



21世纪高等学校机械设计制造
及其自动化专业系列教材

柔性制造自动化概论

刘延林 编著
陈心昭 主审

5-43

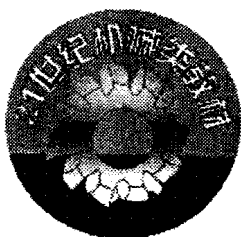
华中科技大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS
E-mail: hustpp@wuhan.cngb.com

128

JH165-43

L76



21世纪高等学校机械设计
制造及其自动化专业系列教材

柔性制造自动化概论

刘延林 编著

陈心昭 主审

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

柔性制造自动化概论/刘延林 编著
武汉:华中科技大学出版社, 2001年10月
ISBN 7-5609-2573-1

I. 柔…
I. 刘…
Ⅲ. 柔性制造-自动化系统
IV. TH165

21世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
柔性制造自动化概论

刘延林 编著
陈心昭 主审

责任编辑:钟小珉
责任校对:封春英

封面设计:潘群
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社 武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经 销:新华书店湖北发行所

录 排:华中科技大学出版社照排室
印 刷:湖北省新华印务有限公司

开本:787×1092 1/16

印张:17.25

字数:335 000

版次:2001年10月第1版

印次:2001年10月第1次印刷

印数:1—2 000

ISBN 7-5609-2573-1/TH·118

定价:22.00元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材

编审委员会

顾问: 姚福生 (工程院院士) 黄文虎 (工程院院士) 张启先 (工程院院士)

谢友柏 (工程院院士) 宋玉泉 (科学院院士) 艾兴 (工程院院士)

熊有伦
(科学院院士)

主任: 杨叔子 (科学院院士) 周济 (工程院院士)

委员: (按姓氏笔画顺序排列)

于骏一	王明智	毛志远	左武沂	卢文祥
朱承高	师汉民	刘太林	李培根	吴昌林
吴宗泽	何玉林	陈康宁	陈心昭	张春林
张福润	张策	张健民	冷增祥	范华汉
周祖德	洪迈生	姜楷	黄纯颖	童秉枢
傅水根	傅祥志	廖效果	黎秋萍	戴同

秘书: 钟小珉 徐正达

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序

发展是硬道理,而改革是关键。唐代大诗人刘禹锡写得多么好:“请君莫奏前朝曲,听唱新翻《杨柳枝》。”这是这位改革派的伟大心声。

1998 年教育部颁布了新的普通高等学校专业目录。这是一大改革。为满足各高校开办“机械设计制造及其自动化”宽口径新专业教学的需要,华中科技大学出版社在世纪之交,千年之替,顺应时代潮流,努力推出了“机械设计制造及其自动化”专业系列教材。这套系列教材是在众多院士支持与指导下,由全国 20 余所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师经多年辛勤劳动编写成的,它有特色,能满足机械类专业人才培养要求。

这套系列教材的特色在于,它紧密结合“机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”与“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两个重大教学改革项目,集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校自实施教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”以来,在改革机械类专业人才培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材,是完全按照两个重大教学改革项目的成果所提出的“机械设计制造及其自动化”宽口径专业培养方案中所设置的课程来编写的。这一培养方案的一个重要特点是:专业基础课按课群方式设置,即由力学系列课程,机械设计基础系列课程,计算机应用基础系列课程,电工、电子技术基础系列课程,机械制造技术基础系列课程,测控系列课程,经营管理系列课程等七大课群组成,有效地拓宽了专业口径和专业基础,体现了机械类专业人才培养模式的改革。

同时专业基础课按课群设置,也有利于加强课群内各门课程在内容上的衔接,有利于课程体系的进一步整合、优化及改革。专业基础课按七大课群设置,这得到了全国高校机械工程类专业教学指导委员会的充分赞同。

21世纪工程教育的一个基本特征就是“适应性”，就是坚持邓小平同志指出的教育的“三个面向”的战略思想。能适应，才能创业。要能多方适应科学技术的突飞猛进和社会的不断进步，就得进一步明确指导思想，进一步合适地拓宽专业口径与专业基础，构造现代化的人才知识结构、能力结构和素质结构，就得因史制宜、因地制宜、因势制宜，努力实现培养模式的多样化，切忌“千篇一律”、“千人一脸”，万紫千红方能有一个大好的春天。

