



国际制造业先进技术译丛

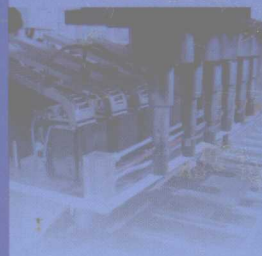
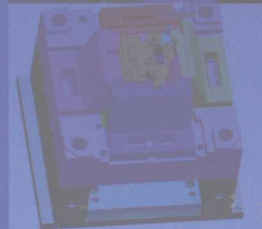
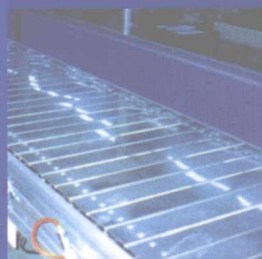
# 装配自动化与 产品设计

原书第2版

(美) 杰弗里·布思罗伊德 编著

(Geoffrey Boothroyd)

熊永家 山传文 娄文忠 译



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

国际制造业先进技术译丛

# 装配自动化与产品设计

(原书第2版)

(美) 杰弗里·布思罗伊德 (Geoffrey Boothroyd) 编著  
熊永家 山传文 娄文忠 译



机械工业出版社

本书以产品设计为基点,以装配自动化为目的,论述了自动机械的结构组成、输送及自动进给系统、定向机构、典型装配系统性能及其经济性分析、产品设计方法、装配工艺等方面的内容,涉及到产品设计、自动装配系统设计、装配工艺流程分析、经济性分析等方面的知识和技术。全书紧贴工程实际,为产品设计和装配自动化提供了必不可少的基础知识以及大量的实用数据资料和实用方法。

本书适于用作本科院校和高职高专院校机械设计制造与自动化、机电一体化等机电类相关专业的参考书,也可供从事自动机械设计及机电产品设计的工程技术人员参考。

Copyright©2005 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All right reserved.

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2007-4186

## 图书在版编目(CIP)数据

装配自动化与产品设计(原书第2版)/(美)杰弗里·布思罗伊德(Geoffrey Boothroyd)编著,熊永家,山传文,娄文忠译. —北京:机械工业出版社,2009.1

(国际制造业先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-25601-4

I. 装… II. ①杰…②熊…③山…④娄… III. 装配(机械)—自动化  
IV. TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第179909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:孔劲 责任编辑:高依楠

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:鞠杨 责任印制:杨曦

三河市宏达印刷有限公司印刷

2009年3月第1版第1次印刷

169mm×239mm·27.75印张·538千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-25601-4

定价:98.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

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

编辑热线电话:(010)88379772

封面无防伪标均为盗版

# 译丛序言

## 一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是 20 世纪 80 年代提出的，由机械制造技术发展而来。通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术，进行交叉、融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制；制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及到机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，制造技术具有共性，又有个性。

我国的制造业涉及以下三方面的领域：

- 机械、电子制造业，包括机床、专用设备、交通运输工具、机械设备、电子通信设备、仪器等；
- 资源加工工业，包括石油化工、化学纤维、橡胶、塑料等；
- 轻纺工业，包括服装、纺织、皮革、印刷等。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方面发展，在加工技术上主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等，在制造模式上主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

## 二、图书交流源远流长

近年来,国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用,制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

必须看到,我国制造业与工业发达国家相比,仍存在较大差距。因此必须加强原始创新,在实践中继承和改造,学习国外的先进制造技术和经验,提高自主创新能力,形成自己的创新体系。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史,可以追溯到唐朝甚至更远一些,唐玄奘去印度取经可以说是一段典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式,早在20世纪初期,我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》,其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》,对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体,图书是一个海洋,虽然现在已有网络、光盘、计算机等信息传输和储存手段,但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性,看书总比在计算机上看资料更方便,不同层次的要求可以参考不同层次的图书,不同职业的人员可以参考不同类型的技术图书,同时它具有比较长期的参考价值和收藏价值。当然,技术图书的交流具有时间上的滞后性,不够及时,翻译的质量也是个关键问题,需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社希望能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者作出贡献,为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源,翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作,从而能够提升我国制造业的自主创新能力,引导和推进科研与实践水平不断进步。

## 三、选择严谨质高面广

1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点书,在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量,力求为读者奉献一套高品质的丛书。

2) 专家选择把关 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担,充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书,组成一套“国际制造业先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

4) 内容先进丰富 在内容上应具有先进性、经典性、广泛性,应能代表相关专业的技术前沿,对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业,例如机械、材料、能源等,既包括对传统技术的改进,又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、

