

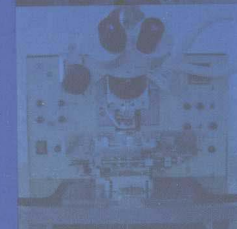


国际制造业先进技术译丛

# 装配工艺

## ——精加工、封装和自动化

(美) 理查德·克劳森 (Richard Crowson) 主编  
熊永家 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

# 装配工艺——精加工、 封装和自动化

(美) 理查德·克劳森 (Richard Crowson) 主编  
熊永家 娄文忠 译



机械工业出版社

装配工艺对生产率、产品质量及生产成本都有重要的影响。本书论述了手工装配、装配自动化以及电子组件装配等方面的内容,涉及到产品设计、材料、工艺和封装的知识和技术。

本书紧贴工程实际,为制造业工程技术人员提供了在产品装配方面必要的基础知识和工程经验。

**Assembly Processes: Finishing, Packaging, and Automation 2ed Edition/  
by Richard**

**Crowson/ISBN: 978-0-8493-5565-3**

Copyright©2006 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: 01-2007-4185

## 图书在版编目(CIP)数据

装配工艺——精加工、封装和自动化/(美)克劳森(Crowson, R.)  
主编;熊永家,姜文忠译.—北京:机械工业出版社,2008.6  
(国际制造业先进技术译丛)  
ISBN 978-7-111-24202-4

I. 装… II. ①克…②熊…③姜… III. 装配—工艺 IV. TG9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 085028 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:刘本明 版式设计:霍永明  
责任校对:李汝庚 封面设计:鞠 杨 责任印制:李 妍  
北京蓝海印刷有限公司印刷  
2008 年 7 月第 1 版第 1 次印刷  
148mm×210mm·5.25 印张·154 千字  
0001—3000 册  
标准书号:ISBN 978-7-111-24202-4  
定价:25.00 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，在实践中继承和创新，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。

# 译 者 序

制造自动化是人类在长期的社会生产实践中不断追求的主要目标之一。随着科学技术的不断发展与进步，自动化制造的水平也越来越高。采用自动化技术，不仅可以大大降低劳动强度、提高劳动生产率，而且还可以提高产品质量，改善制造系统适应市场变化的能力，从而提高企业的市场竞争能力，大幅提高国家工业技术水平和国家综合实力。

工业发达国家早在 20 世纪就广泛实现了制造自动化，各种自动化装备的使用不仅使他们的产品以高性能、高质量等优势在市场竞争中占据领先地位，同时也大幅度提高了他们的工业技术水平和国家综合实力。改革开放以来，我国先后从国外引进了大量的自动化装备，同时在引进自动化设备过程中也进行消化吸收，逐步形成了具有自身特色的自动化装备。虽然我国现在已经发展成为一个制造业大国，但由于产品的自主开发创新能力以及自动化设备的自主设计开发能力与工业发达国家相比还有很大差距，这使得我国离制造业强国还有相当大的距离。

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加工、装配、检测、包装等多道工序，不同行业中这些工序各自侧重，实际上这些工序互相联系。其中装配自动化是整个制造业的核心内容，是其他自动化制造过程的重要基础。

在译者从事工厂设计的过程中，通过与大量工厂的接触，了解到目前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

开设此类工程性很强的课程，在产品设计和生产实践中，还主要是靠经验积累，相关的教材或参考书较为少见。

经北京理工大学姜文忠副教授的推荐，我们阅读了机械工业出版社引进的这本书，发现该书紧贴工程实践，为一般的工程技术人员提供了机械、电子、制造和相关工程学科在产品装配自动化方面必要的基础知识和工程经验。作者论述了手工装配、装配自动化以及电子组件装配等方面的内容，涉及到产品设计、材料、工艺和封装的知识和技术，这些内容是基本的和必要的，很有特色。我们觉得对刚开始从事产品设计和工艺设计的工程技术人员很有参考价值，便对此书进行了翻译。

