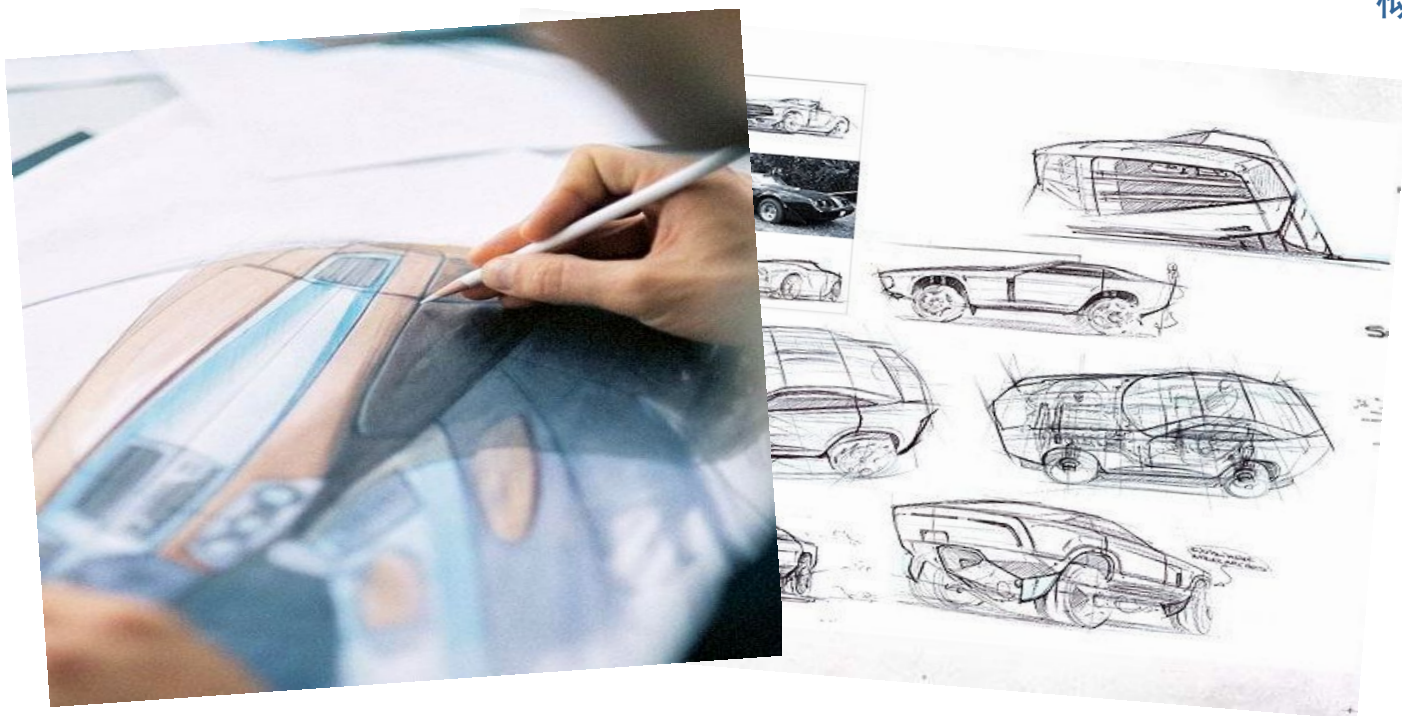


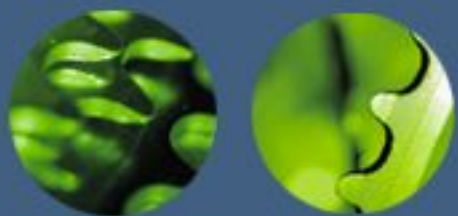
## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

□ 基于逆向工程的快速数字化设计制造（以汽车的设计制造流程为例）

- 逆向工程源自航空、汽车等高新技术产业
- 通过反复修改以满足产品外形的空气动力学特殊要求

(1) 手绘图  
概念设计





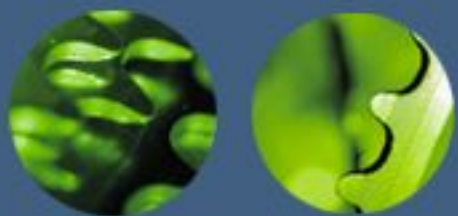
## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

□ 基于逆向工程的快速数字化设计制造（以汽车的设计制造流程为例）

(2) 效果图

外观效果评估





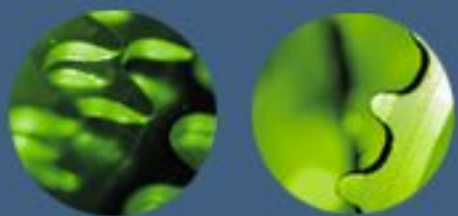
## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

□ 基于逆向工程的快速数字化设计制造（以汽车的设计制造流程为例）

(3) 制作油泥模型

实物模型修改—数据采集



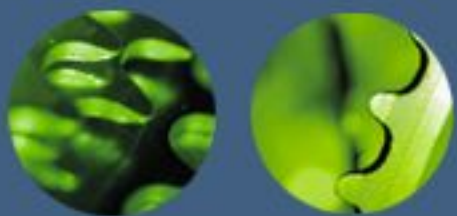


## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

□ 基于逆向工程的快速数字化设计制造（以汽车的设计制造流程为例）

（4）设计师对模型修改



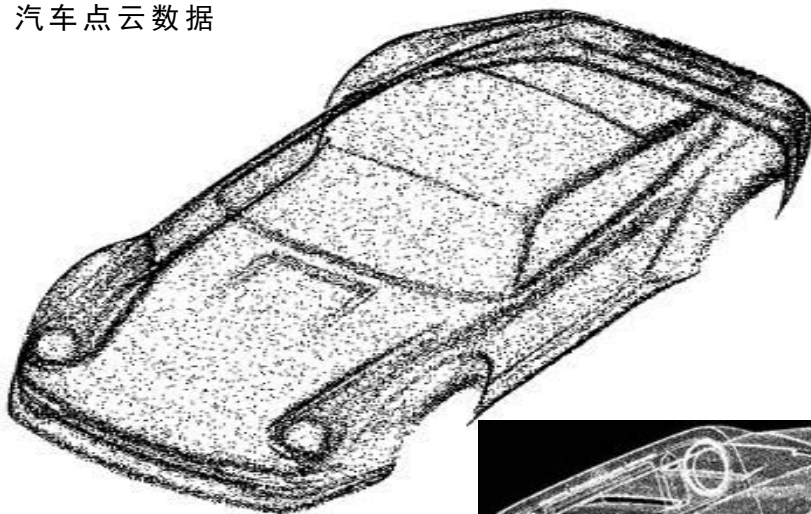


## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

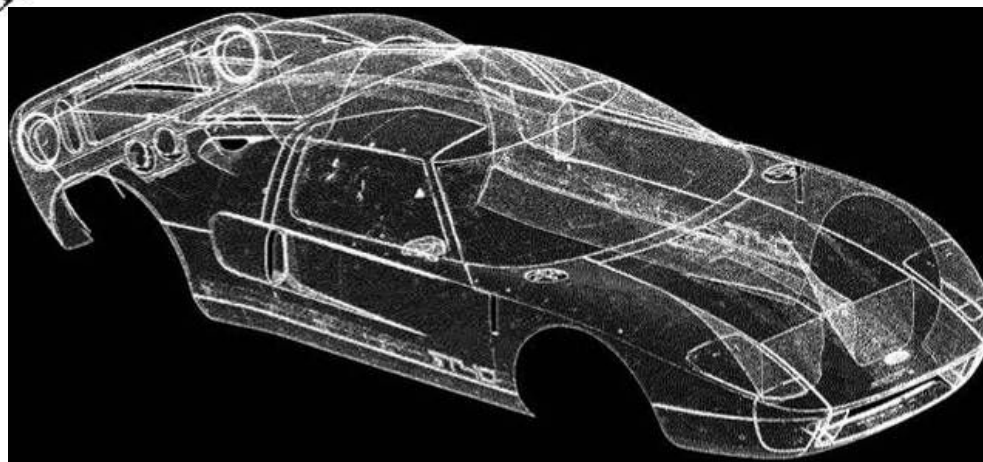
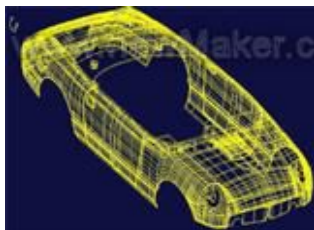
□ 基于逆向工程的快速数字化设计制造（以汽车的设计制造流程为例）

(5) 采集点云数据

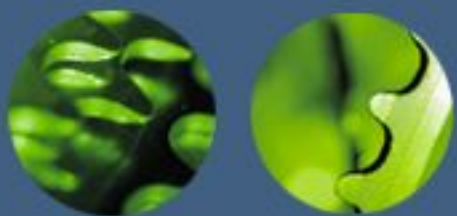
汽车点云数据



修改后模型的数据采集



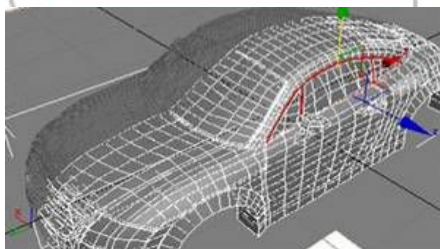
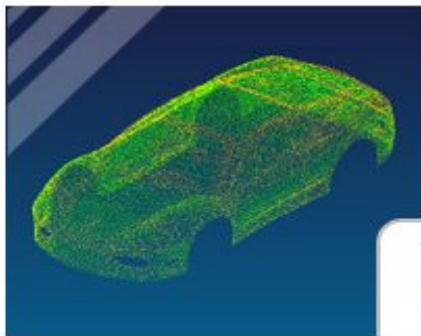
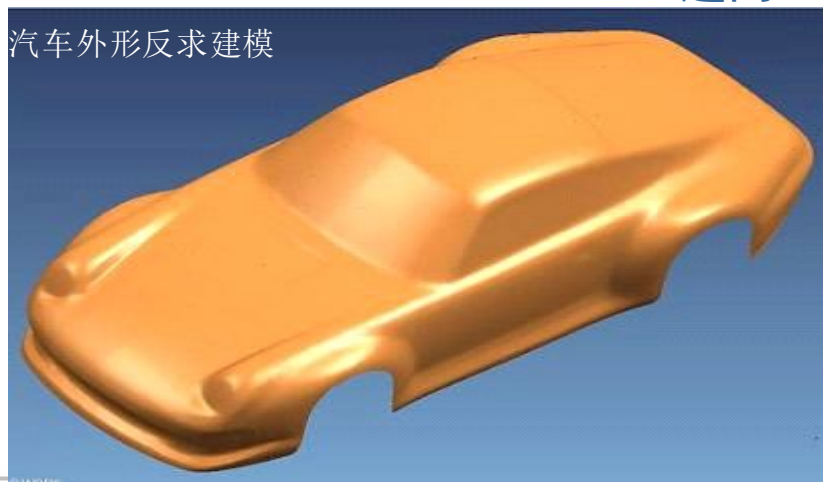
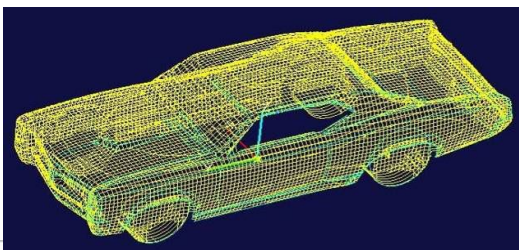


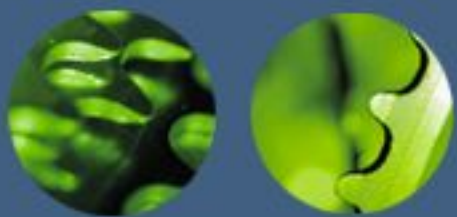


## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

□ 基于逆向工程的快速数字化设计制造（以汽车的设计制造流程为例）

(6) 曲面构建  
逆向CAD建模



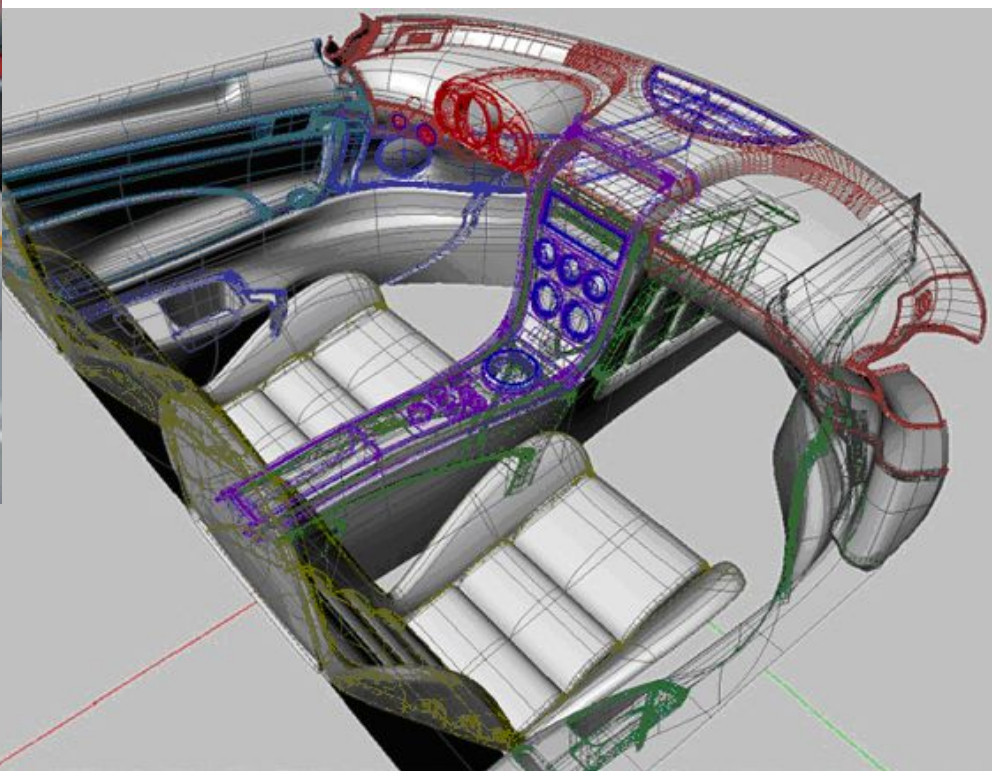


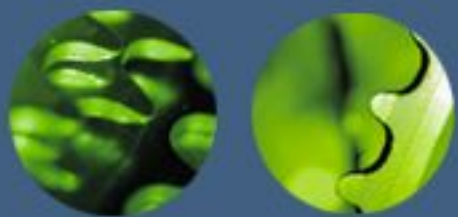
## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

□ 基于逆向工程的快速数字化设计制造（以汽车的设计制造流程为例）

(7) 造型设计装配

数字化装配、干涉检查、性能仿真





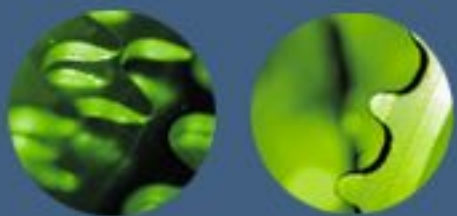
## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

□ 基于逆向工程的快速数字化设计制造（以汽车的设计制造流程为例）

（8）装配后的效果

性能仿真分析、效果评估



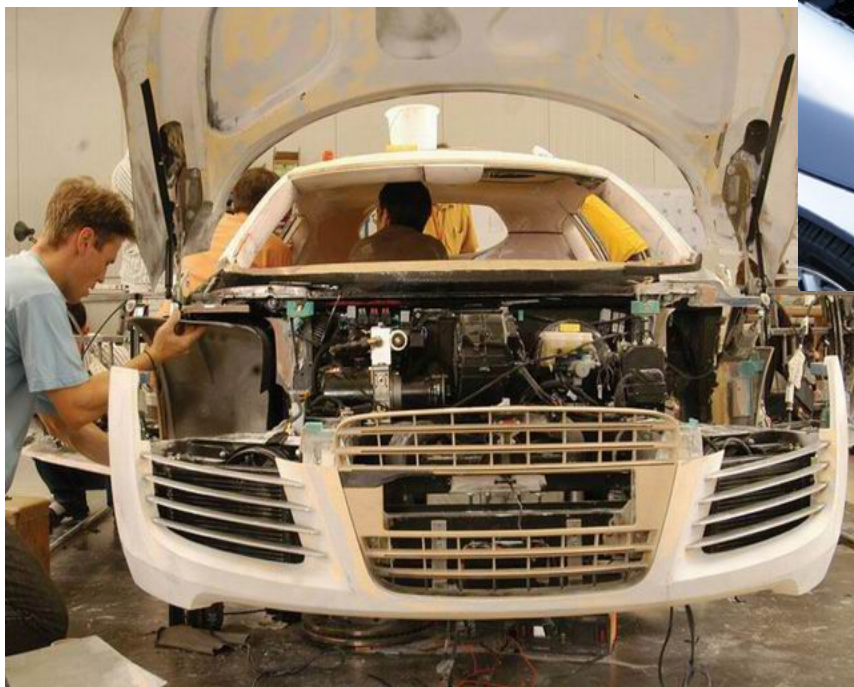


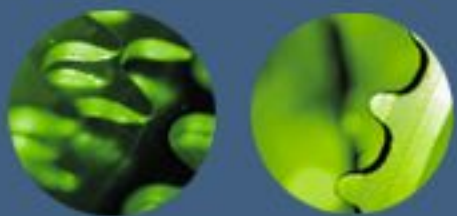
## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

□ 基于逆向工程的快速数字化设计制造（以汽车的设计制造流程为例）

(9) 制作样车

单件实物试验验证





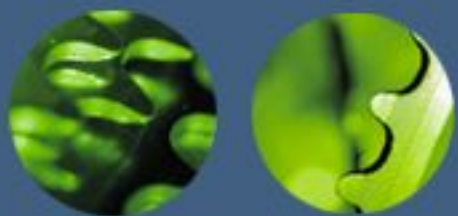
## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

