



# 第五章 计算机辅助工艺过程设计 (CAPP)

## 5-1 成组技术的原理与应用 (基础)

## 5-2 计算机辅助工艺过程设计技术 (方法)

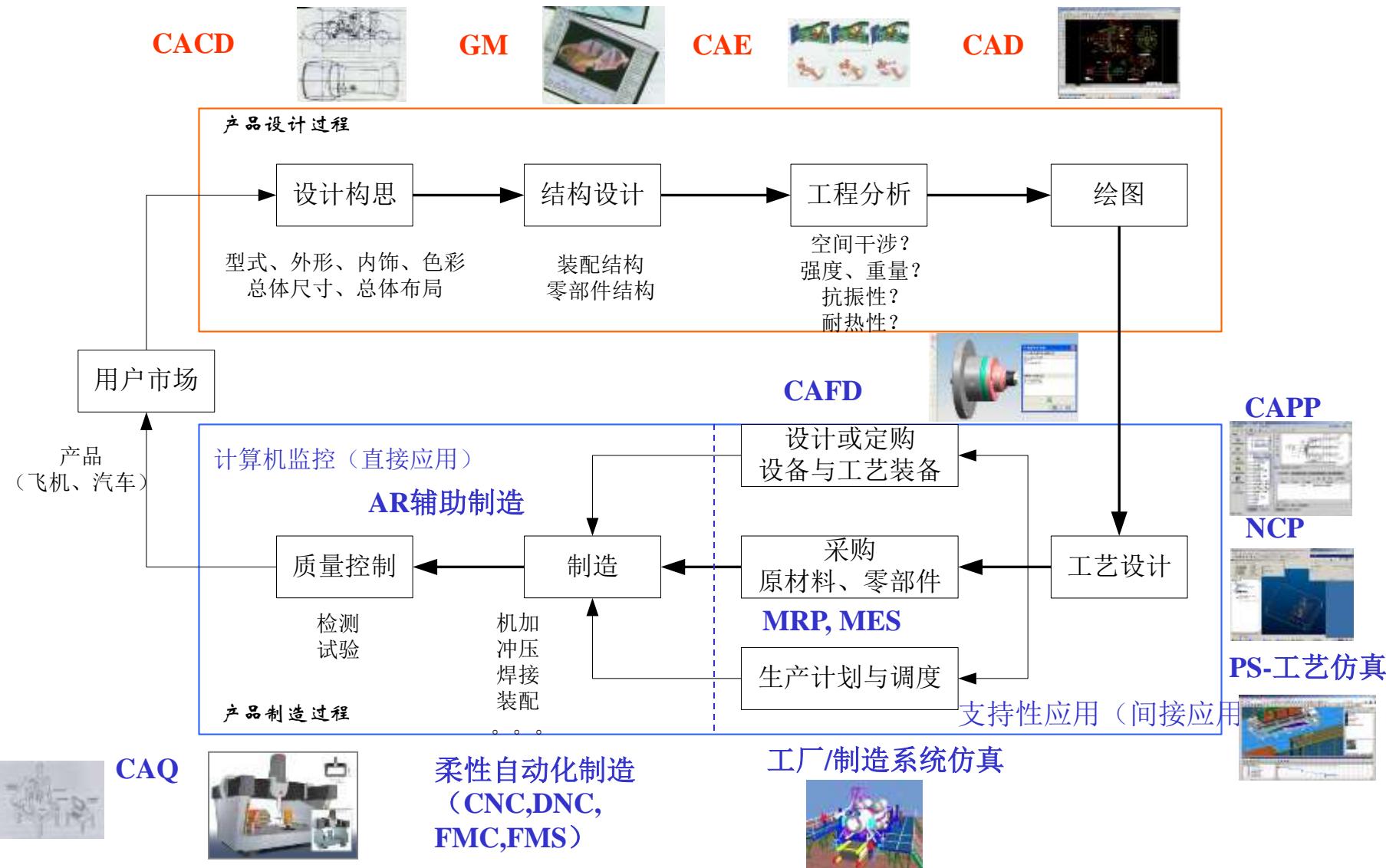
- CAPP的基本概念
- CAPP的基本方法
- CAPP关键技术

## 5-3 计算机辅助工艺过程设计系统 (软件)

- CAPP系统结构与功能
- 常用CAPP系统及展示



# 工艺设计在生产过程中的地位





## 5-1 成组技术的原理与应用

- 一. 成组技术的基本概念
- 二. 零件分类编码系统
- 三. 成组技术中的零件分类
- 四. 成组技术的应用



# 一、成组技术的基本概念

## 1. 成组技术的提出与历史背景

GT(Group Technology)，早期称为“**成组工艺**”。

- 1937年，前苏联学者Sokolovskiy首先提出GT的概念。
- 1959年，S.Mitrofanov出版了一本书《成组技术的科学原理》，被广泛阅读和接受。1965年，前苏联800+工厂采用GT进行改造。
- 后来，GT传播到德国及其他西欧国家。德国Aachen(亚琛)大学的Opitz教授开发了著名的Opitz零件分类编码系统。
- 1969年，GT在美国New Jersey的一家工厂首次应用。
- 1970s年代末，我国开始学习和研究GT。北航、南航、重大是国内最早研究单位。

**GT被认为是一种制造技术，或一种生产组织与管理技术，甚至是一种制造哲理（manufacturing philosophy）或科学。**

**(普遍性理论：相似论)**

# 一、成组技术的基本概念

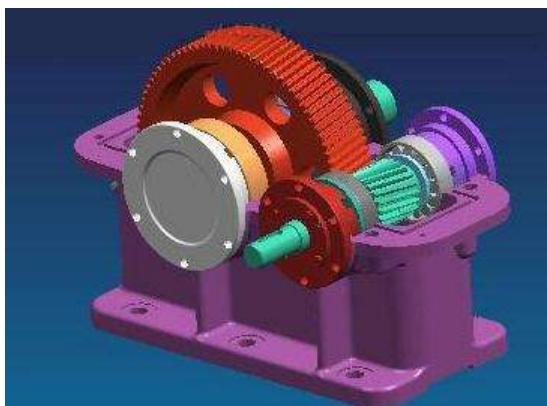
## 2. 成组技术的基本思想

将相似的零件归类在一起，形成**零件族（Part Family）**，按照零件族进行产品设计与制造，使产品设计和制造合理化。



例：航空发动机：轴、盘、叶片、匣、齿轮、壳体、导管类

减速器：  
轴、  
齿轮、  
箱体





# 一、成组技术的基本概念



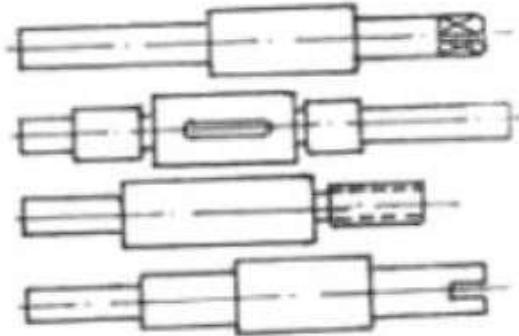
## 3. 零件的相似性

- **结构特征相似性**: 几何形状、尺寸、精度等
- **材料特征相似性**: 种类、组织成分、毛坯形式、热表处理方法等
- **工艺特征相似性**: 加工方法、加工顺序、使用的机床、工装（刀具、夹具、量具）等。

4. 零件族（Part Family）：具有某些相似特征的零件集合。  
一个族内，有很多不同的零件，但有足够的相似性。

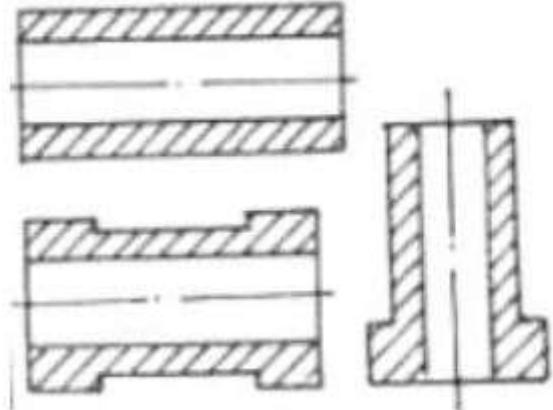
# 零件族的例子(1)

轴类



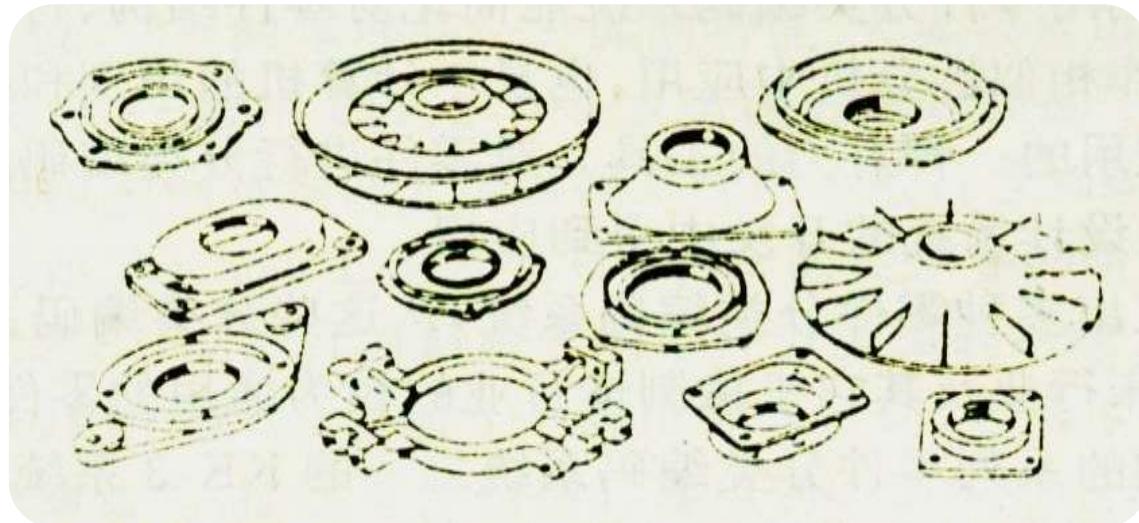
几何外形及制造工艺相似

衬套类



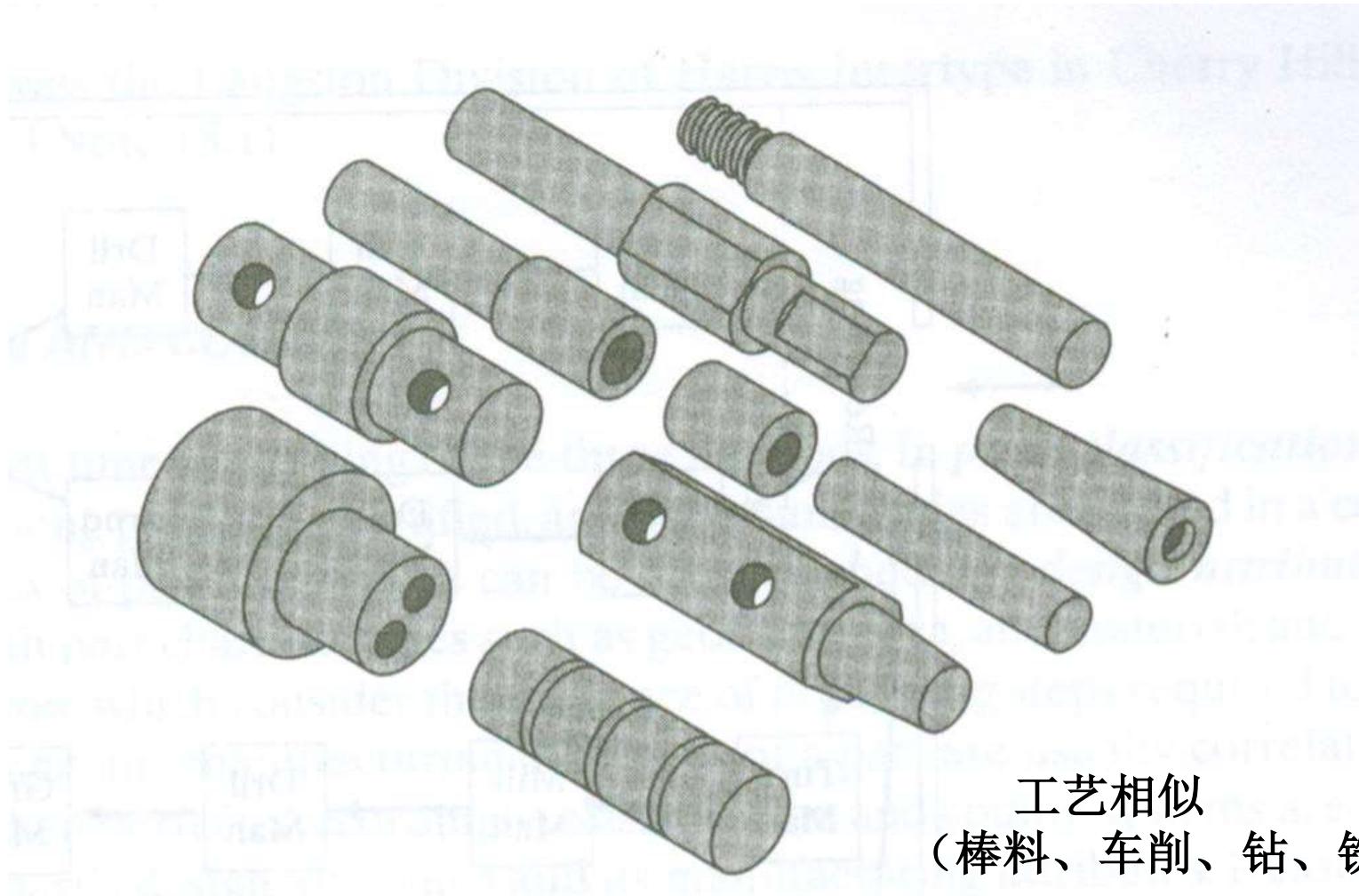
几何外形及制造工艺相似

异形盘类



制造工艺相似

## 零件族的例子(2)





# 零件族的形成取决于分类目的与相似程度

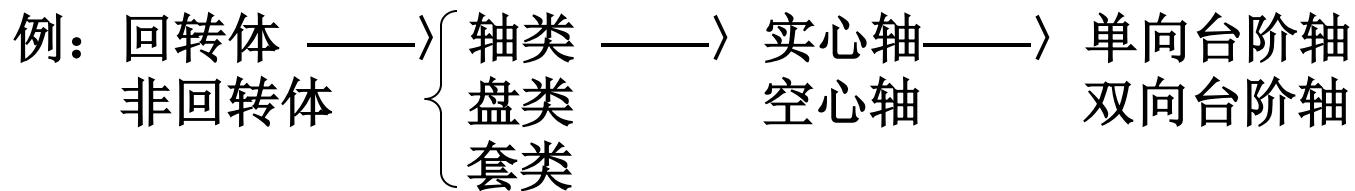
零件族的形成取决于：

□ 分类的目的（重点识别哪些特征）

- (1) 为设计用
- (2) 为制造用
- (3) 为设计、制造用

□ 相似的程度

- (1) 相似性低，零件族数目少。
- (2) 相似性高，零件族数目多。



相似性： 低 ——————> 高



# 成组技术的益处



## 5. GT的益处

**(1) 制造:** 同族类件——> 工艺过程相似——> 机床、工装相似——> 同一工作地（车间、制造单元）生产。  
加工、调度、调整、运输方便，提高制造效率。

**(2) 设计:** 新零件构思——> 找类似零件图纸/模型参考  
——> 必要修改（参数或结构）——> 新图纸/模型。  
尽量合理借用，减少重复设计，提高设计效率。



# 成组技术的基本问题



## 6. GT的两个基本问题

(1) 如何识别和度量零件的相似性， 并归组形成零件族？

(二、编码；三、分类)

(2) 形成零件族后，如何在设计、制造中合理应用？

(四、应用)



## 5-1 成组技术的原理与应用

- 一. 成组技术的基本概念
- 二. 零件分类编码系统**
- 三. 成组技术中的零件分类
- 四. 成组技术的应用



## 二、零件分类编码系统

编码的意义：简单便于处理，尤其是便于计算机/信息系统处理。

如：身份证、学生证、邮政编码、商品条形码，二维码等。

### 1. 什么是零件分类编码系统？

一套对零件的有关特征进行描述和标识的规定（规则），并通过数字或字母表示出来的工具。（条码、图形表示行不？）

例：如下图

### 各国已开发的系统：

OPITZ, 德国, 应用最广, GT早期成果

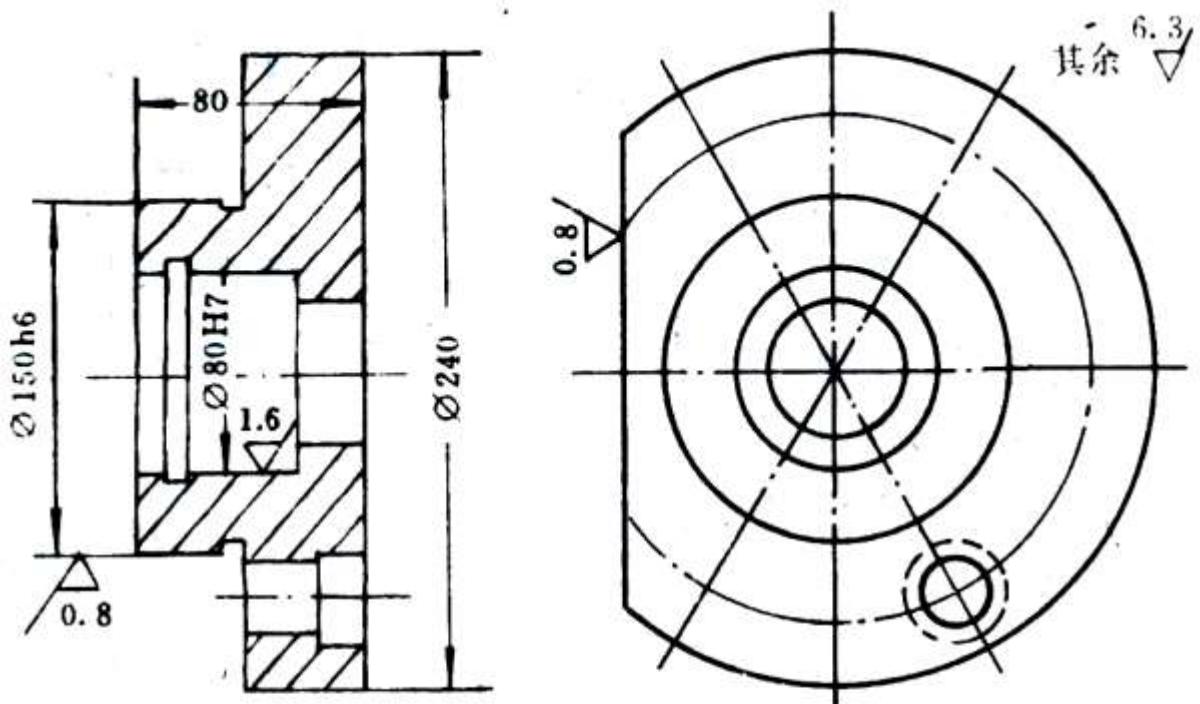
KK-3, 日本

JLBM-1, 我国机械工业部 (1984)

BUSCCS, 美国波音飞机公司 (波音统一分类编码系统)

} 应用范围不同，  
很难统一，一  
般根据行业、  
企业产品对象  
而设计开发。

# 零件分类编码的例子



0	1	3	1	2	4	4	7	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

- 件类别:回转体零件  $L/D < 0.5$
- 外部形状:单向台阶无形状要素
- 内部形状:光滑或单向台阶带功能槽
- 平面加工:外平面
- 精度:内外圆与平面
- 毛坯原始形状:锻件
- 材料种类:钢 ( $\sigma_b < 420 \text{ MPa}$ )
- 最大直径:  $160 \text{ mm} < D < 250 \text{ mm}$
- 辅助加工:有分布要求的轴向孔 其余 6.3



# OPITZ系统

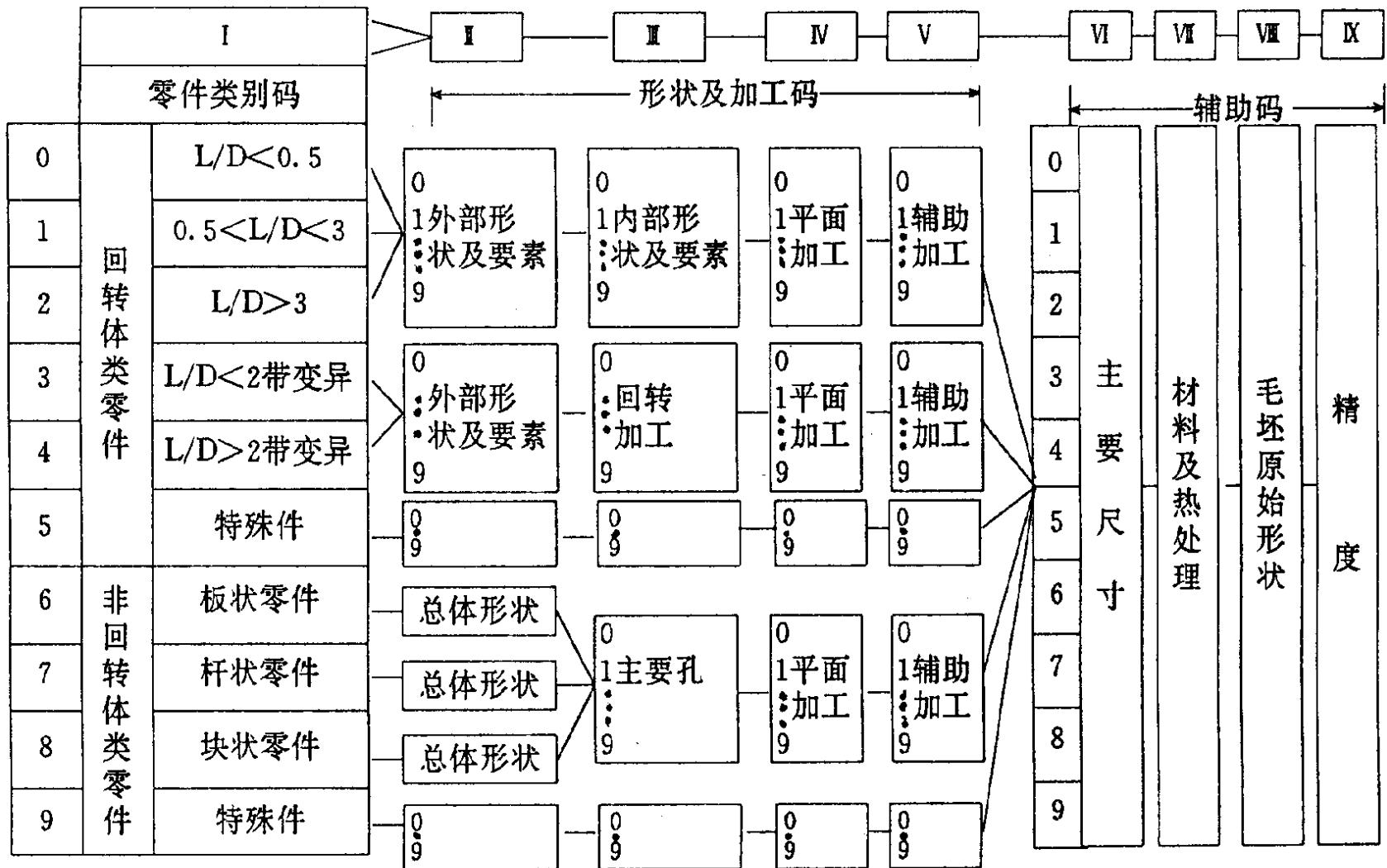


## 2. OPITZ系统 (典型代表)

### (1) OPITZ系统的结构

	形状码（主码）					辅助码				附加码			
码位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D
零件类别	（总体形状）	内形	平面加工	辅助孔及齿形面	尺寸	材料及热处理	毛坯形式	精度		用户自行制定			

# OPITZ零件分类编码系统的总体结构



## OPITZ系统的形状码（0、1、2类回转体零件）

第Ⅰ位		第Ⅱ位		第Ⅲ位		第Ⅳ位		第Ⅴ位	
项	零件类别	项	外形， 外形要素	项	内形， 内形要素	项	平面加工	项	辅助孔及齿
0 回	$\frac{L}{D} \leq 0.5$	0 光滑，无形状要素		0 无通孔 无盲孔		0 无平面加工		0 无辅助孔	
1 转	$0.5 < \frac{L}{D} < 3$	1 无形状要素		1 光滑或单向台阶 无形状要素		1 外部的，平面和／或 单向弯曲的面		1 轴向孔，无节距关系	
2 件	$\frac{L}{D} \geq 3$	2 单向台阶 或光滑	带螺纹	2 带螺纹		2 外部的平面，沿圆周相互成分度关系		2 轴向孔，有节距关系	
		3 或光滑	带功能槽	3 带功能槽		3 外部的：槽和／或缝		3 径向孔，无节距关系	
		4 双向台阶 次增	无形状要素	4 双向台阶 无形状要素		4 外部的：花键和／或多边形		4 轴向和／或径向和／或其它方向的孔	
		5 次增	带螺纹	5 多次增	带螺纹	5 外部的：平面和／或缝和／或槽，花键		5 轴向和／或径向和／或其它方向的孔	
		6 大	带功能槽	6 大	带功能槽	6 内部的：平面和／或槽		6 圆柱齿轮的齿	
						7 内部的：花键和／或多边形		7 锥齿轮的齿	
						8 外部及内部的：花键和／或缝和／或槽		8 其它齿	
						9 其它		9 其它	
			(>10个功能直径)						

注：……符号，使  
用者可沿此  
处裁掉。



# OPITZ系统的辅助码

第Ⅵ位

直径“D”或边长“A”	
mm	m
0 $\leq 20$	$\leq 0.8$
1 $> 20 \leq 50$	$> 0.8 \leq 2.0$
2 $> 50 \leq 100$	$> 2.0 \leq 4.0$
3 $> 100 \leq 160$	$> 4.0 \leq 6.5$
4 $> 160 \leq 250$	$> 6.5 \leq 10.0$
5 $> 250 \leq 400$	$> 10.0 \leq 16.0$
6 $> 400 \leq 600$	$> 16.0 \leq 25.0$
7 $> 600 \leq 1\ 000$	$> 25.0 \leq 40$
8 $> 1\ 000 \leq 2\ 000$	$> 40.0 \leq 80.0$
9 $> 2\ 000$	$> 80.0$

