

丛书主编

王爱玲

# 现代数控

## 机床故障诊断及维修

(第4版)

李梦群 马维金 杨福合 刘丽娟 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

现代数控技术系列(第4版)

# 现代数控机床 故障诊断及维修

(第4版)

李梦群 马维金 杨福合 刘丽娟 编 著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书从数控系统、伺服系统以及常见的机械结构、功能部件的原理分析入手,深入浅出地阐明了数控机床故障诊断的理论依据;重点论述了数控机床的工况监测与故障诊断技术是实现机械制造过程自动化的重要技术保证;全面系统阐述了故障诊断的基本方法和步骤;并通过精选实例,详细具体地介绍了故障分析与处理过程。力图做到理论密切联系实际、先进性与系统性相结合、实用性与技术性相结合。

全书共分 11 章,内容包括数控机床故障诊断及维修的方法、数控系统的故障诊断、伺服系统的故障诊断及维修、PLC 模块的故障诊断、数控机床机械结构的故障诊断及维修、数控机床切削加工过程状态监测及故障诊断、常用故障检测及诊断仪器仪表、数控机床故障诊断及维修实例、故障信号分析与处理基础、数控机床故障诊断技术最新进展等。

本书可以作为高等院校相关专业的教材、参考书,也可以作为数控技术研究单位、企业单位相关技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代数控机床故障诊断及维修/李梦群等编著. —4  
版. —北京:国防工业出版社,2016.4  
(现代数控技术系列/王爱玲主编)  
ISBN 978-7-118-10633-6

I. ①现... II. ①李... III. ①数控机床-故障诊断②数控机床-维修 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 047150 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 26 字数 592 千字

2016 年 4 月第 4 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777  
发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776  
发行业务:(010)88540717

## “现代数控技术系列”(第4版)编委会

主 编 王爱玲

副主编 张吉堂 王 彪 王俊元

李梦群 沈兴全 武文革

编 委 (按姓氏笔画排序)

马维金 马清艳 王 彪 王俊元 王爱玲

刘丽娟 刘中柱 刘永姜 成云平 李 清

李梦群 杨福合 辛志杰 沈兴全 张吉堂

张纪平 陆春月 武文革 周进节 赵丽琴

段能全 梅林玉 梁晶晶 彭彬彬 曾志强

蓝海根

## “现代数控技术系列”(第4版)总序

中北大学数控团队近期完成了“现代数控技术系列”(第4版)的修订工作,分六个分册:《现代数控原理及控制系统》《现代数控编程技术及应用》《现代数控机床》《现代数控机床伺服及检测技术》《现代数控机床故障诊断及维修》《现代数控加工工艺及操作技术》。该系列书2001年1月初版,2005年1月再版,2009年3月第3版,系列累计发行超过15万册,是国防工业出版社的品牌图书(其中,《现代数控机床伺服及检测技术》被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材;《现代数控原理及控制系统》还被指定为博士生入学考试参考用书)。国内四五十所高等院校将系列作为相关专业本科生或研究生教材,企业从事数控技术的科技人员也将该系列作为常备的参考书,广大读者给予很高的评价。同时本系列也取得了较好的经济效益和社会效益,为我国飞速发展的数控事业做出了相当大的贡献。

根据读者的反馈及收集到的大量宝贵意见,在第4版的修订过程中,对本系列书籍(教材)进行了较大幅度的增、删和修改,主要体现在以下几个方面:

(1) 传承数控团队打造“机床数控技术”国家精品课程和国家精品网上资源共享课程时一贯坚持的“新”“精”“系”“用”要求(及时更新知识点、精选内容及参考资料、保持现代数控技术系列完整性、体现教材的科学性和实用价值)。

(2) 通过修订,重新确定各分册具体内容,对重复部分进行了协调删减。对必须有的内容,以一个分册为主,详细叙述;其他分册为保持全书内容完整性,可简略介绍或指明参考书名。