□ 基于逆向工程的快速数字化设计制造（以汽车的设计制造流程为例）



(10) 风洞实验  
空气动力学试验  
模型修改与完善



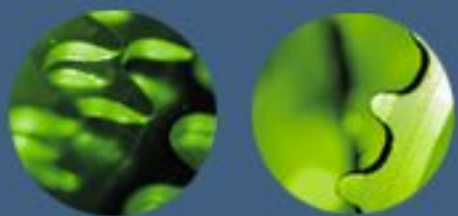


## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

□ 基于逆向工程的快速数字化设计制造（以汽车的设计制造流程为例）  
(11) 碰撞实验

安全性能评估与提高





## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

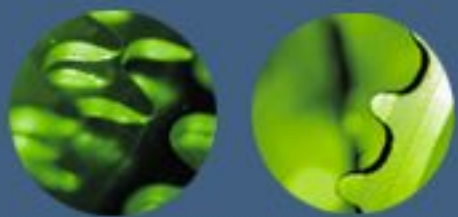
□ 基于逆向工程的快速数字化设计制造（以汽车的设计制造流程为例）

(12) 路试



验证





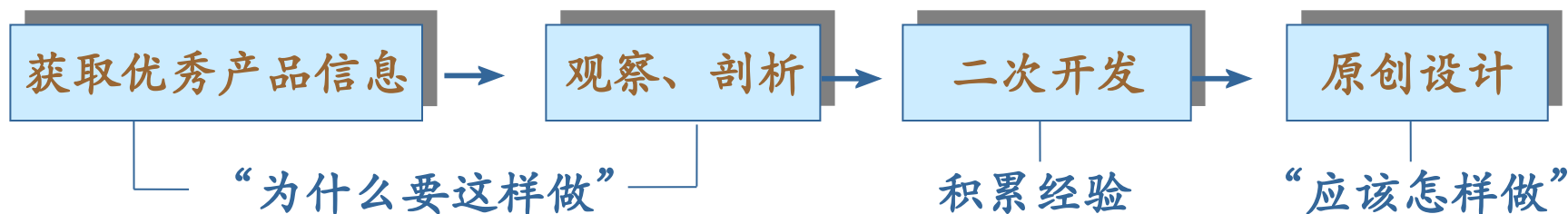
## 二. 产品快速数字化设计与制造技术

### □ 快速数字化设计制造的技术优势

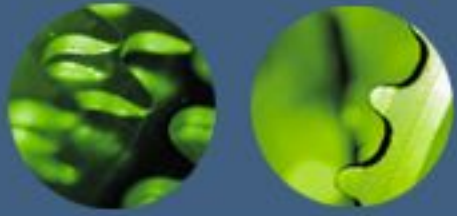
#### 快速设计:

- 快速复制: 从实物快速获取产品CAD模型 (易损件、单件产品)
- 改良创新: 在原有产品CAD模型上进行改良, 实现快速二次开发
- 作为正向设计的有益补充, 贯穿于整个产品的开发过程

#### 提高创新能力的有效途径:



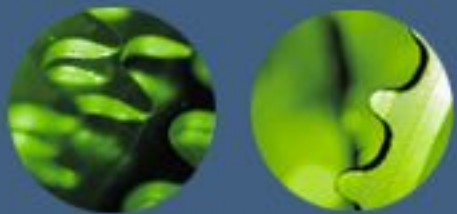




### 三. 几何量超精密测量技术

- 一) 数字化设计制造中的检测方法 with 装备
- 二) 三坐标测量机 with 几何量精密检测技术
- 三) 产品数字化设计制造技术集成应用

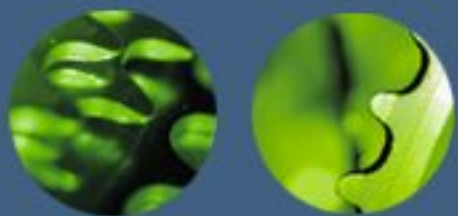




## 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

- 曲面数字化检测方法
- 曲面数字化检测装备



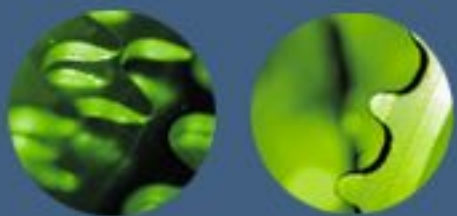


## 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

### □ 曲面数字化检测（数据采集）方法

- 接触式探针扫描测量
- 非接触式点激光扫描
- 非接触式CCD投影扫描测量
- 非接触式线激光扫描
- 接触式与非接触式测量方法比较



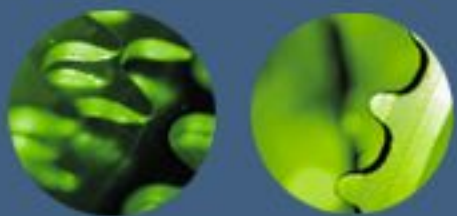


# 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

## • 接触式探针扫描测量

接触式探针扫描测量录像

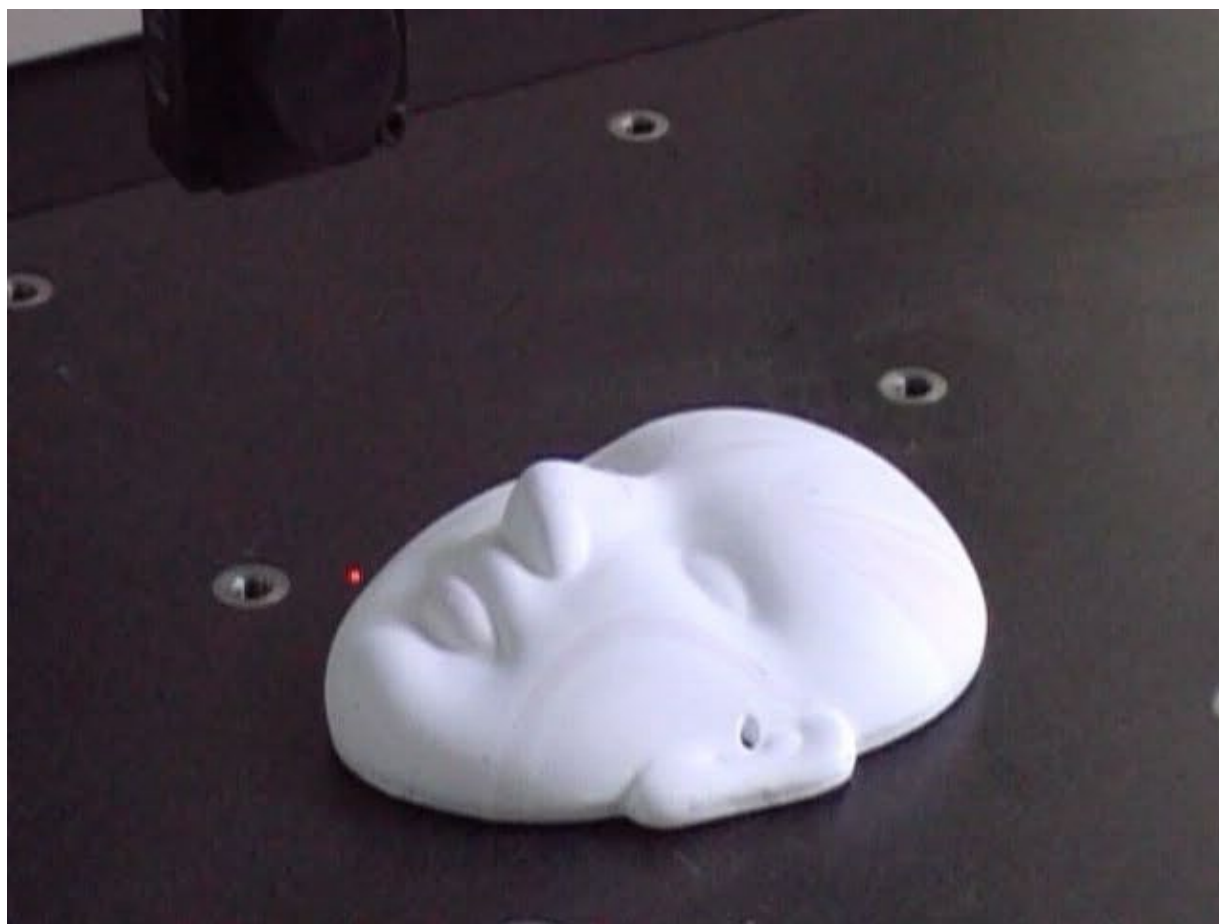


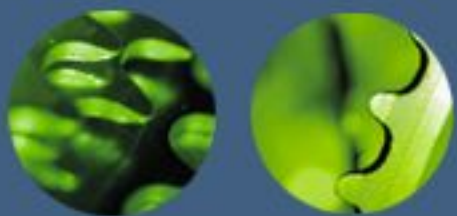


# 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

## • 非接触式点激光扫描

非接触式点激光扫描录像

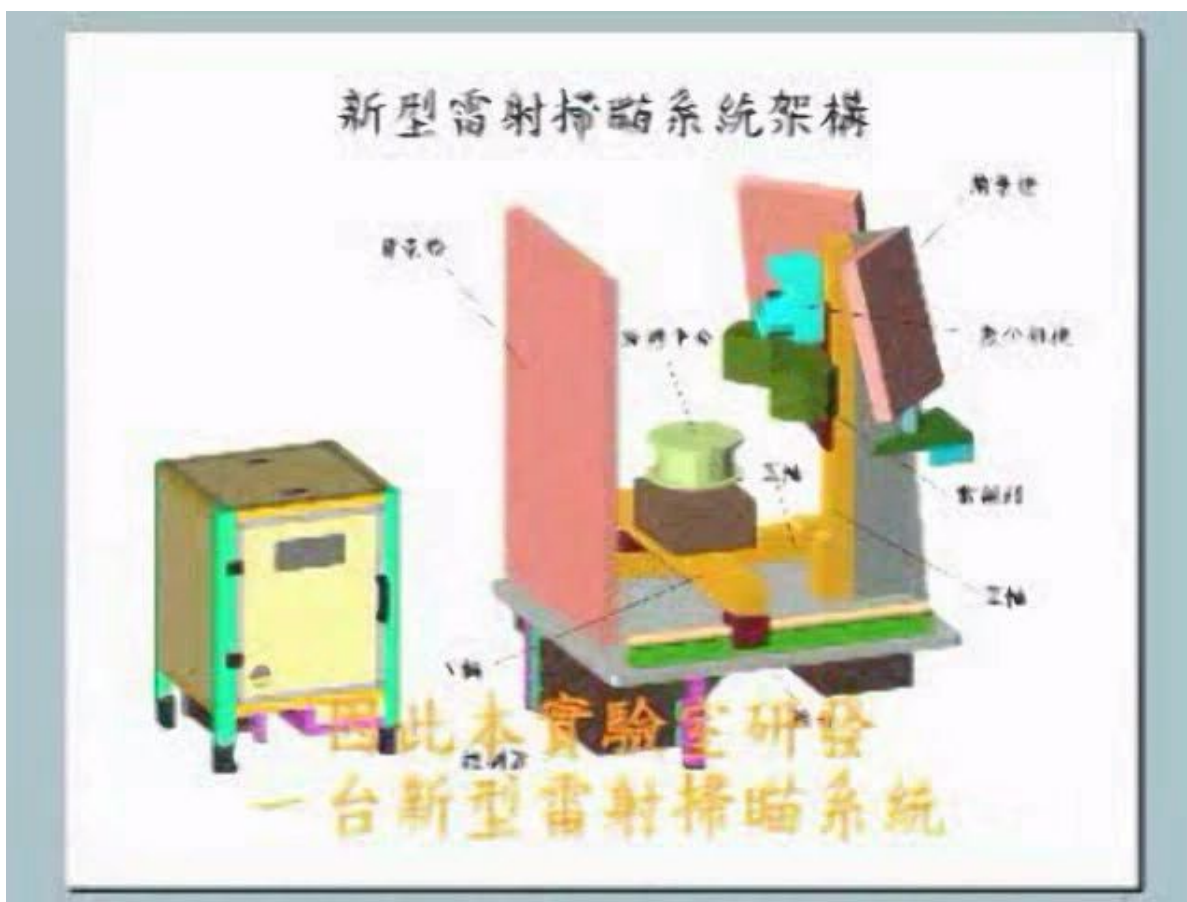


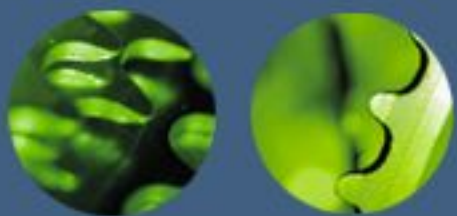


# 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

## •非接触式CCD投影扫描测量

非接触式CCD投影扫描测量录像



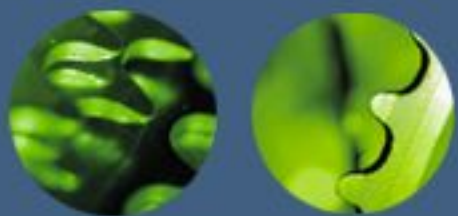


# 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

## • 非接触式线激光扫描

非接触式线激光扫描录像





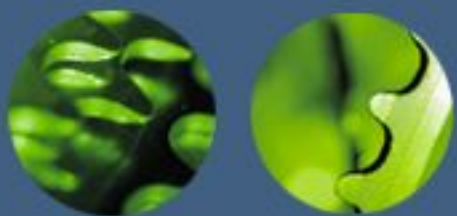
## 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

### • 接触式与非接触式测量方法比较

|      | 接触式扫描测量                    | 非接触式扫描测量                  |
|------|----------------------------|---------------------------|
| 扫描准备 | 需在工件上预设测量点                 | 只要确定扫描范围                  |
| 被测工件 | 非柔性工件                      | 柔性+非柔性物体                  |
| 扫描数据 | 数据量少，需多次扫描                 | 一次扫描，数据量大                 |
| 扫描精度 | 高，一般 $\leq 0.005\text{mm}$ | 低，一般 $\geq 0.03\text{mm}$ |
| 扫描效率 | 慢                          | 快                         |
| 逆向使用 | 常用于结构件、高精度零件               | 精度要求适中、自由曲面类零件            |





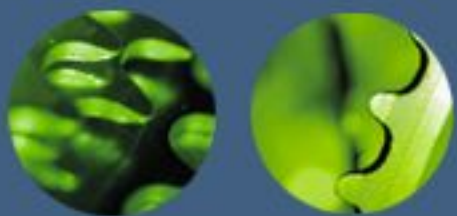


## 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

### □ 曲面数字化检测（数据采集）装备

- 三维激光刀扫描机（“抄数机”）
- 三坐标测量机（CMM）
- 手持式激光扫描仪
- 流动式CCD光学扫描相机
- 关节臂式坐标测量机





## 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

### • 三维激光扫描仪

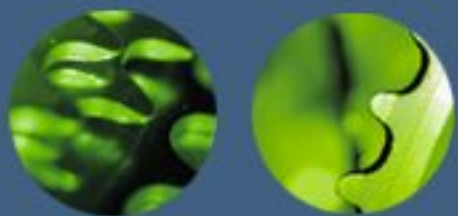
代表产品: *Renishaw*的高速扫描仪 *CYCLONE*

精度:  $0.05\text{mm}$

分辨率:  $0.007\text{mm}$

扫描速率: 最大  $3\text{m}/\text{min}$





## 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

### •三坐标测量机(Coordinate Measuring Machine, CMM)

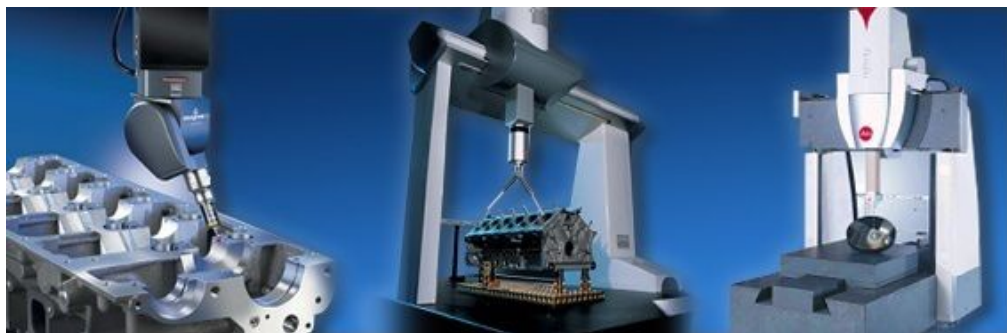
主要品牌:

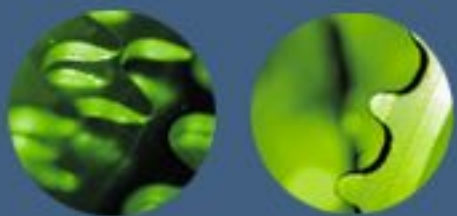
德国蔡司 *Zeiss*

日本三丰 *Mitutoyo*

瑞典海克斯康 *Hexagon*

精度:  $0.003\text{mm} \sim 0.0001\text{mm}$





# 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

## •手持式激光扫描仪

主要品牌:

美国 Polhemus 公司的 *Fast Scan*

美国 Creaform 公司的 *Handy Scan*

精度:  $0.1\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$



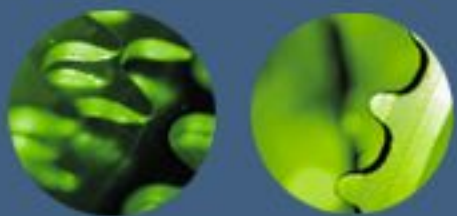
Fast Scan



Handy Scan

www.china.cn





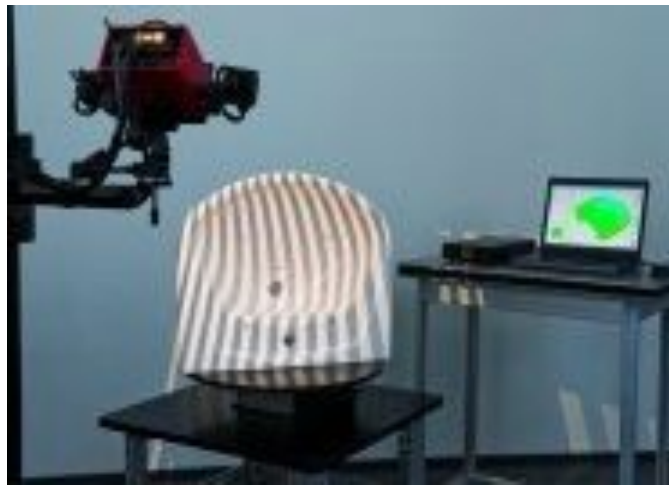
# 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

