

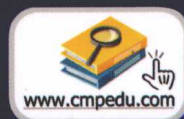
普通高等教育工科类教学改革规划教材

柔性制造技术

ROUXING ZHIZAO JISHU

沈向东 主编

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



赠 电 子 课 件

本书以企业订单生产方式为主线,介绍柔性制造技术的概念、原理、系统组成以及在企业制造过程中的应用。柔性制造技术以敏捷制造为核心,在继承和发展传统制造技术的同时,综合各种先进制造技术和生产组织技术,指导企业如何实现从传统的制造模式向敏捷制造模式转变。本书内容主要包括柔性制造工程基础、柔性制造系统、柔性加工工艺规程编制、柔性加工工艺系统工序能力、柔性制造单元、柔性装配线、机群式生产车间的柔性化改造和制造过程仿真。本书实用性强、编排合理、案例详实、文字精炼。

本书可作为普通高等教育工科类专业教材,也可作为各类企业培训和工程技术人员、生产现场主管及员工的参考用书。

本书配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 注册后下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话: 010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

柔性制造技术/沈向东主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 2

普通高等教育工科类教学改革规划教材

ISBN 978-7-111-41360-8

I. ①柔… II. ①沈… III. ①柔性制造系统—高等职业教育—教材
IV. ①TH165

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第020222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:刘良超 责任编辑:刘良超

版式设计:霍永明 责任校对:纪敬 陈立辉

封面设计:鞠杨 责任印制:张楠

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2013年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·10.25印张·234千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-41360-8

定价:21.00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

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据普通高等教育工科类教学改革总体要求和面向机械制造业发展的需要而编写的。编者吸收了近年来高职教育教学改革经验,并到企业进行实地调研,参与工程实践,对传统先进制造技术教材的编写体系进行了较大的修改与创新,摒弃理论偏深、概念抽象的内容,将先进制造技术浓缩成一个具体、实际,便于应用的技术,这就是柔性制造技术。

柔性制造技术是指导现代制造企业适应市场个性化、多样化的需求,提高企业市场竞争力的一门实用技术。它以灵捷制造为核心,以市场为导向,在继承和发展传统制造技术的同时,综合应用成组技术、准时制技术、精益生产技术和计算机集成制造技术等先进技术,在多品种变批量生产条件下,指导企业实现从传统的制造模式向灵捷制造模式转变。柔性制造技术不仅是一门先进的制造技术,还是一门先进的生产组织技术。制造技术水平的提高,可使企业的产品增加更多附加价值,生产组织技术的灵活运用,可以优化企业的资源配置,提高制造过程的整体效率。简言之,柔性制造技术在本质上是技术与经济两者的完美统一。制造技术与生产组织技术的融合,让柔性制造技术根植于生产作业现场,整合与重组制造过程,合理进行资源的配置,在不增加投资的情况下,能使企业获得更多的收益。因此,柔性制造技术一经出现,就受到了各类企业的欢迎,现已成为企业提高核心竞争力的重要手段之一。

编者在编写本书的过程中,本着少而精的原则,偏重于生产实际,从不同侧面介绍柔性制造技术的概念、原理和应用。在内容上力求先进性、整体性和实用性的统一,并通过企业生产实例来介绍这门先进技术。

本书绪论、第1章、第2章、第6章、第7章由沈向东编写,第3章由关颖编写,第4章由王素艳编写、第5章由赵宏立编写,第8章由沈宁编写。全书由沈向东负责统稿。

本书由沈阳职业技术学院李超教授主审。本书在编写过程中,还得到东北大学宋伟刚,沈阳大学於春月,沈阳职业技术学院栾敏、胡玉辉,一汽轿车股份有限公司王家尧的指导和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中的错误和不妥之处在所难免,敬请批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
----	---

第 1 章 柔性制造工程基础	11
----------------	----

1.1 制造及制造模式	12
1.2 现代制造业面临的问题及生产方式的转变	14
1.3 现代制造模式——灵捷制造	16
1.4 制造系统的类型	18
1.5 制造系统技术经济指标	21
1.6 制造过程的组织与再造	25
习题	33

第 2 章 柔性制造系统	35
--------------	----

2.1 柔性制造系统产生的背景	36
2.2 柔性制造系统的概念	36
2.3 柔性制造系统的组成	39
2.4 柔性制造系统的分类	45
2.5 柔性制造系统的特点和发展趋势	46
习题	47