(3) 本次修订比例各分册不太一样,大致在30%~60%之间。

变更最大的是以前系列版本中《现代数控机床实用操作技术》,由于其与系列其他各本内容不够配套,第4版修订时重新编写成为《现代数控加工工艺及操作技术》。

《现代数控原理及控制系统》除对各章内容进行不同程度的更新外,特别增加了一章目前广泛应用的“工业机器人控制”。

《现代数控编程技术及应用》整合了与《现代数控机床》重复的内容,删除了陈旧的知识,增添了数控编程实例,还特别增加一章“数控宏程序编制”。

《现代数控机床》对各章节内容进行更新和优化,特别新增加了数控机床的人机工程学设计、数控机床总体设计方案的评价与选择等内容。

《现代数控机床伺服及检测技术》更新了伺服系统发展趋势的内容,增加了智能功率模块、伺服系统的动态特性、无刷直流电动机、全数字式交流伺服系统、电液伺服系统等内容,并对全书的内容进行了优化。

《现代数控机床故障诊断及维修》对原有内容进行了充实、精炼,对原有的体系结构进行了更新,增加了大量新颖的实例,修订比例达到60%以上。第9章及第11章5、6节全部内容是新增加重新编写的。

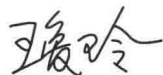
(4) 为进一步提升系列书的质量、有利于团队的发展,对参加编著的人员进行了调整。给学者们提供了一个新的平台,让他们有机会将自己在本学科的创新成果推广和应用到实践中去。具体内容见各分册详述及引言部分的介绍。

(5) 为满足广大读者,特别是高校教师需要,本次修订时,各分册将配套推出相关内容多媒体课件供大家参考、与大家交流,以达到共同提高的目的。

中北大学数控团队老、中、青成员均为第一线教师及实训人员,部分有企业工作经历,这是一支精诚团结、奋发向上、注重实践、甘愿奉献的队伍。一直以来坚守着信念:热爱我们的教育事业,为实现我国成为制造强国的梦想,为我国飞速发展的数控技术多培养出合格的人才。

从20世纪80年代王爱玲为本科生讲授“机床数控技术”开始,团队成员在制造自动化相关的科技攻关及数控专业教学方面获得了20多项国家级、省部级奖项。为适应培养数控人才的需求,团队特别重视教材建设,至今已编著出版了50多部数控技术相关教材、著作,内容涵盖了数控理论、数控技术、数控职业教育、数控操作实训及数控概论介绍等各个层面,逐步完善了数控技术教材系列化建设。

希望本次修订的“现代数控技术系列”(第4版)带给大家更多实用的知识,同时也希望得到更多读者的批评指正。



2015年8月

## 第 4 版引言

数控技术的广泛应用给机械制造业的生产方式、产业结构、管理方式带来深刻的变化,其关联效益和辐射能力更是难以估计。数控技术和数控装备水平的高低是衡量一个国家制造业现代化的核心标志。实现加工机床和生产过程的数控化,已经成为当今制造业的发展方向。

数控机床故障诊断及维修技术的发展不仅可以保证设备正常运行,对数控技术的发展也起到了巨大的推动作用。反过来,数控设备的先进性、复杂性和智能化的特点,也使数控机床在故障诊断与维修理论、技术和手段上都发生了深刻的变化。

本书是在国防工业出版社出版的《现代数控机床故障诊断及维修》(2001年第1版,2005年第2版,2009年第3版)基础上进行的修订。本次修订对原有内容进行了充实、精炼,对原有的体系结构进行了更新,增加了大量新颖的实例,修订比例达到60%以上。具体来说:原书1.1~1.4节内容重新编写,新增数控机床及数控技术的发展,数控机床维修人员的要求,构成新版第1章;原书1.5,1.6节,新增故障现场调查知识、故障诊断原则、排除故障并逐级上电调试的过程、制作维修记录与维修实例、数控机床的安装调试以及维护保养等一系列新的内容构成新版第2章;原书第2章内容改编成新版第10章;第3章新增了华中数控与广州数控等主流国产数控系统简介,并对典型数控系统的基本配置与连接进行说明,新增数控系统的参数与调试,介绍数控系统机床数据与参数的结构、存储及其重要性,以典型系统为例,介绍了数据备份与恢复的方法,以FANUC系统为例讲解数控系统调试的步骤;第4章新增了4.5节实例分析,引入伺服系统的15个故障诊断及维修实例,从故障现象、故障设备以及故障检查与分析三个方面进行介绍;第5章新增了华中数控与广州数控的PLC监控方法,重点介绍了开关量状态监控和梯形图在线监控的方法和步骤;第6章增加了栅格法返回基准点控制原理;第7章新增刀具磨损状态的图像检测技术;第8章删除存储测试仪,将短路故障追踪仪、激光干涉仪、球杆仪合并为其他数控诊断仪器;第9章编写体系变更,按不同类型机床重新编写,增加了大量新颖的实例;第11章新增基于信息融合技术的数控机床故障诊断及维修技术、基于支持推理机的数控机床故障诊断及维修技术。全书力图做到理论联系实际,先进性与系统性紧密结合。

