



应用型大学工程训练系列教材

# 工程训练

工  
科  
类

主编 / 韦相贵      副主编 / 张科研 黎泉 石南辉  
主审 / 傅水根



清华大学出版社

应用型大学工程训练系列教材

# 工程训练

工  
科  
类

主编 / 韦相贵    副主编 / 张科研 黎泉 石南辉

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是作者结合多年工程实践教学经验,以全国大学生工程训练综合能力大赛无碳小车的设计制作为主线,经过结构优化、整合编写而成的。全书共分现代制造工程概述、工程材料及热处理、铸造、锻压、焊接、车削加工、钳工、铣削和磨削加工、数控加工技术、特种加工技术、CAD/CAM技术与制造业信息化、电工基础、电子工艺基础、电气控制技术、机电一体化技术、产品加工分析及成本核算共16章。

本书主要用于对理工科各专业学生开展工程训练教学和实习指导,并可作为有关专业工程技术人员、技术工人和中等职业学校师生的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

工程训练:工科类/韦相贵主编. —北京:清华大学出版社,2018

(应用型大学工程训练系列教材)

ISBN 978-7-302-51452-7

I. ①工… II. ①韦… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 243448 号

责任编辑:许 龙 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:刘玉霞

责任印制:董 瑾

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:三河市龙大印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18.75 字 数:452千字

版 次:2018年12月第1版 印 次:2018年12月第1次印刷

定 价:48.00元

产品编号:077728-01

# 前言



## FOREWORD

《工程训练(工科类)》是根据教育部普通高等学校机械基础课程教学指导委员会的教学基本要求,为对理工科学生开展工程训练而进行编写的。本书以“突出技能、重在实用、理论够用”为指导思想,结合本课程的具体情况和教学实践,注重理论与实践相结合,突出能力培养,强化实践教学,为高素质应用型人才培养打下一定的理论与实践基础。目的是让学生学习机电工艺知识,增强物化能力,践行工匠精神,体验技术进步。

本书是作者结合多年工程实践教学经验,以全国大学生工程训练综合能力大赛无碳小车的设计制作为主线,经过结构优化、整合编写而成的。注重培养学生理论联系实际意识,通过让学生实际制作工件来强化学生的工程训练效果,发挥学生的潜力,提高学生的创新意识。

全书共分16章,分别为现代制造工程概述、工程材料及热处理、铸造、锻压、焊接、车削加工、钳工、铣削和磨削加工、数控加工技术、特种加工技术、CAD/CAM技术与制造业信息化、电工基础、电子工艺基础、电气控制技术、机电一体化技术、产品加工分析及成本核算等。全书图文并茂、通俗易懂,内容实用新颖,可操作性强。

本书主要有以下特点:

(1) 编写目标明确,以全国大学生工程训练综合能力大赛无碳小车的设计制作为主线,让学生对产品的设计及加工生产有初步了解;

(2) 较好地处理了理论知识与实践知识、传统制造技术内容与先进制造技术内容之间比例协调和相互融合的关系,强调工程训练教学的综合性、设计性、自主性和开放性;

(3) 在编写中坚持“少而精”的原则,突出针对性、典型性和实用性;

(4) 编排采用问题导入形式,深入浅出、图文并茂、直观形象;

(5) 为确保实习中的安全,在编写中对部分技能训练有针对性地作了安全知识介绍;

(6) 主要面向理工科各专业学生,适用于普通高等院校开展工程训练实践教学和实习指导,并可作为有关专业工程技术人员、技术工人和中等职业学校的参考用书。


本书由北部湾大学韦相贵教授主编,参加编写的有张科研、黎泉、石南辉、王海霞、刘均勇、贾广攀、刘浩宇、刘科明、王帅帅、席红霞、谷良田、曾江黎、蒋庆华。由傅水根教授担任主审。

