

# 机械零件加工工艺的计算机仿真系统研究

许卫国 (上海市同济大学计算机系 200092)

**摘要:**本文结合计算机辅助工艺设计和图形学技术,介绍了一个零件加工工艺的图形仿真系统,用工艺代码作为输入,与工艺的描述相对应,根据切削参数检验工艺的合理性,动态显示各加工阶段毛坯的形状变化,显示刀具运动轨迹,判断是否存在碰撞和过切现象,并提供了多个切削函数。

**关键词:**CAPP 图形仿真 切削函数 RIL-Z

## 一、概述

计算机辅助工艺设计(CAPP)是设计和制造之间的桥梁,有着很好的应用前景;但是由于工艺设计受到具体制造环境及传统经验和习惯的影响,要制定完善的CAPP工艺生成决策规则,难度很大,这些系统在实际应用中越来越暴露出其局限性,如通用性差,集成性差等,离广泛推广应用还有很大距离。

计算机生成的工艺规程或者工艺师设计的工艺规程是否正确、可靠,需要实践的检验。检验的过程称为“试切”,试切往往造成原材料报废,刀具损伤,给经济带来损失,甚至延误工时。因此,笔者考虑,在加工人员试切之前,用计算机把“试切”过程演示一遍,这样试切不用对实际材料进行,并通过观察计算机动态演示试切过程,可以了解到工艺规程的缺陷,返回 CAPP 系统,对工艺进行修改。计算机利用图形学技术动态显示零件的加工过程,称为零件工艺的图形仿真。

加工工艺的图形仿真就是用图形对零件的加工过程进行动态演示。在计算机屏幕上用二维图形动态的模拟零件加工的全过程,显示刀具轨迹,直观显示刀具与工件、刀具与夹具之间的位置关系。根据切削参数,对加工状况、加工时间进行仿真,及时发现错误,并能对错误进行提示,从而避免加工过程中诸如刀具碰撞等错误,提高系统的安全性,部分或全部替代试切过程,提高效率。图1表示了 CAPP 系统和仿真之间的关系。

### 1. 系统的总体框架和开发平台

本仿真系统与工艺设计模块既相互联系又相互独立,图形仿真可以用工艺设计模块生成的输出为输入(工艺设计模块采用 FOXPRO 2.5 FOR WINDOWS 设计,与本系统独立,本文不再详细叙述),也可以由用户独立输入工艺规程。

## 二、加工工艺的图形仿真

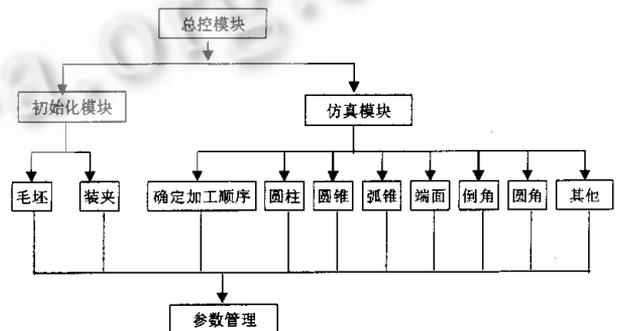


图2 仿真总体结构图

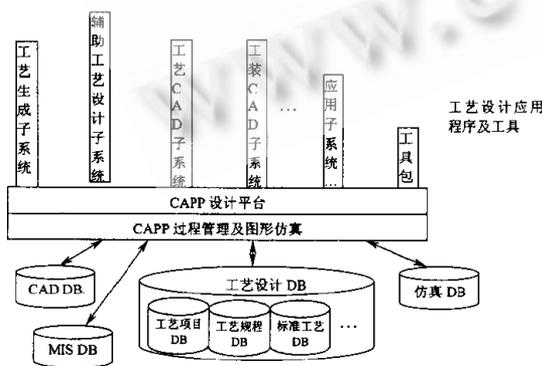


图1 CAPP系统结构图

本系统采用 AutoCAD R12 作为软件开发环境, AutoCAD 中的 ADS 软件包作为开发工具,硬件要求也很简单,386 以上微机即可运行,内存至少 4 兆。与 CAPP 部分的接口采用 AutoCAD 的 ASE/ASI 接口,能运用 SQL

