Modularization, Divisions within Industry and Shifts in the Mode of Ec

模块化、产业内分工与经济增长方式转变

张其仔 等／著

社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS(CHINA)

模块化、产业内分工与经济增长方式转变

张其仔 等／著

Modularization,
Divisions within Industry and
Shifts in the Mode of Economy Growth

社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS(CHINA)

图书在版编目（CIP）数据

模块化、产业内分工与经济增长方式转变/张其仔等著.
—北京：社会科学文献出版社，2008.10
ISBN 978-7-5097-0380-9

Ⅰ.模… Ⅱ.张… Ⅲ.产业-经济发展-研究-中国
Ⅳ.F12

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 152897 号

模块化、产业内分工与经济增长方式转变

著　　者／张其仔 等

出 版 人／谢寿光
总 编 辑／邹东涛
出 版 者／社会科学文献出版社
地　　址／北京市东城区先晓胡同 10 号
邮政编码／100005
网　　址／http://www.ssap.com.cn
网站支持／（010）65269967
责任部门／皮书出版中心（010）85117872
电子信箱／pishubu@ssap.cn
项目负责／邓泳红
责任编辑／曹义恒
责任校对／郭红生
责任印制／岳　阳

总 经 销／社会科学文献出版社发行部
（010）65139961　65139963
经　　销／各地书店
读者服务／市场部（010）65285539
排　　版／北京步步赢图文制作中心
印　　刷／北京季蜂印刷有限公司

开　　本／787×1092 毫米　1/16
印　　张／16.5
字　　数／261 千字
版　　次／2008 年 10 月第 1 版
印　　次／2008 年 10 月第 1 次印刷

书　　号／ISBN 978-7-5097-0380-9/F·0131
定　　价／45.00 元

本书如有破损、缺页、装订错误，
请与本社市场部联系更换

版权所有　翻印必究

序　言

模块化是当前技术变迁和产业组织变革的一个重要趋势，这个趋势预计还会不断深化。美国通过大规模生产模式在20世纪大部分时间里赢得了全球经济的统治地位。进入80年代后，大规模生产的美国模式无法适应动荡的市场变化和日益增加的产品复杂性要求，因而在大部分领域日益失去统治地位[①]，饱受日本产业竞争的持续冲击。为了适应新的竞争形势，自90年代开始，一种新的产业组织模式开始在美国形成，并日益显示出强大的竞争力，对其他国家或地区的产业组织模式；特别是亚洲模式的优势造成极大的挑战，并使美国企业重新夺回了曾经失去的地盘。这种新的美国产业组织模式建立在模块化的基础之上。产品模块化与产业组织方式的模块化，使美国在和日本的产业竞争中，经历过短暂失势后即挽回败势。

鉴于模块化的强大威力及其影响日益普遍，有关模块化的相关研究也日益增多。西方最早问世的系统研究模块化的理论是哈佛商学院的卡利斯·Y. 鲍德温（Carliss Y. Baldwin）和吉姆·B. 克拉克（Kim B. Clark）于2000年出版的专著《设计规则：模块化的力量》。这本书还只是他们计划出版的著作的第一卷，讲述了20世纪80年代计算机产业模块集群出现以前的计算机产业模块化的过程。在这部大部头的著作里，作者为研究模块化提出了一个理论框架。他们从设计出发，引入了模块和模块化的概

① 参见B. 约瑟夫·派恩《大规模定制：企业竞争的新前沿》，曹云甫等译，中国人民大学出版社，2000，第9页。

念，并且以 IBM 360 系统的诞生为例，详细讲述了计算机设计中模块化的起源及其操作，运用金融理论中的期权理论论证了模块化的价值。在还未出版的第二卷中，作者计划讨论在计算机模块集群产生以后，设计和产业发展相互关联的发展过程，讨论为什么会有计算机产业从 1980 年到今天这样飞速的发展，关注模块化集群出现所需要的基础结构，在模块设计等级结构中寻找市场价值的基本战略，以及在一个模块化集群中改变设计和产业发展所需的估价技术和财务系统。