第Ⅶ位

材 料	
0	灰铸铁
1	球墨铸铁及可锻铸铁
2	钢 $\sigma_b \leq 420 \text{ MPa}$ 不热处理
3	钢 $\sigma_b \leq 420 \text{ MPa}$ 可热处理的低碳钢及表面硬化钢，不热处理
4	项2及3的钢，热处理
5	合金钢(不热处理)
6	合金钢(热处理)
7	有色金属
8	轻合金
9	其它材料

第Ⅷ位

原 始 形 式	
0	圆棒，黑色
1	圆棒，拉光
2	三角形、方形、六角形及其他材料
3	管 子
4	L, U, T型之类的型材
5	薄板料
6	中板及厚板
7	铸、锻件
8	焊接件
9	粗加工过的零件

第Ⅸ位

精 度 所 在 形 状 码 位	
0	所有指定精度
1	2
2	3
3	4
4	5
5	2及3
6	2及4
7	2及5
8	3及4
9	(2+3+4+5)

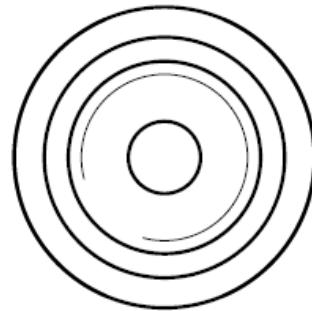
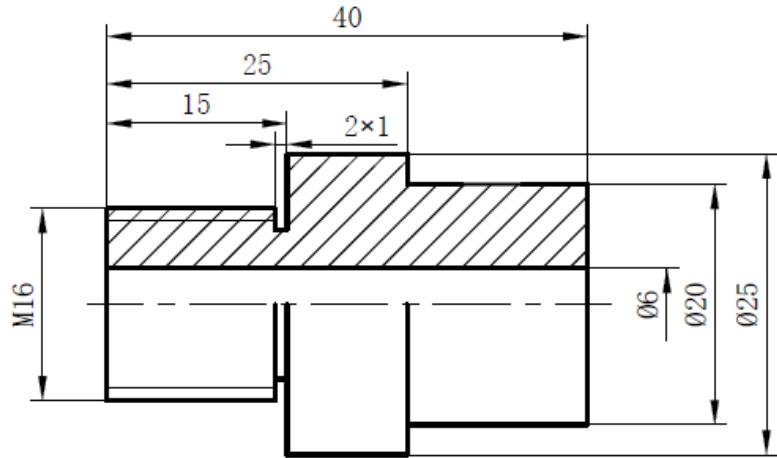
# OPITZ系统的编码举例（1）



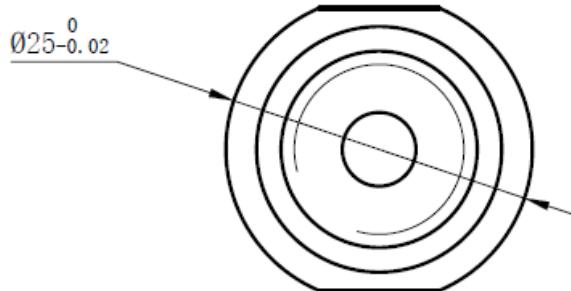
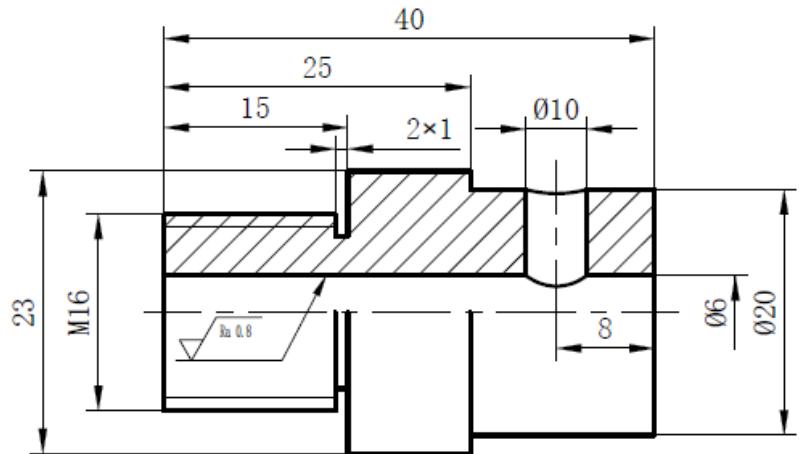
## (2) 编码举例

A. 零件图 (材料45#中碳钢，黑色棒料)

**151001200**



**151231205**





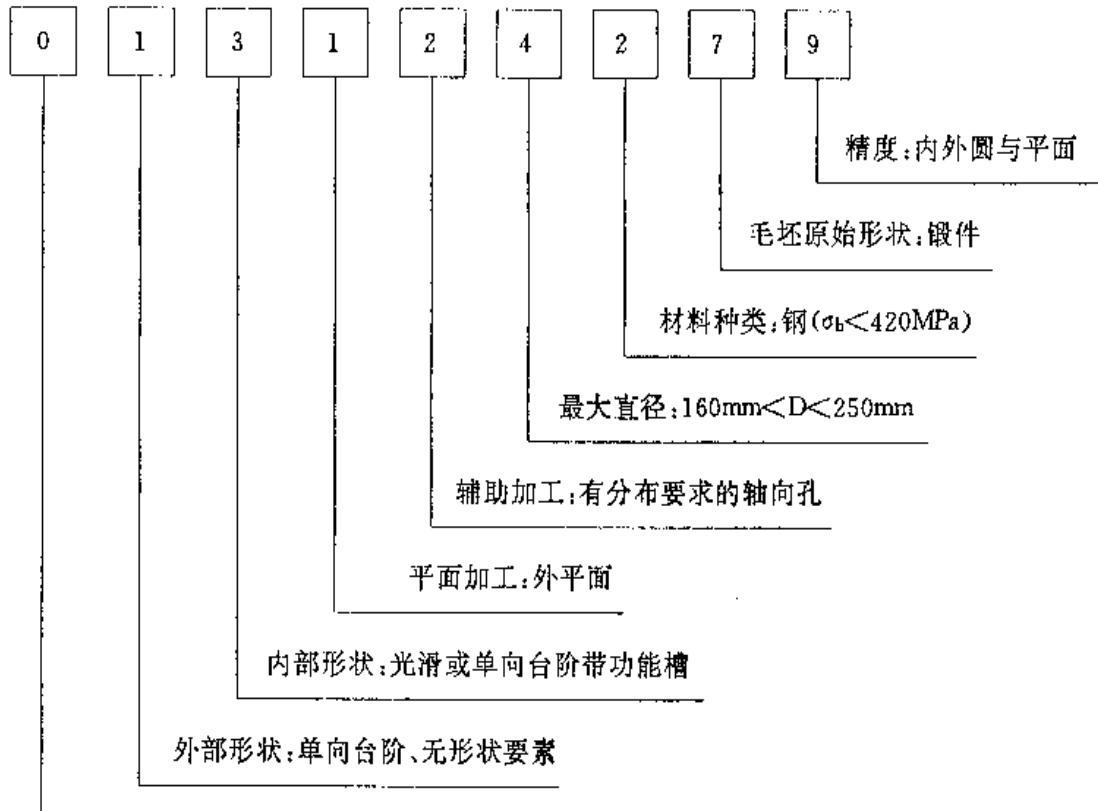
# OPITZ系统的编码举例（2）



## (2) 编码举例

### B. 零件图

编码: 013124479



思考（？）：  
能否以二维码形式对  
零件进行编码或标识？  
如何生成零件二维码？

可以作为课程论文的  
选题之一。



## 5-1 成组技术的原理与应用

- 一. 成组技术的基本概念
- 二. 零件分类编码系统
- 三. 成组技术中的零件分类
- 四. 成组技术的应用



### 三、成组技术中的零件分类方法



#### 1. 目测法

直接观察零件实物或图纸 $\Rightarrow$  归入相似的零件族。

特点：简单经济，但不准确。

#### 2. 编码分类法（码域法）

思路：

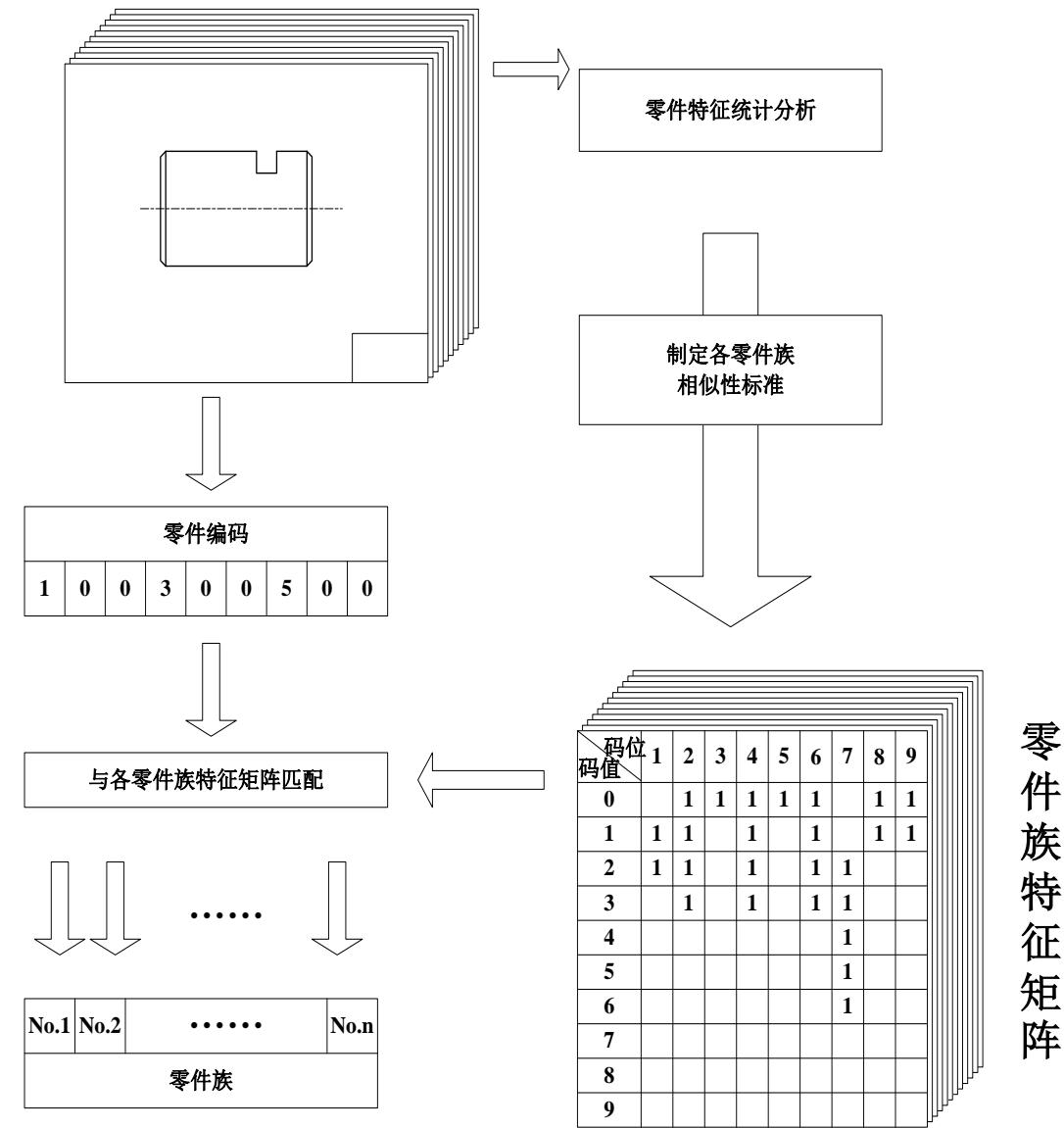
- (1) 建立零件族特征矩阵（选择一定码位及其特征项的值）
- (2) 对待分类零件进行编码
- (3) 判断零件编码是否在零件族特征矩阵中。



# 编码分类法的原理

原理：

零件图纸



# 编码分类法（码域法）的例子



举例：

编码例子A所示零件是否属于该零件族？

工 件 号	形 状 码	辅 助 码
	695	10030 0500
	169	11030 1300
	057	22020 1200

(a)

码位 码值 \	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		1	1	1	1	1		1	1
1	1	1		1		1		1	1
2	1	1		1		1	1		
3		1		1		1	1		
4							1		
5							1		
6								1	
7									
8									
9									

(b)

码域法

(a) 零件简图及编码      (b) 零件组特征矩阵



### 三、成组技术中的零件分类方法



结论：

- 码域越宽，
  - 族内零件数目越多，
  - 族内零件相似程度越低，
  - 零件族数目越少（零件族特征矩阵数目越少）。
- 零件族矩阵就像“筛子”，
  - 能够通过该“筛子”，则属该零件族。

特点：分类准确，便于计算机实现，效果好，应用广。



### 三、成组技术中的零件分类方法

#### 3. 生产流程法

思路：

分析零件的加工工艺路线，将具有相似工艺路线和加工设备的零件划分成族。

算法：排序聚类（ROC）【自学】

举例：如下表

特点：

以现有工艺路线为基础，划分零件族并同时形成机床组。  
但对新零件不便分类归族。



# 生产流程分析法的举例

零件代号 \ 机床代码	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
机床代码	C	1																							
C 1	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
X1 2	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓				✓	✓				✓
XZ 3			✓	✓				✓		✓		✓	✓		✓		✓	✓	✓						
Z 4	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓
M 5	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓		✓		✓		✓		✓		✓	✓	✓	✓

(a) 零件分类成组前

零件代号 \ 机床代码	01	02	20	07	11	14	09	05	22	04	12	18	08	17	25	19	23	15	03	13	06	24	16	10	21	
机床代码	1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																	
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																	
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																	
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓																		
5	✓	✓	✓					✓																		
1										✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓	
3										✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
4										✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
5										✓	✓	✓			✓	✓	✓									
2																				✓	✓	✓	✓	✓	✓	
3																			✓	✓				✓	✓	
4																			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
5																			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

(b) 零件分类成组后

用生产流程分析法划分零件族的示例

机床代码: 1-车床 2-卧铣 3-立铣 4-钻床 5-磨床



# 思考题（可选课程论文）



思考题1：试编写程序，实现码域法的零件分类过程。

思考题2：试编写程序，实现生产流程法的零件分类过程。

要求写出程序设计说明文档，包括但不限于变量和数据结构定义、程序流程图、输入输出结果等。

可以作为课程论文的选题之一。



# 四、成组技术的应用

- 在产品设计方面的应用
- 在制造工艺方面的应用



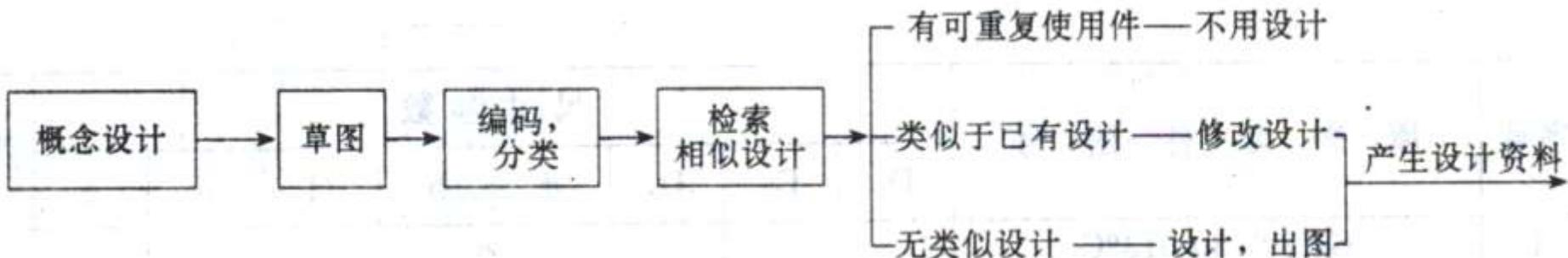
# 在产品设计中的应用（1）

建立在有效的零件检索系统的基础上。

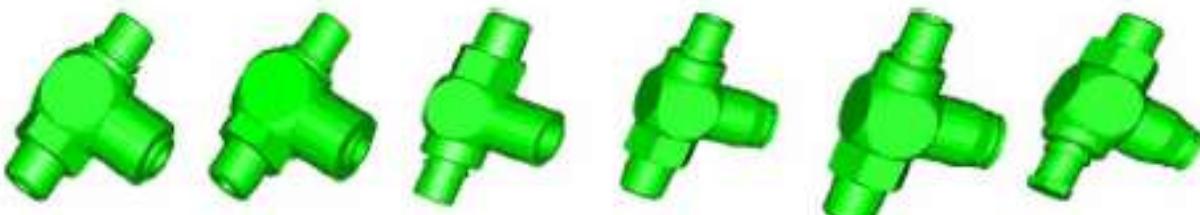
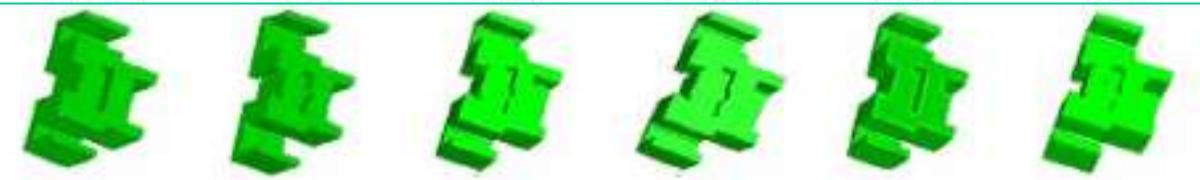
## 1. 相似设计

(研究热点：三维形状搜索与重用)

充分利用原有零件及资料，减少零件数目，避免重复设计，节省时间、降低费用。



# 从数据库中搜索相似零件

		97.56%	96.30%	94.36%	93.46%	89.67%	89.29%
		96.12%	94.15%	93.88%	93.17%	82.36%	80.24%
		96.37	92.21	91.31	87.13	86.36	84.27
		98.12%	97.46%	96.53%	92.12%	88.41%	86.04%

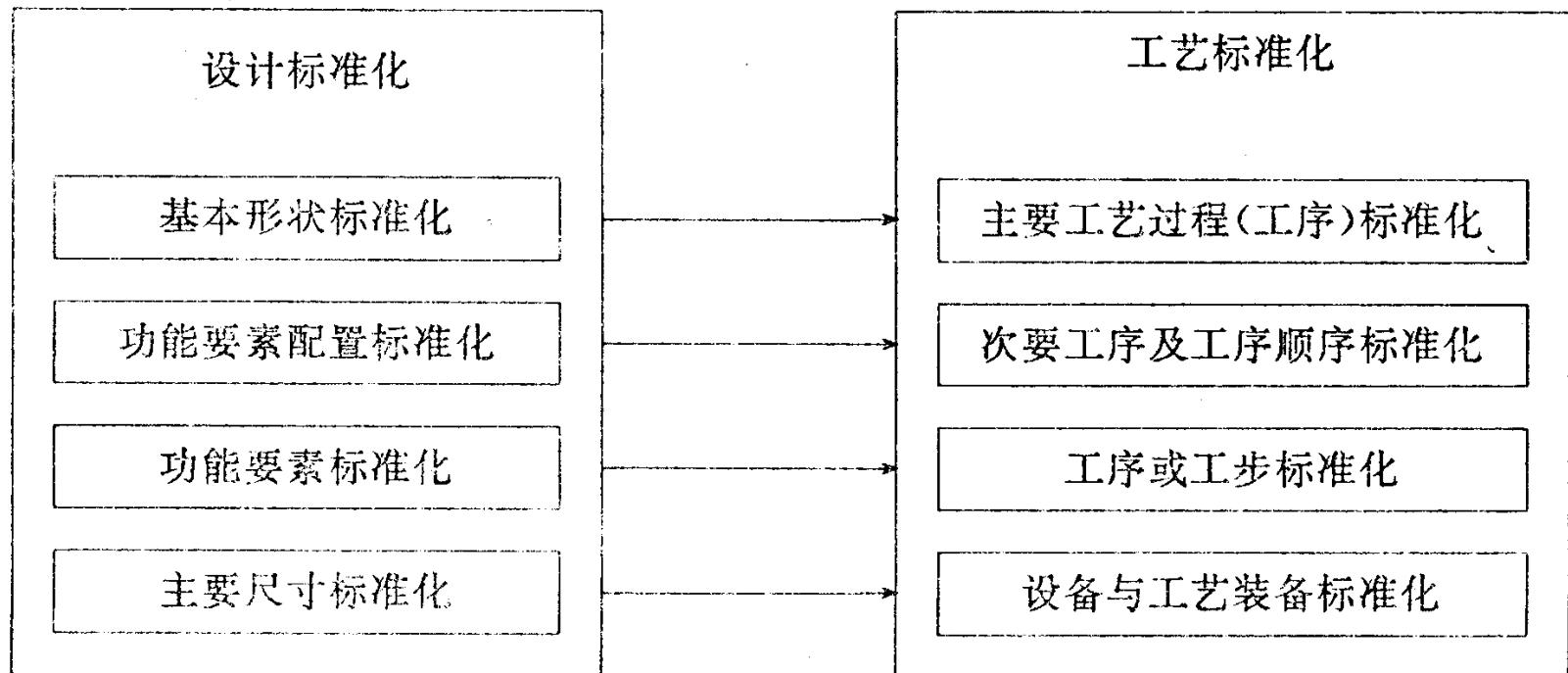
# 在产品设计中的应用（2）



## 2. 设计标准化

零件名称、整体结构、结构要素的标准化。

设计标准化也将有助于工艺过程和工艺装备的标准化。

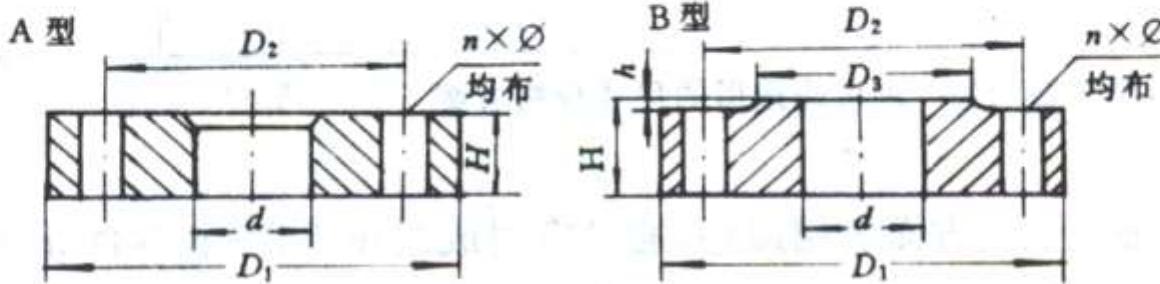


设计标准化与工艺标准化的关系

表 7-1 某类相似零件及其结构尺寸

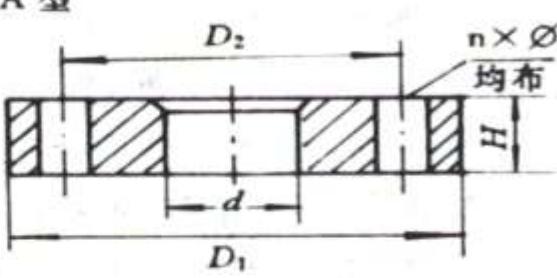
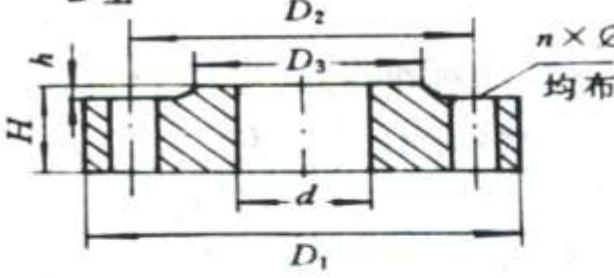
16位码

JLB M-1

零件名称	端 薄 盖	分类编码代号	265×××304×010001
			

序号	零件图号	尺寸参数								型式
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	d	h	H	n	ϕ	
1	GR201-50-1481	105	75	-	19	-	10	4	14	A
2	GR201-50-0336B	105	75	-	35	-	12	4	14	A
3	GR201-50-0312A	105	75	55	34.5	2	12	4	14	B
4	GR201-50-0347A	105	75	55	34.5	2	12	4	14	B
5	GR201-50-0331A	115	85	55	34.5	2	12	4	14	B
6	GR201-50-0319	120	90	-	45.5	-	12	4	14	A
7	GR201-50-0312C	145	110	-	58	-	12	4	18	A
8	GR201-50-0058A	145	110	-	62	-	12	4	18	A

表 7-2 对表 7-1 所列零件进行标准化后的零件结构形式与尺寸规格

零件名称	端 薄 盖	分类编码代号	265×××304×010001							
A型										
										
B型										
										
零件数目减少为以下3个（或5个）：										
序号	原 来 零 件 图 号	尺 寸 参 数							型式	
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	d	h	H	n		φ
1	GR201-50-0132C	145	110	-	60	-	12	4	18	A
2	GR201-50-0058A									
3	GR201-50-1481	105	75		35					
4	GR201-50-0336B	(110)	(80)	-	(40)	-	12	4	14	A
5	GR201-50-0319									
6	GR201-50-0312A	105	75							
7	GR201-50-0347A	(110)	(80)	55	34.5	2	12	4	14	B
8	GR201-50-0331A									