本书由中北大学李梦群、马维金任主编,杨福合、刘丽娟任副主编。第1章、第6章、第7章、第8章由马维金编写,第2章、第4章由刘丽娟编写,第3章、第5章由杨福合编写,第9章、第10章、第11章由李梦群编写。本书是编写成员精诚合作的结晶,全书由王爱玲教授统一定稿。

在编写过程中,编者参考了诸多论文、著作和教材,在此对各位作者深表谢意。

限于编者的水平,书中难免有不足和疏漏之处,殷切期望各位读者批评指正。

编著者

2015年9月



# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数控机床概述	1
1.1.1 数控机床的定义	1
1.1.2 数控机床的组成	2
1.2 数控机床的加工过程	3
1.3 数控机床及数控技术的发展	5
1.4 数控机床故障诊断与维修的目的和意义	5
1.4.1 数控机床故障诊断与维修的意义	5
1.4.2 数控机床故障诊断与维修的目的	6
1.5 数控机床故障诊断的研究对象与故障分类	7
1.5.1 数控机床故障诊断的研究对象	7
1.5.2 数控机床故障的特点	7
1.5.3 数控机床故障的分类	8
1.6 数控机床维修人员的要求	9
第 2 章 数控机床故障诊断与维修的方法	11
2.1 数控机床的故障诊断步骤及故障现场调查	11
2.1.1 故障诊断步骤	11
2.1.2 故障现场调查	12
2.2 数控机床故障诊断的原则与方法	14
2.2.1 故障诊断原则	14
2.2.2 故障诊断方法	15
2.3 排除故障并逐级上电调试	19
2.3.1 数控系统硬件更换	19
2.3.2 逐级检查并上电	21
2.4 制作维修记录	21
2.4.1 制作维修记录的优点	21
2.4.2 制作维修记录的方法	22
2.5 维修实例	22

2.6	数控机床的安装调试 .....	25
2.6.1	安装环境要求 .....	25
2.6.2	数控机床的安装 .....	25
2.6.3	数控机床的调试 .....	29
2.7	数控机床的维护保养 .....	30
2.7.1	概述 .....	30
2.7.2	数控机床的日常维护及保养 .....	33
2.7.3	数控机床长期不使用时的维护及保养 .....	35
<b>第3章</b>	<b>数控系统故障诊断 .....</b>	<b>36</b>
3.1	数控系统概述 .....	36
3.1.1	数控系统的组成 .....	36
3.1.2	数控系统的工作过程 .....	38
3.1.3	数控系统的功能 .....	39
3.1.4	CNC 系统的硬件结构 .....	41
3.1.5	CNC 系统的软件结构 .....	43
3.2	典型数控系统简介 .....	45
3.2.1	FANUC 数控系统 .....	45
3.2.2	SIEMENS 数控系统的基本配置 .....	55
3.2.3	华中数控系统 .....	60
3.2.4	广州数控系统 .....	63
3.3	数控系统的参数与调试 .....	68
3.3.1	数控系统的参数 .....	68
3.3.2	数控系统的调试 .....	70
3.4	数控系统故障诊断技术与实例 .....	72
3.4.1	数控系统硬件故障诊断 .....	72
3.4.2	数控系统软件故障原因与排除方法 .....	75
3.4.3	数控系统自诊断技术的应用 .....	76
3.4.4	利用机床参数来维修系统 .....	79
<b>第4章</b>	<b>伺服系统的故障诊断与维修 .....</b>	<b>82</b>
4.1	伺服系统概述 .....	82
4.1.1	伺服系统概念及其作用 .....	82
4.1.2	伺服系统的组成与工作原理 .....	82
4.2	主轴驱动系统故障及诊断 .....	84
4.2.1	常用主轴驱动系统介绍 .....	85
4.2.2	主轴伺服系统的故障形式及诊断方法 .....	86

