

▶▶▶ 863现代集成制造系统技术丛书

产品生命周期 建模与管理

王成恩 郝永平 舒启林 编著

PLM



科学出版社

www.sciencep.com

7.406.14
1

863 现代集成制造系统技术丛书

产品生命周期建模与管理

王成恩 郝永平 舒启林 编著

科学出版社

， 北 京

内 容 简 介

本书论述了我国制造业的现状与我国的制造业信息化工程,分析了产品生命周期建模所涉及的要素和常用建模方法,提出了产品生命周期建模框架和信息集成模式。书中重点论述了产品生命周期中的设计、加工与装配、面向客户服务支持的产品模型;书中还论述了集成的产品生命周期模型及其构建方法,各阶段模型的转换、集成、互操作方法与构建机制,产品全生命周期模型、资源的管理与控制方法;同时也对协同设计技术和异构产品数据管理及集成技术做了详细论述。

本书可以作为高等院校机械工程、计算机应用、系统工程、企业管理等专业的研究生教材,也可供相关领域的研究人员以及制造企业的管理与技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

产品生命周期建模与管理/王成恩,郝永平,舒启林编著. —北京:科学出版社, 2004

(863 现代集成制造系统技术丛书)

ISBN 7-03-014323-X

I. 产… II. ①王…②郝…③舒… III. 信息技术-应用-制造业-工业企业企业管理 IV. F407.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 091151 号

责任编辑:段博原 贾瑞娜/责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年10月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2004年10月第一次印刷 印张:18 1/2

印数:1—2 500 字数:350 000

定价:36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《863 现代集成制造系统技术丛书》

编写委员会

名誉主任	孙家广	院士	国家自然科学基金委员会
主任	杨海成	教授	中国航天科技集团公司
副主任	王成恩	教授	东北大学
	林鹏	编审	科学出版社
委员	褚健	教授	浙江大学
	徐晓飞	教授	哈尔滨工业大学
	范玉顺	教授	清华大学
	刘晓冰	教授	大连理工大学
	孙林夫	教授	西南交通大学
	黄涛	研究员	中国科学院软件研究所
	林忠钦	教授	上海交通大学
	全春来	研究员	中国航天科工集团第二研究院
	谢庆生	教授	贵州大学
	李美莺	副教授	清华大学
	田荣斌	讲师	科技部高技术研究发展中心

序

世纪之交，世界的政治、经济和技术发生了前所未有的巨大变化，经济的全球一体化和全球的信息化正在形成。而经济全球化和全球信息化使制造业的竞争环境、发展模式及运行效率与活动空间都发生了全面而深刻的变化。这些变化对我国制造业提出了严峻的挑战；当然，这也为实现我国制造业的跨越式发展提供了有利的条件和机遇。

由于我国工业化进程起步较晚，我国的制造业和制造技术与国际先进水平相比还存在着阶段性差距。这些差距包括：产品结构不合理且附加值不高、制造业能耗大且污染严重、产品创新能力较差且开发周期较长；制造工艺装备落后，成套能力不强；生产自动化和优化水平不高，资源综合利用率低；企业管理粗放、国际市场开拓能力弱；战略必争装备和竞争前核心技术的开发相对薄弱等。这些差距使得我国的制造业和制造技术还不能很好地满足国民经济发展和参与国际竞争的要求。不解决上述问题，中国的制造业就不能在激烈的竞争中生存和发展。要使我国制造业在国内、国际市场竞争中立于不败之地，为了尽快形成我国自主创新和跨越发展的先进制造技术体系，积极发展和应用先进制造技术，用信息技术提升和改造传统制造业已经刻不容缓。

世界各国十分重视发展制造业信息化与先进制造技术，许多跨国公司应用这些高新技术实现了设计、制造、管理和经营的一体化，加强在国际市场的垄断地位。例如，美国波音公司在波音 777 客机的研制中，由于使用了先进的产品开设计技术，使开发周期从过去的 8~9 年缩短到 4.5 年，时间缩短了 40% 以上，成本降低 25%，出错返工率降低 75%，用户满意度也大幅度提高；美国通用汽车公司应用现代集成制造系统技术，将轿车的开发周期由原来的 48 个月缩短到了 24 个月，碰撞试验的次数由原来的几百次降到几十次，应用电子商务技术降低销售成本 10%；美国 Exxon-Mobil 石油公司应用先进的综合自动化技术后，使企业的效益提高 5%~8%，劳动生产率提高 10%~15%。可见，先进制造与信息技术应用已经成为带动制造业发展的重要推动力。

