

小型农业机械 模块化 设计技术

姬江涛 金鑫 著

小型农业机械模块化设计技术

姬江涛 金 鑫 著



机械工业出版社

本书主要内容包括小型农业机械的研究背景及研究现状、目前主流的现代设计方法、模块化产品开发和模块化产品设计的概念和主要特点、基于不同标准下的模块划分方法、基于不同标准下的模块划分评价方法、新型模块接口技术、模块管理和配置。本书适合农业机械、机械设计、机电工程、工业工程等专业相关的工程技术人员和管理人员，以及研究生和本科生阅读和参考。

图书在版编目（CIP）数据

小型农业机械模块化设计技术/姬江涛，金鑫著. —北京：机械工业出版社，2018. 10

ISBN 978-7-111-60874-5

I. ①小… II. ①姬…②金… III. ①农业机械—机械设计 IV. ①S220.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 208835 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：孙 鹏 责任编辑：孙 鹏

责任校对：王 延 陈 越 封面设计：陈 沛

责任印制：常天培

北京铭成印刷有限公司印刷

2018年10月第1版第1次印刷

184mm × 260mm · 14.75印张 · 354千字

0001—2000册

标准书号：ISBN 978-7-111-60874-5

定价：59.00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

服务咨询热线：010-88361066 机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294 机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网：www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com



前 言

农业机械生产制造业在我国属于机械生产制造业范畴，随着网络交流方便性的提高和物流网络的扩大，跨地域、短时效、高效率的农业机械采购模式逐渐兴起，这对我国的农业生产行业是一个新的挑战。

在这种背景下，我国小型农业用机械随着设施农业、精细农业以及提高丘陵山区农业机械化水平的提出而逐渐发展起来。然而，当前形势下，小型农机产品品种和类型单一，无法满足用户个性化的定制需求；各家厂商各自为政，同类零部件的重复设计和制造生产等，不仅造成了资源的严重浪费，而且严重阻碍了现代化农业的发展进程。而农机产品结构的模块化，可综合应用不同领域的模块组合规则，通过模块化产品的设计，在原有系统的基础之上创造出新系统，迎合了农机产品市场的需求变化和技术进步。模块化设计方法能够在很大程度上促进新产品的开发，降低生产成本，促进现代农业发展的步伐。

模块化设计历史悠久，古老的建筑、家具甚至活字印刷术中都有它的身影。

模块化技术已经为我们带来了许多好处，例如，它的应用使计算机、手机等产品的性价比快速提升。

未来，当我们设计新型农机产品时，只需要通过快速搜索和组合应有的零部件模块模型，就可以快速形成所设想的产品；可以快速与制造所需零部件模块的企业供应商建立联系，大大缩短了交货期，节约时间成本。将符合现代设计思想的绿色设计方法与模块化产品设计结合起来，可以同时满足产品的功能属性和环境属性，一方面可以缩短产品研发与制造周期，增加产品系列，提高产品质量，快速应对市场变化；另一方面，可以减少或消除对环境的不利影响，方便重用、升级、维修和产品废弃后的拆卸、回收和处理。

通过模块化，为我国的中小型农机企业创新带来有利条件。

通过模块化，可以使协同分工细化，生产效率提高，产品成本降低，同时又能帮助实现节能减排。

总之，通过小型农机模块化的发展，有助于实现“创新农业”“美丽农业”和“智能农业”的美好愿景。

本书主要内容如下：



第1章简要叙述了小型农业机械的研究背景及研究现状,分析了农机行业对于模块化技术的应用需求;讨论了模块化技术几十年来的发展情况,定义了模块的概念、特性和分类,讨论了模块化技术的理论研究和实际应用情况,提出了小型农机模块化技术的支持技术和应用前景。

第2章主要介绍了目前主流的现代设计方法,并对系统论进行了阐述,介绍了系统功能与分解的概念;现代设计方法主要涉及公理化设计、稳健设计、并行设计和最优化设计等;本章着重从以上四种现代设计方法进行介绍,包括对设计方法的内容介绍和模型构建,在此基础上分析了四种设计方法的优缺点及适用范围;探讨了现代设计方法的基本构成以及结构层次。