早在《设计规则：模块化的力量》问世之前，两位作者就于 1997 年在《哈佛商业评论》上发表了一篇短小却影响深远的文章——《模块时代的管理》。在该文中，作者就指出模块化现象在几个产业领域已经从生产过程扩展到了设计、使用等其他过程，模块化已经进入了大发展时期，并且势必对产业结构的调整具有革命性意义，倡导其他产业的经营层向电脑产业经营层学习。

从 20 世纪 90 年代中后期开始，日本也开始用模块化的眼光研究互联网产业和汽车工业，独立地发展了模块化理论。在日本，国领二郎 1995 年的《开放式网络经营》和池田信夫 1997 年的《信息通信革命与日本企业》最早阐述了知识（设计）与产品的模块化是和信息交换与交易的网络化相辅相成、共同发展的观念，并系统论述了它对产业结构的意义。他们认为，在遵循共同技术协议的互联网产业里，与独自发展一整套技术相比，把技术的要素分解（模块化），其他部分通过与外部企业开展合作，灵活运用其他企业的资源，这种企业战略更有优势。他们论述了在组织内部信息共享的基础上如何发展竞争力，也讨论了地方网络型的日本式企业组织形式的局限性。

藤本宏隆 1997 年的《生产系统进化论：看丰田汽车的组织能力与创新过程》和浅沼万里 1997 年的《日本的企业组织适应革新的机制》对日本汽车产业领域也开展了相关的研究。他们认为，日本汽车竞争力的源泉是来自核心企业与重要零部件供应商之间存在的一种设计上的模块化。日本汽车企业尤其是丰田公司在确定了一般的共识和界面后放手让零部件供应商去设计，而前者进行认可。在这种框架下，设计过程在供应商那里“浓缩化”了，生产系统里各模块的设计能够同时进行，大幅度缩短了系

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

统改良的周期。

青木昌彦是中国国内比较熟悉、在制度经济学研究方面较有影响的一位经济学家。他在其著作《比较制度分析》一书的第四章“组织结构和治理”及第十四章“硅谷模式：产品开发方面的制度创新”中建立起了自己分析模块化的一个理论框架，并认为他的这项研究工作与鲍德温和克拉克在《设计规则：模块化的力量》中所建立的理论框架是高度互补的，且有部分重叠。青木昌彦对模块化问题十分重视，他领导的产业经济研究所成立了信息技术、企业组织、亚洲经济等研究集群。该研究所从实践和理论两个方面开展了对信息化与模块化的关系以及对日本企业国际竞争力的影响的研究，并于2001年7月专门举办了主题为“模块化对日本产业的冲击”的学术研讨会。除青木昌彦本人和《设计规则：模块化的力量》一书的作者鲍德温参加外，还邀请了日本政界和企业界的人士参加。会后，根据研讨会的论文和讨论内容整理出《模块时代：新产业结构的本质》一书（已译为中文，由上海远东出版社出版），极大地推动了模块化研究的进程。

模块化也引起了中国经济学家的注意。《中国工业经济》近几年发表了一系列有关模块化的论文。这些论文从不同的角度或者从模块化应用方面对模块化理论进行了一定的阐述。中国工程领域也很早就注意到模块化方法在工程领域的巨大效益。到20世纪90年代初，模块化已经在中国机电产品设计、军用装备、船舶建造等许多领域得到广泛应用，积累了一定经验。为了进一步总结这些经验，进一步研究和探讨模块化的理论问题，中国标准化协会1991年开始把“模块化”列为重点学术研究课题之一，并先后召开了两次全国性的模块化研讨会，发表了一批有一定分量的论文，并于1995年开始将模块化作为继工业工程之后在全国重点推广的项目。童时中是中国较早研究模块化理论和应用的学者，从90年代初开始在各种标准化杂志上发表多篇论文，较为系统地研究模块化理论，并于2000年出版《模块化原理、设计方法及应用》一书，这是中国第一本系统研究和探讨模块化原理的书，该书从模块化的原理、设计和应用等多个角度较系统地阐述了模块化。