为了占领先进制造与自动化技术的制高点，许多国家都提出了跨世纪的研究计划。例如，美国政府提出了《美国国家关键技术》、《先进制造技术计划》、《敏捷制造与制造技术计划》和《下一代制造 (NGM)》等计划；在欧共体的《尤里卡计划 (EUREKA)》、《信息技术研究发展战略计划 (ESPRIT)》和《第六届框架研究计划》中，与先进制造技术有关的项目占有相当大的比重；德国政府提出

了《制造 2000 计划》、《微系统 2000 计划》和《面向未来的生产》等计划；日本的《智能制造系统计划》、《极限作业机器人研究计划》、《微机器研究计划》和《仿人形机器人研究计划》，英国的《国家纳米技术计划（NION）》，韩国的《高级先进技术国家计划（G7 计划）》等都将先进制造与信息技术列为重要研究内容。

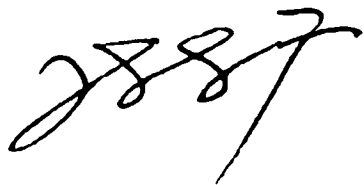
近十多年来，我国有关部门有计划地部署了一系列国家级重点科技项目，有效地促进了我国制造业信息化与先进制造技术的研究与应用推广。如：科技部组织实施的 863 计划的 CIMS 技术主题、智能机器人技术主题，“九五”国家科技攻关计划的 CAD 应用工程、精密制造技术开发与应用、数控技术与装备、现场总线控制技术开发与应用、工业机器人应用、激光技术应用等重点项目；总装备部（原国防科工委）在“九五”期间，组织实施了我国武器装备先进制造技术的发展项目；航空、航天、兵器和机械等许多行业和部门在“九五”期间组织实施了行业先进制造技术项目；国家计委、经贸委等部委在用高技术改造传统产业方面也推行了一系列计划。上述计划和项目极大地推动了我国制造业信息化与先进制造技术的发展。

综观世界各国先进制造与自动化技术计划的制定和实施情况可以看到，先进制造和自动化技术的发展有其深刻的国际经济竞争背景。这些先进制造与自动化技术计划提出时即以提高本国制造业的国际竞争能力、促进经济增长和提高国家综合实力为目标，既注重技术的前瞻性和前沿性，更重视来自产业界的实际需求；在关键技术的选择上对系统集成技术与工艺装备研究开发并重，通过系统技术、信息技术和自动化技术的引入来提高制造企业的竞争能力；同时也可以看到，各国在发展先进制造与自动化技术的过程中，政府通过若干计划的实施起到了关键的引导和调控作用，并形成了一套有效的研究开发及推广应用的管理机制和创新机制。

国家“十五”863 计划先进制造与自动化技术领域针对我国国民经济建设和社会发展主战场的重大需求，瞄准国际先进制造与信息技术前沿，在制造业信息化工程关键技术的研究开发和集成应用、战略必争装备和竞争前核心技术的研究开发、基础制造装备与成套装备的研究开发、先进制造与自动化前沿创新技术的研究等四个方面，按照一个工程（制造业信息化工程）、两个主题（现代集成制造系统技术主题、机器人技术主题）、四个专项（数据库管理系统及其应用、微机电系统（MEMS）、7000 米深海载人潜器、集成电路制造装备）的布局，组织开展了前沿创新技术研究、产品研发与产业化、集成应用示范工程三个层次的相关工作。

“十五”计划自启动以来，经过大家三年多的辛勤工作，多项研究课题已经取得阶段性成果，为了进一步推广应用制造业信息化及先进制造技术，国家“十

五”863计划现代集成制造系统技术主题专家组精心组织，汇集了部分课题的优秀研究成果，编写出版了这套《863现代集成制造系统技术丛书》，这套丛书将随着课题研究工作的不断深入分批与各位读者见面。相信这一套著作对我国从事制造科技研究、开发及应用的各级科技人员、管理人员具有重要的参考价值，同时也希望通过这套丛书，让社会了解和评价我们工作中的部分成果。我们真诚欢迎大家对我们的工作提出宝贵的意见和建议。



