

光学棱镜加工的创成式 CAPP

陈 进

(南京理工大学制造工程学院 南京 210094)

刘 飞

(重庆大学机械工程一系 重庆 400044)

曾 励

(南京航空航天大学机电学院 南京 210016)

摘要 针对光学棱镜的加工特点,提出了一种利用递推公式生成其加工工艺路线,并自动生成详细工序设计的创成式 CAPP 模式。

关键词 光学棱镜 创成式 CAPP 递推公式 工艺因素

1 概 述

企业实现计算机辅助工艺设计(CAPP)可继承本企业的优良工艺方法,减轻工艺设计人员的工作负担,有效地提高编制工艺的速度和质量,加快生产周期。目前 CAPP 中工艺决策的实现主要有三种方式:派生式、创成式和兼容二者的混合式。由于 CAPP 是设计、管理、制造三者的交汇点,涉及众多因素,使得开发或使用 CAPP 带有强烈的个性和不太高的自动化程度。

如果许多影响因素比较固定或容易找到简单的推导规则,生成加工零件的工艺路线,那么就为建立创成式 CAPP 扫除障碍,附着在工艺路线上的工序设计就用现有的方式也能顺利生成。本文探讨光学棱镜加工工艺设计的工艺路线的生成方法以及光学棱镜加工的创成式 CAPP 系统。

2 工艺影响因素和工艺特性

2.1 工艺影响因素

制定工艺除了与零件的设计要求有关系外,还跟生产的环境有很大关系,这些环境有软的

方面如批量、原材料和计划等,硬的方面即企业的设备。这样就有三个方面的影响因素必须加以考虑:

a 工艺环境因素 工艺环境因素是零件加工的外部条件或约束,其特点是与零件本身特征无关,包括有:

• 批量: 批量是指相同加工时段制造相同零件的数量,常用大中小批量描述,这是一个模糊数,依具体的零件和企业的习惯而定。

• 设备: 不同的企业采用不同的设备加工同样的零件是很寻常的,就是同一个企业也可以用不同的设备加工相同的零件,针对不同的加工如何选取设备以达到高效质优的目的是工艺设计人员追求的目标。

• 毛坯: 采用型材或精密铸造的毛坯可以比采用原材节约加工时间、降低加工成本,但究竟选择哪种毛坯还受实际加工周期和批量等的制约,因而产生了由于毛坯不同而导致的加工工艺的不同。

• 计划: 物料需求计划和车间调度计划对制定工艺计划有影响,它们是相互制约的关键

b 零件几何因素 零件几何因素是设计零件时确定的制造过程要实现的形状、尺寸等各方面特征。其特点是它既是要实现的目标,又是影响工艺设计因素,各几何因素之间有密切联系。所谓几何因素即是构成零件的点、线、面或体。

c 加工技术要求 工艺影响因素除了工艺环境因素和零件几何因素而外,还有加工技术要求。这包括各种公差、光洁度、表面质量、光学技术要求(如光圈)等。

2.2 工艺特性

如果我们把工艺影响因素作为工艺设计的固有属性的话,这些属性体现在工艺设计的实体上,可称为工艺特性。被加工零件和加工设备是工艺设计中最重要两类实体,二者的匹配是工序设计的主导因素,设备和零件的工艺特性相容则二者匹配成功,相应的工艺参数也就比较好确定了。

(1) 零件的工艺特性

a 工艺环境因素 包括批量、毛坯和材料、计划。

b 零件几何因素 整体形状、表面形状、大小、辅助形状。

c 加工技术要求 零件图纸上的技术要求,如公差、光洁度、表面质量、光学技术要求等。

(2) 设备的工艺特性

设备的工艺特性指着重反映与工艺设计有关的独立的属性,有功能方面的和效能方面的,涵盖了前面所说的加工的工艺环境因素,即批量、加工面、加工类别、质量要求、效率、加工范围等。

• 批量 指通常情况下设备适于的加工批量,分大、中、小。

• 加工面 即设备能够加工何种几何面,分平面、球面、圆柱面、非球面等。

• 加工类别 指设备能做何种加工,分切削、粗磨、抛光、镀膜等类别。有的设备可承担多类加工。

• 质量指标 所能达到的加工表面的质量要求,如尺寸公差、位置公差、光洁度、光圈数等。

• 效率 指设备的加工效率。

• 加工范围 一般指设备所能加工的零件的最大名义尺寸。

3 工艺决策方法

工艺决策的内容和过程依次是,先确定工艺路线,即决定棱镜各加工面要经历的加工种类和加工的先后顺序,然后给上述工艺路线的每一道工序安排设备(机床、刀具、夹具、量具等),最后给每道工序设计工艺参数。