本书由五洲工程设计研究院熊永家工程师和北京理工大学姜文忠副教授共同翻译。全书由熊永家进行统稿和初步审校，最后由姜文忠完成全书的中英文审校。

由于译者的水平有限，加之自动化制造技术综合了诸多学科，在翻译过程中难免会有一些疏漏和错误，恳请读者予以指正。



# 前 言

一般认为，手册是某个特定领域的简明的参考资料。当今快节奏的制造业技术需要这样的参考工具书，这种工具书能给读者提供基本的入门指引资料。通过使用手册，使用者可以知悉关于某个专门技术领域的术语，使初学者与该领域经验丰富的专业人员讨论问题时沟通无碍。

第2版《制造工程手册》(*Handbook of Manufacturing Engineering*) 面向设备操作人员、制造业专业人员以及车间工作人员。为完成工作职责，他们在各自的领域都具有足够的知识。当然，每个读者所在领域不同，水平也各异。

手册的最后一本，即卷四，研究的是产品的精加工，同时也论述了封装和自动化。当权衡设备生产能力和工人的实际情况时，制造工程师必须考虑装配工艺的选择、生产率的影响以及产品的质量。

Jack M. Walker 是“用新方法解决老问题”这一理念的倡导者。他没能参加这本书的编辑，但他在生命的最后几个月对本书作出了很大的贡献。

Jack 对快速原型法的出现颇为高兴。他在研究如何应用快速原型法来决定制造方法或选择材料（不能仅通过数学方法来选择材料）上投入了很多时间。作为一名制造工程师，在新产品制造期间，Jack 喜欢在负责人作出最终决定之前做出原型机。他常把这个叫做“感情外露的机会”，因为这个设计是不是讨人喜欢，一看便知。

一些产品本身要经过层层评估，在这种情况下，光洁度、外观和手感在材料的最终选择上是非常重要的。但是，随着纳米技术的发展，精加工和装配问题变得更加关键。研究当材料间彼此接触时材料微粒子间的相互作用，工程上称为摩擦学。

制造工程师必须能综合考虑问题，譬如装配和精加工的范围、是否用到微纳米技术等。因此，编辑本书的目的就是为下一个十年的制造专业人员提供背景知识和工作方法。

**Richard D. Crowson**

# 目 录

译丛序言

译者序

前言

<b>第 1 章 手工装配</b> .....	1
1.1 手工装配概述 .....	1
1.2 装配作业指导 .....	4
1.3 装配操作过程 .....	5
1.4 工位和生产线布局 .....	14
1.5 制造方法分析 .....	16
1.6 动作的经济原则 .....	23
1.6.1 关于人体的运用 .....	23
1.6.2 关于操作场所的布置 .....	24
1.6.3 关于工具设备 .....	26
1.7 标准生产工艺 .....	27
1.7.1 工艺标准 .....	27
1.7.2 设备操作程序 .....	27
1.7.3 标准修理程序 .....	28
1.8 专用生产指示 .....	29
参考文献 .....	30
<b>第 2 章 装配自动化</b> .....	31
2.1 装配自动化概述 .....	31
2.2 工厂中的装配机器 .....	32
2.3 基本自动化概念 .....	33
2.4 自动装配机分类 .....	34
2.4.1 标准装配机基型 .....	34

2.4.2 机器人 .....	38
2.5 运动系统 .....	38
2.5.1 自动装配的检验和测试 .....	42
2.5.2 人机关系 .....	44
2.6 自动化的评估 .....	45
2.7 装配自动化软件接口 .....	49
2.8 自动化生产的产品设计 .....	50
2.9 自动物料搬运 .....	59
2.9.1 自动物料搬运概述 .....	59
2.9.2 物料搬运自动化的特征 .....	60
2.9.3 物料自动搬运实现方法 .....	61
2.9.4 物料搬运自动化仓储设备 .....	63
2.9.5 输送设备 .....	69
参考文献 .....	75
<b>第3章 电子组装</b> .....	<b>76</b>
3.1 电子组装概述 .....	76
3.2 典型封装体系结构 .....	79
3.3 基本子部件 .....	80
3.3.1 芯片组件 .....	80
3.3.2 电容器组 .....	91
3.3.3 微波和射频子组件 .....	93
3.3.4 总结 .....	94
3.4 芯片载体组件 .....	95
3.4.1 塑料芯片载体设计与制造 .....	95
3.4.2 陶瓷芯片载体设计与制造 .....	97
3.4.3 针栅阵列封装 .....	100
3.5 混合微电子组件 .....	100
3.5.1 混合电路定义 .....	100
3.5.2 混合电路设计 .....	100
3.5.3 混合电路工艺 .....	104
3.5.4 混合封装 .....	121