这是一套具有较大改革力度的系列教材。教材的作者们认真贯彻了中央的教育方针与改革思想，体现出两个重大改革项目成果所提出的“以创新设计为核心，以机械技术与信息技术结合为龙头，以计算机辅助技术为主线，拓宽基础，强化实践”的总体改革思路，并本着整合、拓宽、更新和更加注重应用的原则，对课程的内容、体系进行了诸多重要改革，而且许多课程在开发电子教材方面也取得了长足进展。

按照减少学时、降低重心、拓宽面向、精选内容、更新知识的原则，对原机械专业三门主要专业课（机械制造工艺学、金属切削机床设计、金属切削原理与刀具）实行了整合和改造，编写出了供“机械设计及其自动化”宽口径专业学生学习的《机械制造技术基础》新教材。

改造了原电工技术、电子技术系列课程，将分散在几门课程中的强电知识整合为《机电传动控制》新课程，减少了重复，拓宽了基础，突出了“机电结合、电为机用”的特点。

使用自主版权软件改革传统工程制图内容体系，不仅实现了工程制图和计算机绘图内容的有机融合，也实现了制图课教学手段的现代化。

以设计为主线，重新规划了《机械设计》和《机械原理》课程体系结构，在内容上努力实现由注重学科的系统性向更加注重工程综合性的转化，在教学手段上全面引入多媒体技术，提升了课堂教学的效果和效率。

《金属材料及热处理》更名为《工程材料及应用》，除紧密结合现代科技成就，讲解金属材料的基本理论及应用外，还讲解了其他各类工程材料的有关知识。

《测试技术》更名为《工程测试与信息处理》，加强了与信息获取、传输、存储、处理及应用有关的内容，并率先在国内建成网上测试技术虚拟实验室。

《液压传动》与《气压传动》整合为《液压传动与气压传动》，精简了内容，强化了应用，并制作出了相应的电子教案。

《材料成形工艺基础》在精选传统金属成形工艺内容的基础上，较大幅度地增

加了新材料、新工艺、新技术方面的知识。

编写出版了《现代设计方法》、《机构与机械零部件 CAD》、《柔性制造自动化概论》、《机电一体化控制技术与系统》及《机器人技术基础》等教材,反映了现代科技的新发展。

科学与工程既有联系又有区别。科学注重分析,工程注重综合。任何一项工程本身都是多学科的综合体。今天,工程技术专家的基本作用正是一种集成作用,工程技术专家的任务是构建整体。我们必须从我国国情出发,按照现代工程的特点和工程技术专家的基本作用来构建机械工程教育的内容和体系。

华中科技大学出版社依托全国高校机械工程类专业教学指导委员会、全国高校机械基础课程指导委员会,经过多年不懈的努力,使这套系列教材的出版达到了较高的质量水准。例如,目前已有 11 本被教育部批准为“面向 21 世纪课程教材”,有 5 本获得过国家级、省部级各种奖励,全套教材已被全国几十所高校采用,广泛受到教师和学生的欢迎。特别是其中一些教材(如《机械工程控制基础》、《数字控制机床》等),经长期使用,多次修订,已成为同类教材中的精品。

现在这套系列教材已经正式出版 20 多本,涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程,能够较好地满足教学上的需要。我们深信,这套系列教材的出版发行和广泛使用,将不仅有利于加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作,而且对机械类专业人才培养质量的提高也会起到积极的促进作用。

当然,由于编者学术水平有限,改革探索经验不足,组织工作还有缺陷,何况,形势总在不断发展,现在还远不能说系列教材已经完善,相反,还需要在改革的实践中不断检验,不断修改、锤炼,不断完善,永无休期。“嘤其鸣矣,求其友声。”我们殷切期望同行专家及读者们不吝赐教,多加批评与指正。

江泽民同志在 2000 年 6 月我国两院院士大会上号召我们:“创新,创新,再创新!”实践、探索、任重道远,只有努力开拓创新,才可能创造更美好的未来!