第3章定义了模块化产品开发和模块化产品设计的概念和主要特点,并且提出了一般产品和模块化产品设计的基本流程以及模块化设计系统的基本开发流程;讨论了基于成组技术、变型设计理论以及产品族与公共平台的模块化产品设计;分析了基于模糊聚类以及FPBS的产品模块化过程;探讨了模块化制造的概念以及模块化制造的关键技术。

第4章主要讨论了基于不同标准下的模块划分方法。本章对聚类分析做了深入的解析,介绍了层次聚类算法,并建立了相关度模糊矩阵;讨论了基于层次聚类的模块划分、基于GA的模块划分和基于IGSO-FCM的模块划分方法等;分析了以上三种划分方法的基本内容和划分步骤;探讨了有关模型建立的一系列详细问题。

第5章主要讨论了基于不同标准下的模块划分评价方法。

第6章介绍了新型模块接口技术的发展,分析了模块接口对于产品性能优劣的重要性,提出了模块接口的设计过程,根据不同的分类方法对产品接口进行了分类,重点提出了机械接口的标准化和系列化原则;从接口参数和接口功能等方面探讨了机械接口之间的联系;建立了机械接口的设计模型并提出了一般的设计流程,针对机械接口的可适应性设计做了详细的探讨。

第7章介绍了模块管理和配置。本章对数字化设计进行了阐述,并建立了不同级别的模块库;分析了模块配置的理论和方法,根据不同的配置方法对产品配置进行了细致的介绍;从模块属性和用户需求方面探讨了模块配置的基本流程,根据模块属性到需求转化建立了模块快速配置模型。

本书的研究工作得到了国家重点研发计划项目“特色杂粮收获技术与装备研发”(编号:2016YFD0701800)、河南省科技创新杰出人才计划“蔬菜智能化生产关键技术与装备研发”(编号:184200510017)、云南省重大研发计划项目“高原特色农业机械装备研究与开发”(编号:2018ZC001)的资助。还要特别感谢我的研究生胡金鹏、杨绪龙等,他们为本书的出版做了大量的工作。

本书可供农业机械、机械设计、机电工程、工业工程等专业相关的工程技术人员和管理人员,以及研究生和本科生阅读和参考。

由于本书涉及范围较广,所研究的问题也比较复杂,这些实为作者学力所不及,书中定会有谬误之处,恳请各位专家学者批评指正。

目 录



前 言

第1章 概论 1

- 1.1 小型农业机械研究 1
 - 1.1.1 研究背景 1
 - 1.1.2 研究现状 2
- 1.2 模块化技术研究 4
 - 1.2.1 模块化技术 4
 - 1.2.2 模块的定义 6
 - 1.2.3 模块的特性 8
 - 1.2.4 模块的分类 9
 - 1.2.5 模块化技术理论研究 11
 - 1.2.6 模块化技术实际应用 12
 - 1.2.7 小型农业机械模块化支持技术 13
 - 1.2.8 小型农业机械模块化产业应用前景 17
- 参考文献 21

第2章 现代设计方法 24

- 2.1 系统论 24
 - 2.1.1 系统的基本概念 24
 - 2.1.2 系统论的核心思想 25
 - 2.1.3 系统功能的分解和分解方法 26
- 2.2 公理化设计 27
 - 2.2.1 层次结构和Z形展开 29
 - 2.2.2 设计公理 30
- 2.3 稳健设计 32
 - 2.3.1 稳健设计的基本内容 32
 - 2.3.2 传统稳健设计 33

- 2.3.3 现代稳健设计 33
- 2.4 并行设计 34
- 2.5 最优化设计 37
 - 2.5.1 最优化理论及特点 37
 - 2.5.2 优化设计模型及求解方法 38
- 参考文献 39

第3章 模块化设计 40

- 3.1 模块化产品的开发 40
 - 3.1.1 一般产品的开发设计进程 40
 - 3.1.2 模块化产品开发的观念及其主要特点 41
- 3.2 模块化产品的基本设计流程 45
 - 3.2.1 模块化产品设计的基本概念 45
 - 3.2.2 模块化产品的基本设计流程 46
- 3.3 模块化设计系统的基本开发流程 49
 - 3.3.1 模块化设计系统的一般开发流程 49
 - 3.3.2 模块化设计系统的一般结构体系 52
- 3.4 模块化产品的设计 55
 - 3.4.1 一般模块化产品设计的主要内容 55
 - 3.4.2 基于成组技术的模块化产品设计 58
 - 3.4.3 基于变型设计理论的模块化产品设计 60
 - 3.4.4 基于产品族与公共平台的模块化产品设计 62
 - 3.4.5 模块化理念在产品中的价值体现 63
 - 3.4.6 模块化产品设计的研究热点与发展趋势 65