第 3 章 柔性加工工艺流程编制	49
------------------	----

3.1 柔性加工知识及术语	50
3.2 柔性加工工艺流程的编制	52
3.3 工作站柔性加工工艺流程编制实例	57
习题	60

第 4 章 柔性加工工艺系统工序能力	63
--------------------	----

4.1 金属切削加工方法与设备基础	64
4.2 机械加工工序能力	66
4.3 工作站柔性加工工艺系统工序能力分析实例	69
4.4 FMC 工序能力分析中应注意的问题	72
习题	73

第 5 章 柔性制造单元	75
5.1 柔性制造单元的概念	76
5.2 柔性制造单元的组成	77
5.3 FMC 设备最佳布置实例	86
习题	87
第 6 章 柔性装配线	89
6.1 装配线基础知识	90
6.2 装配线的平衡	93
6.3 柔性装配线最佳产出率的计算	95
6.4 柔性装配线重组与最佳配置实例	99
习题	105
第 7 章 机群式生产车间的柔性化改造	107
7.1 机群式生产车间柔性化改造的意义	108
7.2 车间柔性化改造的基本方法	109
7.3 车间柔性化改造实例	111
习题	123
第 8 章 制造过程仿真	125
8.1 制造过程仿真基础知识	126
8.2 仿真软件 Flexsim 简介	130
8.3 Flexsim 仿真实例	139
附录	151
附录 A FANUC Oi-TB 数控系统常用 G 指令	152
附录 B FANUC Oi-MB 数控系统常用 C 指令	153
附录 C FANUC Oi 数控系统常用 M 指令	154
参考文献	155

绪论

柔性制造技术是指导现代制造业适应市场变化,实现订单式生产的一门实用的先进制造技术。我国制造业自改革开放以来,发生了巨大的变化。制造产业的聚集、众多制造企业进驻工业园区,从一个侧面体现了构建现代制造企业的基本框架模式。现代制造企业的厂区规划形式、车间布置与柔性制造系统的推广使用,体现了机械制造技术、计算机技术和高新技术的高度融合,从根本上改变了企业的面貌。

认识现代制造企业,有助于了解柔性制造技术与企业环境之间的关系及其在不同类型的制造企业中的应用。

1. 现代制造业的孵化区——工业园区

近年来,我国工业园区发展势头迅猛。园区良好的循环经济运营模式,吸引越来越多的制造企业进驻园区。企业通过购买和租赁园区中的一块区域建厂,并对厂区中的标准厂房进行合理布置,不但可使投资成本降低近半,而且可以很快地投产,获取经济效益。图 0-1 所示为某工业园区的鸟瞰图。

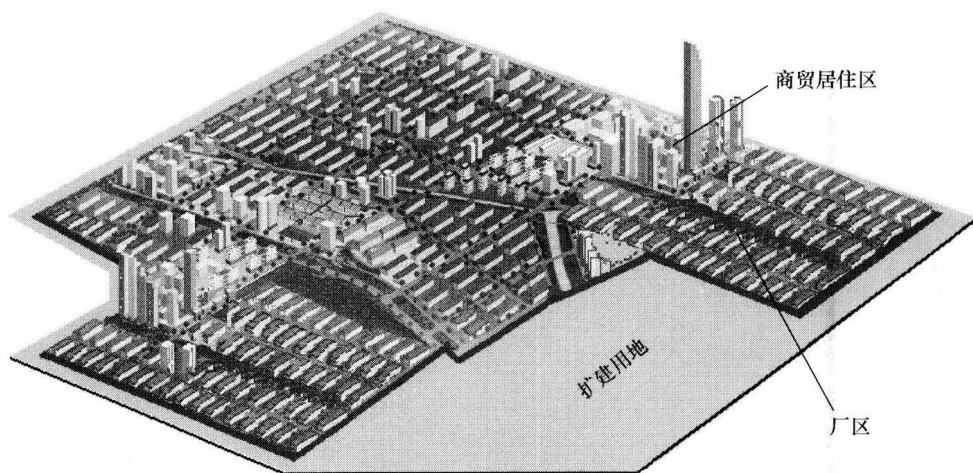


图 0-1 某工业园区鸟瞰图

工业园区是聚集若干工业企业的区域,开发面积大,拥有多个工厂以及各种公共设施,是包含有若干工业企业的相对独立的区域。世界上许多国家,包括美、英、德、日以及中国等国,为了促进经济发展和提高工业化水平,都相继建立了不同类型的工业园区。

由于我国各地区的经济发展、生产力水平、自然条件、地理环境等差异很大,国家通过产业政策和生产力布局规划,指导工业园区项目的布局和投资的空间投向,确定园区结构,即:

1) 从层次上来说,工业园区分为国家级、省市级和区县(市)级三大类。国家级工业园区的特点是以工业项目为主导,是吸引外资、引入高新技术项目的重点区域,它主要集中在沿海经济发达地区;省市级工业园区是具有地区特色的工业园区;区县(市)级工业园

区是具有地方特色的工业园区，规模相对较小。

2) 从产业化集群角度来说，工业园区又可细分为单一产业园区、相关产业链一体化园区和综合性园区等多种形式。

我国的工业园区的类型很多，形式也多种多样，各具特色。表 0-1 为按工业园区的特征划分的工业园区类型。

表 0-1 工业园区的类型

序 号	类 型	特 征
1	外向型	由海关“境内关外”封闭管理的特殊经济区域园区，一般设在沿海地区，如大连出口加工区等
2	科技型	依托高校、科研机构，面向科技成果转化的各类高新技术产业园区，如中关村科技园区等
3	招商引资型	各地为招商引资而开发的园区，如韩国工业园区、新加坡工业园区等
4	地方聚集型	通过政策和公共产品使用等优惠条件，吸引本地的企业通过置换方式聚集到园区中，如沈阳经济技术开发区等
5	产业化型	园区中仅有某一产业，如汽车工业园区、机械制造园区和食品加工园区等
6	城市化型	具有生产、流通、金融、科技、教育、人居和市政管理等工业化城市综合特征的园区，如上海浦东新区、天津滨海新区、郑州郑东新区和沈阳沈北新区等

2. 企业制造过程所需的设施与设备

(1) 厂区 厂区是企业根据经营目标在已确定的空间上从事工业产品制造过程及其生产作业活动的范围。企业的一切活动，包括企业自身完善等活动，都离不开厂区。厂区按标准厂房的通用性和专业性划分，可分为通用性厂区和专业性厂区两大类。

通用性厂区按企业的生产类型划分可分为三种。图 0-2 所示为大型企业厂区，图 0-3 所示为中型企业厂区，图 0-4 所示为小型企业厂区。

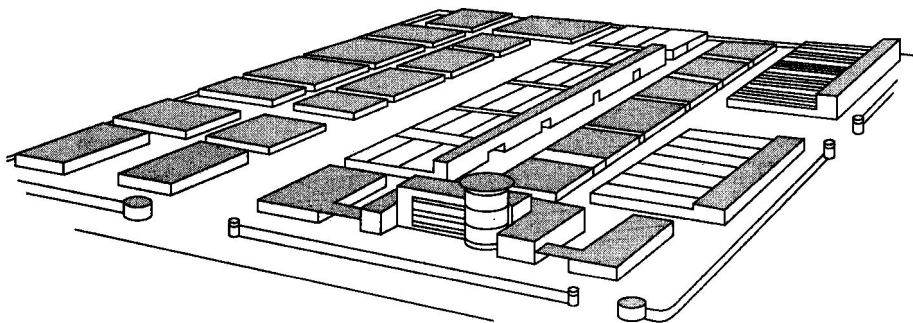


图 0-2 大型企业厂区

近年来出现的特色园区一般以产业集群的模式出现，如汽车产业园区、医药产业园区和机械加工工业园区等。这样在一个工业园区中，同时存在同一产业或相关产业的众多企业，通过地理位置上的集中或靠近，往往可以更有效地产生创新，获得集群创新优势。产业集群