## XII

3.6 印制电路板组件 .....	128
3.6.1 印制电路板组件概述 .....	128
3.6.2 有机印制电路板组件 .....	129
3.6.3 陶瓷印制电路板组件 .....	147
3.6.4 连接器安装 .....	150
3.7 系统集成 .....	151
<b>附录</b> .....	154
<b>参考文献</b> .....	155
<b>推荐阅读文献</b> .....	155

# 第 1 章 手工装配

作者: John P. Tanner  
Jack M. Walker

## 1.1 手工装配概述

在今天日益复杂的工业制造领域,能记得生产某种产品的真正目的及其生产过程并非易事。假设无论生产何种产品,我们都坚持产品质量优良、准时交货以及保证客户满意度,那么,我们就应该采取最为经济有效的方法去实现这一目标,即应该基于成本作出生产决策。当然,确定成本并不是一件简单的事情。我们有许多不同的方法来衡量成本。

在保证产品质量、交付期和客户满意度的条件下,为了实现成本最低,或许我们应该首先研究一下单人公司的运作过程。数百年前,单人公司为数众多——其实在今天也是如此,尽管大多数人没能意识到这一点。美国统计局的报告表明,在 1991 年的萧条期,规模在 1~10 人的小型企业数量出现了增加,没有表现出大中型公司所经历的低迷。1987 年到 1991 年,小型企业的数量每年增加 1%。大中型企业的数量在整个 20 世纪 90 年代每年增加达 3%,但在 1991 年出现下降,这一年,雇员人数在 10~100 人的企业数量下降了 0.2%,而雇员人数超过 100 人的企业(这些企业通常集中在制造业)数量下降了 1.7%。在 1970 年,制造业工人占工人总数的 35%,到 1991 年,这一数字不到 20%。

在美国,1991 年企业雇员人数少于 10 人的公司超过 400 万家,雇员人数在 10~99 人的公司大约有 150 万家,而规模超过 100 人的有 13.4 万家(全部企业共有 6 199 339 家)。表 1-1 和表 1-2 示出了美国制造业生产工人的基本情况(美国统计局制造业普查数据)。

表 1-1 美国制造业概况

年份	1972	1977	1982	1987	1990	1995
企业数量 / × 100	321	360	358	369		
人 数						
20 人以下	203	237	230	238		
20~99 人	76	78	84	86		
100~249 人	21	22	21	22		
250~999 人	11	12	11	11		
1000 及以上	3	2	2	2		
雇员总数 (百万)	19	19.6	19.1	18.9	18.8	18.1
生产工人 (百万)	13.5	13.7	12.4	12.2	12.1	11.5

表 1-2 不同行业从事装配任务的生产工人百分比 (1967 年)

行 业	从事装配任务生产工人 (%)
汽车	45.6
飞机	25.6
电话等	58.9
农用机械	20.1
家用冰箱与制冷器	32.0
办公设备	35.9
家用烹饪设备	38.1
摩托车、自行车等	26.3

现在再回顾一下单人工厂。根据收到的订单，企业主加工每一个零件，装配在一起，完成成品喷漆、包装，最后交付。他的总收入与生产投入的差额就是他的利润。当然，他可能要支付厂房租金、支付购买原材料和补给的费用，甚至需要支付机器设备的费用。扣除这些费用后，就得到了企业主所获得的利润。哦！他可能还要支付采暖、照明、某些项目的保险以及税款等费用，剩余的才是他的利润。可以看出，即使是单人工厂，准确核算成本也不是那么容易的。

如果业务扩大，企业主个人并不能通过加快工作节奏或者延长工作时间去做每一件工作，这时企业主将会采取一定的措施去继续保证交付时间和产品质量等。他可能会决定购买零部件而仅仅进行产品组装（反之亦然）。另一个选择是增加帮手，继续在内部完成所有的生