3.1 工艺路线的递推式生成

设光学零件有 n 个面,用 f_i 表示其中的一个面 $i \in \{1, n\}$ 。用 P 表示位置关系矩阵,其元素为 P_{ij} 。把平面与平面之间的位置关系定为五种,即平行、垂直、相交、自相关和分离(即不平行也不相交);把平面与圆柱面之间的位置关系定为六种,即垂直、平行、相割、相切、自相关和斜交,如图1所示。所有这些关系对应的 P_{ij} 取值如下:

$$P_{ij} = \begin{cases} 2 & \text{平行} \\ 1 & \text{垂直} \\ 0 & \text{相交或自相关} \\ -1 & \text{分离} \end{cases}$$

$$P_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{垂直} \\ 0 & \text{平行、相割、相切或自相关} \\ -1 & \text{斜交} \end{cases}$$

P 阵的行或列向量表示一个面与其它面的位置关系。令

$$P = (P_1, \dots, P_n)^T, \Omega = \prod_{j=1}^n P_{ij}$$

Ω 越大,表示 i 面与其它面的位置关系越规范,越容易定位和加工。

a 加工面的状态及其变换。

令零件加工面的状态由4, 3, 2, 1, 0表示,其4——镀膜,3——抛光,2——精磨,1——粗磨,0——坯料。用 S 表示由状态向量构成的状态矩阵,用 $S^{(i)}$ 表示零件状态为 i 时加工面的状态向量, $i = 0, 1, 2, 3, 4$ 。例如 $S^0 = (0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1)^T$, $S^{(2)} = (1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1)^T$ 分别表示,2、3、5面为状态0,其余第1、4面不为状态0;第1、4、5面为状态2,第2、3面不是状态2。

$$S = (S^{(0)}, S^{(1)}, S^{(2)}, S^{(3)}, S^{(4)}) = \begin{pmatrix} S_{10} & \dots & S_{14} \\ \dots & \dots & \dots \\ S_{n0} & \dots & S_{n4} \end{pmatrix}$$

S_{ij} 表示第 i 加工面处于 j 状态的逻辑真值(1——是,0——否)

$$i \in (1, \dots, n), \quad j \in (0, 4)$$

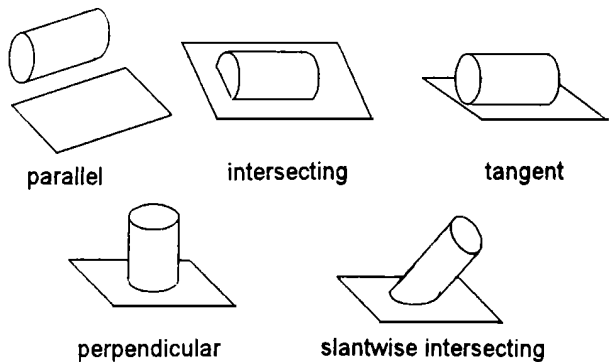


Fig. 1 The relationship between a cylinder and plane

对 S 中的 S_{ij} , 因为加工顺序的渐进过程, 如果 $S_{ik} = 1$, 则 $S_{ij} = S_{ik}, k = i, k \in [0, 1, 2, \dots, 4]$ 用 S_T 表示各加工面最终要达到的状态

$$S_T = (S_T^{(0)}, S_T^{(1)}, S_T^{(2)}, S_T^{(3)}, S_T^{(4)})$$

令 $P = (\Omega, \Omega, \dots, \Omega)^T / \Omega_{\max}$

Ω_{\max} 表示 Ω 中最大值。

状态变换

设

$$\Delta S_i^{(k)} = i \begin{pmatrix} & k-1 & k & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \\ \dots & -1 & 1 & \dots & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \end{pmatrix}_{n \times 5}$$