为了研究模块化问题，中国社会科学院产业组织研究室以“产业结构

的模块化问题研究”为题于2004年申报了中国社会科学院B类项目。申报这个项目的初衷，是要探讨模块化的产业组织对技术创新的影响，分析模块化对中国产业升级的可能影响，在此基础上，再提出面对模块化时代中国提升产业竞争力、实现产业优化升级的战略措施。在得到了国家科技支撑计划“跨区域经济发展动态仿真模拟技术开发”课题支持后，课题组成员就模块化与经济增长方式转变的关系又作了进一步的深入研究。作为课题组成员几年辛苦劳动的结晶，虽然还存在诸多需进一步深入研究的问题，但就课题的预定目的来说，还是达到了。和既有的有关模块化的研究相比，《模块化、产业内分工与经济增长方式转变》有以下几个突出特色。

第一，本报告对模块化问题从产业组织的角度进行了全面系统的分析。模块化虽然引起了国内学术界的很大关注，但迄今为止并未见相关的系统的经济学类的专著问世。国外专门论述模块化的经济学著作，如《模块时代：新产业结构的本质》、《设计规则：模块化的力量》虽已译成中文，但对模块化的讨论并不全面。前者是一本会议论文集，后者则重在讨论模块化产生的实物期权。本报告借鉴了这些专著的研究成果，同时又增加了一些新的内容，对模块化从产业组织的角度进行了较为系统的研究。

第二，本报告在系统分析了模块化的产业组织后果、对创新的影响的基础上，论证了在模块化出现后中国实行经济增长方式转变的路径。综观国内外的模块化研究，大多数研究的重心放在模块化为何、模块化如何实现以及模块化的产业组织后果上，就模块化对技术追赶的影响，以及在进入模块化时代后，处于追赶过程中的国家如何实现成功追赶的研究显得相对薄弱，没有把模块化与国家战略相联系。针对国家的战略需要，本报告提出，面对模块化的发展，我国要以“后开放式创新”战略推进产业升级。本报告在分析了不同的企业、不同地区和不同产业创新能力的基础上，提出中国要率先对大型企业、东部地区以及技术优势较强的产业实现升级，并由此带动中小企业、中西部地区和技术优势不明显的产业实现升级。

第三，在分析模块化时引入了新的视角。既有的模块化研究的理论视角主要包括两类：一是信息的视角，二是实物期权的视角。信息的视角提示了模块化在信息处理上的优势，实物期权的视角则从创新激励的角度，

揭示了模块化对创新的激励优势。这两个视角也为国内研究模块化的学者所遵循，特别是把关注的重点放在激励上。这一关注点虽然十分重要而且十分关键，却失之狭隘，使模块化研究重新回归到交易费用经济学的框子里，限制了模块化研究空间的拓展，无法解释模块化的一个十分重要的特征，即模块化过程中的标准开放和一定程度的知识共享，从而也无法对这一现象提供有力的解释。为了理解模块化的这一重要特点，本报告引入了一个新的视角以作为补充，这就是知识经济观。这一视角把模块化视为知识创新和利用的一种形式，开放式创新为其最突出的特色之一。从知识经济的角度研究模块化，则模块化的意义就不仅在于降低成本，而且在于它是开放式获取知识和创新的一种方法。这一角度的引入有助于我们更进一步加深对模块化及其后果的认识，也有助于更好地理解模块化与我国创新路径与创新战略选择的关系。

第四，本报告从全球化的观点提出了中国经济增长方式转变的策略。在全球化的背景下，中国实现经济增长方式转变，其实质就是要改变中国在国际分工体系中的位置，实现产业升级。一般认为，产业升级应遵循从OEA、OEM、ODM到OBM的升级路径，但由模块化推动的知识外包，使中国有机会充分利用这种机遇成为重要的全球知识外包基地，直接成为全球知识网络的重要环节，实现跨越式升级。在这一跨越式升级的过程中，中国应借鉴日、韩等国的经验，把一些逐步失去竞争优势的环节转移出去，即实行逆向外包，以充分利用其他国家的资源与成本优势，促进产业升级。