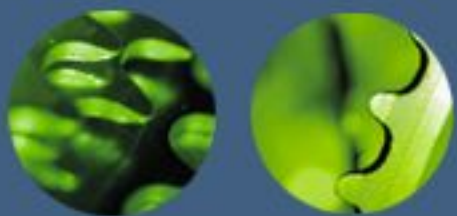
## •流动式CCD光学扫描相机

代表性品牌:

德国GOM公司的ATOS

精度:  $0.03\text{mm} \sim 0.1\text{mm}$





## 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备

### • 关节臂式柔性坐标测量机

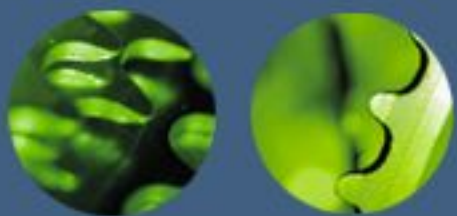
代表性品牌:

美国法如 *FARO*

海克斯康的 *CIMCORE* 和 *ROMER*

精度:  $0.005\text{mm} \sim 0.1\text{mm}$





# 一). 数字化设计制造中的检测方法 与装备



飞机发动机改造



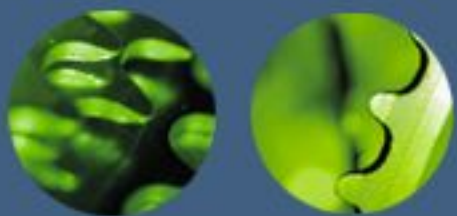
装配生产线



玩具逆向设计



产品质量现场检测



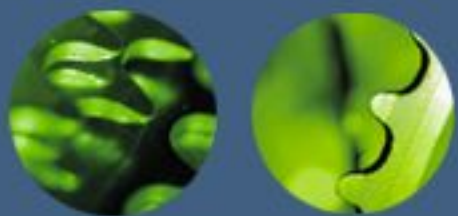
## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### □三坐标测量机与几何量精密检测技术

- 产品几何量精密检测技术与常规方法
- 产品几何精度发展趋势
- 产品几何精度先进测量方法与CMM
- 坐标检测技术的主要流程与功能
- 坐标检测技术的优势



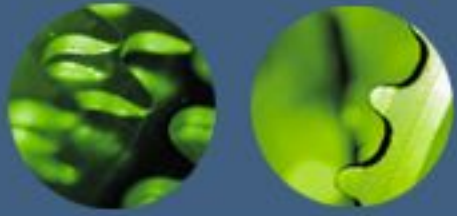




## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### • 产品几何量精密检测技术

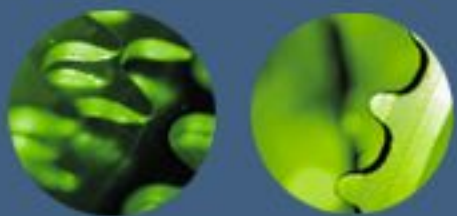
- ✓ 几何量精密检测技术是以精密机械为基础综合光学、电子、传感、计算机等多项先进技术组成的高新技术
- ✓ 能完成各种复杂几何元素的测量工作
- ✓ 精度可达到 $\mu\text{m}$ 级甚至亚 $\mu\text{m}$ 级
- ✓ 已广泛应用于企业生产



## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### •产品几何精度常规测量方法：

- ✓用传统工具（如千分表、量块、卡尺等）进行测量
- ✓属相对测量
- ✓测量工具本身精度不高，人为误差较大
- ✓工具量程小、被测工件尺寸、形状受到限制
- ✓许多形状较复杂的测量任务(如曲面)难以实现
- ✓占用机时较长



## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### ✓传统测量工具及手段

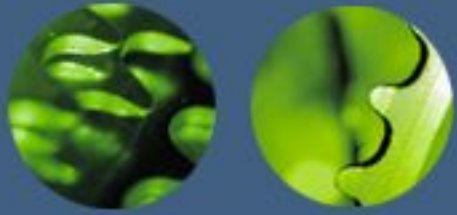


www.china.cn



www.china.cn





## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### • 产品精度提高历程

1950年至2000年:

50年内约提升了两个数量级

平均每8年加工误差缩小一半

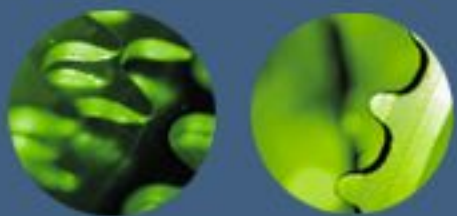
我国情况:

平均每12年加工误差缩小一半

一般加工精度 $<0.01\text{mm}$

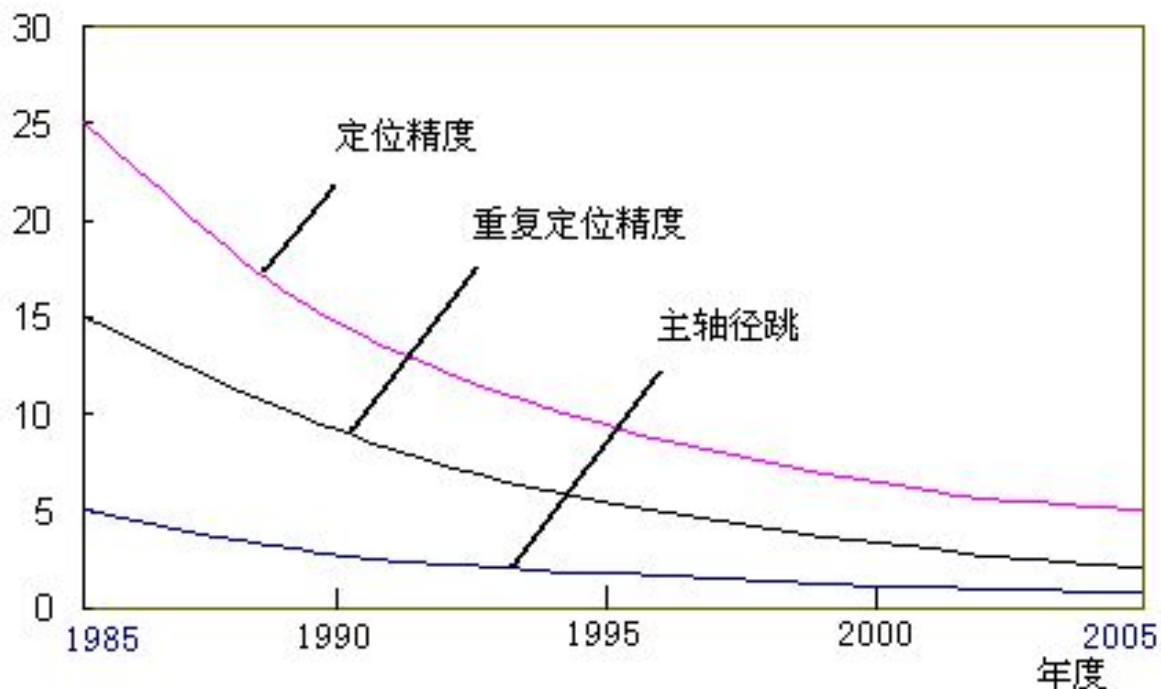
精密加工精度 $0.005\text{mm}$

增长速度比国外低50%，约落后15~20年



## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

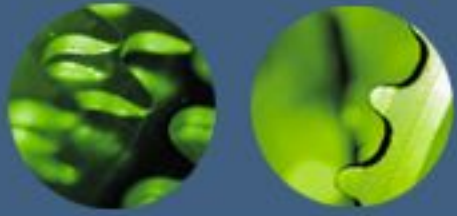
### ✓ 产品加工精度提升历程



加工中心精度提升历程（刀柄 IS040 或 HSK63）

工作精度每 8 年提升 1 倍

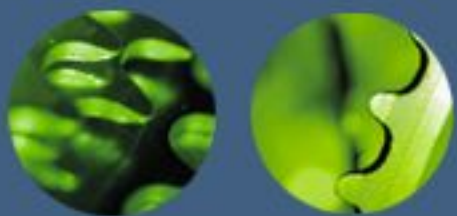




## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### • 产品几何精度先进测量方法与CMM

- ✓ 制造业、模具业、产品设计等行业发展迅猛
- ✓ 精度要求越来越高
- ✓ 形状复杂度（复杂曲面）不断增加
- ✓ 坐标测量技术应运而生
- ✓ CMM可完成复杂的、高精度的、自动的测量任务
- ✓ CMM发展成为测量中心



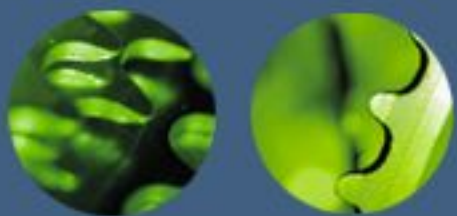
## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### ✓三坐标测量机的发展历史回顾



世界上第一个触发测头

1956年，英国Ferranti公司开发了第一台三坐标测量机



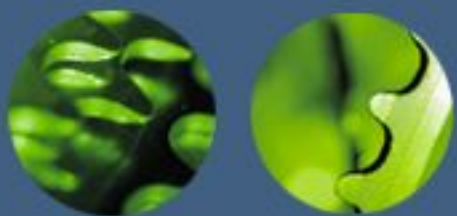
## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### ✓三坐标测量机的应用现状

- 1992年全球拥有测量机46100台，年销售增长率在7%-25%左右
- 发达国家拥有量高，欧美、日韩每6-7台机床配备一台三坐标测量机
- 我国三坐标测量机生产始于20世纪70年代，年增长率在20%以上
- 目前，三坐标检测技术广泛应用于汽车、家电、电子、模具等制造领域

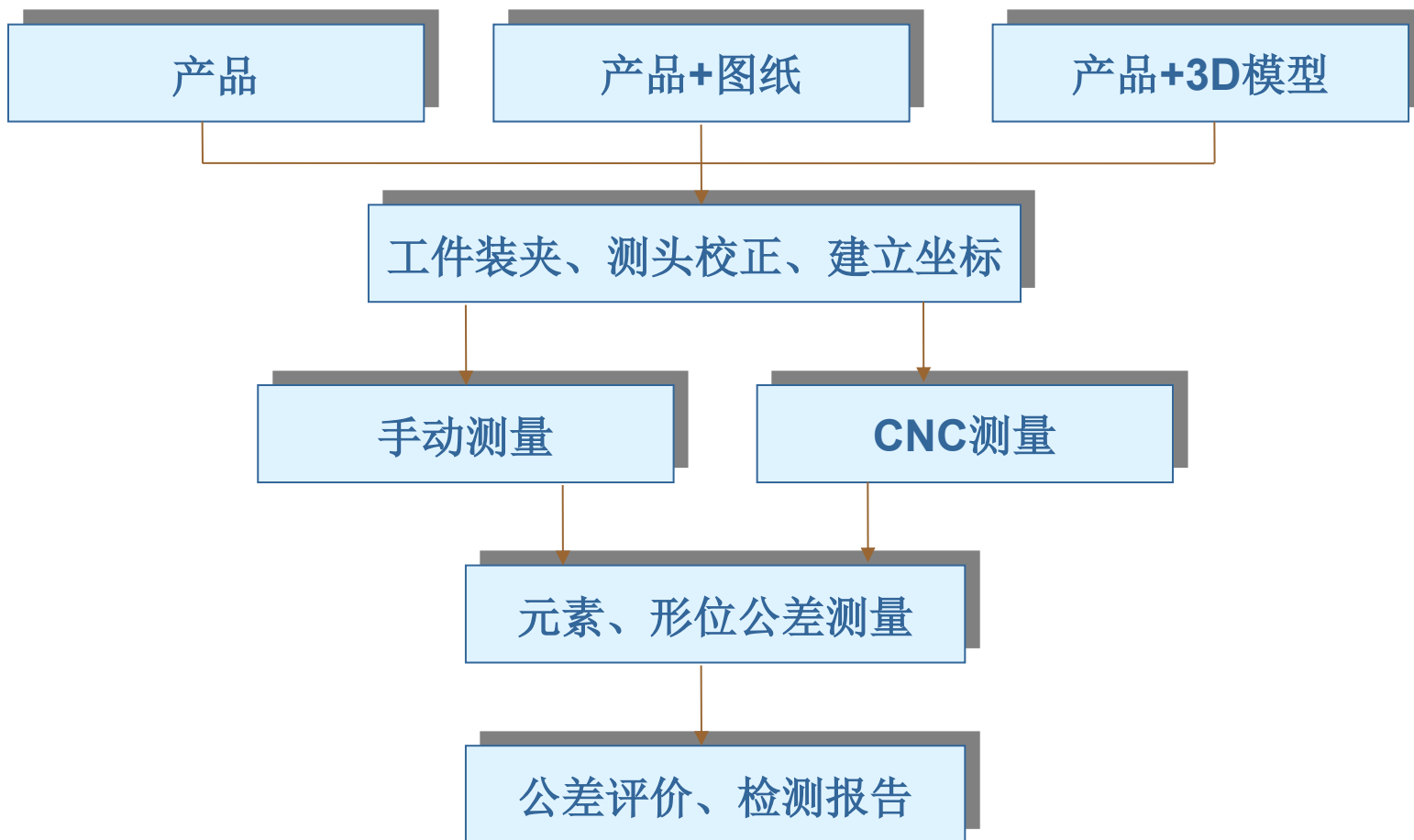




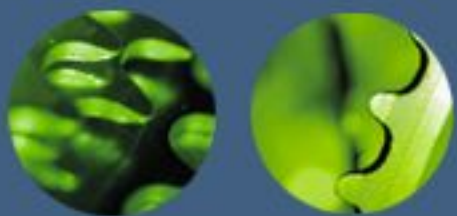


## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### • 坐标检测技术的流程与功能



高精度、高柔性、数字化



## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### 三坐标检测录像

RationalDMIS(TM) External-Array Software, Inc (2003-2006) [非销售演示版]

文件 选项 窗口 帮助

理论 实际

- 点
- 边界点
- 直线
- 面
- 圆
- 圆弧
- 球
- 圆柱
- CYL1
- 圆锥
- 椭圆
- 键槽
- 曲线
- 曲面
- CAD CAD模型
- CADM\_1 NEPTUNEC...
- 点云

名称 CYL1

$[P_i, P_j, P_k]$   
 $[P_x, P_y, P_z]$   
 $[E_i, E_j, E_k]$   
 $[C_i, C_j, C_k]$   
 $[C_x, C_y, C_z]$   
 $[D_x, D_y, D_z]$   
 $[StepW] [S_x, S_y, S_z] [S_i, S_j, S_k]$

| 索引          | 数据        |
|-------------|-----------|
| 起始点         |           |
| 中轴          |           |
| Cx          | -441.1812 |
| Cy          | -501.5808 |
| Cz          | -701.5218 |
| Cl          | 0.0000    |
| Cj          | 0.0000    |
| Ck          | 1.0000    |
| Scan Height | 43.0437   |
| Revolutions | 1         |
| Step Size   | 1.0000    |

创建路径 扫描

已知扫描设置: MMPS

最大扫描加速度: 100.00 扫描加速度: 40.00

最大扫描速度: 100.00 扫描速度: 60.00

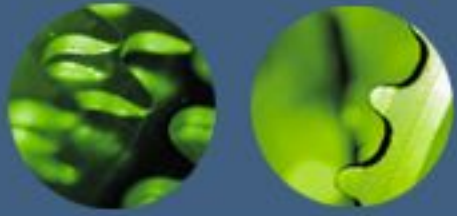
接受

MCS 5

X -420.66174  
Y -505.02957  
Z -684.12213

X = -387.6477, Y = -418.4361, Z = -680.0000, I = 0.0000, J = 0.0000, KK = 0.0000

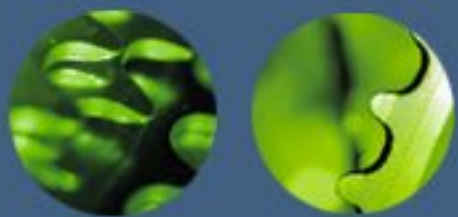
毫米 角度 Cart



## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### 三坐标检测录像

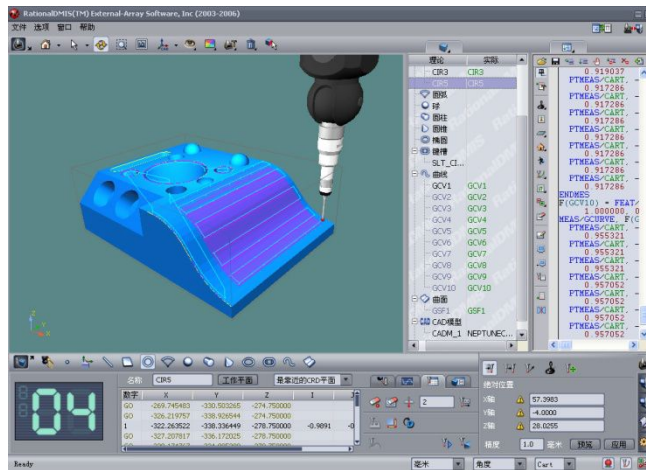
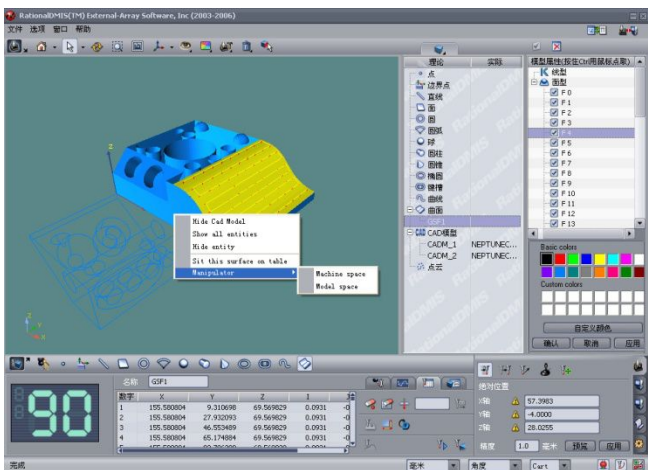