全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

中国科学院院士

华中科技大学教授

2000 年 11 月 2 日

杨叔子



柔性制造自动化概论

10年前,因为负责筹备建设校 CIMS 实验室,笔者开始涉足新兴的柔性制造自动化学术领域。8年前,中国、意大利教育科技合作项目立项和建设 HUST-FMS,使笔者获得一次实践机会。国家教委对我校本科教学质量进行评估的期间,笔者产生了为机械制造及其自动化专业讲授《柔性制造自动化概论》的设想,获得湖北省教改基金的支持;但是开始工作时却发现困难很大,面对国内新出版的多本同类专著和教材,笔者望而却步,打算明智地知难而退。

可是骑虎难下。经过一番考虑,笔者又回到十年前的心理状态,决定把学习柔性制造自动化的心得和工作体会整理出来。笔者力图表达自己从无知到有所知、从书本到实践的认识经历,力图围绕应用讲清柔性制造自动化的全貌及其技术特征;尽力选用具有示范性的实例,尽力由远及近、由表及里地描述柔性制造自动化发生、发展的过程;并期望初学者因此能获得入门的启示,期望经验者因此能获得有益的联想,期望读者因此能碰撞出创新的思想火花。能否获得期盼的结果虽难预料,但聊以自慰的是那 10 年走完的过程。这次认真地写作,就是向关心和支持这一过程的国内外友人的回报,期待指正和批评。

感谢校教务处章富智同志,在笔者退缩的时刻,给予了热情鼓励和有力支持。感谢众多的同行专家与学者,感谢推动我国柔性制造技术发展的众多生产厂商,没有他们的辛勤劳动成果,就没有这次写作的成功。感谢合肥工业大学陈心昭教授的审阅和指导。感谢钟小珉副编审对本书出版的支持和帮助。

作 者

2001 年 6 月



柔性制造自动化概论

绪论	(1)
第一章 柔性制造系统	(3)
1-1 从自动线到柔性制造系统	(3)
1-2 柔性制造系统的功能及适用范围	(4)
1-3 柔性制造系统的结构与分类	(6)
思考题	(13)
第二章 柔性装配系统	(14)
2-1 柔性装配系统的特征	(14)
2-2 柔性装配系统的控制技术	(17)
2-3 柔性装配系统的传感技术	(21)
2-4 柔性装配系统实例	(32)
思考题	(37)
第三章 人与柔性制造自动化系统	(38)
3-1 人机合一的制造观	(38)
3-2 面向操作人员的数控机床	(41)
3-3 面向现场工作人员的柔性制造自动化系统	(43)
3-4 人机协调的柔性装配系统	(46)
思考题	(50)
第四章 柔性制造自动化系统的机床特征	(52)
4-1 适用于 FMS 的机床特征	(52)
4-2 面向 FMS 的加工中心	(55)
4-3 车削中心	(66)
思考题	(76)
第五章 柔性制造系统的刀具及刀具管理	(78)
5-1 柔性制造自动化对刀具的要求及对策	(78)
5-2 刀具管理系统的设备配置	(81)

5-3 刀具识别和刀具预调	(84)
5-4 刀具管理系统的运作过程	(88)
5-5 刀具监控	(90)
思考题	(91)
第六章 工业机器人	(93)
6-1 工业机器人及其结构	(93)
6-2 工业机器人的分类及选用	(96)
6-3 工业机器人的应用	(98)
思考题	(106)
第七章 自动仓库和自动导向小车(AGV)	(107)
7-1 自动仓库	(108)
7-2 自动导向小车(AGV)	(113)
思考题	(122)
第八章 柔性制造自动化的控制技术和监视技术	(124)
8-1 概述	(124)
8-2 面向柔性制造自动化的 PLC 技术	(125)
8-3 面向柔性制造自动化的数控系统	(127)
8-4 DNC 控制系统	(131)
8-5 多级分布式控制系统	(134)
8-6 柔性制造自动化的监视技术	(142)
思考题	(146)
第九章 柔性制造系统的计算机管理软件	(147)
9-1 FMS 及其管理软件	(147)
9-2 系统管理软件	(147)
9-3 刀具管理软件	(150)
9-4 刀具室管理软件	(151)
9-5 生产规划软件	(153)
9-6 作业规划软件	(155)
9-7 统计报告软件	(156)
9-8 预防维护软件	(157)
思考题	(158)
第十章 柔性制造系统的建模与仿真	(159)
10-1 仿真	(159)
10-2 FMS 的逻辑模型	(160)