由于编者水平有限,书中难免存在错误与不妥之处,敬请有关专家与读者批评指正。

编者

2018.10

# 目 录



## CONTENTS

<b>第 1 章 现代制造工程概述</b> .....	1
1.1 制造系统的基本概念 .....	1
1.2 现代制造的战略、理念和模式 .....	3
1.2.1 制造领域竞争战略的演变 .....	3
1.2.2 柔性制造 .....	4
1.2.3 计算机集成制造 .....	5
1.2.4 虚拟制造 .....	7
1.2.5 智能制造 .....	8
1.3 现代工程设计技术 .....	9
1.3.1 现代工程设计技术概述 .....	9
1.3.2 虚拟现实技术 .....	11
复习思考题 .....	14
<b>第 2 章 工程材料及热处理</b> .....	15
2.1 工程材料 .....	16
2.1.1 工程材料的分类 .....	16
2.1.2 金属材料的组织结构 .....	17
2.1.3 常见工程材料 .....	19
2.2 热处理 .....	22
2.2.1 热处理工艺 .....	22
2.2.2 热处理工件性能的检验 .....	25
复习思考题 .....	28
<b>第 3 章 铸造</b> .....	29
3.1 概述 .....	29
3.2 造型 .....	30
3.2.1 铸型的组成 .....	30
3.2.2 造型材料 .....	31

3.2.3	型砂与芯砂的制备 .....	32
3.2.4	模样与芯盒 .....	33
3.2.5	造型方法 .....	33
3.2.6	浇注系统 .....	36
3.2.7	合型 .....	38
3.3	合金的熔炼与浇注 .....	38
3.3.1	铸造合金的种类 .....	38
3.3.2	铸铁的熔炼 .....	39
3.3.3	铝合金的熔炼 .....	41
3.3.4	合金的浇注 .....	43
3.4	铸件的缺陷分析 .....	44
3.5	特种铸造 .....	45
3.6	铸造安全操作规程 .....	48
3.7	实训项目 .....	48
	复习思考题 .....	49
<b>第4章</b>	<b>锻压 .....</b>	<b>50</b>
4.1	概述 .....	50
4.2	锻造 .....	51
4.2.1	锻造工艺概述 .....	51
4.2.2	自由锻造 .....	53
4.2.3	模型锻造 .....	61
4.2.4	胎模锻 .....	62
4.3	冲压 .....	63
4.4	安全操作规程 .....	67
4.5	实训项目 .....	67
	复习思考题 .....	69
<b>第5章</b>	<b>焊接 .....</b>	<b>70</b>
5.1	概述 .....	70
5.2	焊条电弧焊 .....	72
5.2.1	定义 .....	72
5.2.2	焊接电弧 .....	73
5.2.3	弧焊电源 .....	73
5.2.4	焊条 .....	74
5.3	焊接接头形式和操作工艺 .....	77
5.3.1	焊接接头形式 .....	77
5.3.2	坡口形式 .....	78
5.3.3	焊接位置 .....	78



5.3.4	焊接工艺参数及选择 .....	79
5.3.5	焊条电弧焊基本操作技术 .....	80
5.4	气焊与气割 .....	83
5.4.1	气焊 .....	83
5.4.2	氧气切割 .....	85
5.5	其他常见焊接方式简介 .....	86
5.6	安全操作规程 .....	87
5.6.1	焊条电弧焊安全操作规程 .....	87
5.6.2	气焊、气割安全操作规程 .....	88
5.7	实训项目 .....	89
	复习思考题 .....	90
<b>第 6 章</b>	<b>车削加工 .....</b>	<b>92</b>
6.1	基础知识 .....	92
6.1.1	车削加工概述 .....	92
6.1.2	切削加工的基本概念 .....	93
6.1.3	车床 .....	96
6.1.4	刀具、工件的装夹 .....	98
6.1.5	常用量具及其使用 .....	99
6.2	车外圆柱面 .....	102
6.2.1	车削外圆、端面 .....	102
6.2.2	车槽与切断 .....	104
6.3	车削锥体 .....	106
6.3.1	基本知识 .....	106
6.3.2	车削圆锥 .....	107
6.4	车削三角螺纹 .....	109
6.4.1	三角螺纹基本知识 .....	109
6.4.2	三角螺纹的车削 .....	110
6.5	安全操作规程 .....	114
6.5.1	安全操作规程安全知识 .....	114
6.5.2	车床的润滑和维护保养 .....	115
	复习思考题 .....	117
<b>第 7 章</b>	<b>钳工 .....</b>	<b>118</b>
7.1	基础知识 .....	118
7.2	基本操作 .....	121
7.2.1	划线 .....	121
7.2.2	锯削 .....	124
7.2.3	锉削 .....	127