研究人员和工程技术人员，高等院校的教师和学生，可以按照不同层次和水平要求各取所需。

#### 四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多积极热心支持出版“国际制造业先进技术译丛”的专家学者，积极推荐国外相关优秀图书，仔细评审外文原版书，推荐评审和翻译的知名专家，特别要感谢承担翻译工作的译者，对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切敬意，同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

本套丛书希望能对广大读者的工作提供切实的帮助，欢迎广大读者不吝指教，提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

## 译者序

制造业是指以制造技术为主导技术进行产品制造的行业。制造自动化的任务就是研究制造过程规划、管理、组织、控制与操作等的自动化。实际产品的制造过程同时包括了加工、装配、检测、包装等多种工序，不同行业中这些工序各自侧重，而且实际上这些工序是互相联系的。其中装配自动化是整个制造业的核心内容，它是其他自动化制造过程的重要基础。

工业发达国家早在 20 世纪就广泛实现了制造自动化，发达国家普遍实现制造自动化的原因并不单纯是人工成本较高，更深层次的意义是制造自动化对于提高产品质量（工作精度、性能一致性、可靠性等）、降低制造成本、提高企业核心技术竞争力起到了极其重要的作用。我国目前虽然是制造业大国，但由于制造自动化水平低，国内生产的产品大多数为附加值较低的中低档产品，目前的发展主要是以资源及廉价劳动力为代价，不仅严重制约了国内产品在国际高技术产品市场的竞争力，同时也导致资源的综合利用率低。

改革开放以来，我国虽然先后从国外引进了大量的自动化装配技术并对引进的自动化设备进行消化吸收，初步形成了自动化装配产业，但由于在产品设计上仍采取传统的设计方法，产品设计人员对自动化装备缺乏了解，使产品不适于自动化装配，不能充分发挥出自动装配的优势。产生这种现象的原因之一是我国现有技术设计人员在专业知识的横向上缺少一定的宽度，缺乏既懂产品工艺又懂产品设计的工程技术人员，由此造成产品的可生产性差，满足不了自动化设备的工艺要求。国内也很少有高校开有这样工程性很强的课程，在产品设计和生产实践中，还主要是靠经验积累，缺乏相关的教材或参考书。

在机械工业出版社引进的系列图书中，我们惊喜地发现杰弗里·布思罗伊德（Geoffrey Boothroyd）的《装配自动化与产品设计》（Assembly Automation and Product Design）对自动化设备设计开发、生产使用以及产品的可装配性设计方面进行了系统的论述，对自动装配和产品设计中的设计原则、应用规范、典型结构、应用实例、优缺点等进行了系统的总结，内容易懂、易学、易查。

本书不仅内容系统、全面，涵盖了自动化装配设计的各个方面，如装配系统组成、输送系统、自动给料机构、节拍分析、方案比选以及总体方案分析、产品设计及产品可装配性分析等，而且书中内容全部来源于工程实践，系统介绍了从事自动装配和产品设计所必须掌握的基本知识和基本技能，各章都结合实际的工程对象进行介绍，采用了大量的工程案例、工程图表、经验公式、分

析总结等为读者提供了大量直观而且可以直接采用和模仿的技术方案。在熟悉和掌握书中介绍的方法、技巧、信息的基础上,可以使读者很快胜任自动化装配和产品设计的工作任务。本书对从事自动化装备设计、产品设计以及产品工艺设计的工程技术人员有很高的参考价值和使用价值。

本书共有 10 章,并附有近 100 道习题和四个包含大量数据图表的附录。全书由熊永家(五洲工程设计研究院)、山传文(北华大学)和娄文忠(北京理工大学)共同翻译,其中第 7、8、10 章以及附录 A 由山传文翻译完成,附录 D 由娄文忠翻译完成,其余内容均由熊永家翻译完成。全书由熊永家进行统稿和初步校对,最后由娄文忠完成全书的中英文校对。参加本书译校工作并给予大力协助的还有王振莲、李叶青、芦金华等同志,机械工业出版社的编辑们为此书的出版也做了大量的工作,译者在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于译者的水平有限,加之自动化制造技术是综合了诸多学科技术的一门技术,在翻译过程中难免会有一些疏漏和错误,恳请读者加以指正。



# 前 言

本书的部分内容是基于由 G. Boothroyd 和 A.H. Redford 所著 1968 年出版的《机械装配》(Mechanized Assembly) 一书。在稍后的版本中, G. Boothroyd、C. Poli 和 L.E. Murch 把书名变更为《自动化装配》(Automatic Assembly), 使用在麻省理工学院开展的研究工作, 更新了在英格兰 Salford 大学积累的素材。在那些天里, 我意识到, 当自动化装配看起来能提供一种改善生产率和竞争力的方法时, 制造工程师和设计人员希望能学习自动化装配。自 1978 年以来, 我逐步展开面向提高劳动生产率和成本降低的这一越来越突出的主题, 即可装配性设计 (DFA)。DFA 方法已经成为广泛使用的方法, 并且已经帮助许多公司引进了具有竞争性的产品设计。