语句访问 FOXPRO, 得到满足条件的数据存放到文件中, AutoCAD 的 ADS 接口读取这个文件得数据, 进行处理, 供仿真之用。系统的总体框架如下:

## 2. 仿真有关的参数、加工时间和切削函数

(1) 仿真有关的参数。就工艺仿真而言, 仿真的目的是给出最合理的切削参数。切削参数包括: 切削深度  $a_p$ 、进给量  $f$  的切削速度  $v$ 。

本系统没有在工艺设计时确定切削参数, 而是仿真时确定。关于进给量和切削速度的数值, 由用户根据经

验选定, 或者可以查表。表在计算机中表现为数据库的形式。这样做有两个好处: 一是在依据加工原则的前提下, 可由用户任意给出  $a_p$ ; 二是可对给出的  $a_p$  进行检验、以判断可行性。

图形仿真模块选择切削参数时, 以切削数据文件为依据。在确定了切削深度  $a_p$  以后, 可以根据工件材料、刀具等状况确定所需的进给量  $f$  和切削速度  $v$ 。本系统建立的切削数据来自于《机械加工切削数据手册》。

切削数据文件格式如下:

材料	硬度 HB	状态	切削深度 mm	速度 m/min	进给量 mm/r	刀具材料
碳钢	100~150	热轧	1	60	0.18	s4. s5
碳钢	100~150	热轧	4	45	0.40	s4. s5
碳钢	100~150	热轧	8	37	0.50	s4. s5
碳钢	100~150	热轧	16	27	0.75	s4. s5

(2) 切削时间。车削用的车削公式如下:

$$\begin{cases} V = \frac{\pi}{1000} D_n \\ n = \frac{1000 V}{\pi D} \\ f_m = f * n \\ t = \frac{L}{f_m} \end{cases}$$

其中  $D$ : 车削工件直径

$L$ : 切削长度, mm

$n$ : 主轴转速, mm

$f_m$ : 进给率, mm/min

$f$ : 进给量, mm/r

$v$ : 切削速度, m/min

从上面公式看出: 加工时间与主轴转速、进给量成反比, 主轴转速与切削速度成正比, 而切削速度和进给量都与切削深度有关。因此, 切削参数的选择直接影响工件的加工时间; 第  $i$  次切削行程的加工时间是  $t_i = L/nf_i$ , 则多次走刀的工时  $T = \sum_i t_i$ ; 对圆锥和弧锥来讲, 此虽为近似公式, 但误差极少。

(3) 切削函数。切削函数包括车圆柱、车圆锥、车弧锥、倒角、车端面、孔加工、螺纹加工等。

切削函数功能实现对需切削区域的切削。切削函数具有以下功能:

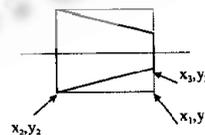
① 显示刀具运动轨迹: 在屏幕上用指定画出刀具的运动轨迹;

② 参数约束: 根据用户输入的切削深度, 系统从切削数据文件中选择相应的切削速度和进给量, 使二者与切削深度具有一致性;

③ 刀具和夹具的碰撞检验: 每次走刀结束时, 判断刀具终点坐标是否落在夹具的边界线内或边界线上;

④ 过切检验: 每次走刀时, 判断用户选择的切削程度是否超过零件的尺寸和公差要求;

• 圆锥类



备注: 在切削的过程中,  $y=y+@*a_p$

@的值如下:

$$\begin{cases} L = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \\ \cos\theta = |X_2 - X_1| + L \\ @ = 1/\cos\theta \end{cases}$$

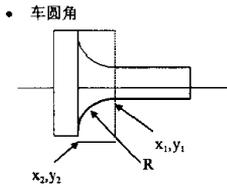
图3 坐标示意图

⑤ 输出仿真参数, 并以图形的方式显示各个加工阶段毛坯形状的变化过程。

下面以圆锥类、车圆角切削函数为例:

## 3. 初始化模块的设计

初始化模块为仿真建立坐标系, 显示毛坯的形状, 确定工作的定位基准和度量基准, 并输入零件的尺寸参数。



备注：  
圆心(a, b)的计算公式如下：  
$$\begin{cases} (x_2 - a)^2 + (y_2 - b)^2 = R^2 \\ (x_1 - a)^2 + (y_1 - b)^2 = R^2 \end{cases}$$
  