7.2.4	钻孔	129
7.2.5	扩孔	130
7.2.6	铰孔	130
7.2.7	攻螺纹和套螺纹	131
7.3	装配	133
7.4	安全操作规程	136
7.5	实训项目	136
	复习思考题	137
<b>第 8 章</b>	<b>铣削和磨削加工</b>	<b>138</b>
8.1	铣削	138
8.1.1	基本知识	138
8.1.2	铣刀简介	141
8.1.3	铣削用量的选择	142
8.2	磨削	144
8.2.1	概念	144
8.2.2	磨削的工艺特点及应用	144
8.2.3	磨床分类及型号	146
8.3	安全操作规程	148
8.4	实训项目	150
	复习思考题	151
<b>第 9 章</b>	<b>数控加工技术</b>	<b>153</b>
9.1	数控机床基础知识	153
9.2	数控车床基本程序指令及应用	155
9.3	零件加工	159
9.4	加工中心基本程序指令及应用	161
9.4.1	KVC650 型加工中心简介	161
9.4.2	FANUC 0i Mate-Mc 数控说明	162
9.4.3	KVC650 型加工中心面板	164
9.4.4	加工中心基本操作	166
9.4.5	程序的调试	168
9.5	数控机床安全操作规程	169
9.6	实训项目	170
	复习思考题	170
<b>第 10 章</b>	<b>特种加工技术</b>	<b>172</b>
10.1	概述	172
10.2	电火花成型加工	173

10.3	数控电火花线切割 .....	175
10.3.1	数控电火花线切割机床的组成 .....	175
10.3.2	数控电火花线切割加工的原理 .....	176
10.3.3	数控电火花线切割加工的特点及其应用 .....	177
10.3.4	数控电火花线切割加工程序的编程方法 .....	177
10.4	激光加工 .....	180
10.4.1	基本原理和特点 .....	180
10.4.2	激光加工工艺 .....	181
10.5	快速成型加工 .....	183
10.5.1	基本原理与特点 .....	183
10.5.2	工艺方法 .....	184
10.5.3	快速成型的应用 .....	187
10.6	安全操作规程 .....	188
10.7	实训项目 .....	189
10.7.1	电火花线切割与电火花成型加工实训项目 .....	189
10.7.2	激光加工实训项目 .....	191
10.7.3	快速成型实训项目 .....	192
	复习思考题 .....	193
<b>第 11 章</b>	<b>CAD/CAM 技术与制造业信息化 .....</b>	<b>194</b>
11.1	概述 .....	194
11.2	CAXA 制造工程师 2015 .....	195
11.2.1	CAXA 制造工程师 2015 用户界面 .....	195
11.2.2	CAD 应用——CAXA 制造工程师绘图设计 .....	196
11.3	制造业信息化 .....	200
11.3.1	制造业信息化概述 .....	200
11.3.2	制造业信息化的技术 .....	202
	复习思考题 .....	203
<b>第 12 章</b>	<b>电工基础 .....</b>	<b>204</b>
12.1	安全用电基本知识 .....	205
12.1.1	安全用电 .....	205
12.1.2	触电急救基本操作 .....	208
12.2	常用电工工具及仪表 .....	209
12.2.1	验电工具的使用 .....	209
12.2.2	螺钉旋具的使用 .....	211
12.2.3	钢丝钳和尖嘴钳的使用 .....	212
12.2.4	导线绝缘层的剖削 .....	213
12.2.5	数字万用表的使用 .....	214



