

数控自动编程实训

SHUKONG ZIDONG BIANCHENG SHIXUN

杨海东 编



中央广播电视大学出版社



国家开放大学
THE OPEN UNIVERSITY OF CHINA

数控自动编程实训

SHUKONG ZIDONG BIANCHENG SHIXUN

杨海东 编

中央广播电视大学出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

数控自动编程实训 / 杨海东编. —北京: 中央广播电视大学出版社, 2013. 7

ISBN 978 - 7 - 304 - 06229 - 3

I. ①数… II. ①杨… III. ①数控机床 - 程序设计 - 开放大学 - 教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 149423 号

版权所有, 翻印必究。

数控自动编程实训

杨海东 编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心 010 - 58840200

总编室 010 - 68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号 邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 李永强

版式设计: 赵 洋

责任编辑: 申 敏

责任校对: 王 亚

责任印制: 赵联生

印刷: 北京市大天乐投资管理有限公司 印数: 0001 - 5000

版本: 2013 年 7 月第 1 版

2013 年 7 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 12.75 字数: 283 千字

书号: ISBN 978 - 7 - 304 - 06229 - 3

定价: 25.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

为了配合国家开放大学数控技术专业的教学,国家开放大学与机械工业教育发展中心合作,共同组织编写了数控技术专业系列教材。该系列教材以职业为导向,以学生为中心,以基础理论教学“必须、够用”为度,突出实践技能教学的地位,旨在培养学生具有一定的工程技术应用能力,以适应职业岗位实际工作的需要。

数控机床自20世纪50年代诞生以来,已经历了从电子管、晶体管、集成电路到小型计算机、微型计算机五代的演变,并随着各种先进技术的迅猛发展而向着基于工业计算机的第六代迈进。数控机床在现代制造业中的广泛使用使数控技术已成为促进国民经济健康发展不可或缺的因素,同时它也成为一个国家制造能力的象征。

随着高等教育国民化,以及我国现代制造业的迅速崛起,对数控机床技术应用型人才的需求更加迫切,针对这种社会需求的变化,有必要进一步加强数控技术人才的培养,需在讲解数控技术理论的同时,加强实用的操作性知识的讲授,加深学生对数控技术的理解。本书就是基于先进技术CAM(Computer Aided Manufacturing,计算机辅助制造)的理论基础,为增强实践操作的目的而编写的,可作为《CAD/CAM 软件应用》(杨海东主编,中央广播电视大学出版社,2011年)的配套实训教材。

鉴于目前中职、高职、大专院校的数控加工技术课程的普遍开展,实践教材始终跟不上教学的发展,因此,编写和发行专门的实训教材就显得尤为重要和急迫。

本书以Mastercam为CAM应用软件基础,要求学生在具备并掌握一定CAM理论知识的基础上,通过本书的实例分析和讲解,理解并重点掌握数控自动编程加工、生产实践中的图纸转换、自动编程工艺分析、刀具分析、刀具参数表以及自动编程步骤,并能设计和编制以降低生产成本、提高加工效率为原则的优化、合理,并符合实际生产的刀具路径。

本书共分7章,各章主要内容如下:

第1章为“导论”,主要介绍在数控实际生产加工中自动编程的意义及发展前景。

第2章为“二维轮廓铣削加工自动编程实训及实例应用”,主要介绍开放、半开放、封闭等二维轮廓铣削加工的自动编程实训及实例应用。

第3章为“平面型腔及平面铣削加工自动编程实训及实例应用”,主要介绍

开放、半开放、封闭、凸起等各种平面型腔、平面铣削加工的自动编程实训及实例应用。

第4章为“孔系零件加工的自动编程实训及实例应用”，主要介绍单孔、多孔、排孔、台阶孔等孔系零件加工的自动编程实训及实例应用。

第5章为“刀具路径变换、修剪实训及实例应用”，主要介绍对编制好的刀具路径进行旋转、平移、镜像、矩阵等变换和修剪操作的实训及实例应用。

第6章为“三维实体（曲面）铣削加工自动编程实训及实例应用”，主要介绍曲面及三维实体铣削加工的自动编程实训及实例应用。

第7章为“数控车削自动编程实训及实例应用”，主要介绍普通外圆、螺纹、退刀槽等形状的直接加工和循环自动编程实训及实例应用。

本书精心设计和精选了部分自动编程生产零件，这些实例均是采用生产实际中的原型或经少量修改而成的实习模拟件，因此具有较高的生产、教学实用价值，尤其是三维零件非常适用于自动编程加工。编者在工作实践中积累了不少的经验，刀具路径、程序的编制也更娴熟、实用，所以深知 Mastercam 重心之所在。编者将实践经验融于此书，以期对机械加工制造行业和数控教学的发展有所补益，也诚恳地希望与同行人士携手并进，促进数控制造技术的发展，并能成为数控技术人员的良师益友。

本书内容切合实际，实例丰富，涉及面广，具有较高的生产实用价值，适用于机械加工、数控培训教学等参考之用。

本书第1章至第3章由陕西航空技师学院吴颖讲师编写，第4章至第7章由陕西航空技师学院杨海东高级实习指导教师编写，全书由陕西航空技师学院杨琳高级实习指导教师主审。在此，对以上老师表示感谢。

由于编写时间仓促，水平和经验有限，书中难免有欠妥和错误之处，恳请读者指正。

编 者

2013年5月

第1章 导 论 1

- 1.1 本课程的性质、任务和主要内容概述 2
- 1.2 数控自动编程的概念、在实际加工中的应用及未来发展状况 2
- 1.3 数控自动编程在实践操作中的程序存储加工与 DNC 加工 3
- 1.4 数控自动编程在实践操作中应注意的问题 4
- 1.5 本课程的学习方法 4

第2章 二维轮廓铣削加工自动编程实训及实例应用 5

- 2.1 二维轮廓铣削的概念及范畴 6
- 2.2 二维轮廓铣削的分类及图纸转换 7
- 2.3 刀具半径补偿参数方式及实际应用 11
- 2.4 二维轮廓铣削自动编程加工工艺分析及编制 17
- 2.5 二维轮廓普通外形（封闭、开口）类零件加工实例 31
- 2.6 二维轮廓窄槽类零件加工实例 39
- 2.7 特殊平面型腔类（复合斜面）零件转化为二维轮廓加工实例 45
- 2.8 整圆铣削加工实例 50
- 2.9 二维轮廓铣削加工实践与操作类综合零件的自动编程与
机床操作 54

第3章 平面型腔及平面铣削加工自动编程实训及实例应用 65

- 3.1 平面型腔铣削及平面铣削的概念及范畴 66
- 3.2 平面型腔铣削及平面铣削的分类及图纸转换 66
- 3.3 综合平面型腔类零件的加工分解方法 68
- 3.4 平面型腔类零件的自动编程加工工艺分析及编制 70
- 3.5 平面型腔及平面自动编程铣削方式 75
- 3.6 普通平面带岛屿型腔类及平面铣削零件加工实例 82
- 3.7 平面开口型腔类零件加工实例 86
- 3.8 平面刻字加工实例 91
- 3.9 平面型腔及平面铣削加工综合实例自动编程实践与操作 93

第4章 孔系零件加工的自动编程实训及实例应用	99
4.1 孔系零件的概念、范畴及图纸转换	100
4.2 孔系零件自动编程加工工艺分析及编制	102
4.3 盘类孔系零件加工实例	111
4.4 孔系综合零件的自动编程与机床操作	114
第5章 刀具路径变换、修剪实训及实例应用	119
5.1 刀具路径变换的概念、适用范畴及图纸转换	120
5.2 刀具路径变换零件加工实例	121
5.3 刀具路径修剪的概念、适用范畴及图纸转换	126
5.4 刀具路径修剪零件加工实例	130
第6章 三维实体(曲面)铣削加工自动编程实训及实例应用	133
6.1 三维实体模型自动编程的概念、加工工艺优化及图纸转换	134
6.2 三维实体粗、精加工的概念、区别及适用范围	141
6.3 三维实体(曲面)编程中的表面质量(粗糙度)的控制	143
6.4 三维实体类零件自动编程加工工艺分析及编制	145
6.5 二维轮廓、型腔铣削加工配合三维实体自动编程加工	148
6.6 三维突起实体(飞机模型)类零件加工实例	155
6.7 三维实体(模具)模型类零件加工实例	158
6.8 三维综合(飞机机翼短梁)类零件加工实例	162
第7章 数控车削自动编程实训及实例应用	171
7.1 数控车削零件加工工艺、工步分析及图纸转换	172
7.2 粗、精车削加工的概念、区别及适用场合	177
7.3 数控车削自动编程中的加工毛坯设置	178
7.4 数控车削自动编程中的刀具刀尖半径设置	180
7.5 普通阶梯轴、孔类零件的数控车削自动编程加工实例	181
7.6 内凹型轴、孔类零件的数控车削自动编程加工实例	189
7.7 调头配车削类零件的数控车削自动编程加工实例	194
参考文献	197

