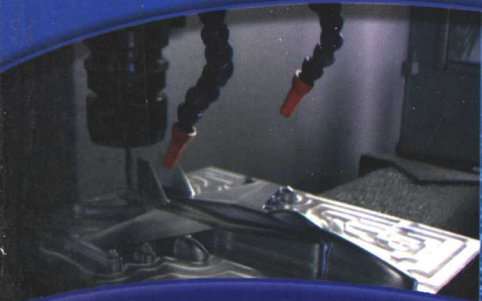
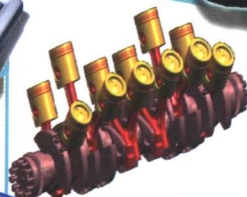


实用数控加工技术 应用与开发

王华侨 张颖 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TG659/217

2007

实用数控加工技术应用与开发

王华侨 张 颖 王德跃 费久灿 郭 玉
吴国君 王春艳 杨美银 王 东 陈 骞 编著

机械工业出版社

本书是编者在从事数控加工技术应用与开发实践多年经验的基础上,结合工程应用需求的条件,通过不断应用、总结与开发而积累编写的。本书在选材内容、实例分析方面都做了精心的编排,在突出一定理论深度的同时,兼顾数控加工技术应用的系统性和实用性。

本书主要介绍了数控机床及其发展趋势、数控机床设备改造与选型、CAD\CAM 软件基本功能与应用、数控加工工艺及其难点与措施、数控加工编程的理论基础、典型零件数控加工工艺与编程、数控编程后处理程序开发与应用、数控机床加工与仿真、数控程序管理与数控刀具应用、高效数控加工等方面的内容。

本书对于从事数控加工编程、数控技术应用与开发、数字化车间生产管理的科研人员、技能人员、企业管理人员可以提供较好的帮助指导作用。同时也可作为工程人员、成人教育、职业教育的培训教材及机电一体化、机械设计与制造、材料加工工程、数控技术、模具设计与制造等专业的本科生、研究生的应用教材。

图书在版编目(CIP)数据

实用数控加工技术应用与开发 / 王华侨等编著. —北京:机械工业出版社, 2007.8
ISBN 978-7-111-22252-1

I. 数... II. 王... III. 数控机床—加工 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 134992 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:张秀恩

责任印制:杨曦

三河市国英印务有限公司印刷

2007 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·25.25 印张·627 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-22252-1

定价:42.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线:(010)88379768

[Http://www.machineinfo.gov.cn/book/](http://www.machineinfo.gov.cn/book/)

封面无防伪标均为盗版

序

数控加工作为现代制造业的基础之一，在航空、航天、汽车、船舶、模具、石油、化工、电子等行业发挥了积极的作用，产生了巨大的经济效益。随着改革开放步伐的逐步深入，国内数控机床的研制开发整体水平也在不断得到提高，从近几年的北京国际机床展的情况可以明显看出，高档数控机床长期依赖国外进口的局面在逐渐改变。

“十一五”国家中长期发展规划，数控机床研制开发与应用作为国家重点的研究投入项目，其意义是非常深远的。从航空系统的“高速高效数控加工技术应用开发”、航天系统的“提高数控加工效能的关键技术应用研究”、国防科工委的“千台设备增效工程”等课题项目的研究方向和研究内容可以看出，国内数控加工技术应用与开发方面正处于一个蓬勃发展的时期。

数字化设计、制造、仿真与协同，数控技术与制造业信息化的应用研究等不仅对国防军工的发展产生了深远的影响，而且对整个机械、电子、石油化工、汽车等行业的发展起到了不可替代的作用。这些先进的设计制造技术在产品设计、制造加工、企业管理中的应用，极大地促进了产品设计、制造模式及企业协作模式的创新。

近几年国内汽车模具设计与制造水平的不断提高、航空航天的高速发展等在很大程度上与数控机床的软硬件开发、数控加工工艺与编程水平、数控技术应用的提高有着紧密的关系。数控加工工艺与编程对于提高产品生产效率、提高产品质量、缩短产品的研发周期、降低产品的制造成本、提升制造企业的经济效益起着至关重要的作用。

《实用数控加工技术应用与开发》一书的作者，是我院在数控加工技术应用与开发方面素养较高，并具有丰富实践经验的专业技术人员。该书理论联系实际，对数控设备选型、数控系统的应用、数控工艺研究、数控编程开发、高速切削加工、数控加工仿真、数控设备群控管理等方面的开发与应用进行了系统的介绍。对从事数控加工的技术人员、管理人员、技能人员等能提供有益的帮助。

