

摘要

论文研究在制造业企业信息化及企业经营环境不断变化的背景下，建立面向敏捷制造的功能要求、以动态业务流程为目标的可重构 ERP 系统。论文着重研究了系统仿真建模、系统框架、系统集成、系统实施方法论等关键技术，最后应用在一个中小型企业的信息化工程中。

论文从企业模型的基本概念着手，比较了 CIM-OSA、GRAI 等参考模型，提出了以企业模型层次结构为基础的集参考模型、建模方法、实施方法等三部分组成的 ERP 仿真建模方法论，从而为建立行业 ERP 模型奠定了理论基础。

在此基础上，研究了以 Petri 网定义的基于经营知识规则的业务流程优化，提出了动态可重构 ERP 系统框架，对 ERP 系统的对象层次、运行机制、可重构策略、构件库、动态建模等关键技术进行了阐述。此外，论文表述了基本对象信息和主要功能流程图。

为了满足企业全局信息化的需要，研究了 PDM 与 3C 的集成、以企业数据流为基础的 MES 与 ERP 集成、以产品结构为基础的基于工作流的 PDM 与 ERP 集成，讨论了 ERP 与电子商务整合。实现以产品全生命周期，从设计、生产到销售的信息集成、功能集成、过程集成，达到了企业集成目的。

论文最后部分对一个中小型企业的信息化工程作了全面阐述，着重叙述了面向机械行业 ERP 实施、BPR 过程、实施评价及业务流程的持续改进等。

关键词：企业资源管理，仿真建模，企业模型，企业应用集成，业务流程重组，ERP 实施

Abstract

Under the background of manufacturing industry enterprise informationlization and enterprise operate environment continuously changing, facing to the function request of the agile manufacturing, aiming to dynamic business process, this thesis studies the reconfigurable agile ERP system. The thesis primarily studied several key technologies, such as enable technology, system process modeling, system backbone, enterprise application integration, system implement methodology etc. Finally the research theory was applied to a SME's information engineering.

After researched the basic concept of enterprise model, compared several reference models such as CIM-OSA, GRAI, this thesis presented Model Hierarchical Architecture (MHA). The MHA includes three parts: industry reference model, modeling method and building process. The MHA established the theories foundation for agile ERP system.

Based on above technologies and theories, the author optimized the business process which is defined by Petri net based on rule of management knowledge. This thesis put forward dynamic reconfigurable ERP system framework, studied several key technologies such as object hiberarchy, operation mechanism, reconfigurable strategy, component library, dynamic modeling, etc. In addition, this thesis presented basic object information and primary function flow chart.

In order to satisfy the need of enterprise global informationlization, this study discussed integration of PDM and 3C, integration of MES and ERP based on dataflow, integration of PDM and ERP based on product structure, integration of ERP and electric commerce. The aim was to realize the integration of information, function and process within the whole product lifetime that includes designing, manufacturing and distribution.

According to author's experience, this thesis finally expatiated a total solution about a SME information system project, which involved CAD and PDM in design field, CAM and CAPP in manufacturing field, CRM in distribution field. The author mainly introduced ERP implement process, which including BPR, implement measuring and business process continuous improving, etc.

Key words: ERP, Mechanical Engineering Industry, Enterprise Model, Agile Manufacturing, EAI, Implementing Methodology

承诺书

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，独立进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人享有著作权的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

本人授权南京航空航天大学可以有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅，可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

(保密的学位论文在解密后适用本承诺书)

作者签名: 范伟
日 期: 2005.3.20

注释表

CIMS	Contemporary Integrated Manufacturing System	现代集成制造系统
CAD	Computer Aided Design	计算机辅助设计
CAE	Computer Aided Engineering	计算机辅助工程
CAPP	Computer Aided Process Planning	计算机辅助工艺过程设计
CAM	Computer Aided Manufacturing	计算机辅助制造
CAQ	Computer-aided quality	计算机辅助质量管理
PDM	Product Data Management	产品数据管理
BOM	Bill of Material	物料单
MRP	Material Requirement Planning	物料需求计划
MRP II	Manufacturing Resource Planning	制造资源计划
ERP	Enterprise Resource Planning	企业资源规划
CRM	customer relations management	客户关系管理
SCM	supply chain management	供应链管理
BPR	Business Process Reengineering	业务流程重组
EAI	enterprise application integrated	企业应用集成
C/S	Client/Server	客户 / 服务器
B/S	Browser/Server	浏览器 / 服务器
MIS	Management Information System	管理信息系统
OA	Office Automation	办公自动化
MIS	management information system	管理信息系统
OAS	Office Automation System	办公自动化系统
CE	Concurrent Engineering	并行工程
OLAP	On—Line Analytical Processing	联机分析处理
TPS	Transaction Process System	事务处理系统
ES	Expert System	专家系统
OPT	Optimal Production Technology	优化生产技术
DSS	Decision Support System	决策支持系统
EIS	Executive Information Systems	经理信息系统
EDI	Electronic Data Interchange	电子数据交换
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	传输控制协议/网际协议
EIS	Enterprise Information System	企业信息化系统

第1章 绪论

1.1 背景

1.1.1 信息化浪潮

在人类发展史上，科学技术对经济发展和社会进步发挥着关键性的作用，近 20 年来，以信息技术的大规模发展、渗透、扩张和利用为基本内容的社会信息化活动已经成为推动一个国家和社会发展的最活跃的因素之一。

信息化（Informationalization）这个词是由日本学者在 20 世纪 70 年代提出的^[1]，信息化过程是信息技术在经济活动中广泛采用的过程，在技术层次上体现为信息技术的推广和应用，在知识层次上体现为信息资源的开发和利用，在产业层次上体现为信息产业的增长。

世界范围内的信息化热潮始于 1993 年美国克林顿政府“国家信息基础设施”（National Information Infrastructure）行动计划^[2]，该计划认为发展本国的信息基础设施，实现国家信息化，将会给美国带来巨大的潜在的和现实的利益。NII 加速了美国财富的积累，美国信息财富 1995 年惊人地达到了 1 万亿美元。

NII 一经提出，立刻受到了广泛关注。90 年代，欧共体提出“信息技术研究发展战略计划（ESPRIT）”^[3]和“尤里卡计划（EUREKA）”^[4]。1992 年和 1994 年日本提出了“曼陀罗(Mandara)”和“维纳斯”计划及“智能制造系统计划(IMS)”，1994 年韩国提出了“超高速信息通讯网”，新加坡提出了“IT—2000”计划等等。

我国对于这一信息化浪潮作出了积极的响应。早在 1992 年，电子部开始了“三金”（金桥、金关、金卡）工程；1996 年 1 月，国务院确定成立信息化工作领导小组^[5]；近十多年来，在信息化领域实施了许多重大的项目：863 计划的 CIMS 主题、“九五”国家科技攻关计划的 CAD 应用工程技术开发与应用示范、数控技术与装备的工程化研究；总装备部的武器装备先进制造技术发展项目；航空、航天、兵器和机械等行业的行业先进制造技术项目；国家计委、经贸委等用高技术改造传统产业的计划等等。

全球竞争造成了对企业的压力和挑战，也给企业的发展带来了机遇^[6]。信息技术可以帮助企业经营得更好，分布式网络和协同应用软件的出现使人们以前所未有的方式联结起来，有助于推动真正的信息经济的到来。全球竞争加上信息化使世界各国从工业经济走向信息经济，摆脱工业化模式，探索信息化途径。

用信息技术改造传统制造业，大力推进制造业信息化，是我国在“十五”期间的一项重要使命，为此，国家开始实施制造业信息化关键技术与应用示范工程，核心任

务是完成数字化设计、数字化装备、数字化生产和数字化管理。以期实现产品设计手段与设计过程的数字化和智能化、生产过程控制的自动化和智能化、企业内外部管理的数字化，实现企业的信息集成、过程集成和内外部资源集成，实现制造企业的整体优化，提高我国的国际竞争能力。

1.1.2 企业经营环境的变化

自 20 世纪 70 年代以来，世界市场已经由传统的相对稳定逐步演变成动态多变的市场，企业之间的竞争也由过去的局部竞争演变成全球范围内的竞争。当今企业所面临的社会、经济、制造环境与客户需求也已发生了巨大的变化。

企业之间的竞争主要表现在产品竞争、价格竞争、品种竞争、服务竞争、市场竞争和信誉竞争等诸多方面^[7]。

除了传统的对企业提供产品的低成本高质量要求外，当今企业的生产经营还要能够适应以下的市场变化。

(1) 市场被迅速分割

市场分割是市场经济和经济全球化的必然结果。计划经济向市场经济的转轨，除了极个别的产品市场（如微软公司的 Windows 操作系统、波音飞机公司）被少数公司垄断，大部分产品的市场被许多公司动态地分割，通过垄断或计划经济时代的大批量生产来获得高额的利润已经不可能了。

(2) 产品生命周期缩短

以汽车工业为例，从新型汽车概念的形成到向第一位顾客交货，以前需要 6 年到 7 年的时间。到 80 年代末，这个时间已经降到了 5 年，90 年代中期降到了 3 年，现在有的已不到 3 年了。信息技术产业方面更是如此，越来越短的产品生命周期使得企业必须具有快速的应变能力。

(3) 产品交货期缩短

最大限度地缩短从新产品、新服务概念的产生到通过销售形成现金流的时间是特别重要的。这是企业迅速获取利润的最快捷的手段，要求企业在设计、生产必须采用先进的工具。

对于复杂产品，减少由于设计不合理而造成的在产品制造过程中出现的加工困难、返工次数增加、废品增加，甚至不得不重新修改设计是缩短产品交货期的最急待解决的问题。

(4) 产品的复杂性增加

随着产品的设计手段的提高和客户对产品的高要求，如今产品已经变得越来越复杂。企业必须采用先进的设计技术，制造技术，管理手段来生产和管理复杂的产品，波音公司 777 飞机的全数字化设计，是采用先进设计手段设计复杂产品的典范。

(5) 定制产品数量增加

随着人们追求个性化的需求，相应的生产方式也由大规模单一产品向小规模多品种转化。目前客户定制产品的种类和数量在企业整个产品数量中的比例呈不断上升的趋势。

在制造业领域，“柔性制造”借助于柔性制造系统来完成生产目的，这种系统的特征就是将计算机辅助设计、工程和制造成为一个整体，能产生小批量的定制产品，其成本可以与以往只有在大批量生产时才能获得的成本相同。技术人员想生产一种新部件，不用改变机器，只要修改计算机程序就够了。生产技术和信息技术的发展为柔性生产创造了条件，人们消费心态的变化向其提出了新的要求。

(6) 服务意识增强

这些年来，服务对于企业已经显得越来越重要了。“销售就是服务”是经营者必须有的认识，而服务就得以质为重，并不以量取胜。妥善的服务是建立起企业与顾客之间强有力纽带的基础。由于信息技术在经济领域的广泛应用，服务顾客的方式也出现了一些变化。其中最主要的变化就是通过网络对顾客进行几乎是全方位的服务，客户关系管理使顾客享受到个性化的服务。

经营环境的变化促使企业采用先进的设计、制造、生产管理、经营管理等数字化的手段，这样企业才能在全球化竞争中立于不败之地，获取更多的利润。

1.1.3 先进制造战略

制造业是国民经济的支柱产业，无论是在发达国家，还是发展中国家，制造业在国民经济中均占主要地位。2001年5月，在希腊的雅典第34届国际制造系统大会^[8]（34th International seminar for manufacturing system）其主题是21世纪的技术和挑战（Technology & Challenges for the 21 century），再次强调：世界上各个国家经济的竞争主要是制造技术的竞争，在各个国家的企业生产力构成中，制造的作用一般占60%左右。可见，制造技术水平的高低成为衡量一个国家经济实力和科技发展水平的重要标志之一。

要提高一个国家制造业的水平，从两个方面来衡量：采用先进制造技术和先进制造业管理。

(一) 先进制造技术

先进制造技术在传统制造业不断吸收机械、电子、材料、能源及现代管理等技术成果，并将其综合应用于制造全过程，以实现优质高效、低消耗、清洁、灵活生产，从而取得较理想的技术与经济效果的制造技术的总称^[9]。它具有以下显著特点：

(1) 先进制造技术贯穿了制造的全过程：从市场预测、产品设计、采购、生产经营管理、制造装配、质量保证、市场营销、售后服务、报废处理、甚至回收再利用等

整个制造过程，使整个制造过程成集市场、设计、制造、销售为一体的大系统。

(2) 先进制造技术注重技术、管理、人员三者的有机集合：计算机集成技术、并行工程、准时制造、全面质量管理、精良生产、敏捷制造等都体现了技术与管理、人员三者紧密结合。

(3) 先进制造技术能有效支持可持续发展战略：绿色制造、清洁制造、生态工厂等新概念、新哲理，是支持可持续发展战略的有力武器，是企业跨世纪发展战略。

(4) 先进制造技术是多学科交叉融合的产物：先进制造技术的专业、学科之间不断渗透、交叉、融合，其界限逐渐淡化甚至消失。如 RP 技术（快速原型技术）是机械工程、CAD、数控、激光以及材料等技术的交叉与优化集成。

(二)先进制造业管理

随着经济的信息化和全球化，制造业的经营策略发生了很大变化^[10~11]，由 60 年代的规模竞争变到 70 年代的成本竞争，以及 80 年代的质量竞争，现在将信息因素提高首要地位。

除了产品设计和生产工艺的创新外，企业的创新还应包括制造观念的更新、组织的重构和经营的重组。无数成功的实例证明，综合创新能力是推动企业发展的真正动力和最强大的竞争武器。

现代的信息技术和它所支持的先进现代化管理技术为企业提供了如下的生产模式、管理技术和设计、制造技术。

(1) 物料资源计划 (MRP)、制造资源规划 (MRPII) 和企业资源规划 (ERP)。

这是西方企业管理中逐步发展起来的管理技术的精华。60 年代伴随着计算机系统的发展，人们为了克服早期库存控制中提出的定货点法的缺陷，提出了 MRP 理论，而到了 80 年代，随着计算机网络技术的发展，企业内部信息实现了共享，MRP 的各子系统形成了一个集采购、库存、生产、销售、财务等一体化的系统，由此而发展了 MRPII 理论，MRPII 理论一经产生便受到企业界的重视，已广泛地被欧美等先进国家的制造业所使用，MRPII 成了制造业最现代化的管理信息系统。到了 90 年代，主要面向企业内部资源全面规划管理的 MRPII 思想逐步发展为有效利用和管理整体资源的 ERP 管理思想。

(2) 适时生产 JIT (Just In Time)。

JIT 是日本汽车行业科学管理的精华^[12~13]，它认为制造过程中一切不能增加产品附加值的因素都属于浪费，如装设时间、在线存储、搬运时间、等待时间等在 MRPII 中可接受的因素均被 JIT 视为浪费。JIT 用增加能力的方法消除生产线中的不平衡，由下游工序的需求决定上游工序是否应该生产，使存储大大减少、降低了生产成本，生产周期也随之缩短。JIT 对设备故障、生产被动等承受力比 MRPII 弱。

(3) 计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)。

CIM 在 70 年代初由美国的 Dr.Joseph Harrington^[14]提出时,其核心内涵便是提高企业竞争力的系统观点和信息观点,即使用计算机采取信息集成的方式来实现现代化的生产制造,求得企业的整体效益。企业的生产经营各环节是密不可分的,正所谓“牵一发动全局”,市场、产品开发、加工制造、管理、销售及服务作为一个整体需统一考虑,而整个制造生产过程实质上是信息的采集、传递和加工处理的过程。

CIMS 正是在这种系统观点和信息观点的指导下,通过多种管理方法和各种技术的集成进而实现技术和经营管理的集成、人和组织的集成、物流、信息流和资金流的集成。CIMS 一般包含管理信息子系统、产品设计与制造子系统、制造自动(柔性自动化)子系统和质量保证子系统等。管理信息系统通常以 MRPII 为核心,在 CIMS 中,CAD/CAPP/CAM 必须集成化, CIMS 的发展将更进一步地提高企业的市场竞争能力和应变能力。

(4) 企业过程重建 BPR (Business Process Reengineering)。

90 年代开始,在国外一些发达国家,企业界正经历一场企业过程重建(BPR)的事务革命^[15]。在迈克尔·哈默所著《企业的重建》^[16]一书中给出了福特公司、IBM 公司,以及其他一些公司的例子,由例子可以看出,公司需要给单个小组和部门提供访问公司数据的能力,并允许他们改动某些数据来满足他们各自的需要。

网络上的信息集成(包括不同计算机及设备的通信,不同数据库的信息共享,不同应用软件之间的数据交换等)对于提高企业的运行效率,实现优化运行是十分重要的。在信息集成的基础上,对企业的各种资源的优化利用和运行、制造过程的优化排序和调度等是进一步挖掘企业潜力、实现低耗、优质、高产的技术保证。企业过程重建可以看成是通过企业优化结构达到优化运行的目的。我国企业优化的潜力大大优于国外同类企业。

新组织需要新技术,新技术需要新组织结构来适应这种变化,企业在调整组织结构及经营方式的同时,也需要管理手段和技术的更新,企业过程重建与先进的信息技术和现代化的管理技术的结合将给企业带来巨大的生机和活力。

MRPII、ERP、JIT、CIMS、BPR 等只是先进的管理思想的一部分,世界各国都存在适于各自国情的先进企业管理思想,每种理论的产生都有其产生的市场需求和应用环境。

1.1.4 敏捷制造的提出

针对 20 世纪 70~80 年代美国制造业的衰退及应付来自日本、德国和世界许多国家和地区的激烈挑战,美国国会提出了重振美国制造业雄风的目标并委托里海大学的 Iacocca 研究所就此问题作一个调查、研究,提交一份执行建议。Iacocca 研究所联合了美国 13 家大公司的专家,经过半年多的工作,完成了著名的“21 世纪制造业战略发

展报告”^[17~18]。

敏捷性 (Agility)：一种战略竞争能力，是一种无法预测的持续、快速变化的竞争环境中生存、发展并扩大其竞争优势的能力。

敏捷制造^[19] (*Agile Manufacturing*)：企业在无法预测的持续、快速变化的竞争环境中生存、发展并扩大竞争优势的一种新的经营管理和生产组织的模式。它强调通过联合来赢得竞争；强调通过产品制造、信息处理和现代通讯技术的集成，来实现人、知识、资金和设备（包括企业内部的和分布在全球各地合作企业的）的集中管理和优化利用。

从 1991 年开始，以美国为首的发达国家对敏捷制造进行了量广泛的研究^[20~22]。1992 年，由美国国会和工业界在里海大学建立了美国敏捷制造企业协会(AMEF)。该协会每年召开一次有关敏捷制造的国际会议。从 1994 年开始，由 AMEF 牵头，有近百家上市公司和大学研究机构就敏捷制造的 6 个领域(集成产品与过程开发/并行过程、人的问题、虚拟企业、信息与控制、过程与设备、法律障碍)进行了研究与实践相结合的深入工作。此外，在其他国家也开展了大量敏捷制造的研究。

迄今为止，敏捷制造的研究是在两个层次上进行的，第一层侧重从企业组织、结构和管理、营销策略的角度研究敏捷制造的实现；第二层则侧重从技术的角度研究敏捷制造的实现方法和关键使能技术。敏捷制造的研究大多集中于第一层的研究，到 90 年代中，获得了一批较为成熟的研究成果，提出了一系列新的制造概念与模式，如企业重组、动态联盟、虚拟组织等；

国内学术界有关敏捷制造的研究起步于 90 年代初^[23~25]，主要在企业组织和结构层次上，研究取得了一定的成果，但在技术层次上的研究还未见报导。

敏捷制造的使能技术可以归纳为敏捷制造信息服务技术、敏捷管理技术、敏捷设计技术、可重组和可重用的制造技术四类^[26]。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 ERP 发展历程

ERP 系统是一种主要面向制造行业进行物质资源、资金资源和信息资源集成一体化管理的企业管理软件系统。为了完整地了解 ERP 这个概念，需要首先回顾一下 ERP 系统的发展历程。

在十八世纪工业革命后，人类进入工业经济时代，社会经济的主体是制造业。工业经济时代竞争的特点就是产品生产成本上的竞争，规模化大生产 (Mass Production) 是降低生产成本的有效方式。由于生产的发展和技术的进步，大生产给制造业带来了许多困难，主要表现在：生产所需的原材料不能准时供应或供应不足；零部件生产不

配套，且积压严重；产品生产周期过长和难以控制，劳动生产率下降；资金积压严重，周转期长，资金使用效率降低；市场和客户需求的变化，使得企业经营计划难以适应。总之，降低成本的主要矛盾就是要解决库存积压与短缺问题。

为了解决这个关键问题，1957年，美国生产与库存控制协会（APICS）成立，开始进行生产与库存控制方面的研究与理论传播。随着六十年代计算机的商业化应用开始，第一套物料需求计划 MRP（Material Requirements Planning）软件面世并应用于企业物料管理工作中。在七十年代，人们在此基础上，一方面把生产能力作业计划，车间作业计划和采购作业计划纳入 MRP 中，同时在计划执行过程中，加入来自车间，供应商和计划人员的反馈信息，并利用这些信息进行计划的平衡调整，从而围绕着物料需求计划，使生产的全过程形成一个统一的闭环系统，这就是由早期的 MRP 发展而来的闭环式 MRP，闭环式 MRP 将物料需求按周甚至按天进行分解，使得 MRP 成为一个实际的计划系统和工具，而不仅是一个订货系统，这是企业物流管理重大发展。

闭环 MRP 系统的出现，使生产计划方面的各种子系统得到了统一。只要主生产计划真正制订好，那么闭环 MRP 系统就能够很好运行，如图 1.1 所示。

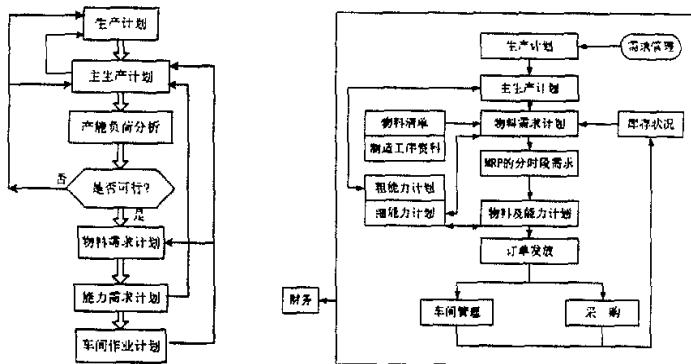


图 1.1 闭环 MRP 框图(左)和 MRP II 框图(右)

但这还不够，因为在企业的管理中，生产管理只是一个方面，它所涉及的是物流，而与物流密切相关的还有资金流。实现资金流与物流的统一管理，要求把财务子系统与生产子系统结合到一起，形成一个系统整体，这使得闭环 MRP 向 MRP II 前进了一大步。在八十年代，人们把制造、财务、销售、采购、工程技术等各个子系统集成为一个一体化的系统，并称为制造资源计划（Manufacturing Resource Planning）系统，记为 MRP II。MRP II 可在周密的计划下有效地利用各种制造资源、控制资金占用、缩短生产周期、降低成本，但它仅仅局限于企业内部物流、资金流和信息流的管理。它最显著的效果是减少库存量和减少物料短缺现象，见图 1.1 所示。

到 90 年代中后期，现实社会开始发生革命性变化，即从工业经济时代开始步入知识经济时代，企业所处的时代背景与竞争环境发生了很大变化，企业资源计划 ERP 系

统就是在这种时代背景下面世的。在 ERP 系统设计中考虑到仅靠自己企业的资源不可能有效地参与市场竞争，还必须把经营过程中的有关各方如供应商、制造工厂、分销网络、客户等纳入一个紧密的供应链中，才能有效地安排企业的产、供、销活动，满足企业利用一切市场资源快速高效地进行生产经营的需求，以期进一步提高效率和在市场上获得竞争优势；同时也考虑了企业为了适应市场需求变化，不仅组织“大批量生产”，还要组织“多品种小批量生产”。在这两种情况并存时，需要用不同的方法来制定计划。图 1.2 是 ERP 的系统结构图^[27]。



图 1.2 企业资源规划 ERP 的系统结构图

下面表示 MRP、MRP II、ERP 功能上的区别。

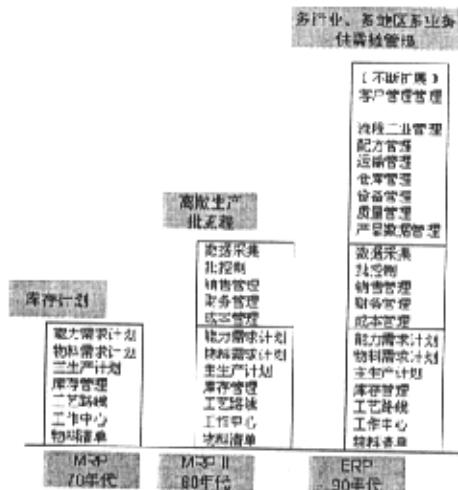


图 1.3 MRP、MRP II、ERP 功能上的区别

ERP 系统不仅为企业建立了一套生产经营管理模式，也提出了一种企业管理哲理。

ERP 软件系统作为实现其管理方法，实现信息集成与功能集成的工具，发挥着重要的作用。早在 80 年代以来，美国的一些著名的计算机公司结合其经营的计算机产品，相继推出了各种版本的 MRP-II 软件，到了九十年代，全球的一些软件供应商相继推出了 ERP 产品，如功能强劲的 SAP，高度集成的 Oracle，适宜“大批量生产”的 JDE，实现“动态企业建模”Baan，为用户量体裁衣 SSA，实现客户价值 SYMIX，构建虚拟工厂的 QAD，简便实用的四班，兼容并蓄的 CA 等等。

国内的 ERP 产品，一是厂商在国外 ERP 软件基础上结合国内企业实际情况直接开发的 ERP 产品，如北京利玛 CAPMS/95、北京开思 ERP；二是财务软件厂商在面临该市场发展势头下降而寻找新增长点的诉求转型而开发的 ERP 产品，强调进、销、存，在账务处理和财务分析方面优势明显，比较有名的有用友、金蝶、和佳等。

1.2.2 面向敏捷制造的企业资源计划系统

传统 ERP：让我们回过头来看看企业管理所依赖的 ERP 系统。传统的 ERP 系统往往是基于七、八十年代商业环境的管理模式而设计开发的，管理企业的整个业务流程（财务、制造、分销等等）。系统基于一种较为静态的竞争观，往往偏重于采用当时所谓的“最优类型模板(Best In Class Template)”。所以软件设计上较少考虑到今后更改流程的要求，我们称之为一种“浇预制板”模式。当企业实施完系统之后，更改变得几乎是不可能的。

再谈传统 ERP 底层应用的软件技术，传统的 ERP 系统功能的每一方面建立在一种固定的程序设计上。每一个相对其它而言都是“硬编码(Hard Coding)”，每一个改变都可能“牵一发而动其全身”。软件规模庞大，动辄几千万行的源程序，没有采用或全面采用面向对象 (Object Oriented)、事件驱动等先进技术 (Event Driven)。

目前，ERP 软件行业正发生一种 IDC 称之为“将影响至少下一个 10 年”的变化^[28]。国外许多企业和 ERP 行业分析家^[29~30]关注和分析这种 ERP 发展的方向：针对不断变化和竞争激烈的商业经济环境，不仅能提供传统的最优化工业模块，更重要的是还能提供应对变化商业环境的灵活性，以及支持这些灵活性并和 ERP 系统一体化的工具和应用。

我国制造企业采用的计算机管理软件主要是制造资源计划(MRPII)。这些软件都是以单个制造企业生产和经营的管理任务为依据而设计与开发的，不能满足敏捷制造企业的需要。在敏捷制造环境中，企业需要通过互联网招投标寻找商业机会，挑选伙伴企业组成动态联盟，联盟企业的制造进度与品质的监控，联盟企业的利润和风险的分担，以及动态联盟解体的财务清算等，都需要信息系统的支持。而这些功能一般 MRP II 和 ERP 软件均不具备。因此，设计并开发具有上述功能的面向敏捷制造的 ERP 软件，则是实施敏捷制造的必要前提。

针对敏捷制造新的功能要求，需要研究面向制造行业的可重构动态的 ERP 软件系统。该系统除具有一般 ERP 软件的功能外，还能够支持敏捷制造的“机遇驱动”运作方式和动态联盟的组成可重构的系统的要求。除了提供最优工业模块之外，应具备适应改变的灵活性，这种易于改变的灵活性不应仅是一种技术上的可实现性，而且应提供一整套完整的工具和应用（当然是和 ERP 系统一体化的），不仅允许专业 IT 技术人员，也同样允许业务人员针对业务进行改变，例如采用新的销售模式等等而进行系统改变。

1.3 课题背景

课题研究和应用是以国家信息化工程为大前提，在江苏省“十五”攻关项目^[31]——“制造业企业信息化套装软件”的资助下，在苏州六六视觉科技股份有限公司的应用背景下，完成这一研究课题的。

1.4 论文研究内容及安排

本文从提出企业信息化的基本概念出发，对企业的经营环境、先进制造战略及其敏捷制造进行分析，研究国内外 ERP 的现状，面向机械行业的 ERP 系统，绪论还对本研究课题依据作了阐述，提出系统所要达到的目标，并对论文工作做了周密安排。

第 2 章研究 ERP 系统仿真建模技术。将在 CIMS 领域中所使用的建模技术用于 ERP 的研究之中，提出将企业参考模型开发成组件形式的，企业根据实际需要进行构建适合自己需要的 ERP 系统。

第 3 章在第 2 章建模技术的基础上，研究面向机械行业 ERP 系统框架，为系统的企业应用提供了基础。从分析业务流程出发，运用动态可重构的思想，给出了面向机械行业 ERP 系统框架。

第 4 章研究 ERP 系统与其它系统进行集成，在研究企业集成的基础上，重点研究 ERP 系统同 MES 集成，ERP 系统与 PDM 的集成、ERP 系统同电子商务的整合等。

第 5 章在理论研究的基础上，给出了应用实例。

第 6 章进行总结并对 ERP 系统的发展前景和技术发展方向进行展望。

第2章 ERP 系统仿真建模

ERP 是一种哲理，没有固定模式，而且随着环境和技术的发展而发展。从系统学的观点来看，ERP 系统是一种结构多变、随机因素多、开放式的系统，很难建立精确的数学模型。传统的设计、运行及维护技术难以确保系统高性能的要求。

ERP 系统集管理产品设计、制造、经营为一体的多层次的复杂系统，传统的设计主要依靠设计人员经验，难以实现企业的有效集成和企业的动态变化的要求，它要求首先对系统的全局有清楚地把握，系统仿真建模技术是支持 ERP 分析和设计的有效技术。

本章从企业模型的基本概念着手，在分析几种常用的建模方法的基础上，提出面向机械行业 ERP 系统的复合建模方法。

2.1 企业建模技术基本概念

2.1.1 企业模型

在具体的一个问题分析过程中建立什么样的模型完全由研究者根据研究的需要和是否方便来决定的。无论用什么方式进行抽象，模型一般总是用一种语言表示，这个语言可以是由构件（construct）组成的形式化语言。形式化语言最高的数学表示，形式化程度最低的是自然语言，中间程度的是符号语言、图形或框图语言、半形式化语言和形式化描述技术。

企业模型是人们为了了解企业而经过抽象得到的对于企业某个或者某些方面进行的描述。由于企业是非常复杂的系统，一般不可能用一个模型描述清楚，因此，企业模型的一个显著特点是通常由一组模型组成，每个子模型完成某个局部特性的描述，按照一定的约束关系和连接关系将所有的子模型组织在一起构成整个企业模型；企业模型的另外一个显著的特点是企业模型的多视图特性，需要采用多个视图从不同的侧面描述企业。每个视图从一个侧面描述企业的一部分特性，不同的视图之间相互补充，共同完成对企业的描述任务。

根据 Vernadat^[32]给出的定义，企业模型是一组特定目的地互补模型的一致的集合，这些特定模型描述了企业的某些用户特定需要的不同事实。

目前得到比较广泛认同的企业模型的组成部分包括产品模型、过程模型、功能模型、信息模型、组织模型、经济模型和决策模型。

2.1.2 现有企业建模方法

目前，对于离散性的企业，已经出现了若干种企业建模方法和工具。

欧共体的 21 家公司和大学组成的 ESPRIT-AMICE 组织，经过六年努力开发的 CIM 开放体系结构 CIM-OSA^[33~34]。其目的是提供一个面向 CIM 系统生命周期的、开放式的 CIM 参考体系结构，从多个层次和多个角度反映了 CIM 企业的建模、设计、实施、运行和维护等各个阶段，提供了 CIM 系统描述、实施方法和支持工具，并形成了一套形式化体系。CIM-OSA 由两部分组成：模型框架和集成基础结构^[35~37]。前者从不同企业角度、建模的不同层次和实施不同阶段出发给出 CIM 企业参考模型的结构以及实施 CIMS 的方法体系，从而对 CIM 企业的优化设计、建立和优化运行提供指导与支持；后者意在为 CIM 系统提供一组公共服务集合，实现企业信息集成、功能集成所需的基本处理和通讯功能，支持企业的建立、CIM 企业的设计、实施、运行与扩充、为 CIM 体系结构的实现提供基础支撑环境。

