

西门子运动控制丛书——数控系统篇

西门子重点推荐

五轴数控系统 加工编程与操作维护

基础篇

管 华 杨轶峰◎主 编

贺琼义 魏长江◎副主编

西门子运动控制丛书——数控系统篇
西门子公司重点推荐

五轴数控系统加工编程与 操作维护(基础篇)

主 编 咎 华 杨轶峰
副主编 贺琼义 魏长江
参 编 刁文海 李 杰 余 旋 师小明
沈建楠 陈先锋 梁徽翔 顾学权
左 维 刘志安 李昌宝 鲍 磊
孙占文 薄向东 方 仁 王展超
沈 梁 邓中华 孙 晶 张 健
主 审 李晓晖

机械工业出版社

本书系统地介绍了五轴数控机床的加工编程与操作维护方法,内容包括五轴数控机床应用基础知识、五轴空间变换 CYCLE800 指令 3+2 轴定位编程、五轴加工旋转刀具中心点高级编程指令、五轴数控机床测头检测编程练习、五轴数控系统维护与保养等,同时介绍了相关培训和教学辅助技术。

本书可供数控技术人员使用,也可供职业院校、技工院校的数控专业师生使用。由于西门子 840D 系统是数届世界技能大赛的唯一指定数控系统,也是全国数控技能大赛的五轴指定数控系统,故本书还可供国际、国内数控、模具加工类比赛选手和培训机构参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

五轴数控系统加工编程与操作维护. 基础篇/咎华, 杨轶峰主编. —北京: 机械工业出版社, 2017. 9

(西门子运动控制丛书. 数控系统篇)

ISBN 978-7-111-57839-0

I. ①五… II. ①咎… ②杨… III. ①数控机床—加工②数控机床—程序设计 IV. ①TG659.022

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 253773 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 赵磊磊 责任编辑: 王 良

责任校对: 王 欣 封面设计: 马精明

责任印制: 李 昂

河北鑫兆源印刷有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 12.5 印张 · 327 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-57839-0

定价: 39.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

编委会名单

- 刁文海 广州市机电技师学院
李 杰 天津职业技术师范大学
余 旋 雷尼绍（上海）贸易有限公司
师小明 河南漯河技师学院
沈建楠 宁夏工商职业技术学院
陈先锋 上海（泰之）自动化科技有限公司
梁徽翔 浙江亚龙教育装备股份有限公司
顾学权 南京德西数控新技术有限公司
左 维 天津中德应用技术大学
刘志安 江西现代职业技术学院
李昌宝 广西机电技师学院
鲍 磊 云南机电职业技术学院
孙占文 德玛吉森精机（上海）培训学院
薄向东 唐山工业职业技术学院
方 仁 杭州技师学院
王展超 北京市工业技师学院
沈 梁 杭州萧山技师学院
邓中华 长沙航空职业技术学院
孙 晶 库卡（上海）机器人有限公司
张 健 广州凯勒德数控有限公司
- 主 编 咎 华 北京联合大学
杨轶峰 西门子（中国）有限公司
- 副主编 贺琼义 中国（天津）职业技能公共实训中心
天津职业技术师范大学
魏长江 北京汽车技师学院
- 主 审 李晓晖 西门子（中国）有限公司



西门子公司在 1960 年向市场推出了商用数控系统，至今已有近六十年历史，西门子数控系统以其强大的功能、性能，特别是其开放性、灵活性，在诸多金属加工关键领域取得了巨大的市场影响力。这也成功地帮助我们的用户做出有自己创新特色的、充满更多应用附加值的机床。这一点从我们的用户群可以看出，这些机床与同质化的标准产品有很大不同。近年来，随着我们产品可靠性、适应性方面的进一步大幅度提高，我们在数控应用与研发领域取得了显而易见的增长。尤其在复杂应用领域，在工艺性很强的领域，在高性能领域，在数字化领域，西门子数控始终保持着强大的技术优势。这也正顺应了中国制造 2025 所倡导的方向。西门子数控技术的宗旨是，向市场提供的不仅仅是产品，更是一个先进、可持续和完整的应用技术平台。

西门子系统持续致力于推动中国制造业蓬勃发展，在我国高档数控领域的应用与开发中处于领先地位。为满足产品匹配所需要的大量高端应用技术人才，我们很愿意通过各种渠道为相关技术技能型人才的培养提供优质服务。这本书的诞生就是基于这样一种初衷。在此过程中我们委托相关专家组织五轴教育培训领域的优秀人士撰写了这本书，希望能够为大家尽快学习掌握五轴技术打下基础，为我国制造业的发展提供更多、更高水平的贡献，感谢您对西门子数控系统的关注与认同。

西门子（中国）有限公司
运动控制部
机床数控系统总经理

本书的诞生，源自五轴加工培训业内的一场争论。随着“CAM 编程”的发展，“手工编程”在五轴加工领域还有没有用？为此，西门子（中国）有限公司数控教育培训机构组织了一场主要由全国数控大赛五轴加工获奖选手和相关厂家工程师参加的培训。这些优秀的选手齐聚北京，抛开了 CAM 工具软件，以西门子 840D sl 数控系统为平台，从最基本的五轴“手工编程—人机对话图形编程”开始学习，并将学习到的人机对话图形编程技术与自身的工艺知识结合，运用到零件加工和在线检测中去。最后大家得出了几点体会：