第1章

导论

学习目标

了解数控自动编程实训课程的性质、任务和主要内容概述，掌握数控自动编程在实践操作中的应用和需要注意的问题。

内容提要

- 本课程的性质、任务和主要内容概述。
- 数控自动编程的概念、在实际加工中的应用及未来发展状况。
- 数控自动编程在实践操作中的程序存储加工与 DNC 加工。
- 数控自动编程在实践操作中应注意的问题。
- 本课程的学习方法。

1.1 本课程的性质、任务和主要内容概述

1.1.1 本课程的性质和任务

数控自动编程实训课程是数控技术专业必修的一门专业技术应用课程，其内容由数控铣削（加工中心）、数控车削两大部分组成。其中，数控铣削部分由四大模块组成，分别是二维铣削加工、钻削加工、三维铣削加工和辅助功能模块；数控车削部分由两大模块组成，分别是普通车削加工和循环车削加工。通过本课程的学习，学生能掌握数控自动编程在实际应用和实践操作中的基本技能，及中等复杂、复杂零件的编程加工，并能运用所学知识和技能解决生产岗位上有关数控自动编程实践应用方面的问题。

1.1.2 本课程的教学主要内容

本课程的教学主要包括：

- (1) 数控自动编程加工的工艺分析、制定和自动编程实践中的图纸转换。
- (2) 二维铣削加工自动编程实践中的加工工艺、路线、刀具补偿的实际应用场合和范围、切削参数等问题。
- (3) 平面型腔、平面铣削加工自动编程实践中的加工工艺、路线、加工切削方法以及对封闭型腔、开口型腔、锥度变形型腔的加工方法。
- (4) 孔系零件加工工艺、路线、刀具排列分配表及它们在自动编程实践中的具体应用。
- (5) 自动编程实践中刀具路径的转换、修剪及其在实践中的具体应用方法。
- (6) 三维实体、曲面加工中的自动编程实践应用，重点是各种曲面在实际加工中表面质量（粗糙度）的控制，合理的走刀路线、形式的确定，二维、三维配合加工方法，各种曲面加工方法所适用的场合和范围。
- (7) 数控车床中自动编程加工工艺、路线、加工方法，重点是加工步骤的合理分配，普通车削和循环切削的实际编程应用。

1.2 数控自动编程的概念、在实际加工中的应用及未来发展状况

数控加工的程序编制主要有两种方式：一种是手工编程，另一种是自动编程。手工编程适用于零件形状简单的平面轮廓、简单的平面型腔及小型孔系零件，以及数控车床中的简单轴类零件。而对于复杂的二轴、二轴半、三轴及三轴以上的数控加工程序，就只能用自动编程软件来完成了。自动编程软件一般均是 CAD（Computer Aided Design，计算机辅助设计）和 CAM（Computer Aided Manufacturing，计算机辅助制造）的高度集成，故一般零件加工的基本过程是：

(1) 分析图纸和被加工零件。分析图纸和被加工零件的具体内容包括:

① 分析加工表面。

② 确定加工方法。

③ 确定程序原点及工件坐标系。

(2) 对待加工表面及其约束面进行 CAD 数字造型 (建模)。

(3) 确定数控自动编程加工的工艺步骤,并选择合适的刀具及切削参数。

(4) 采用合适的自动编程加工方式进行刀具路径生成及刀具路径编辑 (CAM)。

① 粗加工刀具路径及余量分配。

② 半精加工刀具路径及余量分配。

③ 精加工刀具路径。

(5) 刀具路径校检和验证。

(6) 后置处理、生成加工程序。

(7) 程序传输存储或在线加工。

自动编程避免了手工编程易出错、烦琐的问题,提高了加工程序的准确度、正确性、编程效率,并可完成大量在手工编程中无法完成的工作。尤其是在综合度较高、曲面型面、多轴加工中,自动编程的优点更为突出。

目前,CAM 软件已基本上做到了以零件模型为基础,进行人工设定所需要的加工方式,每种加工方式中匹配适当的加工参数,软件通过计算得到加工刀具路径,实体模拟加工、校检后无错误,再通过后置处理自动生成加工程序。而未来的 CAM 软件将以零件模型为核心,同时做到以知识类型加工,即只要告诉以何种方式加工,其参数、路径就可自动建立,并提供几种可选择的优化路径,只需选择即可。这就相当于以老工程师、经验丰富的编程员的思路 and 模式来编程加工,并同时 will 零件模型和刀具路径进行捆绑约束,造型的任何变化都将会使刀路自动更新。今后 CAM 软件的发展方向是对刀具材料、强度和温度所影响的刀具变形,以及材料久切、过切的情况进行真实模拟并修改刀具路径,用以完全模拟真实加工环境所带来的各种影响,并通过软件予以消除。

1.3 数控自动编程在实践操作中的程序存储加工与 DNC 加工

由于在进行综合零件加工或者复杂曲面加工时,自动编程软件处理出的加工程序较长,少则几百行,多则几十万行,因此,已不再可能通过机床控制面板手工输入程序。目前,数控机床提供以下几种程序传输方式。

(1) 程序传入机床存储加工。这种方式主要针对一万行以内的加工程序,即将程序通过机床 RS232 接口或局域网传输到机床内部存储器予以保存,以便今后在使用时随时可以调出加工。

(2) 程序以 PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association, 计算机内

存卡国际联合会)卡或软盘作为介质载体,加工时调用 PCMCIA 卡或软盘上存储的程序进行加工。这种方式较为方便,但大部分机床并不具备 PCMCIA 卡插槽和软盘驱动器。

(3) 程序通过 RS232 接口或局域网进行 DNC (Distributed Numerical Control, 分布式数控) 在线加工。这种方式在将电脑与机床的通信端口用通信电缆(专用)连接后,使用专用的通信软件(如 Wincin 软件)边传输程序代码边进行加工,机床接收一定量的代码数据后进行加工,且在加工过程中继续接收代码,加工不停止,加工过的程序代码随时丢弃。这种方式适用于大型程序的加工,在理论上,程序容量无限制。

1.4 数控自动编程在实践操作中应注意的问题

在实践操作中,应用数控自动编程须注意以下问题。

1. 工艺分析

- (1) 零件图形分析。
- (2) 零件结构工艺分析及处理。
- (3) 零件毛坯工艺分析。

2. 零件图形的数学处理及建立模型

- (1) 零件图纸和加工图的转换。
- (2) 零件实体的建模及辅助图形的数学处理。
- (3) 起刀、进刀、退刀工艺问题的处理。
- (4) 加工顺序路线的处理。

3. 刀具集中或工艺原则的应用

- (1) 尽量使零件上能够用相同刀具加工的部位一次加工完成,避免重复更换相同的刀具。
- (2) 在工步集中的情况下应集中处理,避免各工步间因重复调换刀具而带来接刀问题。
- (3) 以上这两个原则冲突时,应以刀具集中优先,并尽量工步集中。

1.5 本课程的学习方法

以 CAD/CAM 软件为应用基础,结合手工编程,充分与数控加工实践操作相衔接,以本课程所述加工方法和实例去指导实践,并通过实践操作来反复总结、领会。

模拟自测题(一)

1. 目前数控机床提供哪几种常见的程序传输方式?
2. 实践操作中,应用数控自动编程需注意哪些问题?