注：括号中的尺寸表示另一种可能选用的尺寸规格方案



# 在制造工艺中的应用（1）



## 1. 编制成组工艺规程，实施工艺标准化

编制零件族的**标准（综合）**工艺文件，进行**变异（Variant）**工艺设计。

### （1）复合路线法

- 收集族内各零件的工艺路线
- 选择一条最长（加工工序数目和类型最多）作为代表路线
- 将族内其他零件工艺路线中未包含在代表路线中的工序加入

例子：

### （2）综合零件法/复合零件法

- 设计零件族的综合零件（包含族内所有零件的设计制造特征）
- 编制综合零件的工艺规程

例子：



# 复合路线法

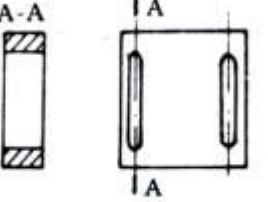
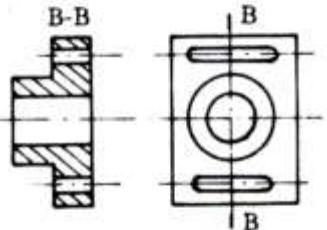
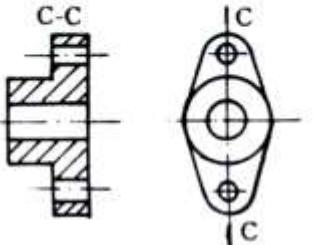
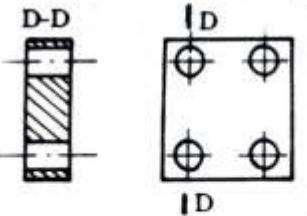
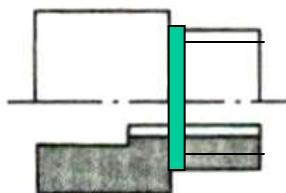
本组零件图	工艺路线
	X1-X2-Z-X
	选作代表路线: X1-C-Z-X
	X1-C-Z-X
	X1-X2-Z
本组零件的复合工艺路线 (在代表路线中补入所缺的 X2 工序)	X1-X2-C-Z-X

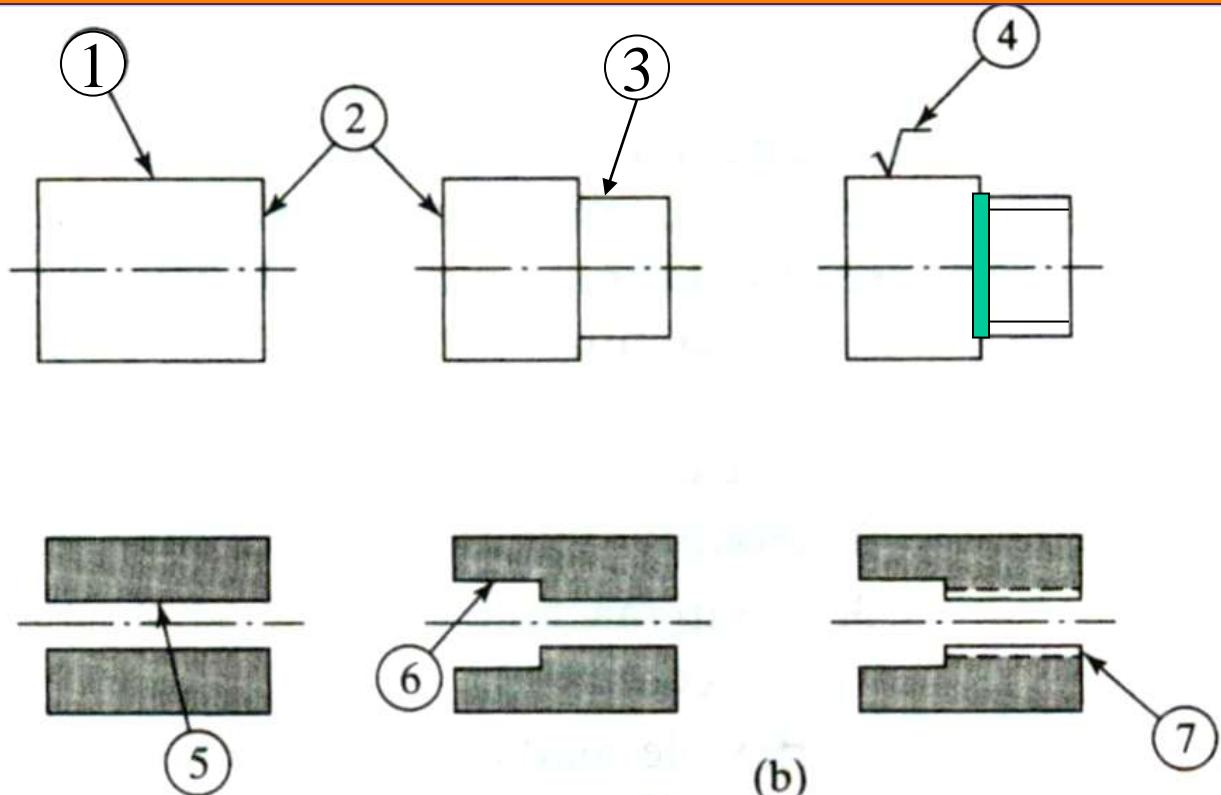
图 7-11 用复合路线法编制成组工艺实例

# 综合零件法——衬套类例子

Composite part  
consisting of all  
seven design and  
processing attributes



(a)



<i>Label</i>	<i>Design Feature</i>	<i>Corresponding Manufacturing Operation</i>
1	External cylinder	Turning 车外园
2	Cylinder face	Facing 车端面
3	Cylindrical step	Turning 车外园及台阶
4	Smooth surface	External cylindrical grinding 磨外园
5	Axial hole	Drilling 钻孔
6	Counterbore	Counterboring 扩孔
7	Internal threads	Tapping 攻丝



# 综合零件法—某轴类例子

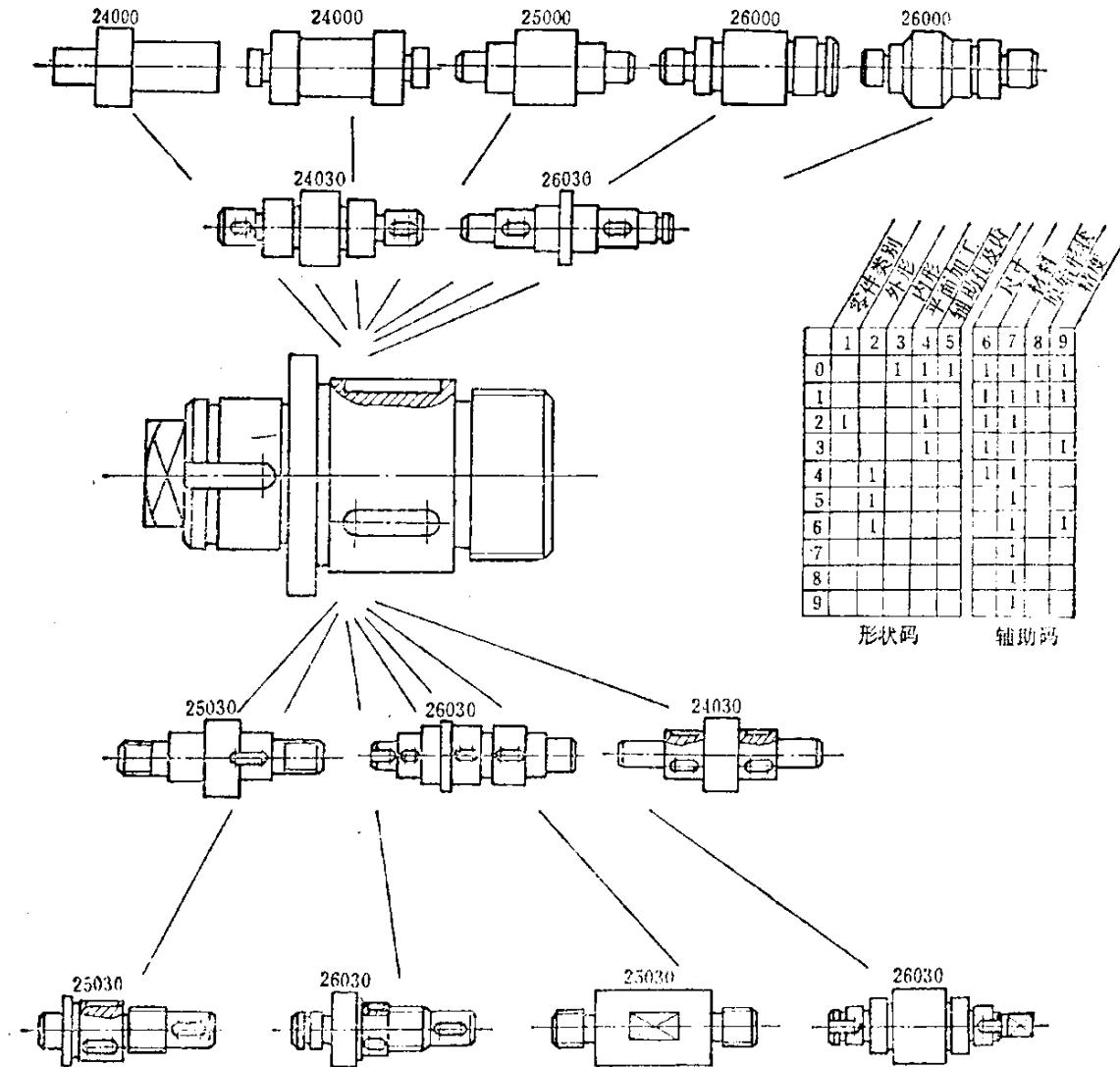


图 4-5 轴设计族及其复合零件



# 在制造工艺中的应用 (2)

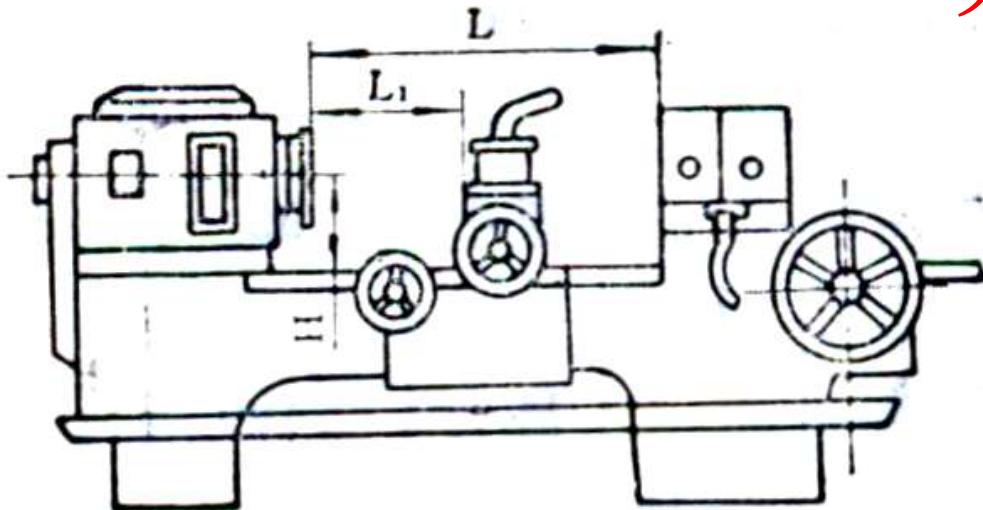
## 2. 按成组机床组组织生产

(1) 成组加工单机 →  
族内所有零件的加工面基本上可以在**一台机床**加工。

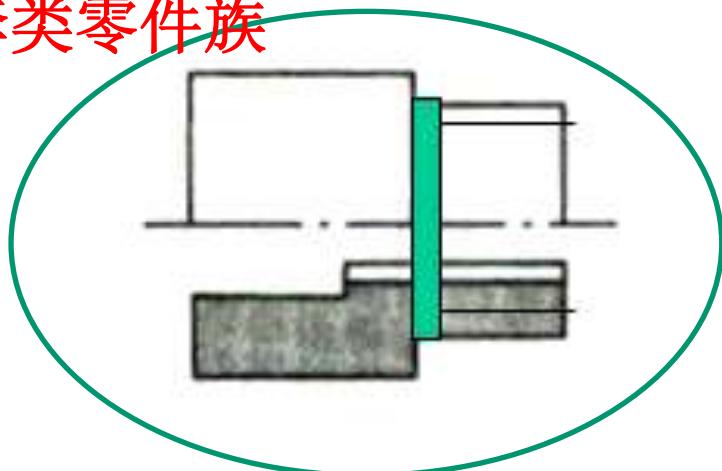
(2) 成组机床单元 →  
**若干台机床**, 机床、工装按零件组加工要求配置,  
人工传送/搬运零件。

(3) 成组加工流水线 →  
**若干台机床**, 机床、工装按零件组加工要求配置,  
传送带传送/搬运零件。

# 成组机床单机的典型例子——六角转塔车床



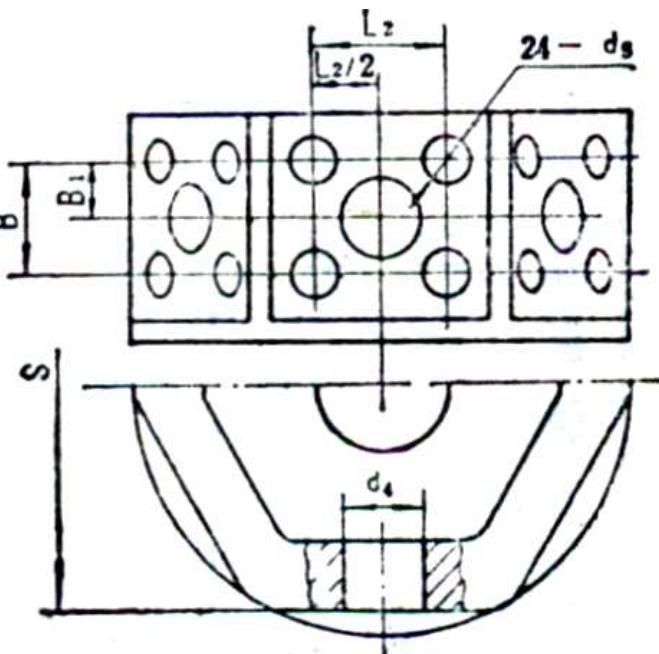
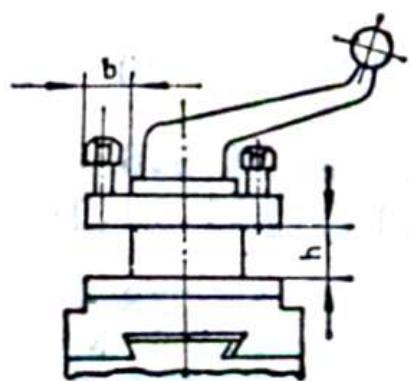
某套类零件族



能够完成:

车外圆  
车端面  
车台阶  
车螺纹  
车环槽

钻孔  
扩孔  
攻丝



# 成组机床单元

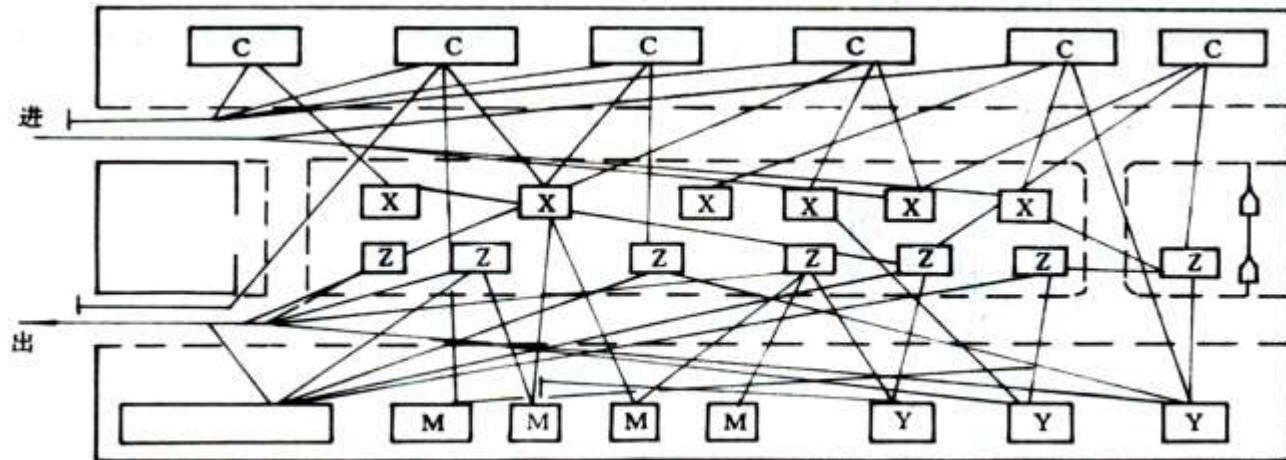
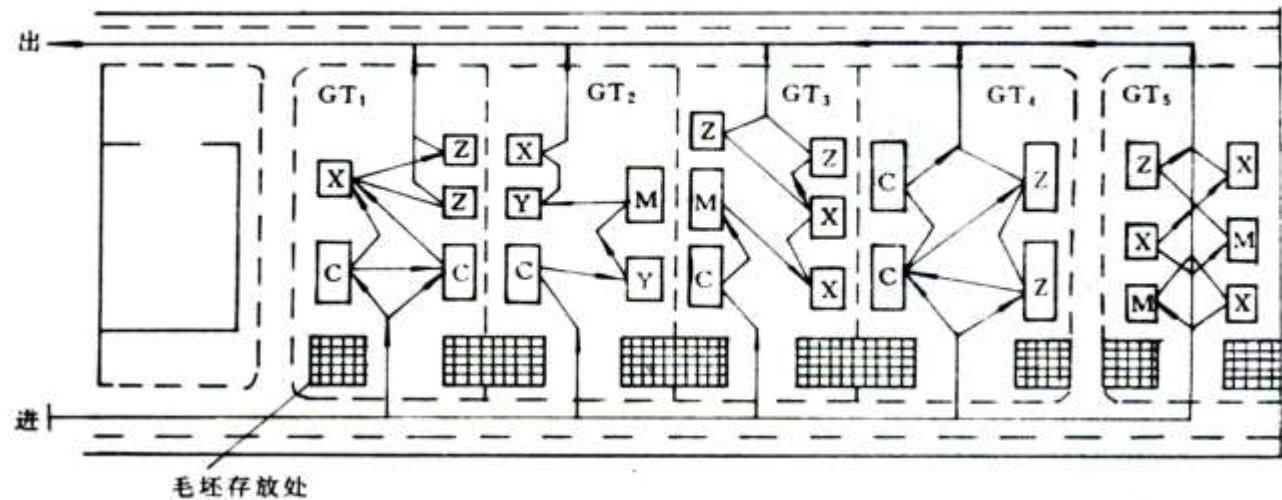
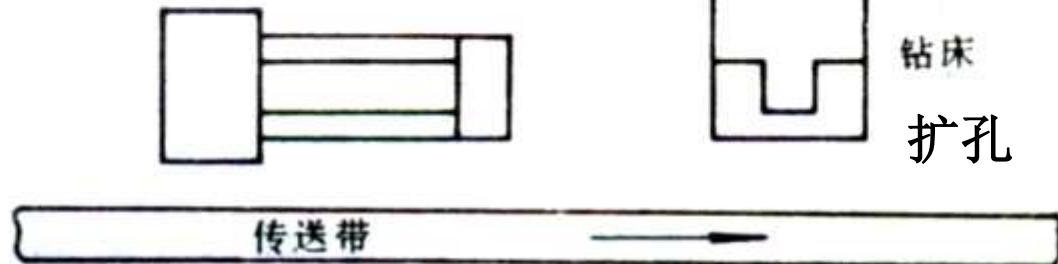
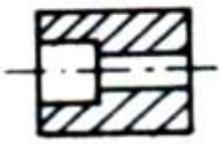
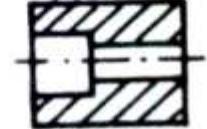
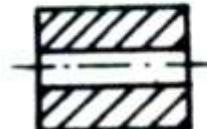
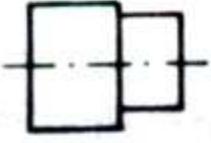
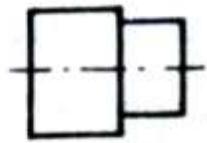
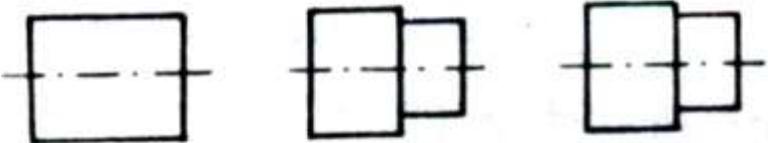


图 7-12 零件在机床按机群布置的车间中加工



# 零件族及其成组加工流水线

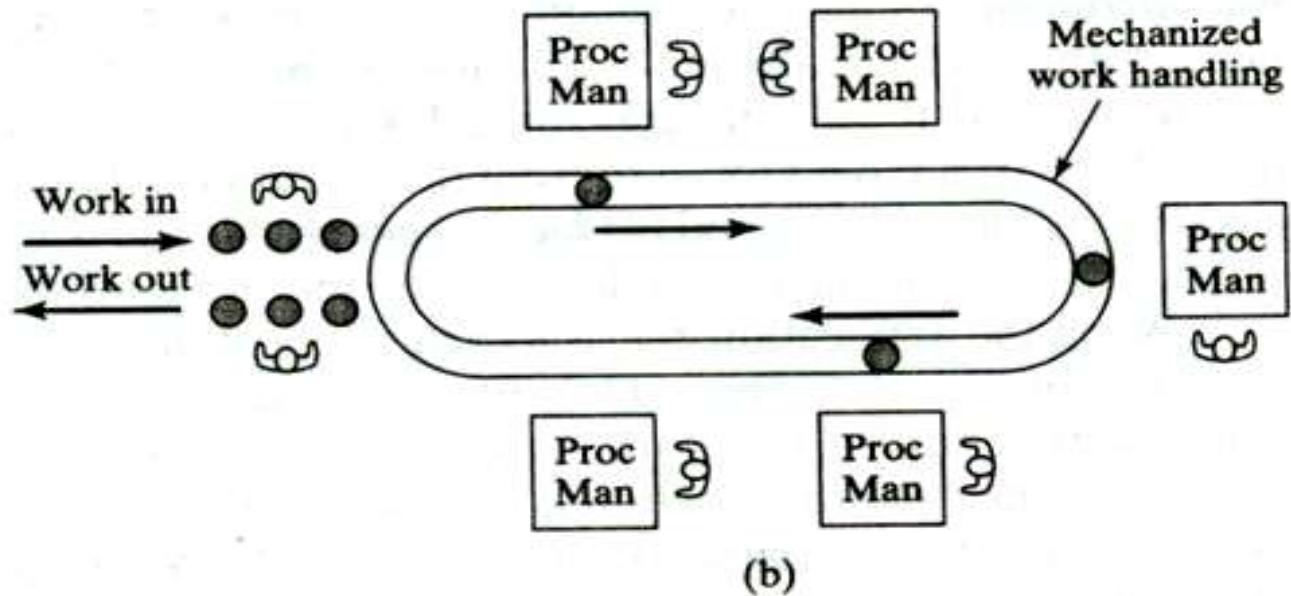
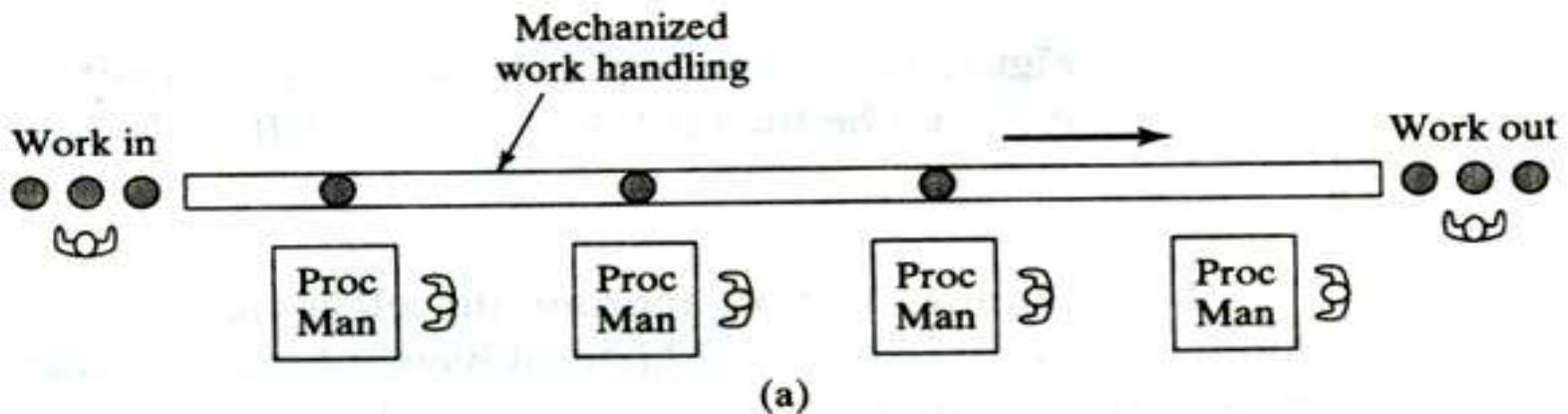
为什么要安排两台转塔车床？



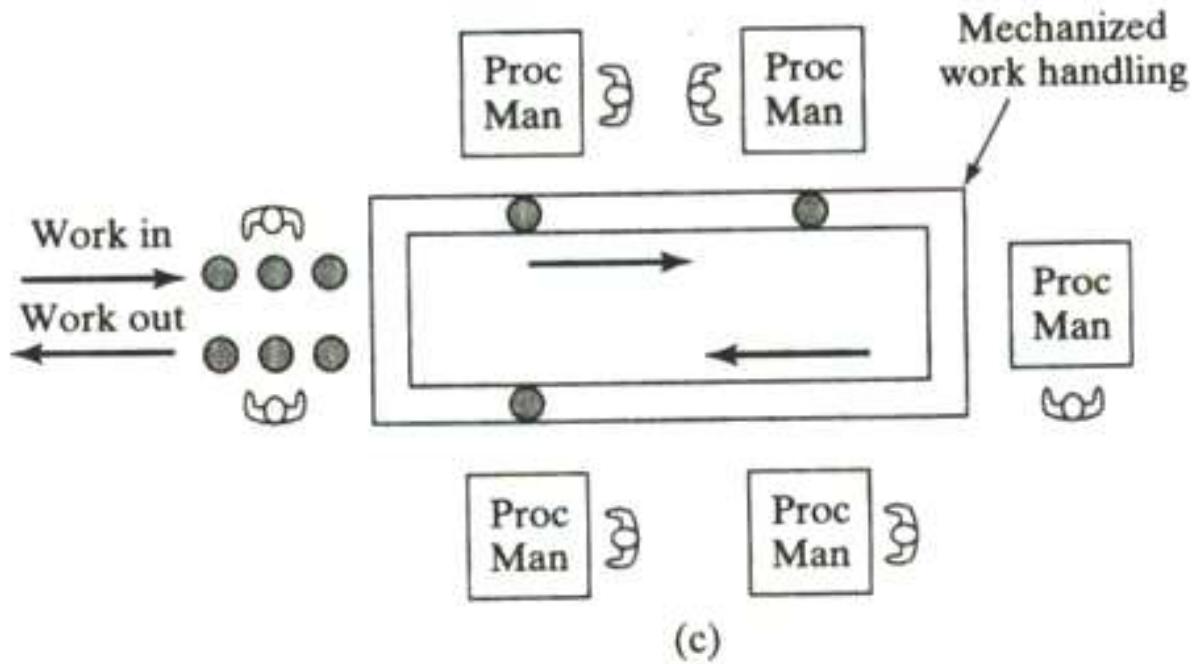
(a) 零件族

(b) 成组加工流水线

# 成组加工流水线的形式 (1)



# 成组加工流水线的形式 (2)



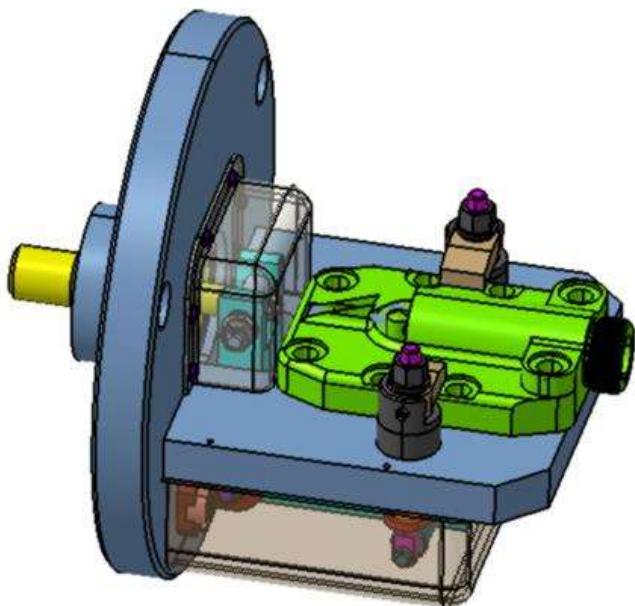
**Figure 15.12** Machine cells with semi-integrated handling: (a) inline layout, (b) loop layout, and (c) rectangular layout. (Key: “Proc” = processing operation (e.g., mill, turn, etc.), “Man” = manual operation; arrows indicate work flow.)