因此, 本书包括了面向装配设计的详细论述, 并且装配自动化的内容与产品设计的要求是并行考虑的。

在考虑装配自动化过程中的第一步应该是面向自动化装配的简易性, 仔细进行产品设计分析。此外, 为了提供自动化经济对比分析的依据, 还应进行面向易于手工装配的产品分析。事实上, 我们经常能发现, 如果某个产品设计合理, 手工装配会相当便宜, 这使得自动化装配显得不十分必要了。因此, 用一整章论述面向手工装配的产品设计, 用另外独立的一章论述面向高速自动及机器人装配的产品设计, 涉及电子装配的内容也是独立的一章。

作为本书的一个附录, 在麻省理工学院出版的颇受欢迎的《面向小型零件进给和定向技术手册》(Handbook of Feeding and Orienting Techniques for Small Parts) 包含在本书第二版中。在这次再版中还包括了针对面向高速自动及机器人装配产品设计的原始数据和编码系统, 这些同样是在麻省理工学院的研究成果。最后, 增加了许多习题, 同时提供所有习题的处理方案。

本书面向制造和产品设计工程师, 同时也适于大专院校在校的工程学学生。

感谢 A.H. Redford 博士, 承蒙他许可使用我们的原作《机械装配》中的材料; C.R. Poli 博士和 L.E. Murch 博士作为《面向小型零件进给和定向技术手册》的合著者, 感谢他们允许我在本书中使用《面向小型零件进给和定向技术手册》中的许多材料。最后, 感谢 P. Dewhurst 博士对面向机器人产品设计方面的贡献。

# 目 录

译丛序言

译者序

前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 装配工艺发展历史 .....	1
1.2 装配方法的选择 .....	5
1.3 自动化的社会影响 .....	8
参考文献 .....	13
<b>第 2 章 自动装配传送系统</b> .....	14
2.1 连续式传送 .....	15
2.2 间歇式传送 .....	15
2.3 分度机构 .....	18
2.4 人控节奏异步传送机 .....	22
参考文献 .....	23
<b>第 3 章 自动给料和自动定向——振动式给料器</b> .....	24
3.1 振动输送力学分析 .....	24
3.2 频率的影响 .....	27
3.3 轨道加速度的影响 .....	28
3.4 振动角的影响 .....	29
3.5 轨道倾角的影响 .....	29
3.6 摩擦系数的影响 .....	30
3.7 平均输送速度的估计 .....	31
3.8 载荷灵敏度 .....	34
3.9 载荷灵敏度解决方法 .....	36
3.10 螺旋式升运器 .....	37
3.11 平衡式给料器 .....	37
3.12 零件定向 .....	38
3.13 典型定向系统 .....	39
3.14 主动定向机构对进给速率的影响 .....	43
3.15 定向系统分析 .....	44

3.15.1 定向系统 .....	45
3.15.2 系统分析方法 .....	48
3.15.3 优化 .....	49
3.16 定向机构的性能 .....	51
3.17 适于自动操作的零件的自然姿态 .....	56
3.17.1 几点假设 .....	57
3.17.2 软表面分析 .....	57
3.17.3 硬表面分析 .....	64
3.17.4 质偏圆柱体和棱柱分析 .....	64
3.17.5 结果总结 .....	64
3.18 典型定向系统分析 .....	64
3.19 外置式定向机构 .....	70
参考文献 .....	73
<b>第4章 自动给料与定向——机械式给料器 .....</b>	<b>74</b>
4.1 往复式套管漏斗给料器 .....	75
4.1.1 一般特性 .....	76
4.1.2 特殊应用 .....	76
4.2 升降板式料斗给料机 .....	77
4.2.1 最大轨道倾角 .....	77
4.2.2 载荷灵敏度和效率 .....	80
4.3 往复耙式料斗给料机 .....	82
4.4 外置栅口式料斗给料机 .....	83
4.4.1 进给速率 .....	84
4.4.2 载荷灵敏度和效率 .....	86
4.5 回转盘式给料器 .....	88
4.5.1 分度回转盘式给料器 .....	88
4.5.2 连续驱动回转盘式给料器 .....	89
4.5.3 载荷灵敏度和效率 .....	89
4.6 离心式料斗给料器 .....	91
4.6.1 进给速率 .....	91
4.6.2 效率 .....	92
4.7 固定钩式给料器 .....	93
4.7.1 弯钩的设计 .....	94
4.7.2 进给速率 .....	96
4.8 叶轮式料斗给料器 .....	97