在运算过程中，x, y 坐标满足下面这个式子：  
$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = (R + a_r)^2$$
  
其中，R' 的值如下：  
$$(x_1 - a)^2 + (y_2 - b)^2 = R'^2$$

图4 坐标示意图

(1)建立坐标系。图形初始化后，系统以屏幕左上角为坐标原点，横向向右为正 X 轴。为了方便零件图形和毛坯的显示，由用户自行设置新的坐标原点 O' (X0, Y0)，横向向右为正 X' 轴，纵向向上为正 Y' 轴，形成新的坐标系。新坐标系内任意一点 P' (X', Y')，对应于系统坐标 P(X, Y)：

$$\begin{aligned} X &= X_0 + X' \\ Y &= Y_0 + Y' \end{aligned}$$

(2)毛坯形状及基准的确立。轴类零件的毛坯一般为棒料。在 2D 坐标系内即表现为轴对称图形。原点 O' 即为毛坯最左端中心点，X' 轴即为对称轴。在显示毛坯形状时，一般要求用户输入毛坯长度和直径，系统自动绘出毛坯形状。毛坯中心线(X' 轴)为轴类零件的定位基准，度量基准为毛坯的最右端面，因为零件加工通常是左面装夹，从右向左加工。

(3)输入零件的尺寸参数。按从左向右的顺序，依次输入零件各阶梯的阶梯号、阶梯长度 L、阶梯直径 D。(非圆柱形阶梯作为圆柱处理，以最大直径值为阶梯直径。)系统会以度量基准为依据，计算出各阶梯的坐标：X<sub>jt1</sub>, X<sub>jt2</sub>, Y<sub>jt</sub>。并确定实际需加工的毛坯形状：X<sub>mp1</sub>, X<sub>mp2</sub>, Y<sub>mp0</sub>。

毛坯的坐标为：

$$\begin{cases} X_{mp1} = \max\{X_{ju}\} \\ X_{mp2} = \min\{X_{ju}\} \\ Y_{mp} = -D_{mp}/2 \end{cases}$$

#### 4. RIL-Z 方法

(1)RIL-Z 原则。轴类零件加工顺序的确立通常采用 RIL-Z(Right-Intermediate-Left Zone)原则。

RIL-Z 方法的简化流程图如下：

RIL-Z 的含义为：对轴类零件，先加工其右区域，再加工中间区域，以左区域结束。加工外表面时，每一区域

从直径最大阶梯开始加工；加工内表面时，从直径最小阶梯开始。RIL-Z 原则考虑到工件的刚度和刀具材料等多种因素对走刀的要求，并能保证工件的加工精度。RIL-Z 原则认为：粗车工序的第一操作是车端面；第二操作是切削毛坯和零件最大直径组成的区域；最后一个操作是从毛坯上切断已加工成型的零件。

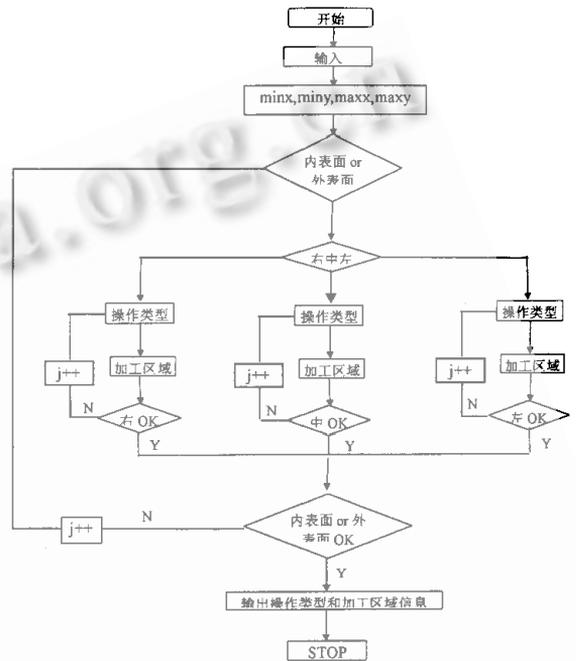


图5 RIL-Z 流程图

(2)排序算法。RIL-Z 原则的实质是：对零件各个阶梯按直径递减进行排序，形成排序二叉树；注意排序时各阶梯的相互顺序保持不变；然后对二叉树按深度优先原则，进行根右左顺序的遍历。遍历结果即为零件各阶梯的加工顺序。