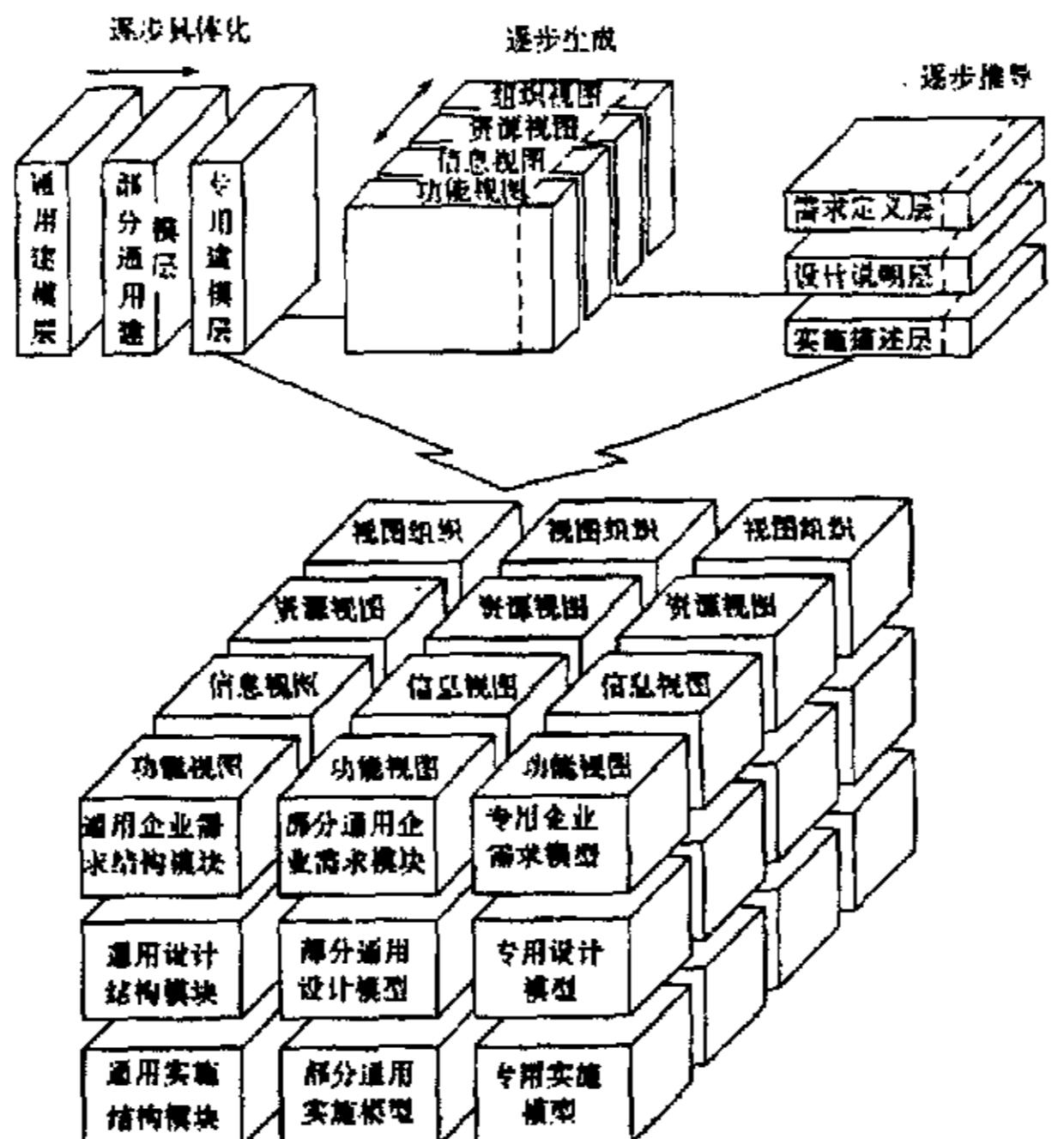


图 2.1 CIM-OSA 模型框架

20世纪70年代中期由法国波尔多第一大学 GRAI 实验室提出的一种用于描述与分析生产管理系统的方法，后来 GRAI 实验室将其发展成为一种描述和分析整个企业的方法论，称为 GIM (GRAI intergrated methodology)^[38~39]。GIM 方法论包括 GRAI 概念参考模型、GRAI 建模框架、GRAI 建模框架方法和 GRAI 结构化方法。

前述的 CIM-OSA、GRAI 体系结构，局限于离散型机械制造业，但若只取其框架形式就可避免其局限性。80 年代末期，美国普渡大学的实用工业控制实验室 Williams

教授^[40]，在长期对连续型工业生产（钢铁和造纸）实施 CIM 的实践基础上，提出了一套能同时适用于各种类型工业的 CIM 体系结构，称为 Purduc 企业参考体系结构（Purdue Enterprise Architecture，简称为 PERA）^[41]。在系统开发的生命周期方面，他提出了概念阶段、定义阶段、设计阶段（又分说明层和详细设计层两段）、构造与安装阶段、以及运行阶段等五个阶段；在系统分解方面，则概括为信息体系结构和制造体体系结构两大部分。进入说明层或实施视图后则看作信息系统体系结构、人和组织体系结构以及制造设备体系结构三部分。这里一个突出的特点是明确地阐明了人和组织因素的作用、划出的自动化范围线分清了人和机械、人和计算机之间的分工及其职责。在实践中，这样一种表示法更易于为不太懂计算机的企业经营管理人员所接受。

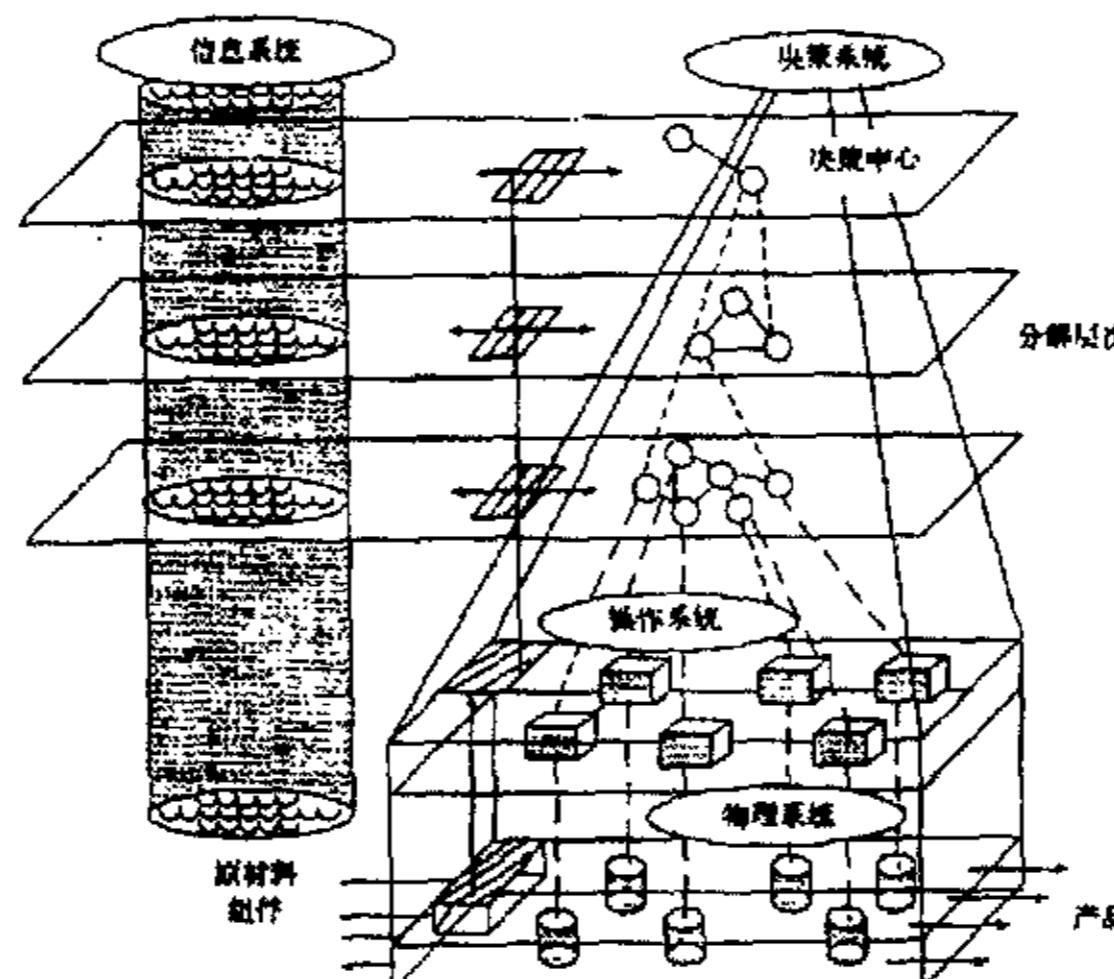


图 2.2 GRAI 概念参考模型

ARIS (Architecture of integrated information system) 是德国 Saarland 大学的 Scheer 教授^[42]提出的一种面向过程的模型结构。他提出了一个集成化的信息模型框架，在这个框架之中发展、优化集成应用系统，并转化为电子数据处理(EDP)技术实施。它以面向对象的方法描述企业的组织视图、数据视图、过程视图和资源视图，并通过控制视图来描述组织、数据、过程、资源四个视图之间的关系。面向企业信息系统实施的生命周期，它定义了需求定义、设计说明和实施描述三个阶段的内容。同时，它还说明了业务管理如何检验和分析信息系统，把信息系统的内容转化为 EDP 可利用的形式。

IDEF 方法^[43~45]是 20 世纪 70 年代末 80 年代初，美国空军 ICAM (Integrated computer aided manufacturing) 工程在结构化分析方法的基础上发展了一套系统分析和设计方法，它是 ICAM definition method 的缩写。此方法包括三部分。（1）IDEF0 方法：IDEF0 方法用来描述系统的功能活动及其相互联系。在 ICAM 中建立加工制造业的体系结构原型，其基本内容是 SADT (system analysis and design technology) 的功能模型方法。

(2) IDEF1 方法：IDEF1 方法用来描述系统中的数据及其相互联系，并建立信息模型作为数据库设计的依据。这是由 Hughes 飞机公司为主发展起来的。在 IDEF1 上发展了 IDEF1x，并于 1990 年被规定为美国联邦处理标准 (FIPS184)，成为国际上应用最为广泛的信息建模方法。(3) IDEF2 方法：用来进行系统模拟，通过建立动态模型，对系统的性能进行分析。但是 IDEF2 因为其它仿真软件（如 SLAM,SIMAN 等）CAM 中建立加工制造业的体系结构原型。(4) IDEF3：用于业务流程的描述。(5) IDEF4：用于面向对象模型。(4) IDEF5：用于概念本体的描述。

除了上述的企业模型及其方法学外，还有其它各种模型和方法，如表 2.1 所示。

表 2.1 各种模型和方法

简 写	描 述
ARIS	Architecture of Integrated Information Systems
CAPM	Computer Aided Production Management (University of Nottingham)
CARNO T	Part of Enterprise Integration Program at MC C
CPDEP	Chevron Project Development and Execution Process
CIM-Alive	ESPRIT project to Identify Reuseable CIM Concepts
CIM-BIOSYS	CIM Building Integrated Open SYStems from MSI
CIMSIM	ESPRIT Project for Economic and Technical Evaluation of CIM Solutions
CIMOSA	CIM Open System Architecture developed by AMICE (European Standard)
COPICS	Communications Oriented Production Information and Control System (IBM)
EIP	Enterprise Integration Program - also called ManTech (USAF)
ESTELLE	Language used to establish Integrating Infrastructure Design
EXPRESS	Information Modelling Language Used with STEP [ISO 10303]
GRAI-GIM	GRAI Integrated Methodology
IDEM	Integrated DEsign and Modelling (Loughborough University)
IDEF	IDEF 0- Function Modelling
Structured Systems Analysis Diagram	IDEF 1X - Data Modelling IDEF 3 - Process Modelling IDEF 4 - Object Oriented Design IDEF 5 - Ontology Description
IEM	Integrated Enterprise Modelling
MICIM	Methodology for Introduction of CIM
MMCS	Manufacturing Mangement Control System (Shop & Cell Planning)
MOSES	Model Oriented Simultaneous Engineering System
OOMIS	Object-Oriented modelling methology for Manufacturing Information Systems
PAC	Production Activity Control Model
PSL/PSA	Problem Statement Language / Problem Statement Analyzer
PWAF	Plant With A Future (Caterpillar)
SEW-OSA	System Engineering Workbench centered on CIM Open System Architecture
SSADM	Structured Systems Analysis and Design Method
TOVE	TOronto Virtual Enterprise (University of Toronto Enterprise Integration Lab)

2.2 面向行业的 ERP 建模方法

由于 ERP 及其系统的复杂性，要正确地进行设计、分析和实施，所需要考虑的问题及需要采用的方法是多种多样的。

本文将 ERP 设计、分析和实施所需的一组方法的集合 ERP 方法论。更具体地说，

方法论包含三个组成部分：(1)参考模型，(2)建模方法，(3)实施方法。

2.2.1 行业参考模型

(一) 模型层次结构 (Model Hierarchical Architecture, MHA)

企业的模型根据所在行业与地区环境的不同而不同，但是凡是企业总有一定的共性，ERP 的模型就是要构建在企业模型之上。

一个典型的企业模型一般包含业务、组织。具体的包含一个企业的结构模型、几个业务模型、一个数据模型。其中对于业务模型，其包括：业务控制模型、业务功能模型、业务工作流模型（过程模型）和业务组织模型。如图 2.3 所示：

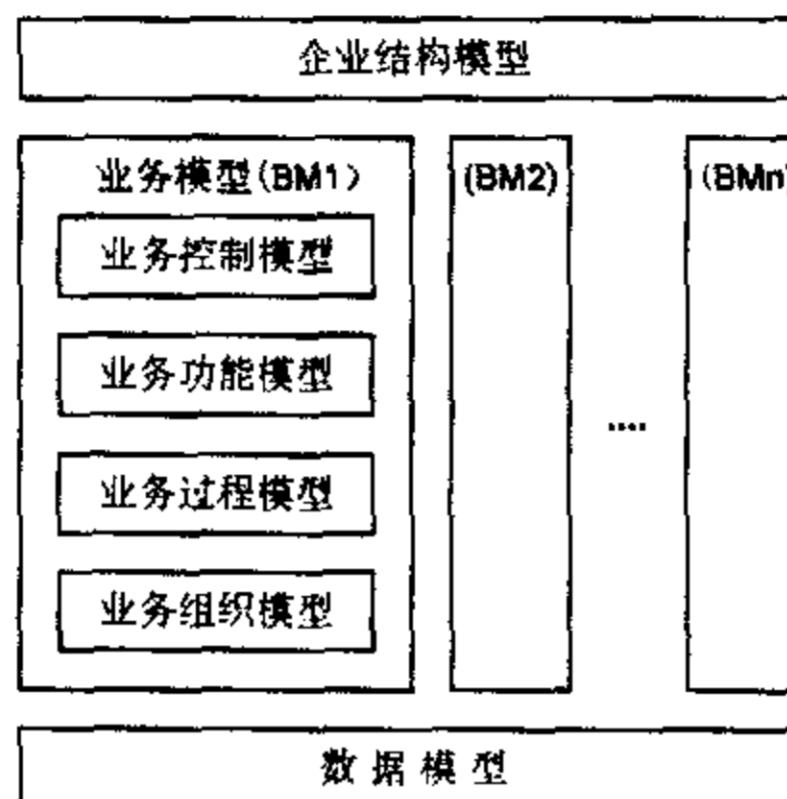


图 2.3 典型企业模型层次结构图

模型各层次的具体功能及作用如下：

(1) 企业结构模型：描述了一个具有多个工作地点环境的企业（集团）的地理位置分布，它可作为创建和整体浏览企业模型的基础，并可作为以后企业模型在多个物理地址进行安装的依据。

(2) 业务模型：代表了企业在某一领域上的业务。业务模型中一个重要的元素是业务控制模型，它描述了业务功能如何控制企业的业务流。

(a) 业务控制模型：用来对基本业务过程进行可视化建模，并使用业务控制功能对相关的业务进行控制。

(b) 业务工作流模型（过程模型）：它描述业务功能如何由软件系统提供的工作流程来进行定义，DEM 主要提供了一个预定义流程库供用户使用。这些流程定义向用户展示 ERP 系统用什么流程实现业务中的什么功能。另外，还包含一些为生成企业最终用户环境所需的流程。对于特殊化需求经单独设计之后也可以加入流程库中。为了完成这些，每个工作流模型中至少包括以下几种不同的元素：基本流程（如物资源、信息流、资金流等基本过程）、基本活动（基本流程中的基本活动代表了如原材料的入库、最终产品装配及最终产品的发送等）、触发器等。

(c) 业务功能模型：描述了企业要实现应用目标所需的功能。这是流程选择和重新设置的起点。它包含一个过去的最优实施经验和各种业务模式的知识库，为企业管理人员和有关顾问在定义系统实现的规模及方式阶段提供指导性支持，用户在这里选择自己需要的功能模型。对于知识库中没有的特殊化需求应单独提出并定义。这是系统实施的第一步。

(d) 业务组织模型：是用分块、业务单元及部门等概念来描述企业的组织机构；区分组织中的各种角色；描述部门之间的关系。

(3) 数据模型：描述每个企业模型物理上和逻辑上的数据模型信息。代表了企业应用中使用的数据结构。

(二) 模型之间的关系

上面给出了企业模型的层次结构，那么层次结构中各模型的关系，本文将从两个方面来描述：

图 2.4 模型之间的关系给出了组成企业的结构模型/业务模型之间的关系。企业结构模型包括企业结构单元。一个企业结构单元可连接到业务控制图中。一个业务过程可通过转化规则将它联系到多个业务过程中。另外，业务包含了能够联系到具体任务的多个活动。

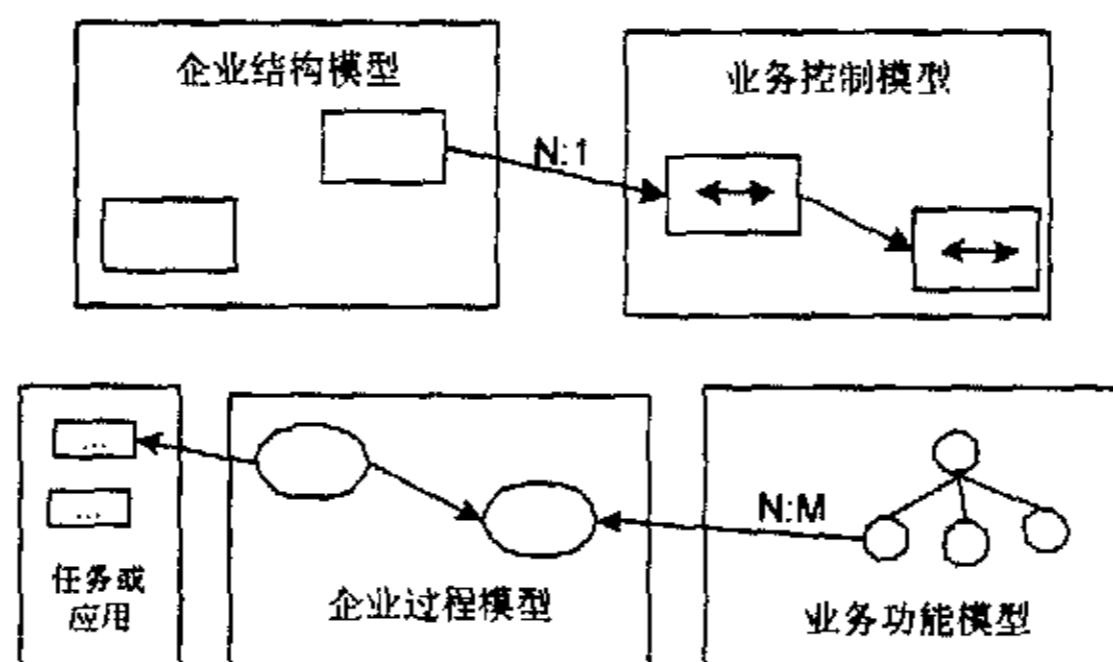


图 2.4 模型之间的关系

(三) 行业参考模型

行业参考模型是在总结各个不同行业的业务流程、功能等部分的基础上，提出较为优化的行业参考模型。例如 SAP 用被视作 R/3 参考模型的“蓝图”的形式，将 25 年来许多不同行业的最佳实践应用包装到一起。参考模型即 SAP 的业务蓝图，能够引导公司从工程的初始监督，包括评估分析进入到最后的完成阶段^[46]。

行业参考模型的建模目的和功能：

- (1) 针对行业和特定流程建立的用来管理、控制、执行企业业务过程的通用模型。
- (2) 提供了方法来指导何时、何地及如何来使用参考模型中定义的企业应用元素。
- (3) 建立企业敏捷重组的基础和工具，可更好地为实施先进的企业管理战略服务。

图 2.5 给出了行业参考模型。行业参考模型是参考模型的主体部分，在这一层上，参考模型根据不同的分类原则进行组织，以指导行业参考模型的建立方比那用户对参考模型的理解、选取和应用。

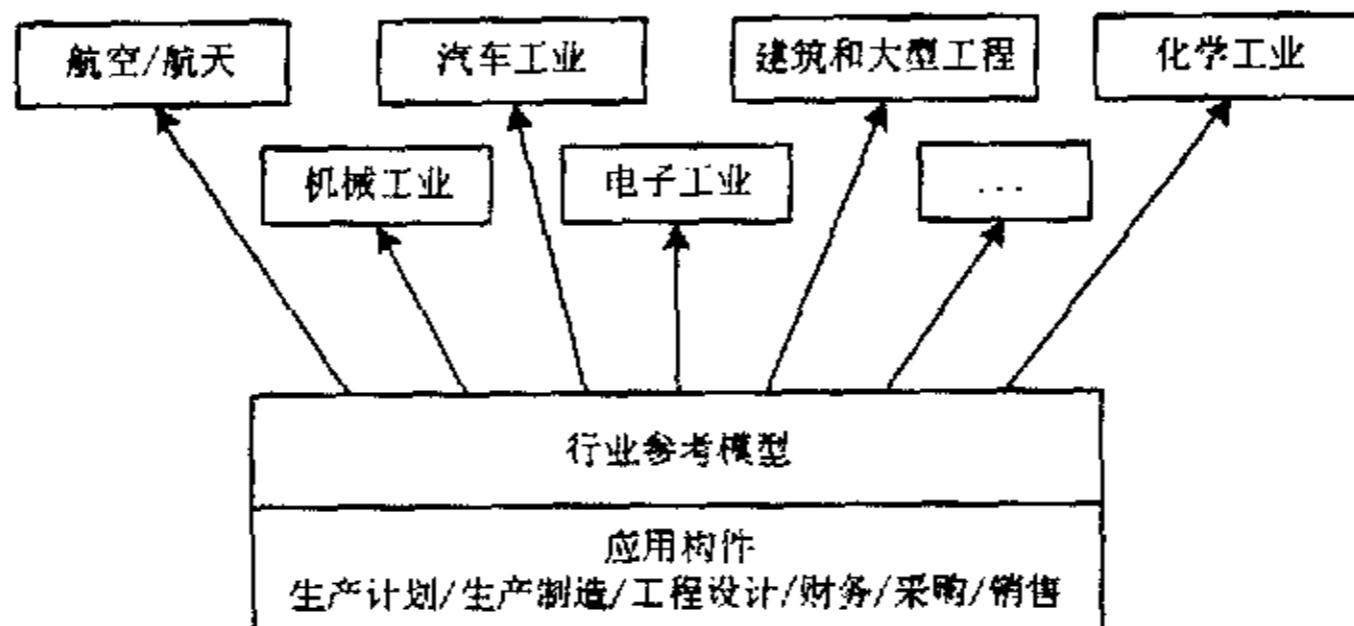


图 2.5 行业参考模型

在行业参考模型层，参考模型的分类主要参考下列原则：

- (1) 根据工业部门的分类 参考模型根据一般工业部门的分类进行组织，如航空、航天、机械、汽车、电子、建筑、化工、医疗器械、船舶等工业部门的参考模型。
- (2) 根据企业的规模 在按工业部门分类的基础上，在根据各工业部门中不同企业规模进行分类。企业规模的不同将影响到企业经营管理方式和制造模式，企业的结构也将有所不同，从而企业的参考模型以及最终的企业应用模型也是不同的。如汽车工业中的大型企业、中型企业、小型企业的参考模型。
- (3) 根据产品类型的分类 在部门分类和企业规模分类的基础上，根据企业的产品类型进行更加细致的分类。如大型汽车制造中的汽车发动机，汽车仪表，汽车车身，汽车总装等参考模型。
- (4) 根据企业经营模式的分类 企业经营模式的不同同样会反映在参考模型上。如汽车制造业，生产普通商务用车和家庭用轿车一般是大规模生产类型的生产模式，而专用车（运钞车，救护车、消防车）、汽车改装等一般按照订单生产。

层次模型中的各个模型和企业参考模型可以为企业提供良好的实施动态的信息系统和经营过程重组的基础和支持，以满足企业对敏捷性的要求，包括：(1) 支持业务流程的分析和持续改进；(2) 提供对业务流程的建模与分析功能，包括分析业务需求以及平衡行业的业务；(3) 实现对企业的动态过程管理（即工作流的管理）；(4) 提供对 ERP 实施方案的验证方法；(5) 完成对信息技术的需求确认和信息技术解决方案到实际应用系统的映射。

2.2.2 模型构件一建模方法

支持产品异地设计制造，实现信息资源的共享与集成，信息资源必须模块化，按不同的粒度构造信息资源模块，作为支持企业产品设计制造提供的各种服务构件，即

建立企业信息资源的构件化模型，所谓企业信息资源的构件化，也就是说，需要按信息资源提供的相关功能和应用系统实际状况确定构件化粒度，可分别划分为组件、构件、功能体、自主体（智能代理）等模块。这里：

组件，即是针对某一特定问题，构建具有相应功能的便于使用、维护的软件基本单元。它表现了软件基本单元的原子性。

构件，即是针对某类特定问题的解决，提供组件集成的软件架构。

功能体，由组件、构件组成的具有某方面功能的应用软件实体。

自主体（智能代理）即 Software Agent，一种能体现智力状态，由组件、构件组成的实体。智能代理具有方法（行为、过程等）、属性、语言、推理机制和私有知识库（事实与规则）。通常它具有自治性、开放性、以及适应环境并与环境交互的能力。

在这里将引入模型构件的概念，构件是指构成一个对象乃至一个系统的基本单元，它以组件为基础，在计算机领域，它成为可重用软件快速开发和改进的主流技术之一。

在 ERP 中引入企业层次模型并提出模型构件的概念，主要基于下面的三个原因：

(1) 由构件体现出的可重用思想正符合快速、有效建模方法的需要；(2) 构件能够封装复杂性、简化接口的特点，可用来简化企业建模过程。(3) 通过软件复用，在系统开发中可以充分地利用已有的开发成果，消除包括分析、设计、编码、测试等在内的许多重复劳动，从而提高了软件开发的效率，同时复用高质量的已有开发成果，避免了重新开发可能引入的错误，从而提高了软件的质量^[47~50]。

(一) 模型层次结构对企业的划分

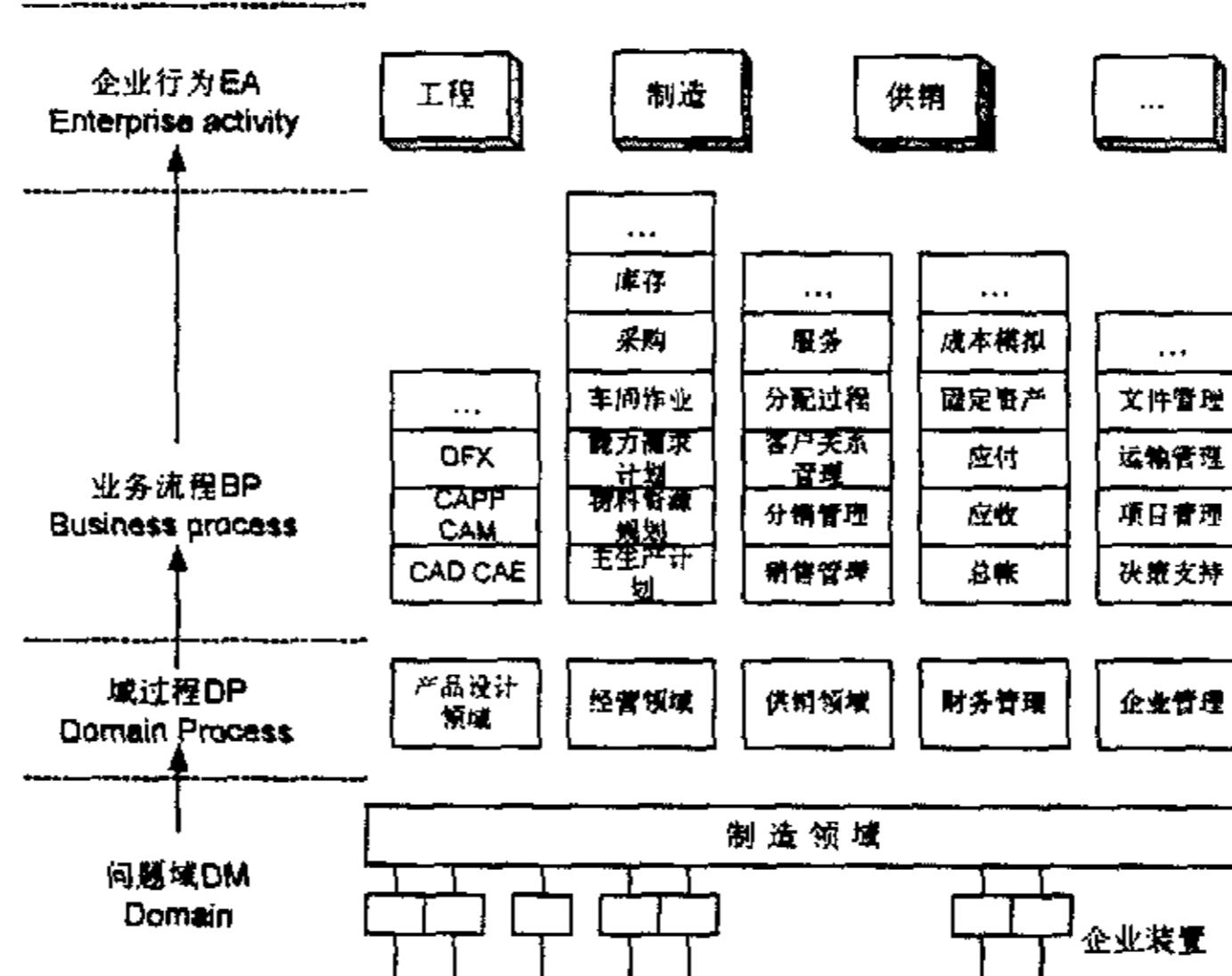


图 2.6 企业行为的层次划分

根据 MHA（模型层次结构）的划分，可对企业的行为划分为若干层次，如图 2.6

所示。企业的行为差异主要发生在业务流程层次上，因此可以把模型构件（Model construct, MC）定位于 BP 层。模型构件的基本结构如图 2.7。

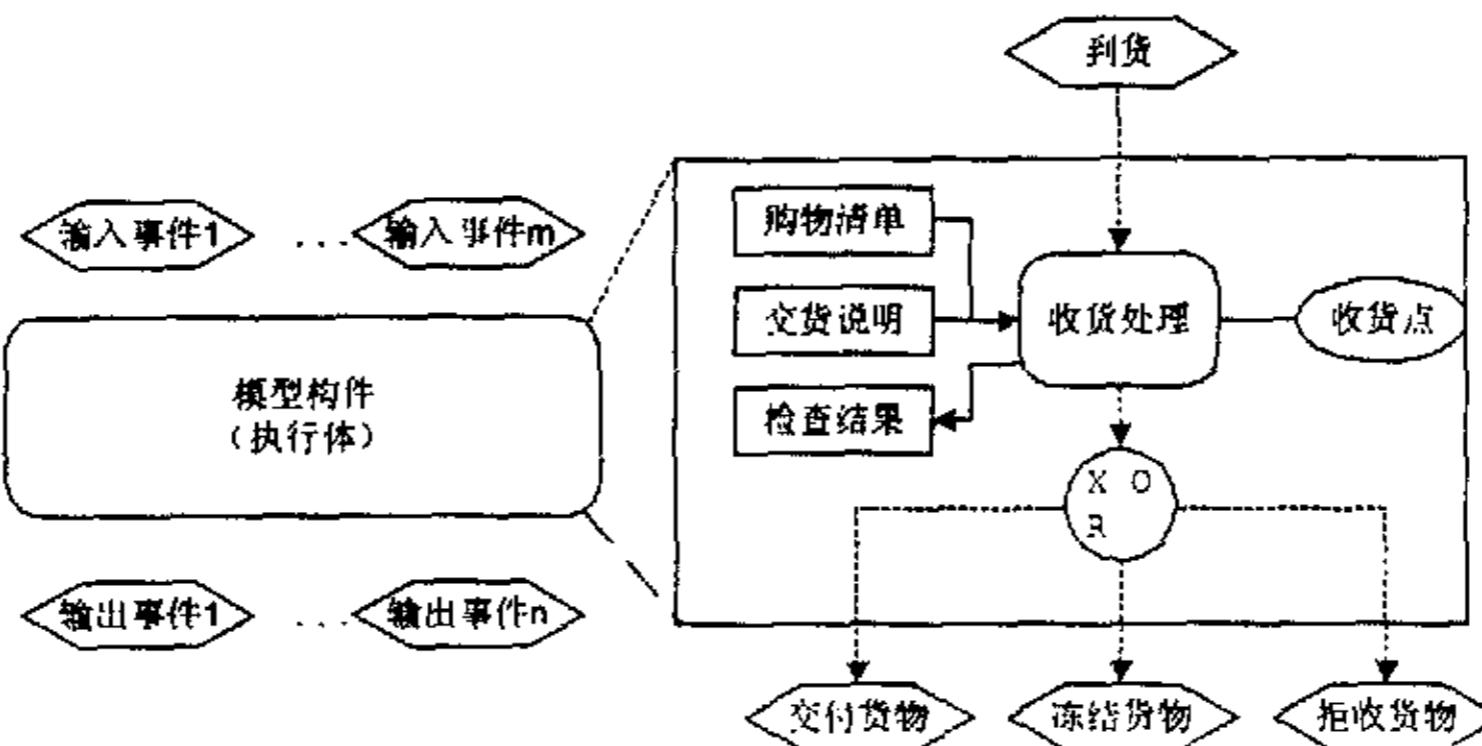


图 2.7 模型构件的构成和模型构件的实例

$$\text{模型构件} = \text{执行体} + \text{接口}$$

执行体，每个模型构件内部封装了由若干个企业行为及其关系构成的执行体，模型构件的执行体可用一个事件驱动过程链 (EPC-Event-driven Process Chain)^[46]来描述。