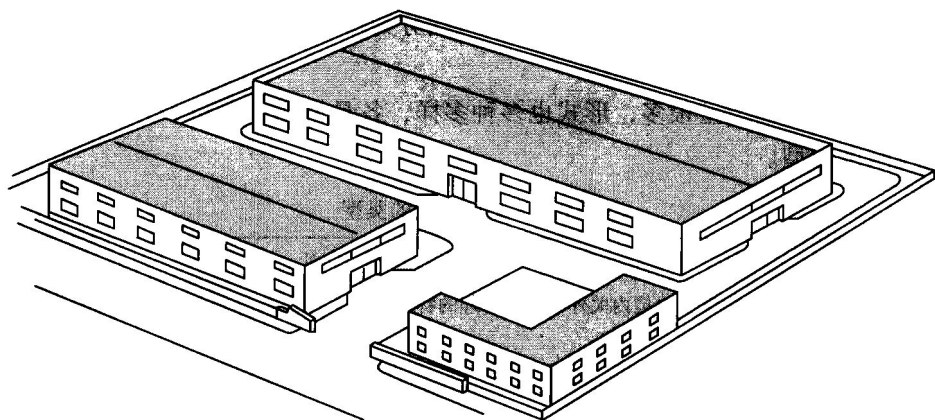


图 0-3 中型企业厂区

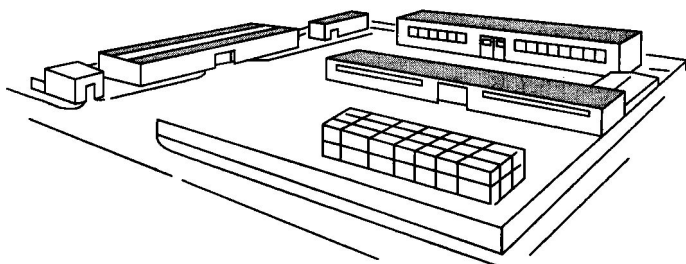


图 0-4 小型企业厂区

作为一种产业组织形式,有利于企业之间的深度分工,园区中的每一个企业都将集中全部资金和精力做好自己最有优势的产品,这就大大地提高了企业的竞争力。可见,工业园区的产业集群形成了专业厂区。

专业厂区一般按企业生产的产品类型划分,种类繁多,图 0-5 ~ 图 0-7 所示为部分专业厂区情况。

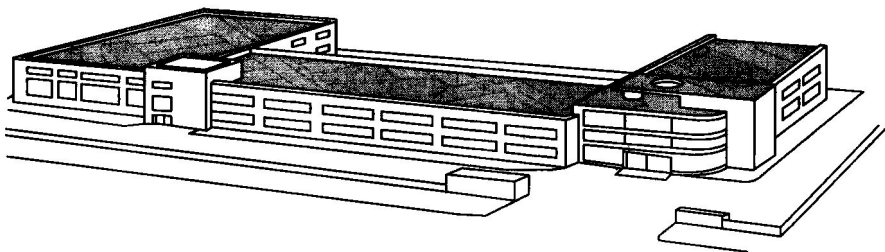


图 0-5 数控设备制造企业厂区

(2) 厂房 随着工业园区的发展,为使园区风格同一,减少占地,实现园区的整体优化布局,过去企业一家一式的厂房,被统一的标准厂房取代。这些标准厂房可适应机械制造

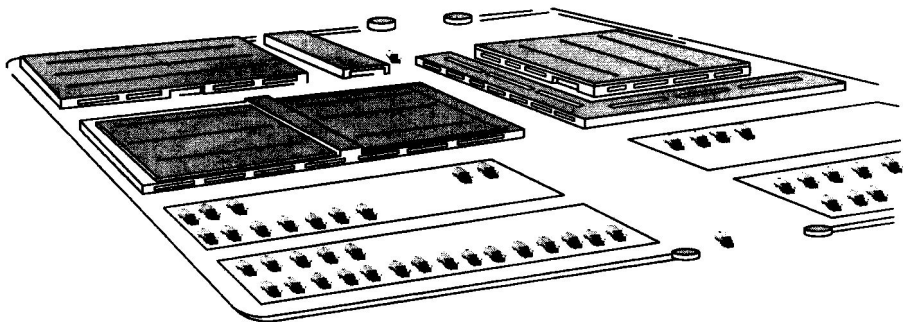


图 0-6 汽车制造企业厂区

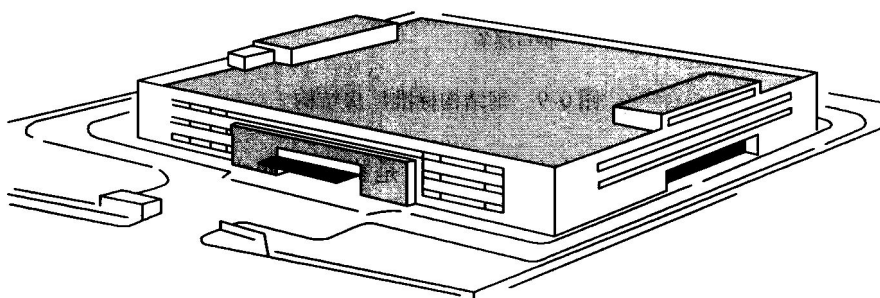


图 0-7 电子器件制造企业厂区

业、电子信息产业、光机电一体化产业、新材料产业等多层次、不同类别的企业需要。相对于过去单个工厂建造来说，标准厂房的出现，无疑可大大地降低建厂成本。

在工业园区的标准化厂房中，应用最多的是单层钢结构标准厂房。钢结构厂房具有总体轻、节省基础、用料少、造价低、施工周期短，跨度大，安全可靠，造型美观和结构稳定等优点，广泛应用于大跨度工业厂房、仓库、冷库和办公楼等。图 0-8 所示为钢结构标准厂房外形，图 0-9 所示为钢结构标准厂房结构。