产工作。大多数情况下，为了较好地控制产品质量、交付时间等，一个成长型公司将可能会选择继续进行产品装配任务。公司的消费者所关心的仍是“他们”的产品，这将保持客户的满意度，给公司带来额外销售量的机会。当公司业务继续增长时，企业主可能会作出是自制还是外购零部件的决定，或者是增加设备自己生产关键零部件。在装配生产区，第一步可能是增加自动螺钉旋具、上螺母器、铆接机、点焊机，也许还有拾取-放置机械装置。为了把零部件从加工区或者接收物料区运送到装配站，某些类型传送装置可以进行合理地改进。同样可以应用传送装置把零件和组件传送到装配流水线。对于装配生产线的零件传送，我们有许多选择，包括重新设计产品以减少需要制造的零部件的数量，从而简化装配过程。

最后，装配工艺对企业主的持续成功变得相当重要。从单人装配操作起步的小公司现在已经成长为有一定规模的公司了，它们可能采用的技术与单人工厂开始时成功使用的技术相同。随着订单的增加以及可能更多类型产品的变化，对公司来说又到了再次决策的时候了。这是本节的主题。

影响产品、客户、工厂管理人员的因素很多，这些因素同样影响着装配过程。杰弗里·布思罗伊德（Geoffery Boothroyd）在《自动化与产品设计》（*Automation and Product Design*）一书中引用的亨利·福特装配法则如下：

首选，按操作顺序布置好工具和安排好人员，这样在加工过程中每个零部件都移动最短距离；其次，使用工件滑车或其他形式的搬运工具，这样当工人完成操作时，可以很方便地始终在同一位置取放零件；如果可能的话，通过自身重力把零件传送到下一个操作工人；最后，采用滑动装配流水生产线，以合适的节奏和间距传送要装配的零件，使装配更加方便。

装配操作可以通过手动操作、自动化操作或者是手动与自动化相结合的方式完成。如果使用手工装配，操作员要能适应诸如零件偏差、错位和产品型号混淆所引起的装配条件变化。操作员能对变化的装配条件作出调整，也不需要精心制作的工具和夹具去完成装配任务。然而，操作员的失误和疲劳会导致产品质量问题。



当产品产量要求很高时，某些装配操作可以通过专用机器实现自动化操作。由自动装配机组成的工作站沿着传送系统分类布置，通过传送系统实现零件传送。借助于专用设备和工装夹具，每个工位只完成一项操作任务。由于传感器并不能总是有效地操纵或监控装配过程，所以零件偏差、错位和产品型号混淆并不是那么容易适应。因此，零件偏差和微小错位都能引起机器卡住、不完全装配和过多的机器停工。然而，当产品产量高、产品寿命长以及装配工序简单时，自动化装配仍是合适的方法。为了在可重复性的基础上成功地完成装配操作，将零件误差和零件定位减到最小以及零件尺寸和定位上的相容性取最大值，是绝对必要的。为了在大规模生产中达到这一要求，就需要昂贵的精密工装夹具及控制机构。因此，为解决有误差或失位的零件在匹配中产生的一些问题，许多装配操作用手工方式完成，这可能会导致装配成本的增加和生产率的下降。

## 1.2 装配作业指导

“装配工艺”的另一种说法是“装配方法”。装配方法说明书（或作业指导），必须清楚地描述操作对象、操作顺序以及使用的工具和物料。装配方法说明书应能简单易学，同时还能很方便地制作、复制、分发和变更。装配工艺规划应该包括工艺大纲或者是工艺路线，每一工序的详细操作指导书、物料清单、加工过程草图或者直观教具以及每个工序在车间中的加工位置；同时，还包括有工艺大纲中各工序的标准时间，这个时间分为操作时间和调整设置时间。

对于加工的工艺规划，不管是机械加工还是成形加工，熟练的机械工或钣金工都能按零件工程图补充的工艺路线要点进行操作。作为一名熟练工，他还应能利用一个简略的书面作业指导书设定机器和完成操作。但这不是装配操作实际的情况。操作过程必须经过制造工程师精心设计，并制作成作业指导。以上所说是两个极端情况。当今大多数制造工厂的工艺规划编制都介于这两种情况之间。

如果是一个单一产品流水线的大规模生产工厂，那么详细的装配作业指示可能就不是必需的。一旦只培训操作员进行短周期装配操