表 2.2 EPC 方法

过程链	问题	答案 (以收货流程为例)
事件	什么时候应该做某件事	收到货物 (到货)
过程功能	应该做什么事	收货处理
组织	应该谁来做	收货点
信息	需要什么信息来做这件事	购物清单, 交货说明

在一个 EPC 模型中，基本的行为用过程功能 (F) 表示，F 之间通过事件 (E) 构成联系，每个 F 一方面需由特定的组织单元 (O) 来完成；另一方面往往需要产生必要的输入/输出数据信息 (D)，所以 MC 的内部元素共分三类：①功能元素（如 F）；②组织元素（如 O）；③信息元素（如 E、D）。

接口 模型构件之间由统一的事件作为接口，接口事件又分为一组输入事件 (IE) 和一组输出事件 (OE) 两类。接口 = {输入事件集 (IE)} ∪ {输出事件集 (OE)}

输入事件触发 MC 的执行，输出事件由某个 MC 产生，并触发其它 MC 的执行。在 MC 内部，输入事件表现为只有下连的功能元素，而无上连功能元素，输出事件表现为只有上连功能元素，而无下连功能元素。

(二) 模型构件的划分与集成

MC 的划分，必须遵循五个基本原则：

- 原则 1：从构件概念出发，符合内部紧耦合、外部松耦合；
- 原则 2：遵循 MHA (模型层次结构) 的企业行为划分框架；
- 原则 3：充分体现特定行业企业特点，即 MC 只能作为行业参考模型的基本单元；

原则 4：每个构件是一个较为完整、典型的企业过程

原则 5：构件所表示的企业过程的大小应适中，既不过分复杂，也不过分简单，一般每个 MC 所包含的功能元素的个数以 2~10 个为宜。

依据上述构件划分原则，对机械制造行业单件生产方式型企业进行了重点调研与分析，并在此基础上给出了该类企业的模型构件的划分方案。如表 2.3 所示。

表 2.3 机械制造业企业的模型构件

域(DM)	域过程(DP)	模型构件(MC)	域(DM)	域过程(DP)	模型构件(MC)
工程设计	技术管理	市场调研	经营、销售、发运	决策管理	产品研发计划审批
		新品设计组织			企业销售决策审批
		工艺规程制定组织			年度生产计划审批
		软件编程组织			月度生产计划审批
		设计方案审核		业务管理	主生产计划
		工艺方案审核			物料需求计划
	产品设计	设计图纸管理			能力需求计划
		产品估料			销售管理
		外购外协明细			采购管理
		标件明细表编制			外协管理
计划与生产	工艺设计	工艺明细表编制		技术服务	安装服务
		工装明细表编制			修缮服务
		工、量、刃具明细表编制		经营销售	制定项目计划
	工装设计	工装设计			招投标
		工装任务书编制			总帐
	生产计划	编制生产计划大纲		财务管理	应收
		修改生产计划大纲			应付
		编制生产作业计划纲			现金
	车间生产	外协生产			固定资产
		生产准备			税务
		产品生产		采购供应	采购计划
		报交入库			采购货物
					库存管理
				质量保证	质量分析、评价控制
					用户质量反馈处理
					总体试验

MC 的集成是基于 MC 的企业建模方法的基本操作。其集成方法有：

(1) 事件聚合。当不同构件的输入、输出事件为同一事件时，可聚合为一个事件，将此二构件相联接；

(2) 一步功能聚合。构件之间通过一步功能相集成，其中上游构件的输出事件是该功能的输入，下游构件的输入事件是该功能的输出事件；

(3) 多步功能聚合。构件之间通过多步功能相集成，其中上游构件的输出事件是起始功能的输入，下游构件的输入事件是结束功能的输出。

2.2.3 具体构造过程

实施方法包括概念模型构造过程和实施模型构造过程。

参考图 2.1, CIM-OSA 模型框架, 由视图维和通用性维构成的平面是受系统建模支持人员关注的概念模型构造过程, 如图 2.8(a)所示。视图维从不同角度描述了同一个企业对象。通用性维则定义了三种不同的层次。从基本企业模型构件库到行业化企业参考模型, 再到特殊企业个体模型, 通用性渐减而针对性渐强。沿着通用性维存在着两种过程方向: 一是从基本企业模型构件库出发逐渐具体化, 生成具体企业对象的企业模型的过程, 此为模型实例化过程; 二是从大量具体企业对象模型中逐步提炼, 产生通用性的企业模型构件库, 这是生成参考模型或基本模型构件库的过程。

由视图维和生命周期维构成的平面是实施模型的构造过程, 如图 2.8(b)所示。这里也存在两种过程方向: 一是与生命周期方向一致的正向工程, 一是与生命周期方向相反的反向工程。对于从无到有的开发新系统, 只需正向工程即可, 对于旧系统的改造或更新, 则往往先经过反向工程后再进行正向工程。

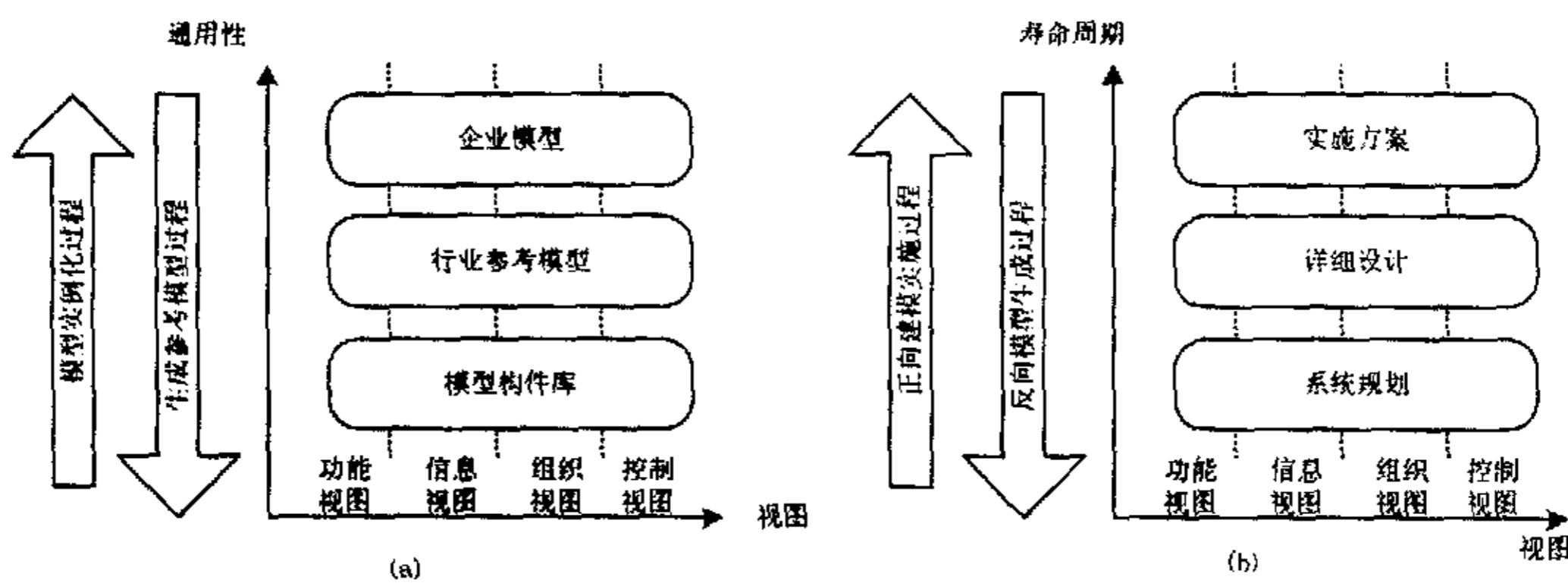


图 2.8 概念模型构造过程(a)和实施模型构造过程(b)

为了满足企业的敏捷性和动态变化的要求, 需参考行业化企业参考模型, 对其模型构件进行客户化定制, 最后根据特定企业的需求进行系统设计和开发实施。如图 2.9。

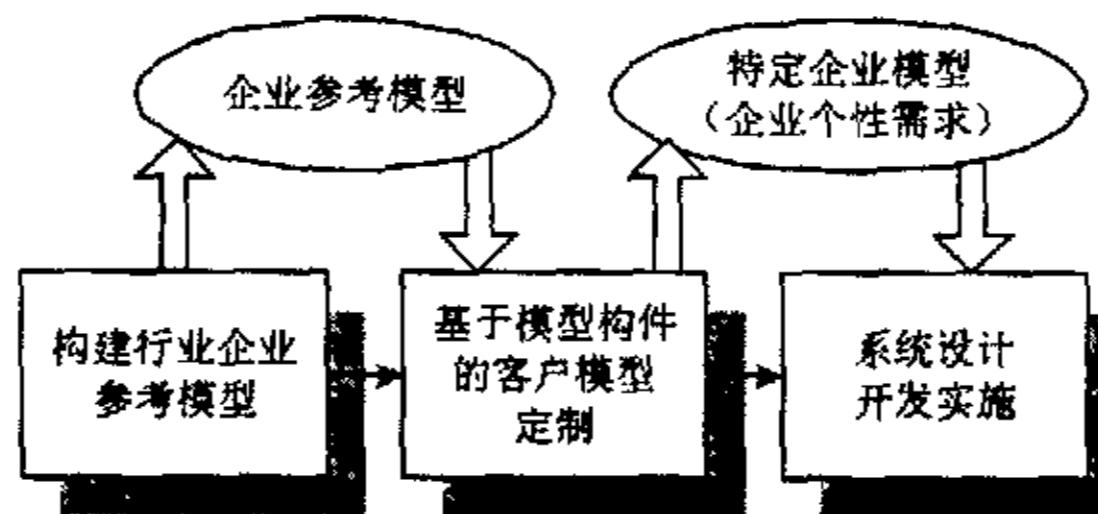


图 2.9 基于模型构件的企业建模过程

通过对企业的组织结构、运行方式进行深入的调研, 对于相同行业的同类企业, 其企业模型体系具有极大的相似性, 仅在参数、属性上有差别, 而其模型结构却基本一致。因此, 参照同行业其它企业的模型体系, 就能够快速形成本企业模型体系的框

架结构，以此为起点加以必要修改与补充，即可完成建模。

在这个过程中，关键是行业化企业参考模型(Enterprise Reference Model ,ERM)，该模型应具备以下特点：(1)能够反映相应行业的行业特征；(2)尽可能覆盖本行业运行中可能发生的各种行为；(3)以 MC 为模型单元，支持 MC 建模；(4)模型表达规范、准确。

ERM 的建立通过图 2.8 (a)生成参考模型过程，(b) 反向模型生成过程两个步骤完成：

(1) 通过对多个同行业企业的反向建模，得到一组同类企业的不同企业模型体系 EM_1, EM_2, \dots, EM_n ；

(2) 综合 EM_i ($i = 1, 2, \dots, n$)，并加以规范化和准确性检验，建立该行业的 ERM。上述过程并非一次完成，而是需要在应用中不断加以检验、修正和补充。

2.3 本章小结

本章着重论述了 ERP 系统中的仿真建模方法论，作者研究了企业建模技术基本概念、模型的分类、企业模型的基本概念、现有企业模型及其方法学。本章主要贡献：

(1) 从模型的基本概念和建立模型的要求出发，描述了包括产品模型、过程模型、功能模型、信息模型、组织模型、经济模型和决策模型等组成部分的企业模型的概念；

(2) 回顾了现有企业模型及其方法学，为建立 ERP 的模型作借鉴。

(3) 根据企业的业务特点，建立了企业模型层次结构 (MHA)，在总结各个不同行业业务流程、功能的基础上，提出了较为优化的行业参考模型 (ERM:Enterprise Reference Model)。

(4) 提出了以模型构件为基础的建模方法，符合快速、有效的建模方法，能够达到可重用软件复用，并以机械制造行业为例对构件进行了科学的划分。

(5) 作者参考 CIM-OSA 模型框架，对概念模型构造过程和实施模型构造过程进行了研究，提出了正反两个方向的模型实例化过程和生成参考模型的过程。

这一章为构建面向机械行业的 ERP 系统框架提供了理论基础。

第3章 面向机械行业 ERP 系统框架

本章借鉴企业动态建模技术，利用第 2 章的仿真建模方法，利用规则和方法进行企业业务流程的优化，阐述了企业的经营对象与过程构件，从软件工程的角度，提出经营对象层次结构，在保证基本对象的精细粒度的前提下，将企业的经营逻辑以可配置形式封装在组件内部，构建了行业 ERP 的整个框架。最后给出行业 ERP 的基本组件及其构件的具体功能实现。

3.1 机械行业 ERP 基础—动态企业建模

在第 2 章根据 CIM-OSA 模型框架，从正向建模实施过程和反向模型生成过程中进行企业模型的建立和实施，这两个方向需要不停反复进行，在企业的不断发展中动态进行，只有这样建立在动态模型基础上的企业系统(Enterprise System)才具有生命力，不停地为企业服务。

(1) 静态 ERP 和动态 ERP

一个 ERP 系统要经历现场调查、需求分析、提出系统建议方案、进行系统功能裁剪以及相当大的程序修改工作之后，才能成为一个适合特定企业业务模型的应用系统。这对那些业务经营模式一成不变的企业是可以满足其需要的。

传统的静态 ERP 系统建立在预先定义的企业组织和业务模型基础上，手工地将模型转化为产品应用程序配置，需要重新配置的许多参数，实施周期长。其结果是：随着时间的变迁，按照旧的业务模式来定义的静态系统往往不再适应新的业务需求。

但事实上，许多现代企业为了适应市场、组织结构以及技术的不断变化，被迫重新评估和调整其业务处理结构。变化的市场、客户对产品越来越多的个性化的要求和为客户提供高质量的服务，要求现代企业具有较高的柔性以适应市场动态的变化，如果不能迅速灵活地改变业务模型，企业就不能准确把握商机做出及时应变。这对企业来说显然是可怕的，传统的静态 ERP 系统已经无法满足这样的要求。现代的 ERP 系统必须满足下列条件：1)支持企业组织重构和业务过程重组；2)面向企业业务流程；3)基于众多成功企业管理实践的总结和提炼；4)支持不断变化的业务流程和业务流程的持续改进。

为了克服这种静态 ERP 系统的不足，人们开始将目光转向在支持 WEB 的开放技术环境中以动态业务流程为目标的可重构的动态 ERP 系统(Dynamic-ERP)的研究。这种动态 ERP 系统的建模功能具有内在的动态能力，从现存业务流程建模和支持企业业

务流程的连续改进这两方面充分显示了其“以变应变”的优势。

动态 ERP 系统具有如下特点：1)一个不断丰富改进的业务模型库。2)完全能够适应业务流程的变化，包括逻辑流程上的改动以及技术实现上的改进。3)生成一个客户化的系统运行环境，客户无须手工设置任何系统参数、改变代码或定义用户界面。

动态 ERP 对动态企业建模的实现，使得企业管理者、业务分析人员和系统实施人员可以将注意力集中于一系列高层管理职能、最优业务实践和流程，而不是复杂的应用软件调试或没完没了的产品细节配置。

动态 ERP 系统应该是业务流程驱动的。它面向流程（process），建立在优化业务活动（business actions）的基础上，具有适应业务改变而相应改变业务模型的能力。行业 ERP 是在动态 ERP 基础上建立起来的面向敏捷制造、更加适合于敏捷供应链、易于为动态企业联盟所采用的 ERP 系统。

(2) 动态企业建模

动态企业模型包含一个不断改变的业务模型（新的、再结构化的、分时间段的）；它能完整地重新生成和连接基本业务模型。这些模型包含应用生产流程和改进的工艺；动态企业模型使得 ERP 软件的系统管理、业务分析以及系统实施的注意力均可放在提高功能、优化活动和流程上，而不再放在具体的软件细节和繁杂的结构化数据上^[51]。

ERP 体现了动态企业建模(Dynamic EnterPrise Modeling，简称 DEM)的管理理念与软件实现。而动态企业建模是建立在前一章所述的模型层次结构上，其动态企业模型是由企业组织结构模型、业务过程模型、业务功能模型、业务控制模型、企业数据模型组成。

利用针对行业的参考模型的思想作为建立新模型的起点，那么实际实施过程中的建模工作更加敏捷。

(3) 行业 ERP 的基础服务平台

根据第 2 章模型构件的建模方法和软件工程的思想，提出了图 3.1 行业 ERP 的基础服务平台。

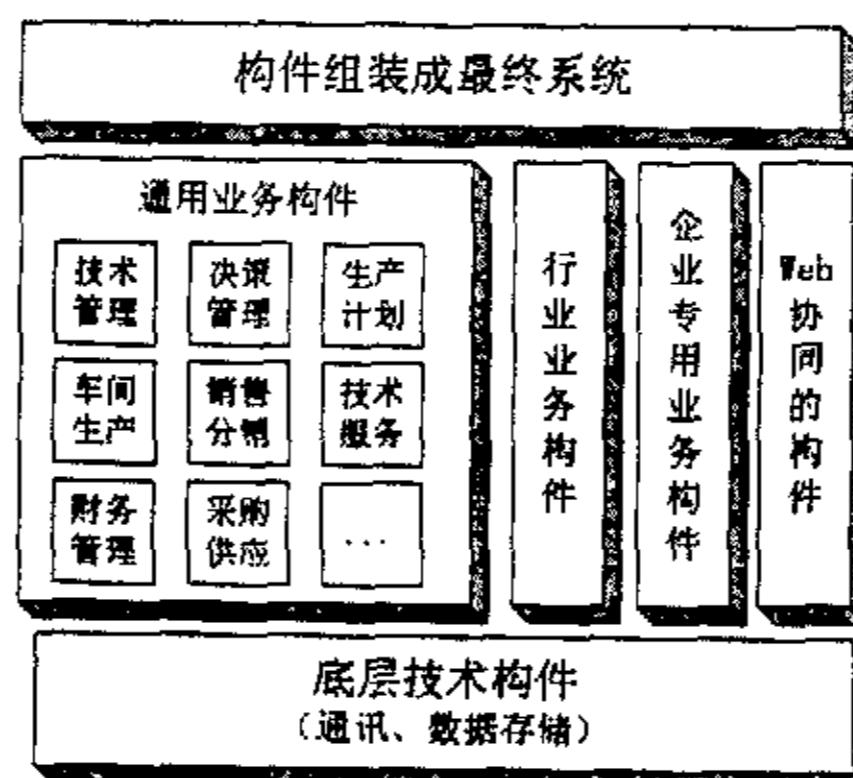


图 3.1 行业 ERP 的基础服务平台

该平台包括企业的通用业务构件（技术管理、决策管理、生产计划、车间生产、销售分销、技术服务、财务管理、采购供应、质量保证、人力资源等构件）、行业业务构件（机械行业、化工行业、电子行业、轻纺服装等各行各业）、企业专用业务构件（如医疗器械行业的器件的临床业务、特殊的审批业务）、Web 协同构件（利用网络技术，在行业内实现资源的利用与共享，组织协调各种生产、经营和管理行为），可以跨越制造、零售、物流、酒店、外贸多种行业。平台利用构件化技术提供的企业动态建模，跨环境运行，跨行业解决方案。能够解决企业的动态维护问题，这是保证 ERP 系统随企业需求变化而成长的关键，降低系统维护成本，缩短系统调整时间，提高了软件的复用程度。

基础服务平台可以满足行业 ERP 的下列三点要求：

速度要求：通过使用预定义的业务模型及先进的工具把 BPR 的实现周期尽可能缩短；

敏捷性要求：要以节省时间和费用的配置过程，满足组织机构及业务流程的各种变化，提供可定制的业务流程模型，使企业能比较容易地定义和生成系统以实现业务策略，应能方便地定义工作流；

集成性要求：与其它信息系统紧密集成，同时要为与办公自动化及其它企业应用提供集成的可能。在多数情况下这是一种异构环境（Heterogeneous Environment）下的集成。

通过专用工具把企业的业务工作流程在标准企业参考模型基础上，进行业务流程的映射，灵活地组合成适应企业的管理信息系统，打破“企业必须适应软件”的传统模式。

3.2 基于经营知识规则的业务过程优化

在进行设计业务构件之前，首先要对业务流程要进行优化和集成，之所以要首先进行这个过程，旨在将不必要的活动和不增值的活动进行删除，将某些活动进行合并，从而减少活动的数目，业务过程的优化是通过活动的集成来达到的，如果过程不先进行简化就集成，最终的结果必然是在过程中存在有大量的不必要的操作，过程的改变容易限于把现有的手工过程变为计算机化而已，不能充分发挥信息技术的能力。而且如果部进行分析和优化，在一个企业中的业务流程构件或基本的组件将无法穷尽，必须采取删除、合并、替换等方法来对业务流程来进行优化。

3.2.1 业务流程的定义

所谓业务流程是指为完成企业某一目标(或任务)而进行的一系列逻辑相关的跨越

时间和空间的活动的有序的集合。其形式化表达形式为 $Y = f_r(X)$ 或 $Y = T_r X$ 。业务流程的简化和集成可以通过业务流程的管理规则 T_r 、 X 与 Y 之间的输入输出之间的关系和利用数学模型改变活动与活动之间的结构关系来得到。上述的形式化表达形式同样可以用下面所定义的 Petri 网来描述，从基于信息流的简化、基于经营知识和管理思想的简化和基于信息技术的集成来研究业务流程优化的各种规则。

3.2.2 业务流程的优化

(一) 动态系统的 Petri 网模型

80 年代中后期以来，Petri 网(Petri Net)理论越来越多地被用于自动化制造系统的建模^[52~53]。Petri 网可以被看作是一种图论工具，它适于对离散事件动态系统(DEDD)、如通信网络系统、计算机系统、机械制造系统等进行建模和分析。

一个动态系统的 Petri 网模型主要包含两部分：

- 1) 网结构，即一个赋权值的，由两部分组成的有向图，它表示系统的静态部分；
- 2) 标记(Marking)，表示系统的总的分布状态。

对一个离散事件动态系统建模，需要考虑系统的状态及状态转移。一个 Petri 网正是包含了两种集合，一个为位(Place)，一个为转移(Transition)，位和转移分别以圆圈和短直线段表示，位与转移之间以加权流动关系(weighted Flow Relation)联系。

Petri 网定义：

定义 1 一个 Petri 网是一个 4 元组 (P, T, F, W) 其中

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 是位的集合；

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ 是转移的集合；

$P \cup T \neq \emptyset; P \cap T = \emptyset$ ，即位和转移是分离的集合；

$F \subset (P \times T) \cup (T \times P)$ 为流动关系(有向弧的集合)；

W ：表示弧的权。

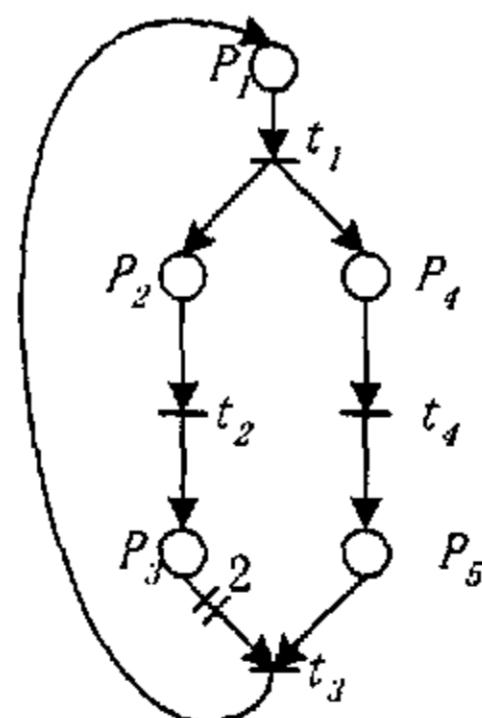


图 3.2 一个简单的 Petri 网

如图 3.2 中所示的 p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 代表位， t_1, t_2, t_3, t_4 表示转移，弧的权可以表示诸如顾客或零件的个数。因此权值为正整数。对于某一个位而言，零件或顾客在某一时刻，

如不以成批的方式到达或被服务，则弧的权自然为 1。实际中绝大多数情况如此。因此约定未标记的弧，其权值均为 1。如图 3.2 所示的除了弧(p_3, t_3)的权值为 2 外，其余均为 1。

如果一个弧连接 t_j 与 p_i 且指向 p_i ，则位 p_i 是 t_j 的一个输出；若指向 t_j ，则位 p_i 为 t_j 的一个输入。如图 3.2 中所示的 p_3, p_5 是 t_3 的输入， p_2, p_4 是 t_1 的输出位。

(二) 业务流程 Petri 网模型的基本要素与方法

企业的经营过程是由各种业务流程组成的，而每个业务流程是由一系列活动组成的，而活动又与资源联系在一起。生产经营中的活动主要包括物流活动和信息流活动。物流活动的例子，如物料输送、零件加工、零件装配等。信息流活动的例子，如数控程序传送、生产计划发送、质量信息采集、质量信息统计等。与活动联系在一起的资源包括原材料、机器、人员等，资源是活动的主体或受体。

构成一个 Petri 网的基本要素有 3 个，即位、转移和令牌（Token）。此 3 要素一般用下面的方法与业务流程联系在一起：

- 1) 一个位代表一个资源状态或操作。代表资源时，则初始令牌数可能是恒定的，如机器数；也可能是变量，如工件数、托板数，
- 2) 一个位代表一个资源状态时，位中的一个或多个令牌表示资源可被提供，无令牌则表明资源没有。
- 3) 一个位代表一个操作时，位中有令牌说明操作正在被执行，否则，操作在当前未被执行。
- 4) 一个转移代表一个事件或一个活动或一个操作过程的开始或者完成。

建立业务流程的 Petri 网模型时，关键就是确定位和转移。建立业务流程 Petri 网模型的基本方法和步骤如下：

- 1) 对于某一业务流程列出所需的资源与活动(仅为所关心的，一定列出所有资源，如操作者就有被列出的)。
- 2) 按先后关系对活动进行排序。
- 3) 对于一个活动
 - ① 或以位表示其状态，位的输入转移一般是开始其活动，而输出转移往往是停止其活动。同时某一活动的停止往往是另一活动的开始，也就是说某一个位的输出转移，往往是另一个位的输入转移，位中令牌表示该位所代表的活动正在发生。
 - ② 或以转移表示，这时活动被视为一个事件。
- 4) 对于表示某一活动开始的转移，在该活动所需的所有资源位与该转移间连结弧并作为该转移的输入弧。在该转移与其可能触发的活动位之间连结弧，作为该转移的输出弧。对于表示某一活动停止的转移，在该转移与其相应的活动位之间连结弧，作为该转移的输入弧。同时应考察该活动的停止是否为另一活动的开始，若是，则应在

另一活动所需的资源位与该转移之间画弧，且亦为该转移的输入弧，另外在此转移与另一活动之间画弧，并作为另一活动位的输入弧。

5) 给定流程的初始标记。

图 3.3 是销售业务流程的框图，

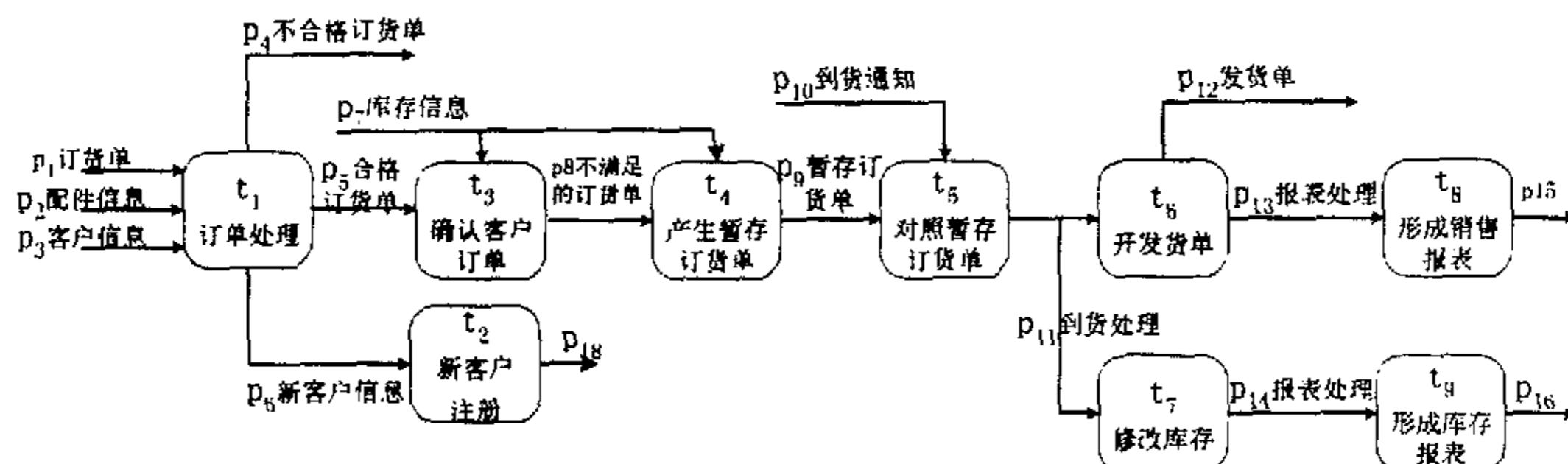


图 3.3 销售业务流程的框图

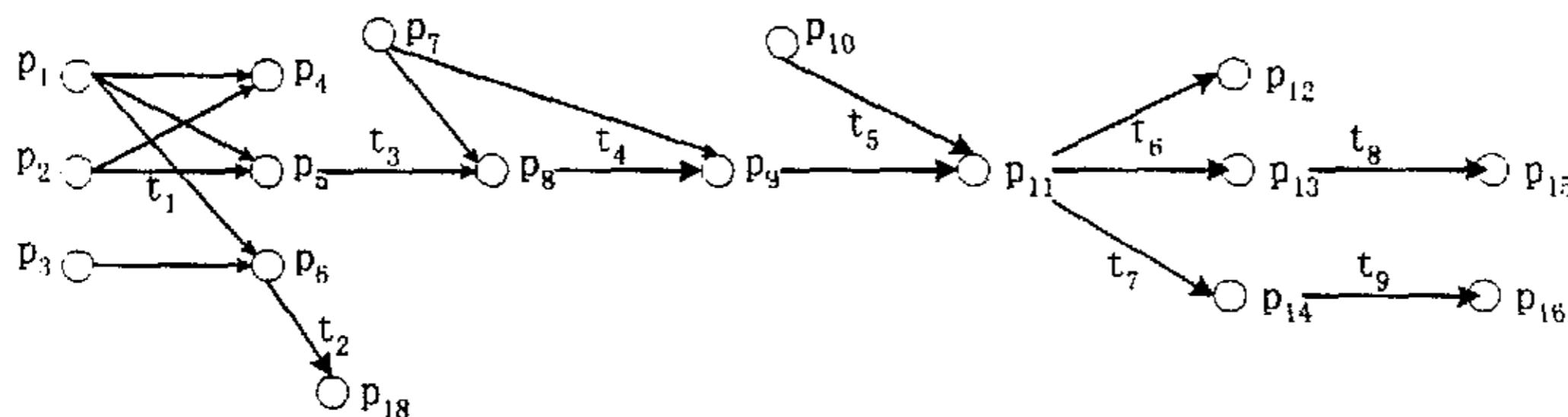


图 3.4 销售业务流程的 Petri 网

(三) 业务流程的优化

规则 1：利用 Petri 网(Petri Net)理论用进行转移的合并。

基于信息流的过程简化，就是分析过程中每一个活动的信息流输入输出关系，来研究过程的优化，利用 Petri 网的有关概念提出活动合并的某些规则，从而达到过程简化的目的，活动合并的前提条件是过程的基本输入和必要的输出应该保持不变。

用通路代替边在图论中可以得到边数最少或源集最少，在企业业务流程中意味着通路所经历的各条边所对应的处理或活动进行合并，产生一个新的活动。

假设通路的起点 X，终点为 Y，其中经历 n 条弧所对应的处理为 t_1, t_2, \dots, t_n ，则合并以后的活动为 $X \rightarrow Y$ ，其中 $t \xrightarrow{'} t_1 \cup t_2 \cup \dots \cup t_n$ ，原来产生的中间信息集如果还作为其他活动的信息源集，则可以保留，否则可以删除。t 可能比较复杂，可以利用 IT 使其数据处理自动化或用决策支持系统辅助执行。