# 在制造工艺中的应用 (3)

## 3. 设计制造成组夹具

设置可调零件、可换零件，减少工装数目。

从成组夹具发展为柔性夹具、柔性智能夹具



# 成组夹具

演示

成组夹具

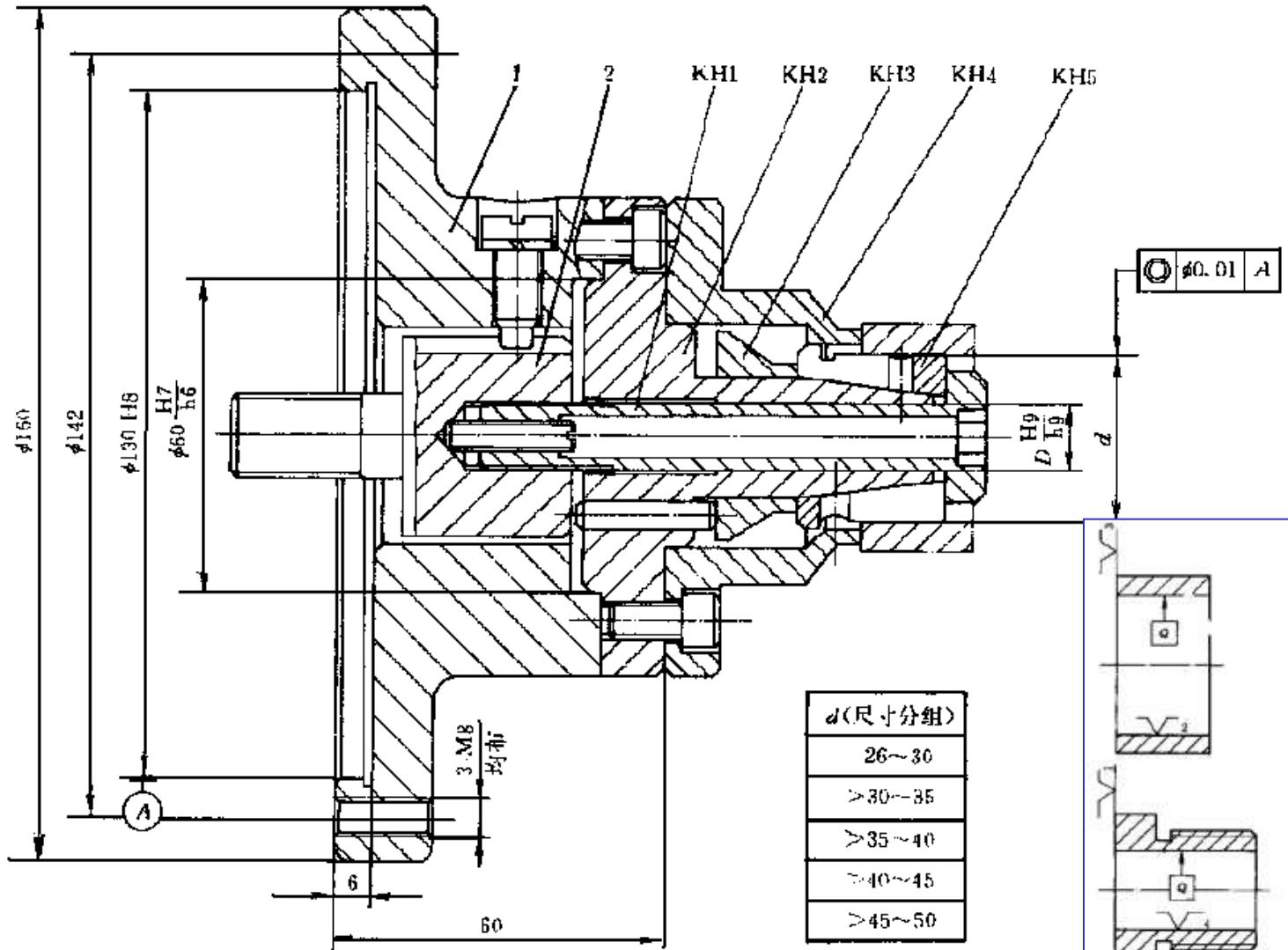


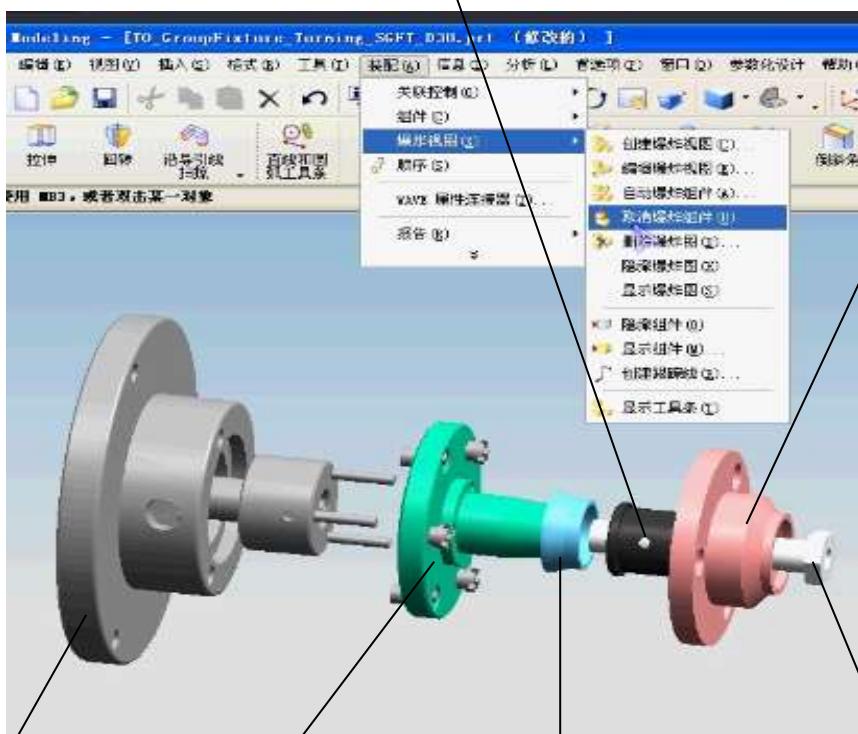
图 1-11-4 车(磨)成组夹具

图 1-11-3 薄壁类零件的工序简图

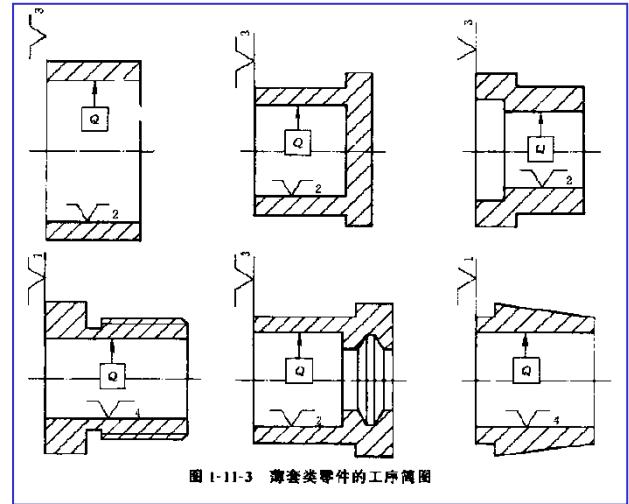
1-夹具体；2-接头；KH1—夹紧螺栓；KH2—定位锥体；KH3—顶圆；KH4—定位环；KH5—弹性胀套

# 成组夹具

KH5-弹性涨套



KH4-定位环



夹具体

KH2-定位锥体

KH3-顶圈

KH1-夹紧螺栓

定位环、涨套、顶圈、螺栓的作用？



## 5-2 计算机辅助工艺过程设计 (CAPP)

- CAPP基本概念
- CAPP基本方法
- CAPP关键技术



# 一、CAPP的基本概念（1）

## 1. 制造工艺（过程）设计(Manufacturing Process Planning): 包括

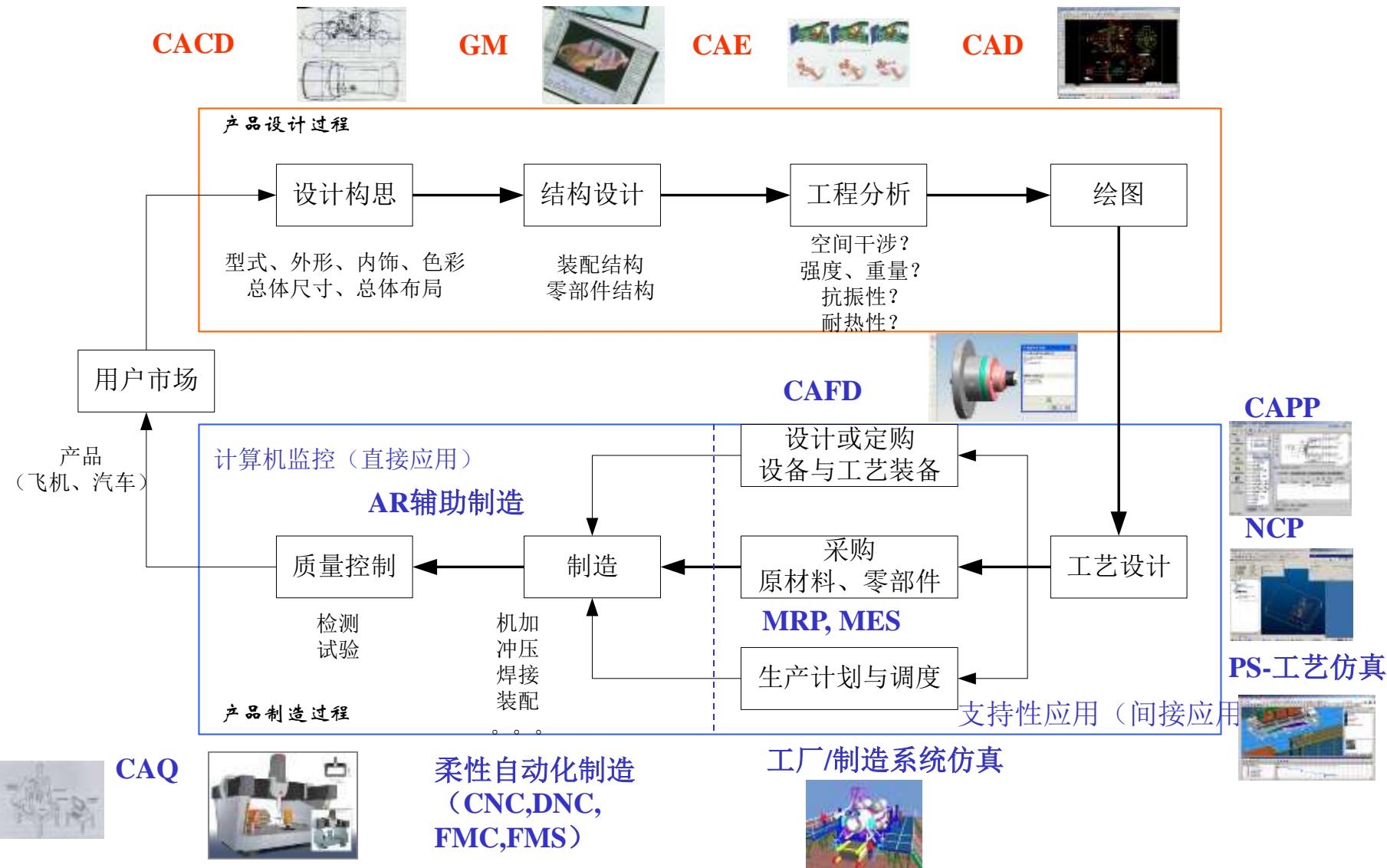
- 装配工艺设计(Assembly Process Planning)
- 加工工艺设计(Machining Process Planning)
- 钣金工艺设计 (Bending Process Planning)
- 检验工艺设计(Inspection Process Planning)

2. (机械加工) 工艺设计：根据产品设计技术要求（材料、结构形状、尺寸、精度、表面粗糙度、热处理、表面处理等），确定产品加工过程中所需采用的加工方法、加工顺序、基准、机床、夹具、刀具、量具、各工序尺寸及公差、切削参数、工时定额等。工艺设计的结果是零件工艺规程（文件）。它是指导企业生产的基础技术文件。





# 工艺设计在生产过程中的地位





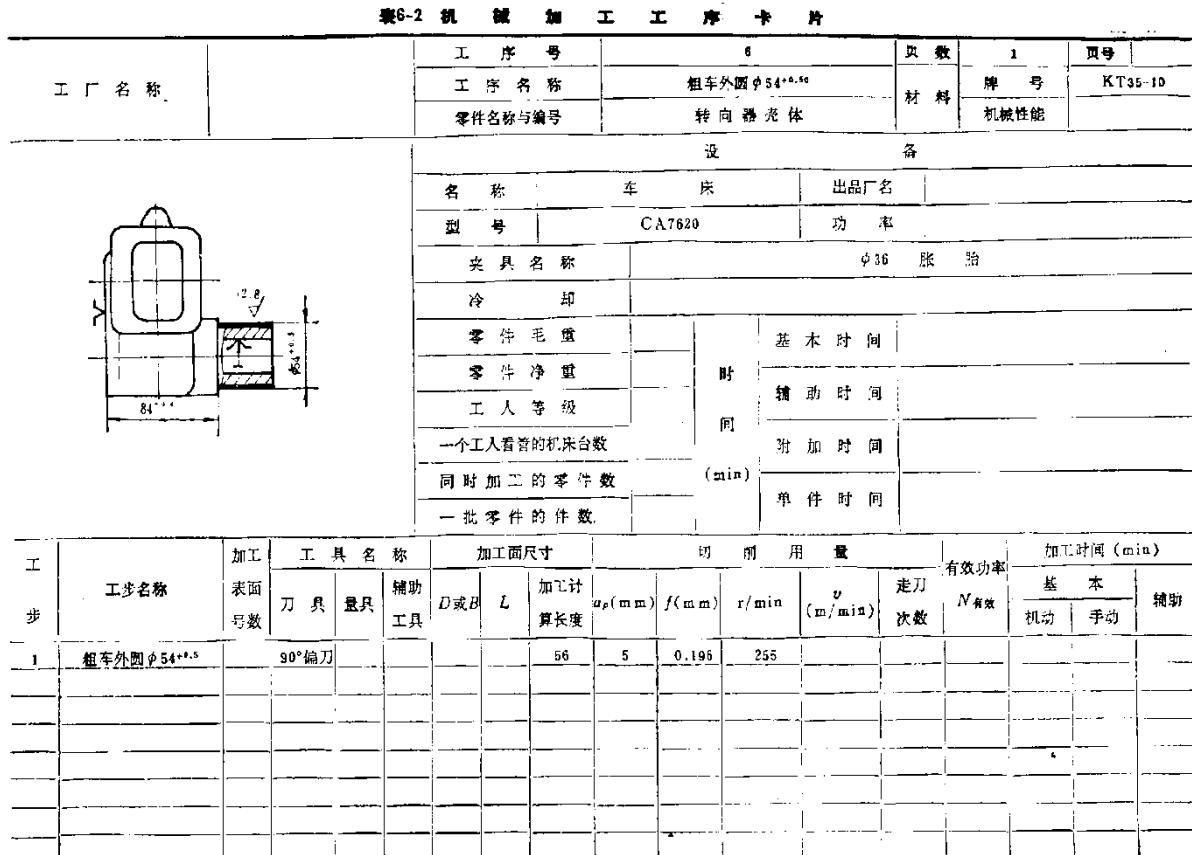
## 一、CAPP的基本概念（2）

### 3. 传统人工工艺设计存在的问题:

- (1) 工艺规程的质量不稳定，一致性差（举例）
  - (2) 速度慢，效率低。主要是填工艺规程表格（见下图），画工序图。
  - (3) 不能保证产生优化工艺方案