1. 在五轴加工教学培训和生产中，手工编程不再是原有的 G 代码编程理念，而应该是“人机对话图形编程”。

2. “CAM 编程”与“手工编程—人机对话图形编程”谁也无法取代对方。对于某些典型规则多面零件、车铣复合特征的零件，人机对话图形编程的高阶次应用，“手工编程—人机对话图形编程”，可以直接在系统内编程，减少了程序的传输和后置的调整。

3. “手工编程—人机对话图形编程”，尤其是工步编程，只要懂工艺，很快就可以学会编程，这时候的编程不需要记忆代码，只需要将自身的工艺知识变为系统控制下机床的运动关系即可。在熟练掌握这种编程方式之后，学员会发现 CAM 编程学习将会取得事半功倍的效果。

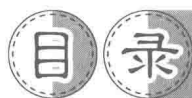
4. 真实的工业产品加工装夹技术，不会是教学中只有机用平口钳或是铣床自定心卡盘，抑或是心轴定位，更多的是使用复杂的工装夹具。“手工编程—人机对话图形编程”和“工步编程”要求操作者必须关注其中可能存在的干涉现象，尤其是对基础薄弱的学员和初学者，非常有必要一步一步尝试着进行，提升对加工工序的认知和机械切削过程的体会。

5. “CAM 编程”与“手工编程—人机对话图形编程”都必须要有扎实的加工工艺基础作为保证。作为一名未来的五轴编程师或工程师，除了学习编程外，了解数控系统的简单维护、备份、程序传输等相关的多轴切削加工拓展知识，也是有必要的。

6. 五轴加工技术的学习一定要从“3+2”加工方式开始。“3+2”是目前许多典型零件的加工方式，这也是帮助学员认识五轴数控机床坐标轴（系）空间变换最基本的编程技能基础。

由于时间仓促，错误在所难免。在本书撰写过程中，所有的编委及所在单位均给予了全力支持，在此对全体编委及编委所在单位表示衷心感谢。让我们共同努力推动五轴加工技术在我国普及。

编 者



序

前言

第 1 章 五轴数控机床应用基础知识	1
1.1 五轴数控机床常见分类	1
1.2 五轴数控加工典型应用	3
1.3 五轴数控系统与编程方法概述	8
第 2 章 五轴加工零件坐标系转换	12
2.1 五轴数控机床中的坐标系	13
2.2 五轴加工工件坐标系的建立	14
2.3 摆动循环 CYCLE800 简介	16
2.4 摆动循环 CYCLE800 指令典型应用	18
2.5 摆动循环 CYCLE800 指令中主要参数说明	19
第 3 章 五轴空间变换 CYCLE800 指令 3+2 轴定位编程基础练习	26
3.1 机床刀具表的创建	26
3.2 正四棱台零件的编程与加工练习	28
3.3 正四方凸台圆形腔与侧面孔零件的编程与加工练习	37
3.4 多角度空间斜面零件的编程与加工练习	46
第 4 章 五轴空间变换 CYCLE800 指令 3+2 轴定位编程提升练习	56
4.1 斜置机座零件的编程与加工练习	56
4.2 开放轮廓凹槽与大斜角零件的编程与加工练习	68
4.3 通槽双斜面零件的编程与加工练习	75
4.4 3+2 轴定位编程与加工练习图样	81
第 5 章 五轴加工旋转刀具中心点高级编程指令的使用	90
5.1 旋转刀具中心点（刀尖跟随）指令的加工功能	90
5.2 削边凸台零件的 TRAORI 指令编程练习	93
5.3 45°倒角凸台零件综合编程练习	99
第 6 章 五轴数控机床测头检测编程练习	112
6.1 五轴测量练习——检测多角度空间斜面零件	112
6.2 五轴工件测头基础知识	126

6.3	五轴工件测头标定知识	127
6.4	五轴相关测量循环操作方法	128
6.5	五轴数控机床对刀仪应用简介	134
第7章	五轴加工技术拓展	135
7.1	车铣复合初级编程练习	135
7.2	工业机器人五轴加工技术应用	148
第8章	五轴数控系统维护与保养	157
8.1	数控系统的组成	157
8.2	数控系统的批量调试	159
8.3	数控系统硬件模块维护保养	162
8.4	资料与报警查阅	166
第9章	五轴数控系统教学培训与加工辅助功能	170
9.1	批量调试机床的方法	170
9.2	将实际机床调试存档导入 SINUTRAIN 的方法	175
9.3	数控系统画面远程监控	180
9.4	数控系统程序的网盘传输方法	183
9.5	自定义数控系统开机启动画面	187

随着“中国制造 2025”战略的提出，在制造业领域，数字制造技术亦随之不断创新，五轴加工作为数控技术应用于当今制造领域的高层次技术，应用范围不断扩大。尤其是以高档数控机床等为代表的“中国制造 2025”十大重点领域，与航空航天、海洋工程装备及高技术船舶等直接相关，应用不断扩大，在很大程度上解决了三轴数控机床无法实现的特殊功能，弥补了传统加工工艺的不足，有效地提高了产品零件加工的精度和效率。