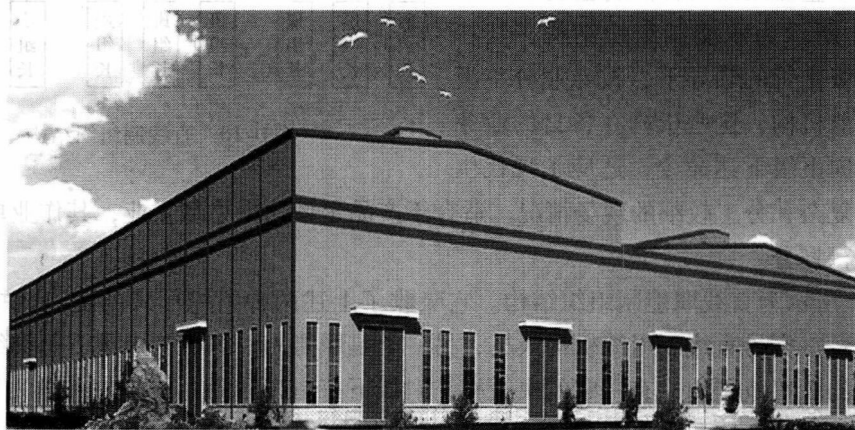


图 0-8 钢结构标准厂房外形

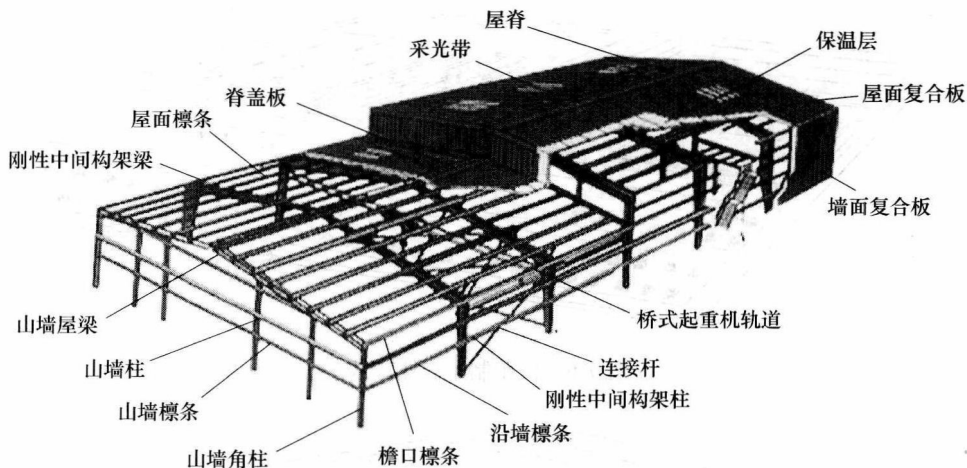


图 0-9 钢结构标准厂房结构

(3) 作业单位 现代制造企业中的作业单位是指在企业中的一个工作区域或存在物，是企业的基本划分单位。它可以是厂区中的一个建筑物、一个车间、一个重要的出入口；也可以是一个车间的一台机器、一个办公室内的一个部门。作业单位可大可小，可分可合。究竟怎样划分，要看研究问题的层次和要求，其主要依据是企业的组织结构。

企业的组织结构是指企业内部分工协作的基本联系方式或框架，其功能就在于为分工协作提供一个基本框架。尽管分工协作的手段是多种多样的，但合理的组织结构是企业体现本身特色、实现整体最优的一种分工协作的方式。企业不同，采取的组织结构亦不同。

图 0-10 所示为直线制组织结构。这种组织结构设置简单，责权分明，便于统一指挥。作业单位按车间进行划分。由于过于集权，一旦企业规模扩大，难以有效管理，一般适用于小型企业或民营合伙制企业。