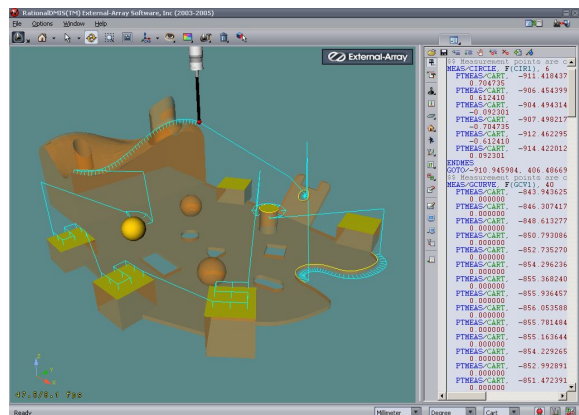
## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### 导入CAD模型

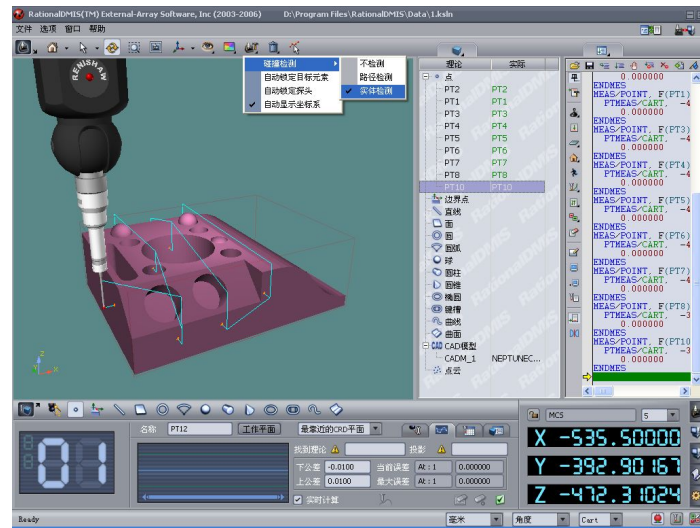
### 测量

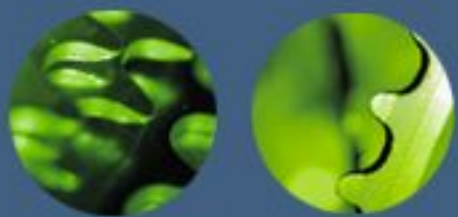


### 防碰撞

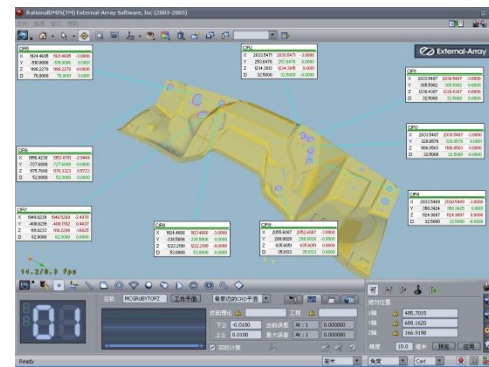
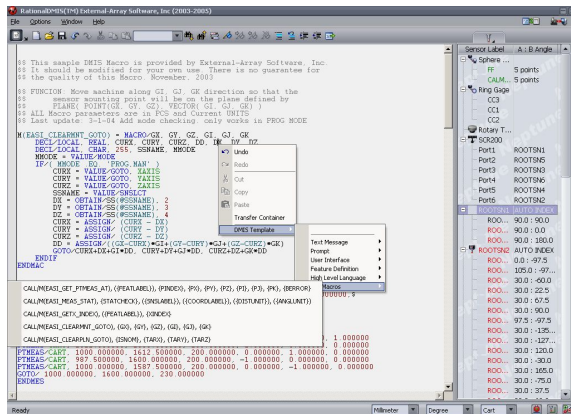
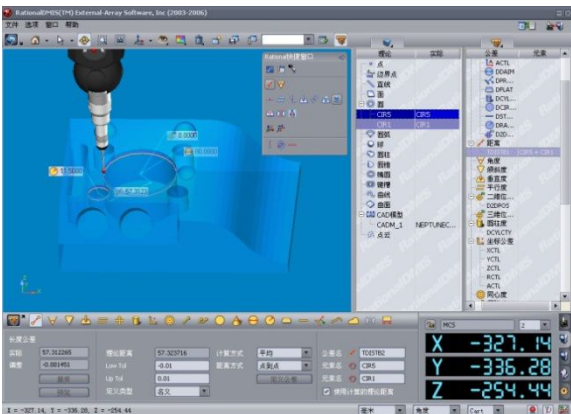


### 脱机路径仿真





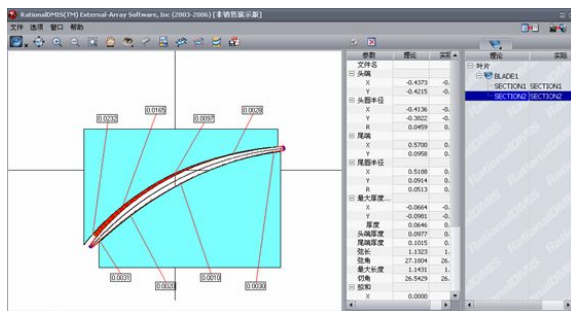
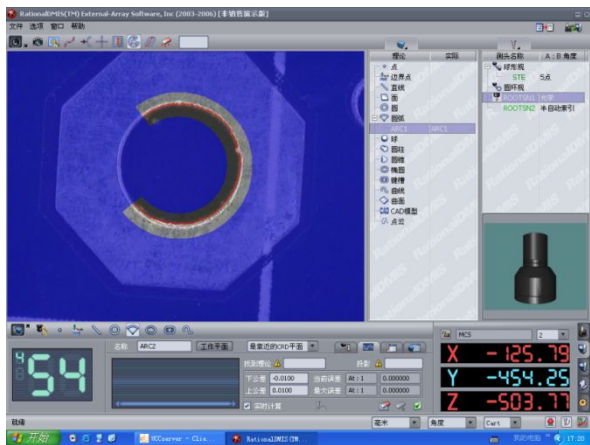
## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术



## 图形报告

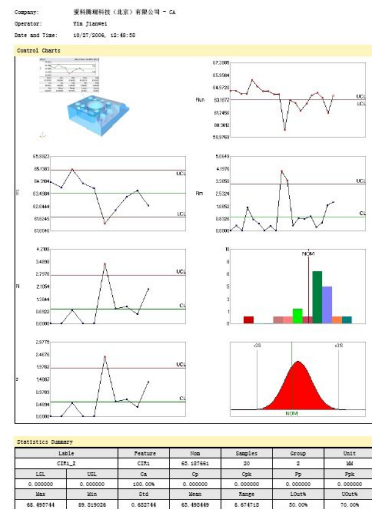
## 尺寸在线标注

## DMIS编程功能

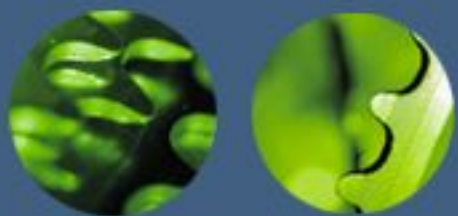


## 叶片测量

## 统计分析



## CCD影像测量



## 二). 三坐标测量机与几何量精密检测技术

### • 坐标检测技术的优势

- ✓ 高精度 (达到 $\mu\text{m}$ 级, 甚至亚 $\mu\text{m}$ 级)
- ✓ 高效率 (数十、数百倍于传统测量手段)
- ✓ 万能性 (可代替多种几何计量仪器)
- ✓ 智能性 (计算机控制, 质量控制评价)
- ✓ 多功能 (精密检测、产品设计)
- ✓ 广泛性 (制造业、汽车、航空航天、模具等多领域)



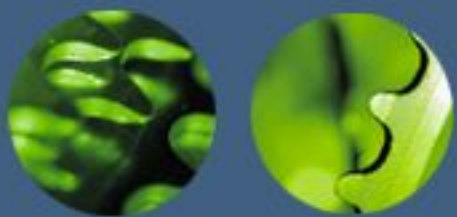


### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

#### □ 逆向设计的应用领域

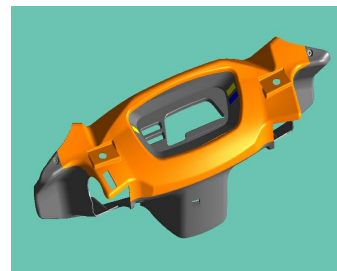
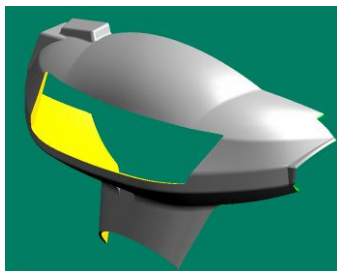
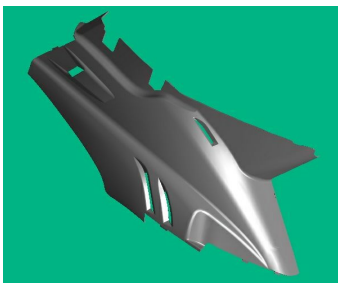
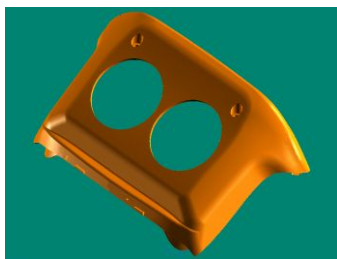
- ✓ 汽车、摩托车
- ✓ 动力零件
- ✓ 模具产品开发
- ✓ 家电制品
- ✓ 医疗器材、运动器械、特种服装
- ✓ 工艺品、卡通
- ✓ .....



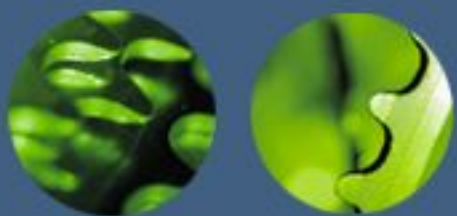


### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

汽车、  
摩托车制造

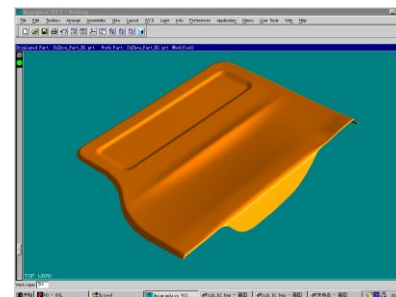
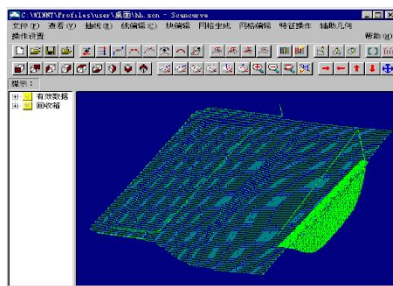
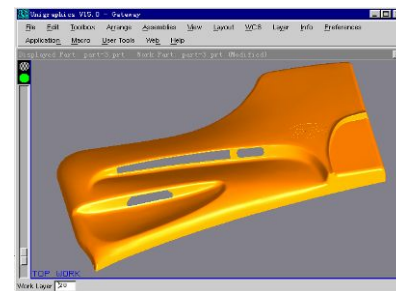
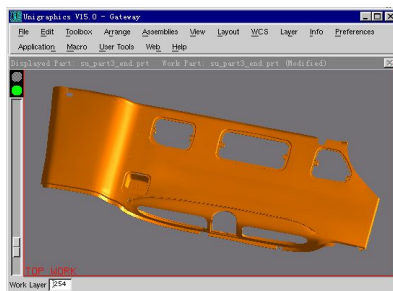
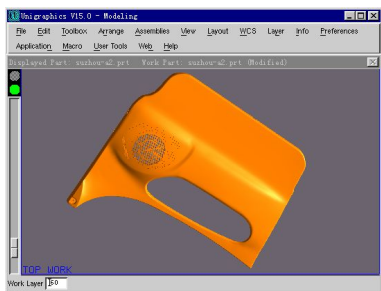
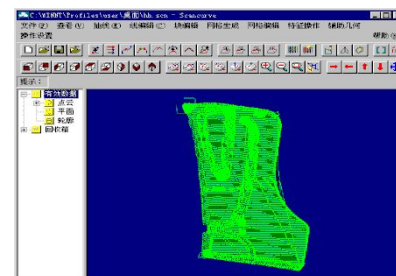
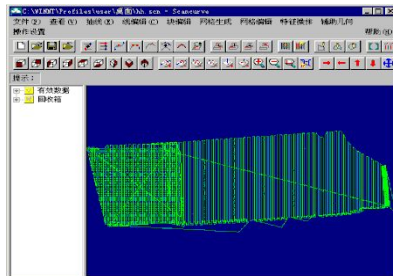
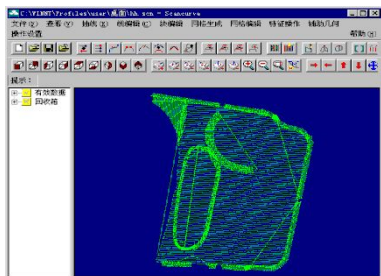


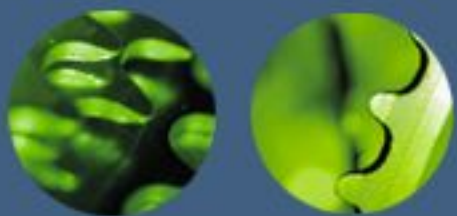




### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

汽车、  
摩托车制造

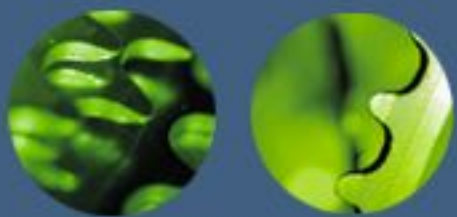




### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

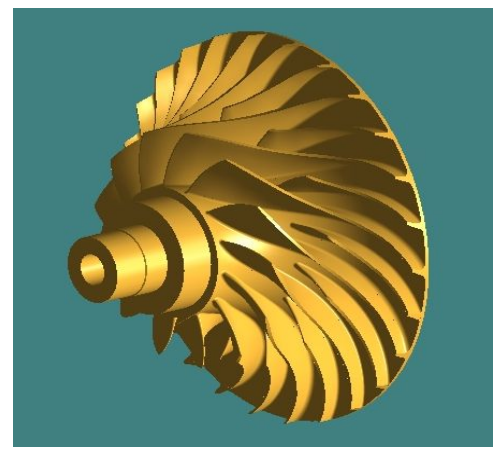
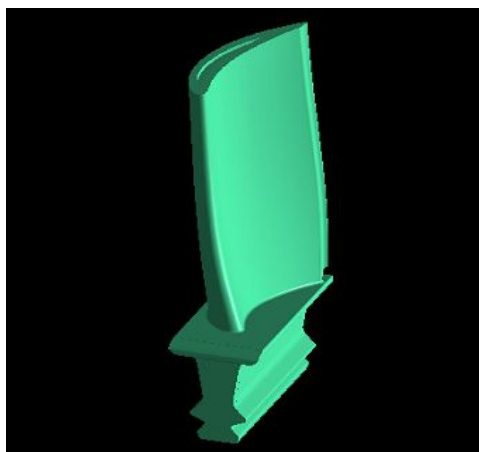
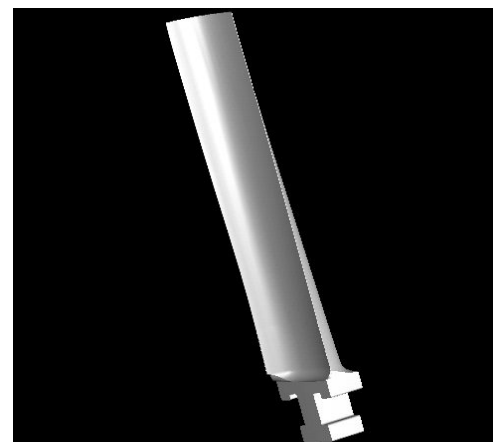
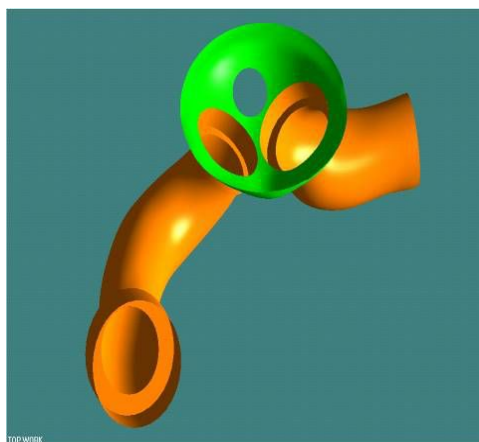
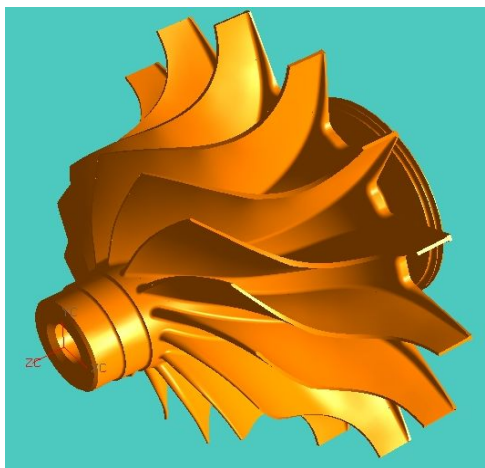
新型汽车设计(概念型产品)