1.1 五轴数控机床常见分类

五轴数控机床一般根据轴运动的配置形式进行分类，其轴运动的配置形式有工作台转动和主轴头摆动两类，通过不同的组合可以构成主轴倾斜型五轴数控机床、工作台倾斜型五轴数控机床以及工作台/主轴倾斜型五轴数控机床三大类（考虑到教学理解方便，以下介绍主要基于以铣功能为主的五轴机床展开，车铣复合及五轴机器人加工技术等在后继拓展知识中介绍）。

1.1.1 主轴倾斜型五轴数控机床

两个旋转轴都在主轴头一侧的机床结构，称为主轴倾斜型五轴数控机床（或称为双摆头结构五轴数控机床）。主轴倾斜型五轴数控机床是目前应用较为广泛的五轴数控机床配置形式之一，这种五轴数控机床的结构特点是，主轴运动灵活，工作台承载能力强且尺寸可以设计得非常大，此外该结构的五轴数控机床，适用于加工舰艇推进器、飞机机身模具、汽车覆盖件模具等大型部件。但是将两个旋转轴都设置在主轴头一侧，使得旋转轴的行程受限于机床的电路线缆，无法 360° 回转，且主轴的刚性和承载能力较低，不利于重载切削。

主轴倾斜型五轴数控机床可以进一步分为以下两种形式：

1) 图 1-1（见下页）所示为十字交叉型双摆头五轴数控机床结构，一般该结构的旋转轴部件 A 轴（或者 B 轴）与 C 轴在结构上十字交叉，且刀轴与机床 Z 轴共线。

2) 图 1-2（见下页）所示为刀轴俯垂型五轴数控机床结构。刀轴俯垂型结构又称为非正交摆头结构，即构成旋转轴部件的轴线（B 轴或者 A 轴）与 Z 轴成 45° 夹角。非正交摆头型五轴数控机床通过改变摆头的承载位置和承载形式，从而有效提高了摆头的强度和精度，但采用非正交形式回转轴会增加操作难度和 CAM 软件的后置处理定制难度。

1.1.2 工作台倾斜型五轴数控机床

两个旋转轴都在工作台一侧的机床结构，称为工作台倾斜型五轴数控机床（或称为双转台五轴结构数控机床）。这种结构的五轴数控机床的特点在于主轴结构简单，刚性较好，制造成本较低。工作台倾斜型五轴数控机床的 C 轴回转台可以无限制旋转，但由于工作台为主要回转部件，尺寸受限，且承载能力不大，因此不适合加工过大的零件。

工作台倾斜型五轴数控机床可以进一步分为以下两种形式：

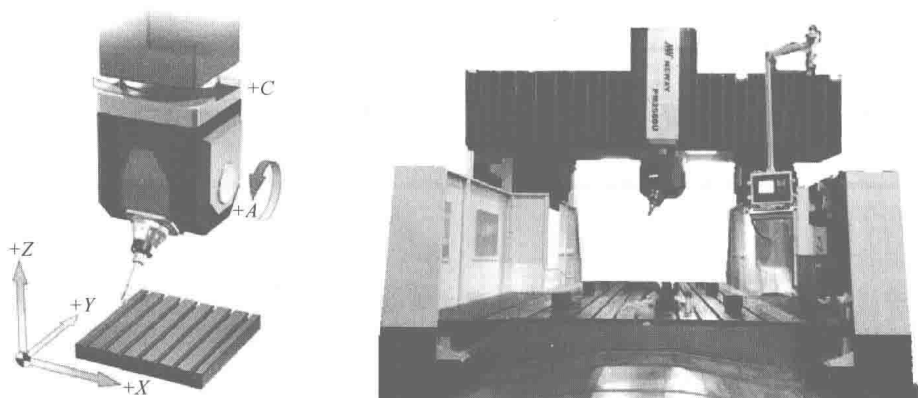


图 1-1 十字交叉型双摆头五轴数控机床

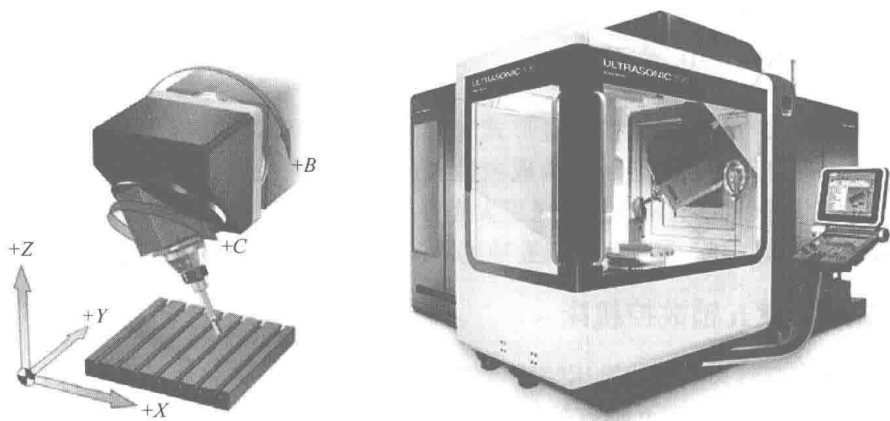


图 1-2 刀轴俯垂型五轴数控机床

1) 图 1-3 中右图为工作台正交的五轴数控机床。左图为 B 轴俯垂工作台五轴数控机床， B 轴为非正交 45° 回转轴， C 轴为绕 Z 轴回转的工作台。该结构五轴数控机床能够有效减小机床的体积，使机床的结构更加紧凑，但由于摆动轴为单侧支撑，因此在一定程度上降低了转台的承载能力和精度。