本报告的写作分工如下：

导论，张其仔、刘戒骄；

第一章，谷伟彬、周勤；

第二章，李晓华、张其仔；

第三章，张其仔、郭朝先；

第四章，郭朝先、李晓华；

第五章，周勤；

第六章，邓泳红、周勤；

第七章，汪晓春；

第八章，周晓燕；

第九章，邓泳红；

第十章，刘戒骄、周勤；

第十一章，谷伟彬；

第十二章，朱彤；

第十三章，丁毅。

张其仔对整个报告进行了最后加工和修改。

为了使研究有所创新，并对国家制定战略能有所启发，课题组为此付出了艰苦努力，但由于水平和能力有限，本报告仍难免有诸多不足和需进一步深化之处，恳请学界同仁批评指正，不吝赐教。

本研究得到科技部、中国社会科学院科研局、中国社会科学院工业经济研究所科研处和所学术委员会的大力支持，得到了中国社会科学院 B 类课题“产业结构的模块化问题研究”和“十一五”国家科技支撑计划课题“跨区域经济发展动态仿真模拟技术开发”的资助。在此，我谨代表课题组全体成员表示由衷感谢！

张其仔

2008 年 4 月 5 日

目　录

导　论 …… 1

一　模块化已经进入“大发展时期” …… 1

二　模块化与产业内分工 …… 9

三　中国在新型国际分工中的位置 …… 13

四　以“后开放式创新”促进经济增长方式转变 …… 15

第一章　模块化的界定 …… 22

一　模块化思想的应用 …… 22

二　模块和模块化的概念 …… 26

三　模块化的类型 …… 34

第二章　模块化、垂直解体和产业的全球化布局 …… 42

一　从垂直一体化到垂直解体 …… 42

二　模块化与垂直解体 …… 46

三　垂直解体的空间发展 …… 48

第三章　中国在国际分工中的位置 …… 53

一　全球产业分工与经济增长 …… 53

二　资源环境要素对我国工业增长的贡献估计 …… 56

三　对中国在国际分工中地位的判断及其意义 …… 63

第四章 模块化网络和模块化企业 …… 68
一 网络治理的类型 …… 68
二 模块化企业 …… 73
三 模块化网络中企业能力边界扩展的机理分析 …… 79

第五章 模块化、市场结构与市场势力 …… 86
一 决定市场结构的基本因素 …… 86
二 模块化对传统产业组织的冲击 …… 89
三 模块化与市场结构 …… 90
四 模块化与市场势力 …… 95

第六章 模块化与技术创新 …… 100
一 模块化与学习成本 …… 100
二 模块化与技术创新的风险 …… 106
三 模块化创新的类型 …… 110

第七章 模块化与产业链的优化升级 …… 116
一 产业链的概念和分类 …… 116
二 产业链的形成机制和特征分析 …… 119
三 模块化产业链和其他产业链的差异分析 …… 122
四 模块化对产业升级的影响分析 …… 130
五 模块化产业链的升级策略 …… 144

第八章 风险投资与模块化创新 …… 150
一 模块化产业创新面临的一般问题 …… 150
二 风险投资的特性 …… 154
三 风险投资对模块化产业的特殊影响 …… 158

第九章 增长方式转变的路径与产业链嵌入 …… 166
一 产业链嵌入、开放式创新与技术追赶 …… 167

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

二　经济增长方式转变的结构策略 …… 171
三　经济增长方式转变的产业推进策略 …… 179
四　潮涌现象 …… 185

第十章　模块化的限制 …… 190
一　模块化有效边界受产品复杂程度限制 …… 190
二　利益冲突使模块化受到限制 …… 191
三　模块化自身的成本也是制约模块化发展的因素 …… 193
四　模块化的成本和收益 …… 194