4.2.3	直流主轴驱动故障诊断	87
4.2.4	交流主轴驱动故障诊断	91
4.3	进给伺服系统故障及诊断	99
4.3.1	常见进给驱动系统及其结构形式	100
4.3.2	进给伺服系统的故障形式及诊断方法	103
4.3.3	进给驱动的故障诊断	107
4.3.4	进给伺服电机的维护	116
4.4	位置检测装置故障及诊断	118
4.4.1	常用检测装置的维护	119
4.4.2	检测装置故障的常见形式及诊断方法	121
4.4.3	检测装置故障的诊断与排除	122
4.5	实例分析	125
<b>第5章</b>	<b>PLC 模块的故障诊断</b>	<b>132</b>
5.1	概述	132
5.1.1	数控机床中 PLC 的形式	132
5.1.2	PLC 与外部信息的交换	133
5.1.3	数控机床 PLC 的功能	134
5.2	PLC 在数控机床中的应用实例	134
5.2.1	数控机床工作状态开关 PMC 控制	134
5.2.2	数控机床加工程序功能开关 PMC 控制	137
5.2.3	数控机床倍率开关 PMC 控制	141
5.2.4	数控机床润滑系统 PMC 控制	143
5.2.5	数控车床自动换刀 PMC 控制	145
5.2.6	数控机床辅助功能代码(M 代码)PMC 控制	148
5.3	常用数控系统的 PLC 状态的监控方法	151
5.3.1	西门子系统的 PLC 状态显示功能	151
5.3.2	FANUC 系统的 PMC 状态监控	154
5.3.3	华中数控 PLC 状态监控	157
5.3.4	广州数控 PLC 状态监控	160
5.4	PLC 控制模块的故障诊断	162
5.4.1	PLC 故障的表现形式	162
5.4.2	PLC 控制模块的故障诊断方法与实例	162
<b>第6章</b>	<b>数控机床机械结构的故障诊断及维修</b>	<b>170</b>
6.1	机械故障的类型及诊断方法	170
6.1.1	机械故障的类型	170

6.1.2	机械故障的诊断方法 .....	171
6.2	数控机床的启、停运动故障 .....	172
6.2.1	主轴不能启动 .....	172
6.2.2	机床启动后出现失控现象 .....	172
6.2.3	机床出现“死机”而不能动作 .....	173
6.2.4	机床返回基准点故障 .....	173
6.3	主轴部件故障诊断与维修 .....	175
6.3.1	主轴部件的维护特点 .....	175
6.3.2	主传动链的故障诊断 .....	177
6.4	进给传动系统的故障诊断与维修 .....	185
6.4.1	滚珠丝杠螺母副的故障及维护 .....	185
6.4.2	进给传动系统的常见故障类型及诊断方法 .....	186
6.4.3	进给传动系统常见故障的报警形式 .....	188
6.4.4	进给传动系统故障实例 .....	191
6.5	导轨副的故障及维护 .....	192
6.6	ATC 及 APC 系统的故障诊断与维修 .....	193
6.6.1	刀库及换刀机械手(ATC)的维护 .....	194
6.6.2	刀库的故障 .....	194
6.6.3	换刀机械手的故障 .....	195
6.6.4	工作台自动交换装置的故障诊断 .....	197
6.7	液压与气动系统的故障诊断与维修 .....	198
6.7.1	液压传动系统的原理与维护 .....	198
6.7.2	液压传动系统的故障诊断及排除 .....	200
6.7.3	气动系统的原理与维护 .....	203
6.8	数控机床润滑系统的故障诊断 .....	205
6.8.1	数控机床润滑系统的故障分析 .....	205
6.8.2	润滑系统的故障诊断 .....	207
6.9	数控机床机械故障的综合诊断与实例 .....	208
6.9.1	机械故障的综合诊断 .....	208
6.9.2	故障实例的综合分析 .....	209
6.10	数控机床运动质量特性故障诊断 .....	215
6.10.1	位置偏差过大 .....	215
6.10.2	零件的加工精度差 .....	216
6.10.3	两轴联动铣削圆周时圆度超差 .....	216
6.10.4	机床运动时超调引起的精度不良 .....	216
6.10.5	故障分析实例 .....	216