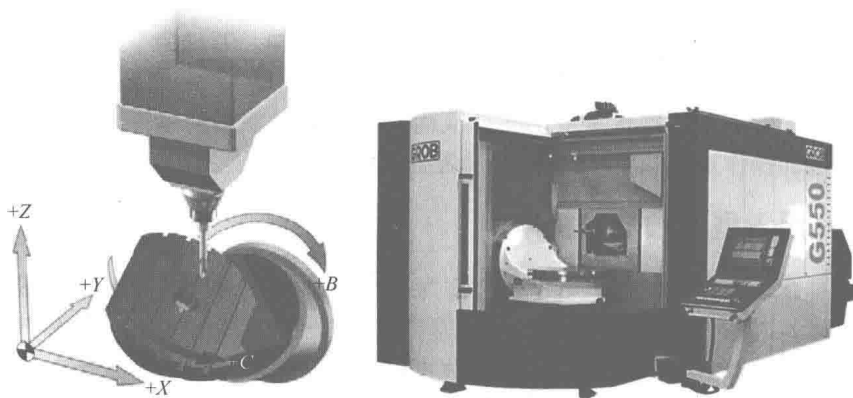


图 1-3 正交和俯垂工作台五轴数控机床

2) 图1-4所示为双转台(摇篮式)结构五轴数控机床, A 轴绕 X 轴摆动, C 轴绕 Z 轴旋转。该结构是目前最常见的五轴结构, 其转台的承载能力和精度均能够控制在用户期望的使用范围内, 且根据不同的精度需求, 可以选择摆动轴单侧驱动和双侧驱动两种形式, 转台是单侧或双侧驱动结构不是决定机床转台精度的唯一标准, 还需要综合考虑转台本身的刚性和设计结构等。



图1-4 双转台结构五轴数控机床(中图为单侧驱动, 右图为双侧驱动)

1.1.3 工作台/主轴倾斜型五轴数控机床

两个旋转轴中的一个旋转轴设置在刀轴一侧, 另一个旋转轴在工作台一侧, 该结构称为工作台/主轴倾斜型五轴结构(或称为摆头转台式)。此类机床的特点在于, 旋转轴的结构布局较为灵活, 可以是 A 、 B 、 C 三轴中的任意两轴组合, 其结合了主轴倾斜型和工作台倾斜的特点, 加工灵活性和承载能力均有所改善。图1-5所示是常见的摆头转台式五轴数控机床。

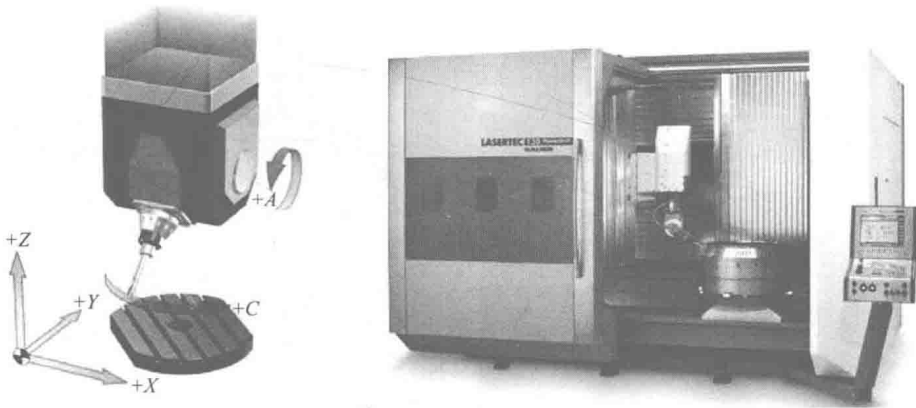


图1-5 常见的摆头转台式五轴数控机床

1.2 五轴数控加工典型应用

五轴数控加工机床的经济性和技术复杂性限制了其大范围应用, 但在部分制造领域中, 已经普遍采用了五轴数控机床进行产品的加工。

1.2.1 复杂曲面及艺术品模型加工

五轴数控机床具有三个线性轴和两个旋转轴，刀具可以到达三轴和四轴机床无法切削的位置，因此五轴数控机床能够进行负角度曲面和大尺寸复杂曲面的铣削加工，且刀轴矢量的自由控制可以避免球头铣刀的静点切削，从而有效提高曲面铣削效率和曲面加工质量。图 1-6 所示为大型复杂曲面铣削及艺术品模型加工。