第十一章　模块化案例研究：计算机产业的模块化 …… 198
一　计算机产业模块化的萌芽 …… 198
二　计算机产业模块化的出现 …… 201
三　计算机产业集群的产生 …… 207
四　计算机产业模块化的深入 …… 209

第十二章　模块化案例研究：软件产业模块化 …… 218
一　独立软件产品的出现与软件模块化的产生 …… 219
二　计算机范式转变与软件模块化的发展 …… 224
三　影响软件模块化未来发展的几个重要因素 …… 230

第十三章　模块化案例研究：日本汽车与游戏产业的竞争战略 …… 236
一　模块化时代日本汽车产业的竞争战略 …… 236
二　日本游戏产业的模块化 …… 238

参考文献 …… 243

导　论

一　模块化已经进入“大发展时期”

在信息技术革命的背景下，产业结构正在发生根本性的变化。为了理解这一变化，经济学和经营学领域里开始流行的关键词就是“模块化”（modularity）。[①] “模块化”通常被理解为一种在进化环境中促使复杂系统均衡动态演进的特别结构，或者一种有效组织复杂产品和过程的战略。模块化在飞机制造、计算机制造、手机制造、汽车制造、重型设备制造、手表制造、发动机制造、自行车制造、快餐，以及金融、法律服务和信息服务等行业得到广泛应用。20 世纪 70 年代以来的有关文献显示，模块化被认为是某些方面的必然选择或自然而然的结果。正如哈佛大学商学院的鲍德温（Carliss Y. Baldwin）和克拉克（Kim B. Clark）所说，模块化作为生产原理具有很长的历史。它在制造业里的应用已经有一个多世纪了。这是因为制造复杂的产品时，将制造过程分解为模块或小单位通常是很容易的。从这个意义上说，如果某种零部件的工学设计（尺寸、强度等）信息在制造系统中是非常明确的，那么我们就可以将一个复杂的任务让多个工厂分担，把业务委托给外部的供应商来做。[②] 在过去 20 多年中，随着市场

---

① 参见青木昌彦、安藤晴彦《模块时代：新产业结构的本质》，周国荣译，上海远东出版社，2003，第 4 页。

② 参见 Baldwin, Carliss Y., and Kim B. Clark (1997). “Managing in an Age of Modularity”, *Harvard Business Review* 75 (5). pp. 84 - 93。

扰动加剧和产品复杂性的增强，模块化组织的优势逐渐显现，模块化的应用范围不断拓宽，频繁应用于产品、产业结构及管理方面，并取得了显著的经济及技术效益。模块化作为一种新的组织模式以及产业结构的新本质，作为使企业的技术结构、产品机构、功能与构成、生产方式及管理体系发生巨大变化的战略，其地位日益重要。“材料科学等领域取得的突破，使我们能够比较容易地获得确定设计规则时所必需的深奥的产品知识……电脑处理能力的提高不仅戏剧性地降低了知识搜集、加工、积累的成本，而且同样降低了设计、测试不同模块的成本。金融市场与新型合同方法的共同发展，为小企业挖掘经营资源、结成实验联盟、开发新产品、实现模块的市场化等提供了很大的帮助。”“我们现在已经进入了模块化的大发展时期。”

首先，模块化生产的范围日益拓展，模块化制造系统日益受到重视。手机、家用电器、通信设备等越来越普遍地采用模块化方式组织生产。原因在于，这类产品结构明显具有模块化的特点。以手机为例：①构成手机产品的主要元器件不再由一个或几个厂家生产，例如射频芯片和基带芯片等主要由德州仪器、高通、摩托罗拉、飞利浦等厂家设计和生产，手机印制板、手机用电池、液晶显示器、充电器、手机用面板、电容器、电阻器、连接器、振动马达等在国内外也都是由多个厂家生产的。②手机产品在功能的构成上呈现高度结构化。一般手机的中心功能由射频、逻辑控制、音频数字处理和电源四大部分来实现。根据谢伟的分析，中国手机制造企业的发展经历了两个阶段，即基于模块阶段和基于芯片组阶段。尽管这两个阶段的技术复杂程度不一样，但其技术本性却有相似之处，即基于手机产品模块化的特点，从多个供应商那里采购元器件，在国内完成组装。国内手机生产企业，如 TCL、南方高科和中科健等，都受益于法国 Wave2com 公司的模块，通过自己的装配活动，向国内市场供货。TCL 推出的手机中一度约有 70% 使用的是法国 Wave2com 公司的模块和软件，该模块包括了手机的全部基本功能。国内企业基本上都先直接采购模块和已被设计好的应用软件及协议层软件，然后再对应用软件作些修改。为了完成整机的装配，这类企业相应需要在全球范围内采购元器件并将其整合成产品，外购的元器件主要包括耳机、天线、电池、麦克风等。有的企业具有