$\Delta S_i^{(k)}$ 表示第 i 个面 f_i 从状态 $k-1$, 变换到 k 状态矩阵 S 的变化量, 它的第 i 行、第 $k-1$ 列为 -1 , 第 i 行、第 k 列为 1 , 其余元素均为零, $K = \{0, 1, 2, 3, 4\}, i = \{1, 2, \dots, n\}$ 。如果新的状态矩阵为 S , 变化前的为 S , 则

$$S = S + \Delta S_i^{(k)} \quad (4-1)$$

b 确定加工顺序

零件面加工是从粗到精的过程, 而在同一级别精度上首先应加工容易定位和夹紧的面积较大的面。为了确定同一精度级别上面加工的顺序, 我们定义运动矩阵 $C^{(k)}$, 表示在 k 级加工的加工方案安排。

$$S_x^{(k)} = (\alpha_{ij})_{n \times 5}$$

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{如果 } f_i \text{ 面已达到加工状态且 } (j-k) \text{ 为最大值} \\ & \text{或 } f_i \text{ 面已达到最终加工状态。} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

例如

$$S_T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \text{则 } S_x^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$H^{(k)} = \begin{cases} P & \text{当排列第一个加工面时及当排列 } k \text{ 级加工的第一个加工面时} \\ H * S_x^{(k)} & \text{否则} \end{cases}$$

* 的运算方法是, 如果

$$H^{(k)} = \{a_{ij}\}, S_x^{(k)} = \{S_{ij}\}, H^{(k)} = \{a_{ij}\},$$

$$\text{则 } a_{ij} = a_{j-1} S_{ji}$$

上述公式的物理意义是: 将有待达到 k 级加工而未达到的零件面与立即进行 k 级加工的零件面的位置关系设为 0 。

$$H^{(k)} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

其中 $(f^{(1)}, \dots, f^{(l)})^T$ 为有待加工到 k 级精度的面, (f_1, f_2, \dots, f_n) 为所有的加工面。 a_{ij} 表示 $f^{(i)}$ 面与 f_j 面的位置关系。 $f^{(i)}$ 面表示 $H^{(k)}$ 阵中排列在第 i 行的面, f_j 面是零件编号为 j 的面。称 $H^{(k)}$ 和 $H^{(k)}$ 分别表示本次和上次计算产生的可行基准关系阵。

面积向量为 $D = (d_{11}, \dots, d_n)^T / d_{\max}$

其中 d_i 表示 f_i 面的面积, $d_{\max} = \max\{d_i\}, i = 1, 2, \dots, n$ 。

是一种矩阵和向量的二元运算,即将第一个矩阵的行按后面向量矩阵元素的值的大小进行行顺序调整,向量元素的值越大,相应矩阵的行的排列越靠上。例如

$$C^k = \begin{cases} H^{(k)} & (\alpha D + \beta p) \text{ 排 } K \text{ 级加工的第一个面} \\ C^{(k)} & (\alpha D + \beta p) \text{ 否则} \end{cases} \quad (2)$$

其中 α, β 是权数调整值。

$D + P$ 的变换是

$$(D + P) = (D + P) H^{(k)} \quad (3)$$

算子表示按 $H^{(k)}$ 的行(代表面)的顺序,排列 D 和 P 的元素顺序。每迭代一次,去掉已安排的对应的加工面的行。

$$\text{例如 } H^{(k)} = \begin{matrix} 3 \\ 1 \\ 2 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix}, \quad D + P = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} \begin{pmatrix} 6 \\ 5 \\ 4 \end{pmatrix} \text{ 则}$$

$$(D + P) = (D + P) H^{(k)} = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} \begin{pmatrix} 6 \\ 5 \\ 4 \end{pmatrix} \begin{matrix} \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} 1 \\ 1 \\ 2 \end{matrix} \begin{pmatrix} 6 \\ 6 \\ 5 \end{pmatrix}$$

P 的计算按上一轮计算出的 $H^{(k)}$ 的元素来计算。

3.2 实例

图2(a)是道威棱镜主要加工面的编号图,图2(b)是其尺寸图

$$P = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ R \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad D = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ R \end{matrix} \begin{pmatrix} 3 \\ 5 \\ 3 \\ 2 \\ 4 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad P = \begin{matrix} 1 \\ 4 \\ 1 \\ 4 \\ 6 \\ 6 \\ 2 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \\ 4 \\ 6 \\ 6 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad S_T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 4 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ R & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