3.5 产品模块化过程	66	5.1.2 权向量的计算及一致性检验	116
3.5.1 基于模糊聚类的产品模块化 过程分析	66	5.1.3 求解各个方案层对目标层的 合成权重	117
3.5.2 基于FPBS的产品模块化 过程分析	68	5.1.4 实例分析	118
3.6 模块化制造策略	70	5.2 基于信息熵的模块划分评价	120
3.6.1 模块化制造的概念及其关键 技术研究	70	5.2.1 模糊矩阵的建立	120
3.6.2 模块化绿色制造	72	5.2.2 层次聚类划分	121
参考文献	75	5.2.3 评价指标的提出	122
第4章 模块划分方法	77	5.3 基于最优化设计的模块划分 评价方法	124
4.1 聚类分析	77	5.3.1 多级灰色模糊综合评价 方法的提出	124
4.1.1 聚类分析概述	77	5.3.2 评价集的选择	124
4.1.2 划分方法	78	5.3.3 基于最优化设计的因素集	125
4.1.3 基于密度的方法	80	5.3.4 基于ANP权重的确定方法	125
4.1.4 基于网格的方法	83	5.3.5 多级灰色模糊综合评判 模型的建立	128
4.1.5 基于模型的方法	88	5.4 基于D-S证据理论的复杂产品 模块划分评价方法	129
4.2 层次聚类算法	92	5.4.1 D-S证据理论的基本概念	129
4.2.1 层次聚类算法概述	92	5.4.2 不完全、不确定信息的 描述与表示	131
4.2.2 层次聚类算法分析	94	5.4.3 基于D-S证据理论的模块划分 方案评价过程	132
4.3 相关度模糊矩阵的建立	96	5.5 基于区间直觉模糊集的复杂 产品系统模块划分方案评价	133
4.3.1 权重系数的确定	96	5.5.1 相关概念	133
4.3.2 构造层次对比矩阵	97	5.5.2 复杂产品系统模块划分 方案评价流程	134
4.3.3 权向量的计算及一致性检验	98	5.6 基于LINMAP的模块划分评价方法	139
4.4 模糊相关矩阵的建立	99	5.6.1 基于LINMAP的模块划分 评价过程	139
4.5 基于层次聚类的模块划分和划分 结果评价	100	5.6.2 直觉模糊评价矩阵建立	139
4.5.1 层次聚类划分	100	5.6.3 基于LINMAP评价数学 模型建立	141
4.5.2 模块划分评价	102	参考文献	143
4.6 基于GA的模块划分	103	第6章 新型模块接口技术	144
4.6.1 零部件关联矩阵的建立	104	6.1 接口原理	144
4.6.2 建立规划模型	105	6.2 接口类型	145
4.6.3 遗传算法设计	106	6.2.1 接口分类	145
4.7 基于IGSO-FCM的模块划分方法	107		
4.7.1 MP-GR模块划分准则	107		
4.7.2 基于IGSO-FCM的聚类算法	111		
参考文献	112		
第5章 模块划分评价方法	114		
5.1 基于AHP的模块划分评价	115		
5.1.1 构造层次对比矩阵	115		



6.2.2 模块接口的标准化和系列化	147	7.2.1 产品配置理论	166
6.3 接口间的联系	149	7.2.2 产品的配置方法	169
6.4 接口设计	151	7.2.3 模块属性及属性划分	182
6.4.1 机械接口的研究现状	151	7.2.4 客户需求转化	183
6.4.2 接口模型的建立	152	7.2.5 模块检索	185
6.4.3 接口的一般设计流程	153	7.2.6 模块快速配置	187
6.4.4 可适应性接口	155	参考文献	188
参考文献	157	附录	190
第7章 模块管理和配置	158	案例分析	190
7.1 数字化设计与模块管理	158	案例一（微耕机模块划分）	190
7.1.1 数字化设计技术	158	案例二（花生收获机模块划分）	201
7.1.2 零件级别模块库的创建	163	案例三（联合收割机模块划分）	213
7.1.3 部件级别模块库的创建	163	后记	225
7.2 模块的配置	166		