从区间 [a, b] 中搜索最大直径的算法如下：

①用递归算法表示如下：

说明：

TYPE bitreptr = ^bnodetp

bondetp = RECORD

data: int;

1 child, rchild; bitreptr

END

new(pt): 分配一个新接点, pt a, b: 搜索区间;

sorttree (a, b, bar pt: bitreptr)

BEGIN

```

IF (b - a + 1 ≠ 0) THEN
BEGIN
    I = search (a, b);
    new(pt);
    pt.data = I;
    sorttree (a, I - 1, pt.lchild);
    sorttree(I + 1, b, pt.rchild);
END;
END.

```

②从区间 $[a, b]$ 中搜索最大直径的算法如下:

说明:  $a, b$  为阶梯号, 各阶梯直径  $D[i]: i=1, 2, \dots, n$

int search(a, b)

```

BEGIN
    k = D[a]
    FOR j = a + 1 TO b DO
    IF k < D[j] THEN k = D[j];
    RETURN(j);
END

```

对二叉树进行根右左次序的遍历, 较简单, 这里不再赘述。

(3)图形显示。按加工过程对零件的几何特征作图形运算和变换是关键。从装夹到所有工序完成, 仿真过程中各阶段图可在同一图上显示, 也可每一阶段作为一个子图。本系统把加工的各阶段集中在同一张图上。便于观察毛坯加工状况, 并能动态显示刀具轨迹。本系统采用的图形变换算法与二叉树排序算法很相似, 不再赘述。

### 三、图形仿真实例

零件如图6所示, 材料为易切削碳钢, 硬度为120, 热轧;

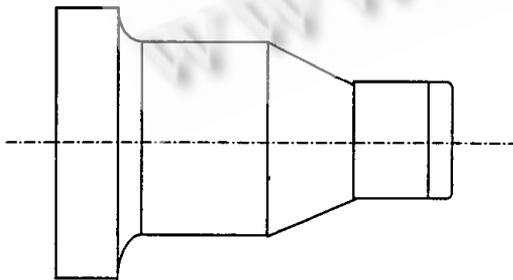


图6 零件图

图形仿真演示如下:

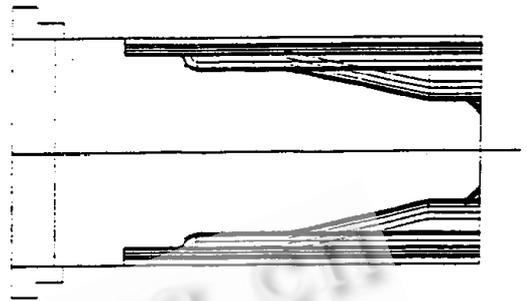


图7 仿真演示刀具轨迹

### 四、结论

在计算机辅助工艺设计及图形学技术的基础上, 本着把图形仿真系统作为 CAPP 工艺决策的重要方法, 具有广阔的应用前景; 并为 CAPP 系统中非线性工艺规划问题提供一种新的解决思路。

图形仿真的结果和程度依赖于 CAPP, 同时为 CAPP 提供决策信息, 所以进一步完善零件的信息输入技术, 增加逻辑决策规则和推理技术, 使之与图形仿真系统有机结合, 就可 CAPP 走向通用化找到有效的解决途径。

### 参考文献

- [1] 陈炳森、张曙, 《生产系统学》, 上海: 同济大学出版社, 1991
- [2] 赵良才, 《计算机辅助工艺设计》, 北京: 机械工业出版社, 1994
- [3] 吴善元, 《金属切削原理与刀具》, 北京: 机械工业出版社, 1995
- [4] C. B. Besart C. W. K. Lui, Computer Aided Design And Manufacture, 1986
- [5] M. C. Kayacan et al., OOPS - ROT: An Optimized process planning system for rotational parts, Computer in Industry 32(1996) 181 - 195
- [6] T. C. E. Cheng, Computer Simulation and its management applications, Computer in Industry 20 (1992) 229 - 239
- [7] 奚立峰等, CAPP 系统的开发模式和软件结构, 机械自动化, 1997, 19(2)

(来稿时间: 1998年9月)