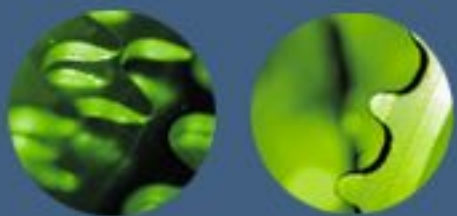




### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

产品的开发与模具生产、工业设计



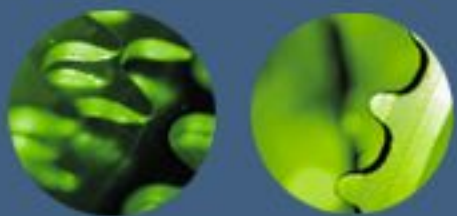


### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

## 通用电器和家电行业

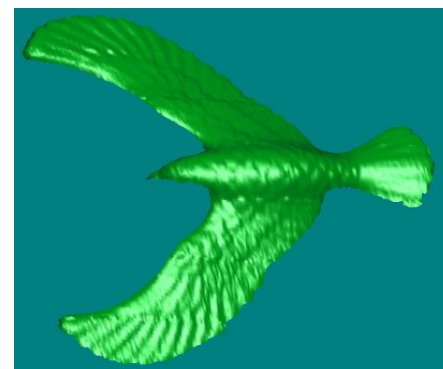
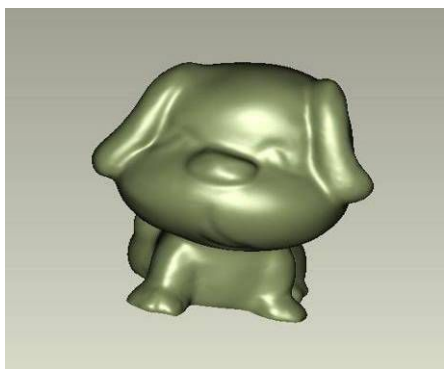
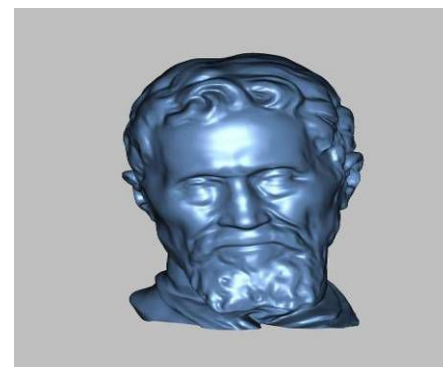
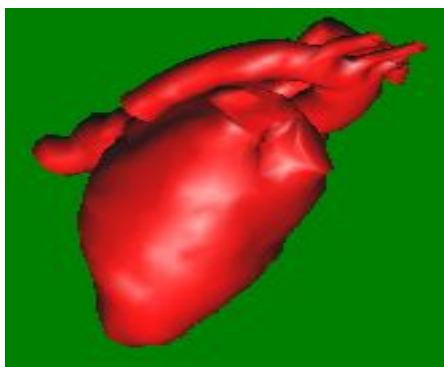
- 通用电器和家电行业更新频繁,外形设计是这类产品市场竞争的重要因素
- 逆向工程技术可以协助工业产品设计师进行产品的创新开发

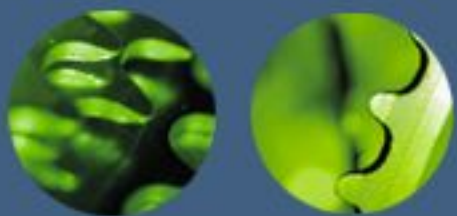




### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

医疗器材、工艺品、卡通动画



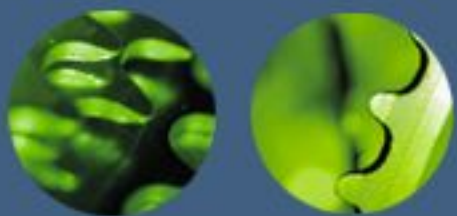


### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

#### 考古物品复原

大量应用于对考古物品的修复与原始数据的保存





### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

## 服装应用领域

### 特种服装(宇航服)



### 巡天圣甲

今天,“神六”飞行进行第二天,费俊龙昨天脱下了航天服。但是在飞船的发射、返回以及其他可能失压的情况下,航天员必须穿着航天服,可在六小时内保证生命安全。

1. 头盔的盔壳由碳纤维纤维制成,不仅能隔热、隔热和防碰撞,而且还减震好、重量轻。

2. 过滤器

3. 中国载人航天的徽记

4. 在右腹部位置有一根细管,是航天员的通信工具

5. 左腹部处有两条管道,是给航天员供气 and 排放二氧化碳的设备

6. 通讯和医用传感器的连接器

7. 航天服的心脏部位有一个可以活动的圆形装置,用来调节衣服内的压力、温度和湿度

8. 航天员专用表

9. 航天服左袖设有压力表,随时显示航天服内的压力

10. 通风设备。在航天员上飞船之前,需要通过这个小箱子透气,同时排出多余的热量。这个设备只在上飞船的路上使用,不带到飞船上使用

11. 鞋。有趣的是,在太空飞行中,“神六”航天员不穿鞋子,只穿厚底保暖袜。

航天服的价格

“神六”舱内航天服的造价十分昂贵,一套的造价百万元人民币,相当于一辆法拉利或者15辆马自达6

气密性的实现

在航天服的研制中,关键技术是气密性,研究人员将气密层的穿脱口用尼龙绳牢固地扣紧于服装的限制方向,再将限制层的不具有气密性的普通拉链关闭即可

航天服的穿法

我国的航天服在胸前开了一个“V”字形的拉链,航天员在穿航天服的时候,先要拉开拉链,将身体套进去,再穿上身

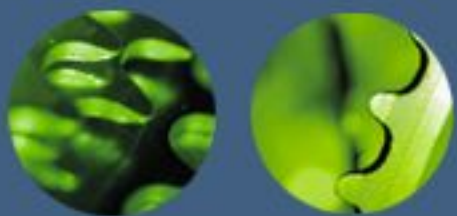
舱外航天服穿法

中国的航天员这次去太空执行舱外任务,所以只能穿了舱内航天服。舱外航天服更加复杂,现在国际上主要有美国式舱外航天服和俄罗斯式舱外航天服两种

航天服外层采用的是最顶级的宇航材料,5厘米见方的布,就可承受300公斤的拉力

美国式的舱外航天服是分体式,从脚环进入,先穿下身,然后穿上身,通常需要别人帮助

中国中医研究院



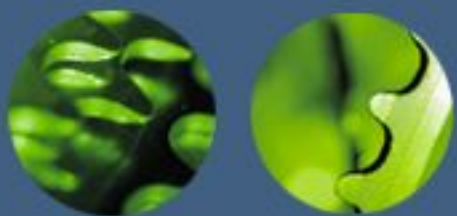
### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

## 创意产品应用领域

人工力学-人体曲线产品设计





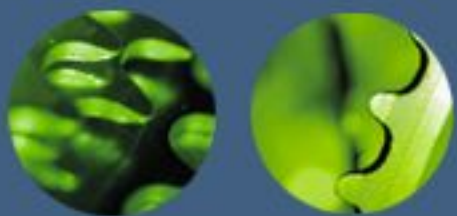


### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

#### □ 逆向设计与精密检测技术的集成应用实例 (逆向设计/快速成型/精密检测应用实例)

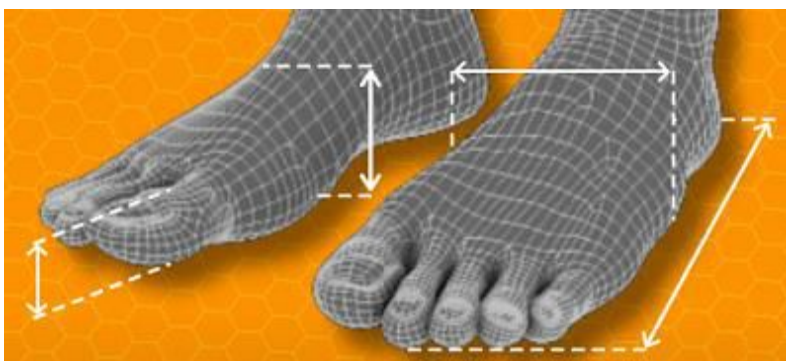


耐克公司为刘翔量身定制的“刘翔跑鞋”

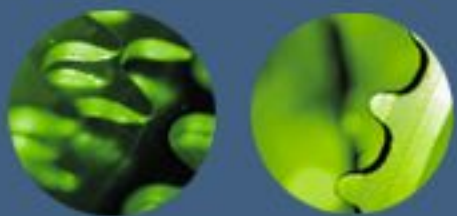


### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

#### 逆向/快速成型/精密检测应用实例



利用激光扫描等技术提取脚部数据，再根据人体力学等各种因素构建脚部模型

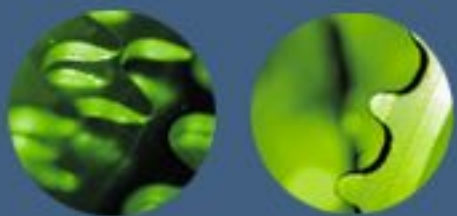


### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

逆向/快速成型/精密检测应用实例

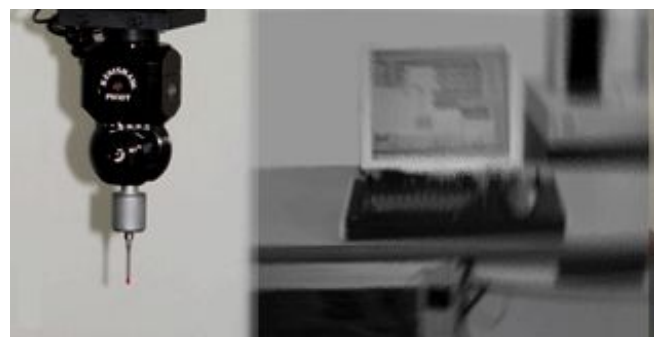
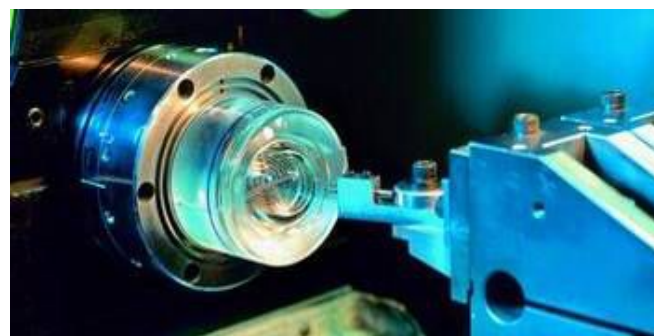
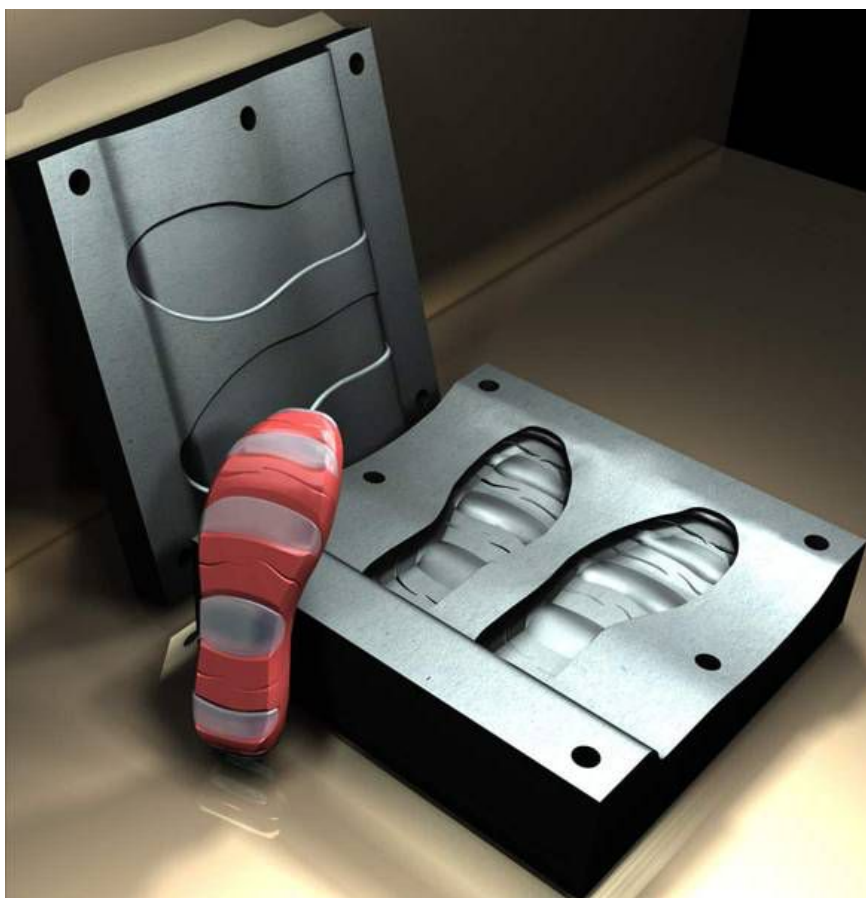


利用快速成形加工出鞋楦  
模型并制出样鞋



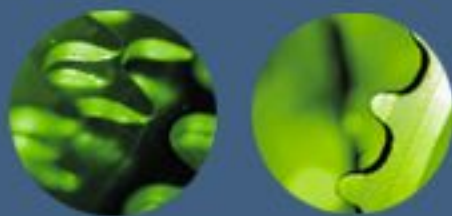
### 三). 产品数字化设计制造技术 集成应用

逆向/快速成型/精密检测应用实例



利用数控和精密检测技术加工出模具并最终加工出产品

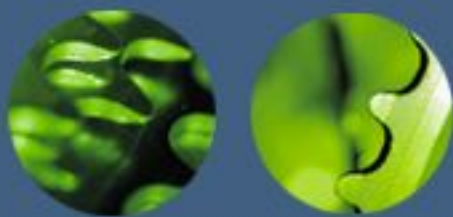




## 四.微纳制造与特种加工技术

- 一) 微纳驱动与测量技术
- 二) 微纳操纵技术
- 三) 微纳制造技术
- 四) 微纳机电系统 (MEMS/NEMS)

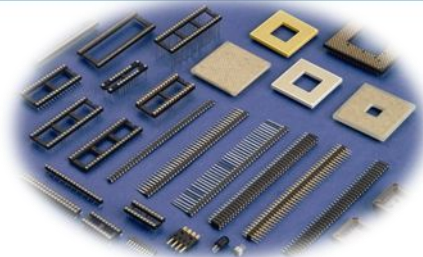




# 四.微纳制造与特种加工技术



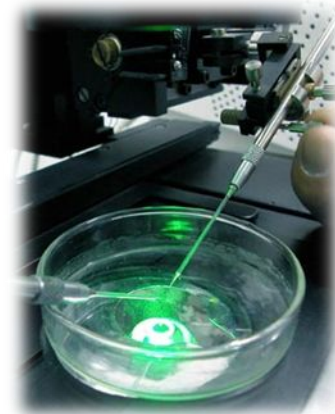
国防  
军工



IC  
制造



航天  
技术



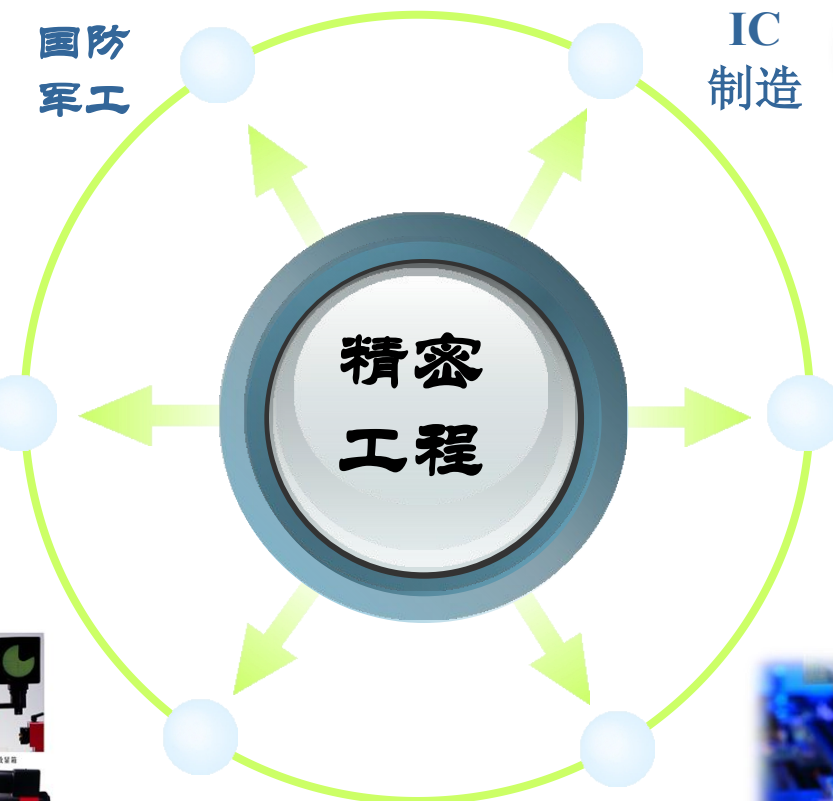
生物  
工程

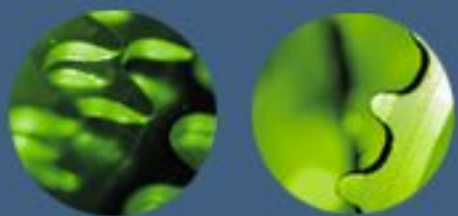


机械  
工业



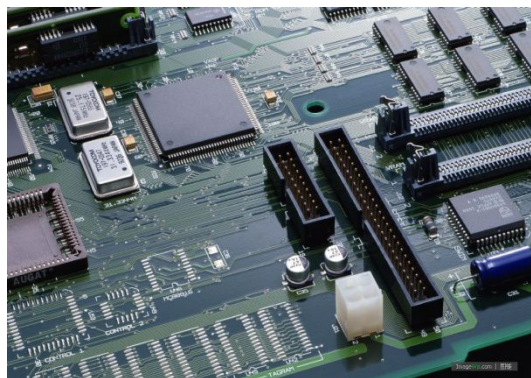
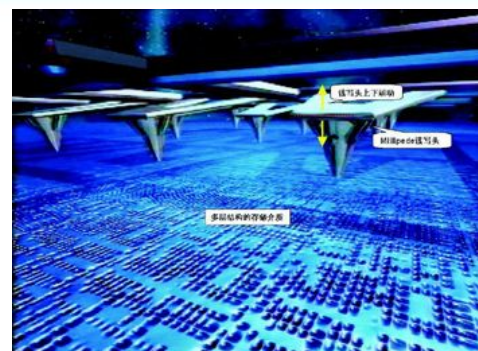
微电子