10-3 FMS 仿真的算法原理和仿真语言	(168)
10-4 决定 FMS 仿真的主要事项	(172)
10-5 建模与仿真实例	(173)
思考题	(176)
第十一章 柔性制造系统的设计	(177)
11-1 FMS 的设计步骤	(177)
11-2 FMS 的初步设计	(177)
11-3 FMS 的详细设计	(179)
11-4 FMS 的布局设计	(188)
11-5 FMS 设计方案的评价	(204)
11-6 设计实例	(213)
思考题	(217)
第十二章 柔性制造自动化系统的开放	(218)
12-1 柔性制造自动化系统的开放	(218)
12-2 分布式信息处理系统	(221)
12-3 控制装置的开放	(223)
12-4 通信系统的开放	(229)
12-5 生产过程控制的开放	(230)
思考题	(233)
第十三章 基于柔性制造的先进生产模式	(235)
13-1 计算机集成制造系统(CIMS)	(235)
13-2 智能制造系统(IMS)	(243)
13-3 精良生产(LP)	(250)
13-4 敏捷制造(AM)	(253)
思考题	(259)
参考文献	(260)



柔性制造自动化概论

面对所谓的朝阳行业和夕阳行业,我们无须夸大地说:机械制造是日不落行业。且不论人类始祖在使用和制造工具的过程中如何进化,且不论历史学家如何用旧石器、新石器、青铜器、铁器来划分远古的历史时代,且不论蒸汽机的制造与广泛使用如何将人类推进到近代文明社会;放眼当今,就是那些位于科学研究前沿阵地的热门技术,例如:微电子、计算机、信息、航空航天、海洋、核能、生物工程,又何尝能不以机械制造提供的技术和设备作支撑;在生活领域中我们也不难发现,被称为物质文明的一些重要标志,例如:家用电器、轿车,也是以机械制造业作为后盾。

机械制造业被称为日不落行业,是因为它始终不渝地陪伴着人类,随着人类社会的形成、进步而产生、发展。工具和机器不仅是人体器官的延长,制造业的生产组织形式还与人类社会的结构紧密相连,例如:制作和改进自己的工具转变到小作坊制造和出售工具,人们很难区分这是制造业的进步,还是人类社会的进步;当商品大潮冲垮无数小作坊、让手工业者和失去土地的农民集合在资本旗帜下面的时候,以大生产方式为特征的近代机械制造业也走上了历史舞台。

人类向机械制造的精度和效率不断提出更高要求,是推动机械制造业发展的动力。产业革命(即第一次工业革命)和信息革命中,精密制造技术之所以能获得不朽功勋,是因为精密镗削技术使蒸汽机走向了实用化,而大规模集成电路的推广应用又以微细加工技术的新突破为必要条件。

为提高生产效率、降低工人的劳动强度,机械制造业推出了机械制造自动化技术和装备。19世纪后叶(1870年)自动机床开始走进制造行业,1895年发明的多轴自动车床,今天还有存在的价值。20世纪初叶(1924年),机械制造自动线诞生了,这种“刚性”制造自动化系统今后仍是一种基本的制造装备。20世纪中叶(1952年)发明的数控(Numerical Control, NC)机床,被认为是机械制造自动化技术发展史上的一个里程碑,计算机技术与数值控制相结合,培育出了计算机数控(Computerized Numerical Control, CNC)机床,使单机自动化的技术水平发展到当代最高峰。借助计算机技术和信息处理技术,制造自动化还在辅助工序和设计规划中得到长足发展,机器人、无人搬运车、计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助编制工艺(CAPP)、计算机辅助制造(CAM)等等,就是该发展的标志。

制造自动化技术发展史上还有一个里程碑,这就是“柔性”制造自动化系统。微细制造技术、柔性制造自动化技术、基于柔性制造技术的先进生产模式,通常被统称为“先进制造技术”。

“柔性”自动化是与“刚性”自动化相对应的新的制造方式,其形成和发展的必要条件也包含计算机和信息处理技术。柔性制造自动化不仅使制造技术发生了一次革命,还推动了生产模式的变革,计算机集成制造(CIM)、智能制造(IM)、精良生产(LP)、敏捷制造(AM),都把柔性制造自动化作为自己的基础。如同每种重要的生产模式出现都能影响社会的结构那样,基于柔性制造技术的新的生产模式,也向当今社会结构发出了改革的呼唤:例如,智能制造的倡导者们便向所谓“自由主义经济”的体系提出了质疑,主张通过智能制造系统(IMS)研究,捧出一种以知识贸易为主要特征的“新自由主义经济”秩序;又如,敏捷制造勾画出了一一种跨越地区和国界的生产组织形式,也成为人们探讨社会结构的研究课题。