第 7 章	数控机床切削加工过程状态监测与故障诊断	219
7.1	机床加工过程状态监测与故障诊断的内容及待研究的问题	219
7.1.1	监测与诊断的特点	219
7.1.2	监测与诊断的内容	220
7.1.3	待研究的问题	221
7.1.4	切削过程工况监控系统	222
7.2	切削过程刀具磨损与破损的在线监测与诊断	223
7.2.1	切削过程中发生的物理现象及刀具监控原理	223
7.2.2	刀具磨破损在线自动检测	224
7.2.3	刀具寿命管理监视系统	224
7.2.4	切削过程刀具磨损与破损的振动监测法	225
7.2.5	刀具磨损与破损的主电机功率或电流监测法	232
7.2.6	刀具磨破损的声发射监控法	233
7.2.7	刀具磨破损检测技术的综合应用	236
7.3	切削颤振的在线监控	238
7.3.1	特征信号的选择	238
7.3.2	切削颤振的统计特征	239
7.3.3	颤振的频域特征分析	239
7.4	切屑状态的在线监控	240
7.4.1	概述	240
7.4.2	信号采集及预处理	241
7.4.3	切屑折断频率 $f_c$ 的计算方法	241
7.4.4	切屑折断状态的频域特征分析	242
7.4.5	切屑状态的统计特性	243
7.5	刀具磨损状态的图像检测技术	244
7.5.1	概述	244
7.5.2	图像检测技术基本原理	244
7.5.3	刀具磨损状态的图像检测系统	245
第 8 章	常用故障检测及诊断仪器仪表	248
8.1	万用表	248
8.2	示波器	248
8.2.1	示波器的选择	248
8.2.2	示波器的使用	250
8.3	逻辑测试笔	251
8.3.1	逻辑测试笔的功能	251

8.3.2	逻辑测试笔的使用 .....	251
8.3.3	逻辑测试笔的选择 .....	253
8.4	逻辑分析仪 .....	254
8.4.1	逻辑分析仪的特点 .....	254
8.4.2	逻辑分析仪的结构原理 .....	255
8.4.3	逻辑分析仪的触发方式和显示方式 .....	257
8.4.4	逻辑分析仪的使用 .....	257
8.5	集成电路测试仪 .....	259
8.5.1	概述 .....	259
8.5.2	集成电路测试仪的结构原理 .....	260
8.5.3	集成电路测试仪的功能 .....	261
8.5.4	集成电路测试仪的使用 .....	261
8.6	特征代码分析仪 .....	263
8.6.1	特征代码分析仪的结构原理 .....	263
8.6.2	特征代码分析仪的使用 .....	265
8.7	其他数控诊断仪器 .....	266
<b>第9章</b>	<b>数控机床故障诊断与维修实例 .....</b>	<b>267</b>
9.1	数控车床故障诊断与维修实例 .....	267
9.1.1	CNC 系统 .....	267
9.1.2	伺服系统 .....	270
9.1.3	主轴系统 .....	273
9.1.4	刀架系统 .....	277
9.1.5	尺寸与外设 .....	281
9.2	数控铣床故障诊断与维修实例 .....	283
9.2.1	CNC 系统 .....	283
9.2.2	伺服系统 .....	285
9.2.3	主轴系统 .....	290
9.2.4	辅助部件 .....	292
9.3	加工中心故障诊断与维修实例 .....	294
9.3.1	CNC 系统 .....	294
9.3.2	伺服系统 .....	297
9.3.3	主轴、工作台 .....	304
9.3.4	刀库、机械手 .....	312
9.4	数控磨床故障诊断与维修实例 .....	315
9.4.1	CNC 系统 .....	315
9.4.2	加工尺寸不稳定 .....	319

9.5	数控齿轮加工机床故障诊断与维修实例	322
9.5.1	数控滚齿机故障诊断与维修实例	322
9.5.2	数控剃齿机故障诊断与维修实例	323
9.5.3	数控磨齿机故障诊断与维修实例	325
9.6	电火花线切割机床故障诊断与维修实例	328
<b>第 10 章</b>	<b>故障信号分析与处理基础</b>	<b>331</b>
10.1	信号的分类与描述	331
10.1.1	确定性信号与非确定性信号	331
10.1.2	能量信号与功率信号	332
10.1.3	时限与频限信号	333
10.1.4	连续时间信号与离散时间信号	333
10.1.5	物理可实现信号	336
10.1.6	信号分析中常用函数	336
10.2	信号的常用数学变换	339
10.2.1	傅里叶变换	339
10.2.2	拉普拉斯变换	344
10.2.3	$z$ 变换	347
10.3	信号的时域分析	348
10.3.1	时域分解	348
10.3.2	时域统计分析	351
10.3.3	直方图分析	353
10.3.4	相关分析	355
10.4	信号的频域分析	356
10.4.1	幅值谱分析	357
10.4.2	功率谱分析	358
10.5	倒频谱分析	360
10.5.1	倒频谱的数学描述	360
10.5.2	倒频谱分析的应用	361
<b>第 11 章</b>	<b>数控机床故障诊断技术最新进展</b>	<b>363</b>
11.1	数控机床故障诊断的小波分析技术	363
11.1.1	小波变换基础	364
11.1.2	基于小波分析的故障诊断	367
11.2	数控机床故障诊断的模糊诊断技术	367
11.2.1	模糊故障诊断基础	367
11.2.2	基于模糊诊断的数控机床故障诊断	379