4.9 滚筒式料斗给料器 .....	98
4.10 旋转中插板式料斗给料器 .....	101
4.11 磁力转盘式给料器 .....	102
4.12 斗式提升送料器 .....	103
4.13 磁力提升料斗给料器 .....	105
4.14 储料仓 .....	105
参考文献 .....	106
<b>第5章 进给轨道、擒纵机构、零件放置机构和机器人 .....</b>	<b>107</b>
5.1 重力自流输送道 .....	107
5.1.1 水平输送进给轨道分析 .....	107
5.1.2 实例 .....	112
5.1.3 通-断传感器 .....	113
5.1.4 输送道截面 .....	117
5.1.5 面向撑帽式零件的重力自流式输送道设计 .....	119
5.2 主动式输送轨道 .....	129
5.3 擒纵机构 .....	131
5.3.1 棘轮擒纵机构 .....	132
5.3.2 滑板式擒纵机构 .....	133
5.3.3 滚筒式擒纵机构 .....	134
5.3.4 挡板式擒纵机构 .....	135
5.3.5 爪式擒纵机构 .....	136
5.4 零件放置机构 .....	137
5.5 装配机器人 .....	139
5.5.1 术语 .....	139
5.5.2 机器人装配的优点 .....	140
5.5.3 储料仓 .....	142
5.5.4 储料仓系统类型 .....	142
5.5.5 面向机器人装配的自动给料器 .....	145
5.5.6 零件输出的经济性 .....	146
5.5.7 机器人装配系统设计 .....	149
参考文献 .....	152
<b>第6章 装配系统性能与经济性 .....</b>	<b>154</b>
6.1 分度机 .....	154
6.1.1 零件质量对停机时间的影响 .....	154
6.1.2 零件质量对生产时间的影响 .....	155

6.1.3 零件质量对装配成本的影响 .....	157
6.2 异步传送机 .....	160
6.2.1 异步传送机性能 .....	161
6.2.2 适于异步传送机的平均生产时间 .....	164
6.2.3 故障处理所需人员数 .....	165
6.3 自动设备经济比较基本原理 .....	166
6.4 分度机和异步传送机的比较 .....	167
6.4.1 分度机 .....	168
6.4.2 异步传送机 .....	168
6.4.3 生产能力的影响 .....	169
6.5 机器人装配的经济性 .....	170
6.5.1 零件输送 .....	172
6.5.2 典型候选部件构成 .....	173
6.5.3 单工位系统 .....	174
6.5.4 多工位传送系统 .....	176
参考文献 .....	178
<b>第7章 面向手工装配的设计 .....</b>	<b>179</b>
7.1 引言 .....	179
7.2 面向装配的设计过程 .....	179
7.3 面向手工装配的通用设计准则 .....	181
7.3.1 面向零件搬移的设计准则 .....	181
7.3.2 插入和紧固的设计准则 .....	182
7.4 系统 DFA 分析法的发展 .....	185
7.5 DFA 指数 .....	187
7.6 面向手工搬移的分类系统 .....	188
7.7 面向手工插入和紧固的分类系统 .....	190
7.8 零件对称性对搬移时间的影响 .....	192
7.9 零件厚度和大小对搬移时间的影响 .....	194
7.10 重量对搬移时间的影响 .....	195
7.11 双手操作零件 .....	196
7.12 综合因素的影响 .....	196
7.13 螺纹紧固件 .....	196
7.14 固定的影响 .....	199
7.15 手工装配时间标准的问题 .....	199
7.16 DFA 法的应用 .....	200

7.17 更多的通用设计准则 .....	205
参考文献 .....	208
<b>第 8 章 面向高速自动装配和机器人装配的产品设计 .....</b>	<b>210</b>
8.1 绪论 .....	210
8.2 面向高速进给和定向的零件设计 .....	211
8.3 示例 .....	216
8.4 其他进给困难 .....	217
8.5 高速自动插入 .....	219
8.6 示例 .....	221
8.7 组件分析 .....	221
8.8 适于自动化的产品设计准则 .....	223
8.9 进给和定向的零件设计 .....	225
8.10 面向高速自动化装配的设计准则概要 .....	228
8.10.1 产品设计准则 .....	228
8.10.2 零件设计准则 .....	228
8.11 面向机器人装配的产品设计 .....	228
参考文献 .....	235
<b>第 9 章 印制电路板装配 .....</b>	<b>237</b>
9.1 引言 .....	237
9.2 术语 .....	237
9.3 PCB 装配工艺 .....	238
9.4 SMD 工艺 .....	246
9.5 PCB 装配成本概算 .....	247
9.6 PCB 装配成本分析的工作表和数据库 .....	249
9.7 PCB 装配——总操作成本方程与数据 .....	249
9.8 相关术语 .....	252
参考文献 .....	254
<b>第 10 章 自动装配的可行性研究 .....</b>	<b>255</b>
10.1 减少停机时间的设计因素 .....	255
10.2 可行性研究 .....	257
10.2.1 顺序图 .....	258
10.2.2 插头手工装配 .....	260
10.2.3 零件质量水准 .....	261
10.2.4 零件进给和装配 .....	262
10.2.5 专用机布局 and 性能 .....	264