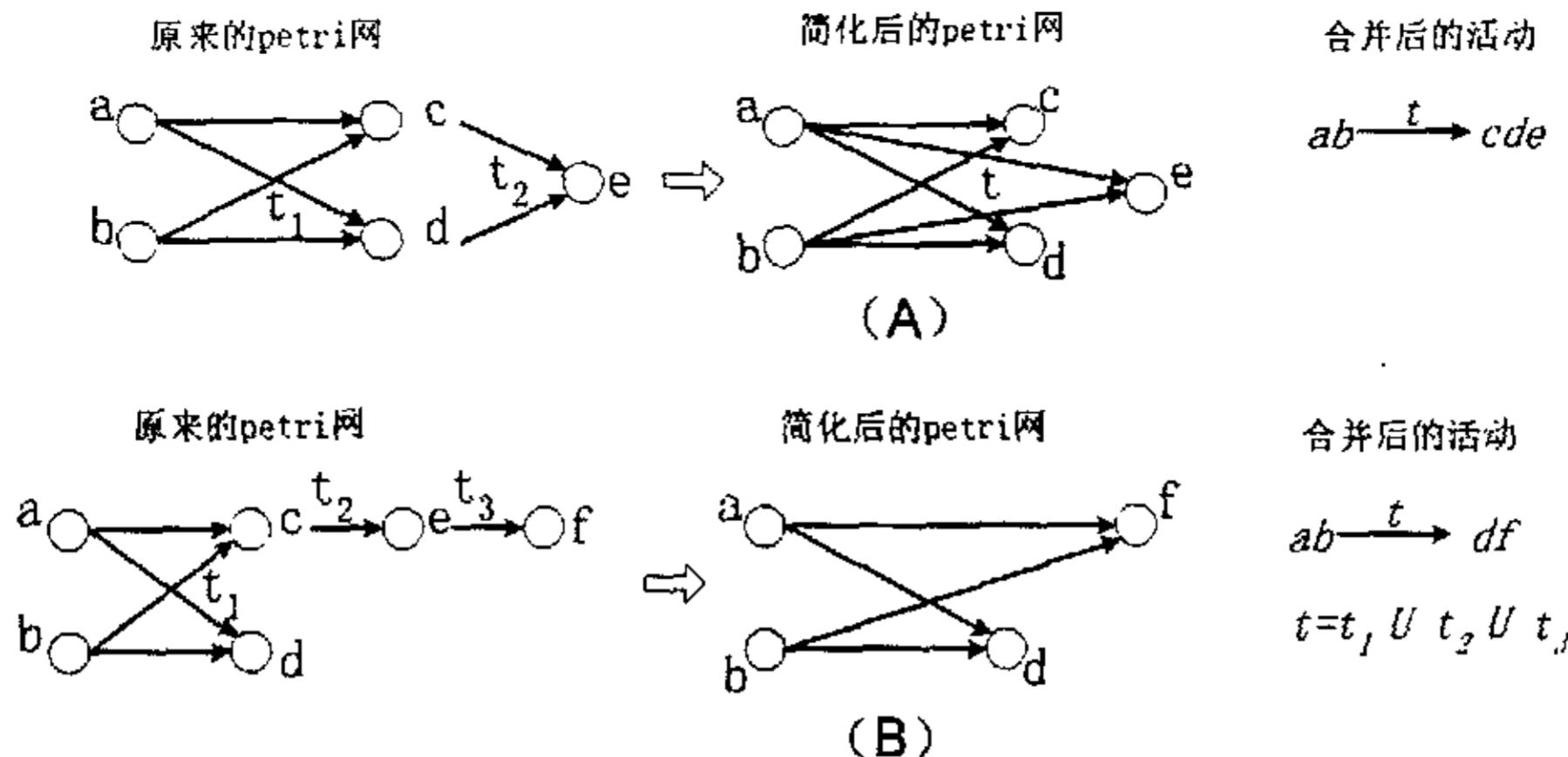


图 3.5 规则 1: 活动的合并过程

如图 3.5 中, (A)中原来的 petri 网中有 5 个位, 2 个源集(ab, cd), 用通路 $ab \rightarrow e$ 代替边 $ab \rightarrow cd$, $cd \rightarrow e$, 如果 c 和 d 保留的话, 得到 5 条位和 1 个源集, 反映在过程中, 将原来的 2 个活动 t_1 和 t_2 合并成一个活动 t , 合并的结果没有改变过程的基本输入 ab 和必要的输出 c、d、e(假设均是必要的话)。同样, 在(B)中原 petri 网中有 6 个位 3 个源集(ab,cd,e), 用通路 $ab \rightarrow f$ 代替边 $ab \rightarrow c, c \rightarrow e, e \rightarrow f$, 如果 c 和 e 没有其他用途的话则可以删除, 这样得到具有 4 个位和 1 个源集的超图, 反映在过程中即原来的 3 个活动合并成一个活动。

在图 3.5 中, 有通路 $(P_5 P_7, P_8, P_9)$, 利用此规则来合并活动, 用通路 $(P_5 P_7, P_9)$ 来代替, 合并后 P_8 不能立即满足的订单信息类可以不需要, 故予以删除。这样, 合并以后的结果为 $T_3^0 = T_3 \cup T_4$, 表示收到订单后根据库存生成暂存订单。

规则 2: 用入口信息集代替中间信息集—活动合并

用入口信息集代替中间信息集在 Petri 网中意味着可以得到源域最小化, 而在过程中意味着利用源信息集代替它所能“达到”的中间结果, 这个中间结果往往又作为另一个活动的部分源信息集, 这样使源信息集和目的信息集之间的各个处理或活动合并成一个活动。

在图 3.6, 在原 Petri 中, 源信息集为 $X=(ab)$, 中间信息集为 $Y=(cd)$, 目的信息集为 Z , 中间信息集 Y 和另一个信息类 m 一起经过处理产生目的信息集 Z , 有 5 个源域(a, b, c, f, m), 用源信息集 X 代替中间信息集 Y , 如果中间信息集 Y 是不必要的話可以删除(如果 y 是必要的话则可以保留), 这样得到简化以后的 Petri 的源域只有 3 个(a, b, m). 反映到过程中, 就意味着活动 t_1 , t_2 的合并, 这样的合并使过程中的基本输入和必要的输出保持不变, 合并以后的活动 t 可能比较复杂, 可以利用信息技术将其自动化或利用决策支持系统辅助执行。

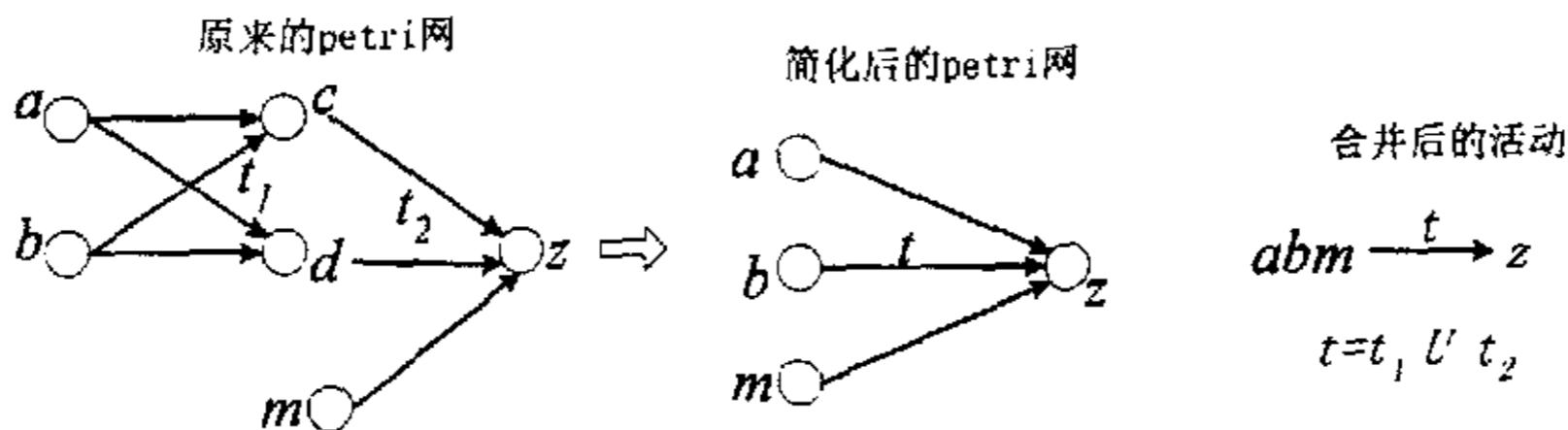


图 3.6 规则 2: 活动的合并过程

用这个规则可以将图 3.4 中的 $p_1 p_2$ 替换 p_6 , 将 t_1 、 t_2 合并, 即根据客户订单直接生成新的客户信息。即 $t'_1 = t_1 \cup t_2$ 。同样的处理方式可以用 $p_5 p_7$ 替换 p_9 , 即根据库存情况能够满足的订单自动生成提货单。

采用上面两个规则, 简化的最终结果如图 3.7。

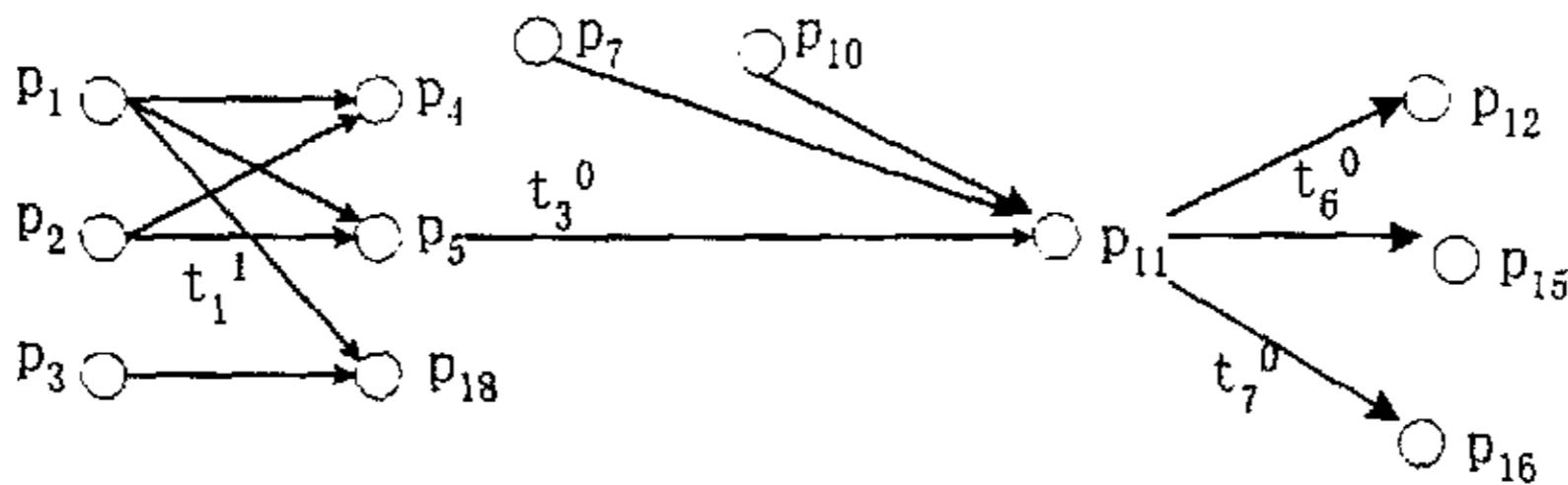


图 3.7 合并后的销售业务流程的 Petri 网

在业务流程建模的过程中除了用 Petri 网基本的性质对业务流程进行优化, 还必须利用经营管理知识本身对业务流程进行优化。

规则 3: 进行彻底的重新构思和根本的重新设计, 去掉一切无用的、浪费的、不增加价值的活动。

精益生产方式和工业工程的工作简化的基本原则均是: 凡是对产品不增值的任何工作, 凡是不提供或不接受基本信息的任何工作, 都是可减少的浪费。可以理解, 浪费实际上是一切不增值的活动, 减少了浪费, 不仅会减低成本, 而且还会提高劳动生产率。

规则 4: 将职能管理转变为流程管理。

传统的基于劳动分工的职能管理思想, 员工及管理人员往往只会注重职能活动, 而忽视职能活动的结果, 就不利于确定出每一个过程或活动的增值性, 因而必须改变这种管理思想, 实行过程管理的思想。因此, 必须将职能管理转变为流程管理。

规则 5: 将串行结构变为并行结构流程, 采用统一数据库的原则。

串行、并行结构, 在运行时间、质量或可靠性方面, 并行结构过程的性能均优于串行过程, 因此, 在过程再设计中应该尽量采用并行结构或在过程中增加并行结构的成份。

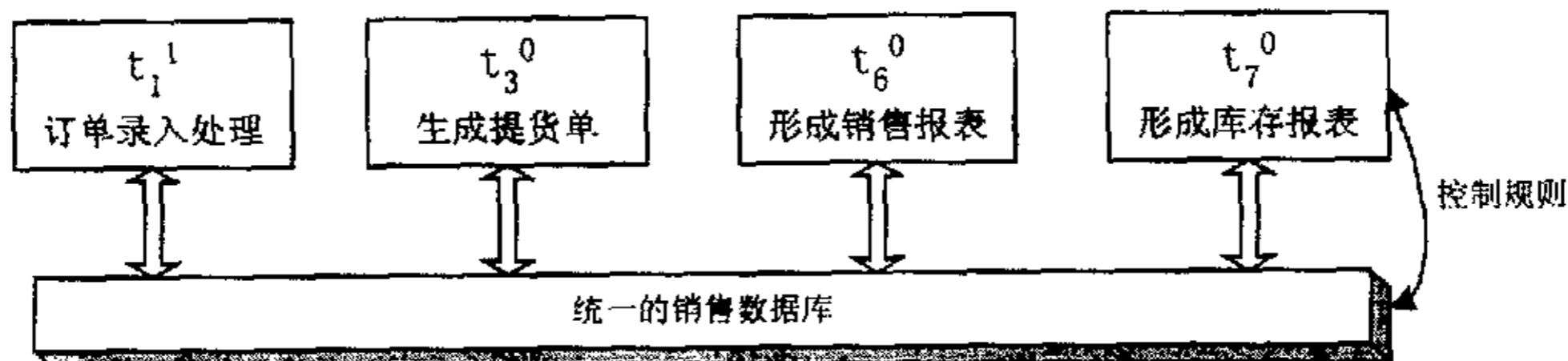


图 3.8 图 3.7 的销售流程的并行结构

在图 3.8 所示的过程设计方案中，每一个活动可以建立一个相应的过程工作小组（或个人），有一个过程专员或销售业务员单点与顾客联系，随时回答顾客的询问，随时响应顾客的需要，通过过程结构优化、组织再设计和过程思想的变化，可以得到一个比较理想的过程方案。

3.3 动态可重构的 ERP 系统框架

3.3.1 ERP 系统的对象层次

根据上述对业务流程的分析，业务流程的集合能够反映整个企业经营过程，将每个业务流程封装成业务流程构件（Business Process Components），

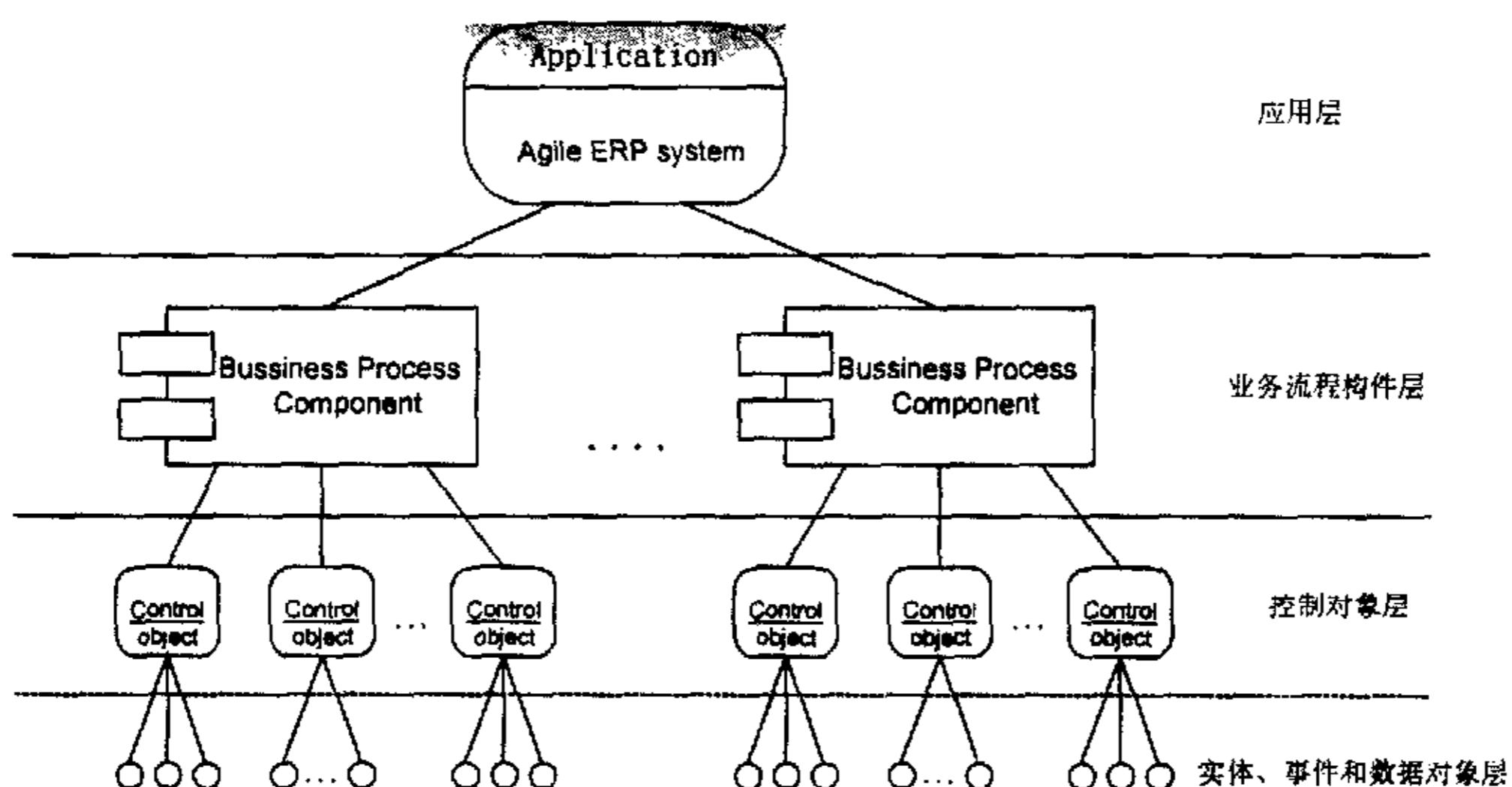


图 3.9 ERP 系统的对象层次结构图

因此业务流程构件能反映整个经营过程中所有控制对象的信息交换，因此，它可以扮演这些控制对象的代理者的角色，应用程序原本需要对多个控制对象进行的操作，现在只需对单个过程组件进行，原来复杂的对象接口关系，如多对象引用以及各对象间不同的接口形式，现在可以由更简单、更统一的接口关系所取代。这种接口关系只需一个对象（即业务流程构件）的引用，只有两种调用形式（setports 和 getports）。应用程序并不直接与控制对象发生联系，过程组件负责将应用程序的处理请求和参数设置

传递给正确的控制对象，然后检测控制对象对请求的执行情况，捕捉异常句柄，在执行结束时，把结果从控制对象的数据端口映射到业务流程构件自己的端口上，供应用程序访问。因此，应用程序、中等粒度的业务流程构件以及精细粒度的基本经营对象可形成如图 3.9 所示的层次结构。

业务流程构件(Business Process Componet)是一类具有中等粒度的对象，它比基本对象，如实体对象、事件对象、数据对象和控制对象更接近应用层。业务流程构件协调多个控制对象的工作，原则上对一项完整的生产经营过程进行控制，但实际上，一个复杂的经营过程可能由多个业务流程构件共同完成。业务流程构件的两个核心组成部分是数据端口 Dataports 和经营规则库 RuleLibrary，业务流程构件的数据端口与控制对象的数据端口结构类似，不过，端口的数量更多，可以反映整个经营过程中所有控制对象的 Dataport，因此，存在一个从控制对象数据端口到业务流程构件数据端口的映射。每个控制对象的端口可以与业务流程构件的多个端口相对应，同时，每个业务流程构件的端口也可以对应于多个控制对象的数据端口。

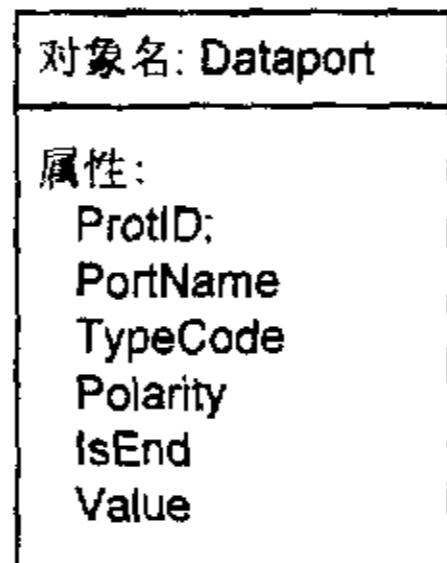


图 3.10 数据端口

数据端口(Dataports)是一组对象信息(业务流程信息)输入与输出的通道，每个 Dataport 具有如图所示的结构，通常，一个数据端口的值域(Value)可以是参与控制过程的一个实体对象、事件对象和数据对象，每个数据端口具有严格的数据类型码(TypeCode)，这意味着数据端口的值域只能是具有同样的 TypeCode 的类型(对象的 TypeCode 由它的定义信息，例如，IDL 文件产生)。数据端口的输入输出特性由 Polarity 属性表示，MyDataPort.Polarity = “1”、“-1”和“0”，分别表示该端口是控制对象的输入端口、输出端口和输入输出端口。每个控制对象都提供统一的 setport 和 getport 方法对 dataport 进行操作，这两个方法按端口名称 Mydataport.PortName 或编号 Mydataport.PortID，对 MyDataport.value 进行赋值或取值，每个数据端口的编号和名称在该控制对象范围内保持唯一。

业务流程的经营规则库(RuleLibrary)是存储规则的场所，规则按 ECAP 的形式存储经营知识，ECAP 规则具有如下形式：EVENT(events)、COND(conditions)、ACTION(action)、PARAM(parameters)，它表示，当 events 发生时，在条件 conditions 满足时，按照 parameters 的设置执行 action。

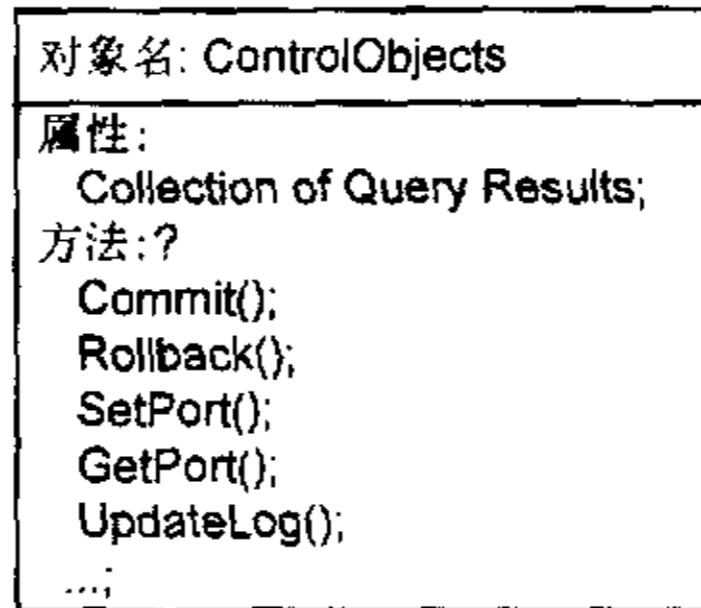


图 3.11 业务控制对象模型

控制对象(ControlObjects): 对经营活动中的动词进行建模，控制对象通常由业务事件对象触发，与实体对象和数据对象交互作用，创建新的或修改原有的实体对象和数据对象。在结束时可能产生新的事件对象，控制对象封装处理原子性任务所需的逻辑以及环境变量，图 3.11 业务控制对象模型是控制对象的参考模型，控制对象提供两种最基本的事务型操作服务：提交任务（Commit()）和回转（Rollback()）。Commit 表示执行当前活动事务，而 Rollback 表示取消当前活动事务的执行，并将参与交互的实体对象和事件对象恢复到执行服务被调用之前的状态，Rollback 服务可以根据用户的配置，在事务执行过程出现异常时被自动调用，而 UpdateLog() 进行日志文件的记录。每个控制对象与环境的交互接口是通过数据端口实现的。每个控制对象都提供统一的 SetPort() 和 GetPort() 方法来对 DataPort 进行操作。这两个方法按端口名称 PortName 或编号 PortID，对 DataPort 进行赋值或取值，因为每个数据端口的编号和名称在该控制对象范围内保持唯一。

实体对象、事件对象和数据对象构成业务流程对象的最底层，它们具有精细的粒度，每个经营对象的实例在经营领域内具有唯一的对象标识符（identity），经营对象可以通过引用方式进行传递。

实体对象(entity objects): 对经营活动中的名词进行建模，例如发票、供应商和采购合同部是实体对象。

事件对象(Event Objects): 对经营活动的触发机制进行建模，在经营过程中存在 3 类事件对象，它们分别是请求事件(RequestEvent)、通知事件(NotificationEvent)和时间事件(TemporalEvent)，其中，请求事件由经营环境产生，通常来自人机接口，例如，用户点击界面中的按钮，可以产生一条请求事件。而通知事件在系统完成某项活动后产生，它或者将结果的描述信息传递给环境，让用户知道活动的执行情况，或者进一步触发系统内部的其他活动，此外，系统能够在用户的设定下自动产生一些与时间有关的事件，例如，时延、间隔、周期以及时到等。事件对象的两种可能状态分别是使能 (enabled) 和禁止状态(disabled)。

数据对象 (Data Objects) 是应用系统中的一类特殊对象，设计数据对象的主要目的是封装分布式对象计算环境中各组件的交换信息，数据对象可以通过值和引用两种

方式进行传递，数据对象被设计为可以容纳可变数量的任意类型的数据。数据对象提供一致的服务接口，包括 Add(增加一个数据域)、Delete(删除一个数据域)、Describe(获取数据域的数量、名称列表和格式列表)、Set(对单个的数据域赋值)和 Get(获取单个数据域的值)。数据对象可以作为 SetPort 或 GetPort 的参数设置控制对象的端口。

3.3.2 运行机制与可重构策略

从业务流程构件的结构可以看出，通过数据端口的映射，可以把对多个经营实体对象和事件对象的操作转换成对单个过程组件的一致的接口操作，大大降低了应用程序接口调用设计的复杂程度，此外，每个业务流程构件提供诸如：用 AddPort()、DelPort()、SetPortParam()、GetPortParam()等方法，对 DataPort 的数量和参数进行维护，用 AddRule()、DelRule()、ModifyRule()等方法对业务流程规则库中的规则进行维护业务流程构件的特点，使我们不仅可以重用底层的众多精细粒度的基本经营对象，而且可以增加新的业务流程对象，并修改构件的规则库，快速体现原有经营过程发生的变化。

中等粒度的业务流程构件与精细粒度的基本对象形成的层次结构，为企业信息系统提供多种重构策略，我们用包含元器件的电路板作一比较。见表 3.1：

表 3.1 电路板与业务流程构件的可重构策略的比较

	电路板	基本对象	业务流程构件	应用程序
方法 1	替换原有的元器件，新的元器件接口性质不变，线路板不变。	增加(或修改)实体、事件对象以替代原有的实体、事件对象，导致修改控制对象，但该控制对象的数据端口逻辑不变	没有变化	没有变化
方法 2	插入线路板的新器件接口性质与原器件不同，因此改变与之相连的线路。	增加(或修改)实体、事件对象以替代原有的实体、事件对象，导致修改控制对象，该控制对象的数据端口逻辑改变。	在线修改该控制对象对应的流程构件规则。	仅改变对同一构件的某组 SetPort() 和 GetPort() 方法的调用参数。
方法 3	新器件插入线路板，因此增加与之相连的线路。	在原有经营过程的基础上，插入新的处理环节，导致增加新的控制对象。	在线修改该控制对象对应的流程构件规则。	仅增加对同一构件的一组新的 SetPort() 和 GetPort() 方法。
方法 4	增加新的线路板。	企业增加新的业务流程，在重用原有基本对象的基础上，需要增加与此流程相关的对象。	增加新的业务流程构件。	在应用程序中增加对新构件的处理。

经营对象作为对象服务器(Server)，可以分布地运行在系统中合适的宿主上。一种可行的办法是，企业中不同组织机构或部门的服务器分别运行该机构所需的对象 server，同时，有责任对这些对象进行必要的维护与配置。建立在基本对象基础之上的流程构件，也以 server 的形式存在于系统中。流程构件的运行位置由信息系统中该经营对象的所属领域确定，无论是经营对象 server，还是过程组件 server，都可以作为系统中的可共享资源。它们提供不同级别的访问权限控制，可以同时为不同的应用程序提供服务。

3.3.3ERP 构件的层次与跨环境性

ERP 平台的另一个重要特性是跨环境运行，重点解决跨数据库和网络环境运行的问题。为此，构件划分了多个层次，建立了严格的三层划分。

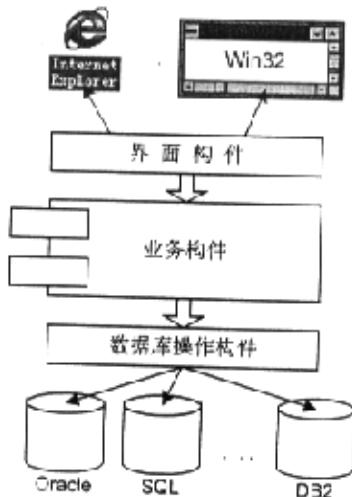


图 3.12 构件层次

底层的技术构件则使特定的数据库或网络环境与业务构件无关，为了保持每种数据库的特性，对流行的数据库 ORACLE、SQL、DB2 等编写了特定的构件。

标准的三层结构使界面与业务处理分离，不论 WEB 页面还是 Windows 界面都能共享同一个业务处理规则，这样整个系统可以同时使用 WEB 和 Windows 前端。这一特性解决了电子商务应用与传统应用结合的问题。

3.3.4ERP 的构件库与动态建模

ERP 首先要解决企业的动态维护问题，这是保证 ERP 系统随企业需求变化而成长的关键。降低系统维护成本，缩短系统调整时间的关键是提高软件的复用程度。ERP 采用工程化的方法建立了企业运行的构件模型，按照模型抽象企业运行的基本要素，并在这些要素的基础上开发了由上千个多个对象组成的构件库。构件库中的构件既包括如计划、采购、财务等通用业务处理构件，也包括象批号处理等行业专用构件，针对企业特殊需求还可以开发企业专用的业务处理构件。

有了构件库，用户最终系统的生成不是从底层开始编写功能，而是在需求明确后组装构件库中的构件。用户对 ERP 系统的调整也不再是修改大量代码，而是更换不同的组件并修改配置，新增功能只需新增相应构件，不需编译整个系统，所有这一切都大大降低了软件的维护成本。

构件库只是整个系统生成的基础。由于构件库中有数千个构件，这些构件既有预置的也有针对最终系统直接开发的，构件的配置与定义都非常复杂。为此，ERP 利用软件工程的原理和对相关领域的研究开发了动态建模技术。通过该技术，用户可以在集成的环境中对自己的需求进行建模，利用可视化的模型，用户可以定义和修改系统的数据结构，业务流程和业务逻辑，并集中管理系统的元数据。模型建立后，系统自动生成所需构件的清单和构件配置文件。

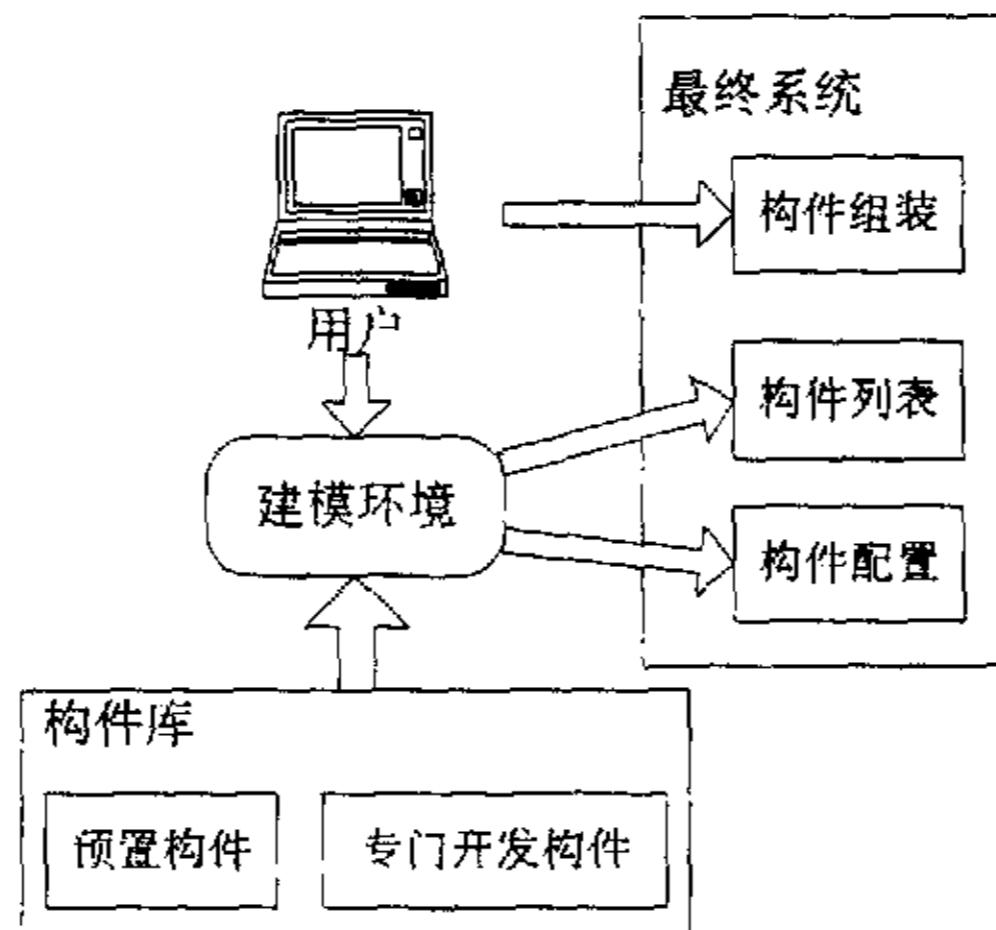


图 3.13 从构件库到最终的系统

构件库和动态建模技术解决了行业 ERP 系统的如何实现业务可成长的中心问题，系统的调整可以由客户完成。这样，信息系统与管理的运作真正结成一体，给富有创新精神的企业提供了一种新的竞争手段。

3.4 面向机械行业 ERP 的主要功能流程

3.4.1 系统主要功能图和基本对象信息

面向机械行业 ERP 是针对中小型制造企业，充分考虑中国企业管理现状和特点，并吸收国内外企业成功管理经验，实现了对企业人、财、物、信息和销、产、供、市场的集成化管理。因此，它融入先进管理思想和模式，能充分满足现代企业经营管理的要求。为用户提供简洁、易用的资源管理系统，使其生产计划更加合理、成本有效控制、设备充分利用、作业均衡安排、库存合理管理、财务状况及时分析等。它把企业规划、市场与销售计划及其执行集成为一闭环处理过程，建立于公认的资源管理技术及标准化术语的基础之上；它涉及工艺、责任及权益、物流、支持的信息系统、公司管理程序，对生产及交付制造与采购的分销，所需物料及资源进行计划与控制。图 3.14 是系统主要功能，图 3.15 是系统基本对象视图。更多的内容请参考附录 1。