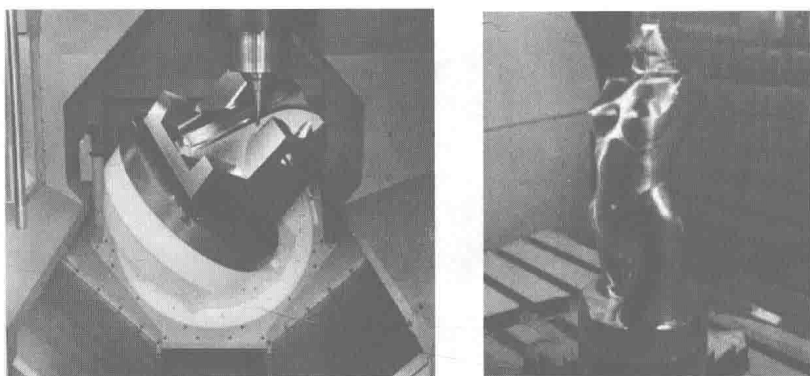


图 1-6 大型复杂曲面铣削及艺术品模型加工

1.2.2 模具制造领域中的应用

五轴加工在模具制造中的应用较广，如曲面、肋板、清角、深腔、陡峭侧壁、空间角度孔等的加工，五轴加工能够解决模具中过深的型芯和过高的型腔等加工内容。尤其是汽车覆盖件等大型模具，一般型腔和型芯的深度远大于刀具悬伸长度，五轴数控机床依靠刀轴矢量的自由控制，改变刀轴的空间姿态，避开加工过程中的干涉位置，从而以标准长度的刀具，加工大于刀具长度几倍的型芯。图 1-7 所示为覆盖件模具的五轴加工。



图 1-7 覆盖件模具的五轴加工

1.2.3 结构壳体及箱体加工

汽车壳体和箱体类零件在传统加工中工艺复杂，且由于零件中的孔较多，孔与孔之间具有位置公差，此外一般箱体零件的每个面都有待加工内容，因此此类零件的加工一般需要制作专用夹具，对零件进行多工序加工，以满足批量和精度等要求。工序的分散和专用夹具的应用在一

一定程度上提高了生产成本,且增加了精度保证的难度。五轴数控机床的应用能够降低夹具的复杂性,通过简单的装夹方案,将工序进行集中,从而降低成本,提高加工精度。图1-8所示为壳体结构件和发动机箱体的铣削加工。

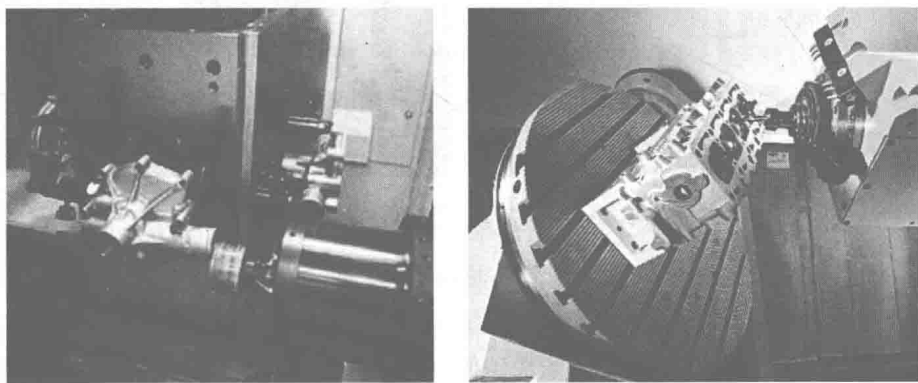


图1-8 壳体结构件和发动机箱体的铣削加工

1.2.4 整体叶轮及叶片加工

叶轮和叶片是涡轮增压器、航空发动机、船舶推进器等关键装置的核心零部件。叶轮、涡轮、螺旋桨等零件的叶片为空间自由曲面,且精度和曲面质量要求较高,依靠传统加工方式无法生产加工整体叶轮。五轴数控机床能够控制刀轴空间姿态,且五轴联动加工能够使刀具上某一最佳切削位置始终参与加工,实现曲面跟随切削,极大地提高了整体叶轮的曲面精度和叶轮在使用中的工作效率。图1-9所示为半开式整体叶轮和开放式叶轮的五轴加工。

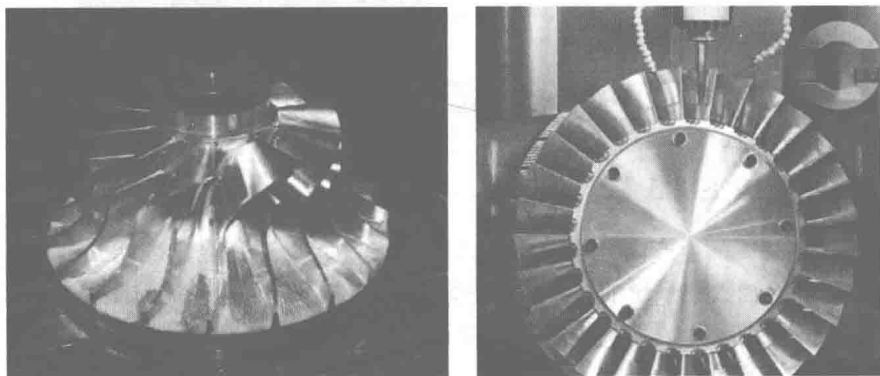


图1-9 半开式整体叶轮和开放式叶轮的五轴加工

1.2.5 航空、航天制造领域应用

五轴加工在航空、航天领域的应用呈逐步上升趋势,从早期的复杂曲面零件的加工到当今结构件和连接件的加工,五轴加工的应用越来越广。航空结构件变斜面整体加工效果的实现,需要依靠五轴联动配合刀具的侧刃进行切削,以保证面的连续性和完整性,且能够提高精度和效率,此外结构件连接肋板和强度肋板的负角度侧壁,以及大深度型腔的加工,均需要五轴数控机床控制刀轴矢量角度,以实现有效切削。图1-10所示为航空、航天结构件的五轴加工。