第2章

二维轮廓铣削加工自动编程 实训及实例应用

学习目标

着重掌握二维轮廓铣削的数控自动编程加工工艺分析，熟练使用 CAM 软件（本书以 Mastercam 的使用来介绍）对各种常见、特殊的二维轮廓进行数控铣削编程和加工。

内容提要

- 二维轮廓铣削的概念及范畴。
- 二维轮廓铣削的分类及图纸转换。
- 刀具半径补偿参数方式及实践应用。
- 二维轮廓铣削自动编程加工的工艺分析及编制。
- 二维轮廓普通外形（封闭、开口）类零件的加工实例。
- 二维轮廓窄槽类零件的加工实例。
- 特殊平面型腔类（复合斜面）零件转化为二维轮廓的加工实例。
- 整圆铣削加工实例。
- 二维轮廓铣削加工实践与操作类综合零件的自动编程与机床操作。

2.1 二维轮廓铣削的概念及范畴

2.1.1 二维轮廓铣削的概念

二维轮廓铣削是指对一平面内一系列首尾相接的曲线集合的加工。轮廓在总体上分为开放型 [见图 2-1 (a)] 和封闭型 [见图 2-1 (b)]。二维轮廓铣削自动编程加工,一般是对轮廓自身进行加工。

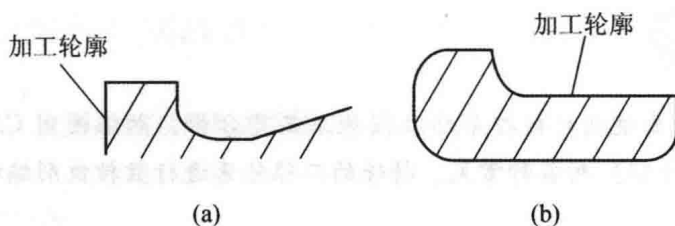


图 2-1 开放型和封闭型二维轮廓示例

(a) 开放型; (b) 封闭型

在 Mastercam 软件中,二维轮廓铣削的自动编程主要是用 Contour (二维轮廓铣削) 命令完成的,即通过该命令建立各种轮廓加工的刀具路径,如图 2-2 所示。

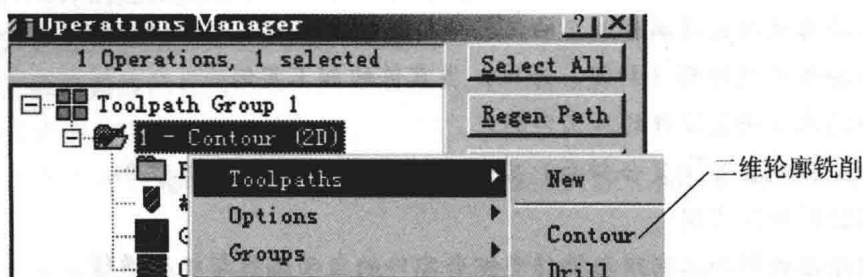


图 2-2 利用 Contour 命令建立二维轮廓铣削

2.1.2 二维轮廓铣削的范畴

在划分某种零件是二维轮廓铣削还是平面型腔铣削时,界线并不是很明确。如图 2-3 (a) 所示,该零件是典型的二维轮廓铣削,而如图 2-3 (b) 所示的零件也可以用平面型腔铣削编程加工,但其加工程序长,程序可控制性相对较差。因此,判断或区分二维轮廓铣削和平面型腔铣削的一个重要标志在于“零件的残余(被切)材料最大宽度是否小于 $3D$ (D 为最大可用刀具直径)”,若小于,则属于二维轮廓铣削。在图 2-3 (b) 中,最大型腔宽度为 18 mm ,而 $18\text{ mm} < 3 \times 10\text{ mm}$,因此判断为二维轮廓铣削。而对于图 2-4 所示的零件,最宽距离为 40 mm ,远大于最大使用刀具直径 6 mm 的三倍,并且形状不规则,手工设计加工路线比较麻烦,因此采用平面型腔铣削。