为了柔性制造自动化教学而编写的《柔性制造自动化概论》,从13个侧面对柔性制造自动化系统及其特征技术作出了概括性的论述,学习本课程应达到以下目的:

- (1)认识柔性制造自动化技术产生和发展的规律,熟悉多学科成果交叉融合的科技创新方法;
- (2)把握柔性制造自动化系统的范例,领悟举一反三的创造性思维方法;
- (3)分析柔性制造自动化系统的特点,学习从特殊性中寻求普遍规律的科学研究方法;
- (4)掌握柔性制造自动化系统的概貌和设计思想,为今后对其设计或管理准备基础知识;
- (5)了解柔性制造自动化的特征技术,为今后对其深入研究准备入门知识。

思 考 题

0-1 为什么说机械制造业是“日不落行业”?

0-2 为什么柔性制造自动化是自动化技术发展史上的一个里程碑?

第一章

柔性制造系统

制造过程中,当制造条件发生变化的时候,经过培训拥有一定技能的人能够迅速调整自己的状态,完成预定的任务。作为制造系统的一个组成部分,人具有很高的“柔性”。然而从经典的意义讲,柔性制造技术并不指人的“柔性”,它是与“刚性”制造自动化相对应提出来的新概念,是以数值控制、计算机、信息处理、精密机械等技术为基础的先进制造技术。

1-1 从自动线到柔性制造系统

1947年,美国底特律福特汽车公司建成了机械加工自动线,将机械制造自动化技术推向了新的发展阶段。

图 1.1 是加工箱体类零件的组合机床自动线的示意图,其中,组合机床 1、2、3 是加工设备

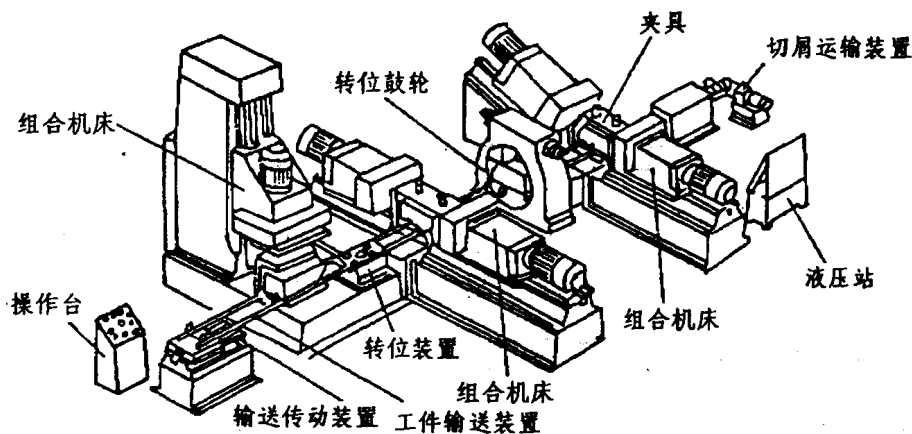


图 1.1 组合机床自动线

(主机),工件输送装置 4、输送传动装置 5、转位装置 6、转位鼓轮 7 等是工件自动输送设备,夹具 8、切屑运输装置 9 等是辅助设备,液压站 10、操作台 11 等是控制设备。按稳定成熟的工艺顺序把具有很强自动化功能的机床排列起来,用自动输送工件设备和辅助设备把它们联成有

机整体;在由电气柜、液压(或气动)装置构成的控制设备的控制下,工件以严格的生产节拍、按预定工艺顺序“流”过每个工位,无需工人直接参预,自动完成工件的装卸、输送、定位夹紧、切削加工、切屑排除、质量监测,这种制造系统就是自动线。某个(某几个)零件的成熟制造工艺是设计一条自动线的前提,为了提高生产效率和产品质量,自动线还采用了功能和结构都有很强针对性的工艺装备(刀具、夹具等),因此一条自动线只能承担某个(或几个)零件的制造任务,从这层意义上来看,人们又称自动线为“刚性”自动线。

第二次世界大战后,市场对商品的需求量远远大于生产厂家的制造能力。自动线承担着单一品种大批量生产的任务,从自动线上源源不断地“流”出了价廉物美的产品,极大地满足了市场的需求,使社会财富迅速积累起来。