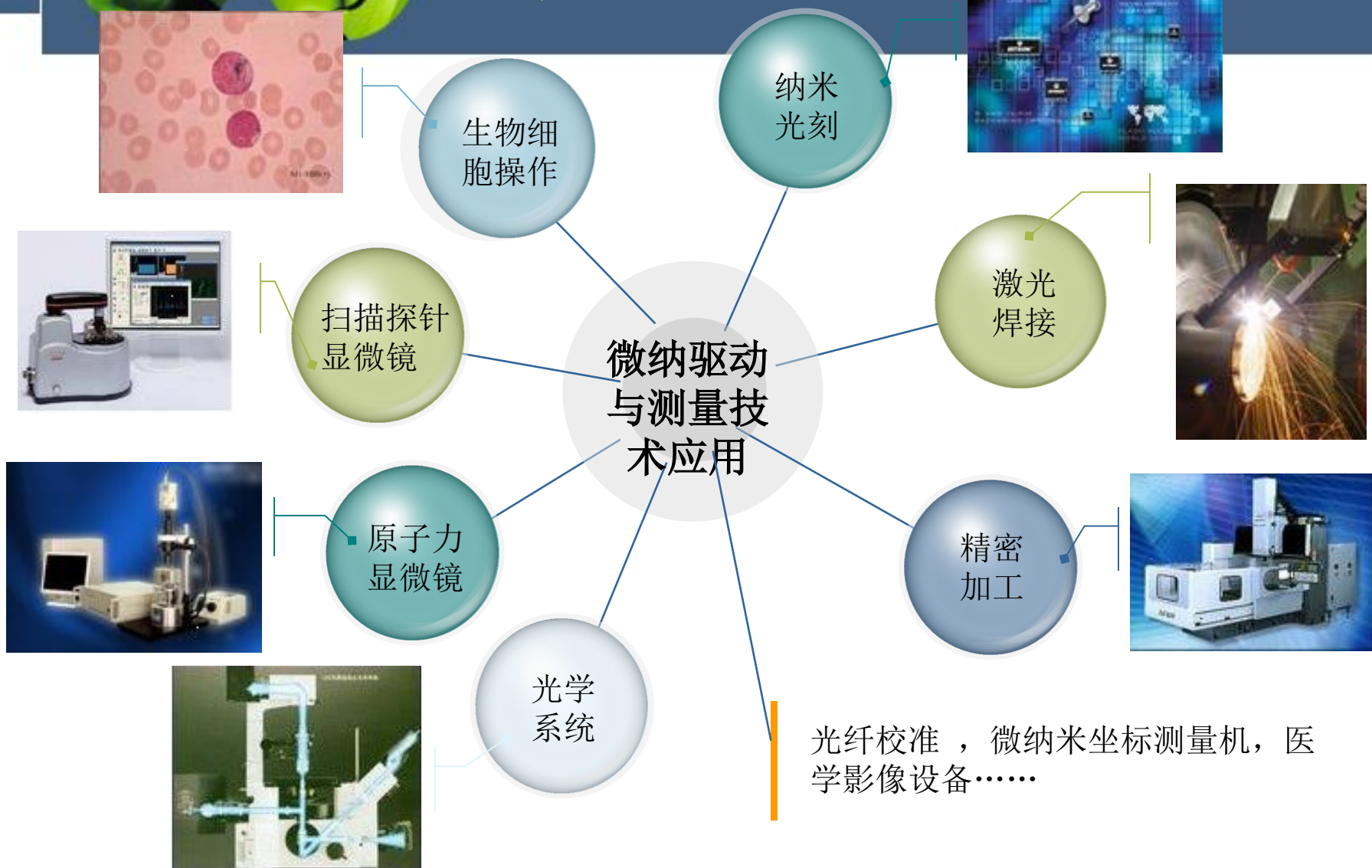


## 四.微纳制造与特种加工技术

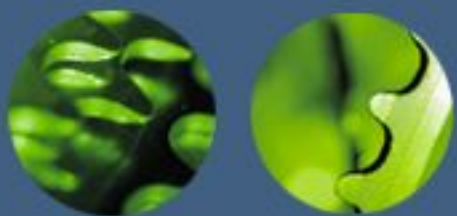
- MEMS装配与集成
- 集成电路制造与封装
- 超精密加工
- 生命医学
- 航空航天
- .....
- 探针式显微镜
- 微位移平台
- 细胞操控
- 探针式数据存储设备



# 一). 微纳驱动与测量技术



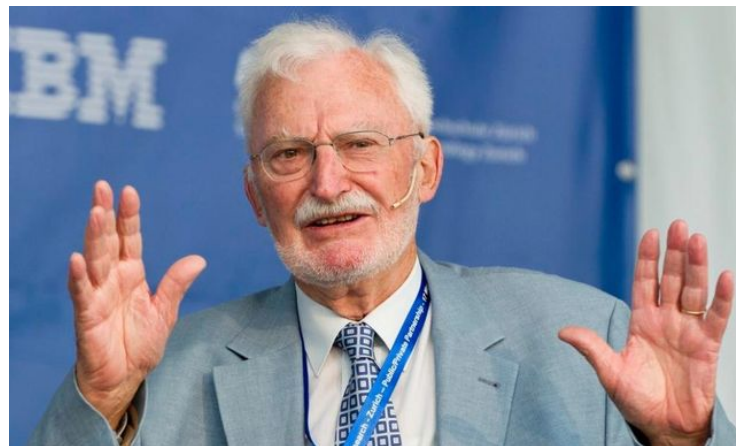




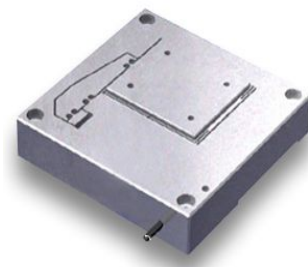
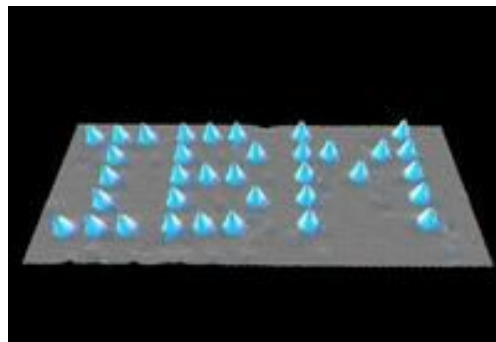
# 一). 微纳驱动与测量技术

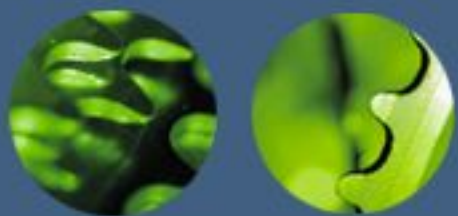


扫描隧道显微镜 (STM)



STM发明者瑞士物理学家海因里希-罗雷尔 (Heinrich Rohrer) 1986年获诺贝尔物理学奖





# 一). 微纳驱动与测量技术

## 扫描隧道显微镜

扫描隧道显微镜 (STM) 的基本原理是基于量子隧道效应, 当探针与样品表面间距离小到纳米级时, 探针与样品间会产生隧道电流。电流强度与间隔大小有关, 当探针沿被测表面移动时, 驱动和控制探针上下移动使隧道电流保持不变, 保证间隙锁定, 那么探针上下移动量便反映了被测表面的轮廓。其中保持隧道电流不变的方法很多, 形成了不同的原理。

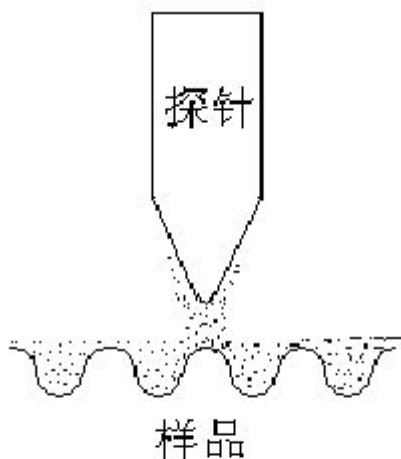


图2.3 金属表面与针尖的电子云层

Fig2.3 Electron cloud of metal and needlepoint

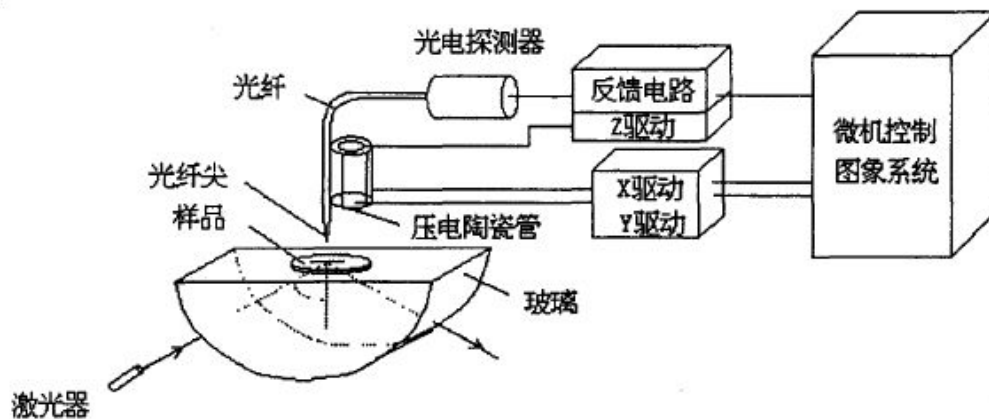
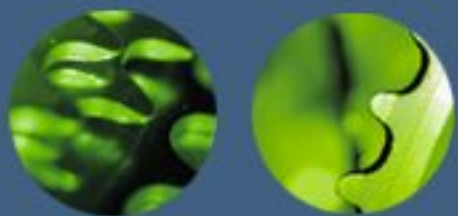


图 1-9 光子扫描隧道显微镜原理

Fig 1-9 Schematic of the Principle of PSTM



# 一). 微纳驱动与测量技术

## 原子力显微镜

原子力显微镜(AFM)在扫描隧道显微镜(STM)的基础上发展起来的。将探针装在一弹性微悬臂的一端，微悬臂的另一端固定，当探针在样品表面扫描时，探针与样品表面原子间的排斥力会使得微悬臂轻微变形，这样，微悬臂

的轻微变形就可以作为探针和样品间排斥力的直接量度。一束激光经微悬臂的背面反射到光电检测器，可以精确测量微悬臂的微小变形，这样就实现了通过检测样品与探针之间的原子排斥力来反映样品表面形貌和其他表面结构。

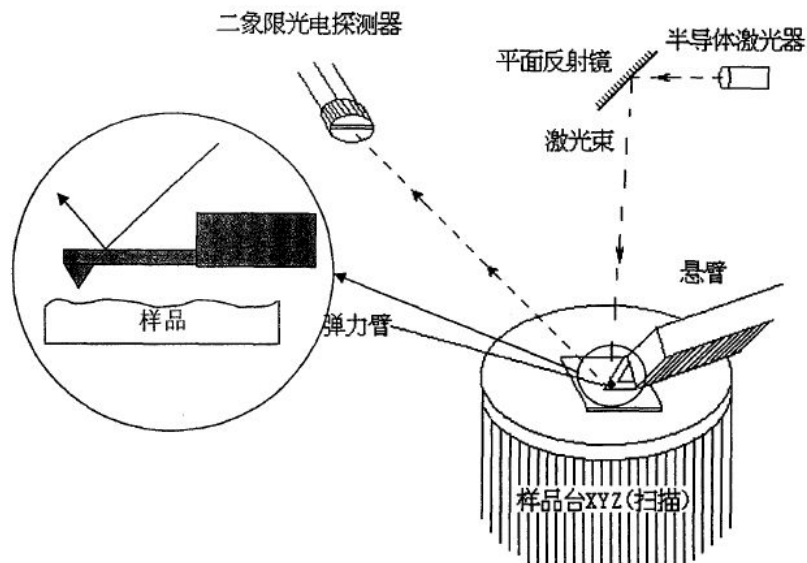
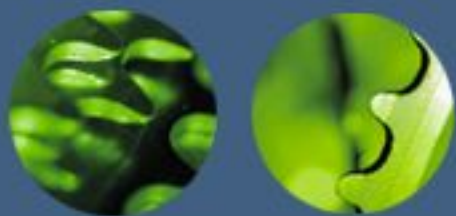


图 1-2 光杠杆监控的 AFM 原理

Fig 1-2 The element of AFM laser lever



## 二). 微纳操纵技术

### 基于超声辐射力的微构件三维微操纵系统



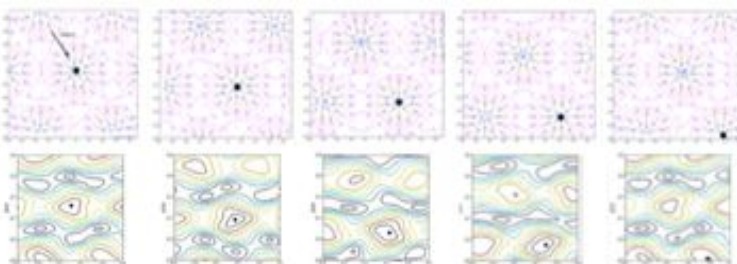
微操纵系统 ( Micro-manipulation system )



超声场测量系统  
( Measuring system for ultrasound field )



超声换能器布置  
( Arrangement of ultrasonic transducers )



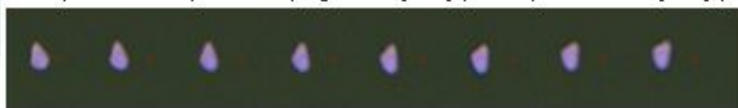
相位调节控制超声辐射力并跟踪运动 ( 上图: 数值模拟; 下图: 实验测量 )  
Position Control of ultrasonic radiation force well by phase adjust  
( above fig.: numerical simulation; lower fig.: experimental measurement )



直线轨迹 ( Rectilinear trajectory )      方形轨迹 ( Square trajectory )      菱形轨迹 ( Rhombic trajectory )



863字符 ( 863 characters )      大圆形轨迹 ( Big Circle trajectory )      小圆形轨迹 ( Small Circle trajectory )



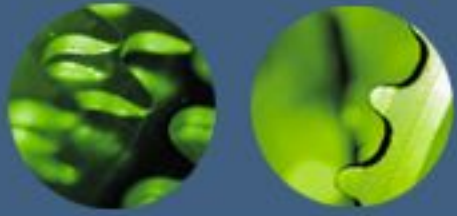
空间姿态旋转 ( Spatial attitude rotation )



### 三). 微纳制造技术

#### 微纳制造与新型制造技术:

- 纳米光刻
- 微纳压印成型
- 高速微铣削
- 微细电火花加工
- 微钻削
- 超精研磨、微磨削、电泳磨削
- 超精抛光、超声波抛光
- 生物制造
- 快速原型制造 (增材制造, 3D打印)
- .....



## 四). 微纳机电系统

### 微/纳机电系统应用 (MEMS/NEMS):

#### □汽车电子与消费电子产品

(MEMS陀螺仪,加速度计,压力传感器,空气流量计,手机,玩具,微麦克风,射频滤波器,压力计等)

#### □新能源产业

(碳纳米管材料制造燃料电池,光伏电池,微能源收集器等)

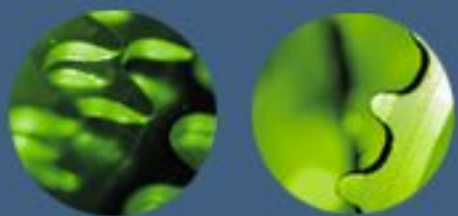
#### □新型信息与光电器件产业

(集成电路,光通信,LED等)

#### □民生科技领域

(医疗检测仪器,人工假体,人工耳蜗,煤矿安全监测.....)

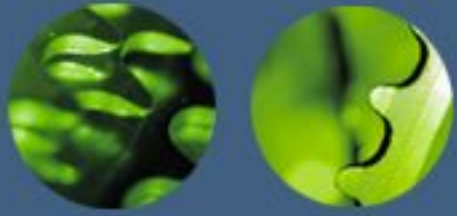
.....