12.3	日光灯的安装 .....	216
12.4	安全操作规程 .....	217
12.5	实训项目 .....	217
	复习思考题 .....	219
<b>第 13 章</b>	<b>电子工艺基础 .....</b>	<b>220</b>
13.1	概述 .....	220
13.2	常见的元件介绍 .....	221
13.2.1	无源元件 .....	223
13.2.2	半导体元件 .....	224
13.2.3	传感器 .....	225
13.3	自制印刷板 .....	226
13.3.1	制图 .....	226
13.3.2	制板 .....	227
13.4	手工装接 .....	230
13.4.1	表面贴装 .....	231
13.4.2	通孔装接 .....	232
13.5	调试与故障排除 .....	234
	复习思考题 .....	236
<b>第 14 章</b>	<b>电气控制技术 .....</b>	<b>238</b>
14.1	概述 .....	238
14.2	低压开关和低压断路器 .....	238
14.3	控制系统中的常见电器 .....	241
14.3.1	接触器 .....	241
14.3.2	继电器 .....	244
14.3.3	熔断器 .....	246
14.3.4	主令电器 .....	247
14.4	低压控制回路 .....	248
14.4.1	三相异步电动机的正、反转控制电路 .....	248
14.4.2	三相异步电动机降压启动电路 .....	251
14.4.3	行程开关和限位控制电路 .....	251
14.4.4	时间继电器延时控制电路 .....	253
14.4.5	单相电动机的控制 .....	254
14.5	异步电动机的检修 .....	256
14.5.1	定期维修 .....	256
14.5.2	故障分析 .....	256
14.6	实训项目 .....	258
	复习思考题 .....	258

<b>第 15 章 机电一体化技术</b> .....	260
15.1 概述 .....	260
15.1.1 机电一体化的组成 .....	260
15.1.2 机电一体化的内容 .....	261
15.1.3 机电一体化的发展历史 .....	262
15.1.4 机电一体化的发展趋势 .....	263
15.2 技术应用领域 .....	263
15.3 中国制造 2025 与工业 4.0 .....	264
15.4 车床电气控制 .....	266
15.5 安全操作规程 .....	268
15.6 实训项目 .....	269
复习思考题 .....	272
<b>第 16 章 产品加工分析及成本核算</b> .....	273
16.1 无碳小车加工分析 .....	273
16.1.1 机械加工工艺分析 .....	273
16.1.2 电路设计加工分析 .....	277
16.2 无碳小车成本核算 .....	280
16.3 无碳小车企划方案 .....	284
<b>参考文献</b> .....	286



## 现代制造工程概述

### 问题导入

随着人们节能环保意识的提升,无碳的理念越来越被人们所关注,更洁净、更环保、更节能、更高效的理念也深入人心。无碳小车(见图 1-1)是对“无碳”理念的探索与开发,对未来“无碳”的憧憬。小车构思巧妙,在完成设计的要求下充分考虑了外观和成本等问题,方便以后的扩展和进一步的开发,并能满足大部分学生对机械知识进行深入了解的愿望,对激发青少年对机械构造的热情有深远的影响。

无碳小车的设计与制造涉及机械原理、机械设计、电路设计和机械加工等相关专业知识。如何将脑海里的无碳小车构思转化为实物?机械加工是将想法转化为实物的一个必不可少的步骤。无碳小车涉及的机械加工的内容及加工种类较多,是用传统普通机床加工?还是省时省力的数控加工?又或是用激光切割、3D 打印等加工方法实现?如何保证无碳小车的结构合理以及精度要求?带着这些问题,我们一起来探索现代制造工程的奥秘吧!