国家“十五”863计划先进制造与自动化技术领域专家委员会主任
中国工程院院士
2004年9月

前 言

制造业（尤其装备制造业）是经济建设和国防建设的基础，也是社会发展的动力。目前，我国制造业与发达国家相比，在管理体制、产品创新设计、制造工艺和信息技术应用等方面仍然存在较大差距。为了实现可持续发展，我国制造业的发展战略方针是以信息化带动工业化，用高新技术和先进适用技术改造传统产业，大力振兴装备制造业。

信息化已经成为制造业管理和技术水平的主要标志之一，信息技术的应用正渗透到产品设计、开发、运行和维护的每个方面。一个制造企业的管理、计划、销售、工程设计、制造、采购供应和客户服务部门都需要及时获取和处理相关的产品数据。由于敏捷制造、供应链管理和网络化制造等新制造模式的推广，一个复杂产品的开发过程需要众多的企业共同合作完成，这就要求产品信息管理活动能够跨越企业的边界，在分布式异构环境中进行。

产品生命周期建模和管理是从个体产品构思、需求分析、概念设计到详细设计、制造装配、交付、运行和维护等阶段全面描述和定义产品信息，并且支持企业内和企业间产品信息传递、交换和共享。产品生命周期管理构成了企业信息化整体解决方案的基础，产品生命周期管理系统也经常被用于集成其他业务管理系统。然而，产品生命周期建模和管理仍然处于发展过程中，许多概念和技术问题还有待于进一步探索。

作者在 863 计划课题“面向网络制造的产品全生命周期模型研究”（编号：2002AA414420）支持下，对产品生命周期建模与管理问题进行了初步的研究。本书的内容主要反映了作者在相关方面的思考和对现状的归纳。

王成恩策划了本书的写作工作并撰写了第 1、2、3 章；郝永平撰写了第 4、7、8 章；舒启林撰写了第 5、6 章。在此期间许多人员提供了大力的支持，加快了书稿的写作进度和完善了书稿的质量。隋天中教授仔细审校了书稿，提出了建设性的修改意见。博士生冯国奇、张闻雷和马明旭分别撰写了 workflow 管理、TeamCenter 系统简介和 SAP PLM 系统简介部分的初稿，刘震副教授撰写了企业门户技术。博士生李海越、刘晓，硕士生曾鹏飞、谢来勇等为初稿资料的整理做了很多工作。作者对他们的辛勤工作表示感谢！在本书的写作过程中，作者参考了许多相关文献和技术资料，对此表示衷心感谢！

产品全生命周期建模与管理技术正在不断发展，许多概念和方法还有待于完

善，限于作者的水平，疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2004 年 6 月

目 录

序

前言

第1章 制造业现状与企业管理	1
1.1 概述	1
1.1.1 制造业的作用	1
1.1.2 制造系统的概念	3
1.1.3 制造模式发展	7
1.2 我国制造企业的现状.....	12
1.2.1 我国制造业状况概述.....	12
1.2.2 制造业信息化工程.....	13
1.2.3 振兴装备制造业.....	16
1.3 制造企业建模与管理.....	19
1.3.1 企业与环境的关系.....	20
1.3.2 企业建模与管理.....	21
1.3.3 产品建模与数据管理.....	24
1.4 小结.....	28
第2章 产品生命周期建模	30
2.1 概述.....	30
2.1.1 产品生命周期概念演变.....	30
2.1.2 产品生命周期建模技术.....	33
2.1.3 产品生命周期建模意义.....	36
2.2 产品建模语言.....	38
2.2.1 STEP 标准简介	40
2.2.2 EXPRESS 语言简介	42
2.2.3 统一建模语言简介.....	44
2.2.4 可扩展的标记语言简介.....	48
2.2.5 产品数据标识语言.....	51
2.3 产品生命周期建模体系结构.....	54
2.3.1 产品生命周期建模的要素.....	55