## 工艺规程表格

## —工序卡





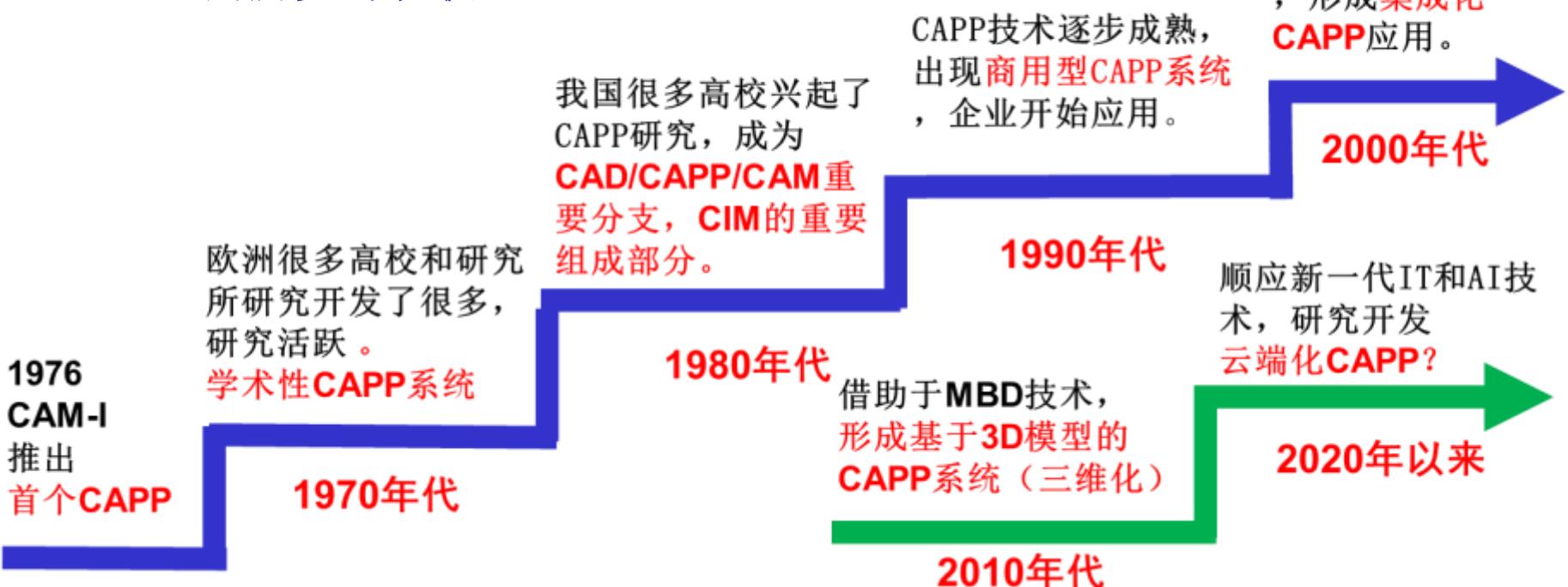
# 一、CAPP的基本概念（3）

4. CAPP的概念：采用计算机辅助工艺人员设计工艺过程、产生工艺规程。

将工艺过程设计中所需的经验、判断和决策规则和知识转变为计算机应用程序、工艺数据库和知识库。给定一个零件，计算机辅助/自动产生工艺规程。

效益：提高效率、提高质量、促进工艺规程的标准化、优化。

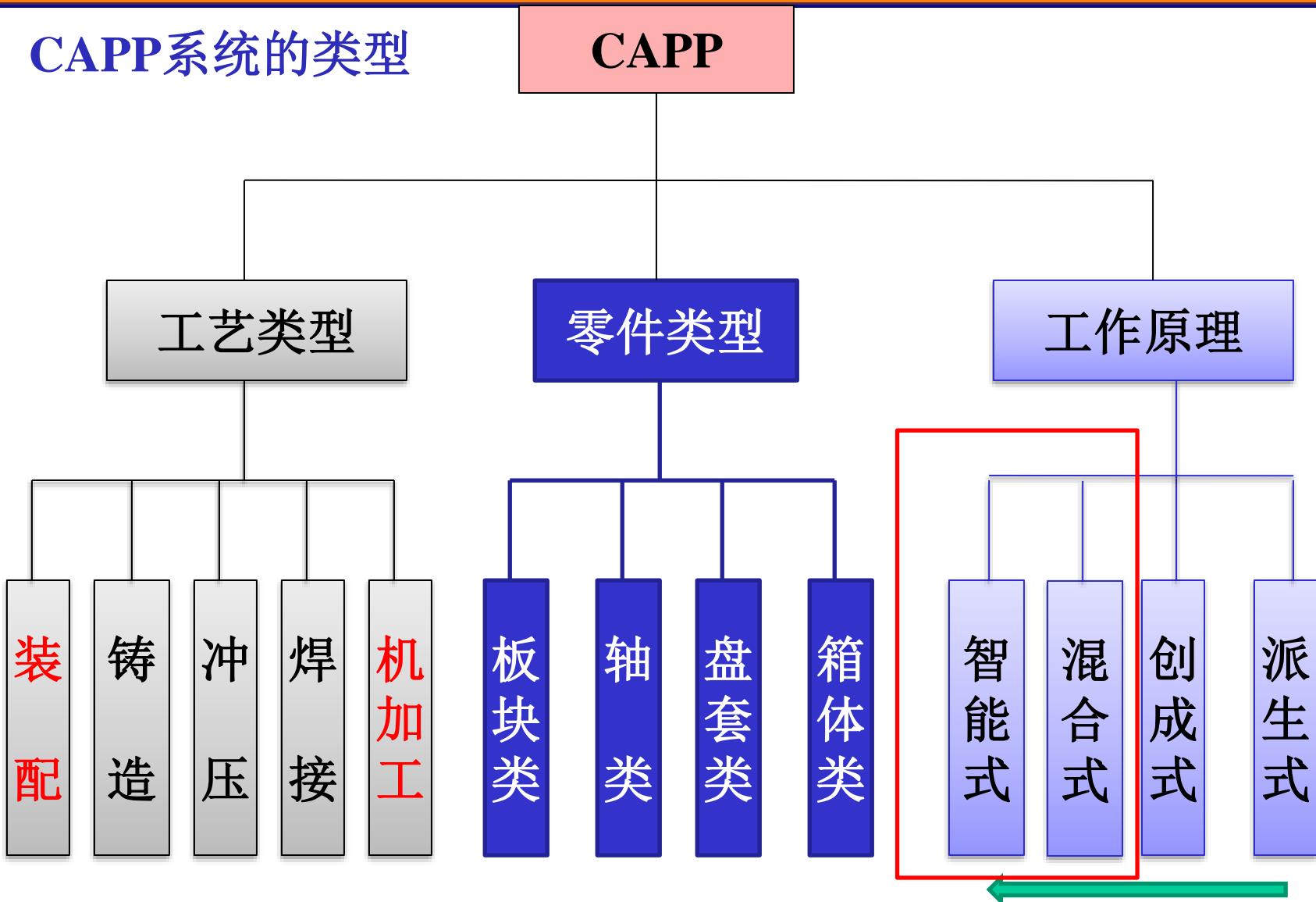
## 5. CAPP的历史与现状：





# 一、CAPP的基本概念（4）

## 6. CAPP系统的类型





## 5-2 计算机辅助工艺过程设计 (CAPP)

- CAPP基本概念
- CAPP基本方法
- CAPP关键技术



## 二、CAPP的基本方法

### 1. 派生式CAPP (Variant CAPP) / 变异式 CAPP

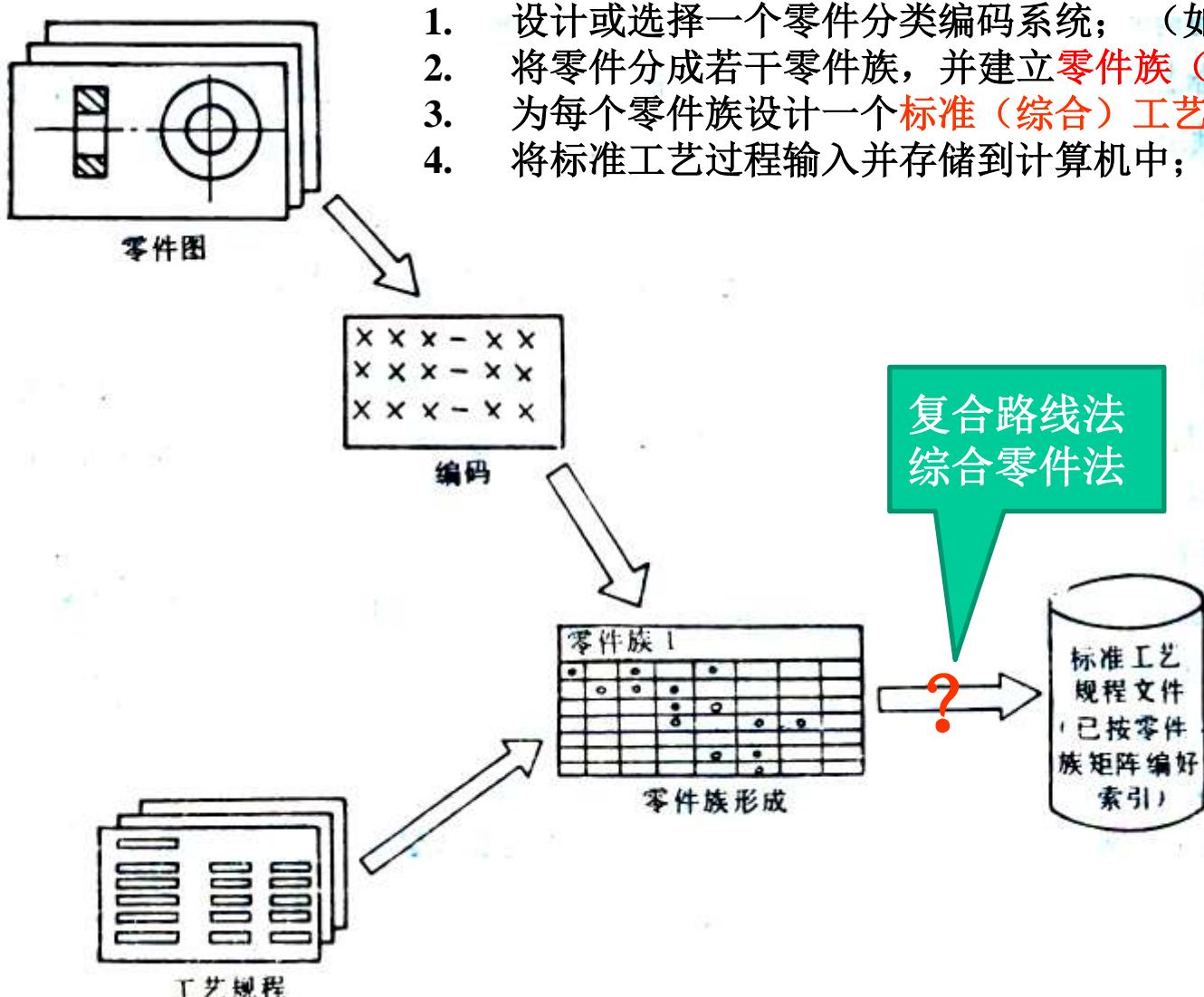
#### (1) 基本原理：

运用成组技术的原理，利用零件的相似性，事先存储各个零件族的标准工艺过程，新零件的工艺过程通过检索相似零件的工艺过程并加以编辑修改而成。

#### (2) 工作过程

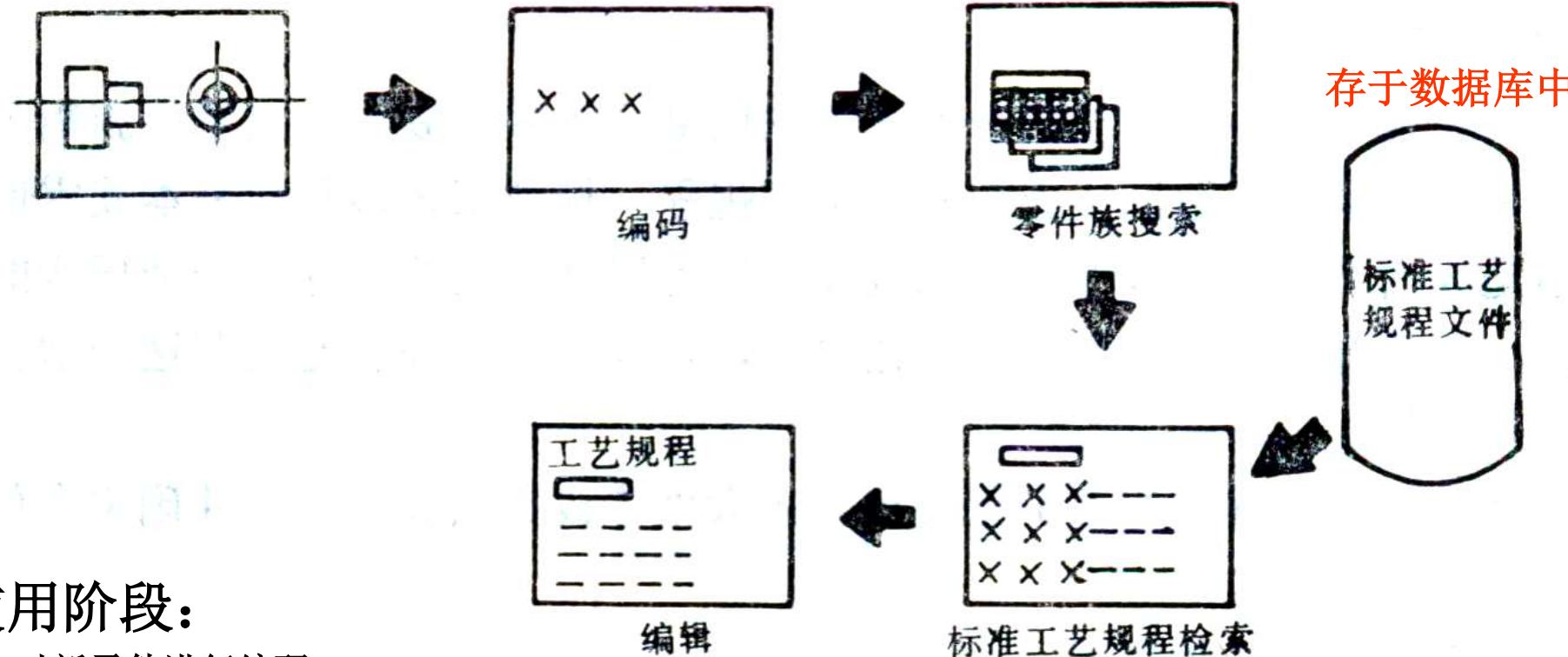
分为两个阶段：设计阶段+ 使用阶段

# 派生式CAPP的设计阶段



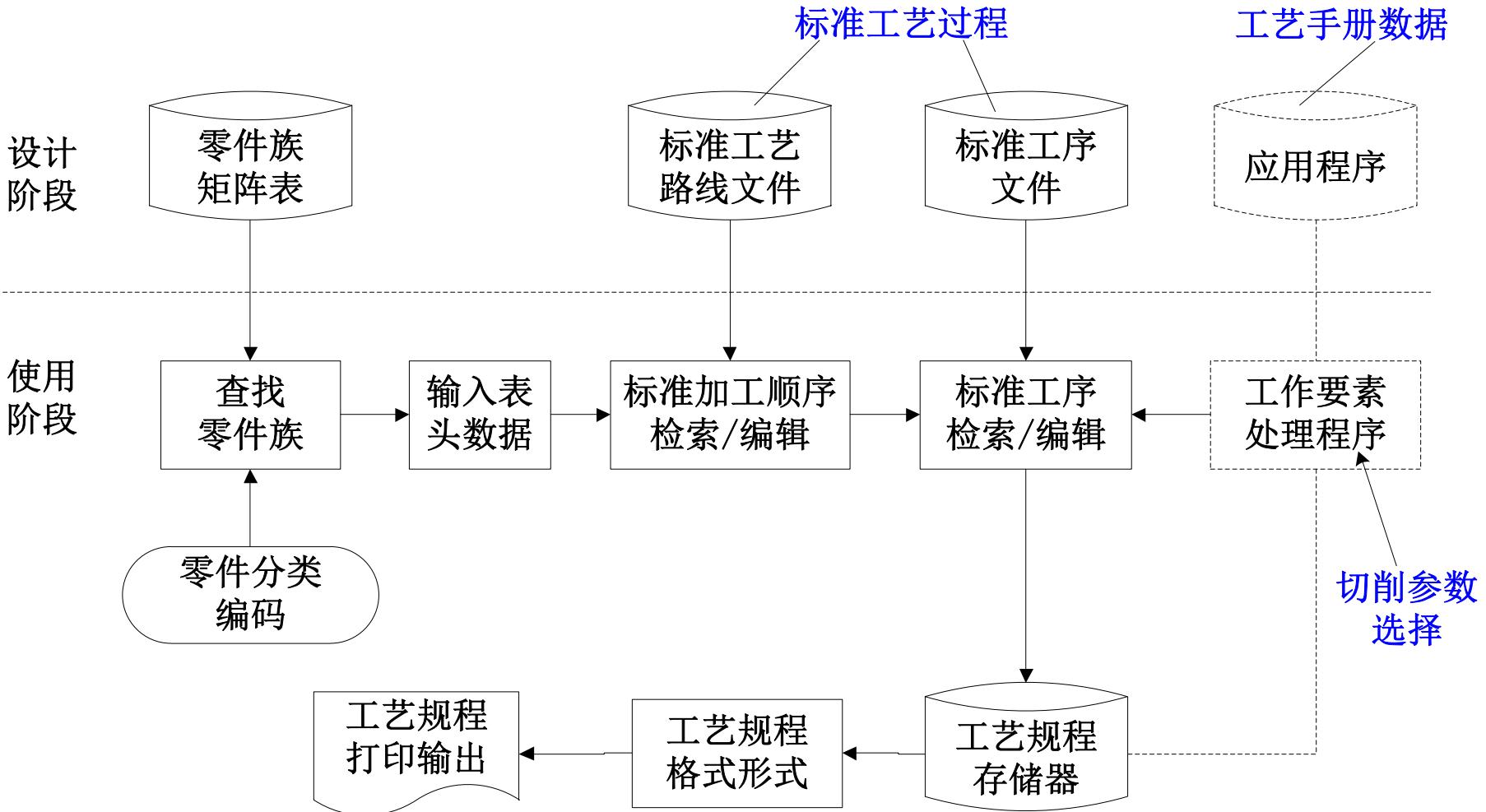


# 派生式CAPP的使用阶段



# CAM-I 的派生式CAPP系统结构

## (3) 典型系统：CAM-I 组织开发的CAPP系统





# 派生式CAPP的特点



## (4) 特点

- 以成组技术为理论基础，有较好的实用性，应用比较广泛，目前国内外实际应用的CAPP系统大都属于派生式CAPP系统。
- 从实现技术上讲，派生式CAPP系统主要基于数据库管理系统或文件管理系统而开发，易实现、运行快、维护方便。
- 主要适用于结构比较简单、零件族数较少、每族内零件项数较多以及生产零件种类、批量和生产技术相对稳定的制造企业。
- 多适用于相似性较强的零件，并且产生的新零件的工艺过程可达到较好的一致性，有利于提高工艺设计质量。但当新零件不在原零件族内时，便不能生成工艺规程。

### 可选课程论文

基于ACCESS数据库和C语言，编程实现一个简易型派生式CAPP软件，具有若干零件族（如衬套类、轴类）的综合工艺规程的入库、查询、修改、输出打印等功能。



# CAPP的基本方法——创成式

## 2. 创成式CAPP (Generative CAPP)

### (1) 基本原理:

不依靠预先存储的标准工艺过程，依靠存储的工艺知识、决策规则和逻辑，根据输入的零件信息（形状、尺寸公差、材料等）自动产生工艺过程。

### (2) 工作过程

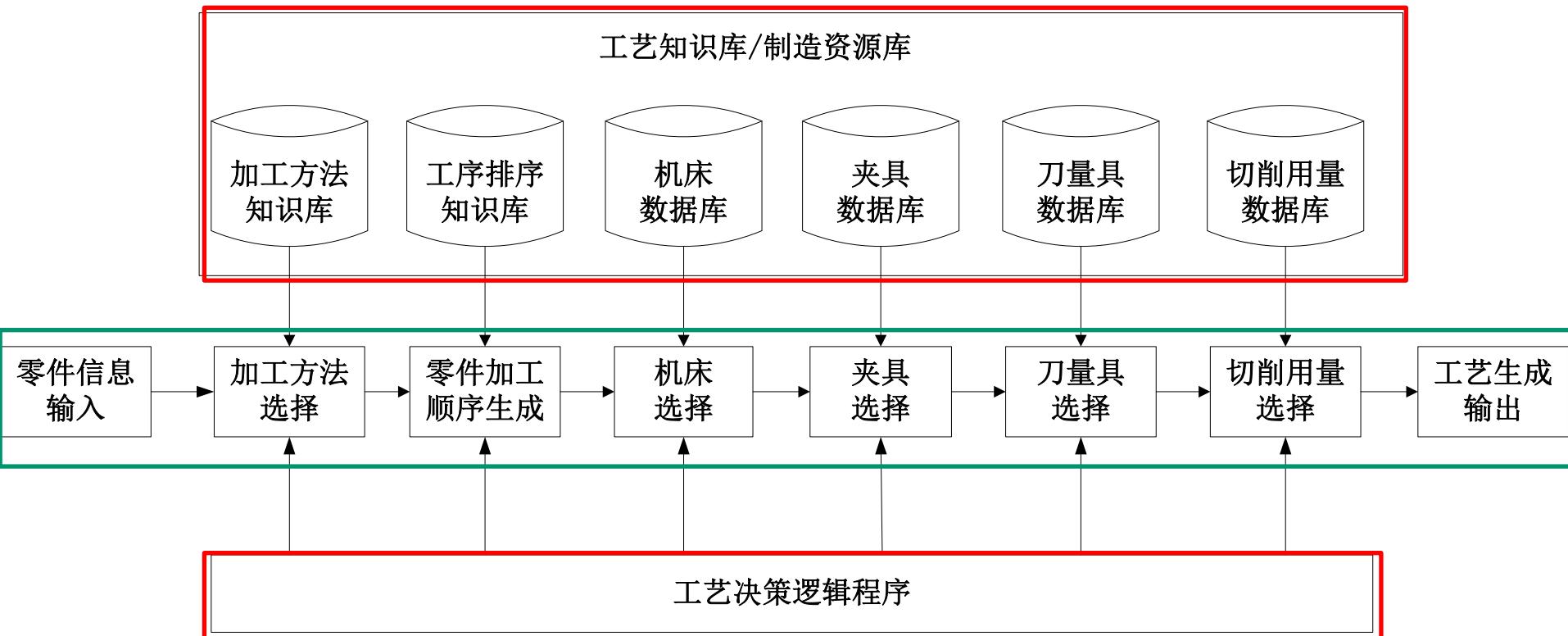
#### 设计阶段：

- 明确使用范围或对象（如回转体、箱体等）。
- 分析确定该类零件有哪些种类的特征表面组成，形成**特征图谱（谱系）或特征库**。 →
- 归纳建立各种**工艺数据库**（如机床库、刀具库、加工余量库）和**工艺知识库**（如加工方法选择、工序顺序安排、刀具选择、切削参数选择）； →  
（工艺设计手册==> 数据库/知识库）
- 设计实现各种**工艺决策逻辑**（决策模型与算法）； →

# 创成式CAPP的工作过程

红色部分：设计（开发）阶段

绿色部分：使用阶段





# 创成式CAPP的使用阶段

使用阶段：

- 输入零件信息
  - 人工交互输入；
  - 直接从CAD获取；（需要解决信息集成问题）
- 自动生成工艺过程
  - 选择加工方法；
  - 加工方法排序；（工艺路线安排、工序组合）
  - 工序尺寸计算；
  - 选择机床与工装（刀、夹、量具）；
  - 选择/计算切削用量；
- 人工编辑修改。



# 创成式CAPP的典型系统



## (3) 典型系统介绍

**APPAS(Automated Process Planning And Selection)**

美国普渡（Purdue）大学1977年开发，最早的创成式CAPP系统。

使用范围：箱体零件

特征表面种类：孔、平面、槽三类。

加工方法：十三种。

系统能够为三类表面自动选择加工方法、确定加工次序、计算切削用量和加工时间。



# 创成式CAPP的特点

## (4) 特点

- 通过数据模型、逻辑推理和智能计算等多种决策方式，并利用工艺知识库和制造资源库自动生成零件的工艺过程，运行时一般不需人工干预，是一种比较理想的有前途的方法。
- 从实现技术上讲，由于工艺决策逻辑需要复杂的程序设计，因此系统不易实现、维护也比较困难。
- 具有较好的柔性，适应范围较广。一般分为回转体类零件和非回转体类零件两大类。非回转体类又分为箱体、结构件、叉类件等主要类型。
- 由于具备较完整的零件信息模型，因此便于与CAD和CAM的集成。
- 由于工艺设计的复杂性、智能性和经验性，目前尚难建立自动化程度很高、功能完备的创成式系统，大多数创成式CAPP只是基本具备创成功能。

# 特征图谱示意

特征名	特征图		描述参数	备注
cylinder 圆柱	(1)		$D, U_p, D_o;$ $R_a$	0-0: 中心线 $U_p$ : 上偏差 $D_o$ : 下偏差 $R_a$ : 粗糙度 (下同)
	(2)			
cone 圆锥	(1)		$D1, U_{p1}, D_{o1};$ $D2, U_{p2}, D_{o2};$ $(\alpha, U_a, D_o;)$ $R_a$	$D1, D2$ 和 $\alpha$ 三组参数 可任给两组
	(2)			
thread 螺纹	(1)		$D, U_p, D_o;$ $t;$ $Z;$ $P_s$	$Z$ : 头数(线数) $P_s$ : 螺纹精度

回转体零件主特征：  
**圆柱**  
**圆锥**  
**螺纹**  
**齿轮**  
**花键**



# 孔加工方法链选择

序号	加工链	经济精度	表面粗糙度 $\mu\text{m}(Ra)$	适用范围
1	钻	IT12	>10~20	
2	钻→铰	IT10	>12.5~5	
3	钻→粗铰→精铰	IT7~IT8	>0.63~2.5	孔径小于15~20mm的未淬火钢,铸铁的实心毛坯
4	钻→扩	IT12	>5~20	
5	钻→扩→铰	IT8~IT9	>1.25~5	同上,但孔径大于
6	钻→扩→粗铰→精铰	IT7	>0.63~2.5	15~20mm
7	钻→扩→机铰→手铰	IT6~IT7	>0.08~0.63	
8	钻→(扩)→拉	IT7~IT8	>0.08~2.5	大批、大量生产
9	粗镗(或扩孔)	IT12	>5~20	
10	粗镗(或粗扩)→细镗(或精扩)	IT9~IT10	>2.5~10	除淬火钢以外的各种材料,毛坯有铸
11	粗镗(扩)→细镗(精扩)→精镗(铰)	IT8~IT9	>1.25~5	出孔或锻出孔
12	粗镗(扩)→细镗(精扩)→精镗→浮动镗刀块精镗	IT7~IT8	>0.32~1.25	
13	粗镗(扩)→细镗→磨孔	IT7~IT8	>0.16~1.25	主要用于淬火钢,
14	粗镗→细镗→粗磨→精磨	IT7	>0.08~0.63	也可用于不淬火钢,不宜用于有色金属
15	粗镗→细镗→精镗→金刚石镗	IT7	>0.08~0.63	要求较高的有色金属
15	钻→(扩)→粗铰→精铰→珩磨	~IT7	>0.02~0.32	精度要求很高的孔
	钻→(扩)→拉→珩磨			

作业：试用C语言编写“孔加工方法链选择”的程序



# 产生式规则举例——加工方法选择



## 规则12 (R12) :

**IF**

<零件材料为铸铁> and

<特征类型为光通孔> and

<有预制孔> and

<孔径D 40<D<=500> and

<尺寸精度IT 7<=IT<=8> and

<表面粗糙度Ra 0.32<Ra<=1.25>

**THEN**

<该特征的加工方法链为：扩孔-粗镗-半精镗-精镗>



# 工艺参数（切削用量）选择

表 2.2 切削用量的选取（高速钢立铣刀、粗铣）

工件材料		铸铁		铝		钢	
刀具直径 (mm)	刀槽数	转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)
		切削速度 (m/min)	每齿进给量 (mm/齿)	切削速度 (m/min)	每齿进给量 (mm/齿)	切削速度 (m/min)	每齿进给量 (mm/齿)
8	2	1100	115	5000	500	1000	100
		28	0.05	126	0.05	25	0.05
10	2	900	110	4100	490	820	82
		28	0.06	129	0.06	26	0.05
12	2	770	105	3450	470	690	84
		29	0.07	130	0.07	26	0.06
14	2	660	100	3000	440	600	80
		29	0.07	132	0.07	26	0.07
16	2	600	94	2650	420	530	76
		30	0.08	133	0.08	27	0.07



# 工艺决策逻辑的实现方法—决策表



## 孔加工方法选择的决策表

孔本身精度要求高	F	T	T
孔位置精度要求高		F	T
钻孔	X		
钻一铰		X	
钻一镗			X

## 机床选择的决策表

机 床 选 择					
	NO	1	2	3	4
300<长度	1	T	T		
直径<200	2	T	T		
最大速度<3000	3		T		
公差<0.01	4	T			T
批量>100	5		T	T	
夹具 123(现有)	6		T	T	
夹具 125(现有)	7			T	T
机床 1001	1	X			X
机床 1002	2		X		
机床 1003	3			X	

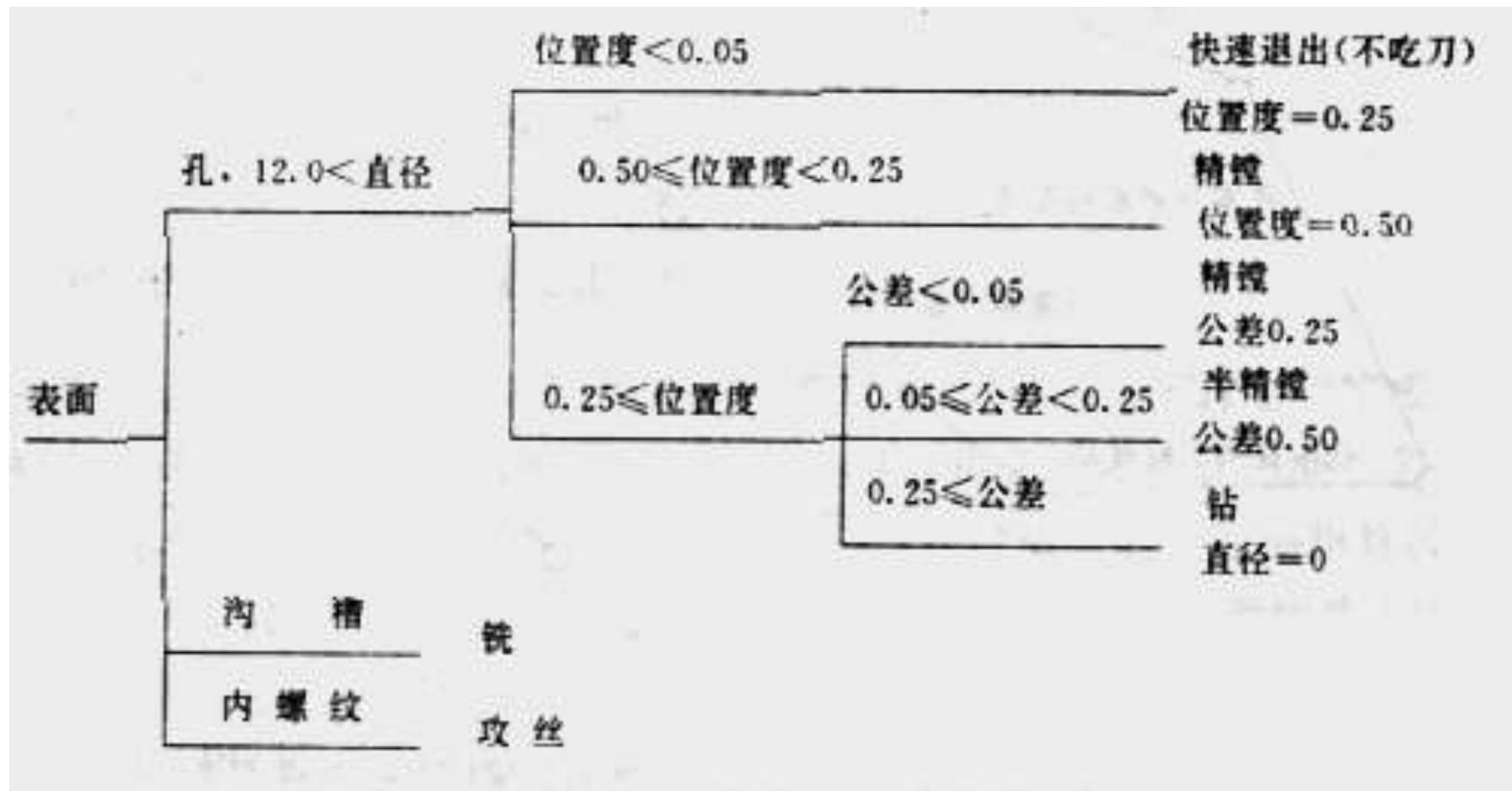
思考题：编写一个C语言程序，实现上述孔加工方法和机床选择的决策表？



# 工艺决策逻辑的实现方法—决策树

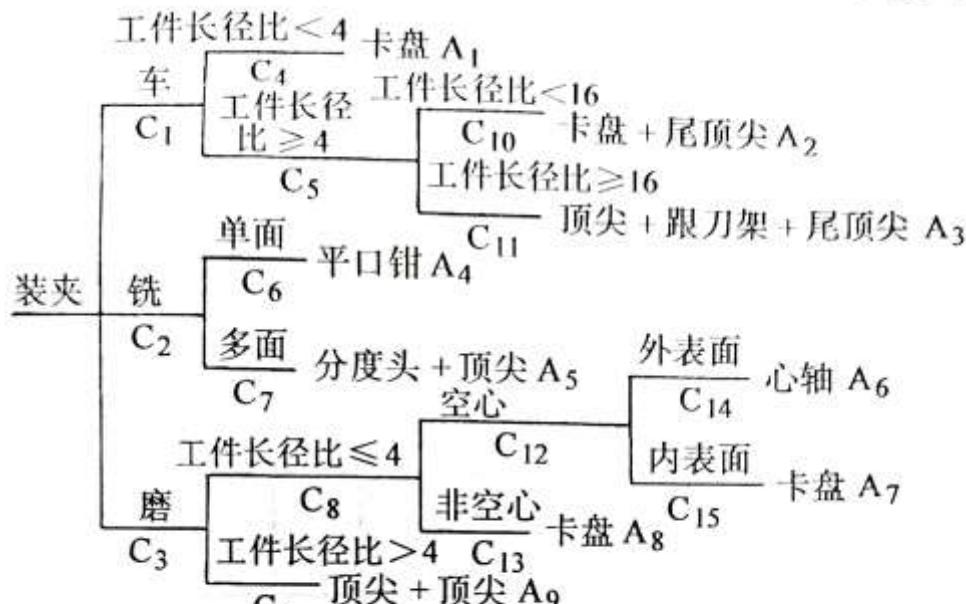


## 加工方法选择决策树



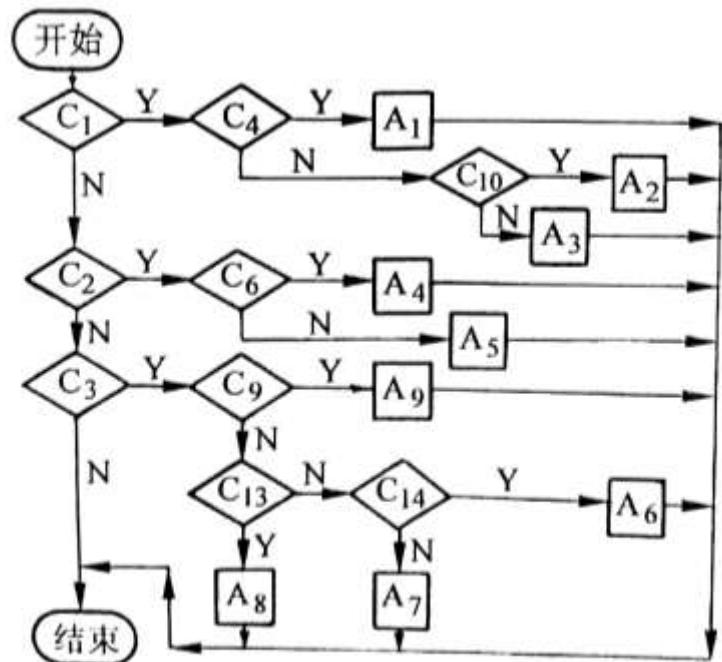
加工方法选择决策树

# 装夹方案选择决策



a)