第 1 章 概 论

1.1 小型农业机械研究

1.1.1 研究背景

农业机械是用来代替人力、畜力等在农业生产过程中进行耕、种、播、收等工序的作业机械。农业生产活动的特点是季节性强、受气候影响大和劳动强度大，因此实现农业种植作业的机械化对于提高劳动生产效率、降低劳动强度和减少收获损失等具有重要意义。我国农业种植条件复杂，农业种植结构及种植工艺区域特点不同，因此对农业机械的需求呈现出地域需求的趋势。

农业机械生产制造业属于我国机械生产制造业范畴，随着网络交流的方便性和物流网络的扩大，跨地域、短时效、高效率的农业机械采购模式逐渐兴起，这对我国的农业生产行业是一个新的挑战。

受我国两次农业土地所有制的调整，我国的农业机械制造业也出现了两次不同的发展期。第一次的土地集体化种植结构模式下，大型农业机械（图 1-1）得到了飞速的发展，并逐渐走向成熟，在市场中已基本处于饱和。第二次的农业土地所有制的调整使得中小型农业机械迎来了发展期。



图 1-1 常见的大型农业机械



随着农业种植新技术的发展，我国的农业种植技术由粗放式的农业结构向精细式的农业结构的方向发展，近几年提出的结合区域自身优势发展精细农业技术，迫使我国的农机制造行业向新型制造业方向发展。传统的大型作业机组无法在设施农业和丘陵山区中进行作业。因此，要发展精细化的设施农业和改善丘陵山区的落后作业方式，需要研制出合适的小型农业机械。

小型农业机械（图 1-2）是丘陵山区和设施农业作业的主要作业设备，未来市场需求量非常大，但是在实际生产中，我国的设施农业作业方式主要还是以人工为主，机械作业水平不高，其原因主要有以下两个方面：一是功能繁多，开发成本高。随着市场需求的多样化，我国小型农机生产企业在新型农业机械的开发过程中过分强调以多功能为主，导致机具成本较高。二是整机的功能专业性太强。整机功能的专业性太强意味着机器的作业功能比较单一，在实际生产过程中，用户往往需要购买多种小型农具来完成不同的农业作业。鉴于以上原因，国内研究者将模块化技术应用到小型农业机械的研究中，以求能用模块化的设计方法对小型农业机械的快速设计提供理论指导。



图 1-2 常见的小型农业机械

1.1.2 研究现状

在这种背景下，我国小型农用机械的发展随着设施农业、精细农业以及提高丘陵山区农业机械化水平的提出而逐渐发展起来。如今对小型农用机械的研究主要集中在对新型小型农用机械新机型的开发研究、新型技术在小型农用机械上应用的研究、小型农用机械的动力学特性研究等方面。

我国地域辽阔，依势而建的设施农业和小规模种植农业，其作业环境地形比较复杂。



解决在多种种植形式下农业作业的机械化问题一直是小型农业机械研究发展中的热点问题。为了保证小型农用机械在工作过程中的稳定性和通过性，华南农业大学为解决菠萝在采摘过程中的运输效率低的问题，设计了一种小型轮式间隙可调的运输车。河北农业大学针对果园种植机械化程度低的问题，设计了一种果园专用的动力机组，配套相应的农机具可以实现果园管理过程中的旋耕、喷药、开沟和割草等作业。河北农业大学对果园动力底盘的通过性、动力性和稳定性等问题进行了研究，并对动力底盘在配套农机具下的动力性和稳定性等方面进行了分析研究，通过研究分析得出了动力底盘与配套机具之间的最佳匹配参数。江门职业技术学院针对道路两旁绿化带草坪的修剪机械化问题进行了研究，设计了一种绿化带修剪机用的动力底盘。河南科技大学设计了一种烟田用的多功能动力底盘。中国农业大学设计了一种具有仿形功能的农用动力底盘（图 1-3）。河北农业大学孙振杰等人设计了一种农用履带式行走装置。