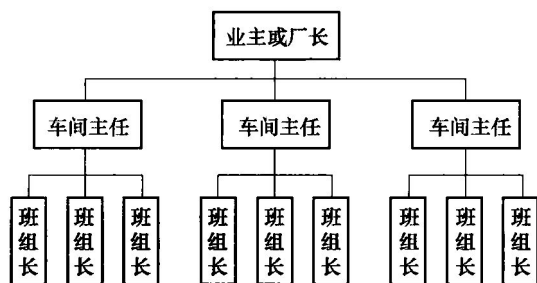


图 0-10 直线制组织结构

图 0-11 所示为职能制组织结构，其特点是：在各级主管的领导下，按专业分工设置相应的职能机构，这些机构在各自的业务范围内有权向下级下达命令，适应了现代生产技术比较复杂和分工较细的现场情况。适合于产品定型的中小型企业，其作业单位可按车间、科室进行划分。

图 0-12 所示为直线职能制组织结构。它吸收了上述两种组织形式的优点，把企业人员划分成两类：一类是直线制组织机构人员，另一类是职能制组织机构人员。每类组织机构内部，在自己的职责范围内，有一定的决策权，对属下有指挥和命令的权力，但两类人员之间不直接进行联系，而统一由上级主管决策指挥。直线职能制组织结构是典型的“集权式”组织结构，被世界各国普遍采用。我国大多数产品单一、工艺稳定的大中型企业都采用这种组织结构。作业单位的划分可以按车间级进行。

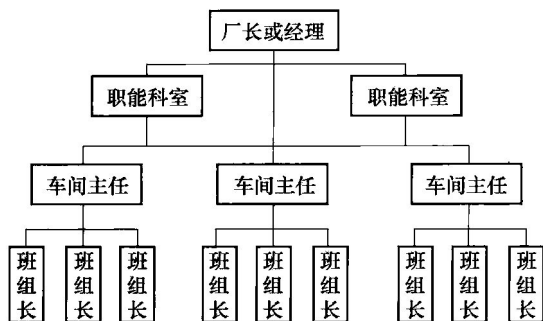


图 0-11 职能制组织结构

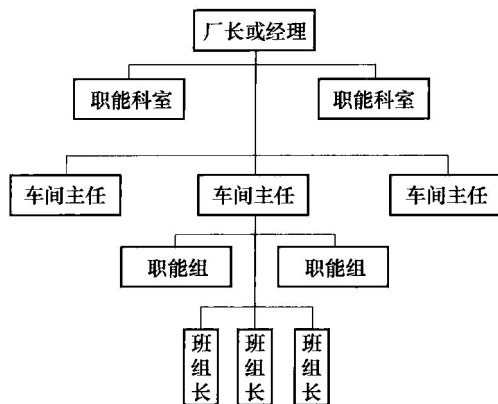


图 0-12 直线职能制组织结构

图 0-13 所示为事业部制组织结构。这种组织结构最早由美国通用汽车公司采用，是目前国外大型公司制企业普遍采用的一种组织形式。其主要特点是“集中政策、分散经营”，即在总公司的领导下，以事业部为单位实行分权管理。由于各事业部的组织结构可能不同，因此作业单位应按事业部的属下一级进行划分。

以图 0-12 所示的直线职能制组织结构为例进行作业单位的划分，可以将作业单位先划分成三大类。第一类是管理部门，统一称为办公部门；第二类为生产部门，统一称为车间；第三类为生产服务部门。划分结果见表 0-2。

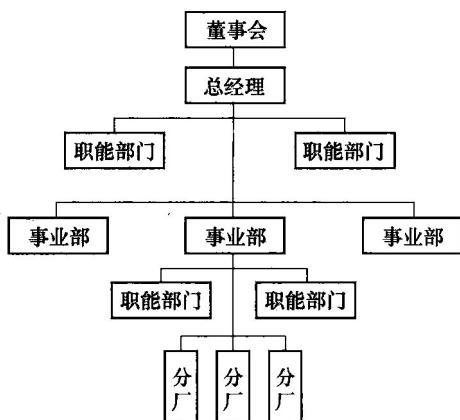


图 0-13 事业部制组织结构

表 0-2 机械制造企业作业单位划分举例

分 类	作业单位名称	功 能
管理类	办公部门	包括各种职能管理部门
	铸造车间	为机械加工车间提供铸铁、铸铝或铸钢毛坯
生产类	锻造车间	为机械加工车间提供各种锻制毛坯
	机加工车间	零件切削加工制造
	热处理车间	实现零件退火、正火、淬火、回火等热处理工艺
	焊接车间	通过焊接方式组成零件、部件或产品
	成形车间	利用模具、冲压设备实现零件的成形加工
	装配车间	将零部件组成半成品或成品
	原材料仓库	存放各种原材料
生产服务类	半成品仓库	存放各种外购件、在制品、标准件、备件和半成品
	成品仓库	存放成品、包装
	维修车间	负责企业设备的维护保养与维修
	变电所	提供生产用电力