## 五. 学科相关特色研究工作

- 超精密检测技术与装备
- 微纳制造技术与装备
- 超声波加工技术与装备



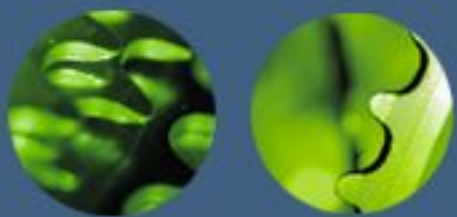


## 五. 学科相关特色研究工作

### □ 复合坐标测量方法研究与装备研制

- 非接触式测量方法与三维激光扫描仪
- 接触式探针测量与坐标测量机CMM
- 多传感器集成测量与复合式CMM
- 测量、建模、加工一体化与仿形加工机床



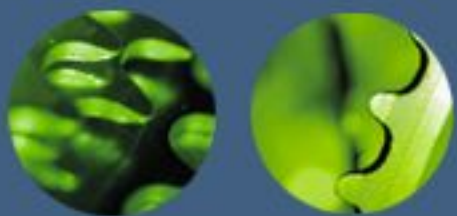


## 五. 学科相关特色研究工作

### 激光扫描原型系统



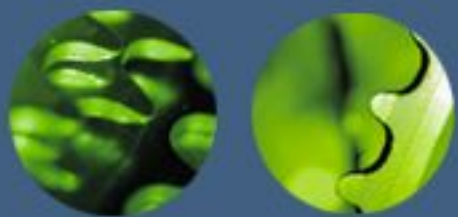
激光非接触式采点



## 五. 学科相关特色研究工作

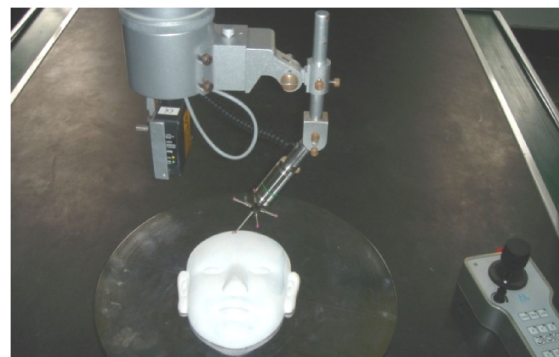
### 三维激光扫描仪





## 五. 学科相关特色研究工作

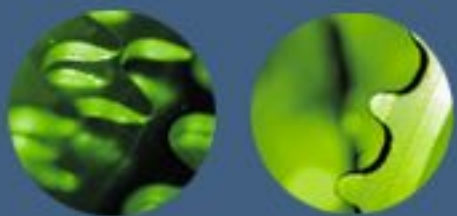
### 三维激光扫描机（增加接触式测量功能）



激光测头与接触式探针结合

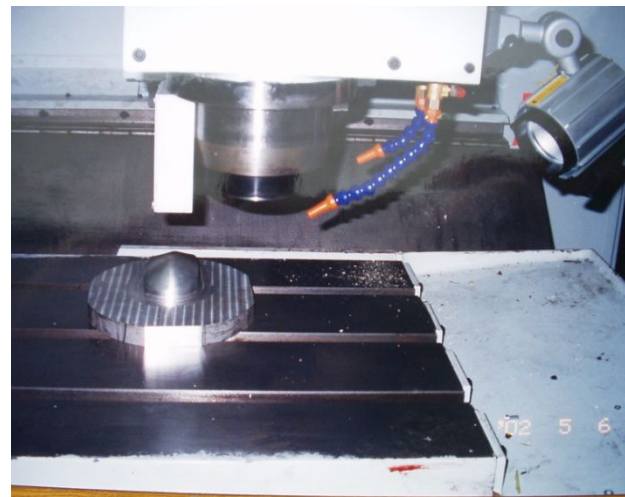


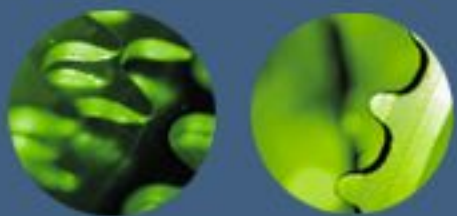
手持控制器



## 五. 学科相关特色研究工作

### 激光扫描系统应用（数控仿形铣）

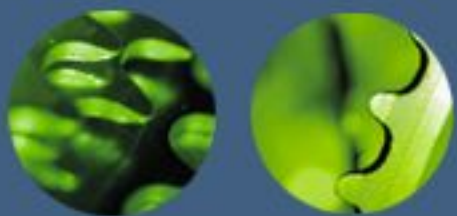




## 五. 学科相关特色研究工作

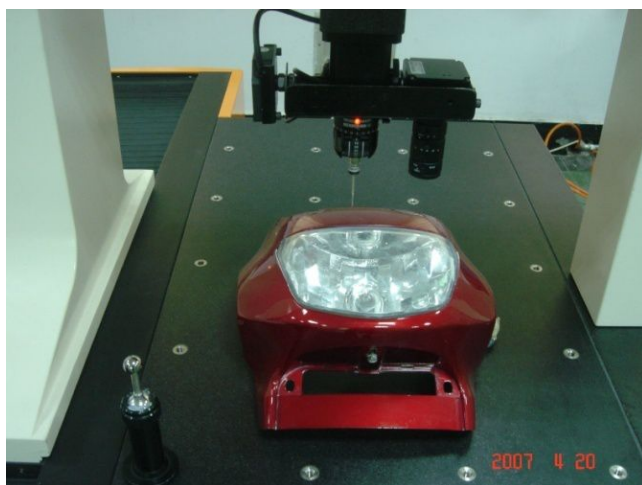
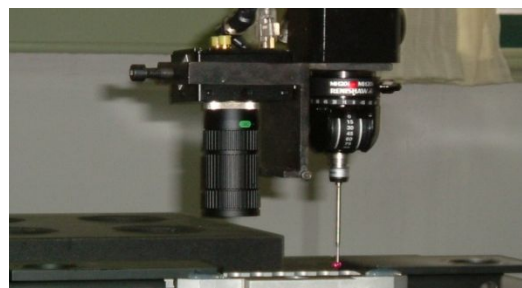
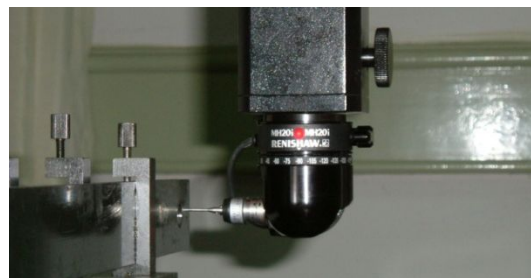
复合式(接触式+非接触式+CCD)三坐标测量机

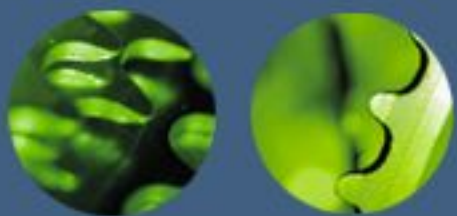




## 五. 学科相关特色研究工作

### 复合式三坐标测量机

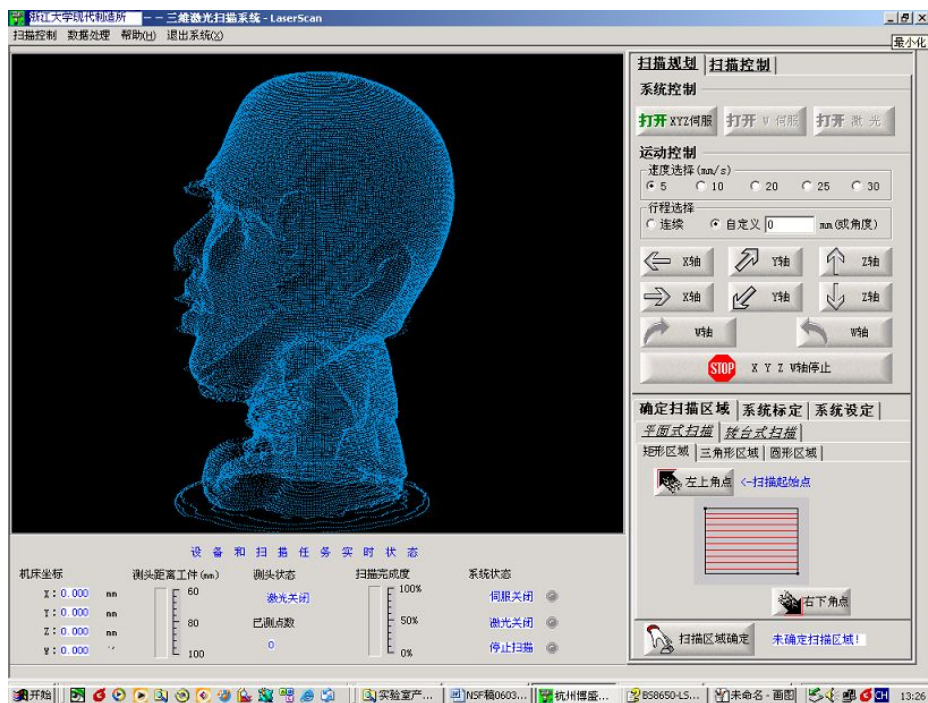




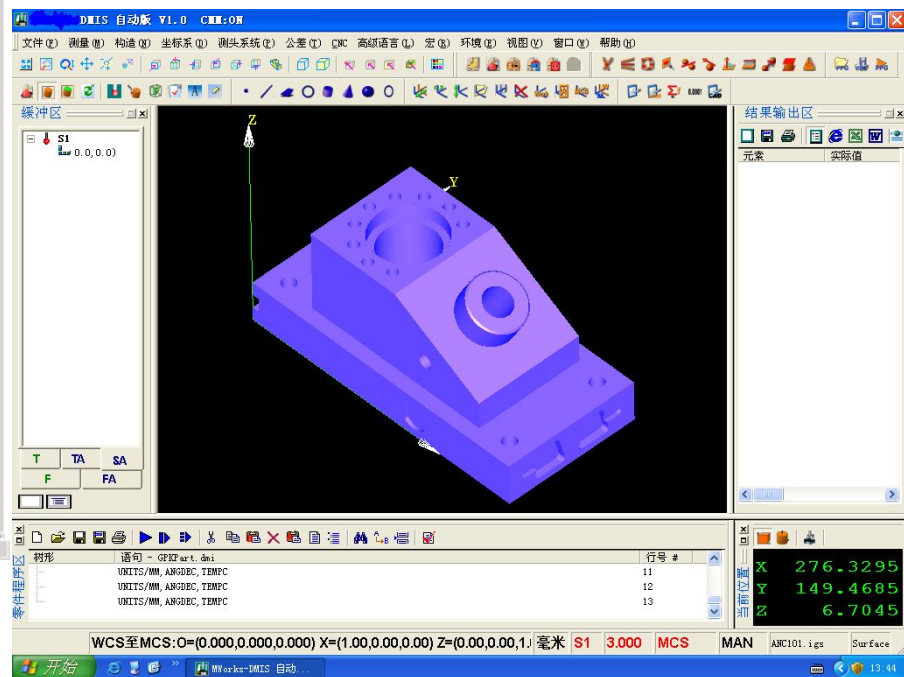
## 五. 学科相关特色研究工作

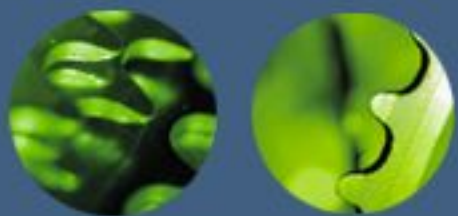
### 复合式三坐标测量机软件（自主软件版权）

基于CAD模型的测量  
软件界面



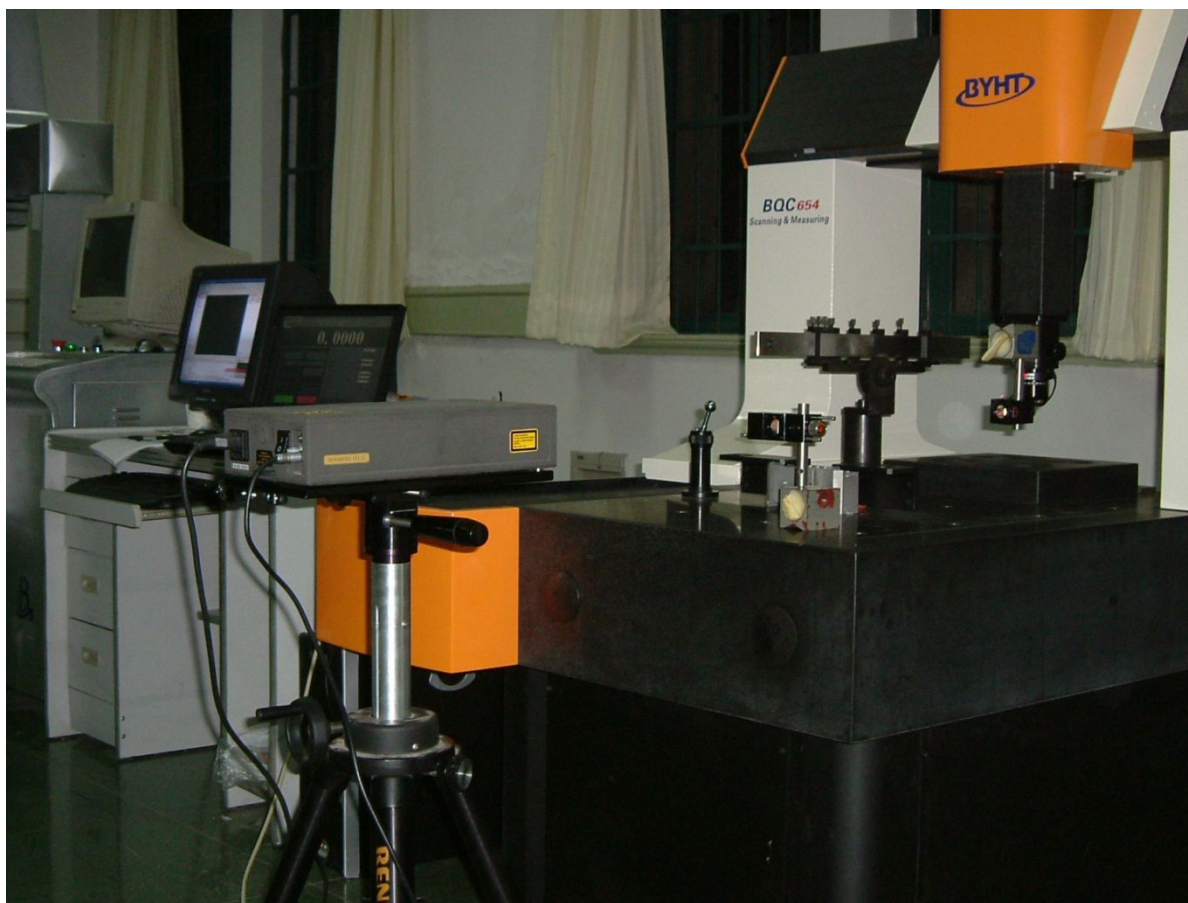
激光扫描软件主界面



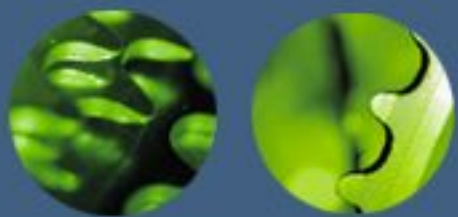


## 五. 学科相关特色研究工作

### 激光干涉仪标定CMM精度



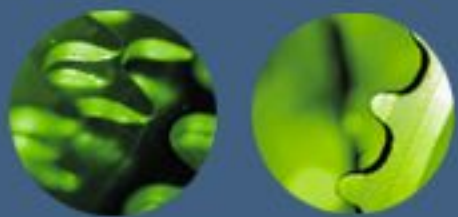




## 五. 学科相关特色研究工作

### 关节臂柔性坐标测量机

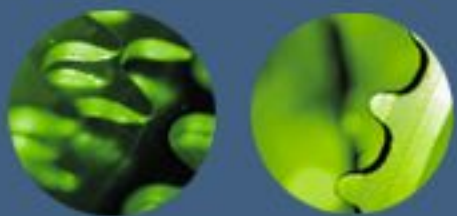




## 五. 学科相关特色研究工作

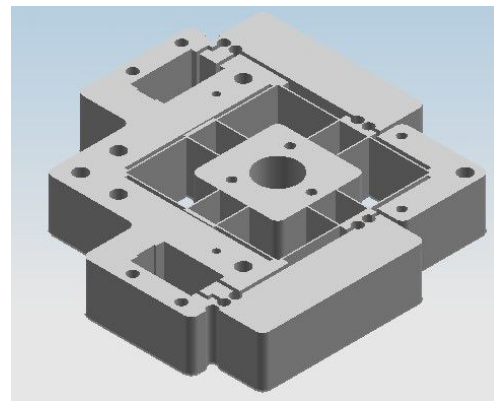
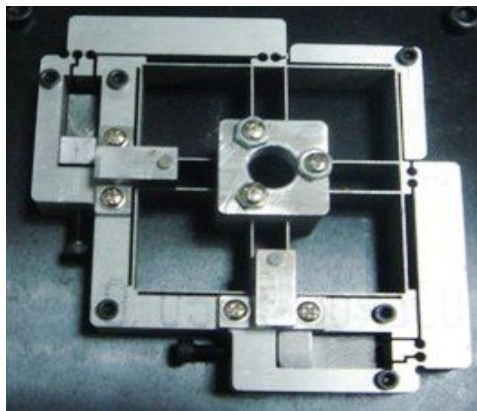
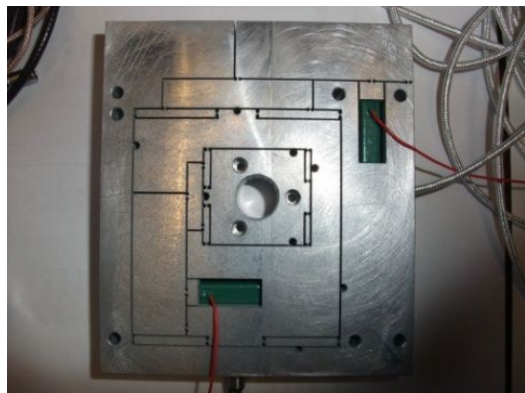
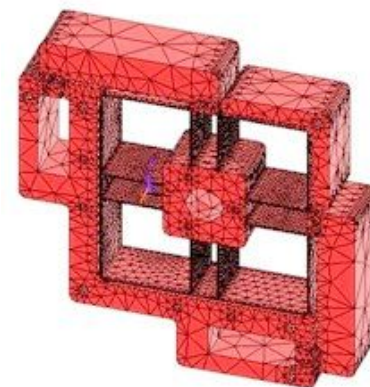
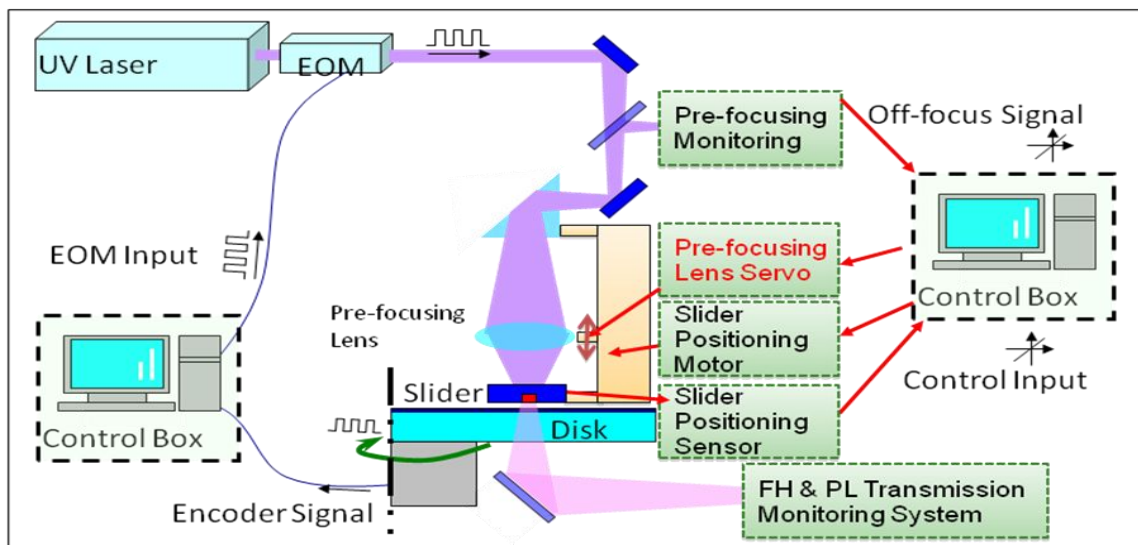
### 改进的6-DOF柔性坐标测量机