新型农业机具的开发只能满足一般的作业要求，在成本、效率和节能环保等方面存在着比较多问题，随着新技术的发展，一些技术被逐渐应用到小型农用机械上。河北农业大学曾爱平等为了解决丘陵山区小型水稻种植区域水田的播种、插秧和水田中的园艺机械的发展，设计了一种液压驱动的动力机械（图 1-4），大大地改善了行走机械的工作性能，增加了底盘的自适应能力，改善了发动机部件的工作环境。河北农业大学孙超设计了一种液力式的小型果园用动力机械，通过使用轮式液力式行走底盘（图 1-5），可以在果园有限的空间里实现运输、开沟、耕耘等作业内容，具有良好的通过性和稳定性，极大地改善了国内果园作业机械化的发展现状。

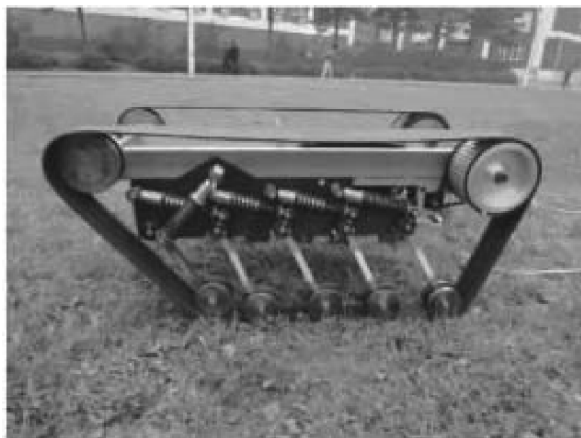


图 1-3 具有仿形功能的农用动力底盘

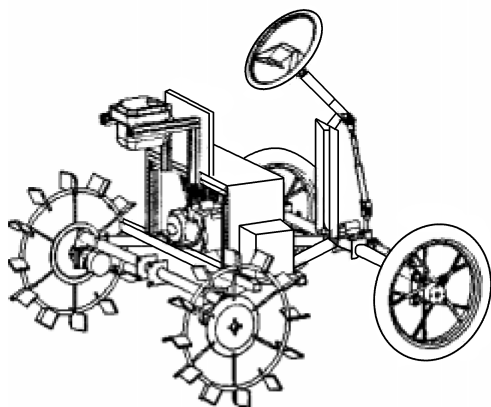


图 1-4 液压后轮驱动式轻型农机自走底盘

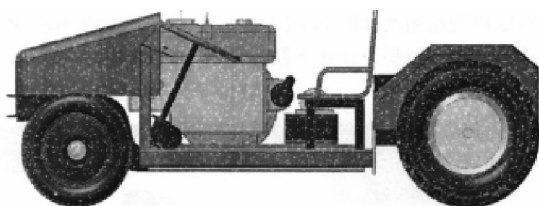


图 1-5 液力式行走底盘



小型农业机械配备动力比较低，机械传递效率对其作业效率至关重要，农业机械功率的消耗主要集中在行走和作业的过程中，而其功率的消耗与机械的结构、动力的匹配存在着复杂的非线性关系，传统的试验方法只能定性地描述各结构因素关系与动力输出之间的关系。计算机辅助设计技术的发展为机构行走动力学研究提供了准确快捷的方式。

总体上来讲，农业人口占据我国人口很大的比例，一方面来说，虽然我国小部分的合作社、大型农场、农业大公司等都拥有大型的农业机械，包括大型联合收割机、大型播种施肥机械等。绝大多数大型农业机械适应我国平原地区的种植和收获作业，但是在山地、丘陵等地区，要想节省人力、提高作业效率，就必然要推广小型农业机械。再者，这些地区种植作物种类丰富，包括多种特种农业，小型农业机械更能发挥其特点，既省力，又大大提高效率，符合因地制宜的农业生产措施。

我国小型农业机械产品虽然种类繁多，很多的小型农业机械是由一些小规模的厂家进行制造，因此，受加工制造技术的限制，产品精度不高，通用性也不高，因此，为了响应国家政策，提高农业机械化水平，实现小型农业机械的通用化、标准化是当前形势下亟需解决的问题之一。

1.2 模块化技术研究

1.2.1 模块化技术

模块化技术的发展是生产方式演变之下的产物，产品的种类多少以及批量大小与生产方式密切相关，如图 1-6 所示，从图中可以看出，模块化技术的产生适应了时代的需求，是当前技术领域必然的发展趋势。