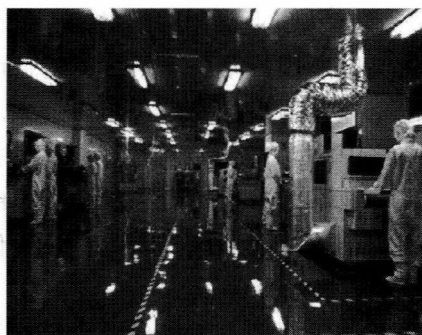
(续)

分 类	作业单位名称	功 能
生产服务类	空压站	提供生产用压缩空气
	油库	存放动力燃油和油漆等油品
	车库	停放企业各种车辆

在制造企业中，车间或分厂是最为重要的部门，担负企业的产品生产任务，是企业核心竞争力的重要物质基础。按照传统机械制造企业的分类，车间主要有两大类，一类为加工车间，一类为装配车间。加工车间由于加工的性质不同，划分较细，如铸造车间、锻造车间、热处理车间和机械加工车间，而且每个车间彼此独立，以保证加工质量。装配车间一般不做更细的划分，除非有特殊要求，否则部件装配和总装可在一个车间中的不同区域布置。图 0-14 所示为一些典型车间示例。



a) 车间一角



b) 洁净车间



c) 机群式布置加工车间



d) 流水线加工车间



e) 手工流水线装配车间



f) 单站手工装配车间

图 0-14 典型车间示例



g) 部件装配车间



h) 总装车间

图 0-14 典型车间示例 (续)

(4) 机械制造设备

1) 机械加工设备。机械加工设备的种类很多,有普通设备、专用设备和 CNC 数控机床以及加工中心 MC 等,目前 CNC 机床的应用越来越多,由 CNC 机床组成的柔性制造系统 FMS 和柔性制造单元 FMC 也越来越显现出强大的生命力。

2) 机械装配设备。机械装配设备包括气动扳手、装配机器人、各种装配机和自动化装配线等。

3) 生产物流设备。生产物流伴随生产过程始终,目前也越来越受到重视,常见的生产物流设备有装卸机器人、传送带、叉车及各种车辆和立体化仓库等。

图 0-15 所示为目前在现代制造企业中应用较多的、与柔性制造密切相关的设备。这些设备在后面的各章中要经常提到。



图 0-15 柔性制造过程中常用的设备示例

3. 教学方法建议

(1) 柔性制造技术的本质 柔性制造技术是一门综合应用各学科相关知识,针对市场订单式生产方式指导制造过程的一门先进实用技术。它与企业产品制造的全过程相联系。其主要特点是:

1) 柔性制造技术是集各类先进生产技术于现代制造工程中的实用技术。当前应用的先进制造技术很多,如 GT 成组技术、JIT 准时制生产技术、SPT 系统生产技术、LP 精益生产

技术、CIM 计算机集成制造技术和 RM 可重组技术等。柔性制造技术将这些技术进行高度融合，汇聚于一身，针对企业的制造过程整合和企业的订单式生产实际，为企业提高产品质量，降低成本，提高生产率提供技术服务。

2) 柔性制造技术的核心是灵捷制造。它是在借鉴与吸收精益生产方式和灵活生产组织经验，使技术与经济相统一的思想指导下，实现对难以预测的消费者需求和市场时机做出快速反应的一种全新的制造模式。这种制造模式特别适合于企业的订单式生产。应用这门技术，可以使企业面对市场复杂多变的形势，及时调整制造策略，保证订单式生产过程，按质、按量、按时完成制造任务。

可见，柔性制造技术不仅是一门制造技术，还是一门生产组织技术。先进的制造技术可使生产的产品增加更多的附加价值；先进的生产组织技术，可以优化企业的资源配置，提高制造过程的整体效率。简言之，柔性制造技术在本质上是技术与经济两者的完美统一。

(2) 教学方法 对于这样一门实用性强的制造技术，在教学中应着眼于实用，重在理解技术的内涵与实质。实际上，制造柔性指的是制造系统适应市场变化的能力。企业如果有柔性制造系统或柔性制造单元，应用该技术，就可以很快形成与市场相适应的制造能力。

由于柔性制造技术是现代先进制造技术之一，可供参考的书籍和实例较少，因而增加了教学的难度。建议在使用本书进行教学时，基本的做法是：首先从市场入手，通过了解市场商品的个性化和多样性，看市场对企业在选择生产方式方面的影响；其次适当安排到企业现场参观，实际了解柔性制造技术在企业中的应用情况，看企业在应用该技术的过程中，获得了哪些效益以及还存在哪些问题。同时教学中还要注意把握容易出现误解的两点：