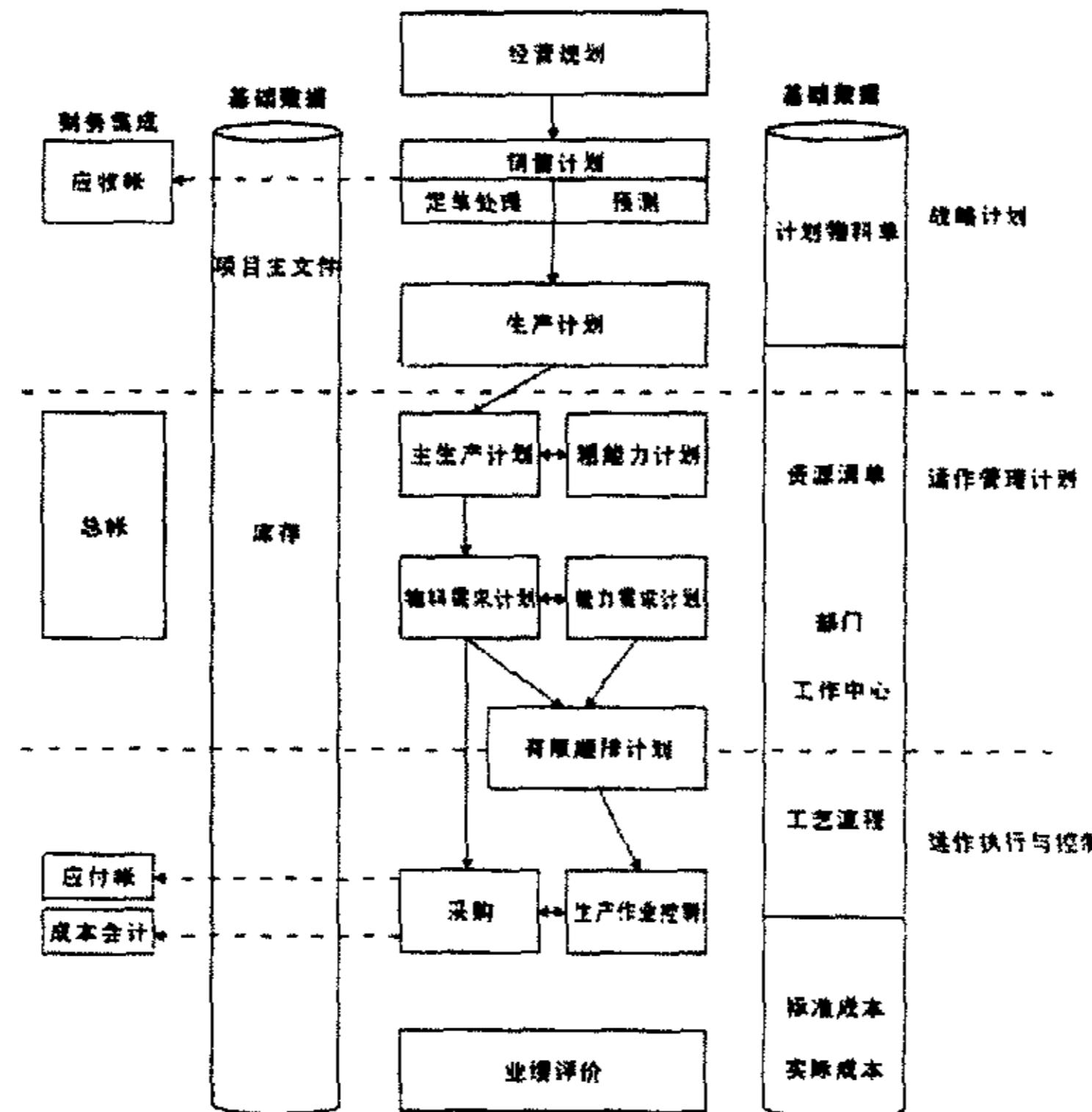


图 3.14 面向机械行业 ERP 主要功能

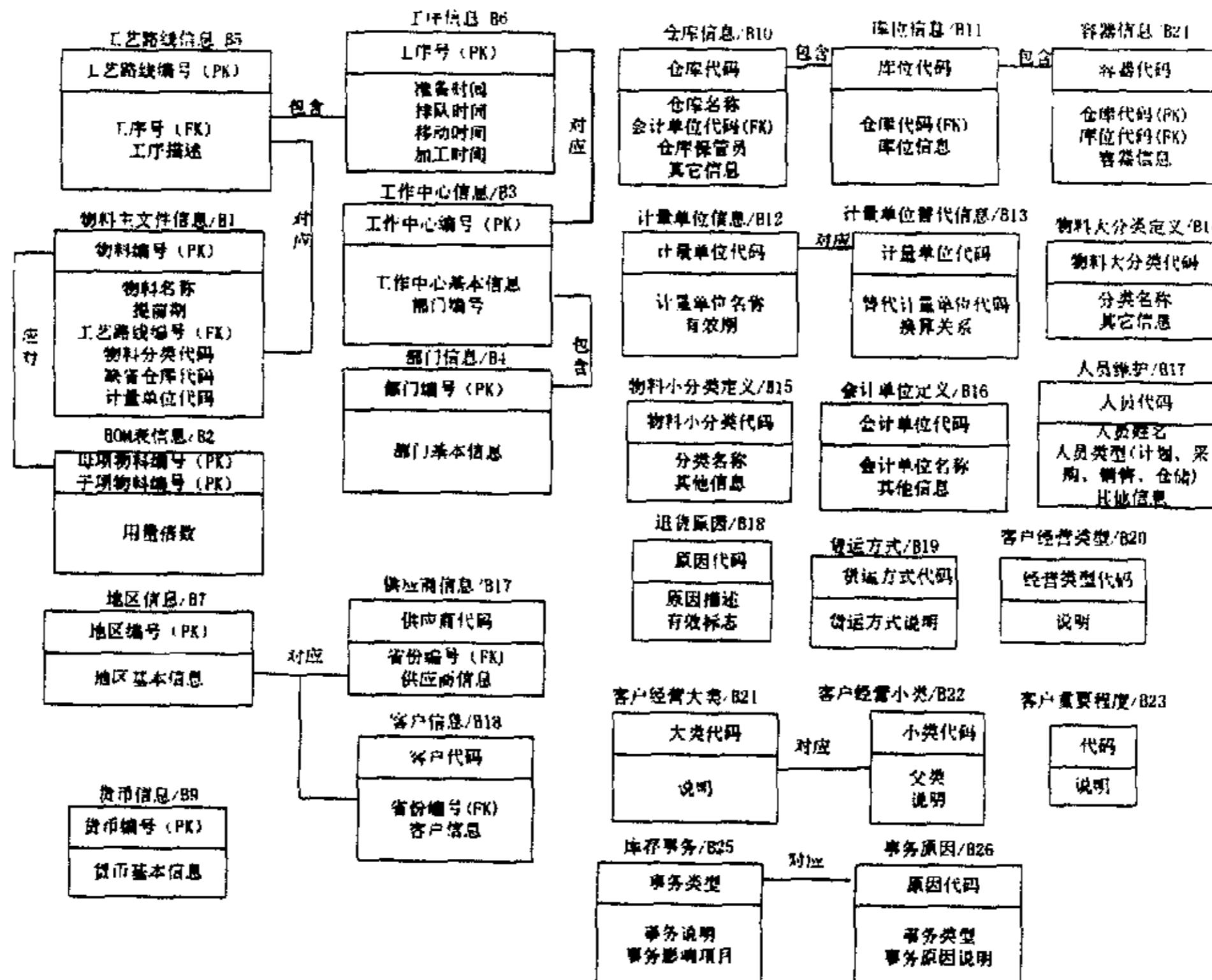


图 3.15 基本对象信息视图

3.4.2 系统主要功能

行业 ERP 系统的业务流程主要构件如表 3.2 所示：

表 3.2 ERP 业务流程构件

基础数据	制造标准	客户关系管理
销售	分销	供应链管理
主生产计划	资源需求计划	物料需求计划
能力需求计划	车间任务	车间作业
JIT	采购	库存
质量	计量	总账
应收	应付	现金
固定资产	税务	预算控制
成本模拟	成本核算	资本运作
人力资源	设备	检修
工模具	决策分析	报表
CIM 接口	控制中心	

部分流程的构件的功能如下所述：

(1) 基础数据

提供基础性数据的维护和管理，包括客户、供应商、部门、仓库、产品类、物料、会计单位、会计期间、货币以及计量单位替代等资料，为其他构件提供最基本的信息。

(2) 销售

帮助销售人员和管理人员对市场信息、计划、报价、订单、发运和售后服务等销售活动实行全过程的动态跟踪管理和分析，以提高销售服务和经营决策水平，加强市场竞争能力和应变能力，获取最大的经济效益。它包括：计划管理、市场信息管理、报价管理、订单管理、发运管理、销售分析、欠款管理、客户服务管理、销售控制参数设定等功能模块。

(3) 主生产计划 (MPS)

主生产计划是关于“将要生产什么”的一种描述工具，它起着从宏观计划向微观计划过渡的作用。MPS 有三种功能：把企业计划同日常的作业计划联系起来；为日常作业管理提供控制；驱动正式的、一体化的计划与控制系统。

(4) 物料需求计划(MRP)

物料需求计划是按时间分段的优先级计划与排程系统，利用产品结构数据、库存状态数据、未结订单数据及主生产计划信息来计算物料需求，它主要回答“需要什么，什么时间需要”。

(5) 能力需求计划(CRP)

能力需求计划是把主生产计划和物料需求计划产生的物料计划转化为标准负荷小时，把物料需求转换为能力需求，进行能力资源的配置与计划。

(6) 库存管理(INV)

库存是企业在任何供应链内的任何物料存货。库存管理包括提高库存精度，确定再定货需求量，监控物料和跟踪库存，它显示物料的可用性和与库存相关的数据，并为其他功能模块提供基础数据和数据交互。

(7) 车间控制(SFC)

车间控制是生产作业计划的执行层，属于运作执行与控制层。它一方面调度生产计划单，保证运作管理计划的执行，另一方面又要不断反馈生产信息，使运作管理计划不断进行修正。

(8) 车间任务

帮助车间管理人员在生产订单的层次上，跟踪控制每天的生产进度，管理物料的投放和产成品的入库。同时及时反馈实际生产进度，以便必要时调整各上层计划。它包括：生产订单查询、生产订单维护、生产订单物料清单维护、生产订单标准成本重估、生产订单下达、生产订单分配、生产订单缺料报告、计划内领料单维护、计划外领料单维护、车间库存领料单维护、产品入库通知单维护、生产订单完工处理、成本差异分析、车间任务控制参数等功能模块。

(9) 车间作业

帮助车间管理人员在工序层次上制订车间作业计划，跟踪管理每天的生产进度，监控和调度各部门、各工作中心的工作负荷，并及时反馈实际的进度和耗用工时，以便必要时调整各上层计划，实现企业的基本生产均衡。它包括：生产作业计划、生产作业调度、工序进度查询、生产订单工艺路线维护、工票反馈、工序转移处理、工序启停处理、返工分析报告、废品分析报告、停工分析报告、输入/输出报告、工作中心利用率报告、工作中心效率报告、生产订单效率报告、员工效率报告、工序拖期报告、转包工序查询、工序完工处理等功能模块。

(10) 采购管理(PUR)

是采购作业计划的执行层，同属运作执行与控制层。它一方面调度采购计划单，保证运作管理计划执行，另一方面不断反馈采购信息，使运作管理计划不断进行修正。

(11) 质量

对产品质量情况进行监控。定义和记录产品的质量，包括制造过程中的检查和试验，采购物料和外协物料的进货检查，以及库存的取样等。对用户反馈的质量问题信息进行维护，跟踪质量问题处理过程，对造成原因进行分类统计、分析处理。

(12) 总帐

是财务管理的核心模块，根据总帐记帐凭证记录总分类帐，并自动更新每个总帐帐户的发生额和余额。总帐模块可单独使用，也可和其它模块配套使用。它包括：设置凭证类别、设置会计科目、设置帐户控制表、设置多栏帐页、编制记帐凭证、凭证

订本汇总、期末转帐、期末结帐、汇兑损益及各种帐表查询等功能模块。

(13) 应收

根据销售发票记录应收帐款，生成应收帐款记帐凭证，同时记录应收票据及回收的应收帐款。它有大量的应收帐查询、分析功能，强调对应收帐款的核对和控制，确保应收帐款及时收回，减少坏帐损失。

(14) 应付

根据购货发票记录应付帐款并生成应付记帐凭证，同时也记录应付票据和支付的应付帐款。它有大量的查询、分析、核对等功能。

(15) 人力资源

建立员工信息档案，提供考勤管理，并对员工的工资、奖金、福利费用和保险进行分配、核算、管理的工作。通过教育培训和招聘等手段，合理利用好现有人力资源，并不断为企业补充新生力量。它包括人事、薪金、考勤、保险、教育培训等功能模块。

(16) 报表

通过 OLE 技术与 Excel 无缝集成，完成 JSERP 系统中所有报表的定义、数据生成和输出。它在报表层次上提供了权限的控制，保证数据的可靠性和安全性。它包括：资料设置、报表定义、报表生成查询、报表上报下发、报表打印等功能模块。

(17) CIM 接口

是 ERP 与 PDM（产品设计管理）、CAPP（计算机辅助工艺计划）的接口，能从 PDM 中读取物料、BOM（产品结构）数据，从 CAPP 中读取工艺路线数据。

3.5 本章小结

本章研究了面向行业的动态可重构 ERP 系统的框架，本章主要内容：

(1) 根据业务流程的特点，采用 Petri 网优化的方法，在总结 5 项规则的基础上对企业的业务流程进行了优化。

(2) 分析了行业 ERP 中的企业经营对象层次，构成了应用程序、业务流程构件、控制对象、实体、事件及数据等基本对象 4 个层次，使我们不仅可以重用底层的众多精细粒度的基本经营对象，而且可以增加新的业务流程对象，并修改构件的规则库，快速体现原有经营过程发生的变化。

(3) 进一步分析了业务流程构件的层次，解决了跨数据库和网络环境运行。

(4) 分析了在构件库环境下最终构成应用程序的过程，实现了企业与应用软件的动态建模。

(5) 给出了面向机械行业 ERP 的主要功能流程，鉴于篇幅，列出部分业务流程构件的功能。

第4章 ERP 系统与其它应用系统集成

21世纪，人类将迈向对知识资源的占有、配置、生产、分配和消费的知识经济时代。企业系统集成方法和技术是改变制造业相对落后的现状，迎接21世纪制造业发展机遇和挑战的重要技术之一，世界各国正在积极研究企业集成方法^[54~56]。

在美国“敏捷化论坛”(Agility Forum)，麻省理工大学的“制造先驱”计划和美国能源系统制造技术中心的主持下，实施了一个NGM(Next Generation Manufacturing)项目计划。NGM作为美国自然科学基金将来重点资助的项目^[57]，NGM项目计划的目标是：开发出一个21世纪前10年的制造企业的模型，推荐若干条企业能够采取的行动，通过应用上述模型，使之成为21世纪的成功企业。实施NGM（资料来源参考^[58]）的企业行动的指南如图4.1所示：

人	知识过程			NGM设备和过程	
	工作 人员 的柔 性	创 新	知 识 补 充	变 革 管 理	遍 布 的建 模和 仿 真
快速产品/过程实现 (PPPR)					
联盟企业的协作					
企业集成					
适应性强、响应快的信息系统					

图 4.1 NGM 行动框架

企业集成是NGM行动框架的重要组成部分。在这一章，研究企业集成，特别是ERP系统与其它应用系统之间的集成。

4.1 信息集成、功能集成、过程集成和企业集成

信息集成、功能集成、过程集成和企业集成的实现是相辅相成的。

信息集成的定义为：信息集成不是简单地从技术上实现各部门之间的信息共享。而是要从系统运行的角度，保证系统中每个部分、在运行的每个阶段，都能将正确的信息、在正确的时间、正确的地点、以正确的方式、传送给需要该信息的人^[59~60]。

功能集成就是实现各类应用工具的封装，在企业异构系统的环境下，开展并行离不开各种应用工具，因此必须在提供理想工具和手段的技术上，保证过程互操作的透明性^[61]。

过程集成就是在完成信息集成的基础上，进行流程之间的协调，消除流程中各种

冗余和非增值的子流程(活动)。以及由人为因素和资源问题等造成的影响流程效率的一切障碍，使企业流程总体达到最优。并行工程就是一个典型的过程集成的例子^[62~63]。

企业集成则主要指的是沿着产品供应链(supply chain)方向上同类或互补企业之间为追逐共同的市场机遇而形成虚拟企业(动态联盟)之间的集成^[64]。企业集成也可以理解为在虚拟企业之间实现的信息集成和过程集成。

系统集成在技术上直接体现出如下四个状态：

(1) 互联性(inter-connectivity)

这是实现集成的基础，就是要使各种各样分立的设备、各种单元技术能通过“接口”连接起来，实现互联。

(2) 互操作性(Inter-operability)

指系统的各个组成部分中有关联的各应用软件与技术功能，能够互相发出对方能理解的指令、去激活相应的功能，共享或修改公共数据库等。

(3) 语义一致性(Semantic Consistency)

指在数据单元、术语、含义等方面的一致和合理化。通过数据定义和格式的标准话，提供给用户的就是一个该组织数据一致和正确的视图。

(4) 会聚集成(Convergent Integration)

这是系统集成的最高阶段和最复杂形式，它包含了将技术与流程、知识以及人工效能之间的集成。

会聚集成将使组织具有对市场机遇快速应变的能力和对本身重新配置的能力。使得集成系统能提供功能和技术的兼容性，如可以在任何水平上以及应用任何技术实现集成。所有企业范围的应用软件和计算环境，都可以针对各种不同的需要而改变规模，可以通过快速配置和剪裁相应的技术和应用软件实现某些特殊功能。企业范围的数据、存取数据通道和应用系统是标准化和统一定义了的。

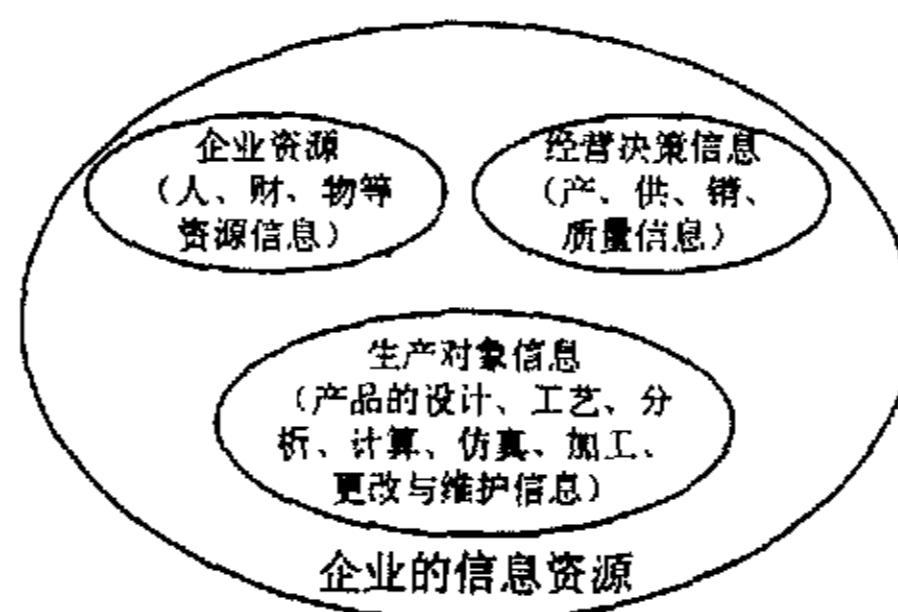


图 4.2 企业信息资源

企业的全部信息可以分为企业资源、经营决策和生产对象等三类信息，企业资源主要包括人、财、物的信息，经营决策主要包括产、供、销、质量的信息，这两类信息包括了企业全部资源管理和决策信息；生产对象指的是产品开发整个生命周期内的设计、工艺、分析、计算、仿真、加工、更改与维修等数据，它是企业赖以生存的关

键，是企业所有信息的核心与源泉。

4.2 PDM 与 3C 的集成

工程设计自动化系统在产品开发过程中就引入了计算机技术,包括产品的概念设计、工程与结构分析、详细设计、工艺设计与数控编程。它通常划分为 CAD、CAPP、CAM 三大部分, CAD 系统包括计算机绘图、有限元分析、计算机造型及图像显示、优化设计、动态分析与仿真、生成物料清单等等。CAPP 系统完成由产品设计转换为按设计要求将原材料加工成产品所需的一系列加工动作和资源的描述。CAM 系统完成刀具路径的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真以及 NC 代码的生成,为管理信息系统和制造自动化系统提供 BOM 表和工艺规程等信息。

在实际应用中,运行 ERP 所需的基础数据(BOM 表、工艺文件、材料定额、零部件数据等)一般是手工录入的。这一工作牵涉面广、工作量大,所以能否正确地录入基础数据进行有效的维护与管理,已成为 ERP 有效运行的关键。实现 ERP 与 CAD/CAPP/CAM 的信息集成,直接从设计信息中获取有关基础数据,则能大大减少基础数据的录入工作量,并有利于基础数据的维护。ERP 与 3C 系统的集成一直是国内外研究企业集成的热点。而产品数据管理(PDM)软件的出现,为这两大系统的集成提供了一个很好的平台支持^[65]。

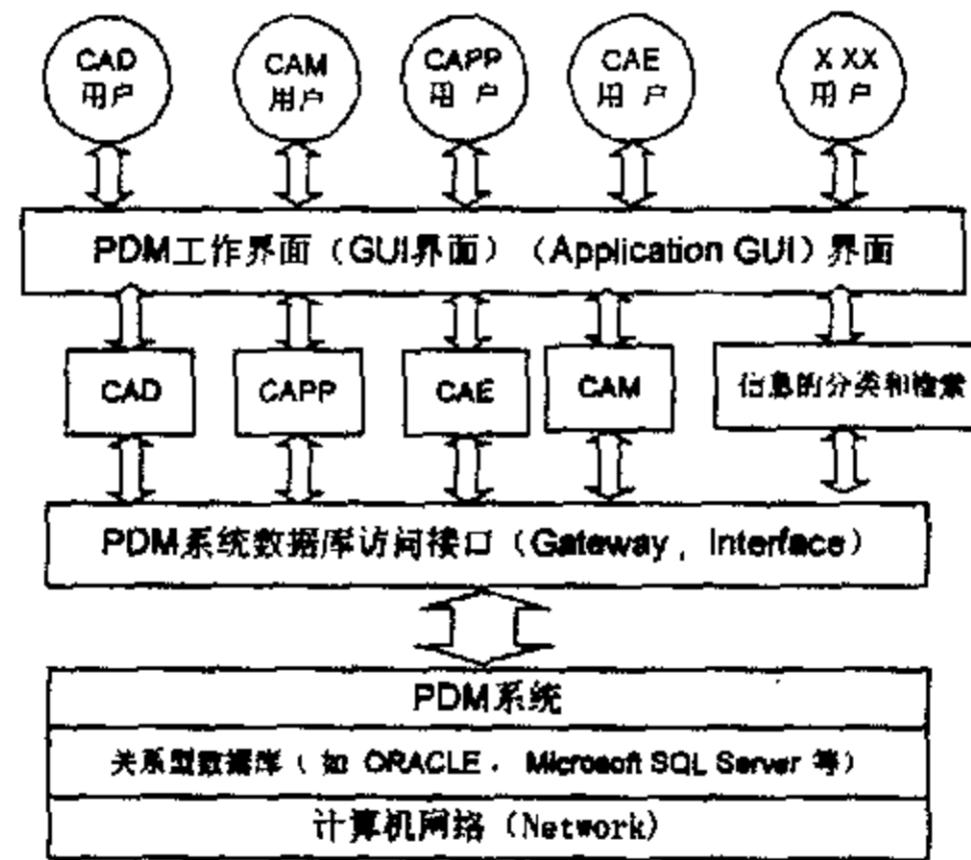


图 4.3 是基于 PDM 的 CAX 的集成框架^[66]。

PDM 系统在该集成框架中处于核心地位,它通过其与各 CAX 工具软件之间的接口,成为各 CAX 集成的平台,在这个集成框架中, PDM 系统所起的作用如下:

(1) PDM 系统具有数据仓库和文档管理功能 (Data Vault and document management), 产品结构管理功能 (Product Structure management), 提供与产品相关信息的版本和权限控制。

(2) 提供与产品相关信息的统一管理。基于数据库管理功能,使各种与产品相关

的数据都建立和存储在 PDM 数据库中，从而提供一个集成的、可控的、安全的多种访问路径，在保证了数据单源性的同时，使数量庞大的与产品相关的数据得到有效管理，进而达到数据共享及各应用工具的信息集成。

(3) 提供工作流或过程管理 (Workflow and process management)。它用来定义和控制用户创建和修改数据的方法，实现产品设计与修改过程的控制与跟踪。工作流和流程管理主要管理用户对数据操作时会发生什么，用户与用户之间的数据流动以及在项目的生命周期内跟踪所有事务和数据流动，它为产品的并行开发过程的自动管理提供了保证。

(4) 提供对各计算机辅助工具的封装。PDM 与计算机辅助工具之间提供三个层次的封装：工具封装、信息集成与应用集成。工具封装就是通过 API (应用程序接口) 及 Tool kit (集成工具箱) 将 CAX 软件系统作为一个对象嵌入 PDM 系统中，CAX 中的各应用软件产生的文件数据是作为一个整体的 PDM 应用系统管理，但不直接管理文件内部的数据，而信息集成不仅实现应用系统或工具以对文件的操作，还可以通过接口方式直接读取 BOM 表，零件属性等；应用集成要求在全面了解 PDM 的数据定义及 CAX 应用系统数据结构的前提下，通过接口连接，形成更紧密的关系，做到在 PDM 系统与 CAX 应用系统之间的双向操作。

(5) 提供了零件库管理 (parts management)。零件库管理最大程度地重复利用现有设计创建新的产品。通过 PDM 将 CAX 中的信息进行分类归纳，有助于将相似或标准的零件、流程以及各种设计信息去进行并行设计。使用特定的属性值或范围或任意属性的组合查询，可以快速的找到相关连的零部件，使零部件有可能得以重用。这可以产生显著的效益。

通过 PDM 进行 CAX 的集成，CAX 与 ERP 的集成是通过 PDM 这个平台进行的，PDM 和 ERP 的集成在本章的后面部分有待叙述。

4.3 基于数据流的 MES 与 ERP 集成

MES 的英文全称是 Manufacturing Execution System)，中文可翻译成制造实施系统或者制造执行系统，它是辅助生产管理人员收集现场资料及控制现场制造流程，提供企业改善流程、提高生产效益的工具。MES 是将企业生产所需的核心业务如订单、供应商、物料管理、生产设备保养、品质管理等流程整合在一起的信息系统，它提供即时化、多生产型态架构、跨公司生产管制的信息交换；可随产品、订单种类及交货期的变动弹性调整参数等诸多能力，能有效的协助企业管理存货、降低采购成本、提高准时交货能力，增进企业少量多样的生产控制管理能力^[67]。

制造实施系统 (MES) 软件弥合了公司层、基于事务处理的软件和生产车间过程

控制系统之间的间隔。ERP 和制造资源规划 (MRP) 软件已能平衡生产车间的物料需求。但是，由于设备停机、返工批量等事件并不显示在 ERP 和 MRP 上，因而实际输出信息并未得到改进，MES 软件可以解决这些问题，但是，目前一般的 MES 的不足之处是，其作用范围通常只限于能与其集成的几种类型的应用软件。

ERP (Enterprise Resources Planning, “企业资源计划”), 从管理思想上讲, 它提出了一整套企业管理系统体系标准, 其实质是在 MRPII (Manufacturing Resources Planning, “制造资源计划”) 基础上进一步发展而成的面向供应链 (Supply Chain) 的管理思想; 从软件产品上讲, 综合应用了客户机/服务器体系、关系数据库结构、面向对象技术、图形用户界面、第四代语言 (4GL)、网络通讯等信息产业成果, 以 ERP 管理思想为灵魂的软件产品; 从管理系统上讲整合了企业管理理念、业务流程、基础数据、人力物力、计算机硬件和软件于一体的企业资源管理系统。

ERP 与 MES 的关系可以简单地描述为: ERP 用于产生计划, 而 MES 应用于企业制造加工中心, 作为 ERP 的执行系统。

4.3.1 MES 现状

在制造业, 制造实施系统是为了满足提高效率和获取资金、设备投资回报的需要所产生的。车间管理实施系统起源于自动化数据取得、条形码读取和工艺最优化。目前, 作为产品的制造执行系统开始扩展他们产品应用的领域, 有些还提供端对端的供应链解决方案。

最近, 美国一家软件开发商 (Consilinn) 在美国国家标准和技术研究所 (NIST) 资助下, 正在开发一种适应性强的 MES, 它能集成由不同供应商提供的多种制造应用软件, 而且也可与其它的公司系统相集成^[68]。

这种称为“分布式工厂系统框架” (DFSF) 的系统, 使制造商能选择一组应用软件并将它们一起运行而不需采用客户软件界面。DFSF 的目的是协调多个应用。例如, 能相关地显示设备状态数据和质量管理数据, 以表明质量和设备状态之间的相互关系。

据 Consilinn 公司预计, 采用这种类型的开放式 MES 软件将给工业界 (尤其是半导体制造业) 带来显著的经济效益 (增加产量, 提高质量, 节省维护费用等)。据该公司估算, 半导体行业每年可从中获得 85 亿美元的经济效益。

1992 年, 成立了国际制造实施系统协会 (MESA International), 今天的制造实施系统模型定义为 11 种不同功能模块的组合^[69]: (1)Resource Allocation and Status(资源配置和状态);(2)Operations/Detail Scheduling (操作业务安排);(3)Dispatching Production Units (分配生产单元);(4)Document Control (文档控制);(5)Data Collection/Acquisition (数据采集);(6)Labor Management (劳动力管理);(7)Quality Management (质量管理);(8)Process Management (流程管理);(9)Maintenance Management (设备维护管

理);(10)Product Tracking and Genealogy(产品跟踪);(11)Performance Analysis(性能分析)。

制造实施系统最突出的强项是，它在收集和分析工艺控制信息以改善制造方式的同时，能提高车间管理沟通能力，另外，它还能为决策提供更有效的操作数据，减少浪费及更好的资源利用。

4.3.2 MES 系统

制造执行系统应用于企业制造加工中心，作为 ERP 的执行系统。制作生产指令、产品条码标签，通过生产过程中数据采集，从而达到生产信息化。图 4.4 给出了一个简单的 MES 系统的示意框图。

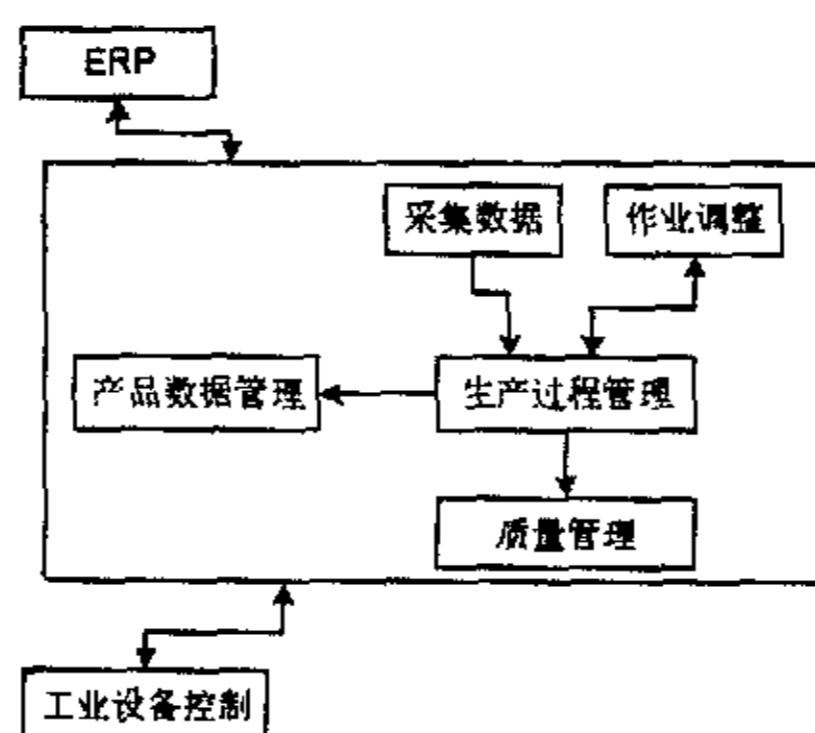


图 4.4 一个简单的 MES 系统框图

这个 MES 系统的主要功能：

- (1) 生产过程数据采集。采集生产装配数据, 工序检验和测试数据和其他工序数据。
 - (2) 详细作业计划。根据生产任务的属性、特征等对任务进行分批、混批和优先级的确定, 以制定详细作业计划, 同时打印计划相关的条形码标签。
 - (3) 生产调度。管理在线的生产任务、订单、批次、工作指令等, 可以根据具体情况对调度单进行修改。
 - (4) 为操作人员/管理人员提供计划执行和跟踪(以及所有资源)当前状况。
 - (5) 质量管理。提供生产过程中的质量数据, 提供对生产过程的质量统计过程控制SPC。
 - (6) 生产过程管理。监控生产过程以及生产过程的内部操作, 为操作者提供决策支持。
 - (7) 建立产品生产档案。
 - (8) 接收ERP生产指令并回报工序报告和完工报告。