2.3.2 产品生命周期阶段划分	57
2.3.3 产品生命周期阶段建模	58
2.3.4 产品模型集成框架	71
2.4 小结	73
第3章 产品生命周期管理	75
3.1 概述	75
3.1.1 产品生命周期管理的定义	75
3.1.2 产品生命周期管理的优点	77
3.2 产品生命周期管理框架	78
3.2.1 产品生命周期管理框架	78
3.2.2 产品生命周期管理系统核心功能	79
3.3 workflow 管理与企业门户技术	83
3.3.1 过程建模与 workflow 管理	83
3.3.2 企业集成门户	89
3.4 TeamCenter 系统简介	93
3.4.1 TeamCenter 系统概述	93
3.4.2 TeamCenter 系统的协同机制	94
3.4.3 TeamCenter 系统结构	95
3.5 SAP PLM 系统简介	102
3.5.1 简介	102
3.5.2 产品生命周期数据管理	103
3.5.3 计划和项目管理	104
3.5.4 质量管理	105
3.5.5 资产生命周期管理	106
3.5.6 环境、健康和安全管理	107
3.6 小结	109
第4章 产品工程设计模型	110
4.1 概述	110
4.2 产品信息模型建模方法	111
4.2.1 产品几何信息模型表达方法	111
4.2.2 产品信息模型	112
4.3 基于本体知识的产品信息模型	123
4.3.1 基于本体的产品信息模型与建模技术	123
4.3.2 基于本体论的产品全过程知识体系	123

4.3.3 基于本体的产品信息表示	124
4.3.4 基于本体的多角度表示——知识本体	125
4.4 产品结构模型	126
4.4.1 产品结构模型	126
4.4.2 产品数据模型	135
4.4.3 零件信息模型	144
4.5 产品开发过程模型	148
4.5.1 过程建模基本过程	148
4.5.2 过程建模与仿真	151
第5章 面向加工与装配的产品模型	157
5.1 概述	157
5.2 产品设计模型向加工和装配模型的转化	158
5.2.1 产品设计模型向加工和装配模型的转化过程	159
5.2.2 设计 BOM 向制造 BOM 的转换	160
5.3 面向加工与装配的产品模型的建模策略	162
5.4 面向加工与装配的产品信息模型的组成	164
5.4.1 零件的工艺信息模型	165
5.4.2 产品装配工艺信息模型	168
5.4.3 企业工艺资源模型	172
5.5 面向加工与装配产品模型的建立与管理	178
5.6 小结	182
第6章 面向客户服务支持的产品模型	184
6.1 概述	184
6.1.1 客户服务基本概念	184
6.1.2 客户的定义和分类	185
6.2 面向客户服务产品模型的主要内容	186
6.2.1 产品设计制造模型向产品服务模型的转化	186
6.2.2 客户信息资源模型	188
6.2.3 产品服务模型与客户信息模型的关联	193
6.2.4 客户服务和支持	194
6.3 关键技术	196
6.3.1 客户关系管理	196
6.3.2 产品远程故障诊断	201
6.4 售后服务管理应用实例	205

6.5 小结	209
第7章 协同设计技术	210
7.1 概述	210
7.2 协同设计的基本原理	210
7.2.1 协同产品设计工作流程	210
7.2.2 协同设计的一般特点	212
7.3 基于 Multi-Agent 的工作流方式下协同设计建模	213
7.3.1 产品开发过程分析及角色划分	213
7.3.2 基于多 Agent 的工作流方式下的产品开发建模方法	214
7.3.3 减速器产品开发建模实例	218
7.4 协同设计环境下的冲突	218
7.4.1 协同设计环境下产生冲突的原因分析	220
7.4.2 利用 Petri 网技术解决冲突的算法	221
7.4.3 利用 Petri 网技术解决协同设计冲突	221
7.4.4 冲突与约束管理系统的体系结构	223
7.4.5 智能型的冲突管理系统	227
7.4.6 冲突问题的解决策略与具体算法	229
7.5 协同设计系统的体系结构	230
7.5.1 协同设计产品开发环境的需求分析	230
7.5.2 协同设计产品开发环境的体系结构	231
7.5.3 基于 Web 的协同设计系统集成体系结构	232
第8章 异构产品数据管理与集成	236
8.1 产品数据通信	236
8.1.1 产品数据访问安全	236
8.1.2 数据转换技术	245
8.1.3 基于 Web 的产品数据访问	246
8.2 基于 XML 的异构产品数据集成	249
8.2.1 基于 XML 的产品数据表达	249
8.2.2 XML 文档与动态 Web 显示	255
8.2.3 XML 和 CAD 数据的集成	258
8.2.4 XML 文档与数据库集成	258
8.2.5 XML 文档与多媒体数据集成	262
8.3 异构应用系统集成	263
8.3.1 异构产品数据集成框架	263