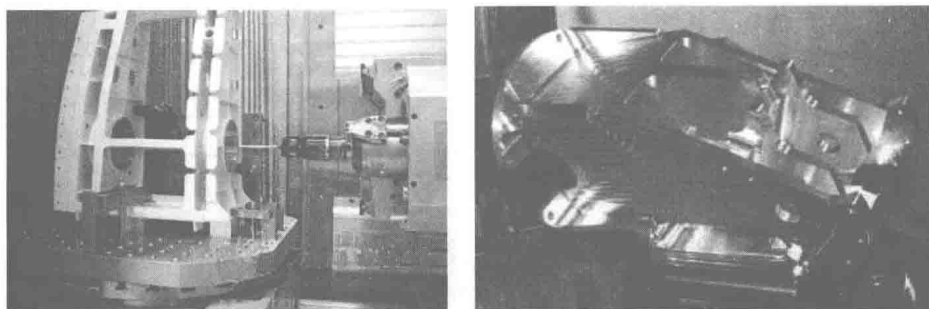


图 1-10 航空、航天结构件的五轴加工

1.2.6 汽车及医疗领域应用

在加工汽车发动机关键部位时，由于发动机气缸结构复杂，且气缸孔是一个弯曲孔腔，故采用三轴机床无法完成加工。然而五轴联动配合管道加工方式可以实现弯曲气缸孔壁的铣削加工。此外医疗行业中骨板、牙模等空间异形零件的加工具有一定的难度，若采用五轴数控机床可以简化此类零件的制造难度，且能够有效提高生产效率。图 1-11 所示为汽车气缸及骨骼关节板制造应用。

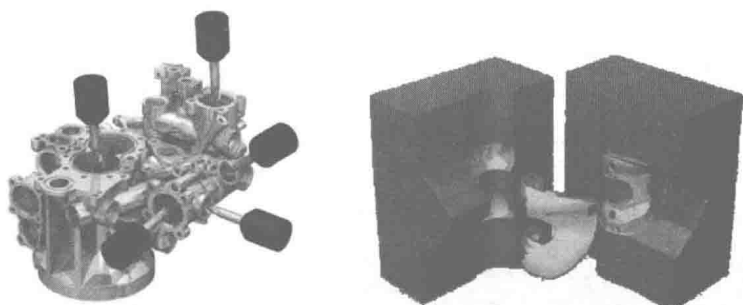


图 1-11 汽车气缸及骨骼关节板制造应用

1.2.7 五轴定向加工“3+2”应用

五轴加工中约 85% 的生产内容均需要由“3+2”定向加工完成，因此五轴加工中定向加工方式的实现是评价五轴数控系统的基本标准。SINUMERIK 840D sl 系统的摆动循环 CYCLE800 定向功能将坐标系平移、旋转、二次平移以及轴定位和轴复位等功能合理地结合为一个模块，有效地降低了五轴定向加工的编程难度。图 1-12 所示为“3+2”定向加工的应用案例。

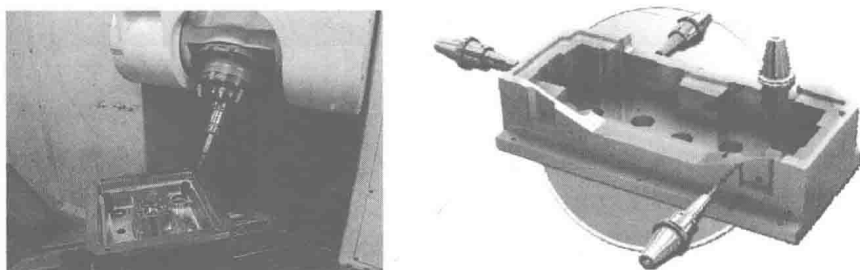


图 1-12 “3+2”定向加工的应用案例

1.2.8 “3+2”定向加工方式在五轴加工竞赛中的应用分析

近几年，“3+2”五轴定向加工方式在五轴加工竞赛中实现一些非正交平面上图形的加工编程的应用和考核越来越多，不同的数控系统在编写“3+2”定向加工程序时均有其特点。采用西门子公司的 SINUMERIK 840D sl 系统 CYCLE800 循环的（“3+2”定向加工）功能进行定向程序编制，能够更加快捷、有效地解决倾斜面编程问题。

第七届全国数控技能大赛主舱体的样件加工图样（图 1-13），其中 A—A 视图剖面中的 50mm ±0.05mm、Ra1.6μm 平面加工，径向 2-φ12^{+0.018}₀ mm 孔加工；右视图中的“空间一号”字体的雕刻加工，43mm ±0.05mm 位置的 19mm 宽度的平台加工；主视图剖面中 φ20^{+0.033}₀ mm、深 10mm 及 φ12mm 通孔的台阶孔组合加工；仰视图中两处 R1.5mm 圆弧槽等加工内容均可采用“3+2”五轴定向加工方式完成。如果参赛选手熟悉五轴定向加工辅助循环 CYCLE800 功能，面对系统屏幕，采用人机对话方式完成这些部位的加工编程，不仅程序编制简单、易读，也方便程序的调整，省去使用三维软件去建模、生成与传送加工代码程序的操作。