我国正在实施振兴装备制造业战略，推进以企业为主体的技术创新体系建设。提高数控加工技术应用水平，是推动我国加工制造业振兴的一项基础工程，希望该书的出版能为这一基础工程的建设发挥积极作用，为振兴我国加工制造业做出贡献。

中国航天科工集团第九研究院院长：

冯志高

前 言

本书是编者在从事数控加工技术应用与开发实践多年经验的基础上,结合工程应用需求的条件,通过不断应用、总结与开发而积累编写的。本书在选材内容、实例分析方面都做了精心的编排,在突出一定理论深度的同时,兼顾数控加工技术应用的系统性和实用性。

本书共 8 章,分别从数控机床及其发展趋势、数控机床设备改造与选型、CAD/CAM 软件基本功能及其应用、数控加工工艺及其难点与措施、数控加工编程的理论基础、典型零件数控加工工艺与编程、数控编程后处理程序开发与应用、数控机床加工与运动学动力学仿真、数控程序管理与数控刀具应用、高效数控加工应用研究等方面进行了系统的介绍。

本书由王华侨、张颖组织编写,王建国、孙德茂主审。参加编写的人员还有王德跃、费久灿、郭玉、吴国君、王春艳、杨美银、王东、陈骞等。中国航天科工第九研究院红阳厂的工人技术专家李志喜、段振贵、赵建岳等人也为本书的出版提供了大量的一线资料。在此对所有的参与人员表示感谢。

本书是在中国航天科工集团第九研究院各级领导的关怀指导下完成出版的。在此对中国航天科工集团第九研究院的各级领导表示感谢。

本书在编写过程中,得到了中国航天科工集团第三研究院 159 厂、北京航空制造工程研究所(北京 625 所)、中国航空工业集团昌河飞机公司、中国航空工业集团洪都飞机制造公司、北京菲迪亚机电有限公司、北京新吉泰软件有限公司、上海安塔加机械有限公司、华中科技大学、北京航空航天大学、西门子 UGS 公司、达索系统集团公司等单位同仁的大力帮助和支持,对此表示深深的感谢。

本书对于从事数控加工编程、数控技术应用与开发、数字化车间生产管理的科研人员、技能人员、企业管理人员可以提供较好的帮助指导作用。同时也可作为工程人员、成人教育、职业教育的培训教材及机电一体化、机械设计与制造、材料加工工程、数控技术、模具设计与制造等专业的本科生、研究生的应用教材。

由于作者水平有限,对书中存在的错误和不足之处,表示歉意,恳请广大读者和专家批评指正。

作 者

2007 年 8 月

目 录

序

前言

第一章 数控机床及应用软件	1
第一节 数控机床发展趋势.....	1
第二节 常用五轴加工中心简介.....	2
一、五轴加工的优点.....	2
二、五轴机床的结构特点.....	4
三、五轴加工的难点.....	7
四、常见五轴机床结构与性能参数.....	8
第三节 数控系统的基本功能.....	14
一、数控系统的硬件组成.....	15
二、数控系统的软件.....	15
三、数控系统的功能.....	15
四、数控系统的发展.....	16
五、FIDIA C20X POWER 开放式数控系统具有的特殊功能.....	20
第四节 常用 CAD/CAM 软件介绍.....	21
第五节 数控设备的选型与改造.....	36
一、数控机床的选型.....	36
二、设备数控化改造.....	42
第六节 发动机缸体柔性生产线建设.....	45
一、曲轴加工工艺与制造技术发展趋势.....	47
二、发动机缸体生产线建设概述.....	48
三、某压铸铝合金发动机缸体生产线.....	50
问答题.....	57
第二章 数控加工工艺及其难点	58
第一节 数控加工的基本原理.....	58
一、数控铣削加工原理.....	58
二、数控车削加工原理.....	59
三、数控电加工原理.....	61
四、数控旋压加工原理.....	62
五、搅拌摩擦焊加工原理.....	64
六、激光切割技术.....	66
第二节 数控加工工艺难点及其解决措施.....	71
一、数控铣削加工工艺难点与措施.....	71