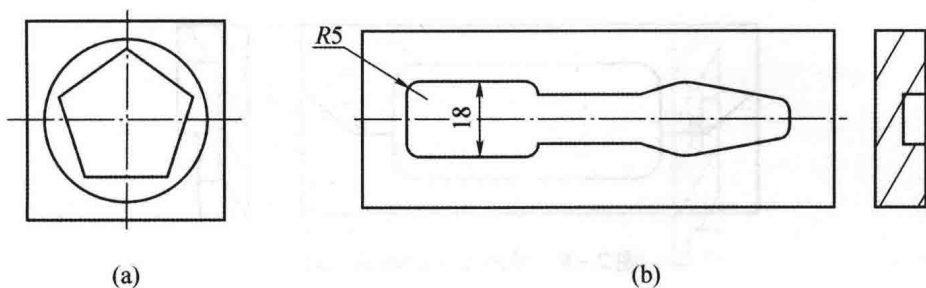


图 2-3 二维轮廓铣削和平面型腔铣削的区别示例 (1)

(a) 五边形凸台；(b) 窄型槽

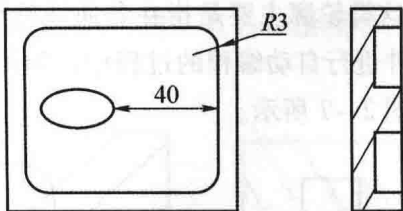


图 2-4 二维轮廓铣削和平面型腔铣削的区别示例 (2)

对于形状简单的平面型腔，只要刀具路径的设计不是太复杂，应尽量采用二维平面轮廓铣削，其优点是程序长度短，尺寸、形位公差易于控制和调整。

2.2 二维轮廓铣削的分类及图纸转换

2.2.1 二维轮廓铣削的分类

二维轮廓铣削在构成方式上分为以下几类。

1. 开放型轮廓

开放型轮廓是指起点和终点并不重合的二维轮廓。如图 2-5 所示的零件是由一系列曲线组成的一个开放型二维平面轮廓。如图 2-6 所示，曲线串 A 和曲线串 B 分别为两组曲线，但在编程时需将它们连接起来，构成一个完整的曲线串，并且两端不封闭。

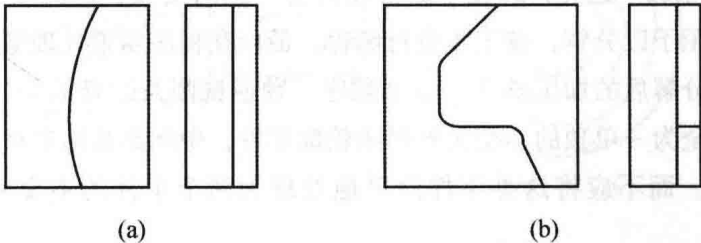


图 2-5 开放型轮廓示例 (1)

(a) 单条曲线开放轮廓；(b) 多条曲线开放轮廓

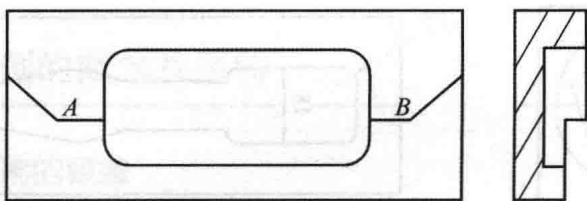


图 2-6 开放型轮廓示例 (2)

2. 封闭型轮廓

封闭型轮廓是指起点和终点重合的二维轮廓。这类轮廓又分为以下几种。

(1) 不交叉内封闭轮廓。这类轮廓主要是指在各曲线轮廓之间无交叉，且铣削材料均在工件平面内部。在对这种零件进行自动编程的过程中，须注意起刀点和切入/切出路线的设计以及走刀路线的设计，如图 2-7 所示。