10.2.6 电源插头的机器人装配 .....	267
参考文献 .....	271
习题 .....	272
附录 .....	294
附录 A 简易法测定动摩擦系数 .....	294
A.1 原理 .....	294
A.2 分析 .....	295
A.3 精度 .....	298
A.4 讨论 .....	298
参考文献 .....	298
附录 B 异相振动式输送机 .....	298
B.1 异相输送 .....	299
B.2 实际应用 .....	301
参考文献 .....	302
附录 C 实验室实验 .....	302
C.1 振动盘给料器性能 .....	302
C.1.1 实验目的 .....	302
C.1.2 实验设备 .....	303
C.1.3 实验程序 .....	303
C.1.4 理论基础 .....	303
C.1.5 实验结果 .....	304
C.2 水平输送自流式给料器性能 .....	306
C.2.1 实验目的 .....	306
C.2.2 实验设备 (实验目的 1) .....	306
C.2.3 理论基础 (实验目的 1) .....	307
C.2.4 实验程序 (实验目的 1) .....	307
C.2.5 实验结果 (实验目的 1) .....	307
C.2.6 实验设备 (实验目的 2) .....	307
C.2.7 理论基础 (实验目的 2) .....	308
C.2.8 实验程序 (实验目的 2) .....	308
C.2.9 实验结果 (实验目的 2) .....	308
C.2.10 结论 .....	309
附录 D 小型零件的进给与定向技术 .....	309
D.1 编码系统 .....	310
D.1.1 编码系统初步 .....	310

---

D.1.2 编码实例 .....	313
D.1.3 练习用样本零件 .....	314
D.1.4 样本零件编码分析 .....	315
D.1.5 面向小型零件编码系统 .....	317
D.2 进给与定向技术 .....	328
D.3 面向振动盘的定向机构 .....	394
D.4 非振动式给料器 .....	411
术语 .....	420



# 第 1 章 绪 论

从 19 世纪开始, 在制成品需求量上的大量增加, 特别是在兵器工业上, 促使工程师寻求和开发新的制造或生产方法。由于各种各样制造工艺的发展, 使现在以低成本批量生产优质耐用品成为可能。装配工艺是较为重要的制造工艺之一, 当两个或更多组成零件要可靠地组合在一起时, 就需要装配工艺。

装配工艺的发展历史与批量生产方法的历史紧密相关。批量生产的倡导者同样也是现代装配技术的倡导者, 他们的思想与观念使应用到大量生产中的装配方法有了显著的改进。

然而, 尽管制造工程的许多方面, 特别是零件生产工艺, 通过自动化的应用已经有了革命性的发展, 但基本装配工艺技术还跟不上这些发展。表 1-1 显示, 在美国, 20 世纪 60 年代在装配过程中涉及到的劳动力占总劳动力百分比从农用机械制造的约 20% 变化到电话电报设备制造的几乎 60%。因为这个原因, 装配成本占总制造成本通常超过 50%。

表 1-1 装配工人与生产工人百分比

行 业	装配工人所占百分比 (%)
汽车	45.6
飞机	25.6
电话电报设备	58.9
农用机械	20.1
家用冰箱与制冷器	32.0
打字机	35.9
家用烹饪设备	38.1
摩托车、自行车及配件	26.3

资料来源: 美国统计局 1967 年制造业普查

尽管在过去几十年期间, 通过应用高速自动化做出了降低装配成本的努力, 同时, 近年来, 还通过应用装配机器人来降低装配成本, 但取得的成功都相当有限。许多装配机械产品的工人使用的基本工具与工业革命时应用的工具仍旧相同。

## 1.1 装配工艺发展历史

在早期, 零件的制造及其选配和组装是通过手工艺人来完成的, 这些手工艺工人是以学徒工的名义来学习技艺。每个零件都要加工处理, 以便与它相匹配