图 4.5 给出来了 MES 系统集成框图。

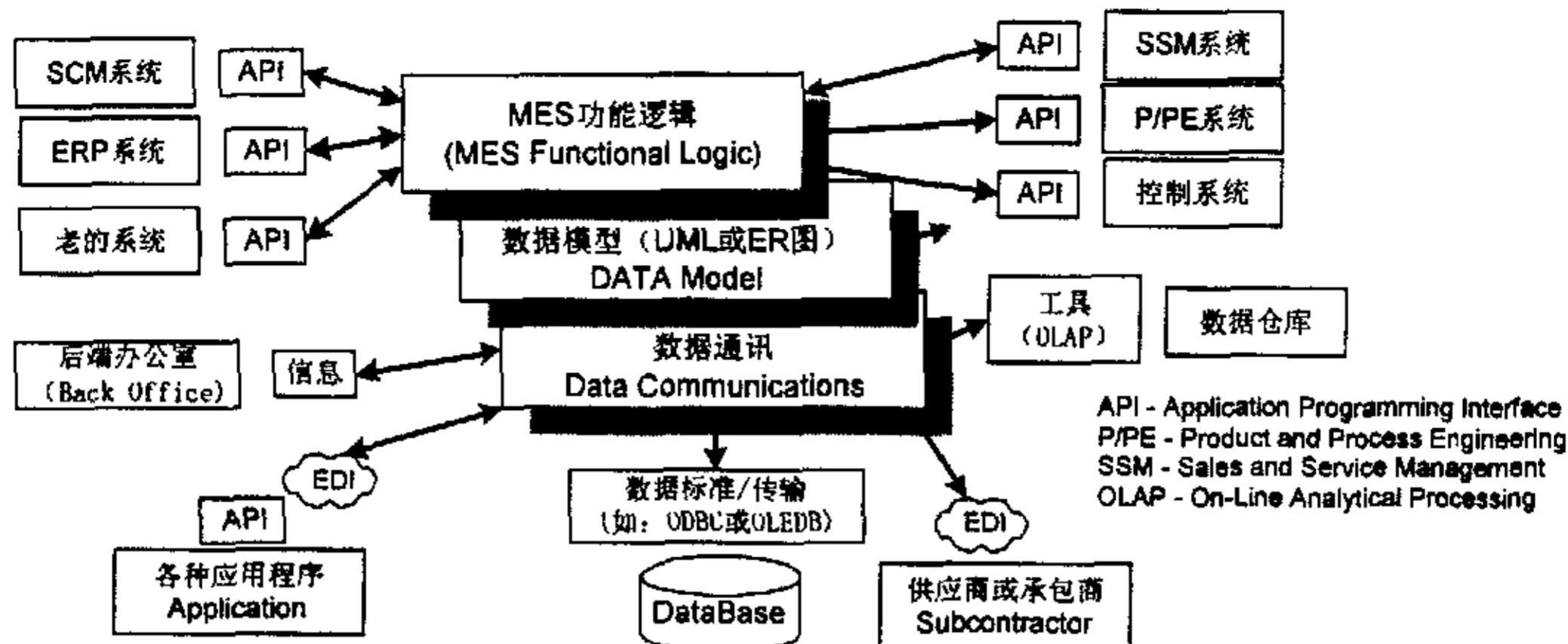


图 4.5 MES 系统集成框图

MES 系统通过数据模型及数据通讯与其他的系统，可通过 API 进行集成，现在的发展趋势是通过代理机制 (Agent), ORB(Object Request Broker), COM/DCOM、CORBA 等技术手段进行集成^[70]。

4.3.3 MES 与 ERP 的集成

越来越多的 ERP 系统正在逐步扩展他们在企业经营中的应用，以致它包含了供应链的功能；同时制造实施系统也在扩展他们在车间管理的功能，用来包括前端办公室和后端办公室的应用。

殊途同归，MES 实施系统和 ERP 系统的界线变得模糊不清，虽然一些扩展后的制造实施系统实现了部分供应链的合成，但它们却不能提供企业中最关键的生产和经营的统一，此外，如果制造实施系统不能和企业内的经营模式实现一体化，那么其最终价值将是有限的。缺少这一关键连接，制造实施系统在增加长期的、可测量的商业价值的能力方面令人质疑。一个企业仅从车间管理角度决定自身价值显然是短视行为，即使最先进的制造实施系统也只能提供相当狭窄的应用范围，并缺乏管理层决策时所需实际生产数据的深度和广度。

将制造实施系统应用和能提供详细生产状况的 ERP 系统集成不失为一种解决办法。这样的集成能够产生制造实施系统功能与企业一体化的强大合力，并产生长期的商业价值。

大多数制造业，从汽车、航天航空、电子、包装、造纸到时装，目前已经实施、正在实施或准备实施 ERP 系统，有的已经取得了实质性的成果，其中包括降低运行成本、提高收益、显著改善客户满意度等。对于那些已成功实施 ERP 企业，生产和经营信息的整合也将提供它们高质量的决策支持信息和资金投入的回报。

尽管如此，实施 ERP 系统也不是没有风险，其中一个最主要障碍是 ERP 软件和制造实施系统的结合。通过与行业匹配的用于业务管理的 ERP 系统与用于车间管理的制

造实施系统集成有以下的益处：ERP 系统能获得更可靠和准确的生产管理信息；在提高利润和改善客户满意度方面更有效的运转；可以谋求高层经营管理和决策支持，特别是资金费用方面。

在任何制造企业中，集成化的信息流是 MES 系统和 ERP 系统集成的关键。图 4.6 是 ERP 和 MES 的集成数据流程图。

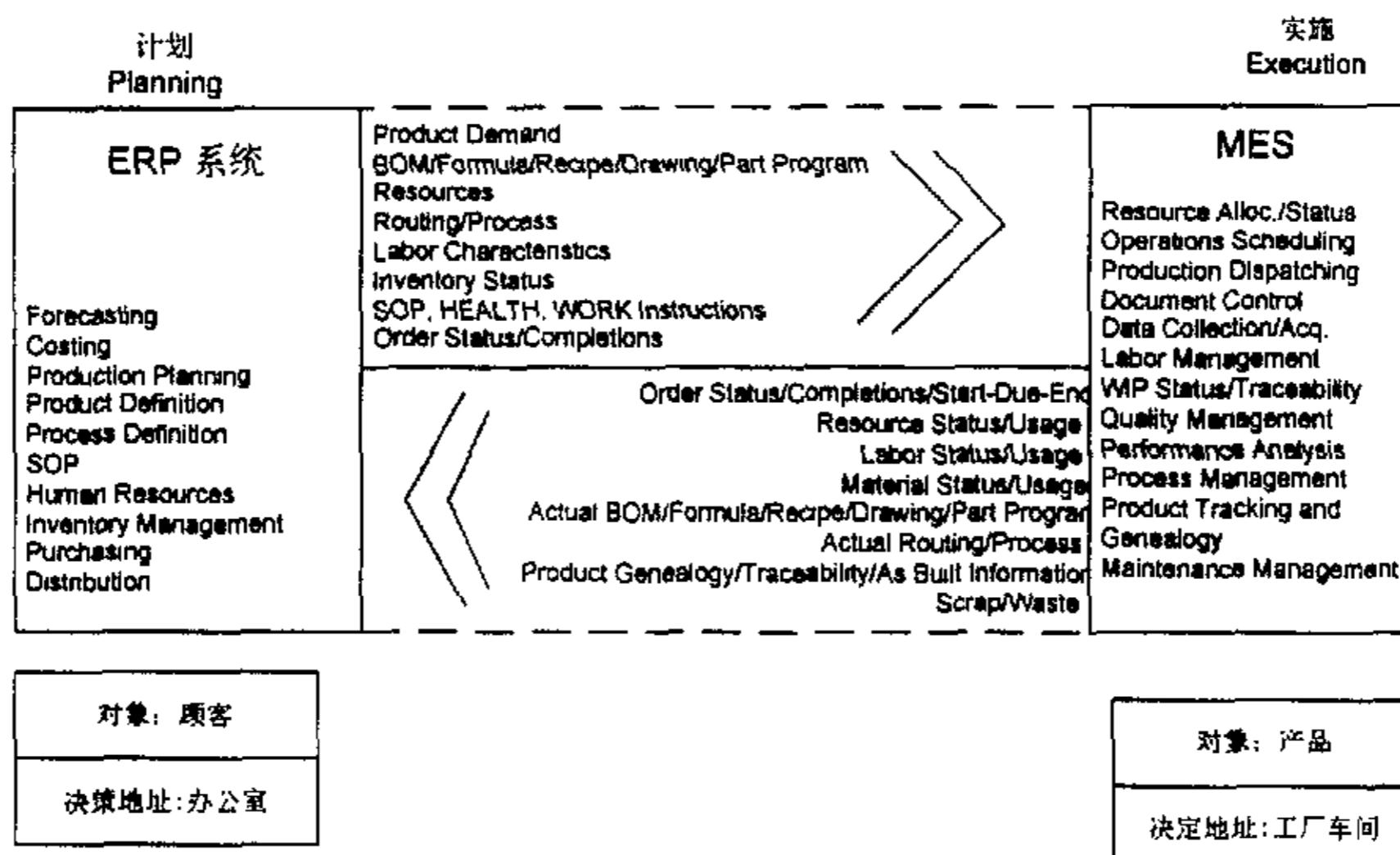


图 4.6 ERP—MES 数据流示意图

4.4 基于产品结构工作流的 PDM 与 ERP 集成

产品数据管理和企业资源管理同为企业管理的优秀思想和应用系统^[71]。这两种系统最重要的应用领域是制造业，随着这两种系统的发展，两者在功能方面逐渐产生了一些交叉，由于这些交叉内容的存在，导致了一些错误认识的产生：最明显的就是认为某个系统包含了另外一个系统；上了这个系统，就不用上另外一个系统等等。

产品数据管理信息和企业资源管理信息构成了企业全局信息的两大组成部分。从 80 年代产品数据管理 PDM 开始发展，至今 PDM 系统可以管理所有与产品相关的全部数据和过程信息，已经成为全企业的使能技术，加速了整个产品开发过程的工作流和信息流^[72~73]；而企业资源规划管理 ERP 系统的发展时间明显比 PDM 长，它从物料需求规划（MRP）提出对库存管理和控制，一直发展到制造资源规划(MRP-II)技术，又扩展到管理车间层的计划和协调，也就是目前称之为的 ERP 系统。

目前大多数 ERP 系统所需的产品数据不能从 PDM 系统中自动获得，而重新手工录入；其次由于 PDM 系统无法对生产制造过程中的频繁更改进行跟踪和反馈，因此不能保证两个系统数据的一致性和完整性；又由于企业各部门的数据往往要重复使用，一个错误数据则会造成一条错误链，致使数据混乱，很难加以修改，当发现时，已造

成很大损失。

综上所述，PDM 系统不能及时了解市场变化而快速响应，而 ERP 系统得不到经过整理的精确数据，领导者也不能据此作出正确的决策。很显然，PDM 和 ERP 是有差别的，两者的管理对象、管理目标、管理方式和手段都不一样，这是两个完全不同的概念。在项目管理、工作流管理等方面的相互渗透，并不能说明两个系统的相互包容。在制造业中 PDM 和 ERP 分别在不同时间处理不同的任务，但又相互关联，成为一个整体。然而长期以来 PDM 和 ERP 被分而治之，造成企业信息交换困难^[74]。实际上，两个系统只有集成到一起，使工程和制造部门之间快速和精确地传送信息，才能发挥二者的作用，促使整个企业各部门协调工作，保持企业的竞争能力，给企业带来巨大的效益。

4.4.1 PDM 和 ERP 的区别

PDM 系统出现于 20 世纪 80 年代，其功能是管理和维护 CAD 软件设计出的“电子图纸”。ERP 系统的出发点则完全不同，在产品设计目标确定后，ERP 系统强调使重要任务得到自动化处理，这些任务与制造实际产品时的材料管理、人力和设备资源管理密切相关。

PDM 和 ERP 系统的管理对象不同，体系结构也有很大的区别^[75]。两个系统各自有不同的数据存取方式、访问权限、发送手段、恢复程序相传送数据的方法，通常两个系统所涉及的数据是不同类型的、即使对相同的信息也提供了不同的视图，各自有不同的理解，造成了两个系统信息交换的困难^[76]。

（1）管理所侧重的范围不同、使用的人员不同

PDM 是管理所有与产品相关的信息和过程的技术，主要服务于工程设计人员和工程管理人员；ERP 是为组织、协调、计划与控制企业的生产经营活动所采用的生产管理技术。它主要强调对企业的人、时、物、产、供、销和质量等资源的管理，关心这些资源的调度、使用和增值，主要服务于企业财会人员、采购机构、生产规划者或管理决策者；很明显，ERP 主要应用于生产制造阶段与经营管理，而 PDM 则多应用于产品开发的全过程，从产品的概念设计，产品详细设计一直延伸到生产与后勤管理阶段，二者管理所侧重的范围不同，使用的人员不同。

（2）管理的数据对象不同

PDM 管理的产品对象信息是异构数据，数据结构复杂，种类繁多，有 CAD 文件、CAPP 表格、三维几何模型、二维工程图纸、扫描图象等非结构化文档、产品结构化信息和过程信息等。而 ERP 管理数据的类型是简单的数据库信息，如字符串、数字报表等；即使对相同的数据二者也有不同的理解或所侧重的面不同，例如对供应商数据，PDM 关心的是材料、零件、成套设备等的性能、技术含量、几何形状、使用方法等，

而 ERP 系统则关心的是供应的能力，如供应时间、运输距离和价格等。

(3) 采用的软件技术不同

产品信息往往来自不同的软件供应商提供的多种应用软件系统，这样产生了类型各异的设计异构数据，ERP 系统采用单个统一的数据模式，不同程序模块都属于 ERP 内部的应用程序，处理的是同一零件主表和材料清单。

4.4.2 PDM 和 ERP 集成困难

在过去的几年里，在制造业的领域中，为实现 PDM 和 ERP 的集成做了巨大的努力，但迄今为止还没有找到最好的技术途径^[77-78]。目前 PDM 与 ERP 系统集成存在的一些主要问题包括^[79]：

(1) 在集成的两个系统之间没有一个统一完备的信息描述，难以做到信息的完全共享。目前很多系统之间的集成仅仅只是通过数据文件来实现系统集成，只能共享有限的信息。

(2) 难以实现两个系统之间的过程集成。在串行工作环境中，信息流动是单向的，设计、制造过程中的信息不需要交流和反馈，而并行工程要求产品开发设计人员从一开始就考虑产品整个生命周期中的所有因素，包括质量、成本、进度计划和用户，PDM 和 ERP 的分别实施使设计和制造过程缺乏必要与及时的信息反馈。

(3) 系统集成之间信息的控制问题，即由谁来产生数据以及控制共同拥有的信息。

(4) 组织障碍，使用 PDM 和 ERP 系统部门之间较难接受对方的思想，人为因素阻碍了系统之间集成，这也是一个不容忽视的方面。

集成 PDM 和 ERP 系统无疑是满足企业对产品信息管理、过程管理和生产经营管理需求的最佳解决方案。但人们在系统中应该如何连接，以及什么部门应该在控制什么信息等问题上达成一致，这不是技术问题，而往往是企业内管理和文化问题。

4.4.3 PDM 与 ERP 集成基础-BOM 表

ERP 系统的核心是产品结构，在 ERP 系统中必须定义车间级的零件和整个生产组装过程，这些信息通过规划视图来管理生产和装配，所以它是面向材料和生产过程的，是计划状态的；同样产品结构也是 PDM 的中心，设计工程师开发出来的设计视图更多地强调产品的功能和如何进行配置，产品结构和相应文档及设计过程配合起来提供完整的面向产品的定义，是设计状态的。因此，PDM 和 ERP 二大系统的信息交汇处是产品的材料清单 BOM 及工艺汇总表。随着 PDM 和 ERP 两个系统的不断扩展，两个系统在产品结构管理上出现了大面积的重叠。很自然许多企业使用上述 PDM 和 ERP 的两个视图，通过产品结构把它们集成在一起。有人研究企业集成环境下支持变型设计的 BOM 存储和处理新策略^[80]。

一个产品要经过工程设计、工艺制造设计、生产制造三个过程才能形成。而这三个过程只是产品生命周期的一小部份。在这三个过程中，虽然它们有着十分相似的物料清单：工程设计物料清单 EBOM(Engineering Bill Of Material)；制造物料清单 PBOM (Produce Bill of Material)；成本物料清单 CBOM (Costing Bill Of Material)，但正是这些物料清单中小小的一点差异却决定了它们各自的专业技术和管理思维方式。

EBOM: EBOM 是产品工程设计管理中使用的数据结构，它通常精确地描述了产品设计指标和零件与零件之间的设计关系。

PBOM: PBOM 是工艺工程师根据工厂的加工水平和能力，对 EBOM 再设计出来的。它用于工艺设计和生产制造管理，使用它可以明确地了解零件与零件之间的制造关系，跟踪零件是如何制造出来的，在哪里制造，由谁制造，用什么制造等信息。同时 PBOM 也是 ERP 生产管理的关键管理数据结构之一。

CBOM: CBOM 是由 MRP II 系统产生出来的，当企业定义了零件的标准成本、建议成本、现行成本的管理标准后，系统通过对 PBOM 和加工中心的累加自动地生成 CBOM。它用于制造成本控制与成本差异分析。

在产品工程设计时技术开发部门是按 EBOM 的思路管理工程项目设计小组，工艺设计部门是按 PBOM 和加工路线的思路管理工艺项目设计小组，制造和成本管理却是按着 CBOM 的思路控制生产成本的。

迄今为止，我们仅抽象地描述了物料清单的结构，致使不少人对它应用的理解产生了偏差。将 EBOM 输入到 ERP 系统使实施陷入困境的例子是存在的。

采用 PDM 软件可以将 CAD 与 CAPP 两个系统设计在同一个 PDM 系统上运行。两个系统通过电子数据交换共享产品设计。ERP 通过 PDM 的应用程序接口 (API) 与 CAD、CAPP 共享数据。

在制造信息系统的集成中，BOM 发挥着关键的纽带作用。CAD 传递到 CAPP 最主要的信息是工程 BOM(EBOM)。在 PDM 平台上，EBOM 用产品结构树来描述，EBOM 不仅包含零部件的属性信息，例如图号、名称、材料等，而且反映了设计状态的产品装配关系，包括父子结构和设计数量等。CAPP 读入 EBOM，经过加工和装配工艺设计，一方面生成各种工艺文件，另一方面可视化调整 EBOM 结构树，完成虚拟加工和虚拟装配，最终向 ERP 提供了零件主记录、加工路线报告和制造 BOM (MBOM) 三项重要的信息。

4.4.4 PDM 和 ERP 集成方法

PDM 和 ERP 的集成大多集中在把相互独立的 PDM 系统和 ERP 系统之间的数据进行转换。现今最先进的 ERP 系统已经可以把产品数据和相关的文档同 PDM 系统进行无缝的双向传输，这保证了产品数据在两个系统间的往来，并使采购条目的细节以

一致的和最新的格式传送到 PDM 系统中。另外，当设计新产品或对旧产品进行修改时，相关数据将自动传输并呈现在 ERP 系统中。ERP 和 PDM 系统间统一的界面允许产品设计信息在组织内外的各区域和用户之间进行控制和分发。ERP 系统维护所有的在两个系统中与同步生产信息相关的错误信息和 log 文件，并提供查询和确定同步生产过程状态的标准的工具。

最重要的是要找到正确的集成方法，目前有些企业在 PDM 和 ERP 的集成上已经取得了一些成果：(1)采用直接交换的方式，通过转换器将 PDM 的产品结构直接发送给 ERP 系统；(2)采用双向数据传送接口方式，工程设计和制造部门的人员分别在各自的系统中工作，又可同时访问对方系统数据库的信息；(3)建立共享数据库方式，把 PDM 和 ERP 重叠的信息放在同一个共享数据库中，供两个系统共享^[81-83]。

最新发展是 PDM 和 ERP 系统的集成平台均采用数据仓库(Data Warehousing, Dw)技术，首先将企业数据库中的数据在较高层次上综合、归类，并进行分析和抽象，将这些需要查询和参与决策的信息都存放在数据仓库中，实现信息共享，信息透明、过程透明，以便支持横跨整个企业的所有部门的决策处理系统。一个完全分布式的数据仓库能够允许用户迅速无缝地访问企业的产品对象和经营决策信息，而不用考虑用户和数据的物理位置。

不同企业的产品，生产方式，加工方法以及信息转换的手段等都不相同，因此，不存在现成的、单一的、最好的集成策略，企业要根据需求制定各自的方案，只有仔细分析企业的具体运作方式、目标和流程，确定哪些数据要在两个系统中共享和交换，确保正确的信息，以正确的格式，在正确的时间内传送到正确的人手中，这就是最好的、成功的集成。

4.4.5 基于产品结构工作流的 PDM 与 ERP 集成

本节提出一个基于产品结构工作流的 PDM 与 ERP 集成的新方法，PDM 作为一种使能技术，可以有效的支持产品的形成过程，主要通过信息逻辑的约束关系，来指导执行或实现信息逻辑的过程开展，而 ERP 系统作为现代管理思想，对企业活动中和制造有关的所有资源与过程进行统一管理，通过为产品的形成过程提供实体资源，主要用于生产制造阶段和后勤管理。

产品的设计和制造过程是一个动态变化的过程，从并行工程角度来讲，设计活动只有细化到可操作的程度，才可能并行展开工作。从优化的角度来讲，设计活动又是不断反复，不断前进的过程。每项设计活动可以看作一项任务，用户在使用系统过程中需要按时完成的一系列活动都可称为任务。针对不同的视角，引入两个概念对工作流程加以描述：

任务流：任务从创建到不断细化再到完成的全过程，将具体的工作分解后在适当

的时间下达给适当的人，使工作能够按时完成。这是从并行工程角度分析设计过程，这种不确定型类型的流程特点是很少具有回滚等异常操作，但在流程的逻辑执行过程中可能发行变化，任务先后关系定义较松散，要求人为调度、控制较多，工作流程管理系统提供辅助监控能力。

工作流：文档从创建到不断反复优化改进再到归档的全过程，由若干步骤组成，这些步骤构成一个有向图，前后有固定的时序逻辑。这主要是从产品生成优化角度分析设计过程。这类工作流程管理多为确定型，在流程的时序逻辑执行过程中很少发行变化，但回滚等异常操作较多，对执行的可靠性要求高，要求工作流程管理系统的调度、监控能力强。

这里需要指出的是，这里定义的工作流与工作流管理联盟（Workflow management coalition）提出的工作流有所差别，该联盟是把经营过程中由计算机系统自动执行的那部分称为工作流。实际上是指工作流程管理系统控制其执行的所有过程，其应该包含了上述的任务流和工作流。

无论是任务流，还是工作流，实质上都是产品生成过程中信息的处理和流动过程。这些信息根据不同的作用可分为三类，应用信息作为产品生成过程这条流水线上的主体，是产品生成活动的操作对象，也是产品生成活动所追求的结果；控制信息则是系统用来控制产品生成过程中实例的状态和工作方式；关联信息则由用户定义产品生成过程中应用信息的数据流向或流动的判断条件。

从产品全生命周期考虑，建立一套基于产品结构的流程管理模型，在完成设计任务的同时，完成对产品结构的管理，实现设计、制造工作管理的高效、统一和优化。

通过以上的分析，建立如图 4.7 所示的 PDM-ERP 集成系统总体框架图。

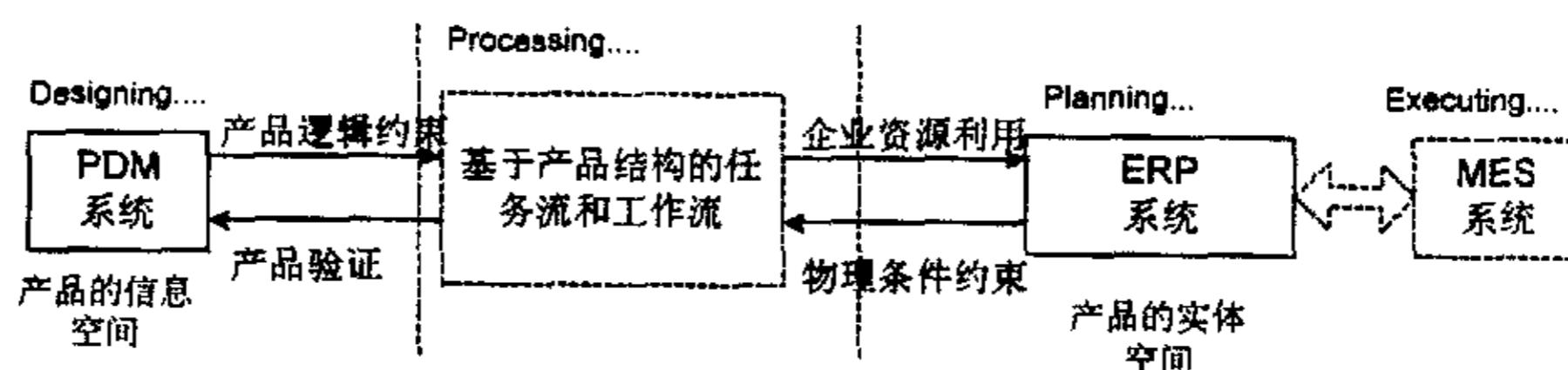


图 4.7 基于产品结构工作流的 PDM 与 ERP 集成

在图 4.7 中，将 PDM 领域表示为产品的信息空间，将 ERP 涉及的领域表征成产品组成的实体空间，那么，将 PDM 和 ERP 集成在一起的是工作流管理系统，每个产品的形成过程就是一个表征从信息空间映射到实体空间的过程。

其工作过程分三个阶段：

- (1) 根据 PDM 系统中产品结构和产品设计信息的逻辑约束关系，在 PDM 中进行任务的分配、项目管理和产品工艺设计过程和阶段。
- (2) 根据 ERP 系统中的客户订单、主生产计划、能力需求计划、车间作业计划以

及各种企业资源占用情况，结合（1）制定的工作流计划进行不同程度的调整，最终确定准备执行的工作任务和工作流。

（3）在工作任务和工作流的实施过程中（由 MES 具体实施），由于企业内外环境和企业活动中偶发事件的影响，必须对原定的工作任务和工作流进行调整，重新制定工作流程并确定资源。

这种基于产品数据的工作流的集成模式，并不是如上所说的集成方式中将其他系统的数据输入或输出到自己或别的系统的管理范围中。而是根据产品全生命周期的生成过程，根据任务和工作流程的目标，对原隶属的系统进行调度和利用，这样避免了跨系统信息管理的复杂性。

在 PDM-ERP 集成系统中，利用工作流架起了 PDM、ERP、MES 各个系统之间的桥梁，承载了信息流和物料流，对 PDM 系统中信息逻辑的约束关系和 ERP 领域中企业资源进行匹配和协调。因此，利用两个系统中的优势，针对具体的产品的过程需求，扩大了各自的作用范围和领域，使系统充分发挥其作用，共同强化对目标的约束和指导，在目标一致、协同调度的基础上实现设计领域、管理领域、制造领域的集成。在产品的制造中，实现了基于过程重组的敏捷制造，保证了产品的产生是产品信息和制造资源并行指导和支持的过程，提升了工程实践和信息逻辑之间的可行性。动态的任务流和工作流管理是集成环境中过程的资源配置、人员布置、开展活动的软总线，是保证从产品概念形式顺利转变到实体形式的桥梁。

鉴于工作流管理中所管理的对象的异构性和对象之间互操作的复杂性，PDM-ERP 集成系统的运作必须提供基于异构环境和异构平台的统一环境，我们可以采用基于 CORBA 机制的“中间件”的技术^[84]，来实现这种集成，如图 4.8 所示。

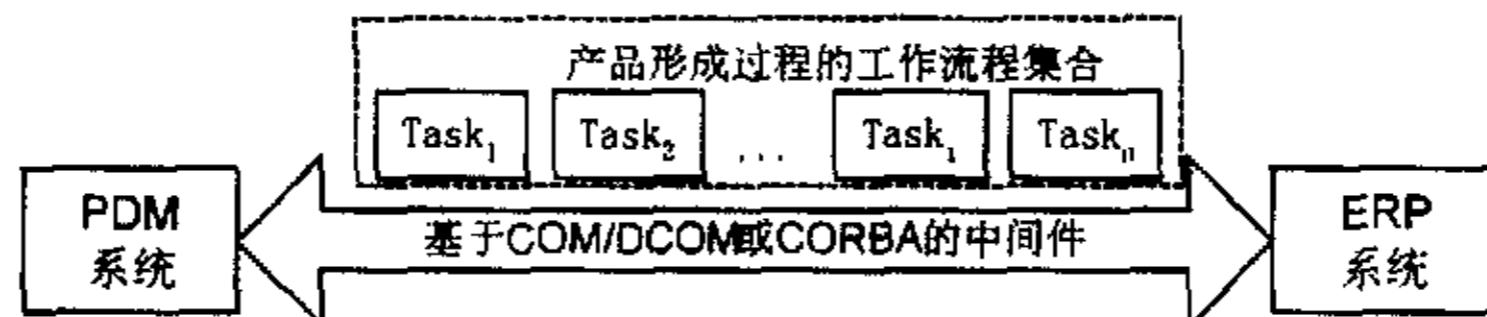


图 4.8 基于中间件的 PDM-ERP 集成系统运作框图

4.5 ERP 与电子商务的集成技术

企业为了在竞争中取胜，对市场信息的采集以及响应速度将会是取胜的关键，它迫使企业加强以网络技术（包括 Internet 和 intranet）和提高信息的自动化处理能力为中心的技术改造和信息集成，将整个企业的商务活动和生产活动集成在一个统一的基于网络的信息系统中^[85]。

以互联网为核心的技术革命，正给人类工作、生活乃至生存带来巨大变化。电子交易（e-commerce）、电子商务（e-business）、电子协作（e-collaboration）、网络经济（net-company）等各种新名词层出不穷。但是随着美国纳斯达克股市跌荡，电子商

务企业又似乎成了烧钱的标记。在这里，所讨论的电子商务并不是片面的停留在“互联网与网站”本身，片面地追求点击率、界面吸引力、浏览速度、会员数量、页面浏览率等等，这些指标无法使这些网站取得利润，也无法取代衡量企业价值的传统标准。

电子商务是一种能提高商务效率，减少商务成本的“新工具”。电子商务利用 Internet、Intranet、Extranet 来解决商业交易问题，降低产、供、销成本，开拓新的市场，创造新的商机，通过采用最新网络技术手段，从而增加企业利润的所有商业活动。

电子商务无论从深度上还是从广度上，都强烈地冲击着传统的管理模式，对传统的管理理论和方法带来了严峻的挑战，同时也产生了许多新的管理问题^[36]。

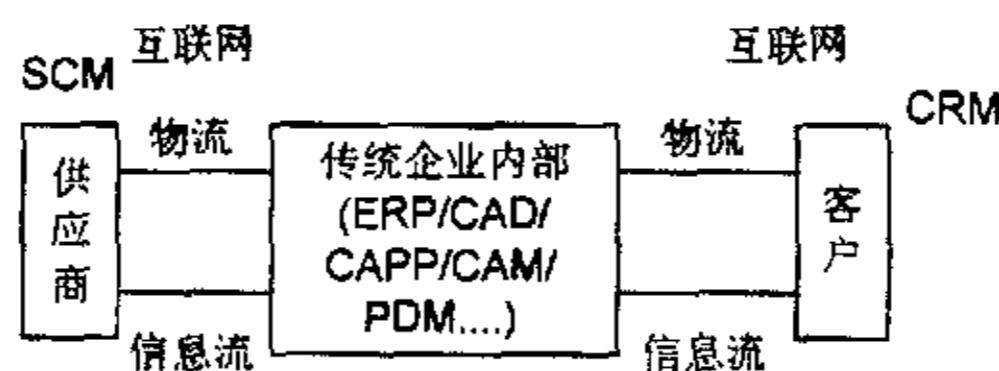


图 4.9 传统企业的电子商务扩展

从图 4.9 中可以看到，一个完整的电子商务应该是一个采用了互联网技术的传统企业或组织。也就是旧经济体制下延伸出来的新平台。通过采用先进的互联网技术使得信息交流更容易更流畅。再配以企业内部的高效生产和畅通的物流配送。减少流通环节，降低交易成本；加快资金周转速度；提高市场营销能力，拓展国内外市场；方便客户信息记录，改善客户服务体系，增强客户关系管理；促进企业从面向生产的管理转为面向市场的管理。

4.5.1 目前集成化信息系统的现状

目前企业的集成化信息系统是一个封闭的自动化系统，它虽然很好地解决了企业内部各个子系统之间的横向集成，但对外部环境的变化缺乏敏捷性，因为它只具有对企业内部的信息流的自动化处理能力。

目前企业信息处理能力的不足所在：其内部的信息自动化程度很高，但是与外部进行协调交流的信息处理能力明显不足，在目前市场信息庞杂和客户需求多样化的激烈竞争中，它根本不能满足企业处理大量的个性化需求信息的要求。企业对外部信息的处理速度和企业与市场的信息交流方式已成为制约企业竞争力的瓶颈。

目前很多制造企业都在建立自己的电子商务系统。建立电子商务系统必须能够实现与企业内部信息系统的集成，即实现电子商务系统、企业管理系统、生产设备控制系统之间的纵向集成。企业内外信息系统的纵向集成将是迈向“下一代制造”的第一步，而电子商务与制造企业内部的信息系统成功集成，充分发挥现有系统的信息自动化处理能力将是这一步的关键所在，它将使企业信息系统变成一个开放式自动化信息处理系统。

4.5.2企业实施电子商务的步骤

目前许多企业在建设 ERP 系统与电子商务系统中存在许多问题，主要表现在以下几点：(1)电子商务与 ERP 被分裂开来，没有统一规划和统一设计；(2)两个系统下的采购数据、销售数据和财务数据没有进行合并，使数据失去一致性和完整性；(3)软件资源、硬件资源和数据资源没有充分共享，造成建设成本过高和存储空间浪费；(4)把电子商务片面理解成电子商店或仅仅建立一个网站；(5)ERP 直接采用市场上的商品软件，而电子商务则自己开发，不能实现两者的会话与集成。

4.5.3ERP 与电子商务实现整合

“整合”是从企业管理学中借用而来，是指企业根据发展战略和业务流程，合并、撤消或增加一些业务部门，包括水平整合和垂直整合。电子商务与 ERP 的整合需要有业务流程重组相配合，同时，也要求应用软件各模块的合理划分和有机集成。