图 1-1 无碳小车

现代制造工程是人们运用现代科学知识和技术手段,在社会、经济和时间等因素的限制范围内,为满足社会某种需要而创造新的物质产品的过程。现代工程涉及的知识较多,限于篇幅,本书只讨论现代制造工程相关领域知识。

### 教学目标

- (1) 了解制造系统的基本概念;
- (2) 了解现代制造的战略、理念和模式;
- (3) 了解现代工程设计技术。

## 1.1 制造系统的基本概念

### 1. 制造的含义

所谓制造,是一种将有关资源(如物料、能量、资金、人力、信息等)按照社会的需求转变为新的有更高应用价值的资源(如有形的物质产品和无形的软件、服务等产品)的行为和过程。

随着社会的进步和制造活动的发展,制造的内涵也在不断地深化和扩展。农业社会阶段及以前时期,制造活动主要是采用简单工具(石器、铜器、铁器等)的手工制造,制造的对象主要是自然界地表的天然资源。工业社会阶段,制造活动发展为采用复杂机器作为工具的机器制造,并且,随着科学技术的发展,新的制造模式不断出现,如机械化流水线制造、自动化制造等,制造的对象主要是埋藏在地下的石油及其他矿产资源。今天,世界已跨入信息社会阶段,现代制造模式如柔性制造、集成制造、敏捷制造、智能制造、纳米制造、生物制造等不断涌现,制造的对象已经扩大到分子、原子,甚至是蕴藏在人们头脑中的信息、知识等无形资源。有关专家指出,下一个社会阶段将是纳米科技时代和生物科技时代,以分子、原子等为对象的纳米制造和以基因技术为核心的生物制造将闪亮登场,制造的主要对象将扩大到基因资源和介观领域的各种资源。专家们预言,将用纳米科技“营造自然界尚不存在的新的物质体系”,将用基因“重塑世界”。

因此,制造的概念是一个不断发展进化的概念。现代制造以社会、经济发展需求为目标,以资源和资源转换为对象,以现代制造科学与技术为基础,以制造系统为载体,以信息化、网络化、生态化和全球化为环境和背景,展现在我们面前。

## 2. 制造系统的定义

要理解这个概念,必须以现实世界和社会价值的观点来加以认识。制造活动是社会最基本的活动。由于社会发展的需求,出现了制造系统,这就是现实社会中的制造型企业(以下简称企业,并且对企业及制造系统将等同使用或合称企业系统)。企业是工业革命的产物,是商品经济的产物,它应人类社会环境的需求而产生,随社会经济的发展而演变。早期人们对企业的认识是“赚钱的机器”;后来,人们逐步认识到企业的基本功能是“资源转换”,为人类社会创造财富;随着现代经济的发展,人们进一步认识到企业是“国民经济的细胞”;信息时代的到来、知识经济的兴起,使人们更深刻地认识到企业是一个智能生物体,将随环境的变化而自动进化。

因此,我们从以下三个方面描述制造系统的内涵。

一是资源转换单位。这是从企业的基本功能出发对企业或制造系统的描述。企业将环境(社会、经济、科技文化等)中各种人、财、物、信息等必要的资源输入,通过系统内部转换,而后向环境输出经过加工的、为环境所需的、价值更高的资源。这种新的资源主要是指企业系统提供的产品和服务,但在今天的概念中,还应包括企业系统所承担的其他社会责任的实现。企业系统在完成这一转换过程中,不断接受环境变化的信息刺激,调整其内部转换机能,从而不断有效地实现其使命。由此可见,企业系统的转换功能是一个动态的、不断发展和进化的概念。

二是国民经济的细胞。从经济学意义上看,企业是指从事生产、流通、服务等经济活动,以产品或劳务满足社会需要,以赢利为目的,自主经营、自负盈亏、依法设立的经济组织,是现代社会经济的基本单位。

三是一个开放的系统。制造系统是环境的产物,其生存和发展必然与环境变化息息相关。系统的内外环境错综复杂,在当今时代又变幻莫测。系统环境一般分为宏观环境和微观环境,宏观环境是指对企业系统及微观环境各因素具有较大影响的因素,包括政治、法律、经济、科技、社会、文化等环境;微观环境是指那些直接影响企业产品生产、经济

条件与能力的客观因素,如行业性质、竞争者状况、消费者、供应商、中间商及其他社会公众。企业系统的开放特性表明,企业系统的发展必须要面向经济、立足社会、依靠科技与文化。

与其他系统相比,制造系统具有以下特点:

- (1) 构形化的物理产品、产品的研发是制造系统的核心能力;
- (2) 增值服务,向客户提供全面的问题解决方案;
- (3) 人的因素和组织结构,以人为本,实现物质、信息和技术的集成;
- (4) 面向过程,立足全局,为生产经营全过程负责;
- (5) 进出流(物流、信息流、资金流、能量流和价值流)管理。

## 1.2 现代制造的战略、理念和模式

今天,决定企业成败的诸多因素中,战略和理念的创新将领衔一切;当目标和战略确定之后,则管理决定成败。因此,现代制造的精髓是制造战略和理念、管理思想与模式。

随着市场全球化、经济一体化进程的加快,竞争战略不断更迭,从最初的规模战略(scale strategy, S)、成本战略(cost strategy, C),到后来的质量战略(quality strategy, Q)、供货期战略(delivery time strategy, T)、服务战略(service strategy, S)、环保战略(environmental protection strategy, E),直到现在的综合战略,即 S、C、Q、T、E。相应的制造理念和制造模式不断创新,先后出现了柔性制造、集成制造、敏捷制造、智能制造以及其他各种先进制造理念和模式。面对今天的新形势、新格局,现代制造理念和模式对于市场竞争的成败将越来越起到决定性的作用。

### 1.2.1 制造领域竞争战略的演变

竞争战略是服务于市场竞争需要的,而市场的变化又与社会需求、生产水平、科技进步、经济社会发展等紧密相关。表 1-1 概括了竞争战略的演变过程。

表 1-1 竞争战略的演变

时期	市场特点	制造战略				
		规模	成本	质量	时间、服务	环境
20 世纪 60 年代	卖方市场	规模	成本			
20 世纪 70 年代	供需平衡	规模	成本	质量		
20 世纪 80 年代	买方市场		成本	质量	时间、服务	
20 世纪 90 年代	全球市场		成本	质量	时间、服务	环境
21 世纪	网上市场		成本	质量	时间、服务	环境

20 世纪 60 年代以前,由于科技水平不高,生产力水平还满足不了社会需求的增长,存在着供不应求的矛盾。因此,当时的制造战略是拼命上规模,一方面满足社会需要,另一方面通过扩大规模降低生产成本,以获得巨额利润。

60 年代以后,供需矛盾逐渐趋向缓和,随着社会经济的发展,人们生活水平的提高,消费需求由生存资料转向享受资料和发展资料,人们在大量可选商品中必然选择质优价廉的商品,于是企业纷纷采用质量战略。

70年代中期以后,市场发生了很大的变化,一方面商品供过于求,另一方面人们的需求出现了多样化、个性化的趋势,大批量的生产方式已不能满足多品种、小批量甚至单件生产的特点。加上科技水平的提高,使现代商品功能越来越多,结构越来越复杂,自动化水平也越来越高,使用和维修的问题凸显出来。为了在面对众多竞争对手情况下快速响应客户需求,使客户真正享受到商品的全部价值,于是企业界又打出了及时供货和优质服务这两张牌,出现了一种以客户为中心、将服务视作商品重要组成部分的新的制造战略。

工业经济的发展导致现代社会的辉煌发展和高度文明,这一历史功绩是不可磨灭的。但是,工业经济的发展,导致物质资源和能量资源大量消耗,环境严重污染,从而给人类社会的持续发展带来了人口、资源和环境三大新难题。于是,在20世纪90年代环保、绿色制造、可持续发展等制造战略应运而生。

当前,知识经济正向我们走来。随着以知识为基础的服务业和知识产业对经济发展的贡献不断增长,开发市场和创新的能力本身已经逐步取代生产效率,成为经济增长中的主要驱动器。随着虚拟企业的出现,规模小已成为企业效率和生产力增长的指数,那些拥有有限生产能力的经济体往往最有效率。因此,未来的战略不是规模,而是创新能力。

环境需求的变化推动制造战略的发展与演变,而制造战略的实施和提升反过来促进了社会经济的发展。社会发展无止境,制造战略的发展也无无止境。只要我们努力增强企业的创新意识和创造能力,就能够以变应变,创造出更好的制造战略。