8.3.2 基于 Microsoft.NET 平台的应用集成	266
8.3.3 基于 J2EE 平台的应用集成	268
参考文献	273

第1章 制造业现状与企业管理

1.1 概 述

1.1.1 制造业的作用

在人类社会的各个领域，我们每时每刻都在生活和工作中使用着各种“产品”和“服务”。各种产品和服务是人类社会存在的物质基础，也是人民生活水平和国家经济实力的主要评价指标。通常，我们将全部制造产品和提供服务的行业划分成三个产业。第一产业主要包括农业、林业、牧业和渔业。第一产业具有悠久的历史，它提供了人类的基本生存条件。第一产业的生产和服务活动主要依赖自然环境和资源状况，生产设备和工艺简单，其产品也多为初级产品。然而，随着人类社会的发展和科学技术的进步，第一产业也在不断地采用先进的技术，对产品进行深加工和降低对自然环境的依赖，提高生产效率和效益。第二产业主要包括工业、建筑业和交通运输业。第二产业通过对原材料进行深加工获得最终产品，其生产设备和工艺先进，组织管理复杂。其中，工业构成了第二产业的主体，它包括机械制造、仪器仪表、化工、能源、冶金和自动化设备等。第三产业主要包括商业、金融、房地产、经济贸易、邮政电信、旅游和娱乐业等。

根据国家统计局每年公布的国民经济和社会发展统计报告，第二产业的增加值一直超过国内生产总值一半以上。第二产业的增长幅度也高于国内生产总值的增长幅度，是国民经济和社会发展的主要动力。在第二产业中，工业比建筑业和交通运输业涉及的行业范围更广，产品种类繁多，技术复杂，国内外企业竞争激烈。在工业领域中，各类企业的共同特点是其一切经营活动都是以产品为中心的。在一般意义上，第二产业中的全部工业产品都不是自然存在的，必须通过“制造”活动得到。制造就是将客户需求（希望）转变为产品设计方案，根据设计方案将原材料加工成产品，最后交付客户使用。由于工业产品种类不同，它们的原材料、加工设备、工艺和管理控制方式也是多种多样的。典型的工业产品加工方式包括原材料去除、堆积、变形、物理反应、化学反应和装配等。根据产品制造过程中原材料的处理方式、物流形式和工艺设备，人们将工业分成流程（连续）制造业、离散制造业及混合式制造业。

在离散制造业中产品主要是通过材料切削、热处理和装配等方式完成的。最终产品在结构上可以分解为部件和零件。产品的生产过程可以划分成间歇性阶段，原材料、毛坯和工件可以在两个加工阶段间等待。产品制造过程中主要利用

各种切削机床、冲压机床、热处理设备和物料搬运设备。典型离散制造业包括机械、电子、航空航天、汽车、家电、仪器仪表和造船等行业。在连续制造业中,产品主要是通过对原材料进行一系列的物理和化学反应完成的。产品的生产过程也可以划分成不同的阶段,但是各阶段是连续的。在连续制造企业中,生产设备按照一组物理和化学公式排列和连接,原材料一旦进入生产装置,必须连续完成全部生产阶段,中间不能停滞。典型连续制造业包括石油化工、造纸和钢铁冶炼等。混合制造业主要指产品制造过程同时具备连续和离散特点的行业,如食品和制药等行业。虽然产品制造方式不同,但是产品是制造企业存在和发展的根本。因此,制造企业的组织、管理、资源、技术和一切经营生产过程都是以产品为核心展开的。制造企业组织管理、技术资源配置和全部制造活动的根本目的就是有利于有效地提供市场需求的产品。另一方面,产品设计制造活动也受到组织管理、资源和活动等因素的制约。因此,产品是企业系统的核心要素,与其他要素紧密相关,并且互相支持和制约。