(1) ERP 与电子商务的业务差异分析

ERP 系统作用于企业整个业务流程，它的应用层次有三个：决策层的数据查询与综合分析、中间层的管理与控制、作业层的业务实现。而电子商务主要在于作业层的业务实现，具体来讲，是采购、销售、人事管理的网上实现，也包括为市场营销提供网上辅助手段。例如，网上广告发布、网上消费问卷调查等^[87]。

(2) ERP 与电子商务的结合点

根据企业目前的内外部条件，企业在引进电子商务时，不会完全摒弃传统的采购、销售及管理模式，仅仅使用网上模式，而是两种模式、两个系统会共同存在，互为补充。当然，在今后网上模式会越来越占优势。

在实现两者整合时，ERP 方面应优先考虑采购、生产计划、市场营销、销售、库存、财务等与物流、资金流密切相关的模块，电子商务方面应考虑网站管理、网上销售、网上采购和网上资金收付等模块，把这些模块集成到一起，构成一个新的应用系统，即为整合系统。整合系统要为今后模块的扩充留有接口。

在进行系统设计时，要充分考虑到：传统销售模式和网上销售模式都必须能够为市场需求和供给分析提供数字依据；两种模式可以共享现有的和未来的数据库；两种模式下的资金收入与支出都应该反映到财务分析中去。

整合系统的结构划分角度众多，比如从系统的应用层次进行划分、从两者的拓扑结构进行划分、从系统的功能模块进行划分等。笔者从整合系统的功能模块划分角度提出两者的整合结构图（如图 4.10 所示）

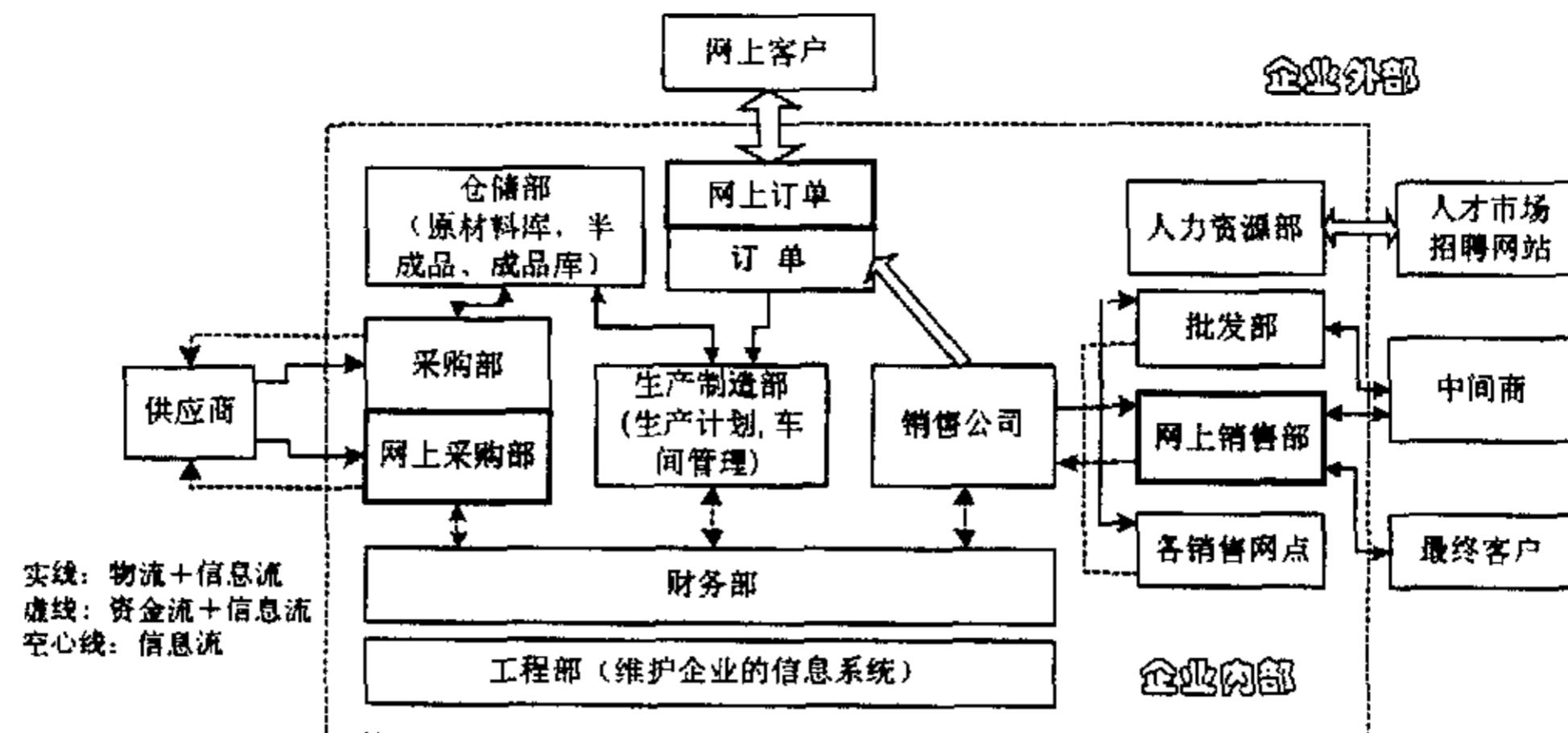


图 4.10 ERP 系统与电子商务整合结构图

根据图 4.10，在实现两者的整合时，ERP 方面应优先考虑采购、销售、库存、财务等与物流、资金流密切相关的模块，电子商务方面应虑网站管理模块、网上销售模块、网上采购模块和网上资金收付模块，把两者的这些模块集成到一起，构成一个新的应用系统，可以称之为整合系统。图 4.11 是开放式企业集成化信息系统。

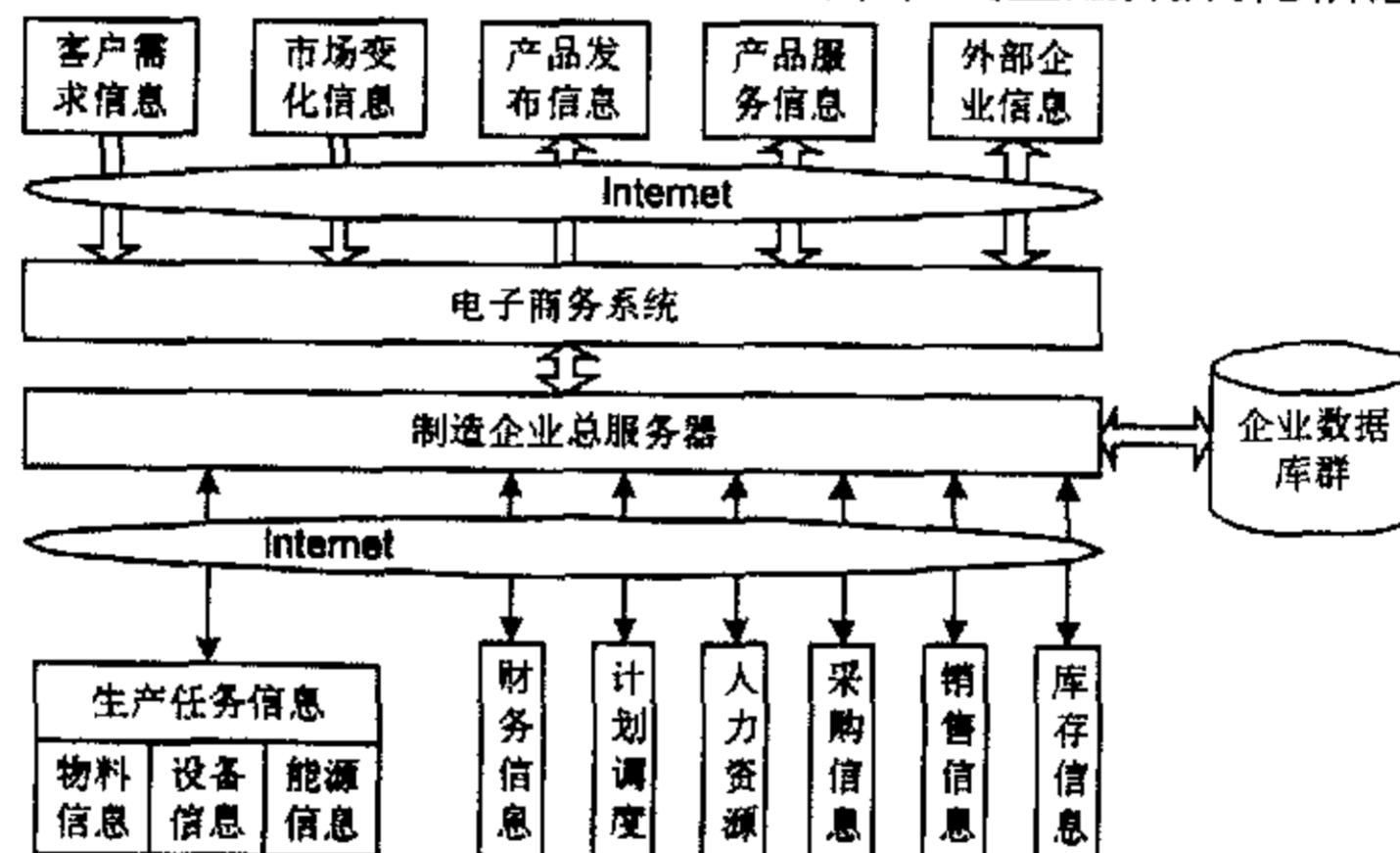


图 4.11 开放式企业集成化信息系统框图

在进行开放式企业集成化信息系统设计时，要充分考虑到：

(1) 传统销售模式和网上销售模式都必须对同一产品库存进行减量，两种模式下的销售额都必须反映到市场营销部，并在市场营销部进行汇总，为市场需求分析提供数字依据；

(2) 传统采购模式和网上采购模式都必须对同一投入品库存进行加量，两种模式下的采购额都必须反映到计划与生产部，并在该部门进行汇总，为市场供给分析提供数字依据；

(3) 两种模式可以共享投入品编号或产品编号数据库、供应商数据库、客户数据库和其他相关数据库;

(4) 两种模式下的资金收入与支出(包括应收应付)都必须反映到财务部。在财

务部进行汇总，并做一些财务指标分析；

(5) 人事部应该具备传统的人事管理职能与 Internet 所赋予的现代人事管理职能，也就是说，一方面要保证企业内部人员的合理配置，快速有效地完成诸如招聘、考核等传统职能；另一方面要建立企业自己的网上人才信息库，要加强与猎头公司及各类招聘网站的合作，保证自己的人才信息库的及时更新与维护。

从上面得知，在两种模式并存的情况下，如果电子商务与 ERP 不进行整合，就很难保证企业物流。资金流和信息流的有机统一，也很难保证数据的一致性、完整性和准确性。

把电子商务和企业资源计划的整合系统引入企业，既是一种技术有效性的需要，也是一种经营管理创新。无论是计划进行 ERP 系统升级的企业，还是打算上马 ERP 系统的企业，在进行系统设计时都要充分考虑企业未来的发展方向，规划好电子商务和 ERP 系统的整合，只有这样才能不被世界潮流所淘汰。

4.6 本章小结

ERP 系统与其它系统的集成是为了充分发挥 ERP 系统的作用，集成企业各方面支持产品全生命周期的各种信息，使得信息流动处于一种有序、可控的状态。不仅要保证信息的全面性，还要保证信息的可靠性、一致性。实现信息集成、功能集成、过程集成，进而达到企业内外的集成。本章从以下几个方面进行了深入的研究：

(1) 全面阐述了 PDM 与 3C 的集成，给出了基于 PDM 的 CAX 的集成框图，通过 PDM 系统与各 CAX 工具软件之间的进行集成。

(2) 作为 ERP 的执行系统的制造执行系统 (MES)，在分析了 MES 系统的功能模块的基础上，提出了基于数据流的 MES 与 ERP 系统的集成。

(3) 全面分析了 PDM 和 ERP 之间的区别和联系，在分析了 PDM 和 ERP 集成困难、集成基础，集成方法，特别阐述了作为集成基础的产品结构 (BOM) 的基础上，分析了产品生成各个阶段的不同的 BOM 表，提出了基于产品结构工作流的 PDM-ERP 的集成框架。

(4) 把电子商务和企业资源计划的整合系统引入企业，提出了完整的企业集成化信息系统，将整个企业的商务活动和生产活动集成在一个统一的基于网络的信息系统中。

总之，本章是以产品全生命周期中的产品生成过程作主线，从 PDM 系统的产品设计信息，到 ERP 系统中的计划信息，到 MES 系统的产品实施信息，从表征产品的信息空间到表征产品的实体空间进行集成，最后在 Internet 环境下，使电子商务与企业的内部系统进行整合。

第5章 应用实例

5.1 应用背景

在理论研究和探索的同时，与企业应用相结合是工学研究生最好的实践途径。

苏州六六视觉科技股份有限公司，始建于 1956 年，是当今中国规模最大，设备先进，技术力量雄厚的“鹤牌”眼科设备生产基地，江苏省高新技术企业，全国医疗器械行业三强之一，主要从事“鹤牌”眼科医疗器械的研发、制造、销售和服务。初步建立了集二维绘图、三维造型、数控加工编程、产品设计流程管理和产品数据管理 PDM 系统为一体的产品设计开发网络环境。与 CAD、PDM 集成的计算机辅助工艺规划系统 CAPP 也已经合作开发成功^[88]。

从 1999 年 5 月开始，列入江苏省首批中小型企业信息化示范工程，其企业信息化进程分为两个阶段：

第一阶段：1998 年～2001 年 7 月，产品设计的信息化建设。

1998 年到 1999 年，进行技术中心的二维 CAD、三维 CAD、CAM 的建设，与此内容有关的项目列入江苏省 CAD 应用示范工程；

1999 年 5 月到 2000 年 5 月，进行 PDM 系统的项目建设，主要在技术中心；

2000 年 4 月到 2001 年 7 月，进行 CAPP 系统的项目建设，主要在技术中心；

第二阶段：2001 年 8 月～2004 年 12 月，企业管理的信息化建设。

2001 年 8 月 2002 年 3 月，进行苏州六六视觉科技股份有限公司 CRM 系统的项目建设，主要在销售公司进行实施；

2002 年 4 月到 2004 年 12 月，进行苏州六六视觉科技股份有限公司的 ERP 项目的建设，在整个企业范围之内。

本人从 2003 年 6 月开始，参与了苏州六六视觉科技股份有限公司信息化项目建设。

5.2 ERP 技术的应用

5.2.1 总体目标

六六公司企业总目标：推进现代化管理的模式和使用现代化管理的手段，建成企业的基于 INTRANET 的企业信息系统，实现信息的快速传递和处理，以便及时作出反应，从而实现及时和完善的客户服务；强调服务观念，主动向客户提供完善的服务；以信息系统为基础，实现制造系统良好的柔性机制，实现完善的计划体系，达到快速

应变和反应的目的。建立起完善企业制度体系，使企业在制度化下良性运行。具体技术目标：

- (1) 将并行工程、精益生产方式和合理化工程等先进的制造和管理技术吸收到企业信息化工程中并应用于实践，实现人、组织和技术的总体集成和优化；
- (2) 建立基于 PDM 环境下的 CAD/CAPP/CAM 一体化设计体系，实现产品设计、工艺编制的无纸化；形成支持 WEB 的协同设计的制造管理系统；
- (3) 建立面向企业发展战略的具有可扩充和开放性的计算机网络与数据库系统，将公司各个组成部分有机地集成起来，并与 INTERNET 网联接；
- (4) 建立基于网络环境下的集产品开发、生产管理、质量管理、财务管理、销售管理、人事培训及经营决策管理一体的 ERP 系统，并实现与 PDM 系统的集成；
- (5) 进一步巩固现有的计算机应用成果，开拓新的计算机应用领域，培养出一支既具有实际工作能力又具备较高理论水平的计算机应用队伍，更大幅度地提高企业的经济效益。

5.2.2ERP 系统需求分析

企业要实现信息化，除去产品 CAD 设计、CAPP 工艺设计与 PDM 工程数据管理的信息化以外，就企业的资源规划系统而言，一般至少应实现以下六个基本目标和三个扩充目标。

1. 生产规划

让企业以最优水平生产，并同时兼顾生产弹性，生产计划应具有可预测性和可更改性。包括主生产规划、物料需求计划、生产控制及制造能力计划、车间作业管理。

协助企业有效地控制管理物料，以降低存货成本。包括采购管理、库存管理及控制等。

2. 销售与分销系统

协助企业迅速地掌握市场信息，以便对顾客需求做出最快速的反应。包括销售管理、订单管理、发货运输、发票管理、业务信息系统、客户关系管理与服务支持系统。

3. 财务会计与财务分析

提供企业更精确、跨国且实时的财务信息和分析数据与结果。包括间接成本管理、产品成本会计、利润分析、投资管理、应收应付帐款管理、固定资产管理、一般流水帐、特殊流水帐、作业成本、总公司汇总帐和各种分类帐。另外该模块还应具有财务预算的功能，以管理今后的资本运行策略。

4. 质量管理

应将已建立的 ISO9000 质量管理体系整合进这个系统，包括质量控制的各个环节，而不仅仅是检验收货、最终成品的入库以及废品率的统计，这个系统应符合 ISO9000

质量管理体系标准的规定，同时有必须具有开放性以便支持质量管理的流程的更改，各种质量控制的数据应按设定的流程在系统中进行自动的提交、审批、发布、保存以及灵活的查询。

5. 设备管理、维护与能力保证

应可以管理企业所有生产设备的运转状况，分类建立企业的设备台帐，符合有关 ISO9000 体系中有关设备控制的内容，能够管理设备的维护、跟踪设备的维护历史，最重要的是能够保证设备的生产能力、维护产能的基本数据、能够及时地知道设备的运转情况，并且可以实现与生产系统有关能力需求计划管理模块的紧密集成。

6. 人事管理

应可以提供符合中国国情的人事招聘、绩效评估、培训与发展计划、薪资、档案、保险、公积金等管理系统的整合，薪资的控制应可以按产品成本、管理费用等进行归集，应可以实现与财务系统的无缝集成。

7. 企业决策支持管理系统

提供决策者更实时有用的决策信息。包括决策支持系统、企业计划与预算系统、投资与获利分析、利润中心会计系统。

8. 办公自动化（OA）

应以工作流合理化为原则，以无纸化工作为目标，发布各种信息和公告，建立起企业的内部消息系统，建立起企业的内部网页，企业内部所有 OFFICE 的员工可以浏览网页，建立起企业内部的邮件系统，这个邮件系统可以分配给所有必要的员工每一个人一个邮件地址，该地址可以通过企业的邮件系统接收和发送 INTERNET 上的电子邮件，同时应将 ISO9000 质量体系的文档与资料管理整合入这个系统，实现网上发布和更改。

9. 电子商务和 ERP 系统的前瞻性

(1) 与已经实施的产品数据管理系统 PDM 和计算机辅助工艺规划 CAPP 系统的无缝连接，实现产品数据和工艺基础数据向 ERP 系统的直接输入和获得。

(2) 电子商务的发展和系统对未来电子商务的支持，将 ERP 系统作为电子商务的核心支持和稳固的后台系统，因此要求 ERP 系统应支持开放的 Internet 技术和基于 Internet 的计算与应用。

(3) 对基于 Internet 技术的各种自助服务（员工、客户、供应商）的支持。

(4) 建立.cn 的站点，该站点的主机位于公司内（厂内），通过微波通讯手段和苏州本地的服务商相联然后直接接入上海的国际出口，因此 ERP 系统应支持该站点的访问。

5.2.3 企业信息化 ERP 实施原则

集制造资源计划和客户关系管理的优势，对六六视觉科技的企业信息化进行实施。

在实施过程中应遵循以下原则：(1)以满足公司信息化需求为原则；(2)ERP 与 CRM 无缝集成的原则；(3)遵循项目计划原则；(4)最终客户确认原则；(5)统一规划，分阶段实施、分阶段验收，再下一阶段实施、验收的原则；(6)实施过程可追溯、实施文档可查询原则；(7)实施与监理相结合原则。

5.2.4 ERP 系统的总体设计

(1) 动态总体设计法

企业信息化管理系统是一种典型的开放式系统，在六六公司企业信息化管理系统开发时所采用的“动态总体设计法”充分地考虑了系统的开放性。采用“动态总体设计法”进行企业信息化管理系统的总体设计时，首先提出系统的总体框架及各重要组成部分的重要联系，然后根据企业的实际需要开发其中部分分系统。如图 5.1。

(2) 进度计划

如图 5.2 给出了六六公司 ERP 系统实施进度和培训计划。

ERP 阶段划分为如下六个阶段：项目启动、业务流程分析及诊断、原型建立与测试、功能模块实施、集成运行及改进、项目验收。ERP 阶段实施周期为 8 个月左右，包括与 CRM 的集成时间。

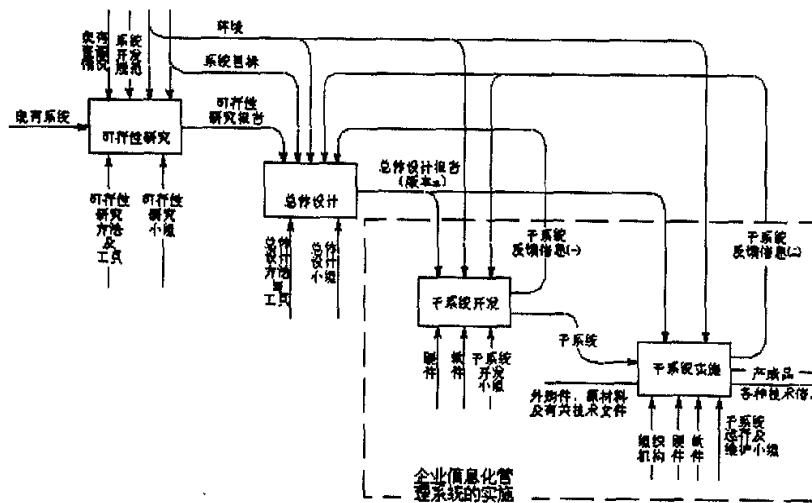


图 5.1 动态总体设计法

领导层培训		项目管理培训	软件产品培训		程序员培训		继续扩大培训		
企业诊断	需求分析与 投资效益分析	选择 软件	硬件及系统员培训						
	项目组织	设 计 制 造 管 理		系统安 装调试		软件质 量测试			
				模拟运行及用户化					
		工作面分工—工作 规划		阶段 验收		分步切换 运行			
				业绩评价改 进方案					
前期工作(3到6个月)		实施准备		模拟运行及用户化		初步运行		新系统运行	

图 5.2 ERP 系统实施进度

六六视觉科技 ERP 实施计划大纲如下表：

表 5.1 六六视觉科技 ERP 实施大纲

序号	阶 段	时间 (工作日)	备 注
1	项目启动	10	共 8 个月时间(一个 月按 20 个工作日计)
2	业务流程分析及诊断	30	
3	原型建立与测试	30	
4	功能模块实施	240	
5	集成运行及改进	120	
6	项目验收	5	
7	正常运行及维护	定期上门技 术服务培训	共 6 个月时间

功能模块的实施分以下二步：

表 5.2 ERP 功能模块实施步骤

实施步骤	内 容
第一步	控制中心、基础数据、销售、采购、库存、财务、报表等；
第二步	制造标准、计划、生产控制、设备、检修、工模具、人力资源、质量、计量、供需链、CIM 接口(包括 ERP 与 PDM、CAPP、人工晶体条形码管理、BT-SFA 的集成)等

(3) 实施 ERP 的项目组织结构

ERP 项目的组织结构如图 5.3 所示。

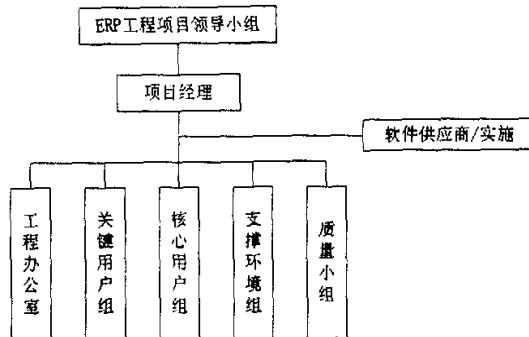


图 5.3 ERP 项目的组织结构图

工程项目领导小组由公司的高级管理人员组成，其主要职责：制定方针策略，指导项目经理和各业务组的工作；审定项目目标、范围及评价考核标准；确定组织结构及主要人员；批准项目计划，监控项目进程，协调工程实施；为保证项目实施提供必要的财政保证；研究确立企业业务流程与组织机构的优化与重组；审批新系统的工作准则与工作规程，保证项目能够正常进行。

项目经理由企业人员担任，对企业各方面的情况有深刻的理解，对企业各业务部门有很好的协调能力，最好有工程项目管理经验。

核心用户组由具有应用 IT 方面的背景，最好在企业中从事过计算机应用和开发工作，对企业主要业务要有一定了解。

关键用户组由每个业务部门业务骨干组成，每个业务部门 1~2 人，要求对本部门主要业务以及其它部门相关联的业务熟悉。对关键用户，要保证至少 50% 工作时间完成 ERP 实施任务。用通俗的话来讲，就是关键用户要选“忙人”，要让“忙人更忙”。

具体的业务部门的组成见下表：

表 5.3 六六视觉业务部门的关键用户组的人员配备

业务部门	人数	具体负责内容
财务科	2	主要参与财务（总帐、现金、应收、应付、固定资产、税务、成本等）的实施
经营科、外经科	1	主要参与销售的实施
生供科	3	主要参与企业计划的实施
计质科	1	主要参与质量的实施
生供科	2	主要参与库存（含进料加工业务中的报关）的实施
技术中心	1	主要参与制造标准的实施
二分厂		
三分厂		
三车间	各 2 人	主要参与车间任务与车间作业、各部门库存的实施

质量保证小组主要负责 ERP 项目质量保证工作。

工程项目办公室由企业人员担任，从事 ERP 项目联络、文档输入和管理等日常工作。

为了确保 ERP 实施成功，提高 ERP 项目组成员的工作效率，建议建立一套 ERP

项目参加人员管理制度，包括：人员考勤；人员绩效考核和奖惩；内部交流讨论；内部工作流程；内外部人员联系；文档管理和保密等。

5.2.5ERP 系统实施过程中的业务流程重组

企业再造理论的最终构架由迈克尔·海默(M. Hammer)博士与詹姆斯·昌佩(J. Champy)完成。他们在其合著的《再造企业——管理革命的宣言书》(1993)中阐述了这一理论：现代企业普遍存在着“大企业病”，面对日新月异的变化与激烈的竞争，要提高企业的运营状况与效率，迫切需要“脱胎换骨”式的革命，只有这样才能回应生存与发展的挑战；企业再造的首要任务是 BPR——业务流程重组，它是企业重新获得竞争优势与生存活力的有效途径；BPR 的实施又需两大基础，即现代信息技术与高素质的人才，以 BPR 为起点的“企业再造”工程将创造出一个全新的工作世界。

所谓流程，就是企业以输入各种原料和顾客需求为起点到企业创造出对顾客有价值的产品或服务为终点的一系列活动。例如，订单处理流程(Order fulfillment process)，它的输入是顾客的订单（或某种需求想法），其输出是发送的商品、顾客的满意和付款单。在传统的组织中，输入和输出之间的一系列活动是：接收订单、输入计算机、检查顾客的信用、查找仓库产品目标、在仓库配货、包装、送上卡车，等等。对这一系列活动顾客并不关心，顾客关心的只是这一流程的终点，即送到手的商品。如果订单处理所需的时间太长，将无法满足顾客的需要。

哪些系列活动可以看作是一个流程，我们可以用以下几条标准来识别：

- (1) 一个流程有特定的输入和输出。
- (2) 每个流程的执行都要跨越组织内多个部门。哈默说：“如果它不曾让至少三个人感到恼火，那就不是一个流程。”
- (3) 一个流程专注于目标和结果，而不是行动和手段。它是对“什么”的回答，而不是对“怎样”的回答。
- (4) 流程的输入和输出都能被组织中任何一个人轻易地理解。

所有的流程都是与顾客及其需要相关的，流程之间也是相互关联的。根据这几条标准，我们就可以从传统的组织中识别出它的流程。

5.2.6ERP 与 BPR 结合过程

企业总实现 BPR 和 ERP 过程中：

首先要根据当前企业所处的大环境和其原有流程的具体情况，确定准备变革的关键业务和需重组的关键流程，定义重组范围和可以量化的目标，同时融入先进的、最适合自身的管理思想来构建好组合结构、生产流程、规章制度、绩效指标以及岗位职责等业务框架。六六公司在 ERP 实施过程中遇到一个大好的时机，在企业股份制改造

之际，按企业高层管理人员的说法：借股改之际行管理变革之实，借企业进行股份制改造之时机，将 BPR 和 ERP 管理思想和企业管理的理念，通过有关的咨询公司的顾问，融入了企业之中。

第二，建立了理想流程模型。根据已有企业的框架，充分调研行业发展趋势并寻找最佳实践方法、实现思维创新和技术创新，同时借鉴其它企业成功经验和吸收不同模型的优点，设计并形成理想模型。

第三，定义新的流程模型和重新设计与理想模型相适应的组织结构模型和业务流程，定义技术需求，进行投资回报与代价/收益分析和对客户及雇员影响的评估，确定实施方法和项目进度计划等；

第四，选择或开发能够支持新流程的平台，即采用一套好的 ERP 系统将其功能与新的业务流程相匹配，它既能满足企业管理的结构和流程，完成各项管理任务，又能灵活地紧跟瞬变的市场发展来不断改变，以实现可持续发展，这在实施以客户为中心的战略中具有特别重要。

最后，根据已有的 BPR 模型和 ERP 系统构件一套与之相适应的管理信息系统模型，制定合理的实施计划，然后即可用相关的计算机技术来实现集成，最终形成一个完整的企业计算机管理系统。

为此六六公司进行了长达四周的业务流程调研和业务流程的设计。在整个 BPR 工作中，是在借助目标流程的建立和辅助企业实施的过程中完成的。

在六六公司目标业务流程的改进中，为了实现面向“职能”管理到面向“流程”管理的转变，强调以下几点：

(1) 正常业务方面，变“复杂流程”为“简化”流程。

(2) 例外处理方面，变“灰色流程”为“规范”流程。

(3) 在流程执行方面，变“模糊流程”为“明确”流程。落实流程是各项活动的责任部门及责任岗位，在流程中引入必要的监控环节，以保证流程的贯彻与执行。

(4) 引入“共享信息库”、“逻辑管理库”，以“信息单点输入、共享使用”为原则来进行流程之间的关联，努力消除信息孤岛现象，增加信息共享内容、扩大信息共享范围、缩短信息共享时延，全面提高信息共享的水平与质量。

在各大类流程中，改进点主要集中在：

(1) 计划类流程：对产品计划的生成、审核、调整、监控进行闭环式管理，明确并落实信息来源责任；

(2) 采购类流程：实现对采购订单信息流、实物流、资金流的全过程跟踪；

(3) 生产及库存类流程：减少手工计划工作量，实现计划、车间与销售、采购之间的信息及时上传下达，形成双向沟通渠道；

(4) 销售类流程：为订单评审、货物发运等紧要环节减压，将非正常销售业务的处

理纳入规范管理;

(5) 财务类流程: 与业务的信息沟通, 从多口径转向一个口径, 核算内容从粗放式转为对每一笔明细业务的追溯跟踪式核算, 维护并监督业务数据的正确性, 对企业管理及决策提供意见

5.2.7BPR 前的生产流程

以下我们以生产流程为例来说明 BPR 前后的变化。制造部组织结构如下表 5.4:

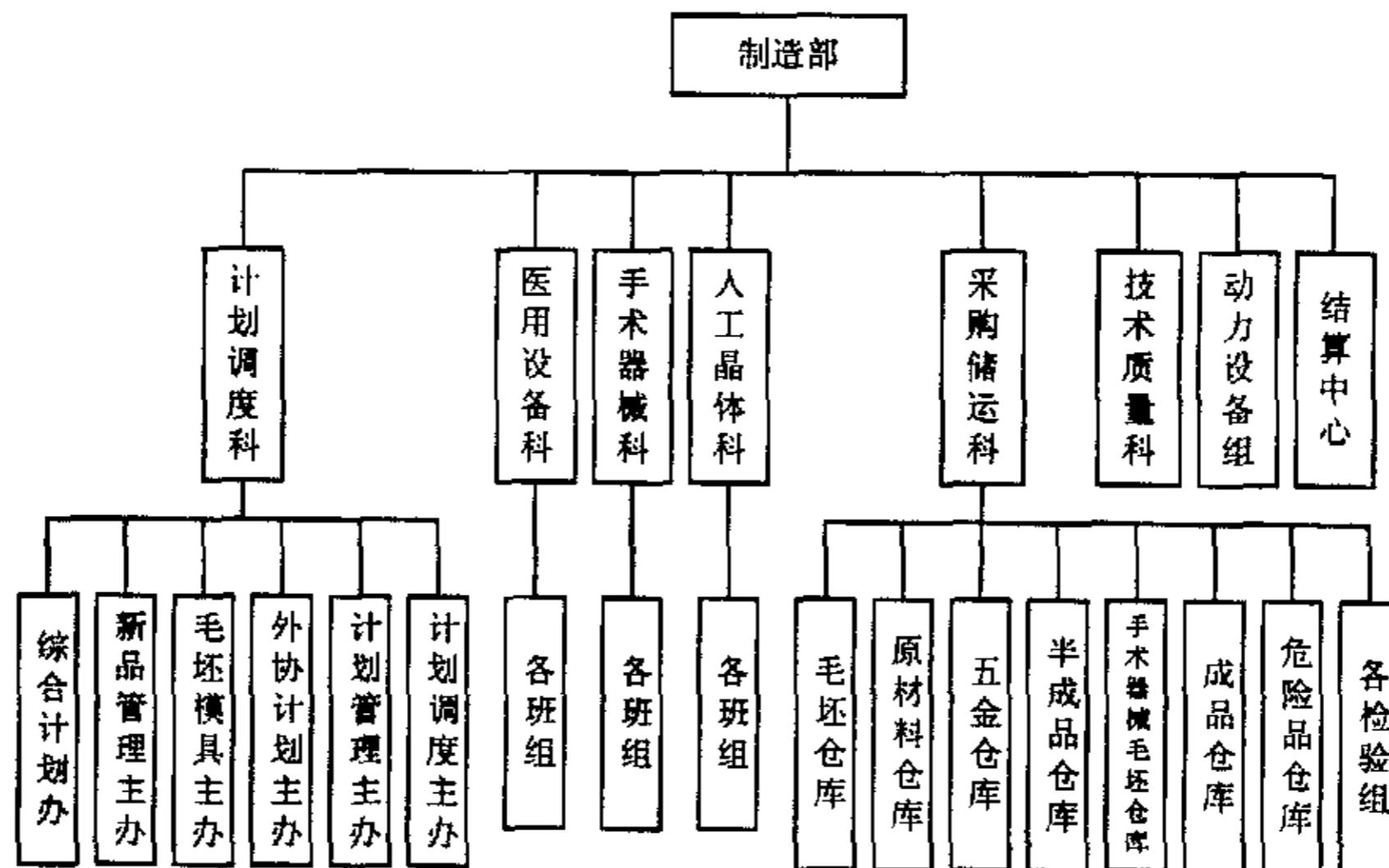


图 5.4 制造部组织结构

苏州六六公司由三个制造实体和许多外协厂商共同制造完成, 装配一体化的生产模式, 其生产类型为典型的小批量重复式生产。在业务流程之前的制造部没有明确的岗位职责和考核指标及权重。