20世纪70年代,先进工业国家在经济上取得了显著发展,人们生活水平得到很大提高。这些成就反映在消费市场中,就是消费者对消费的多样化要求,就是商品的生命周期变得很短。以市场经济为基础的现代制造业,因此面临着严峻的挑战,制造厂商要想在激烈的市场竞争中获利,必须将单一品种大批量生产模式转变成多品种小批量生产模式,并解决以下问题:

- (1)当产品变更时,制造系统的基本设备配置不应变化;
- (2)按订单生产,在库的零部件和产品不能多;
- (3)能在很短时间内交货;
- (4)产品的质量高,而价格应低于大批量生产模式下制造的产品;
- (5)面对劳动力市场高龄、高学历、高工资而带来的问题,制造系统应该具有很高的自动化水平,并能够在无人(或少人)的条件下长时间连续运行。

在这种背景下,柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)诞生了。

1-2 柔性制造系统的功能及适用范围

1967年,英国 Molins 公司的美国分公司提出了一项发明专利申请,发明人 John Bond 申请保护一种命名为柔性制造系统(FMS)的新型制造系统的构想。

一、FMS 的基本组成及主要功能

图 1.2 是 FMS 的一种布局图,从中可以看出:一个制造系统被称为柔性制造系统,至少应包含三个基本组成部分:

- (1)主机,即数控(NC)机床;
- (2)物流系统,即毛坯、工件、刀具的存储、输送、交换系统;
- (3)控制整个系统运行的计算机系统。

图 1.2 所示 FMS 的主机是两台同型卧式加工中心和一台立式加工中心。装卸站是毛坯、

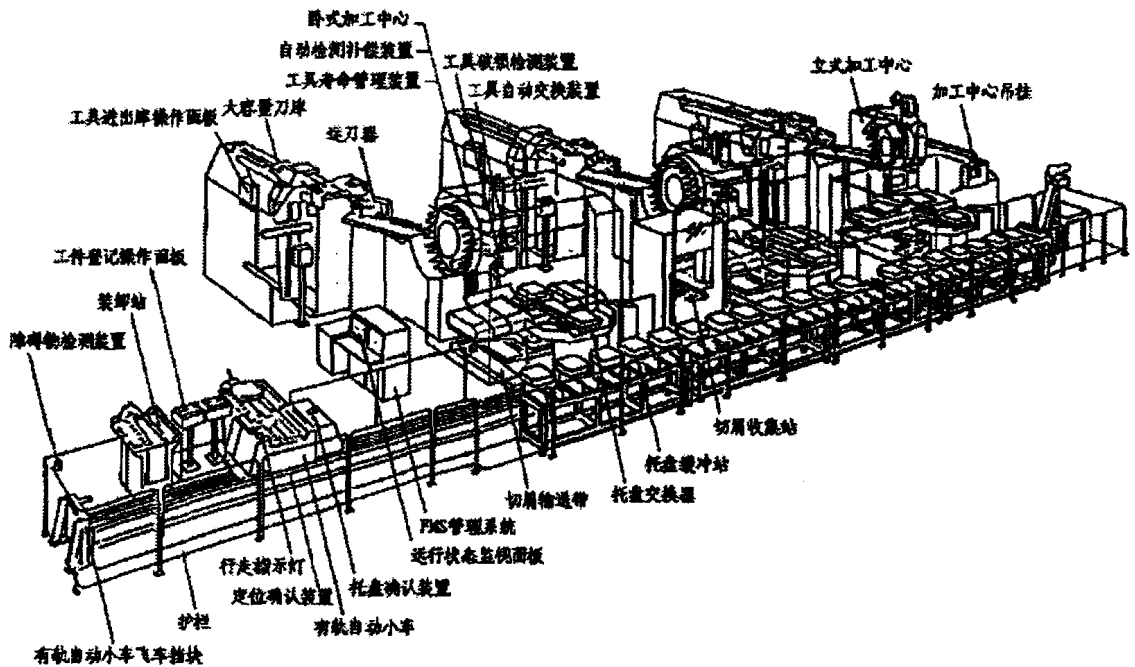


图 1.2 柔性制造系统(FMS)