二、数控车削加工工艺难点与措施	74
三、数控电加工工艺难点与措施	75
四、数控旋压加工工艺难点与措施	79
五、搅拌摩擦焊加工工艺难点与措施	82
六、激光加工的工艺特点	85
第三节 常用材料铣削工艺参数推荐	86
一、铣削术语与通用公式	87
二、刀具与材料	87
三、常用航天材料的切削特点及工艺参数	87
问答题	91
第三章 数控加工编程理论基础	92
第一节 数控编程技术简介	92
一、数控编程的技术趋势	92
二、数控编程中的关键问题	93
第二节 数控编程模式	93
一、手工编程简介	93
二、CAD/CAM 自动编程	98
第三节 点位及二轴加工编程	99
一、点位加工	99
二、Mastercam 软件二维铣加工	99
三、Unigraphics/CAM 软件中的平面铣加工	102
第四节 三轴加工编程	104
一、Mastercam 三轴加工策略及其应用	104
二、UG 三轴加工策略及其应用	126
第五节 五轴加工编程	141
一、UG NX 五轴加工刀具策略	141
二、Mastercam 五轴加工刀具策略	147
三、五轴数控编程实例	149
第六节 典型 CAM 平台数控铣削加工编程功能对比	153
一、三轴铣削刀具轨迹及其仿真加工模拟	153
二、五轴数控铣削刀具轨迹设计	156
三、后处理程序开发模式	158
四、机床加工仿真模拟接口	159
问答题	162
第四章 典型零件数控加工工艺与编程	163
第一节 数控车削加工实例应用	163
一、数控车削加工概述	163
二、数控车削的固定循环	164
三、数控车削编程综合实例	165

第二节 车铣加工中心编程应用	173
一、设备简述	173
二、实例应用	174
第三节 电火花线切割锥度零件切割编程	175
一、大厚工件及锥度切割的加工要点	176
二、锥度数控加工编程方法	176
三、上下异形件切割编程实例	178
第四节 石墨件加工工艺与刀具轨迹设计	181
一、材料介绍	181
二、零件结构	182
三、主要加工难点	182
四、选择刀具	182
五、简介 Surfcam2002 平台铣削加工编程方法	182
六、走刀路线控制	184
第五节 某玻璃钢异形件的加工	184
一、概述	184
二、典型加工示例	186
第六节 吊块类零件加工刀具轨迹设计	188
一、产品介绍	188
二、加工难点	188
三、选择刀具	188
四、走刀路线	189
第七节 子程序和宏程序的应用	195
一、用户子程序应用	196
二、用户宏程序应用	199
第八节 X、B 或 X、C 联动加工环形件保证同轴度	201
一、零件工艺性分析	202
二、基于 Mastercam9.0 平台的编程	202
三、后置处理	203
四、加工程序	204
第九节 某铝合金回转框体的数控编程	204
一、框体结构	204
二、编程介绍	205
第十节 整体式叶轮五坐标联动铣削刀具轨迹设计	208
一、基于 UG 平台叶轮的五轴加工工艺	208
二、叶轮数控加工的主体思想	208
三、加工步骤	209
四、叶片粗加工	214
五、流道的精加工	216

六、叶片的精加工	216
七、后置处理与加工仿真	217
八、叶轮加工小结	218
第十一节 五坐标机床验收件刀具轨迹策略	219
第十二节 SMC 汽车覆盖件模具设计与数控编程	225
一、SMC 覆盖件模具结构设计	225
二、SMC 覆盖件模具数控加工编程	227
第十三节 某发动机气缸体工艺设计与编程	229
一、零件结构	230
二、工艺方案与流程	231
三、数控编程	233
第十四节 大型壳体五坐标加工工艺与刀具轨迹设计	234
一、大型壳体简介	234
二、五坐标加工的特点	235
三、五坐标加工工艺与刀具轨迹设计	235
第十五节 大型整体回转薄壁壳体角度铣头	238
一、整体回转薄壁壳体角度铣头加工工艺特点	238
二、角度铣头的特点	239
三、刀具轨迹的设计	239
问答题	242
第五章 后处理程序开发与应用	243
第一节 后处理程序介绍	243
一、后置处理程序的定义和原则	243
二、后处理的机床资料文件和刀位源文件	243
三、通用后置处理系统原理	244
第二节 MasterCAM 后处理	245
一、MasterCAM 软件包的后处理工作模式	245
二、MasterCAM 后置处理程序解析	245
三、后置处理程序的编制方法	246
四、主要难点的解决措施	247
五、MasterCAM 后处理模板的应用	252
第三节 基于 UGNX 的五坐标数控编程后处理程序开发与应用	255
一、基于 UGNX 的五坐标数控编程后处理程序开发	255
二、基于 UGNX/Postbuilder 后处理程序的开发	257
三、FIDIA KR214 五坐标后处理程序开发应用	260
四、五坐标编程后处理算法与程序实现	266
五、基于 Visual C++ 后处理算法程序设计实现	273
第四节 基于 IMSPost 的五坐标数控编程后处理程序开发与应用	283
一、Imspost 的基本功能与先进性介绍	284