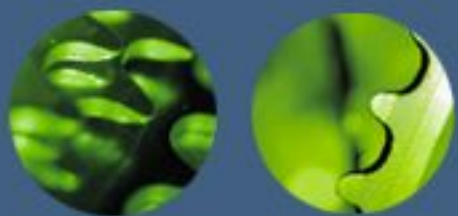




## 五. 学科相关特色研究工作

### □ 等离子波光刻与微纳驱动平台



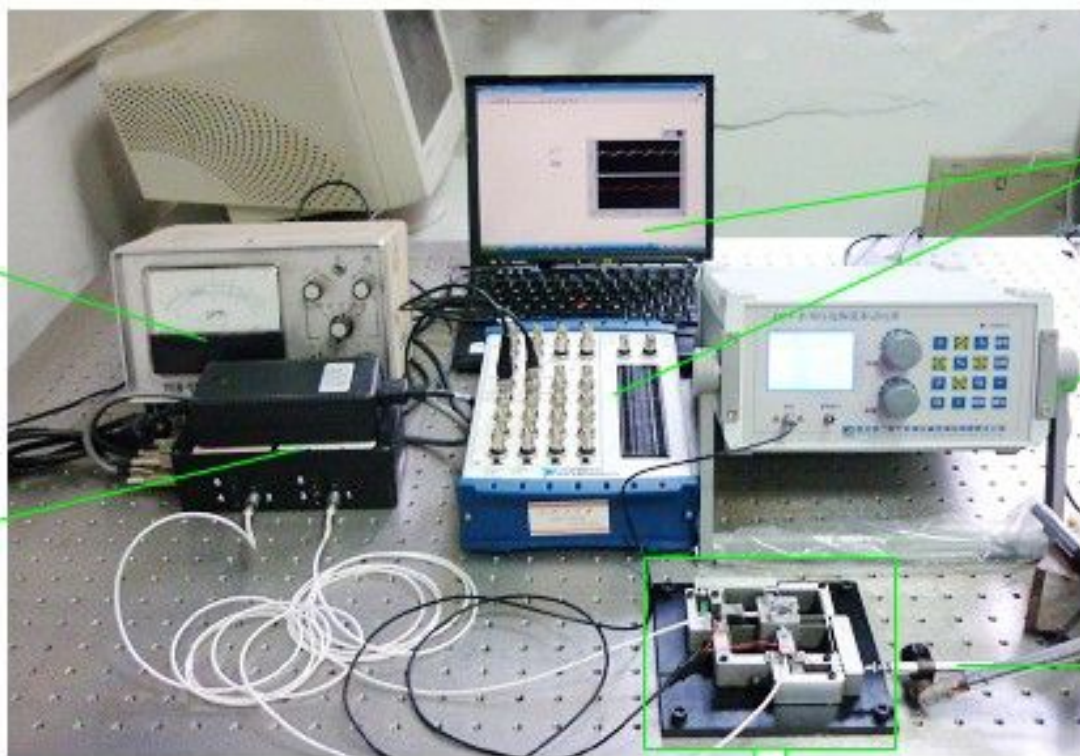


## 五. 学科相关特色研究工作

### □ 二维大行程微纳位移驱动平台

电感式测微仪

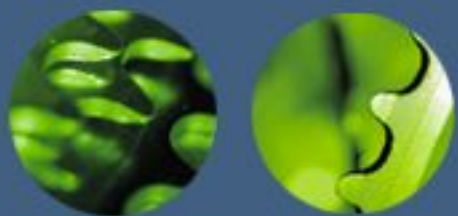
电容式位移传感器



信号采集装置

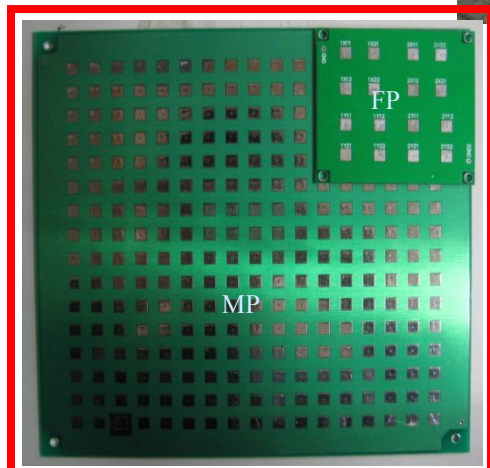
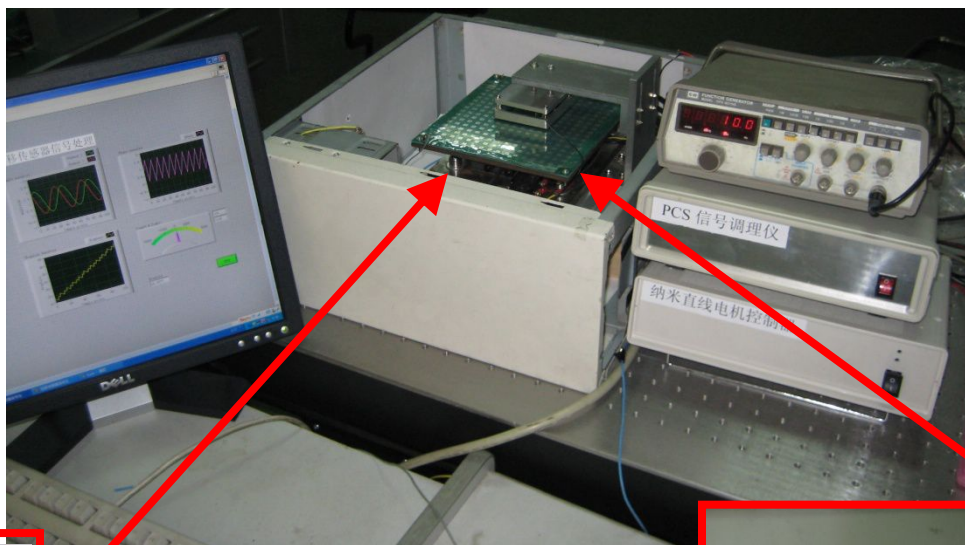
压电陶瓷驱动器电源

电感式测微仪测头

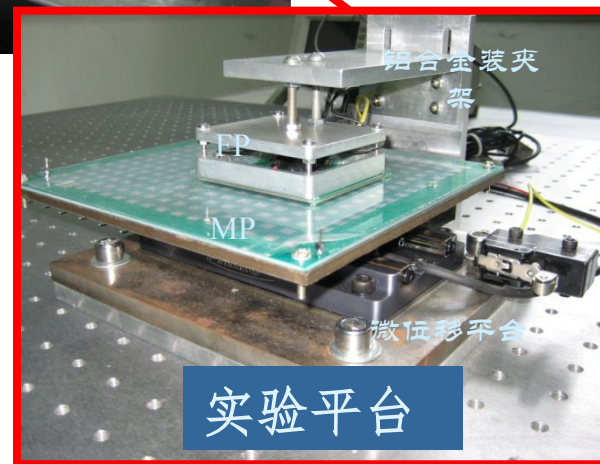


## 五. 学科相关特色研究工作

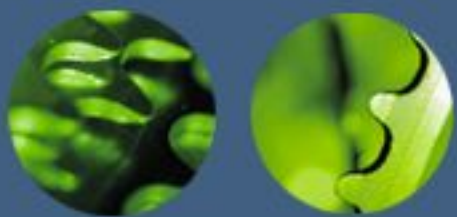
### □ 基于平面电容的二维大行程微纳位移解耦测量系统



PCB加工的传感器

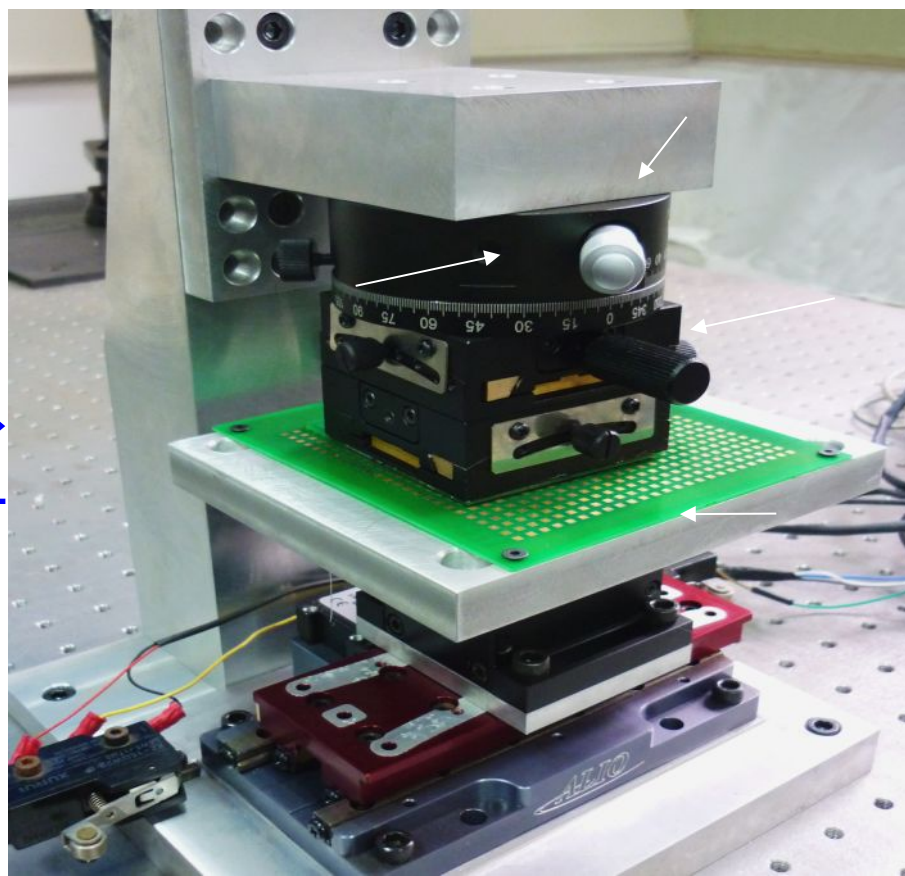
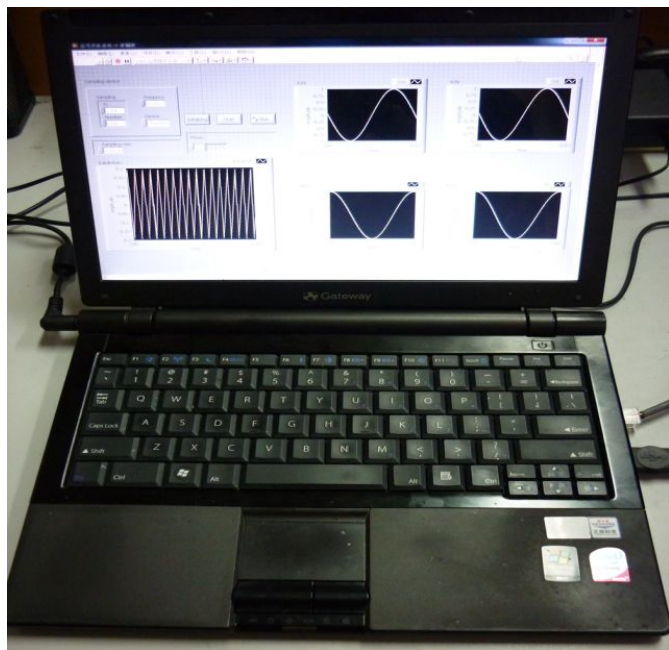


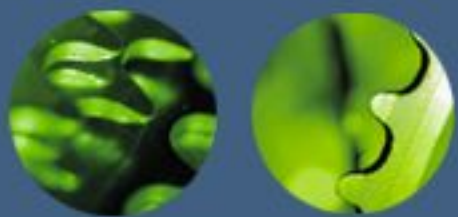
实验平台



## 五. 学科相关特色研究工作

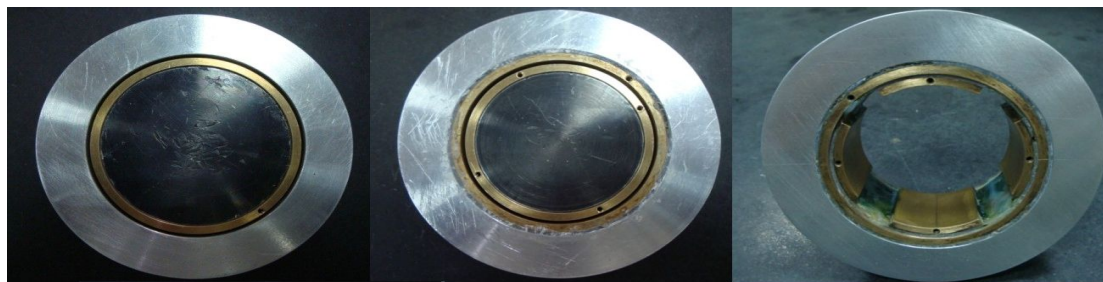
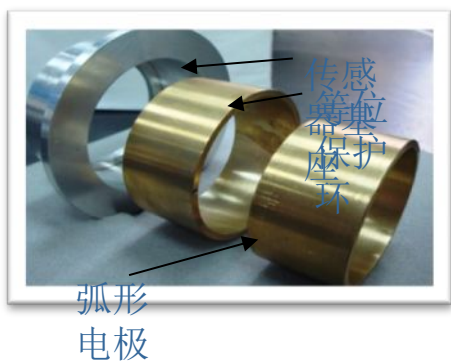
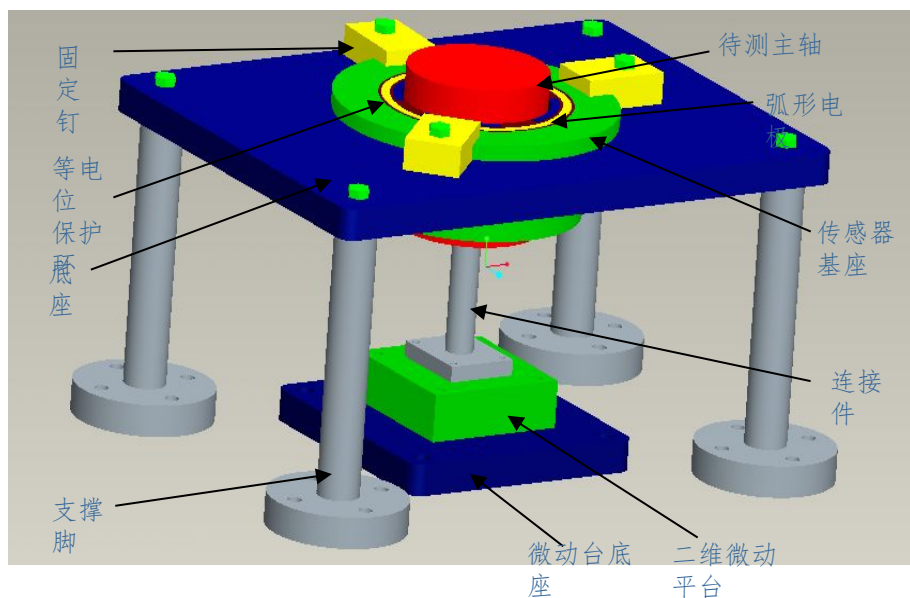
### □ 基于平面电容的五维微纳位移测量系统





## 五. 学科相关特色研究工作

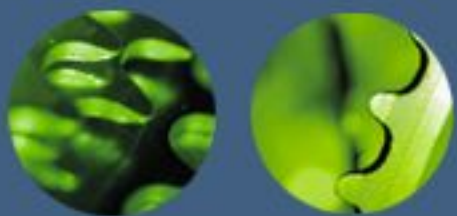
### 基于柱面电容的高精度主轴运动误差测量系统



a) 安装等电

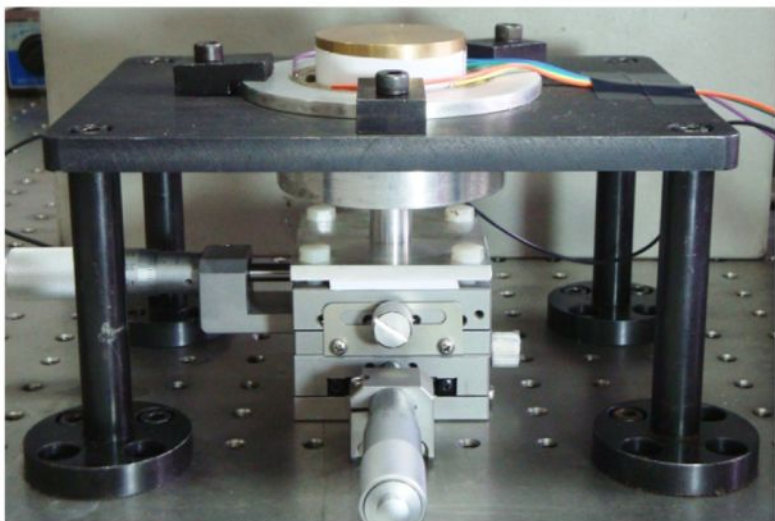
b) 安装弧形

c) 装配好的



## 五. 学科相关特色研究工作

### □ 基于柱面电容的高精度主轴运动误差测量系统

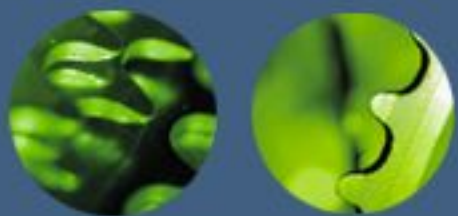


传感器实验平台

柱状电传感器实验系统

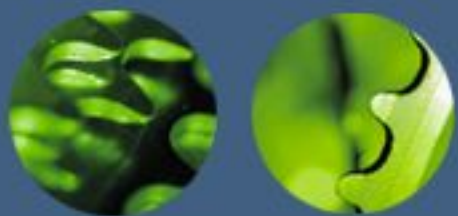






## 五. 学科相关特色研究工作

- 等离子加工技术
- 超声波加工技术



# 先进制造技术

## --微纳制造与精密工程

谢谢!

Email: [wangwn@hdu.edu.cn](mailto:wangwn@hdu.edu.cn)

杭州电子科技大学

机械工程学院