工件进入或离开 FMS 的窗口,托盘缓冲站是存储毛坯、工件的临时仓库,把毛坯送给加工中心,把加工好的工件送出机床外的作业均由托盘交换器承担,在装卸站、托盘缓冲站、托盘交换器之间搬运毛坯和工件的工作由有轨自动小车(RGV)完成。加工中心装备有盘形刀库,每台加工中心又附加了一个存储了相当数量刀具的大容量刀库,机械手担负着大容量刀库与盘形刀库、盘形刀库与机床主轴之间交换刀具的职责。图中所示的 FMS 管理系统实际上是控制整个 FMS 运行的计算机系统的主体单元。从图 1.2 还可以看到,常见的 FMS 具有以下功能:

- (1) 自动制造功能,在柔性制造系统中,由数控机床这类设备承担制造任务;
- (2) 自动交换工件和刀具的功能;
- (3) 自动输送工件和刀具的功能;
- (4) 自动保管毛坯、工件、半成品、工夹具、模具的功能;
- (5) 自动监视功能(即刀具磨损、破损的监测),自动补偿,自诊断等;
- (6) 作业计划与调度。

柔性制造系统的上述功能,是在计算机系统的控制下,协调一致地、连续地、有序地实现的。制造系统运行所必须的作业计划以及加工或装配信息,预先存放在计算机系统中,根据作业计划,物流系统从仓库中调出相应的毛坯、工夹具,并将它们交换到对应的机床上。在计算机系统的控制下,机床依据已经传送来的程序,执行预定的制造任务。柔性制造系统的“柔

性”，就是计算机系统赋予的，被加工的零件种类变更时只需变换其“程序”，不必改动设备。

二、FMS 的适用范围

FMS 是在市场竞争的新形势下诞生的制造系统，与传统的制造系统比较，在品种和批量组成的二维空间中，它占据了专用机床组成的制造系统和通用机床组成的制造系统所处的中间区域，即图 1.3 所示的状态。以箱体类零件加工为例，图 1.3 可以具体化为图 1.4。生产纲领为 1 万件以上称为大批量生产，10 件至 1 万件称为中小批量生产。从图 1.4 可以看出，对于箱体类零件，FMS 适用于 5 ~ 1000 件的批量，能完成 5 至上百种零件的加工。

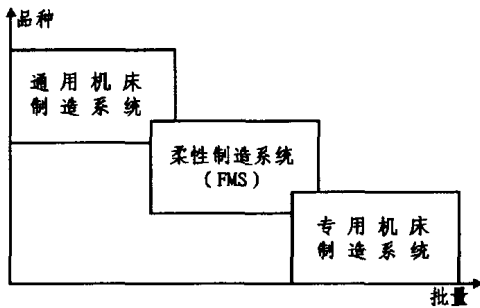


图 1.3 各种制造系统的应用范围

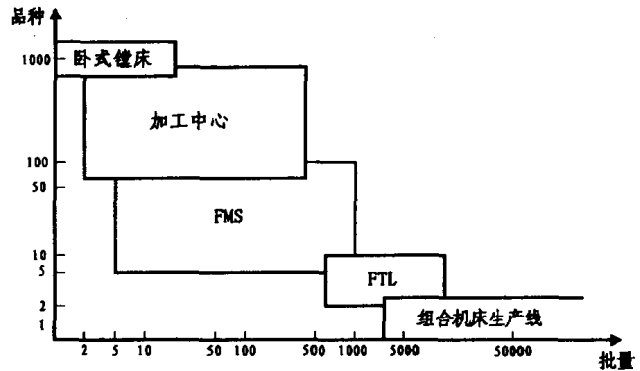


图 1.4 制造系统与生产纲领

1-3 柔性制造系统的结构与分类

一、FMS 的结构

FMS 的结构可用图 1.5 来描述。图中，垂直方向代表 FMS 的信息流动状况，水平方向代表物料流动状况。进一步讲，对机械制造厂而言，其 FMS 由如下单元组合而成：

(1) 加工设备。有立式加工中心、卧式加工中心、五面体加工中心、数控铣床、数控车床等。图 1.6 所示 FMS 的加工设备是 4 台六角头数控机床。

(2) 装配设备。例如，由装配站和机器人组成的装配单元。图 1.7 是彩色电视机组装线的一个装配单元。

(3) 检测设备。有清洗机、三坐标测量机、测量用机器人等。图 1.8 是拖拉机齿轮箱在线测量机器人。

(4) 输送装置。有输送带、堆垛机、有轨小车(RGV)、自动导向小车(AGV)等。图 1.9 所示