问答题	293
第六章 数控机床加工仿真	294
第一节 VERICUT 机床仿真	294
一、VERICUT 软件概述	294
二、仿真构建	295
三、机床仿真系统构建实例	299
四、仿真系统的应用	308
五、与其他 CAD/CAM 软件的嵌套	313
六、VERICUT 仿真优点和仿真示意图	314
第二节 CIMCO Edit 简介	315
第三节 数控铣削加工动力学仿真	317
一、动力学仿真的目的	317
二、动力学仿真的技术原理	317
三、数控机床加工动力学特性测试分析系统	317
四、铣削加工动力学仿真系统	317
五、工程应用情况	320
问答题	320
第七章 程序管理与数控刀具	321
第一节 数控程序的管理	321
一、数控程序的编制与校对	321
二、数控程序的命名	322
三、数控程序的交接	322
四、数控程序的状态管理	322
第二节 数控程序管理系统的开发	324
一、数控程序管理系统的设计	324
二、系统的总体框架与主要功能模块组成	324
三、系统开发的难点与关键技术应用	327
四、系统开发流程	329
五、数控程序文档子系统管理主界面	329
第三节 数控加工编程与操作规范	329
一、数控加工编程规范	329
二、数控设备操作规范	331
第四节 数控程序验证	332
一、刀具轨迹显示法验证	332
二、实体加工验证	333
三、动态模拟仿真验证	333
四、实物试切验证	333
第五节 数控加工刀具	334
一、数控刀具与传统刀具比较	334

二、数控刀具的种类	335
三、数控加工对刀具材料的要求及数控刀具的主要材料种类	335
四、数控刀具结构发展	336
五、数控加工刀具的选择	337
第六节 高速铣削刀具	337
一、高速铣削刀柄	338
二、高速切削刀具材料	339
三、高速铣削刀具结构	341
第七节 数控铣削配套装置	341
一、刀具动平衡仪	341
二、热胀仪和对刀仪	343
问答题	344
第八章 高效数控加工	345
第一节 DNC 系统的开发与应用	345
一、DNC 系统的作用	345
二、DNC 系统设计	345
三、DNC 系统的应用	364
第二节 数控机床信息采集与监控	370
一、数控机床数据采集方案	371
二、生产数据实施采集和设备监控管理系统	376
第三节 数控程序的高效设计及其刀具轨迹的优化	378
一、高效编程的实现途径	378
二、刀具轨迹优化的途径	381
第四节 高效数控加工的实现途径与措施	383
一、实现高效数控加工的技术途径	383
二、数控加工的高效准备	387
三、数控加工管理科学化	391
四、数控人才的培养与技术交流	392
问答题	393
参考文献	394

第一章 数控机床及应用软件

本章主要内容:

1. 典型五坐标加工中心结构
2. 数控系统基本功能组成
3. 典型 CAD\CAM 软件功能
4. 数控机床选型与设备改造
5. 发动机核心部件制造工艺流程
6. 发动机缸体生产线建设模式

第一节 数控机床发展趋势

通过参加国际机床展览会可了解数控机床的发展趋势。中国国际机床展览会 (CIMT) 是中国最大的国际机床工具展览, 被国际工业界公认为与德国汉堡国际机床展、美国芝加哥国际机床展、日本东京国际机床展齐名的世界四大国际机床名展之一。自 1989 年起逢单年举办一届, 已连续成功举办了十一届。从刚刚结束的十一届北京国际机床展的发展趋势来看, 国内数控机床的研发制造整体水平有大幅度提高, 尤其是在五坐标加工中心、卧式双工作台铣削加工中心、大型数控立式卧式车床等方面表现很突出, 但是在高转速高精度数控机床方面, 与国外高档数控机床还存在一定差距。当今数控机床仍然是沿着高速、精密、多轴联动、复合化柔性加工方向发展。

1. 高速加工中心

目前加工中心主轴转速大多在 10000r/min 以上, 快速移动速度在 30~40m/min 左右, 换刀时间在 1.5~2s 左右。日本牧野铣床公司的 A55ε 高速卧式加工中心, 其主轴转速为 50~14000r/min, 快速移动速度为 50m/min (可选 X/Y84m/min、Z94m/min), 换刀时间为 0.9s, 刀库容量 29 把。大隈公司的 MA-650VB-R 立式加工中心, 其工作台 1630mm×660mm, 行程 1560mm×660mm×610mm, 主轴转速包括 8000r/min、12000r/min、25000r/min 等多种系列, 主轴功率达到 11kW, 快速移动速度达到 40m/min, 刀库容量 32 把, 数控系统为 OSP-U100M。

德国 Chiron 公司 FZ15KW 立式加工中心, 主轴转速为 20~12000r/min, 快速移动速度为 60m/min, 换刀时间为 0.9s。意大利 Parpas 集团的 PHS812 龙门式立式加工中心, 其主轴转速为 12000~24000r/min, 加速度 1g。瑞士 Mikron 公司的 HSM700 高速铣削中心, 主轴转速为 42000r/min, 主轴功率为 10kW, 快速移动速度为 40m/min。