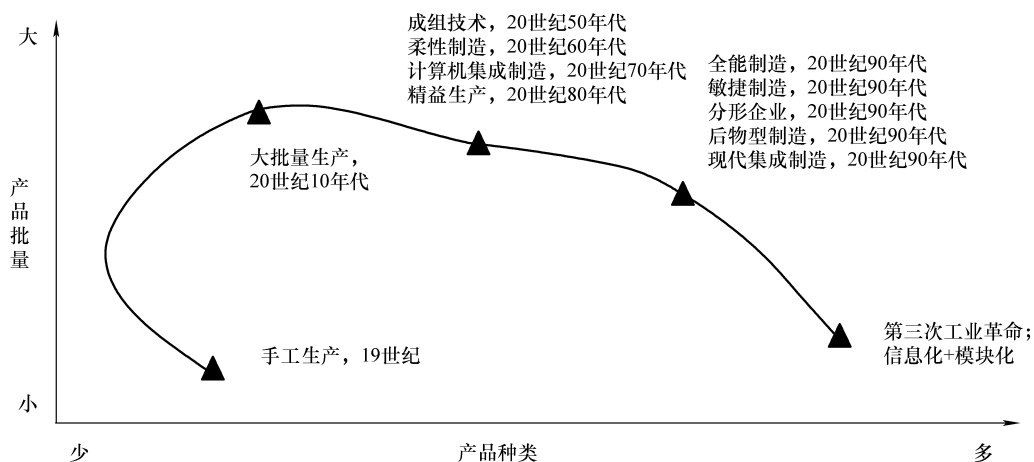


图 1-6 产品批量和种类与生产方式之间的关系

“模块化”思想是人们在长期的生产实践中产生的，模块化技术作为一种理论提出是由欧美国家提出的，因其在实际的生产过程中对解决复杂产品的设计、生产和产业结构的



组织、调配、制造网络的构建和重组等方面的灵活性和可重用性的优势而被广泛应用，并且随着制造业市场对产品的创新性和生产的时效性要求，模块化作为一种新理论而被人们关注。随着研究的逐渐深入，模块化设计作为一种新的设计理念，逐渐被人们所接受。

国外产品的模块化设计发展已经有很长一段时间。早在 300 多年前，欧洲人就将构筑城墙所用的城砖统一设计成 6:3:2 的长宽高的比例，然后再把这些相同的城砖组合成不同形状不同大小的城墙。这就是模块化思想的最初的应用实例。

1930 年，“模块化构造”的方法被德国工业界提出，该方法在机床设计方面取得了良好的收益，得到了德国理论界和工业界的一致认可，人们对模块化技术的重视程度也得到了很大的提高。20 世纪 50 年代，“模块化设计”的概念被欧美国家提出，之后的几十年里，模块化设计的概念从被提出到发展成为现代产品研发过程中普遍采用的一种设计方法，广泛应用到电子行业、建筑行业以及机电产品的研发工作中来。

与工业发达国家相比，对于我国多数生产企业来说，模块化技术的应用程度还远远不够，尽管在 20 世纪 80 年代初，成组技术研究显现出推广与应用的高潮，经历了从行业试点项目到技术攻关子项目再到重点推广应用项目的发展历程，这期间也在多个领域获得了很大的收益，然而由于传统的原因，企业内部的组织结构分散，各部门协同作业水平不高，再加上分散经营，从而造成了生产能力的重复配置，不同规模的企业优势无法发挥出来，资源也得不到有效的利用，导致模块化技术的应用尚处于发展阶段，技术进步慢，竞争力不强。

所谓的模块化技术，简单地说就是将产品的某些要素组合在一起，构成一个具有特定功能的子系统，将这个子系统作为通用性的模块与其他产品要素进行多种组合，构成新的系统，产生多种不同功能或相同功能、不同性能的系列产品。模块化技术符合绿色设计的理念，它已经从理念转变为较成熟的设计方法。将绿色设计思想与模块化技术方法结合起来，可以同时满足产品的功能属性和环境属性，一方面可以缩短产品研发与制造周期，增加产品系列，提高产品质量，快速应对市场变化；另一方面，可以减少或消除对环境的不利影响，方便重用、升级、维修和产品废弃后的拆卸、回收和处理。因此，模块化研究是现代标准化的前沿，国内模块化技术成为热门的研究方向，图 1-7 为中国知网上以“模块化”为主题的文献篇数检索结果。