在 21 世纪的全球化市场竞争中,所有的企业都面临着诸多挑战:客户需求多样化、缩短的产品交货期、高质量产品和服务、成本上升、人才流动、技术进步和环境保护要求。企业必须快速、有效地与世界范围内的客户、制造商、分销商和供应商传递和共享对于他们来说至关重要的产品信息。计算机技术、网络与通信技术的迅猛发展给企业提供了面对这些压力和挑战的手段。制造企业正在采用各种信息技术解决方案来提高企业效率,增强企业自身的竞争能力。产品开发、制造、协作和服务支持等环节成为信息技术的主要领域。产品建模和数据管理由传统的基于纸张图形和报表的方式转变为基于三维数字模型和数据库的方式。目前,制造企业在产品数据表达和维护方面主要面临以下的问题:

1) 缺乏全局产品模型。原材料采购、产品需求、设计、制造、外协和销售等部门采用不同产品信息表达方式。

2) 产品表达方式不统一。制造企业普遍采用多种 CAD 系统、报表、数据库和图纸表达产品信息,造成数据的不一致性。

3) 多企业之间数据交换。复杂产品的设计、制造、销售活动通常由众多的企业完成,产品数据格式和处理系统差异巨大。

4) 客户化的产品。为了满足特定客户需求,经常进行产品变型设计,造成产品数据更改频繁,增加了产品数据版本和有效性控制的难度。

为了系统地优化控制各种制造活动和过程,企业必须完整地表达全部产品信息,并且对产品信息获取和处理过程进行管理。因此,建立集成的产品模型和进行生命周期管理得到越来越多的关注,成为先进制造领域一个十分重要的研究课题,并且相当多的制造企业也已经开始实施相关的技术和系统。目前,英文缩写 PLM 频繁地出现于各种学术论文、技术报告和产品广告中。在学术意义上,

PLM 有两个含义：产品生命周期建模（product lifecycle modeling）和产品生命周期管理（product lifecycle management）。两者的英文缩写均为 PLM，它们相互关联，又有区别。

产品生命周期建模就是获取和表达产品生命周期中各阶段和各方面的数据及数据之间的联系。产品生命周期管理就是对产品生命各阶段的数据处理操作进行管理。产品生命建模是产品生命周期管理的基础，后者对前者进行操作管理。产品生命周期的建模和管理对于各种制造企业都是十分重要的问题。但是，由于信息技术和管理焦点不同，离散制造业对产品建模和生命周期管理具有更高的积极性。而且，目前产品生命周期建模和管理技术的研究和应用也全部集中在离散制造业。虽然，作者认为流程制造业的产品建模和生命周期管理应该是具有同样重要学术和应用价值的课题，但是本书中的内容只讨论离散制造业中产品建模和管理问题。产品生命建模与管理问题牵涉到方方面面，是制造企业系统优化运行的前提条件。我们不能孤立地对待产品建模与管理问题，必须将它作为企业建模和管理核心部分。本书将在制造企业（系统）的整体环境中，介绍和研究产品生命周期建模与管理（product lifecycle modeling and management, PLM&M）技术与应用。

在科学技术范畴内，制造企业是一个开放式的社会-技术系统，它的一切活动都是围绕产品展开的。产品是制造系统的输出，而原材料、能源和其他资源则是制造系统的输入。产品生命周期建模和管理的根本目的是为了提高制造系统的运行效率和效益。因此，我们首先对制造系统的本质进行一定的讨论。

1.1.2 制造系统的概念

系统观念是人类历史中最古老的概念，也是目前各个领域中广泛应用的概念。系统观念强调局部之间的联系，使人全面地分析与归纳各种事物。系统的概念、内涵和外延也因研究领域而各异。系统的概念在科技领域帮助研究人员将研究对象从环境中“分离”出来。通过定义一个系统，科研人员可以准确界定研究工作边界和确定主要问题。通过系统的观点，人们可以将一组对象作为整体以便研究它们内部的联系。在论著《可重构制造系统》中曾经对系统和制造系统的概念进行了归纳和研究。

1. 系统的概念

系统的概念强调了部分之间的协调，即整体优化大于局部优化之和。2500 年以前，中国哲学家老子首先提出了这一思想。以后，希腊哲学家亚里士多德也提出了这一思想，200 年前德国哲学家黑格尔也有过相同的论述。1994 年版 Longman 英语字典将系统解释为：①一组经常交互或相互关联的物体组成的整