## 1.2.2 柔性制造

### 1. 背景

20世纪60年代以前,刚性自动化生产系统或生产线已有长足的进步,大批量生产具有效率高、成本低、质量好、程序固定等优点,对生产水平的提高起到了很大的作用。然而,面对日益增长的用户需求多样化、个性化的市场,这种刚性系统越来越暴露出其内在缺陷,即产品转产或换型后调整困难、时间长,甚至无法调整,真可谓“刚性”十足。当时,数字计算机和数控机床等新一代可编程数字化设备已经出现,开始用于工业过程。在市场牵引和技术推动下,60年代末期出现了柔性制造(flexible manufacturing, FM)的新理念和新模式,1967年英国莫林公司率先推出著名的“莫林系统-24”(Molins System-24)柔性制造系统。

### 2. 概念

所谓柔性制造,是指用可编程、多功能的数字控制设备更换刚性自动化设备,用易编程、易修改、易扩展、易更换的软件控制代替刚性联结的工序过程,使刚性生产线实现柔性化,能够快速响应市场的需求,多快好省地完成多品种、中小批量的生产任务。

根据柔性制造理念开发的制造系统称为柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS),即由若干台数控加工设备、物流储运装置和计算机控制系统组成的,并能根据制造任务和生产品种的变化而迅速进行调整的自动化制造系统。早期的柔性制造主要针对产品的生产制造过程,即围绕物料流的运储、加工、检测及辅助过程,包括生产制造过程的控制和管理。今天,随着先进制造理念和技术的发展,出现了敏捷制造、虚拟企业等新理念,要求整个企业具备良好的柔性,实现制造系统的虚拟和重组,更加敏捷地响应市场需求。

柔性制造中的柔性具有多种含义,除了加工柔性外,还包含设备柔性、工艺柔性、产品柔性、流程柔性、批量柔性、扩展柔性、工序柔性和生产柔性。

设备柔性指系统易于实现加工不同类型零件所需转换的能力。衡量指标有:更换磨损刀具的时间;为加工同一类而不同组的零件所需的换刀时间;组装新夹具所需的时间;机床实现加工不同类型零件所需的调整时间,包括刀具准备时间、零件安装定位和拆卸时间以及更换数控程序的时间。

工艺柔性指系统能够以多种方法加工某一零件组的能力,也称为“加工柔性”或“混流加工柔性”。衡量指标是系统不采用成批方式而能同时加工零件的品种数。

产品柔性指系统能经济而迅速地转向生产新产品的能力,即转产能力,也称为“反应柔性”,即指为适应新环境而采取新行动的能力。衡量指标是系统从生产一种零件转向生产另一种零件所需的时间。

流程柔性指系统处理其故障并维持其生产持续进行的能力。这种能力包含两个方面,一是零件能采用不同的工艺路线进行加工,二是能够用来完成加工某工序的机床不只配备一台。衡量指标是FMS在发生故障时的生存能力,即生产率不致显著下降或零件加工能继续进行。

批量柔性指系统在不同批量下运转有利可图的能力。如提高自动化水平后,由于机床调整费用下降,与直接劳动有关的可变成本下降,系统的批量柔性也就随之提高。衡量指标是保证系统运转有利可图的最小批量。该批量越小,系统的柔性就越高。

扩展柔性指系统能根据需要通过模块进行重组和扩展的能力。衡量指标是系统能扩展的规模大小。

工序柔性指系统变换零件加工顺序的能力。

生产柔性指系统能够生产各种类零件的总和。衡量指标是现有的技术水平。

柔性制造理念和系统的应用,表明制造系统在信息资源和知识资源的开发利用方面开始进入新的阶段。

### 1.2.3 计算机集成制造

#### 1. 背景

计算机集成制造(computer integrated manufacturing, CIM)是美国的约瑟夫·哈林顿博士1974年针对企业所面临的激烈市场竞争形势而提出的组织企业生产的一种哲理。CIM理念的出现不是偶然的,而是有着深刻的经济、社会和科技背景。制造业长期以来一直是工业发达国家国民经济的主要支柱,约占整个国民生产总值的40%以上。但是,最近二十多年来,由于宏观环境因素,特别是经济、技术、自然和社会环境因素的影响,制造业发展出现了几个新的特点。