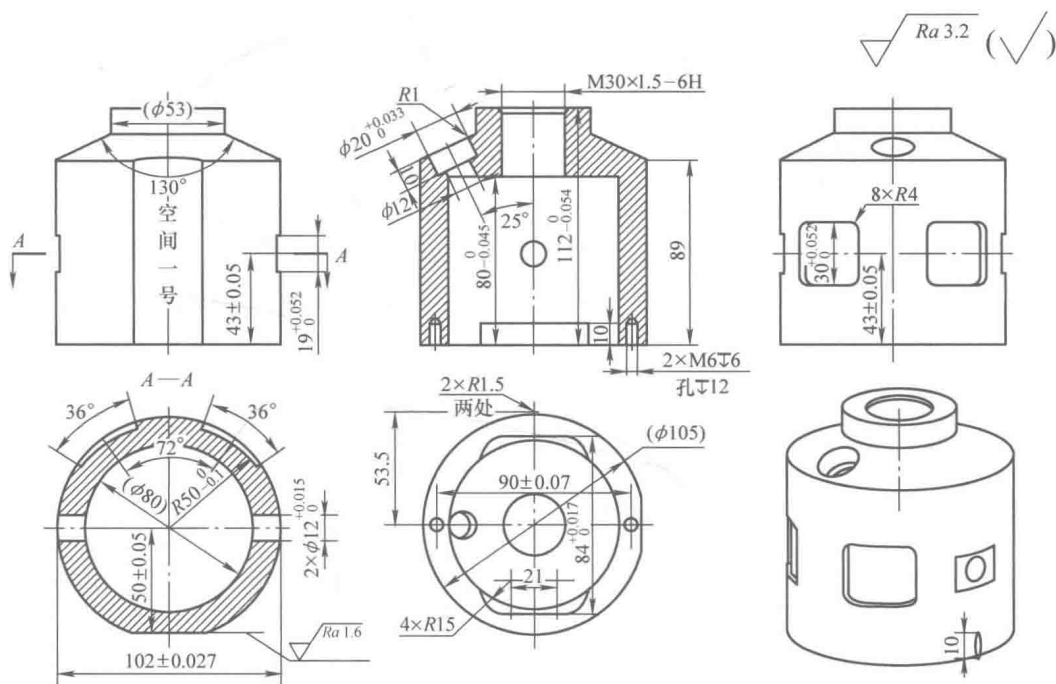


图 1-13 第七届数控大赛五轴加工赛项——主舱体零件图样（样题）

1.2.9 “3+2”定向加工与5轴同步加工特点介绍

“3+2”定向加工和5轴同步加工是五轴加工的主要方式。考虑到五轴加工的经济性，当工件的几何尺寸和机床的运动允许时，建议采用以下步骤进行零件加工：首先采用3轴、3+1轴和3+2轴方式进行粗加工和精加工，当上述加工方式不能满足零件要求以及进行最终精加工时采用5轴同步方式进行加工。

图 1-14 和图 1-15 分别展示了 3+2 轴定向加工粗加工和 5 轴同步精加工的应用情况。采用 3+2 轴方式进行粗加工能够更有效地去除余量，而采用 5 轴同步的方式进行最终精加工可以改变

加工过程中的刀轴姿态，从而有效提高加工精度和表面质量。

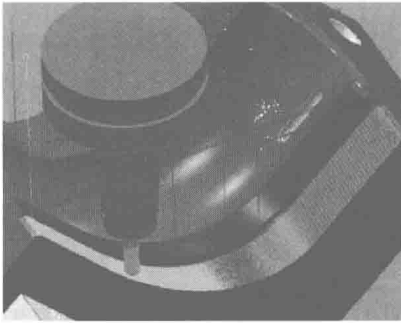


图 1-14 3+2 轴定向加工粗加工

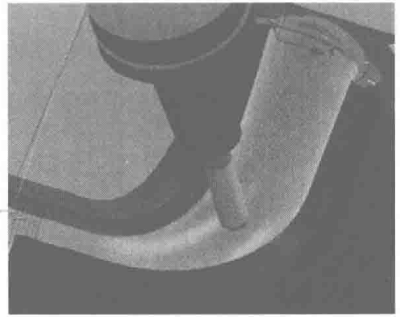


图 1-15 5 轴同步精加工

3+2 轴定向加工和 5 轴同步加工各自的特点见表 1-1。

表 1-1 3+2 轴定向加工和 5 轴同步加工对比

项目	3+2 轴定向加工	5 轴同步加工
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1) 较低的编程成本 2) 只采用线性轴运动，因此无动态限制 3) 加工具有较大的刚性，由此可提高刀具的使用寿命和表面质量 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 在固定装夹位置上可加工较深的型腔侧壁和底面 2) 可采用紧凑装夹位置的较短刀具 3) 工件表面质量均匀，无过渡接刀痕迹 4) 减少特种刀具的使用，降低成本
缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1) 工件几何尺寸的限制，刀具无法切削到较深的型腔侧壁和底面 2) 采用较长的刀具铣削深的轮廓，加工质量和效率会受到影响 3) 进刀位置较多，增加了加工的时间且产生了明显的过渡接刀痕迹 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 较高的编程成本及碰撞危险 2) 由于五轴结构的补偿运动，加工时间常常被延长 3) 由于采用了更多的轴，运动误差可能会自行增加