外形设计的能力，有的则通过外包方式委托韩国设计公司完成产品的外形设计。①

模块化制造系统是一种针对技术难度一般的产品的新的制造系统，是一种在标准化和模块化系统基础上建立的“柔性”生产系统。其特点是，当有一个新产品投产时，标准化的模块可以快速组成一个新的制造系统，当产品生产完成后，组成制造系统的模块可以拆下来用于其他新产品的制造系统。随着模块化制造的普及，这些标准化的模块可从贮备有大量模块的租赁公司租赁。对于技术难度一般、批量较小或中等的产品，模块化制造系统能满足多品种批量生产的需要，具有高生产率和高柔性的特点。

其次，模块化在大规模定制中得到普遍应用，模块化产品越来越普遍。大规模定制是将大规模生产和定制生产两种生产模式的优势有效结合，在满足客户个性化需求的同时，保持了较低的生产成本和较短的交货提前期的一种崭新的生产模式。企业采用大规模定制生产模式遇到的主要问题就是成本和时间。一方面，客户定制要求往往增加了产品的复杂性，同时也增加了设计、制造的难度和产品的成本。如何在满足客户个性化需求的同时保持较低的定制成本，是大规模定制企业需要解决的首要问题。另一方面，定制是在客户提出要求后才开始进行的，因此在时间上存在一个滞后期。如何迅速响应客户需求，及时提供定制化的产品和服务、缩短交货期，是大规模定制企业须解决的另一大问题，而模块化恰恰可以减少产品内部多样化，提高交货准时性，节约在零部件的采购、库存、厂房空间、生产规模等方面的间接成本，降低产品开发成本，缩短开发时间，易于针对许多客户的功能需求对产品进行定制，产品更新的可能性更大。运用模块化技术可以大大压缩修改或改变标准设计与工艺的比例，即通常所说的尽可能压缩非标件和非标工艺的比例，最大限度地增加标准件和标准流程的比重，应对大规模定制所面临的成本与时间的挑战。

模块化产品是实现以大批量的效益进行单件生产目标的一种有效方法。产品模块化也是支持用户自行设计产品的一种有效方法。产品模块是具有独立功能部件。这里的部件，一般包括分部件、组合件和零件等。模

① 参见谢伟《模块化和中国手机制造业的兴起》，《科技管理研究》2004 年第 4 期。

块是模块化设计和制造的功能单元，具有相对独立性、互换性和通用性三大特征。相对独立性意味着可以对模块单独进行设计、制造、调试、修改和存储，便于由不同的专业化企业分别进行生产。互换性意味着模块接口部位的结构、尺寸和参数标准化，容易实现模块间的互换，从而使模块满足更大数量的不同产品的需要。通用性意味着能够实现横系列、纵系列产品间的模块的通用，实现跨系列产品间的模块的通用。模块化产品对模块的要求较高，传统的产品设计制造模式是一种金字塔式的构成，最终的产品是由原先的零件逐步、单一地转化而成，且产品的数量与品种有限。模块化产品可以从原来的“金字塔”型转向“倒三角”型。这种模式在对一定范围内的不同功能或相同功能不同性能、不同规格的产品进行功能分析的基础上，划分并设计出一系列功能模块，通过模块的选择和组合构成不同的顾客定制的产品，以满足市场的不同需求。①