模块化技术应用成为新的热门方向，原因包括：

(1) 基于多样性与个性化的定制需求

随着科技的发展和社会的进步，产品更新的频率也越来越快，客户的需求也越来越趋于多样化，定制产品的产量也在不断增加。模块化技术在满足客户多样性与定制化需求的同时，大大降低了产品的生产造价，缩短了面向产品的整个制造周期。

(2) 较高的经济可行性

基于众多的劳动人口，结合我国国情，劳动密集型产业不能放弃，同时也要保证较高的就业率。模块化技术的模块制造需要大量的劳动力，可以显著降低生产成本。

(3) 基于产品绿色化的生产需求

当前形势下，为了降低能源消耗，国家大力提倡绿色化的生产方式。鉴于当前国内资

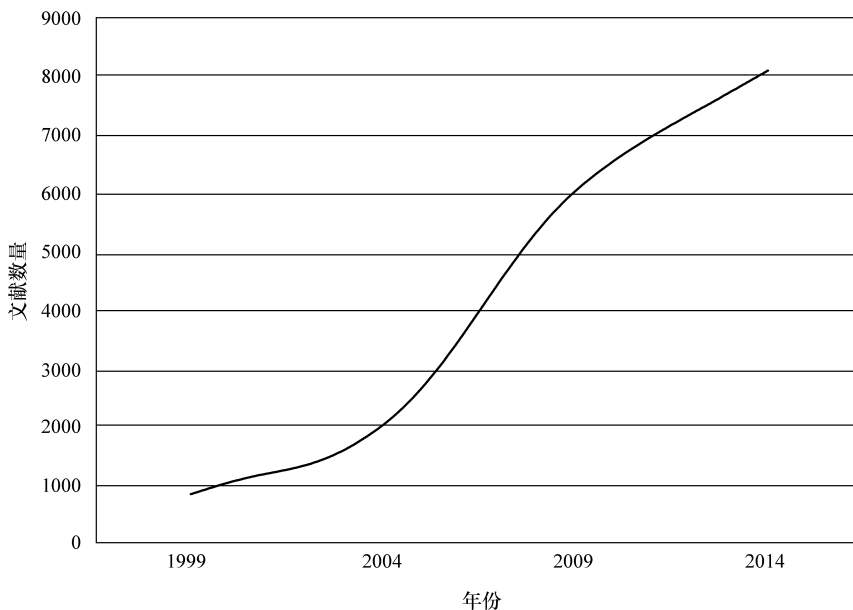


图 1-7 文献篇数按年份增长趋势

源消耗严重，由此所导致的环境问题也日趋棘手，模块化技术可以提高生产效率，降低能源消耗，对保护环境也有一定的作用。

(4) 时代的必然发展趋势

人类已经进入信息高速发展的时代，在信息技术支持下，模块化技术也处于一个飞速发展的时期，信息化为企业间产品的模块化提供了大量的理论和技术支持，促进了企业间产品应用模块化技术的深度和广度。在信息化技术的支持下，模块化技术才能完成大量的建模重组、集成优化以及模型评价等过程。没有信息化技术的支持，这些步骤都很难实现。

1.2.2 模块的定义

近年来，国内外各个领域已经将“模块”一词广泛地应用到工业产品中，尤其是在我国，“模块”或者“模块化”等词语也得到了很大程度的普及，往往被当作某产品的生产制造特征来一再强调。然而，当前对于模块尚没有一个准确的定义，各个行业对模块的理解是不同的，比如硬件和软件行业对于模块的定义就有很大的不同。对于一些硬件行业来说，模块是指由多个具有基本功能的组件组合成具有特殊功能的组件，再次通过进一步组合来构成功能完善的系统或者设备；对于一些软件行业来说，模块则是指能够单独命名并独立地完成一定功能的程序语句的集合（即程序代码和数据结构的集合体）。软件模块具有跟外部环境联系的接口，其模块的内部环境具有该模块的局部数据和程序代码。各种模块如图 1-8 ~ 图 1-13 所示。

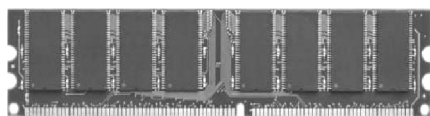


图 1-8 计算机内存模块



图 1-9 遥控模块



图 1-10 模块化包装机

目前的研究对于模块的定义主要有两种，包括模块的广义定义以及模块的狭义定义。

(1) 广义模块

从广义上来说，能够组成上一层系统，相互之间可以进行组合，实现替换或者变型的单元，我们均称之为模块。就层次而言，我们可以将其划分为整机、部件、零件、结构单元等模块；就其通用性而言，又可以分为两大类：第一类是指能够在同一系列产品中被多个产品所采用的模块，从