11.3	数控机床故障诊断的神经网络诊断技术 .....	380
11.3.1	神经网络基础 .....	380
11.3.2	基于神经网络的数控机床故障诊断 .....	384
11.4	数控机床故障诊断的专家系统 .....	385
11.4.1	专家系统的基本组成 .....	385
11.4.2	知识库的建立与维护 .....	387
11.4.3	全局数据库及其管理系统 .....	388
11.4.4	推理机 .....	389
11.4.5	解释子系统设计 .....	390
11.4.6	神经网络与专家系统 .....	391
11.4.7	数控机床故障诊断的专家系统 .....	391
11.5	数控机床故障诊断的信息融合技术 .....	392
11.5.1	信息融合技术的发展 .....	392
11.5.2	基于信息融合技术的数控机床故障诊断 .....	393
11.6	数控机床故障诊断的支持向量机技术 .....	394
11.6.1	支持向量机 .....	394
11.6.2	基于支持向量机的数控机床故障诊断 .....	396
参考文献 .....		398



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 数控机床概述

### 1.1.1 数控机床的定义

国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing, IFIP)第五技术委员会对数控机床所做的定义是:数控机床(Numerical Control Machine)是一种装有程序控制系统的机床,该系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序,并将其译码,用代码化的数字表示,通过信息载体输入数控装置。该定义中所指的程序控制系统即为数控系统(Numerical Control System),它由用来实现数字化信息控制的硬件和软件两部分组成,其核心为数控装置(Numerical Controller, NC)。由于现代数控系统都采用了计算机进行控制,因此数控装置也可称为 CNC(Computerized Numerical Control)装置。

通俗而言,数控机床就是采用数控装置进行控制的机床,它集自动化控制技术、电机技术、自动检测技术、计算机控制技术等先进技术为一体,是现代制造技术中不可缺少的设备。

带有自动刀具交换装置(Automatic Tool Change, ATC)的数控机床(带有回转刀架的数控车床除外)称为加工中心(Machine Center, MC)。它通过刀具的自动交换,可以一次装夹完成多工序的加工,实现了工序的集中和工艺的复合,从而缩短了辅助加工时间,提高了机床的效率,减少了零件安装、定位次数,提高了加工精度。加工中心是目前数控机床中产量最大、应用最广的机床。

在加工中心的基础上,通过增加多工作台(托盘)自动交换装置(Auto Pallet Changer, APC)以及其他相关装置,组成的加工单元称为柔性加工单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)。FMC 不仅实现了工作的集中和工艺的复合,而且通过工作台(托盘)的自动交换和完善的自动检测、监控功能,可以进行一定时间的无人化加工,从而进一步提高了设备的加工效率。FMC 既是柔性制造系统的基础,又可以作为独立的自动化加工设备使用,因此其发展速度较快。

在 FMC 和加工中心基础上,通过增加物流体系、工业机器人以及相关设备,并由中央控制系统进行集中、统一控制和管理,这样的制造系统称为柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)。FMS 可以进行长时间的无人化加工,从而可以实现多品种零件的全部加工或部分装配,实现了车间制造过程的自动化,它是一种高度自动化的先进制造系统。随着科学技术的发展,为了适应市场需求多变的形势,对现代制造业来说,不仅需要发展车间过程的自动化,而且要实现从市场预测、生产决策、产品设计、产品制造直到产品销售的全面自动化。将这些要求综合,构成的完整的生产制造系统,称为计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。CIMS 将一个工厂的生产、经营活