2. 五轴联动机床

五轴加工中心包括德国 DMG 公司的 DMU70EVO 五轴联动万能镗铣加工中心; 德国 Hermle 公司的 C800U 五轴立式加工中心; 瑞士 Mikron 公司的 UCP600 五轴立式加工中心; 瑞士 Willemin 公司的 W-408S、W-418、W-428 五轴加工中心; 瑞典 Sajo 公司的 HMC40 五轴卧式加工中心; 日本新日本工机的 HPS120B 五轴高速卧式加工中心; 日本 MAZAK 公司

的 Integrex200Y 五轴车铣中心等。

3. 复合加工机床

复合加工机床包括美国哈挺公司的双主轴 Congest 65 twin 车削中心；德国 DMG 公司的 CTX400TWIN、WIN32 双主轴车削中心；日本村田公司的 MZ60G 平行双主轴数控六角车床；韩国大宇公司的 PUMA 2-50 2SP/GL 平行双主轴双刀塔数控车床等。

4. 高精密机床

如美国哈挺公司的精密数控车床；瑞士 Studer 公司和 Kellenberger 公司的高精度数控外圆磨床；瑞士 Voumard 公司内圆磨床；瑞士 DIXI 公司的精密卧式加工中心；美国 Moore 公司和瑞士 Hauser 公司的坐标磨床；瑞士 Agie 公司的精密电火花线切割机等。

第二节 常用五轴加工中心简介

加工质量和工效充分满足产品生产的要求是制造技术发展的永恒主题。迄今为止，所有制造技术的研发、改进和创新，无一不是直接或间接地在此主题的驱动下进行的，五轴加工机床的产生、应用和发展也不例外。它既是为了加工某些具有特殊要求的复杂形面的大型工件而出现的，也是为了提高对这些形面的加工精度、质量和工效才得到应用和发展的。

一、五轴加工的优点

所谓五轴加工就是指在一台机床上至少有五个坐标轴（三个直线坐标和两个旋转坐标），而且可在计算机数控（CNC）系统的控制下同时协调运动进行加工。这样的五轴联动数控加工与一般的三轴联动数控加工相比，主要有以下优点：

1) 可以加工一般三轴数控机床所不能加工或很难一次装夹完成加工的连续、平滑的自由曲面。如航空发动机和汽轮机的叶片，舰艇用的螺旋推进器，以及许许多多具有特殊曲面和复杂型腔、孔位的壳体和模具等，如用普通三轴数控机床加工，由于其刀具相对于工件的位姿角在加工过程中不能变，加工某些复杂自由曲面时，就有可能产生干涉或欠加工。而用五轴联动的机床加工时，则由于刀具/工件的位姿角在加工过程中随时可调整，就可以避免刀具与工件的干涉，并能一次装夹完成全部加工。

2) 可以提高空间自由曲面的加工精度、质量和效率。例如，三轴机床加工复杂曲面时，多采用球头铣刀，球头铣刀是以点接触成形，切削效率低，刀具/工件位姿角在加工过程中不能调整，一般就很难保证用球头铣刀上的最佳切削点（即球头上线速度最高点）进行切削，而且有可能出现切削点落在球头刀上线速度等于零的旋转中心线上的情况。如采用五轴机床加工，由于刀具/工件位姿角随时可调整，可以时时充分利用刀具的最佳切削点来进行切削，或用线接触成形的螺旋立铣刀来代替点接触成形的球头铣刀，从而获得更高的切削速度、切削线宽，即获得更高的切削效率和更好的加工表面质量。

3) 符合于工件一次装夹便可完成全部或大部分加工的机床发展方向。因为随着科技的发展和人们物质生活水平的提高，人们对产品的性能、质量要求也更高，形式更多样化和个性化。为了进一步提高产品的性能和质量，现代产品，不仅是航空、航天产品和运载工具（如汽车、船、舰等），而且也包括精密仪器、仪表，医疗、运动器械等产品的零件，都愈来愈多地采用由整体材料铣削而成，而且其上还包含有许多各种各样的复杂曲面和斜孔、斜面等。这些零件，如用传统机床或三轴数控机床来加工，必须用多台机床，经过多次定位安装才能

完成。这样不仅设备投资大，占用生产面积多，生产加工周期长，而且精度、质量还难于保证。为了解决这些问题，就要发展能集中工序进行高精、高效和复合加工的机床，以期能实现工件一次装夹便可完成全部或大部分加工。这已成为当今机床发展的大趋势，而配备高速加工能力的五轴机床，完全符合这一发展趋势的要求，而且还可能是最佳的方案选择。因为它不仅具有现代生产加工设备所要求具有的主要功能，而且一台五轴机床的工效约相当于两台三轴加工机床，甚至可以省去更多机床。