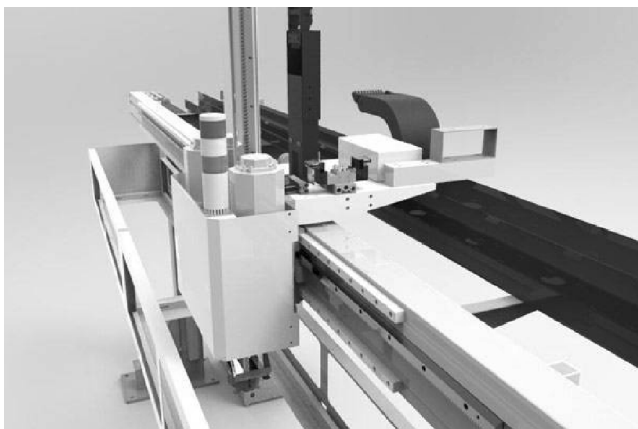


图 1-11 模块化机床

大小、外形和特性方面来看，在同系列产品中是完全一样的，把这些模块称为通用模块，在这里要特别指出的是，被所有的产品都采用的通用模块我们又把它叫作基本模块；第二类是指在同系列产品中仅仅被个别的产品所采用的模块，目的是为了满足不同系列产品的特定需求和功能，称之为专用模块。本书中主要讨论机械产品模块，不做特殊说明时，采用的是模块的广义定义。



图 1-12 西门子 PLC 系列模块

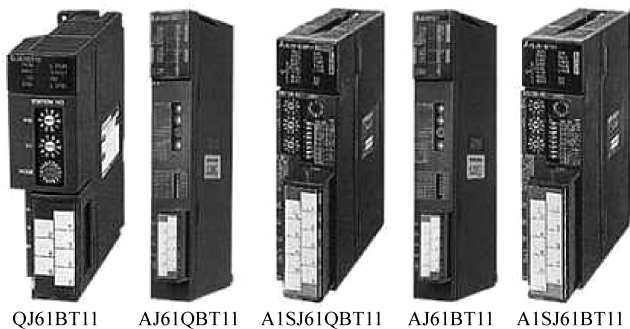


图 1-13 三菱 Q 系列 PLC 系列模块

(2) 狭义模块

以广义定义为狭义定义的基础，要求其具有独立的功能以及标准的接口。在这样的约束条件下，通用模块在模块的狭义定义中是不成立的，因为它并没有所要求的独立功能。以市场上流通的一种汽轮机为例，在设计转子和气缸时，采用具有多个接口而只有拓扑关系的结构单元组成，这些结构单元就不能称之为模块。

(3) 模块族的定义

模块族是指一组具有相同或相似特征以及形状模块集合。其中，所说的产品模块的集合称为产品族，零件模块的集合称为零件族，如图1-14所示。



图 1-14 常用的标准零件系列

1.2.3 模块的特性

上述对于模块概念的描述虽然无法对模块做准确的定义，但基于人们对于模块特性的归纳和研究，可以从模块的属性上对模块进行了解。能称为模块的实体产品或抽象产品，都具有四个特点：独立性、抽象性、互换性和灵活性。

1) 模块的独立性不仅是指模块在功能方面独立，而且在模块的设计、制造和调试过程中都能够独立地进行。在一个大型的机器或系统中可以有許多大型模块，而这些大型模块中又包含着许多具有基本功能的模块，模块之间存在的是连接关系，一个模块的缺失不会影响到其他模块的工作，在实际中可以根据需要对模块进行替换和增减。在进行新产品开发时，只需在原来基础模块的基础上进行所需模块的设计和模块之间接口的设计，新设计模块的制造、调试或试验过程依据其独立性可以独立完成。

模块与模块之间的相对独立性可以通过两个指标进行衡量：耦合和内聚。耦合是模块之间相互关联的程度，它是模块独立性的直接衡量指标；内聚是指系统内部各模块之间联系的紧密程度，用来间接衡量模块之间的关联性。基于模块设计的系统或机器应该具有较小的耦合和较大的内聚。