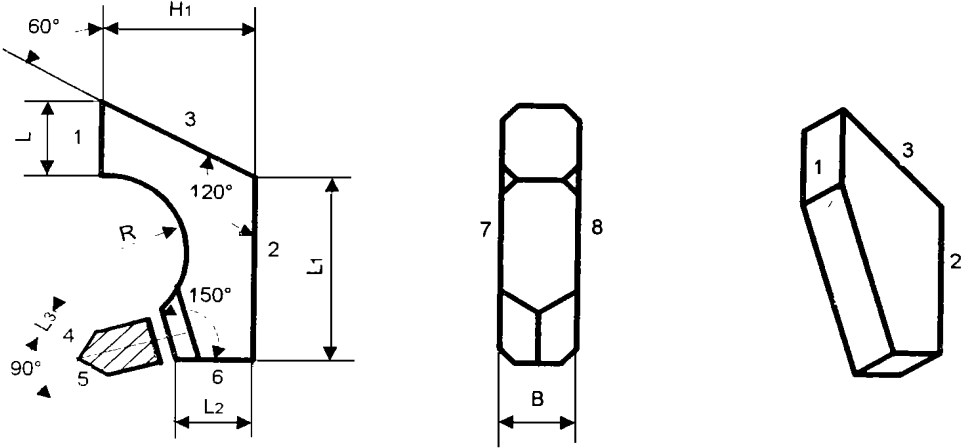


Fig. 2 The drawing of a isosceles D11- 0

经计算得如下的运行矩阵

对粗加工

$$C_1^{(1)} = \begin{pmatrix} 5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 2 & 0 \\ 6 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 1 & 0 \\ 4 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 3 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ R & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C_2^{(1)} = \begin{pmatrix} 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ R & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C_3^{(1)} = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ R & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C_4^{(1)} = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ R & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C_5^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ R & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C_6^{(1)} = \begin{pmatrix} 3 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ R & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C_7^{(1)} = R(0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0)$$

对精磨有:

$$C_1^{(2)} = \begin{matrix} 2 \\ 1 \\ 3 \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad C_2^{(2)} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C_3^{(2)} = 3(-1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0)$$

对抛光有:

$$C_1^{(3)} = C_1^{(2)},$$

$$C_2^{(3)} = C_2^{(2)}, \quad C_3^{(3)} = C_3^{(2)}$$

上述每一个 $C^{(k)}$ 的第一行就是该轮需要加工的面, 行中的元素就是加工时可作为基准的情况(即位置关系)。当行中元素 a_{ij} 为 1 时就可取第 j 面作为基准之一。

该算法在选择初始加工面时, 以 Ω_i 最大作为选取标准, 这是由于 Ω_i 越大, 与其它面的位置关系越规范, 先加工之后就可以为其它面的加工提供基准和夹持面。

在决定其它加工面时, 有 2 关系者优先加工这是由于 2 代表平行关系, 最容易定位, 方便加工。同时先加工平行面, 有利于胶条加工。

选取基准时, 所有条件都满足了, 有多个可作为基准时, 选 Ω_i 最大, 这就倾向于基准面的集中, 便于简化夹具数量和测量方便。

3.3 工艺设备的匹配

光学零件形形色色, 各种不

同的技术要求带来了光学零件加工工艺的复杂, 然而光学加工设备的数量和种类却有限, 所能完成的工作无外乎就是对光学零件几何面的切、磨、抛光、镀膜等几种有限的工艺。

作者的方法是找到零件特征—加工方法—加工设备—工辅具之间的“天然联系”, 把完成专门加工功能的有密切联系的若干设备合为一个“工作中心”, 它具备与零件加工特征有联系的桥梁——“工作中心的加工特征”和为了完成工艺设计所必须的工序设计、工夹具设计等操作