1) 柔性化制造不完全等同于自动化。任何事物的应用与发展都是受到制约的。即使一个企业目前没有能力构建这样的柔性制造系统，使用的设备依然是传统设备，柔性制造技术依然适用。不能为了构建一个新系统，而把原系统全部废弃，可以对其进行柔性化改造。本书第7章“机群式生产车间的柔性化改造”对此做了阐述，以便于深刻理解“柔性制造”的意义。

2) 柔性化制造增加了企业生产成本和资源浪费。众所周知，大批大量生产的高效率是其他生产类型无法比拟的。从制造角度，企业希望能一直保持这样的生产方式。因此，选择柔性制造模式是企业为适应市场而采取的不得已的行为。柔性化制造必然使企业经受来自于产品品种、批量和交货期变化和为适应市场变化而对生产现场进行改造这两个方面成本增加的压力。因此在学习柔性制造技术的同时，更深层次的目标在于如何降低这些成本，减少资源浪费，在适应市场变化的同时使企业获利。

第 1 章

柔性制造工程基础

制造业赖以生存和发展的关键是制造工程的发展。制造工程通过制造技术而应用于生产实践中。通常制造工程与制造技术是并用的，工程常用作某类专业技术的总称，如机械工程，实际应用中称其为机械制造技术。

本书以应用最广的机械制造为基础，探讨在现代制造工程中的机械制造新模式以及柔性制造技术在机械加工与装配过程中的应用。

1.1 制造及制造模式

1.1.1 制造的基本概念

1. 制造的定义

制造 (Manufacturing 或 Manufacture) 源于拉丁语, 其原义是“用手工制作”, 是指把原材料制成对人们有用的货物或产品的一种生产活动。

1983 年, 国际生产工程学会 (CIRP) 把制造定义为: “包括制造企业的产品设计、材料选择、规划、制造生产、质量保证、管理和营销的一系列有内在联系的活动和运作 (作业)。”这个定义使制造的概念与原义有了质的变化。我国从 20 世纪 80 年代开始, 制造的领域逐渐扩大到了汽车、化工、家电、航空、钢铁、计算机、电子、纺织与服装等行业, 形成了大制造概念。进入 20 世纪 90 年代, 制造的含义更为广阔, 不仅将有形的制造保留下来, 而且把软件制造、服务和知识附加等不可触摸的部分融合进来, 进一步扩大了制造的内涵。从发展的趋势看, 未来的制造将不再单纯是可触摸的物质货物或产品的制造, 而是可触摸的货物/产品同不可触摸的知识、软件和服务相结合的、可变组合的广义产品制造。

2. 制造业及其基本特征

制造业属于国民经济三大产业中的第二产业, 它在国民经济中占有重要的地位。尤其是机械制造业, 兼有基础产业和带头产业的双重特性。除了要为各行各业提供装备外, 还肩负着为满足人民生活所必需的各种机电消费品的生产任务。由于各行业技术水平、经济效益的高低在很大程度上依赖于机械制造业给它们提供的装备, 因此机械制造业的规模和水平是衡量一个国家经济实力和科技水平的重要标志。

制造作为人类物质资料生产的基本活动, 已有数千年的历史。但是, 无论是过去, 还是未来, 制造一直保持着以下基本而重要的特征:

1) 制造为人类的生存和发展提供了基本的物质资料。这一趋势将随着全球经济一体化的加快、社会的进步与发展而不断地得到增强。

2) 制造为国家创造了财富。据统计, 制造业为发达国家创造了 60% ~ 80% 的社会财富。一个没有强大制造业的国家不可能是一个先进、富强的国家。先进的制造业是一个国家的支柱产业, 是人民物质文化生活不断提高和综合国力与国防力量不断增强的保证。

3) 制造是不断造福人类的保证。有了先进而强大制造业的国家, 才可能成为一个富裕和繁荣的国家, 才可以为国民提供可靠的安全保证。

随着经济全球化的发展、科学技术的进步, 一个日益剧烈的竞争环境正在世界范围内形成。消费者对产品的个性化、多样化需求, 迫使制造企业纷纷采用先进的制造技术以提高自身的核心竞争力。可见, 发展先进制造是将我国建设成为强大的工业国, 实现总体发展目标的基础。

3. 制造的目的

制造不仅通过对原材料的物理处理、加工, 使之转换成比输入的原材料更为有用、价值