1.3 五轴数控系统与编程方法概述

五轴数控系统是五轴数控机床运动与控制的核心部分。在我国市场上，五轴数控系统中，进口系统主要以西门子、海德汉、发格、哈斯等品牌为主，国产五轴数控系统主要以华中、广州数控、大连光洋、北京精雕等品牌为主。本书主要介绍市场上普及性最广的高档数控系统西门子 SINUMERIK 840D sl 系统，如图 1-16 所示。西门子 SINUMERIK 828D 系统也能实现五轴“3+2”控制，但是在联动轴方面，只能实现五轴四联动。



- 基于驱动的模块化的开放型数控系统
- 复合加工工艺数控系统
- 多达 93 根轴/主轴以及任意数量的 PLC 轴
- 多达 30 个加工通道
- 模块化面板设计
- 最大 19"彩色显示屏

图 1-16 西门子 SINUMERIK 840D sl 系统

1.3.1 高档五轴数控系统简介

目前先进的高档五轴数控系统一般采用最先进的多核处理器技术、基于驱动的高性能 NCU (数控单元)。以西门子 SINUMERIK 840D sl 为例,其系统高性能主要体现在以下方面:

- 1) 高度模块化,并配备数量极多的轴,可在最多 30 个加工通道中控制多达 93 根轴。
- 2) 5 轴模具加工中进行高速切削时的超高精度和动态加工性能。
- 3) 具有最佳的数控性能以及空前的灵活性和开放性。高度的系统开放性使机床制造商能够将控制系统的性能与机床工艺相融合,涵盖多种附加解决方案、产品和服务,如刀具和过程监控系统、测量系统以及远程服务和视频监控系统。
- 4) 系统的通用性。从五轴加工领域来说,更多的适用于车铣复合、五轴龙门、五轴激光加工、五轴 3D 打印、五轴工业机器人数控加工控制等工艺(图 1-17)。
- 5) 广泛的高精尖行业认可度,如应用于航空航天、船舶制造、医疗器械、模具加工等领域,既适合大批量生产也能满足单件小批量生产的要求。

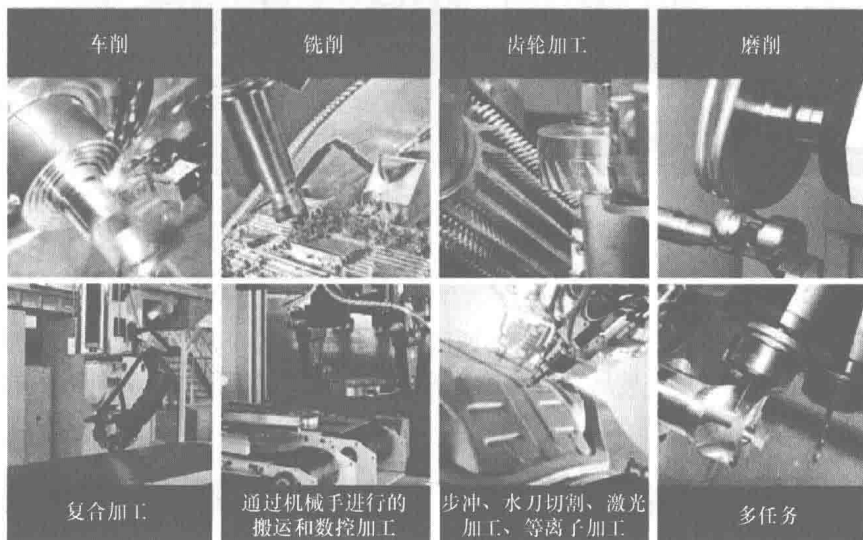


图 1-17 西门子 SINUMERIK 840D sl 五轴数控系统应用加工领域

1.3.2 五轴数控加工编程方式简介

(1) 五轴数控加工编程方式总体介绍 随着五轴加工技术的发展,针对不同的行业及产品类型,在不同的时期和不同的企业有不同的应用。各种编程方式对比见表 1-2。

表 1-2 各种编程方式对比

	特点
G 代码手工编程	一般通过 CAM 生成 G 代码,除极简单和老式五轴机,基本不适用于手工 G 代码
宏程序(参数编程)	对编程人员要求很高,需要熟练记忆代码,只适用于规则型面、少品种大批量零件编程
人机对话混合编程	对于大多数的规则空间箱体、轴类、结构件适用,不用另外购置 CAM 软件及建模,只要懂得工艺即可编程,编程结果可以通过系统 3D 零件仿真,程序量小,系统直接启动(人机对话混合编程由于含部分代码,不如工步编程直观、简便)
人机对话工步编程	
CAM 编程	适用于任何零件,尤其是曲面加工。但是对于软件后置处理(需熟悉数控系统五轴变换、刀具跟随、程序压缩等指令)对复杂零件装夹和实体的建模要求较高