五坐标机床以其工装投资小、加工效率高、产品质量好、多功能复合化加工等优点，在航空航天、汽车模具等行业应用越来越广泛，其加工的典型产品对象如图 1-1 所示。由于五坐标机床的类型多样，其功能价格相差较大，且其相关的软硬件配套条件，如高速刀柄刀具、热缩式刀柄加热仪、激光对刀仪、编程仿真软件投资也较大，同时由于五坐标机床的成本相对三轴铣削加工中心要高，因此五坐标机床没有三坐标机床应用普遍。图 1-2 为基于 NASA 的五坐标机床验收标准零件。

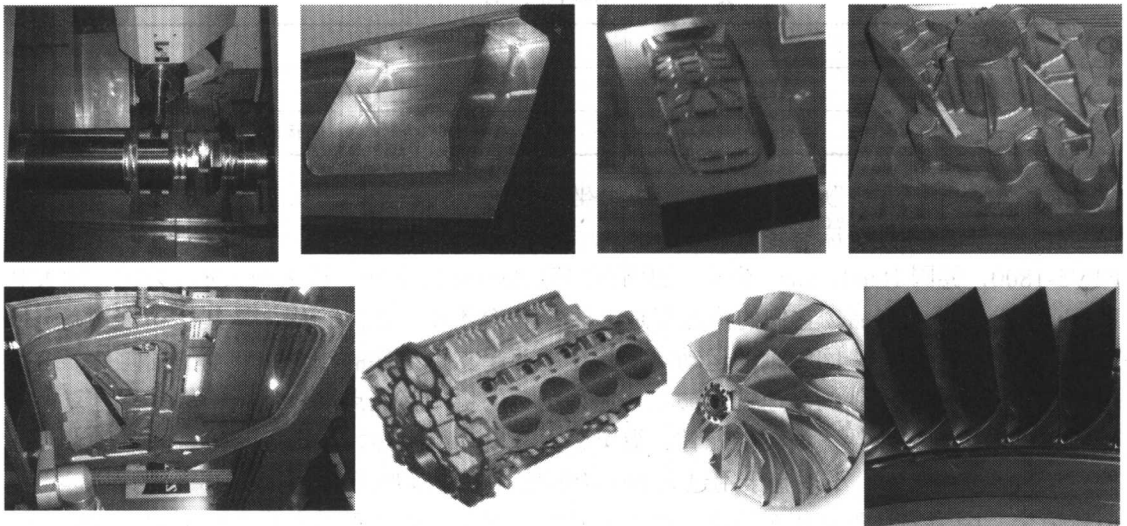


图 1-1 典型的五坐标机床加工产品对象

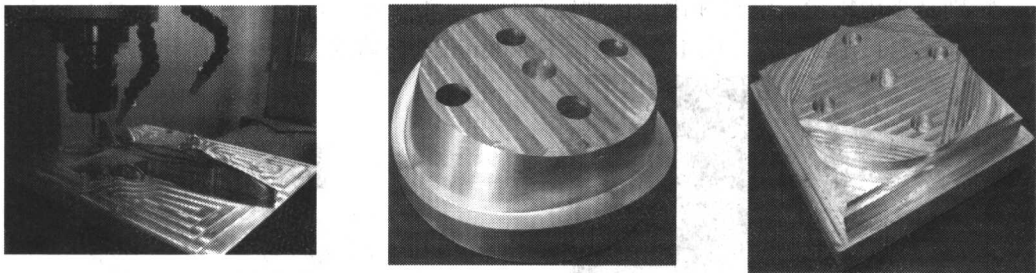


图 1-2 基于 NASA 的五坐标机床验收标准零件

数控高速切削制造技术促进了机械冷加工制造业的飞速发展，革新了产品设计概念，如通过采用整体件加工取代零部件的分项制造装配，提高了加工效率和产品质量，缩短了产品制造周期。高速切削加速了汽车、模具、航空、航天、光学、精密机械等产品的更新换代，加速了制造技术与装备的升级，推动了企业技术进步。但目前国内存在相当一部分高速机床

因各方面的原因并没有达到理想的效果,如刀具配置跟不上而低速使用,高速电主轴因长期受重载荷或使用不当造成寿命低下,企业高速切削工艺参数库及 CAD/CAM 高速编程软件包造成高速切削应用得不是很好,高速切削工艺流程与传统的工艺流程没有有机结合,没有充分发挥高速切削加工变形小、加工效率高、定位装夹少的优势。