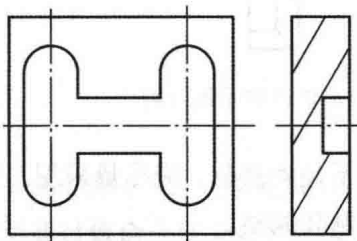


图 2-7 不交叉内封闭轮廓

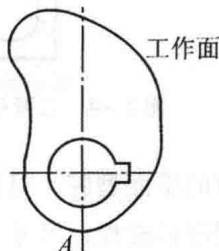


图 2-8 不交叉外封闭轮廓

(2) 不交叉外封闭轮廓。这类轮廓主要是指在各曲线轮廓之间无交叉，但铣削材料相对于外形在外侧，这也是最常见的一种二维封闭轮廓，如图 2-3 (a) 和图 2-8 所示。这类零件的自动编程较为灵活，并无多大限制。但须注意的是，起刀点不要放在任意点，而应选择一个特殊点，且不影响零件的工作性能和外观。例如，图 2-8 所示零件的起刀点应选在 A 点，而不应放在其他点。这是因为凸轮在 A 点位置附近为过渡段，其余位置为升起、降落和工作面。而在这些面如果有明显的接刀痕迹，将严重影响凸轮和顶杆的工作状态及工作平稳性。

(3) 交叉二维轮廓。这类轮廓在平面视图内有一定的交叉，因此在二维轮廓铣削编程中一般将这类零件图予以分解，按工步进行编程，最后在程序后置处理输出时合并程序。在分解过程中应注意分解后的加工顺序、铣削顺序、顺逆铣削及余量的均匀分配。如图 2-9 所示，将六边形补全为一个单独的不交叉外封闭轮廓零件，中间圆弧槽单独加工并调整刀具补偿，保证尺寸公差。而不应将这类零件简单地处理为两个单独的不交叉外封闭轮廓零件加工。

3. 窄槽类二维轮廓

窄槽类二维轮廓在形式上分为开口窄槽类和封闭窄槽类。开口窄槽类二维轮廓的零件大

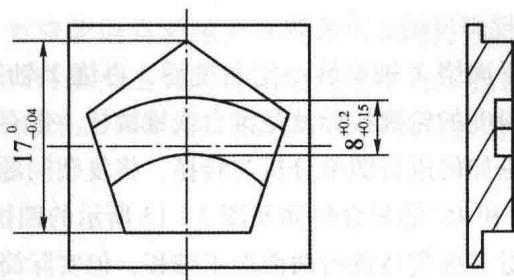


图 2-9 交叉二维轮廓

多为多个窄槽类零件的组合。这类零件的自动编程一定要与手工编程配合使用，以减少程序量和程序长度，增加程序的灵活性和可控性。在自动编程中，须重点注意起刀、进刀、退刀方式，如图 2-10 所示。

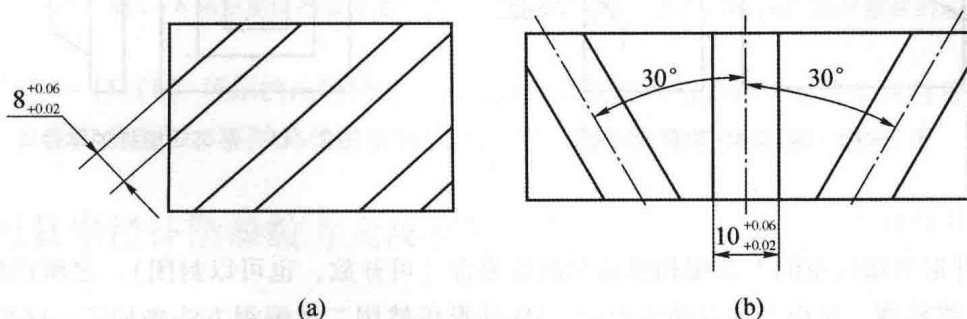


图 2-10 开口窄槽类二维轮廓的零件

(a) 同向开口窄槽；(b) 不同向开口窄槽

封闭窄槽类二维轮廓的零件大多为轴上键槽、平面凸轮槽等零件。在这类零件中，自动编程的重点是保证零件形状不久切、不过切，并且在零件工作面无接刀痕等外观质量的情况下，合理、正确地安排起刀点，选择切入/切出路线、加工路线及加工刀具等，如图 2-11 所示。