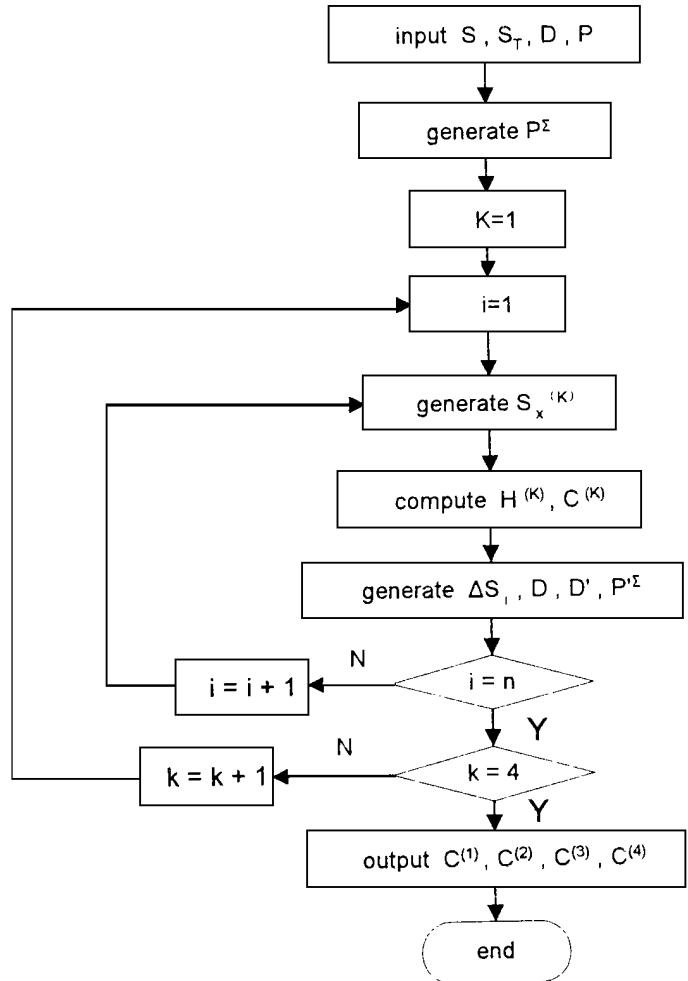


Fig. 3 The programming diagram to formulate process sequence of surfaces

作。用面向对象的方法建立起知识库,这种方法的特点是:

(1) 利用面向对象的方法建立知识库,可以循序渐进地建库,也便于知识之间的继承、派生、分类等描述、尤其可以随时加进新的知识,丝毫也不影响原来的知识体系。具备面向对象编程的特征:信息隐藏、数据抽象、动态结合、类继承等。

(2) 便于和 MRP 的工作中心文件共享数据,特别是工作中心文件直接作为知识库的一部分;

(3) 以匹配作为推理的主要方式,工作中心的加工特征是固定不变的,只要输入零件的加工特征就可以进行匹配,由于工作中心的数量有限,搜索工作能够迅速完成。

4 结 论

A. 由于棱镜加工的特殊性,用递推方法产生其工艺路线的工步顺序是完全可行的,其中的关键在于合理确定各加工面之间的位置关系,并用递推公式来优化它们的加工顺序。

B. 本文论述的创成式 CAPP 是以递推方法产生工艺路线,然后用面向对象的方法建立知识库以完成详细的工序设计。它对影响工艺的因素给予了足够的重视,把它视为决定工艺的关键,即各工艺实体的工艺特性相容就作为匹配成功。

C. 在工厂的实际开发工作中,这种方法被证明能够简化工艺设计的输入信息,决策规则简单,容易开发的编程,使用中的自动化程度高。

参 考 文 献

- 1 王丘江等主编. 光学设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 2 蔡立, 田宗信. 光学加工技术. 武汉: 华中工学院出版社, 1987
- 3 曹天宁, 周鹏飞主编. 光学零件制造工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1981
- 4 Sormaz Dusan N, Khoshnevis Behrokh. Process sequencing and process clustering in process planning using state space search. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1996, (7): 189 ~ 200
- 5 Gulesin M. Finished part modeling in a computer-aided process-planning system. *Journal of Intelligent manufacturing*, 1996, (7): 251 ~ 256
- 6 Gu P, Zhang Y. Operation sequencing in an automated process planning system. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1993, (4): 219 ~ 232
- 7 Mognol Pascal, Anselmetti Bennard. Automatic process planning in turning: generation by progressive evaluation. *Journal of design and manufacturing*, 1994, (4): 87 ~ 93
- 8 Wang Xian-Kui, Duan Guang-Hong, Mau Zhou-Jie. Fuzzy method in CAPP. *Journal of Tsinghua University*. 1996, 36(10): 67 ~ 72

The Generative CAPP for Processing Optic Prisms

CHEN Jin

*(School of Manufacturing Engineering,
Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094)*

LIU Fei

(The First Department of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)

ZENG Li

*(Mechanical Engineering Institute,
Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)*

Abstract

Concentrating on the process characteristics of optics prisms the paper presents a recursive approach to generate their process routing, on the based of which the complete detail of procedures have been captured.

Key words: Optic prism, Generative CAPP, Recursive formula, Processing factor

陈 进 男, 1958年10月生, 1997年7月在重庆大学机械工程一系获博士学位, 现在南京理工大学博士后流动站工作。主要从事 CIMS/ 计算机支持协同工作(CSCW)/ 机器人等领域的研究工作。