二、五轴机床的结构特点

五轴加工机床与一般机床的最大区别在于它除了具有通常机床的三个直线坐标轴外,还有至少 2 个旋转坐标轴,而且可以五轴联动加工。

五轴加工机床之间的区别,除了有立式、卧式之分外,其主要区别还在于它们实现五轴运动的结构形式和五个运动的分配上。一般而言,五轴机床有三种结构形式和三种运动配置方式,这两者的组合,就可以得到有 9 种可能的五轴机床的结构类型。表 1-1 分别用 A_{ij} 来代表各种不同的结构类型。

表 1-1 机床各种不同的结构类型

配置方式		1	2	3
i	结构形式	串联结构	并联结构	串并混联结构
j	运动配置	运动全在刀具侧	运动全在工件侧	运动分配在刀具和工件侧

A11 型是传统的串联结构的机床,五个坐标运动(X、Y、Z、A、C)全部集中在刀具一侧来完成,其代表性机床有意大利 FIDIA 公司生产的 KR214、K211,美国 Cincinnati 公司的 FTV5-1800,德国 Handtmann 公司、德国西门迈 Zernman 公司、意大利 JOBS 公司、意大利 Rambodi 公司等的产品。它们的特点都是工件/工作台不动,机床行程大,其运动方式完全依赖于机床自身线性轴、回转轴的运动,工作台主要起支撑工件的重量和切削的轴向力,这类机床非常适合大型零件的高速铣削加工。这种结构的机床其优点比较适合加工具有复杂形面的大型、重型壳体件,如飞机龙骨、翼梁、大型发动机壳体、汽车模具等。缺点是运动部件质量大,惯性力大,不适宜于用过高的进给速度和加速度加工。不过运动部件的质量虽大,但较恒定,因为刀具重量相对较小,改变刀具时,对运动部件重量变化影响不大,故机床的运动特性还是比较稳定的。另一缺点是带 A、C 轴功能的主轴头部件设计和制造要求高、难度大。特别是采用蜗轮、蜗杆和齿轮传动结构时,主轴头体积较大。图 1-3 是意大利 FIDIA 公司生产的 K211 五轴机床,图 1-4 为德国 Handtmann 公司的龙门移动式五轴数控铣床。

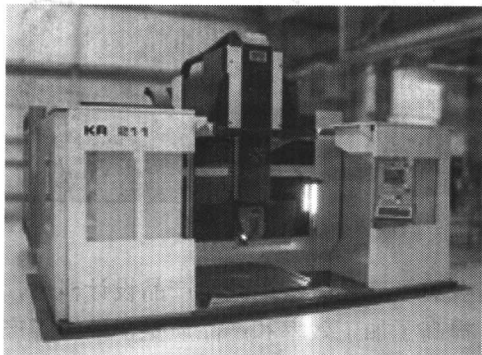


图 1-3 FIDIA 公司生产的 K211 五轴机床

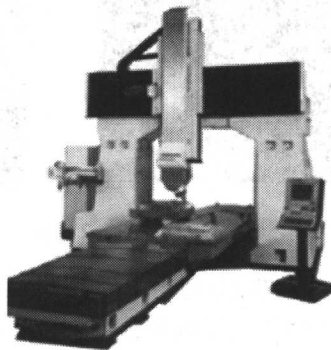


图 1-4 德国 Handtmann 公司的龙门移动式五轴数控铣床

A12 型也是传统串联结构的机床,但五个坐标运动均集中在工件一侧来完成。一种简单可行的实施方案是在一台三轴数控的升降台立式铣床上再装上一个数控回转工作台,工件装在回转工作台上完成四轴运动(尚不是五轴加工),主轴头则可以固定不动。

A13 型也是传统串联结构的机床,但五个坐标运动分别配置在刀具一侧和工件一侧来完成。这种结构形式的机床产品很多,应用也最广。在 A13 型中,又可按两个转动坐标轴的配置方式进一步分为三种结构形式的机床。第一种除工件一侧至少有一个移动坐标轴外,两个转动坐标轴均由刀具一侧的复合主轴头来实现,这主要为大、重型机床所采用,比如工作台移动式五轴联动的龙门铣床或加工中心。第二种是两个转动坐标轴分别由主轴头摆动和工作台回转来实现,此种形式工作台能承受较大重量且可以采用标准交换工作台,而主轴头结构又比第一种简单,现多为中型五轴加工机床所采用(图 1-5)。第三种两个回转坐标轴都在工作台一侧,大多是在原三轴控制机床基础上配备数控摆动、回转工作台发展而成,是中、小型五轴加工机床采用较多的一种结构形式,其缺点是工作台成为刚度相对薄弱的环节,特别是在需要工作台有较高的转动进给速度和加速度时,所承受的工作重量受到一定限制。图 1-6 为瑞士 Mikron 公司五轴联动高速铣削加工中心 HSM400U。