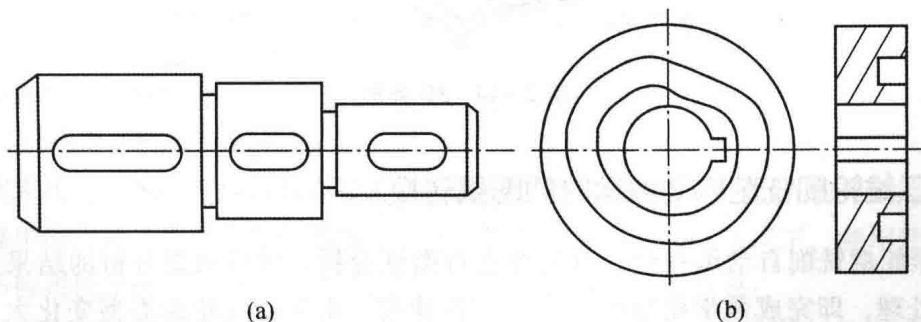


图 2-11 封闭窄槽类二维轮廓的零件

(a) 轴上键槽；(b) 平面凸轮槽

4. 复合斜面及带有拔模斜度的二维轮廓

复合斜面是指由某一平面绕 X 轴旋转一定角度后, 再绕 Y 轴旋转另一角度而构成的被加工面。而带有一定拔模斜度的轮廓实际就是锥台或锥棱柱。带有这类轮廓的零件在自动编程中, 须重点注意的问题是如何进行图纸分析与转换, 将复杂问题转化为简单的平面二维轮廓。如图 2-12 所示的 30° 和 45° 的复合斜面及图 2-13 所示的四棱锥的加工, 对这类零件, 加工者最初都会误认为是对三维实体进行曲面加工编程, 但实际简化后, 配合手工编程技术就可以用几行或十几行程序来做到几千行程序才能做到的加工, 同时这种程序的灵活性、可变性、可控性非常好。

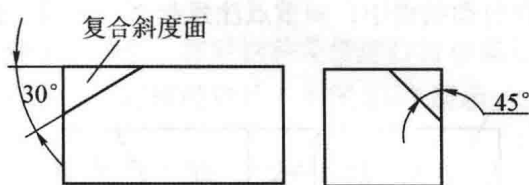


图 2-12 30° 和 45° 的复合斜面

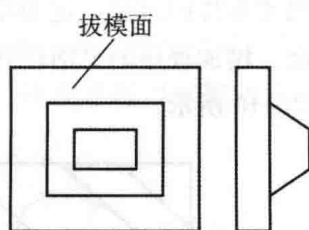


图 2-13 带有四棱锥的零件

5. 3D 外形

3D 外形是指在空间上首尾相连接的曲线集合 (可开放, 也可以封闭)。之所以将 3D 外形归为二维轮廓, 是由于在自动编程中, 3D 外形仍然用二维编程方法来加工, 区别只是参数不同。对这类零件没有太多要求, 只要按照 3D 路线进行实际刀路加工即可, 如图 2-14 所示。

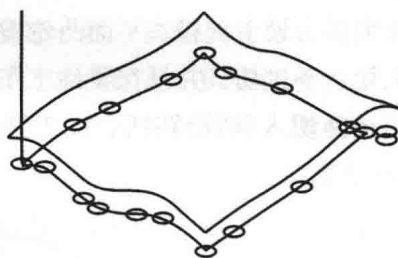


图 2-14 3D 外形

2.2.2 二维轮廓铣削自动编程时的图纸转换

在二维轮廓铣削自动编程时, 首先要进行图纸分析, 然后根据分析的结果, 将产品进行数字处理, 即完成数学模型的建立和三维建模。由于二维轮廓类型变化大, 且在自动编程时, 完全将产品图纸照模照样搬进 CAD/CAM 系统进行编程大多是不行的, 因此, 对产品图纸须进行适当的转换和增加编程辅助线, 去掉没有必要的图线而采用与其他辅助线配合编程加工, 或是直接修改为适当的计算机数字模型, 这是非常重要的一步。图