装夹方案决策树



b)

装夹方案决策流程

作业：试用C语言编写“装夹方案选择”的决策程序



# CAPP的基本方法——混合式



## 3. 混合式CAPP (Hybrid CAPP)

### (1) 基本原理:

结合派生式和创成式的优点，合二为一。

### (2) 设计策略

宏观层面的工艺路线设计：采用派生法，派生工艺路线

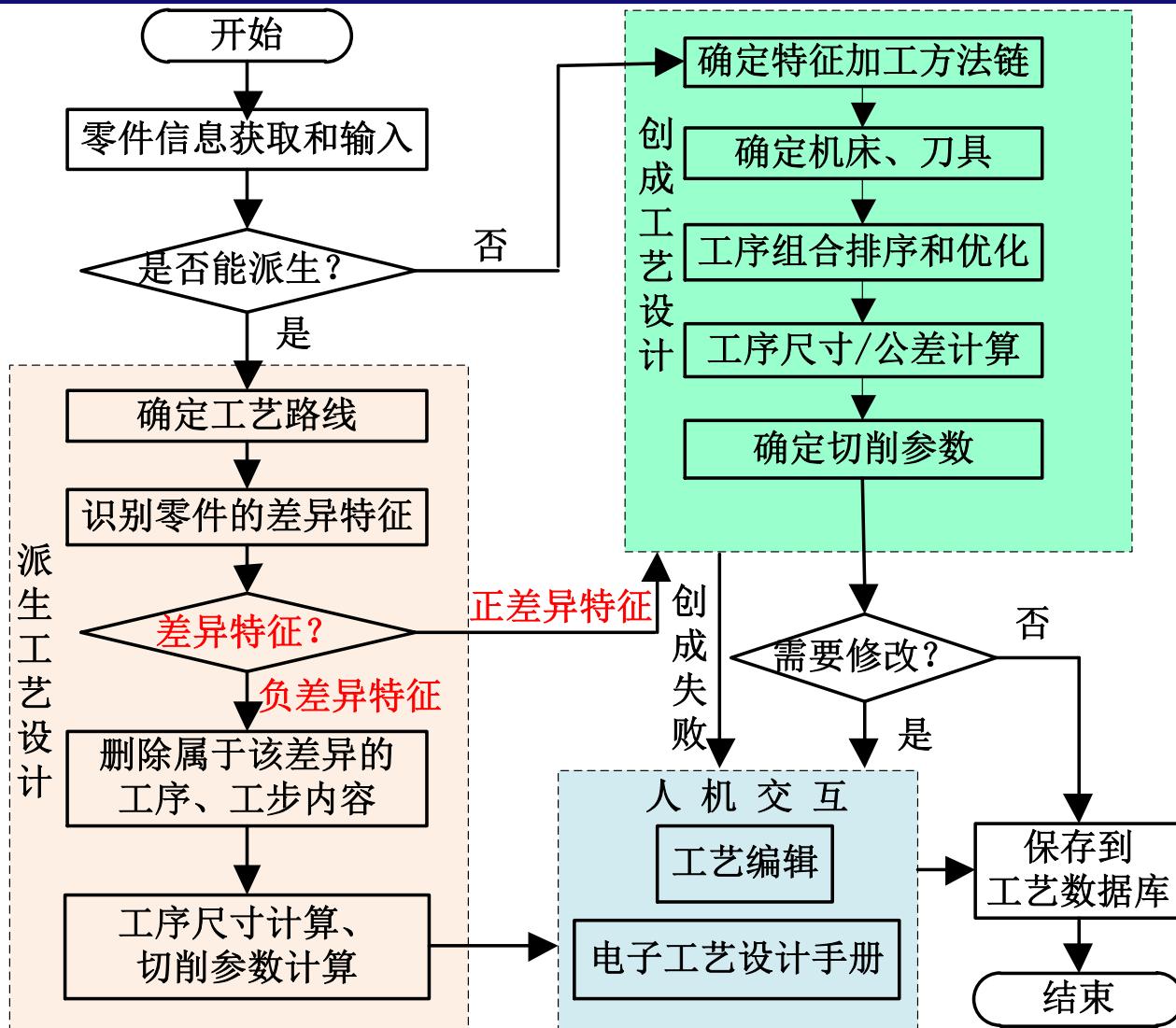
微观层面的工序设计：采用创成法，完成刀具、切削用量选择及工序尺寸计算任务

### (3) 系统介绍

**长春一汽汽车底盘零件CAPP系统（DP-CAPP）**

零件范围：底盘零件，包括桥壳、转向节、半轴等20多种。

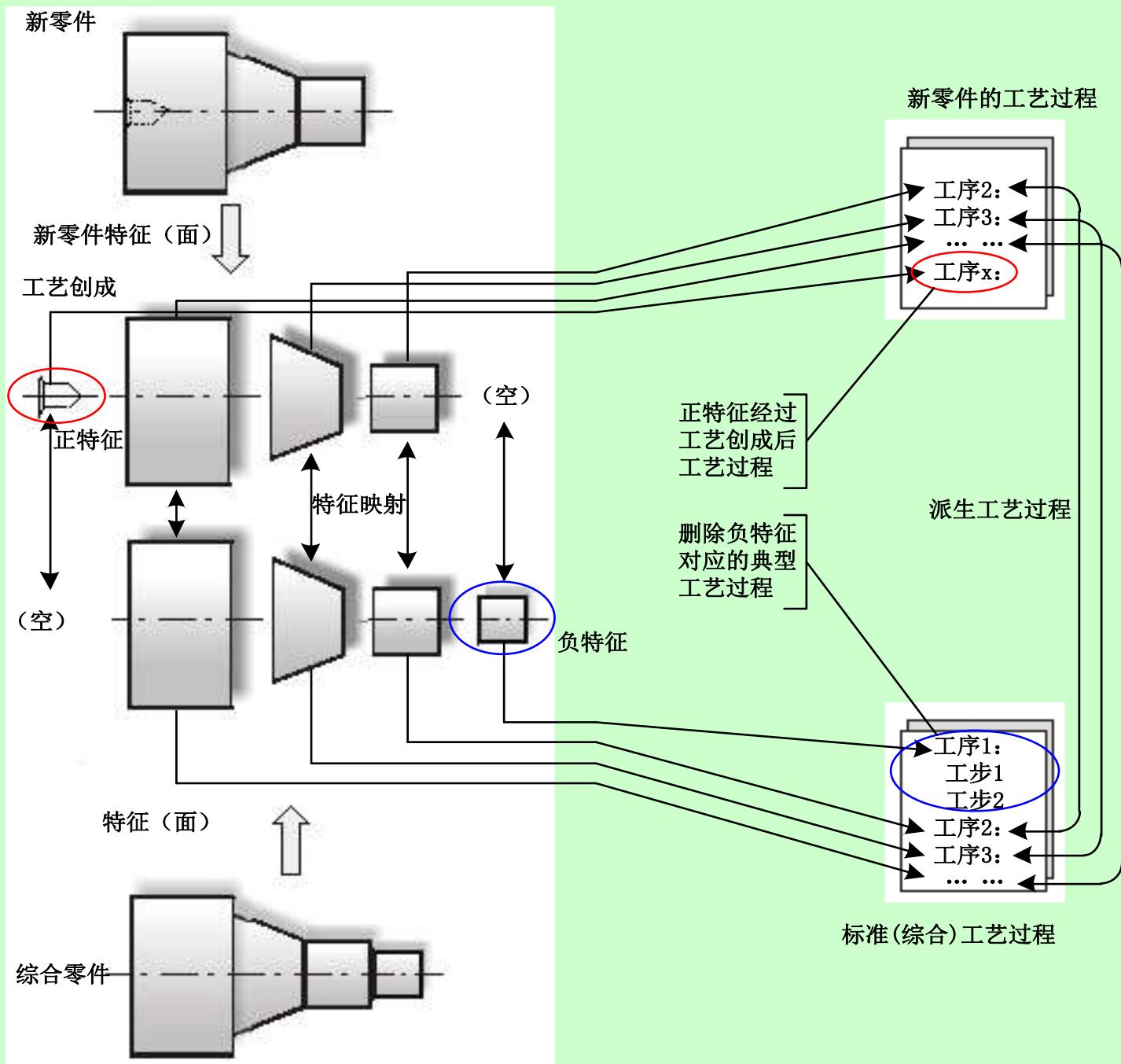
# 混合式CAPP的原理与基本流程



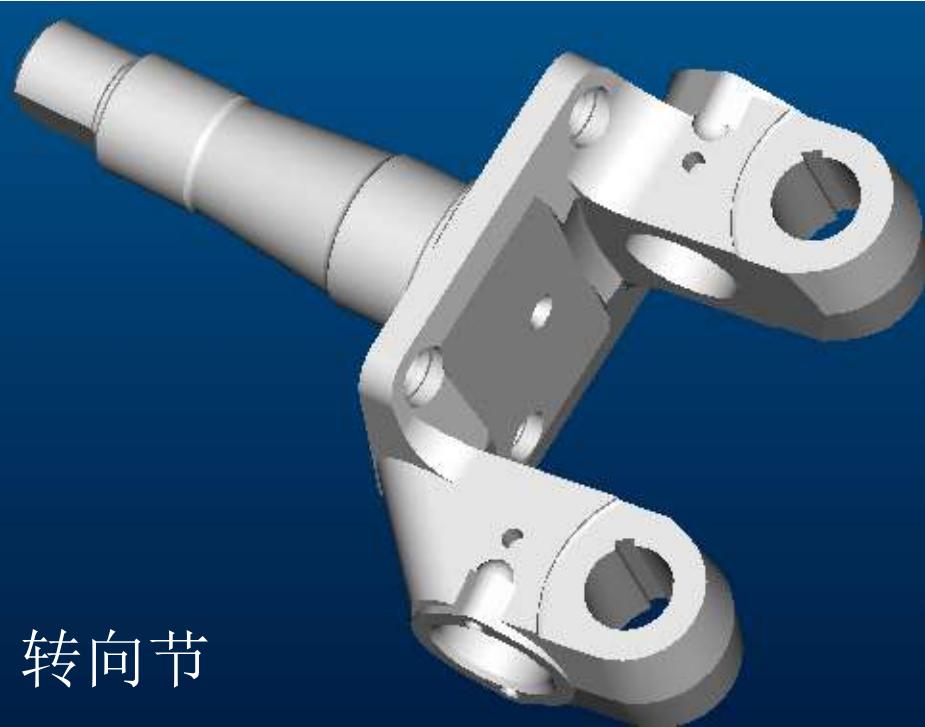


# 工艺派生的过程示意

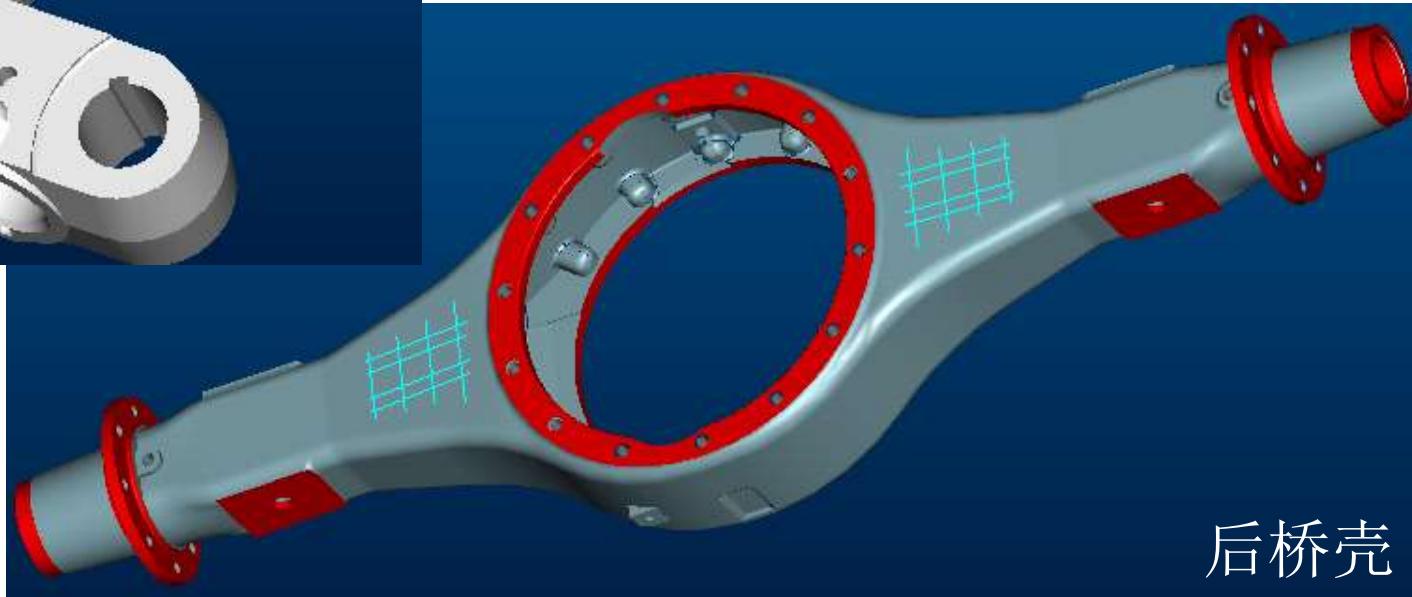
典型工艺过程  
标准工艺过程  
综合工艺过程



# DP-CAPP的使用范围（零件对象）



构成汽车底盘的20多种零件





# DP-CAPP工艺设计

底盘零件计算机辅助工艺设计系统

系统功能管理 零件信息管理 工艺路线设计 工艺信息管理 用户信息管理 资源信息管理 工艺文件输出 系统资源维护 帮助

功能组：

- 零件信息管理
- 零件工艺设计
- 工艺信息管理
- 资源信息管理
- 用户信息管理
- 工艺文件输出

零件树：

- \* Ca1111K2P1L2
  - 左右转向节\*1230
  - 外壳——后桥\*12
  - 左右转向节\*3001

提示：该道工序有一张工序图

工艺路线编辑 加工设备与工具 工步加工特征信息 加工参数及描述

设备类型 设备名称 设备牌号 平面

1 机床设备	专用铣床	CC2-X13	D3-214
--------	------	---------	--------

夹具名称 夹具号 夹具数

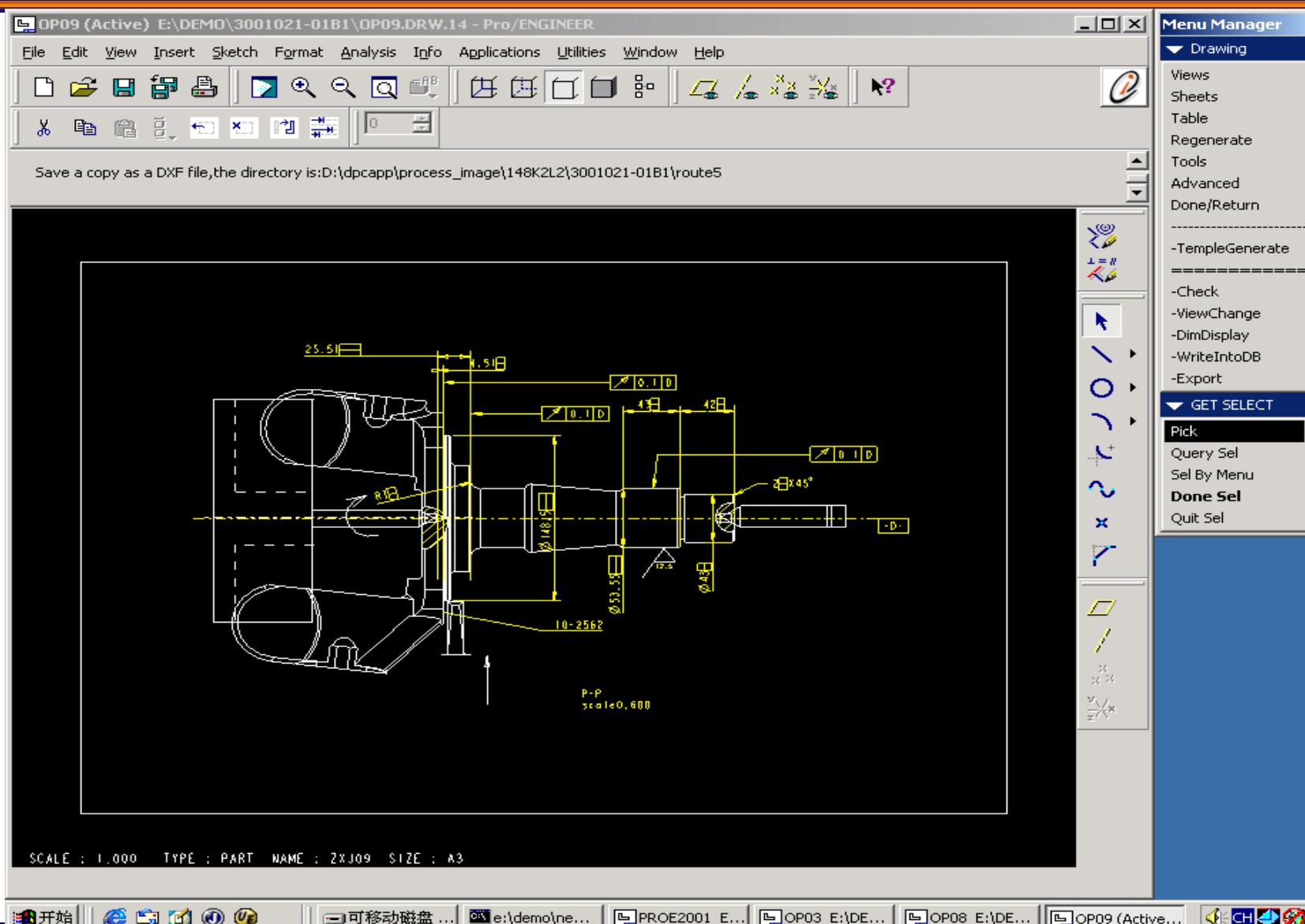
1 随机夹具		1
--------	--	---

T单: 2.8  
T机: 1.1  
负荷%: 98  
冷却液:  
进给量: 130  
转速: 296

典型工艺 生成工艺路线



# DP-CAPP工序图生成





# DP-CAPP工艺卡片生成



Adobe Acrobat - [troute3.pdf]

文件(F) 编辑(E) 文档(D) 工具(I) 视图(V) 窗口(W) 帮助(H)

缩略图

车间

机械加工工序卡

零件名称：左右转向节

2 1

符号说明

	定位
	夹紧
	定位 夹紧
	辅助 支撑
	进给 方向
	旋转载向

3

4

5

6

Y

Y

0.45±0.05

0.45±0.05

L-L scale 0.500

The dimension errors is less than 1.2

更改根据

设计 校对 审核 标准化 检查科 厂批准 归口会签 公司批准 共 页

标记及数目

签名及日期

第一汽车集团公司底盘厂 车间

机械加工工序卡

零件号：3001021-01B1

零件名称：左右转向节

5 / 65 297 x 209.9 毫米

开始 JBuilder 7 - D:\ca... 汽车底盘零件计... 文档 1 - Microsoft... 底盘CAPP Adobe Acrobat - [...] 15:05



# DP-CAPP系统特色



- 能与三维CAD系统（Pro/E）进行集成，提高了CAD/CAPP信息集成的能力。
- 能基于三维CAD系统进行工艺内容与工序图的互动设计，方便工艺人员的操作；
- 能进行参数化工艺设计，适合汽车行业的大批量、系列化生产特点，大大提高了工艺设计效率；
- 能在CAD系统中自动生成工序图，简便实用；



## 5-2 计算机辅助工艺过程设计 (CAPP)

- CAPP基本概念
- CAPP基本方法
- CAPP关键技术



### 三、CAPP的关键技术

- 零件信息的表示与获取
  - 零件分类编码描述法
  - 图形语言描述法
  - 形状特征描述法
  - 从CAD系统直接获取
- 工艺决策逻辑的实现方法
  - 决策树（加工方法选择、机床选择、刀具选择、余量选择、...）
  - 决策表
  - 产生式规则
  - 人工神经网络(切削参数选择, 夹紧力确定...)
- 工序图/工序模型的生成方法
  - 图形要素拼合法
  - 工序样板图继承法
  - 从CAD模型直接生成
- 工艺数据库/知识库的组织与建立（工艺信息和知识的建模） ✓



# CAPP关键技术——工序模型自动生成



a) 正向推理：由原始数据出发，按一定的策略运用知识库中专家的知识，推断出结论的方法。这种推理方法是**由数据到结论的一种策略**。

**指由毛坯推向成品零件所经历的工序过程。**

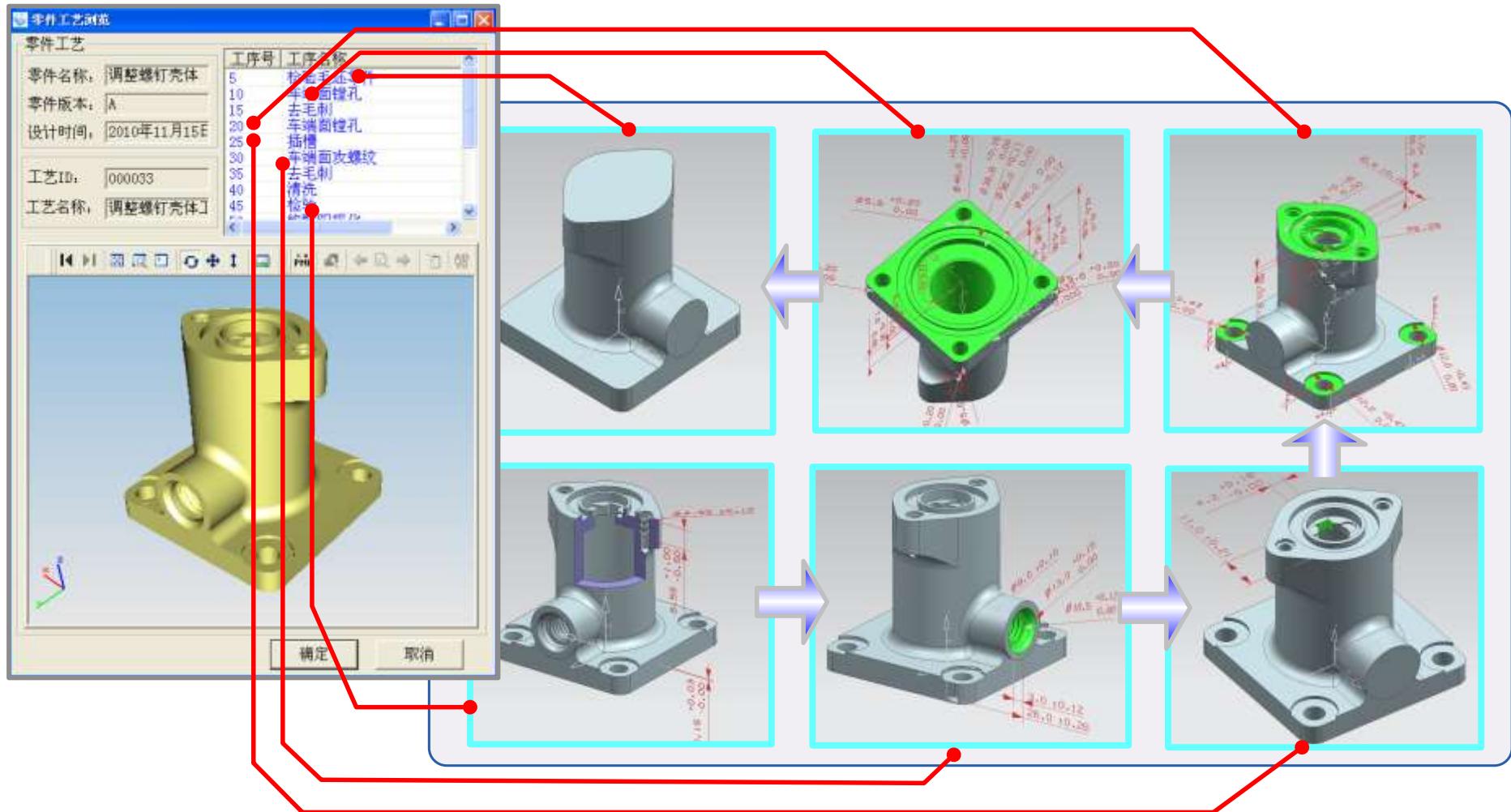
b) 反向推理：先提出假设，然后反向寻找支持这些假设的证据，亦称**目标驱动策略**。