第三，模块化设计的优势日益明显。模块化设计是实现多样化和标准化有机统一的有效手段。模块化设计以系统工程、标准化及成组技术的原理和方法为基础，对产品的构成模式和结构进行分解、优化、重组和协调，力图以标准化的模块向用户提供全新的、定制的个性化产品。模块化设计的实质是使整个产品系统变得简化、统一，使多品种、小批量生产任务在零部件一级加以简化和统一；当产品范围增加时，力求保持工艺过程不增加，从而设计出易加工、易装配的产品，并最大限度地利用现有资源，缩短产品从开发到投放市场的时间，从而提高企业及其产品的竞争能力和应变能力。克里斯腾森和雷纳认为，模块化设计有三个必备的前提条件：①可明确性，管理者需要知道哪些东西是应该明确的，有哪些属性是至关重要的，哪些是无关紧要的；②可证实性，管理者必须能对这些属性进行衡量，以证实他们得到的确实是他们想要的；③可预测性，子系统之间不允许有任何无法预测的相互依赖关系，管理者需要了解子系统如何与系统的其他部分一起运行，才能在使用时收到预期的效果。②

模块化设计包括结构、界面和标准三个要素。结构定义了一个复杂产

① 参见朱文藻《模块化设计技术在大规模定制中运用研究》，《技术经济》2005 年第 4 期。

② 参见克莱顿·克里斯腾森、迈克尔·雷纳《滑向未来的利润源》，《哈佛商业评论》2004 年第 11 期。

品由哪几个模块组成，并界定了各个模块的功能。模块化设计的原则是力求以少数模块组成尽可能多的产品，并在满足要求的基础上使产品精度高、性能稳定、结构简单、成本低廉，且模块结构应尽量简单、规范，模块间的联系尽可能简单。因此，如何科学地、有节制地划分模块，是模块化设计中很具有艺术性的一项工作，既要照顾制造管理方便，具有较大的灵活性，避免组合时产生混乱，又要考虑到该模块系列将来的扩展和向专用、变型产品的辐射。划分的好坏直接影响到模块系列设计的成功与否。界面定义了模块间的互动方式，包括模块间的联系、沟通及协作方式。标准定义了各个模块是否符合设计规则中的测试依据。模块结构和模块接口标准化是模块化设计的基础。

模块化设计所依赖的是模块的组合，即联结或啮合，又称为接口。为了保证不同功能模块的组合和相同功能模块的互换，模块应具有可组合性和可互换性两个特征。这两个特征主要体现在模块接口上，必须提高其标准化、通用化、规格化的程度。例如，具有相同功能、不同性能的单元一定要具有相同的安装基面和相同的安装尺寸，才能保证模块的有效组合。在计算机行业中，由于采用了标准的总线结构，来自不同国家和地区厂家的模块均能组成计算机系统并协调工作，使这些厂家可以集中精力大量生产某些特定的模块，并不断进行精心改进和研究，促使计算机技术达到空前的发展。相比之下，装备制造业针对模块化设计所做的标准化工作就逊色一些。

模块化设计在众多领域得到运用。齐尔麦、徐燕申和谢艳描述了模块化设计在机床行业的运用。机床是制造工业的基础装备，它的技术水平直接影响到制造业的发展。当前，以加工中心为代表的数控机床已成为工业发达国家普遍采用的现代化制造车间的加工单元。从普通机床发展到数控机床，是机床在传动和结构方面的一次飞跃。与此相适应，数控机床在其结构设计方面也必然要求有新的设计方法和理论来指导。现代数控机床的结构设计有以下一些特点：①数控机床中有不少独立的功能单元，如导轨件、丝杠副、冷却、润滑、驱动、控制、检测装置等，这一特点使其适应于模块化设计方法；②数控机床的加工要求向高速、高精度方向发展，要求机床结构具有高刚度、高可靠性，机床各部件的结构动、静态特性成为

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com