(1) 生产能力(包括资本、信息)在世界范围内迅速提高和扩散,已形成全球性的激烈竞争格局。

(2) 先进的生产技术正在急剧地改变着制造业的产品结构和生产过程。

(3) 传统的管理、劳动方式、组织结构和决策准则正在经历新的变化。

(4) 过去那种稳定的市场已变成动态的多变的市场,表现在:产品生命周期缩短,产品

更新加快,产品品种增加,批量减少;产品的质量、价格、交货期成为增强企业竞争力的三个决定性因素。

制造企业为了适应这些特点,求得生存与发展,必须采取高柔性 with 高生产率相结合的制造战略,以实现多品种、小批量、高质量、低成本和缩短交货期的综合目标。

科技进步,特别是信息、计算机和网络技术的迅速发展及其与制造技术的密切结合,开阔了柔性自动化的道路。1952年,美国研制成第一台数控(numerical control, NC)机床,20世纪60年代中期正式上市。1967年,第一套FMS由英国首先研制、美国成功生产,70年代初逐渐形成工业应用产品。1963年,美国推出几何造型CAD(computer aided design,计算机辅助设计)系统,60年代末开始研制CAPP(computer-aided process planning,计算机辅助工艺编制)。1968年,IBM公司提出生产信息和管理系统(production information control system, PICS),其后出现了功能日益完善的制造信息系统。70年代以来,为了提高生产准备和生产过程的效率和效益,充分利用信息技术,实现单元技术间的集成,先后实现了CAD/CAM(computer aided manage,计算机辅助管理)、CAD/MIS(management information system,管理信息系统)、CAPP/MIS等局部系统的集成。80年代至90年代,CIM(computer integrated manufacturing,计算机集成制造)进入了迅速发展的阶段;这个时期,计算机技术、网络技术、计算机环境的标准化都有了飞速发展和重大进展,技术上对CIMS(computer integrated manufacturing systems,计算机集成制造系统)的发展奠定了良好的基础。

## 2. 概念

CIM的哲理有两个基本要点:企业的各个生产环节是不可分割的,需要统一考虑;整个制造生产过程实质上是信息的采集、传递、加工和处理的过程。这两个基本观点是紧密联系的。CIM是用全局观点(即系统观点)对待企业的生产经营过程,包括市场分析、产品设计、加工制造、管理及售后服务等方面,追求全局优化。换言之,在激烈的市场竞争中,企业求生存、争发展,必须用CIM理念组织经营生产,不仅要正确处理加工制造过程的自动化,而且必须使设计过程、管理和决策过程采用先进技术,更加重要的是企业的体制、运行机制必须作相应的深刻改革。

因此,CIM的准确内涵是: CIM是一种组织、管理和运行企业的哲理。它将传统的制造技术与现代信息技术、管理技术、自动化技术、系统工程技术等有机结合,借助计算机(硬、软件),使企业产品全生命周期——市场需求分析、产品定义、研究开发、设计、制造、支持(包括质量、销售、采购、发送、服务)以及产品最后报废、环境处理等各阶段活动中有关的人/组织、经营管理和技术三要素及其信息流、物流、价值流有机集成并优化运行,实现企业制造活动的计算机化、信息化、智能化、集成化,以达到产品上市快、高质、低耗、服务好、环境清洁,进而提高企业的柔性、健壮性、敏捷性,使企业赢得市场竞争。

简言之,所谓CIM,是用计算机通过信息集成、过程集成、企业集成实现现代化的生产制造,求得企业的总体效益的一种先进制造理念。

根据这一理念研发的计算机化、信息化、智能化、集成优化的制造系统,称为计算机集成制造系统(CIMS),或现代集成制造系统。