**指由成品零件推向毛坯零件所经历的过程。**

在CAPP系统中，常常**采用反向推理方法**，符合工艺专家的习惯。

例如，根据零件表面粗糙度、精度和外形，可以确定它的最终加工（如磨削、精车等），以此定出最后一道工序的相关数据（加工余量、公差等）。然后，再推断出前一道工序可能是半精车并确定该工序的有关数据。一直倒推下去，直到毛坯，从而选出毛坯材料的有关数据（尺寸、公差等）。

- 某调整螺钉壳体零件加工的工序模型例子





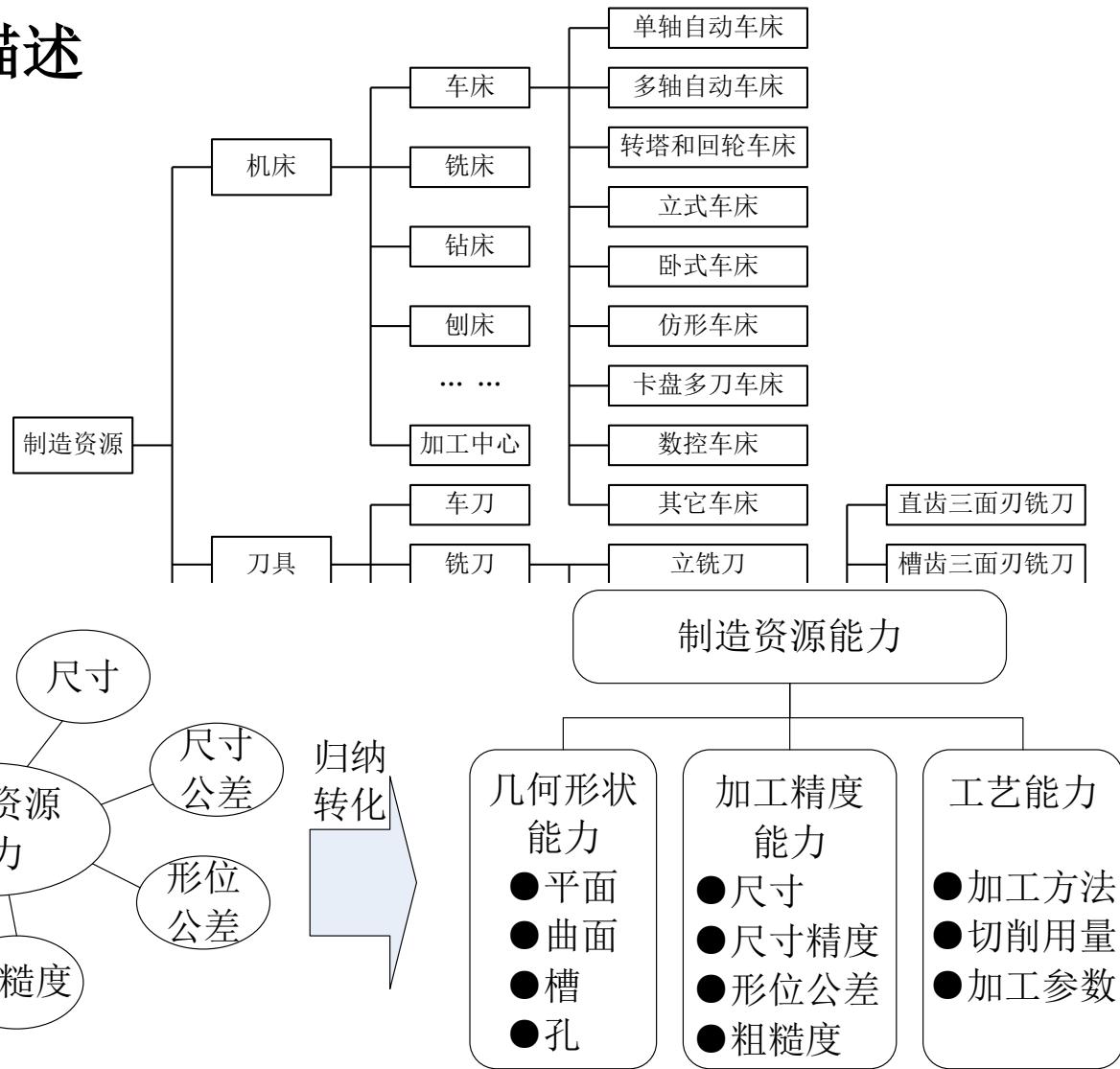
# CAPP关键技术—工艺知识建模与管理

## 工艺知识的类型、内容及表现形式

类型	内容		表现形式
静态 工艺 知识	标准公差、经济加工精度、工艺技术标准、作业指导书、切削参数(标准)、材料的性能参数、加工余量、工艺方法、工艺术语等		结构化数据和非结构化描述性文件
动态 工艺 知识	选择性规则	加工方法选择规则、基准选择规则、设备与工装选择规则、切削用量选择规则、余量选择规则、毛坯选择规则等	结构化数据
	规划性规则	工序或工步排序规则、 <b>装夹方案选择规则</b> 、工艺规程修正规则、工序模型生成规则、工序尺寸计算规则等	程序逻辑
	典型工艺 (标准/综合)	典型工艺规程、典型工艺路线、典型工序、典型工步等	结构化数据

# CAPP关键技术—工艺知识建模与管理

## 制造资源分类及描述



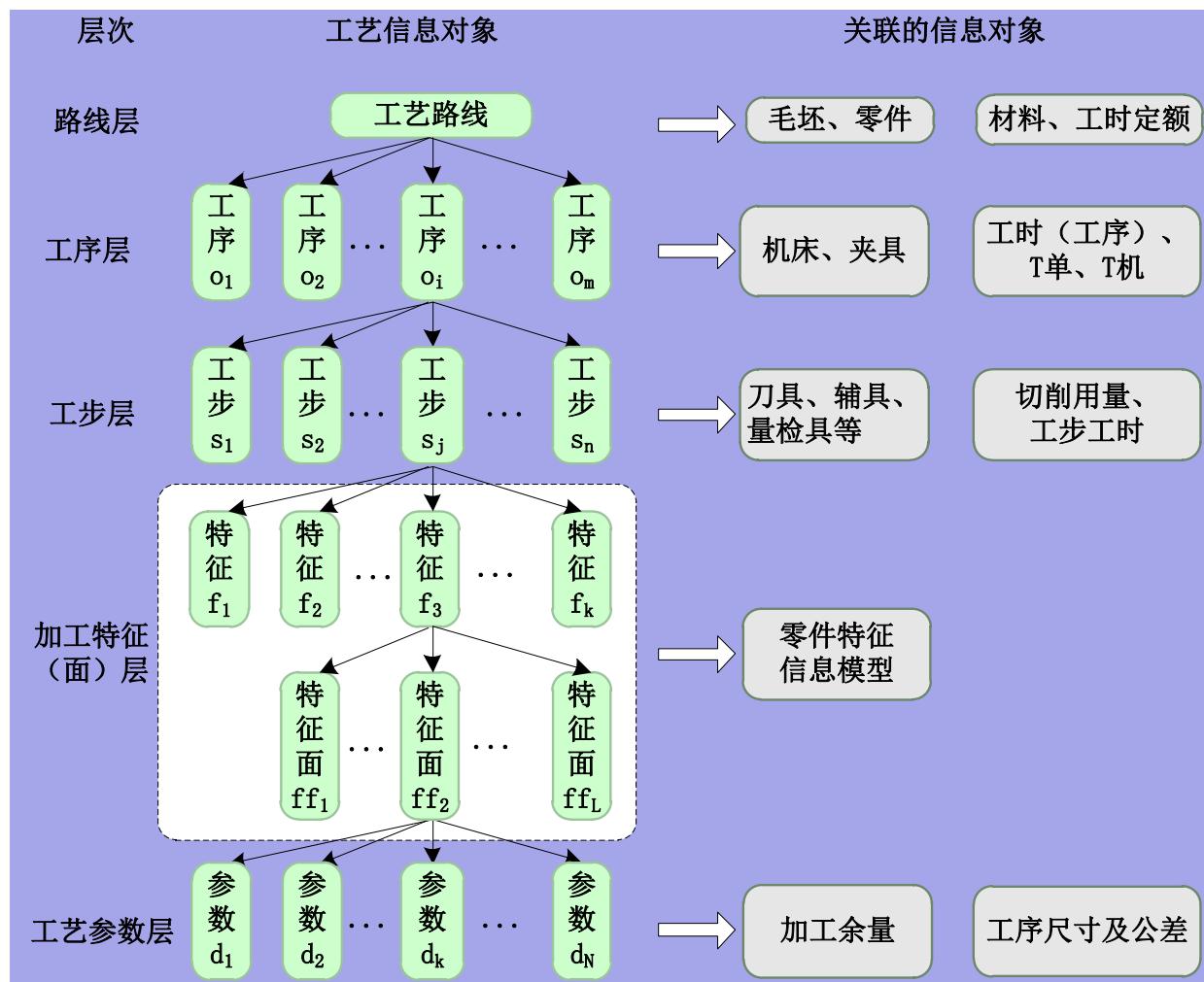
# CAPP关键技术—工艺信息建模与管理



□ 工艺信息是企业最重要、最基本的技术数据和资料，是指工艺设计的结果数据。

□ 工艺信息模型就是对工艺信息的表示、组织模式。一个合理、完整、稳健的工艺信息模型对于CAPP系统的至关重要

□ 通常分为五层：  
即**路线、工序、工步、加工特征及工艺参数层**。每个层次由各自的具体属性来对其进行描述，并且关联相应的工艺资源及参数。





## 5-3 计算机辅助工艺过程设计系统 (CAPP系统)

- 国内代表性的商用CAPP系统
- CAPP系统的结构与功能组成
- CAPP系统的工作流程
- CAPP系统的工艺管理
- CAPP系统的各种类型

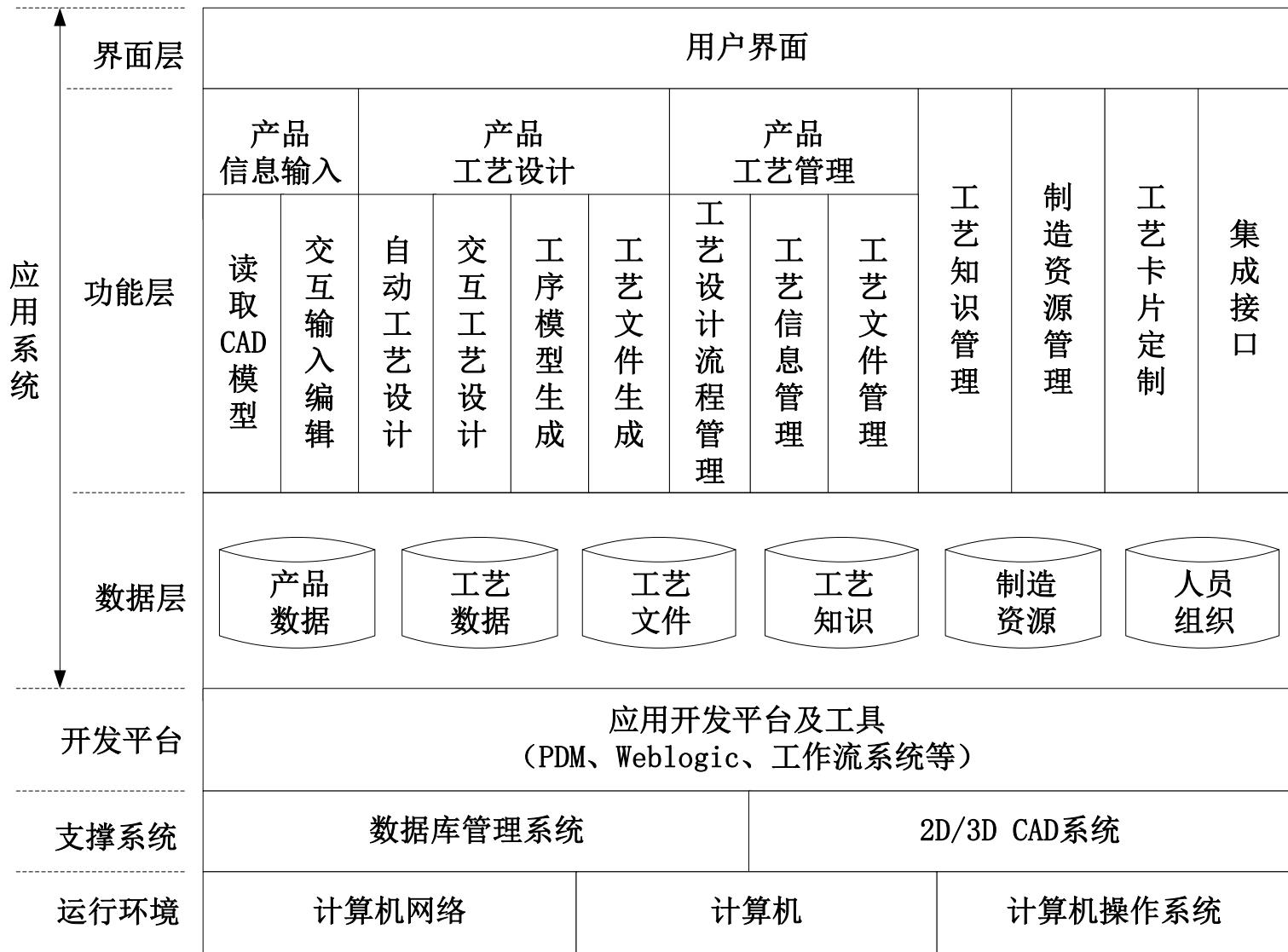


# 国内代表性的商用CAPP系统

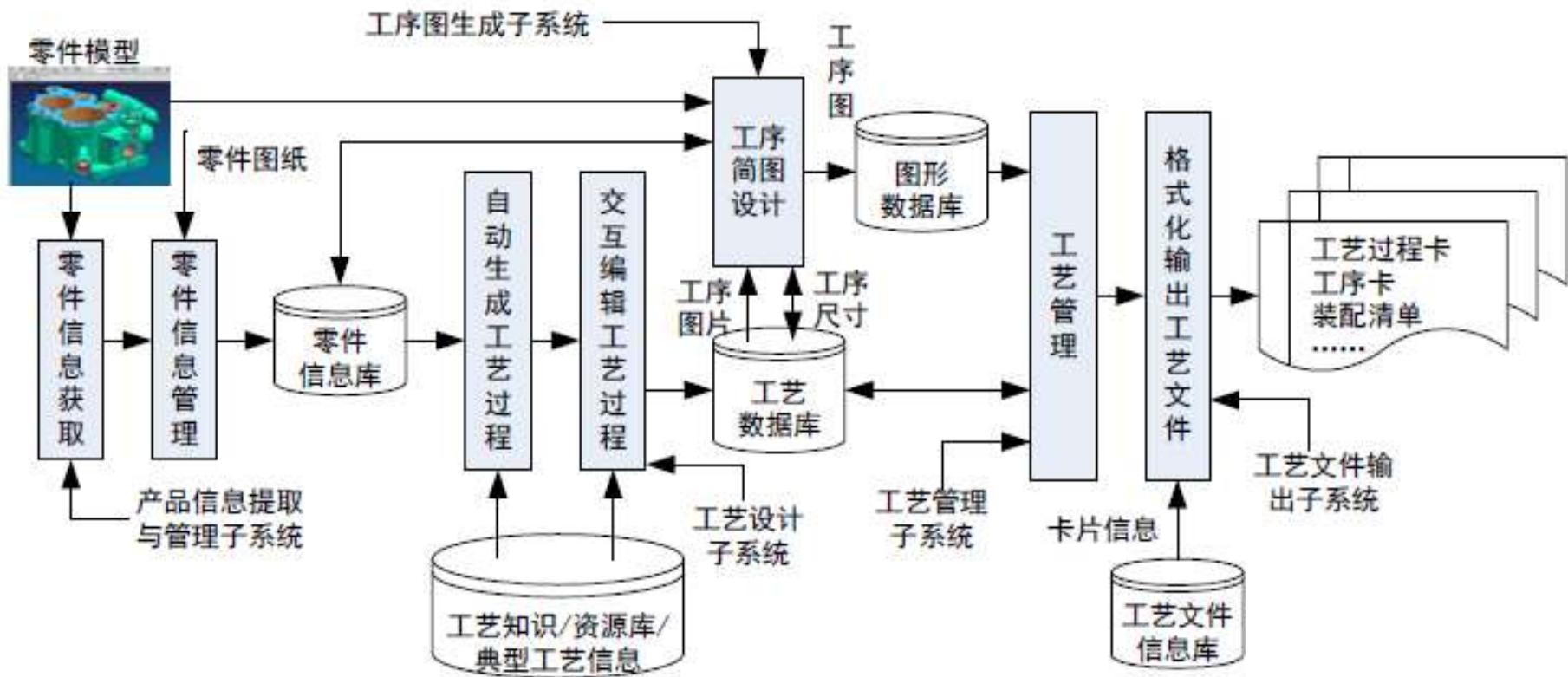
系统名称	开发者	系统功能及其特点	系统优点
开目CAPP	开目信息技术有限公司	可以任意创建工艺表格，快速拼装CAPP系统，并融数据库、图形、图象、表格、文字编辑于一体提供可视化的工艺设计环境，即所见即所得。	强调CAPP系统的适应性、通用性和扩展性，以适应各企业的具体情况。其优点是 <b>通用性好、管理功能强大</b> 。
CAXA 工艺表格 <b>(演示)</b>	北航海尔软件公司 (数码大方)	完全自主版权的工艺设计系统，既有表格文字处理功能，又有图形编辑，操作方便快捷。	<b>所见即所得，输出卡片</b> 可模板定制，工艺资源、参数查询。
TH-CAPP	北京清华京渝天河限公司	全面面向工艺部门和工艺人员，兼顾了工艺编制和工艺数据管理两方面要求。面向对象的组件化设计，OFFICES风格，简单易学，稳定可靠；完全“所见即所得”的工作环境，支持图文混排。	较强的工艺数据管理能力；开放灵活的基础数据管理配置功能；强大的管理功能 <b>全面管理整个部门的工作流程</b> 。
SIMP/CAPP	上海思普信息技术有限公司	采用微软的软件界面设计风格，实现所见即所得的工艺设计，从而充分保留用户的原有设计习惯。符合工艺设计人员的设计习惯，符合企业工艺设计的标准。	在权限控制下支持在工艺设计环境中直接从PDM中检出工艺文件进行修改。能够支持和PDM、ERP等企业信息化管理的集成。
金叶CAPP	陕西金叶西工大软件股份有限公司	快速编制工艺分工计划、工艺路线等综合工艺，进行工艺准备；综合运用交互式、检索修订式以及智能决策方式等工艺设计模式；基于产品结构的工艺数据和工艺文件一体化管理和查询和可定制的工艺工作流程管理；参数化智能化工艺文档生成、网络化浏览。	系统面向 <b>飞机结构件</b> 集成化 CAD/CAPP/CAM项目的研究开发，利用系统功能进行的应用与开发，实现了CAD/CAPP/CAM的信息集成和工艺设计与管理的一体化。



# CAPP软件系统的架构与功能



## CAPP系统的工作流程

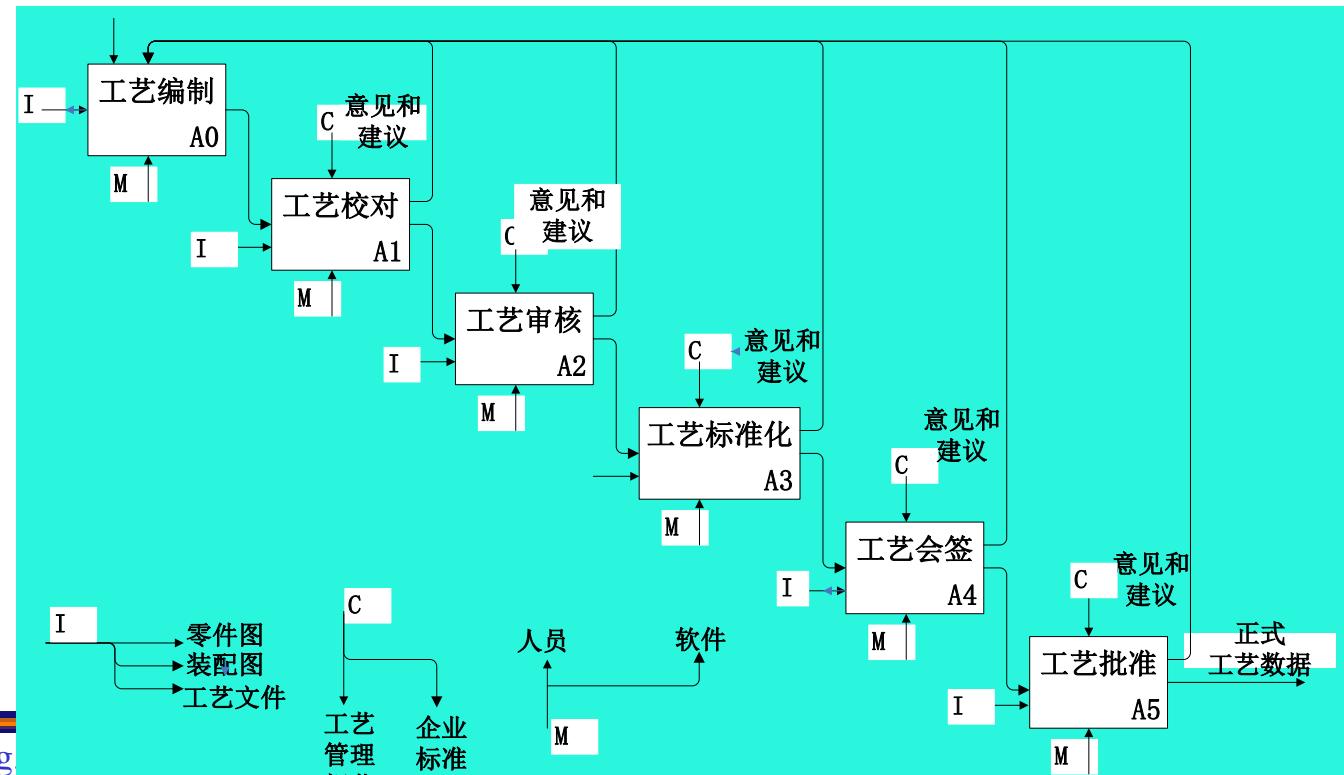


# CAPP系统的工艺管理（1）

## 1. 工艺设计流程管理

工艺设计任务分工即工艺分工、工艺设计、审批、发放及工艺更改等流程控制等方面是企业工艺管理的重要内容。随着CAPP的广泛应用及PDM、PLM发展，基于PDM/PLM平台和基于工作流技术的工艺设计流程管理是现代CAPP系统的重要功能之一(电子审签)，它也是有效实现工艺信息管理和工艺文件管理的基础。包括两类流程的管理：

- 1) 工艺审批流程
- 2) 工艺更改流程

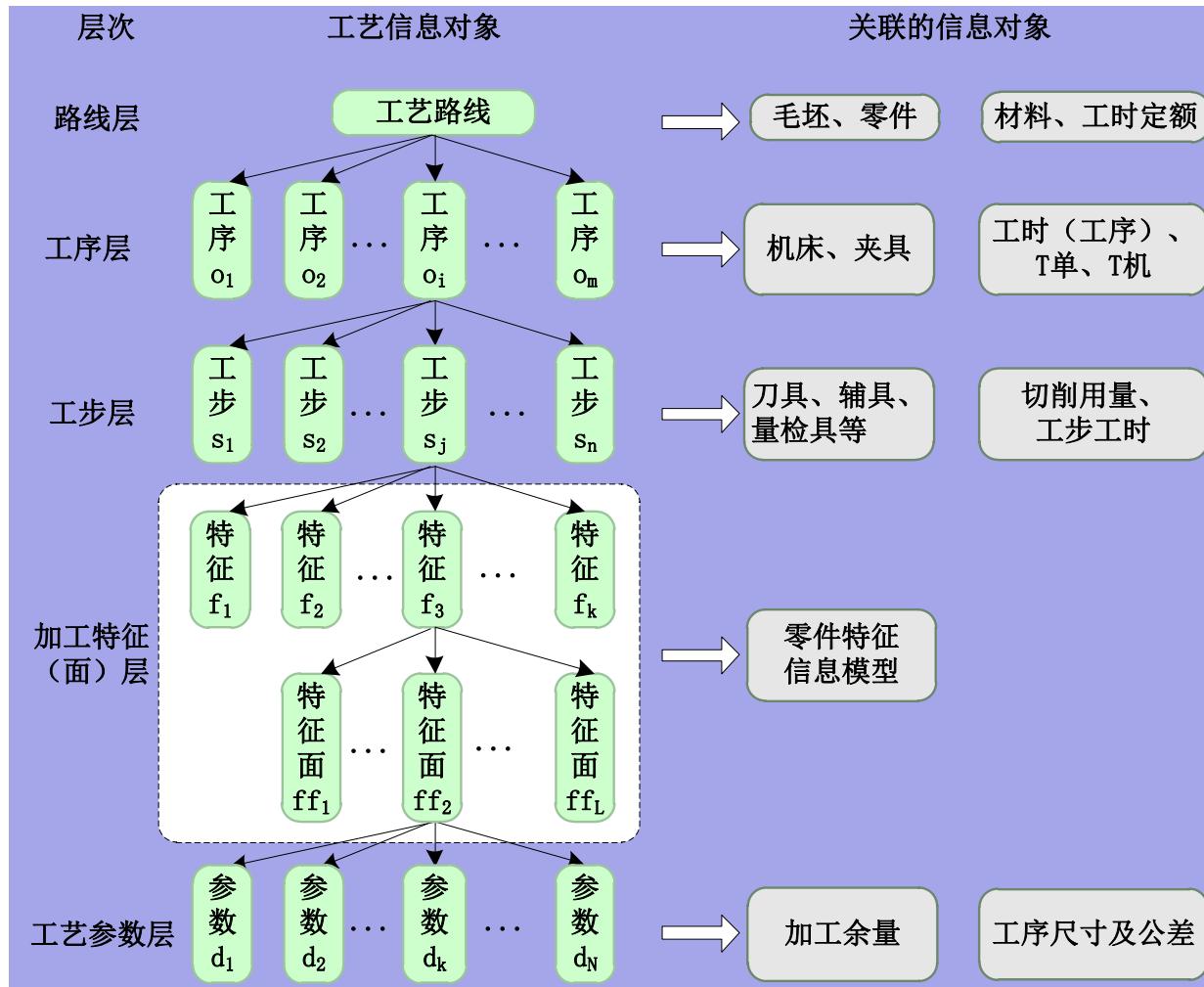


# CAPP系统的工艺管理（2）



## 2、工艺信息管理

- 工艺信息是企业最重要、最基本的技术数据和资料，是指工艺设计的结果数据。
- 工艺信息模型就是对工艺信息的表示、组织模式。一个合理、完整、稳健的工艺信息模型对于CAPP系统的至关重要
- 工艺信息模型通常分为五层：即**路线、工序、工步、加工特征及工艺参数层**。每个层次由各自的具体属性来对其进行描述，并且关联相应的工艺资源及参数。