图 1-5 五轴加工中心 W-418

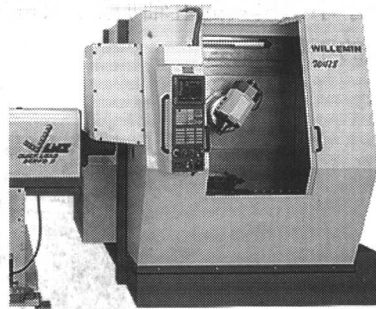


图 1-6 五轴联动高速铣削加工中心 HSM400U

A21 型的典型结构是以 Stewart 平台结构原理为基础的并联机床。一般刀具主轴安装在 Stewart 结构的活动平台上,并通过 6 根可控的伸缩杆来控制刀具的空间位姿并完成五轴运动,工件则安装在固定的底座平台上不动。A21 型的代表性产品如美国 G & L 公司的 VARIAX 新概念机床、俄罗斯的 KUM-750 精密加工中心。图 1-7 为日本大隈公司带 APC 和 ATC 的 PM-600 并联式五轴加工中心。并联结构机床与传统(串联结构)机床相比,其主要的优点是:

1) 运动部件质量轻,运动惯性小,更有利于实现高速度和高加速度的加工。

2) 主轴部件具有重复性、通用性高,适于专业化生产。

3) 比刚度高,且容易通过预加载荷来提高机床的综



图 1-7 日本大隈并联式机床 PM-600

合刚度。

4) 理论精度较高,一般加工误差不会大于6根伸缩杆运动误差的平均值,不像串联结构的机床那样,各轴运动误差有可能被累积和放大。

但并联结构机床也存在一些固有的缺点:

1) 有效空间比较小,而且可加工空间呈非规则形,并随杆长和位姿角变化。

2) 因受球铰和虎克铰链转角的制约, Stewart 平台所能倾斜的角度(即刀具的位姿角)较小,一般只有 $\pm 40^\circ$ 左右(常用为 $\pm 30^\circ$ 以下),从而影响了可加工的范围。

3) 运动和编程较复杂,而且简单的直线运动也要6根杆联合运动来实现。

4) 存在非线性误差和奇异性问题,当加工在极限位置上进行时,由于微小的振动误差就有可能导致奇异性出现,即导致旋转轴的 180° 翻转,这种情况非常危险。

A21 型结构机床不仅可用于实现中小型复杂零件的加工,如换上不同的相应工具后,也可作测量机、切割机、焊接机等工艺设备用。

A22 型的基本结构与 A21 同,只是 Stewart 平台被倒置,其动平台作为机床工作台,工件装在其上完成五个坐标运动,而刀具主轴头则被固定在铣床的立柱上不动,图 1-8 所示的美国 Hexel 公司生产的 P2000 型铣床就是 A22 型结构机床的代表性产品。这种结构配置的机床主要适用于小型模具的五轴加工,如零件重量变化大,即运动部件质量变化大,会造成机床运动特性的不稳定。

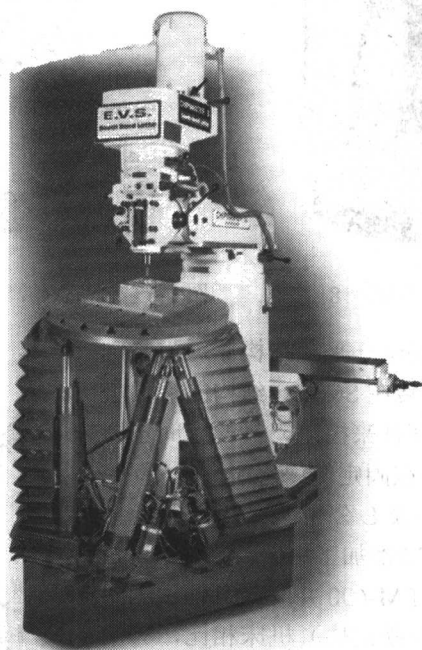


图 1-8 美国 Hexel 公司的 P2000 型五轴加工铣床

A31 型混联机床的三个移动坐标轴由并联机构实现,两个转动坐标轴则由其动平台下串联的主轴头来完成,五个坐标轴均在刀具一侧,大连机床集团与清华大学合作开发了此种混联机床 DCB510(图 1-9)。此外,天津大学和天津第一机床厂联合开发的 Linapod 机床便可归入 A33 型,它的三个移动坐标轴仍由刀具一侧的并联机构实现,转动坐标轴现使用数控回