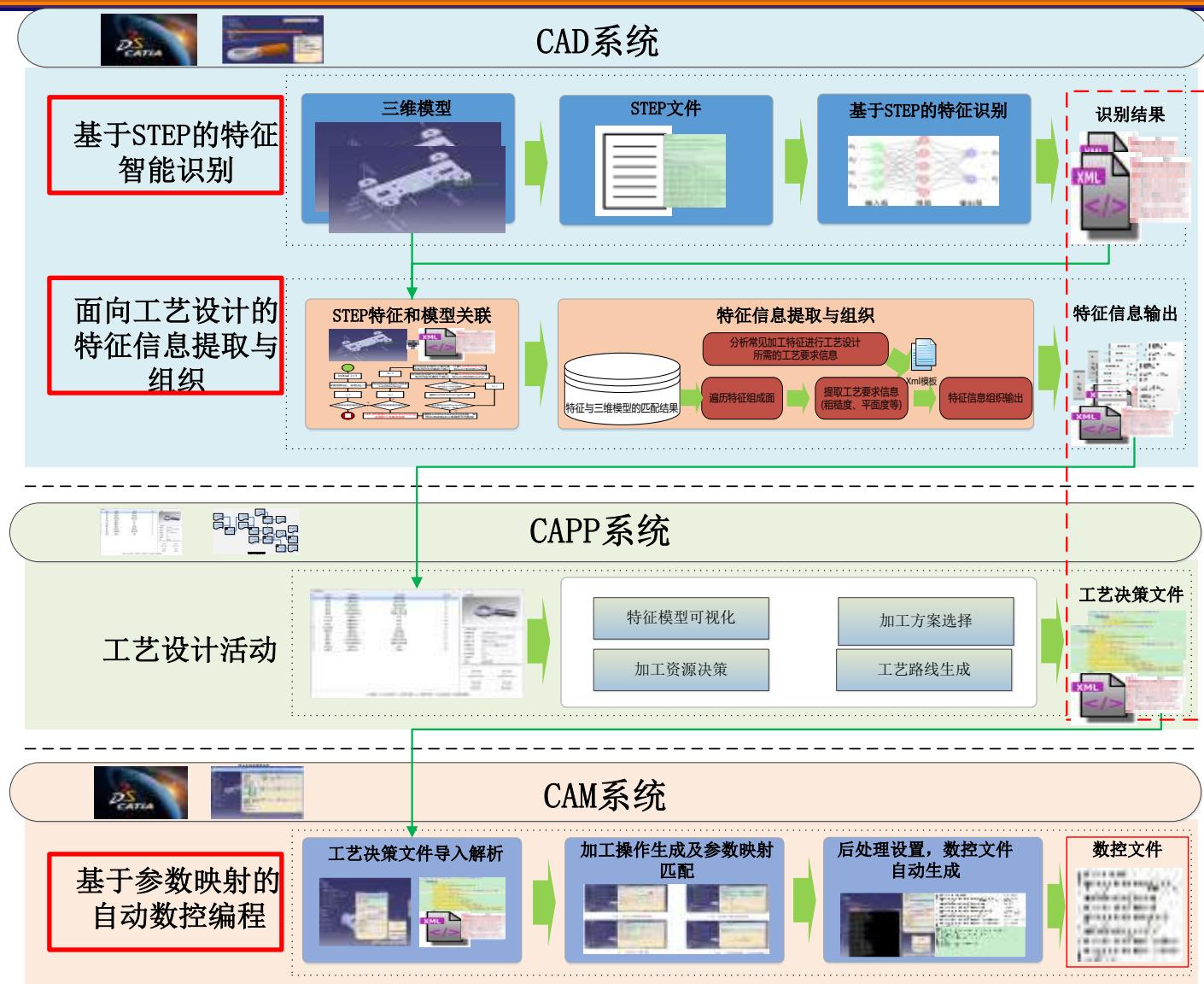
# CAPP系统的类型



- CAPP专家系统：上世纪80-90年代最流行
- 工具化CAPP： 软件演示CAXA工艺图表
- 可视化CAPP： 流程图式CAPP （视频演示）
- 集成化CAPP： 基于三维**CAD/MBD**并与**PDM**集成  
（视频演示）



# 三维CAPP: CAD/CAPP/CAM集成系统





# 开目CAPP系统介绍



由总工艺师  
或工艺主管  
进行工艺分工，  
分派工艺设计  
给不同的工艺员



图 10 根据工艺路线自动分派工艺任务的界面



# 开目CAPP系统介绍

工艺编辑——  
工序设计

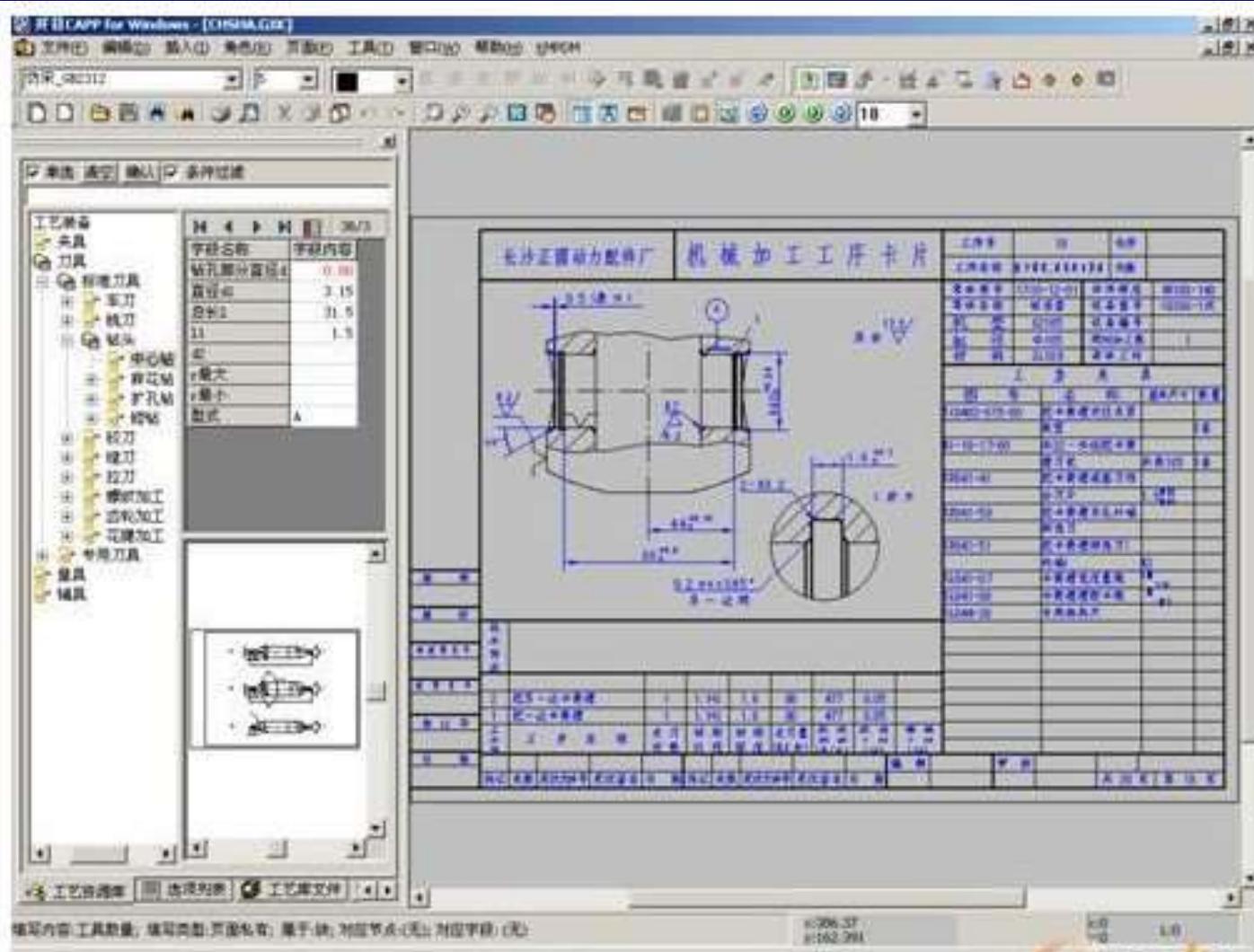


图 4 工艺编辑平台界面



# 开目CAPP系统介绍

The screenshot displays the KMAI CAPP system interface. On the left, a tree view shows categories like '材料分类库', '工程数据类', '标准件', '工具' (selected), '量具', '刀具', '机座刀具', '量规', '麻花钻', '直柄麻花钻', '直柄小麻花钻', '粗直柄小麻花钻', '直柄细麻花钻', '直柄麻花钻', '直柄长麻花钻', '直柄超长麻花钻', '微柄麻花钻', '攻丝前钻孔用麻花钻', '扩孔钻', '铰刀', '拉刀', '螺纹加工', '齿轮加工', '花键加工', '专用刀具', '夹具', '量具', and '刀具'. A sub-menu for '刀具' lists various sizes of end mills. In the center, a 3D model of a part is shown with machining features highlighted. To the right, a '机械加工工序卡' (Machining Process Card) is displayed, detailing the process steps, tools used, and process parameters.

## 制造资源（刀具）选择



# 开目CAPP系统介绍

## 工艺参数选择

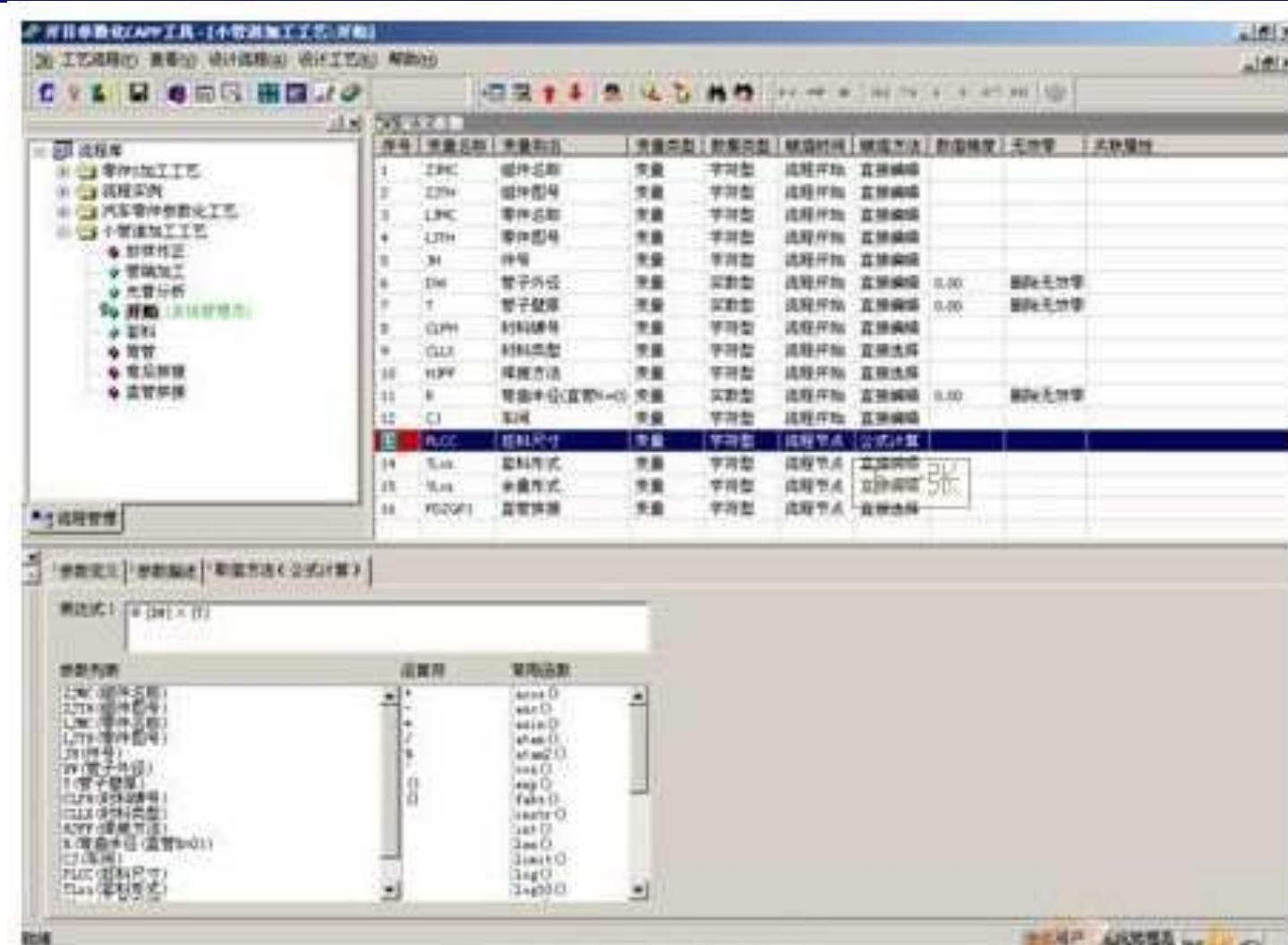


图 5 工艺参数定义界面



# 开目CAPP系统介绍

## 工艺统计汇总

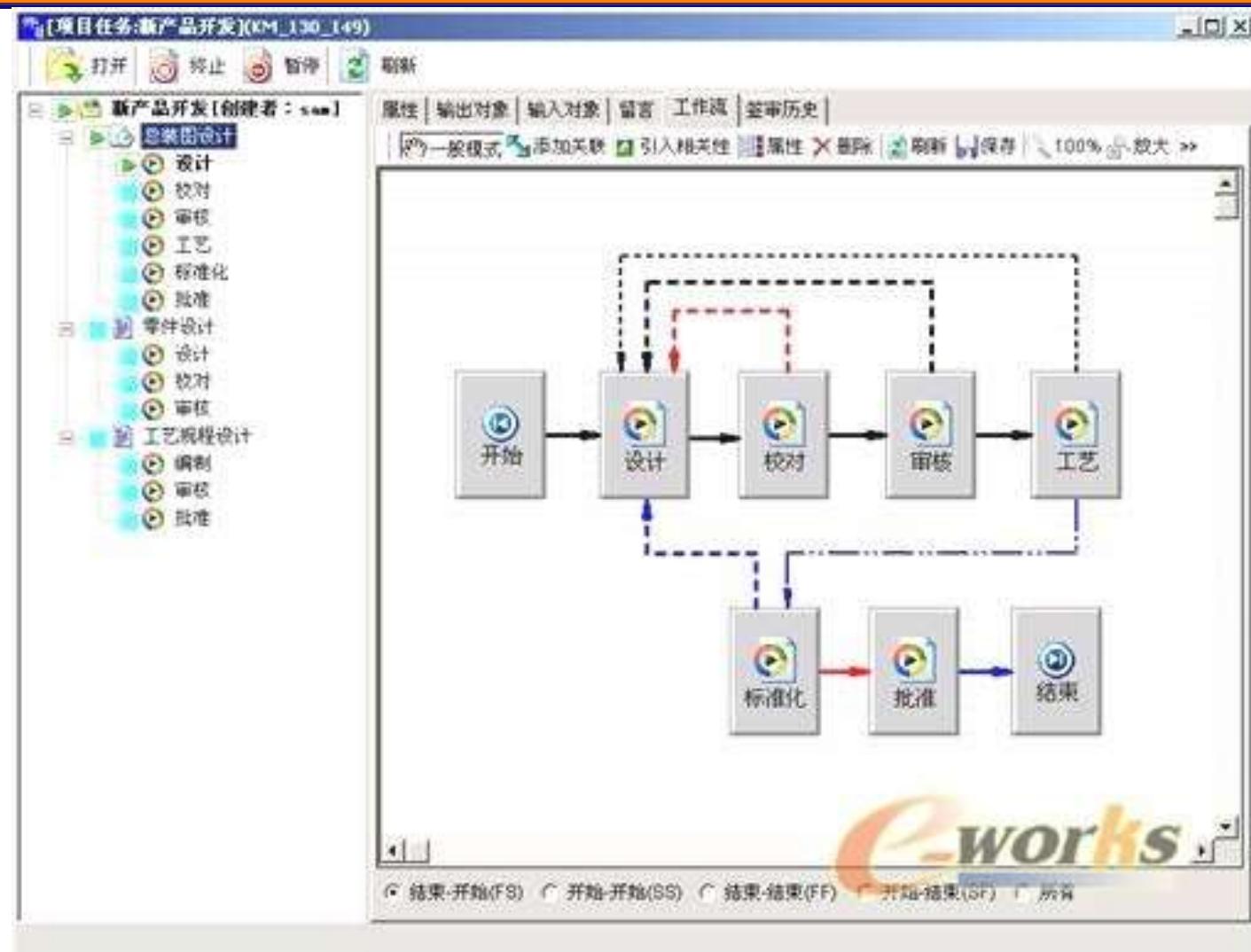
The screenshot shows a software interface for the KOMA CAPP system. On the left, there is a tree view of the project structure under '设计BOM' (Design BOM), including categories like '零件' (Parts), '装配件' (Assemblies), '外购件' (Purchased Parts), '制造BOM' (Manufacturing BOM), '采购BOM' (Purchase BOM), '物料清单' (Bill of Materials), and '工艺明细表' (Process Detail Table). The main area displays a table titled '工艺统计汇总' (Process Summary Statistics) with the following data:

序号	代号	名称	类型	所属部件代号	输入部件数量	材料牌号	材料规格	单件材料消耗定额	工序号	工序名称	车间
1	K1.1.1.1.1	弯板	自制件	K1.1.1.1.1	1	294钢Q235-A	6.2		4	库	
2	K1.1.1.1.2	弯板	自制件	K1.1.1.1.2	1	294钢Q235-A	6.2		1	开卷	机加
3	K1.1.1.1.3	弯板	自制件	K1.1.1.1.3	1	294钢Q235-A	6.2		2	数折	机加
4	K1.1.1.1.4	弯板	自制件	K1.1.1.1.4	1	294钢Q235-A	6.2		2	数冲	机加
5	K1.1.1.2.1	拉手	自制件	K1.1.1.2.1	1	304钢Q235-A	4.8		4	库	
6	K1.1.1.2.2	拉手	自制件	K1.1.1.2.2	1	304钢Q235-A	4.8		1	下料	供应
7	K1.1.1.2.3	拉手	自制件	K1.1.1.2.3	1	304钢Q235-A	4.8		2	镗车	机加
8	K1.1.1.2.4	拉手	自制件	K1.1.1.2.4	1	304钢Q235-A	4.8		3	其它加工	机加
9	K1.1.1.3.1	顶盖板	自制件	K1.1.1.3.1	1	294钢Q235-A	6.2	8.601	4	库	
10	K1.1.1.3.2	顶盖板	自制件	K1.1.1.3.2	1	294钢Q235-A	6.2	8.601	1	数冲	机加
11	K1.1.1.3.3	顶盖板	自制件	K1.1.1.3.3	1	294钢Q235-A	6.2	8.601	2	数剪	机加
12	K1.1.1.3.4	顶盖板	自制件	K1.1.1.3.4	1	294钢Q235-A	6.2	8.601	3	数折	机加
13	K1.1.1.4.1	轴端符号标记	自制件	K1.1.1.4.1	1	145板L47	6.1		2	库	
14	K1.1.1.4.2	轴端符号标记	自制件	K1.1.1.4.2	1	145板L47	6.1		1	外协	外协
15	K1.1.1.5.1	弯板	自制件	K1.1.1.5.1	1	294钢Q235-A	62.5	0.021	4	库	
16	K1.1.1.5.2	弯板	自制件	K1.1.1.5.2	1	294钢Q235-A	62.5	0.021	3	粗工	机加
17	K1.1.1.5.3	弯板	自制件	K1.1.1.5.3	1	294钢Q235-A	62.5	0.021	4	精工	机加
18	K1.1.1.5.4	弯板	自制件	K1.1.1.5.4	1	294钢Q235-A	62.5	0.021	1	磨削	机加

图 14 工艺汇总界面



# 开目CAPP系统介绍

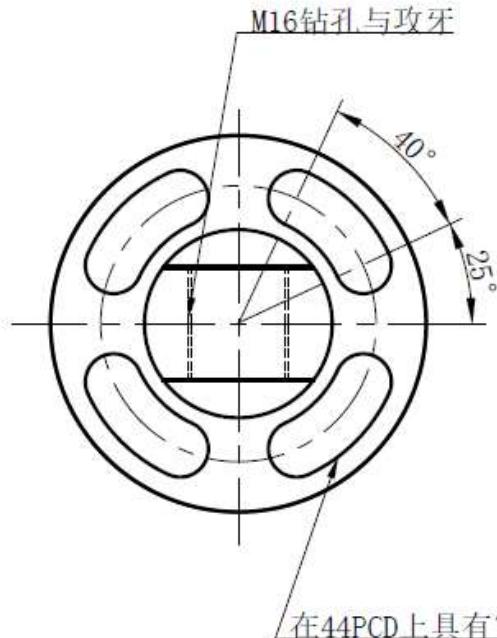
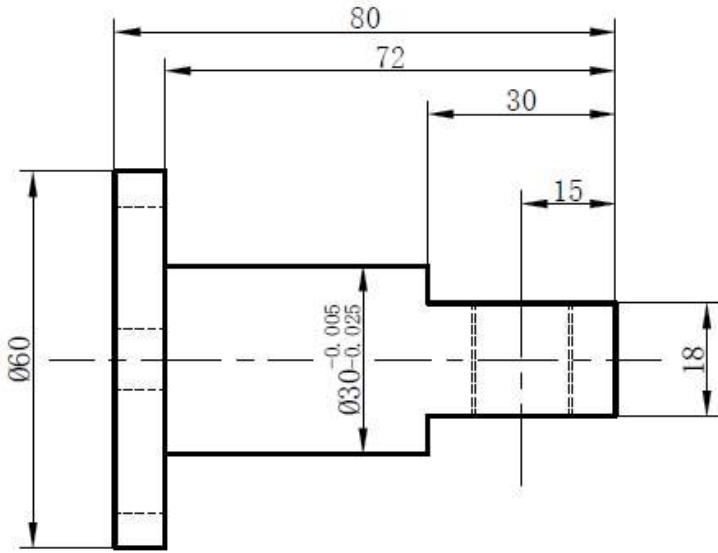


## 工艺管理流程定义

# 作业（第三次）



1、试给出下面零件的OPITZ 编码，并说明理由。用CAXA-CAPP软件设计/规划该零件的工艺过程（选做）。



- 2、试用C语言编写“孔加工方法链选择”的工艺决策程序。
- 3、试用C语言编写“装夹方案选择”的工艺决策程序。



# 本章可选课程论文



## 实例分析报告类：

- 成组技术在设计制造中的应用实例报告
- CAPP技术或系统的应用实例报告

## 软件编程类：

- 零件编码与分类软件工具的开发
- 生产流程法的零件机床分组软件工具的开发
- 某1-2类典型零件的派生式CAPP软件工具开发
- 工艺信息管理软件（工具）开发

## 软件使用类：

- 用某一种加工CAPP系统（CAXA工艺图表、开目等）编制一个简单零件的工艺规程，报告其功能、工作流程及结果。

**技术综述类： CAPP技术、软件系统及发展趋势的综述报告**

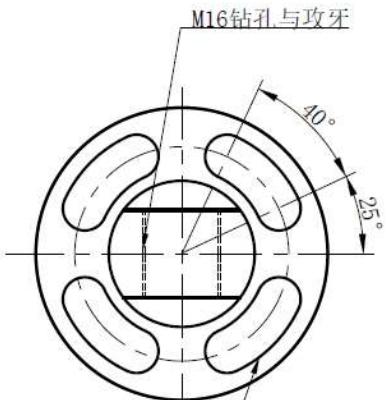
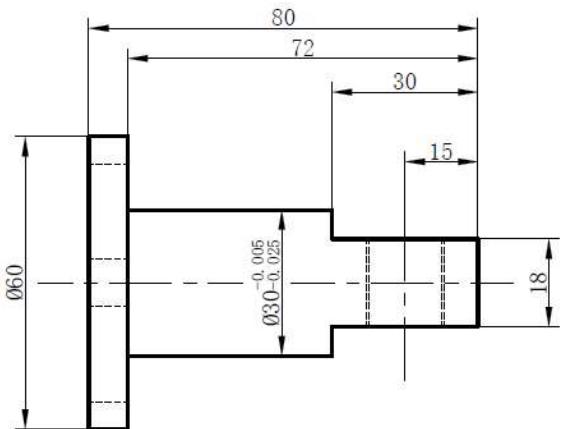


# 可选课程论文：派生式CAPP软件工具开发

基于ACCESS数据库和C语言，编程实现一个简易型派生式CAPP软件，具有若干零件族（如衬套类、轴类）的综合工艺规程的入库、查询、修改、输出打印等功能。

# 可选课程论文：工艺信息建模与管理

选择一种数据库（例如Access或MySQL），设计建立零件的工艺信息模型，并把下面两个零件信息及工艺信息录入并管理。



Composite part  
consisting of all  
seven design and  
processing attributes