苏州六六公司各个层次的生产计划分散在综合计划主办、外协计划主办、计划管理主办、计划调度科、采购储运客等各个部门, 尽管各计划层次有一定的先后顺序和沟通交流, 但各层次之间缺乏有机的结合, 没有将各个层次、各个阶段集中在一起而形成有效的计划体系。

图 5.5 是 BPR 前的生产计划。

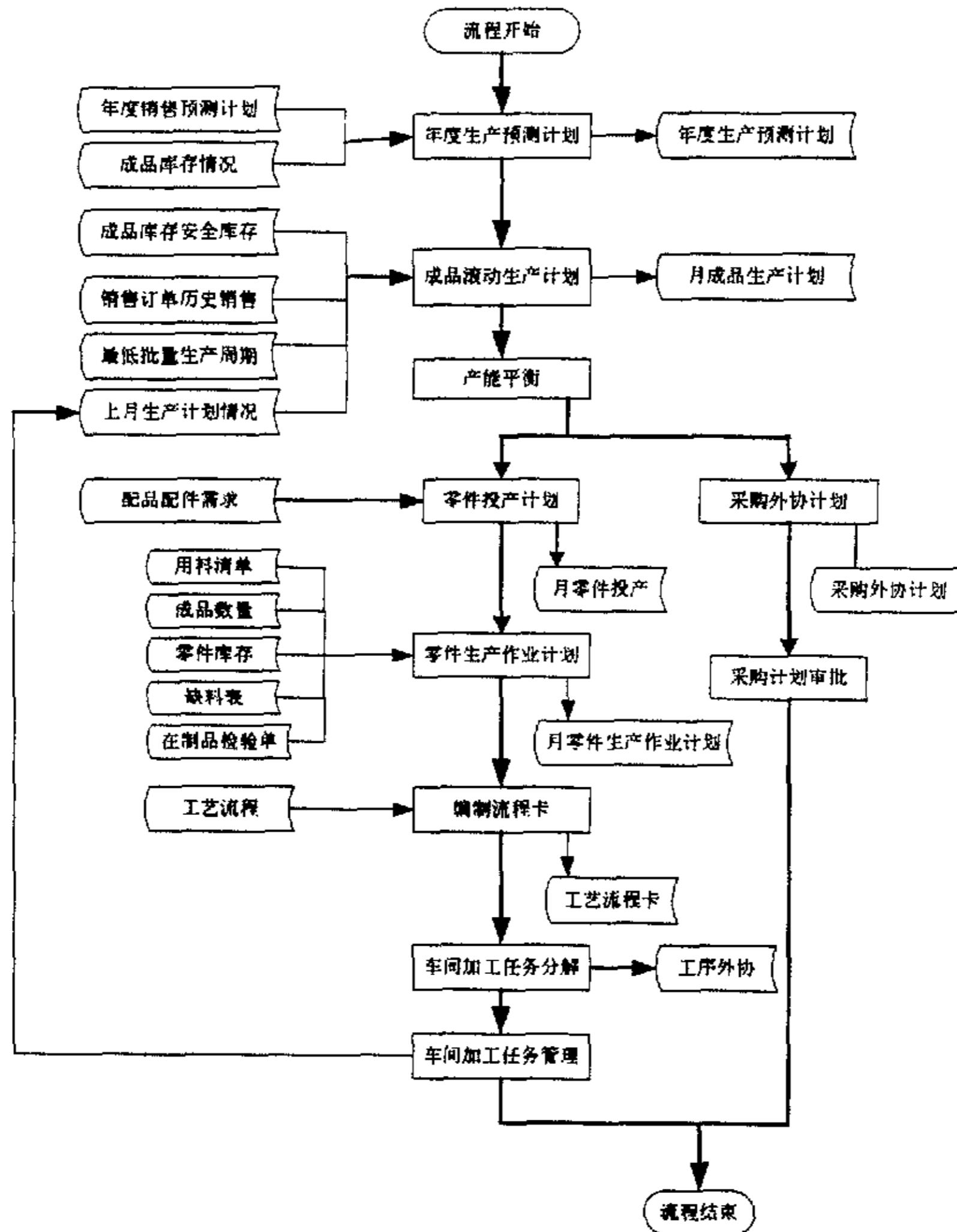


图 5.5 生产计划现有业务流程图

现有业务流程的弊端：

(1) 编制生产计划的工作量大，周期长。六六公司的主产品是医疗器械，它们是典型的多品种少批量，而且市场的需求瞬息多变，要及时地根据市场的信息和各医疗单位的需求，甚至个别医院的个性化订单来不断调整生产计划。

医疗企业涉及到光、机、电，由大量的零部件组成，计划分解具有非常大的工作量，虽然企业有 PDM 系统来辅助分解产品，但是从现有库存量到缺料表的统计，特别是对标准件的统计更是复杂耗时，还容易出现差错。解决办法：ERP 系统的主生产计划和物料需求计划等模块可以根据销售订单和销售预测即时计算生产计划。

(2) 生产计划的动态应变能力差

编制生产计划的外部因素是动态的，由于计划的周期长，计划人员不可能在短期内根据变动因素及时更改并优化生产计划，往往计划赶不上变化，这种动态性差的生产计划必然影响其准确性和有效性。解决办法：由于整个生产计划在很短的时间内就能完成，即使外部因素变化后，通过重做生产计划（滚动计划），也容易把变动的因素考虑进去。

素反映到企业内部的生产上。关键是基础数据的准确性。

(3) 计划的体系相对比较松散，各计划层次缺少有效的衔接。解决办法：ERP 系统将生产计划纳入到一个统一体系，各计划层次之间都是通过严密推理和计划逻辑加以衔接。

(4) 生产计划没法获取准确及时的数据

不管是营销部提供的销售预测计划、销售订单，还是仓库提供的库存数量、缺料表都存在一定的时间差，无法即时提供准确的基础数据，这无疑影响生产计划的及时性和准确性。解决的办法：将现有的 CRM 系统与 ERP 系统有机结合起来。

(5) 生产能力的平衡还是一个非常粗糙的平衡过程

企业的工时定额是一个老大难，各个工作单元没有严格进行测试过，而且没有考虑交叉作业条件下的能力平衡。解决办法：将 CAPP 系统中的工时定额与 ERP 系统集成起来，科学地测算各工作单元的工作负荷。

(6) 无法进行正确的生产计划的模拟

当有客户提出有紧急的订单要求，公司往往因为交货期而迟迟不决，即使接了此单，也要冒有可能使别的订单延误交货的风险。在手工方式下，无法通过更改需求的形式来模拟生产计划。解决办法：ERP 系统的敏捷性，可以提供这种模拟的功能。

5.2.8BPR 后的生产流程

企业目前的生产流程要维持高水平的客户满意度越来越难，如果不改变现有的组织结构、业务流程和管理方法，企业将无法适应新的环境，所以必须进行 BPR，以保持它在该市场中的领先地位，六六公司所追求的是通过 BPR 和一套适合企业的 ERP 系统来实现降低成本和对市场的需求快速作出响应。

部门序号：023		
部门名称：生产制造事业部采购部	分管领导：生产制造事业部副总监	上级领导：生产制造事业部总监
部门岗位总数：5 其中：部门正职岗位数：1 部门副职岗位数：0 部门正式工岗位总数：3 部门临时聘用工及其它岗位总数：1	本部门领导及参与的关键流程： PUR00 采购总流程	
本部门主要职责： 以服务于生产为宗旨，市场为导向，依据生产需求进行采购、努力降低采购成本、库存成本，提高采购工作质量，与上游供应商保持良好关系，为下游生产的按时进行提供优质服务。 1. 开展市场调研与市场预测，寻找新货源及降价渠道，制定宏观采购策略。 2. 提供准确的采购相关数据，参与制定公司生产滚动计划。 3. 合理安排材料采购，努力减少存货周转天数。按请购单向合格厂商采购，降低采购成本和采购周期，保持最小库存数量。 4. 采购订单的执行过程监控。 5. 供应商认证、考核，管理供应商信息。 6. 发展与供应商的互利合作关系，以达到更低的成本和更加优质的采购服务。 7. 与上、下游部门团结协作，为达成企业整体效率最高，成本最低而发挥采购职能。		本部门关键考核指标及权重： 1. 国内采购件成本下降20万元 25% 2. 年均采购按时到货率大于90% 25% 3. 采购信贷额度大于100万元 20% 4. 月均退货品资金占用少于5万元（已付款部分） 10% 5. 平均存货周转天数小于40天 10% 6. 月均不良库存规模小于100万元 10%

图 5.6 生产制造事业部采购部

因此，企业借股份制改造之际，将企业的组织机构作了重大的调整，实行了扁平化管理，结合 BPR，对公司相应的部门和岗位进行了设置，明确了职责，限于篇幅，我们以如上图 5.6 是生产制造事业部采购部岗位设置。

在进行组织机设置的同时，规定了业务流程，如图 5.7 是 BPR 后的生产系统的总流程。

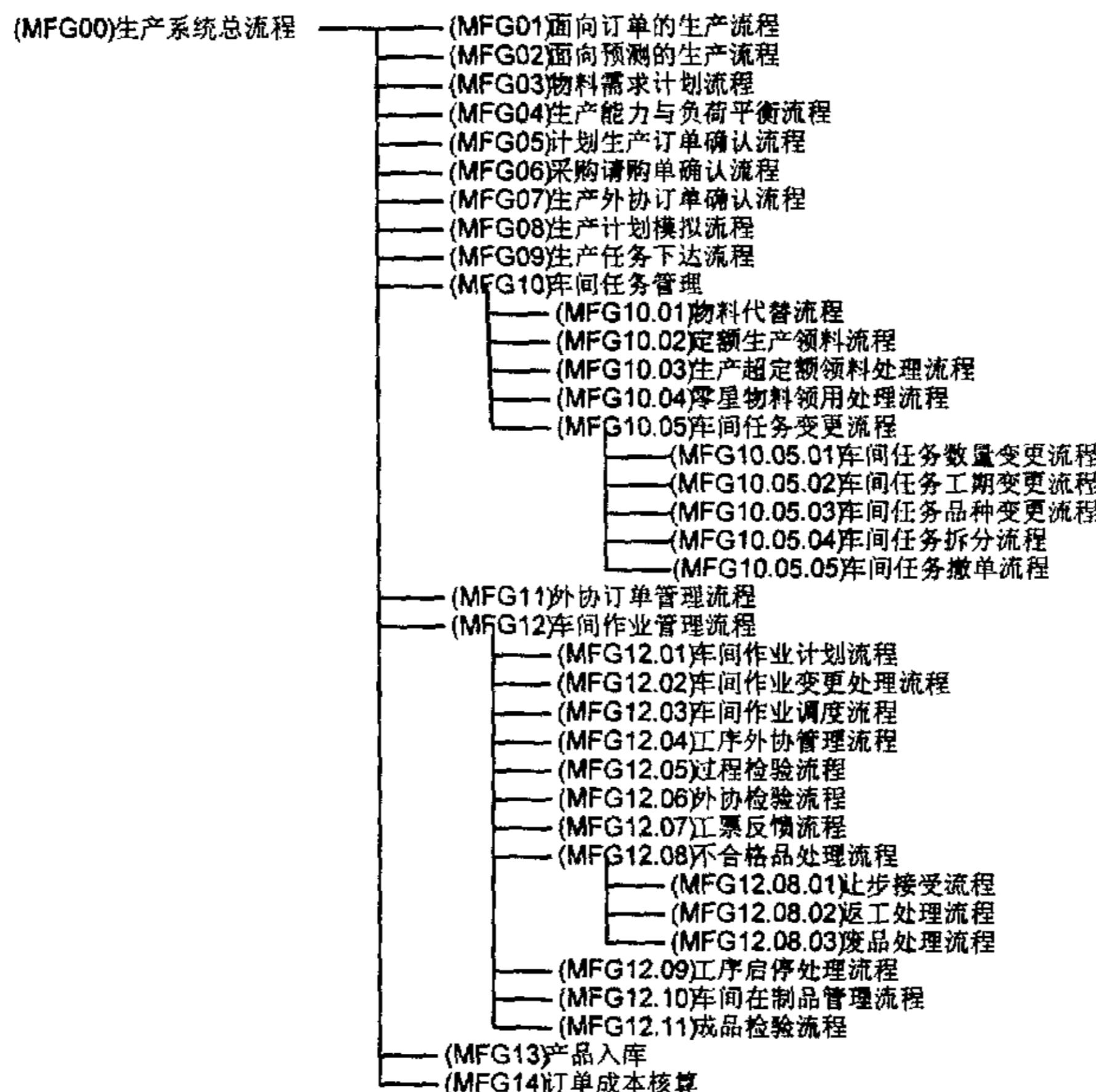


图 5.7 生产系统的总流程

ERP 系统中的部分实例见附录

5.2.9 ERP 系统实施后的评价

根据附录 2 层次分析法的原理，我们对苏州六六公司的整个企业信息化的作了一个自我评测，所用的性能指标及其评分如下：

表 5.4 企业信息化部分主要的性能指标组成的矩阵各项

子系统及符号		模块及符号		评分
会计系统	A	财务会计	A1	70
		成本控制	A2	65
		资产管理	A3	80

		财务分析	A4	60
		工资管理	A5	85
销售管理	B	销售计划	B1	70
		订单管理	B2	65
		销售分析	B3	60
		配销需求计划	B4	50
物料管理	C	采购管理	C1	40
		供应商管理	C2	65
		库存管理	C3	70
		库房管理	C4	75
		库存控制	C5	60
生产过程	D	主生产计划	D1	65
		物料需求计划	D2	60
		能力需求计划	D3	80
		作业计划控制	D4	85
		项目管理	D5	75
		质量管理	D6	80
		工厂维修	D7	85
事务处理	E	办公系统	E1	70
		人力资源	E2	75
工程设计	F	CAD	F1	60
		CAM	F2	80
		CAPP	F3	75

得出综合评价值 u ，并确定 u 所对应的评价等级。

$$u=BP=[0.027, 0.041, 0.027, 0.021, 0.014, 0.043, 0.034, 0.046, 0.013, 0.039, 0.023, 0.046, 0.040, 0.046, 0.050, 0.039, 0.037, 0.058, 0.064, 0.036, 0.019, 0.020, 0.048, 0.082, 0.054, 0.036]^T = [70, 65, 80, 60, 85, 70, 65, 60, 50, 40, 65, 70, 75, 60, 65, 60, 80, 85, 75, 80, 85, 70, 75, 60, 80, 75]^T = 69.55$$

由综合评价值 $u=69.55$ ，确定 u 所对应的信息化评价等级为 C 级。

5.2.10 业务流程持续改进

一旦等企业实施完本项目后，我们考虑到合成社会化持续创新以及市场竞争环境的迅速变化对企业生产流程与业务管理流程的动态调整的要求，为苏州六六公司设计了业务流程持续改进的流程，以适应客户变动的需求和提高客户满意度为目标。

这种企业重整的过程并非一劳永逸，企业需要随时根据竞争环境变化与自身在市场竞争中的势态变化，紧跟时代发展步伐，不断进行企业重整以保持自己的市场竞争优势，因此企业重整是一个动态的过程。

下图 5.8 是业务流程持续改进的流程

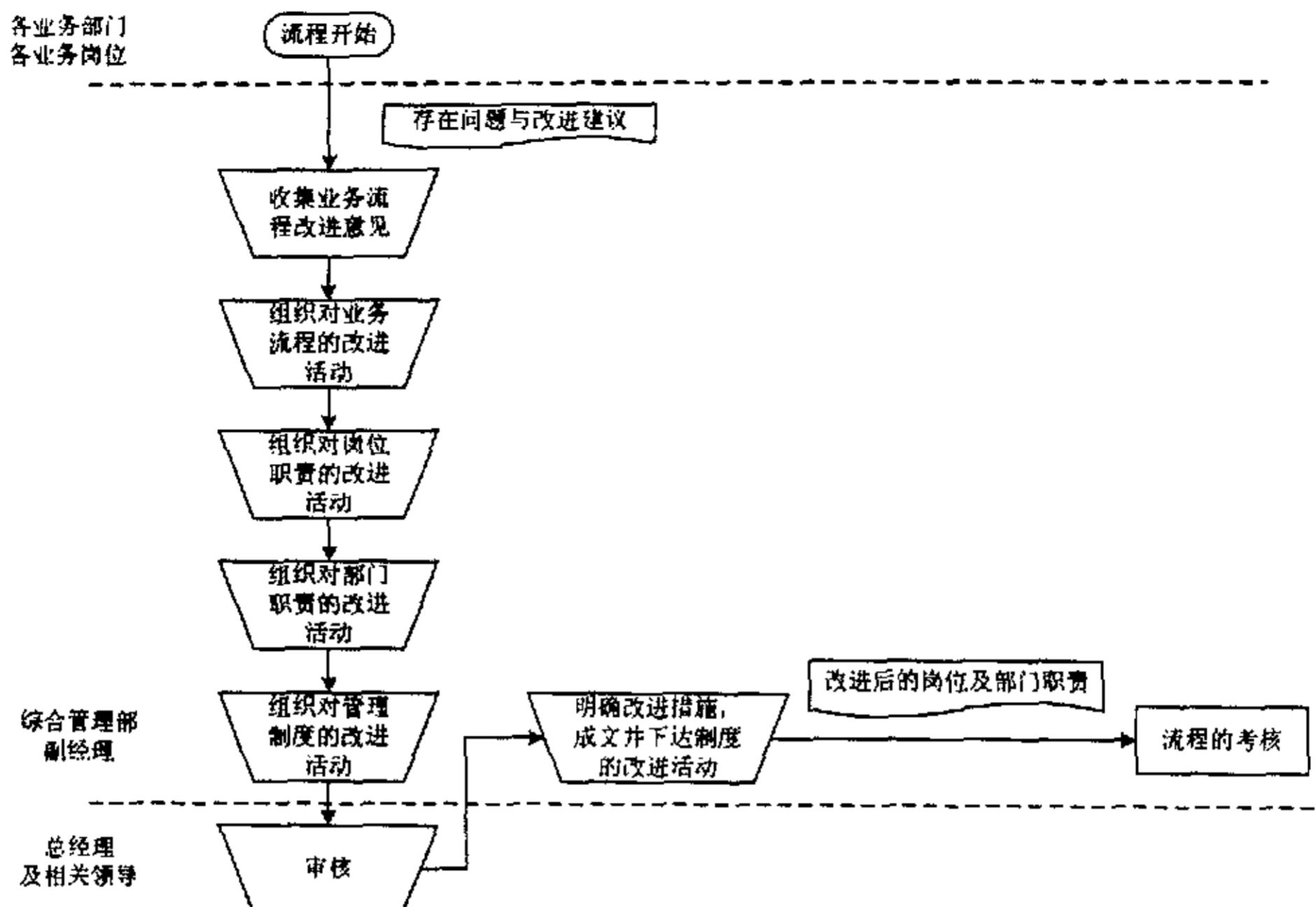


图 5.8 业务流程持续改进的流程

5.3 本章小结

理论必须建立在工程实践的基础，又必须应用到工程中去，作为一项工程应用性很强的技术，结合企业的工程实践进行 ERP 系统的实施运行，是检验 ERP 系统各项功能最直接的标准，在企业中应用的 ERP 系统是一个不断发展变化的系统，必须在应用中不断地完善。本章主要是在做学位论文期间，与 ERP 有关的企业信息化工程的各项实践的总结合归纳。

第6章 总结和展望

ERP 作为企业信息化中的一项热门技术，在国外和国内的得到了越来越广泛的实施与应用。90 年代初美国人提出“企业资源计划 Enterprise Resources Planning (ERP) ”的概念。90 年代中期开始，我国的企业开始引进 ERP 系统，对企业管理进行改造。90 年代后期开始开发 ERP 系统，由于吸收了国外 ERP 系统发展过程的经验教训，起点较高。新一代的 ERP 系统也是目前国家“863”高技术研究计划重点资助的项目。作为“制造业信息化工程”的一项重要技术，ERP 的实施无疑是实现企业跨越式发展的一项关键技术。

6.1 研究总结

本学位论文通过系统地研究和论述，主要的贡献和结论为：

- (1) 论文以企业信息化和变化的企业经营环境为背景，提出了面向敏捷制造的企业资源规划系统—行业 ERP 的概念，对传统 ERP 的内涵和外延作了不同程度的扩充。
- (2) 提出了以企业模型层次结构 (Model Hierarchical Architecture) 为基础的集行业参考模型、建模方法、实施方法等三部分组成的 ERP 仿真建模方法。
- (3) 本文将 Petri 网的知识应用于企业的业务流程，并用基于经营知识规则的对业务流程进行优化，使业务流程更加有效、合理，并首次提出了以基本对象层、控制对象层、业务流程构件层、应用层等四层结构的动态可重构的 ERP 系统框架，可以满足可重构系统的要求。此外，论文还对行业 ERP 系统的对象层次、运行机制、可重构策略、构件库、动态建模等关键技术进行了阐述。
- (4) 论文研究了 PDM 与 3C 的集成、以企业数据流为基础的 MES 与 ERP 集成、以产品结构为基础的基于工作流的 PDM 与 ERP 集成，研究了 ERP 与电子商务整合。
- (5) 以作者参与企业信息化进程的亲身经历，提供了一个中小型企业实施信息化工程的全部历程，可以为相应的企业提供借鉴，也为本文的理论提供了一个实践验证的机会。

6.2 发展趋势和展望

6.2.1 发展趋势

早在 1998 年 Stein T^[89] 就认为传统的 ERP 应扩展其功能, Zygmont J^[90] 认为 ERP 应包括所有的企业管理的内容 (All-In-One), Ben Light 等^[91] 在分析了 ERP 系统的在我们正在致力于行业 ERP 的开发和应用的同时, ERP 正以前所未有的速度发展, 主要有以下方面的发展:

(1) 从 ERP 到 ERP II 的改变

1990 年, Gartner Group 率先提出 ERP 的概念, 10 年之后, Gartner 又提出一个新的概念—ERP II, 并预言 2005 年之后 ERP II 将取代 ERP 成为下一代的企业资源计划战略与应用。

Gartner 给 ERP II 的定义是: ERP II 是通过支持和优化企业内部和企业之间的协同运作和财务过程, 以创造客户和股东价值的一种商务战略和一套面向具体行业领域的应用系统。为了区别于 ERP 对企业内部管理的关注, Gartner 在描述 ERP II 时, 引入了“协同商务”的概念。协同商务 (Collaborative Commerce 或 C-Commerce), 是指企业内部人员、企业与业务伙伴、企业与客户之间的电子化业务的交互过程。为了使 ERP 流程和系统适应这种改变, 企业对 ERP 的流程以及外部的因素提出了更多的要求, 这就是“ERP II”

ERP II 包括涉及业务、应用和技术战略的 6 个要素: 1)ERP II 的角色; 2)它的业务领域; 3)在该领域的功能; 4)那些功能需要的过程的种类; 5)可以支持那些过程的系统构架; 6)这种架构下数据的处理方式。这些要素 (除架构外) 反映了 ERP II 对于传统 ERP 的拓展 (见图 6.1)

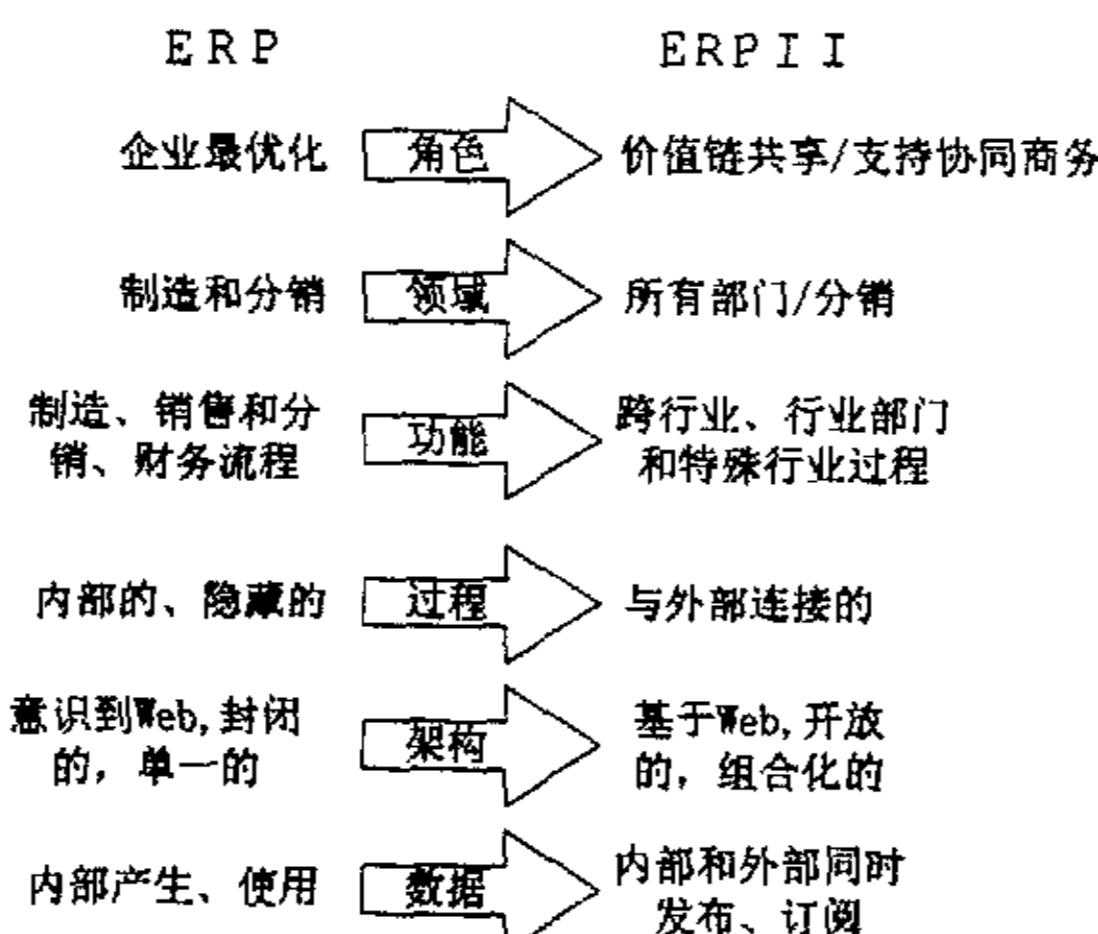


图 6.1 ERP II 定义框架图(资料来源: Gartner Research)

ERP II 的角色从传统 ERP 的资源优化和交易事务处理，拓展为发挥信息的杠杆作用，使这些资源在与其它企业的协作中产生功效，而不仅仅是传递电子交易的买和卖（见图 6.2）。ERP II 的领域突破了 ERP，包括了非制造产业。

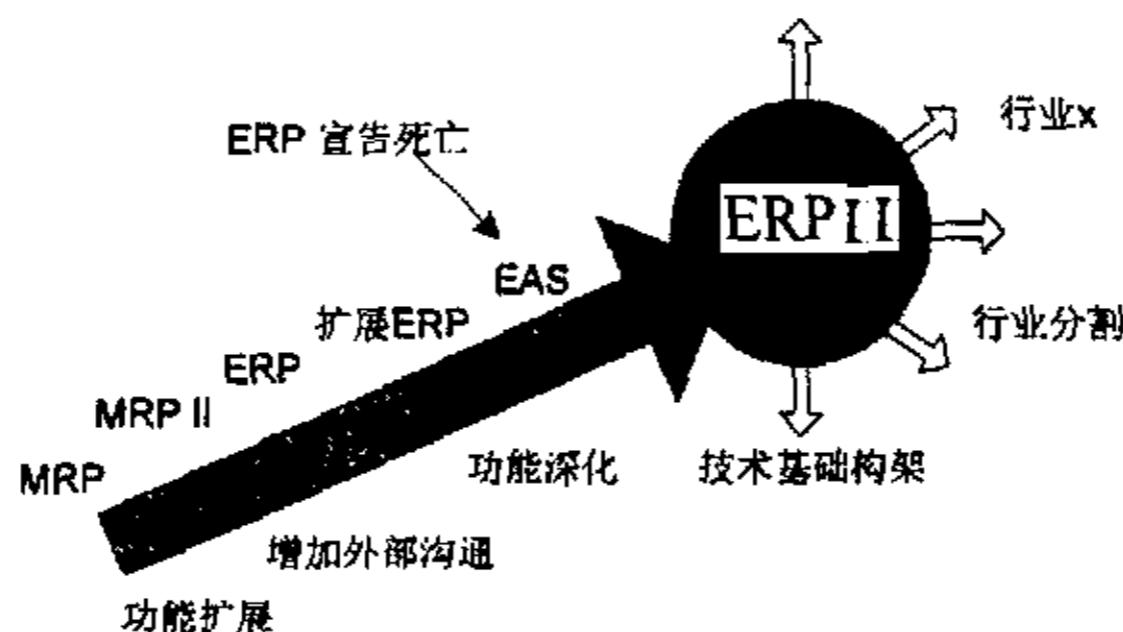


图 6.2 ERP II 的发展 (资料来源: Gartner Research)

(2) 网络时代的 ERP——企业生产方式的改变

1998 年以来，网络技术以惊人的速度改变了业务方式。企业的生产方式从单一的企业内部的方式到有企业联盟组成的联盟式生产方式，而管理企业信息的信息系统从管理单一的企业拓展到企业联盟，而现在的 ERP 系统过于面向企业内部。

因此网络时代的 ERP 不仅面向企业内部而且要面向企业联盟，拓展企业的生产方式。现在，企业内部流程同企业其它部门甚至联盟企业结合为一体之后，将瞄准新的目标：将外部流程同客户和商务伙伴进行连接。

(3) ERP 与电子商务实现整合—企业商务活动的改变

在 Internet 日益发展普及的今天，ERP 系统不可避免地要受到 Internet 的影响。Internet 从商业基础上给传统商业带来冲击，原来的经营管理平台已经发生变化。对于企业来说，现有的经营方式和经营思想会发生根本性的变化，在线服务或者其他各种新型的应用模式正在扩充，从而替代现有的经营。现有的采购、库存、销售、生产、人事管理等模式也将会彻底变化。Internet 也改变了传统的管理思想，在传统的管理平台上，管理和信息的传递基本上是单向的，而 Internet 则实现了实时和互动性。Internet 这种“无处不在”的特性，使客户产生了新的需求，也吸引越来越多的企业，而电子商务正是充分利用了 Internet 的这种特性，成为一股强劲的潮流。

(4) 从 ERP 到 DEM——企业模型的动态变化

僵硬的信息系统与动态多变的市场、频繁的 BPR 将成为今后的一对重要的矛盾。现有的 ERP 系统（如 SAP/R3, Oracle 等）的柔性较差，还不能很好满足这一要求。

为了解决这一矛盾，下一代 ERP 必须融合企业动态建模（Dynamic Enterprise Modeling, DEM）的思想。

DEM 主要体现两个思想：一是在生成某公司的特定模型时，充分利用最好的实例知识和实践经验，表现在企业参考模型的使用；二是在动态公司中，公司的信息系统能够适应公司环境等的快速变化，表现在 DEM 工具——企业建模工具的使用。

6.2.2 ERP 模型的拓展

ERP 除了已经有的主生产计划模型，库存模型，能力平衡模型，分销模型，为了适应国际化竞争的敏捷制造的要求，适应上述的发展趋势，还需亟待解决以下的模型：

(1)新产品投入时间计划模型 产品投入时间的确定是新产品开发计划中的一个关键问题。设企业有 n 个待投入的新产品，已知产品的收益曲线和投入成本，模型的目标是在满足企业销售收人增长曲线要求、且不超过市场容量的前提下，极小化新产品投入的贴现成本^[92]。

(2)分销网络优化设计模型 该模型用在市场开发计划模块中。设企业有 m 个分布的工厂和 n 个分布的市场(城市)，已知各工厂的生产能力、各市场的需求量、各城市分销点开设费用，以及工厂和市场间的距离，模型的目标是选出几个城市开设分销点，在满足市场需求且不超过各工厂生产能力的前提下，极小化运输费和分销点开设费之和。该问题实质上是经典的选址一分配(location-allocation)问题的扩展^[93]。

(3)动态联盟伙伴挑选模型 设盟主承担的项目由构成活动的网络子项组成，子项 i 有 $n_i (i=1, 2, \dots, n)$ 个应标人，已知各应标人的应标价格、需要的工期和信誉度，同时已知盟主可用的资金流、总工期、拖期罚款率和银行的贷款利率，模型的目标是选择合适的伙伴，使由子项成本、拖期罚款和银行利息构成的项目总成本达到极小。

(4)风险防范投资分配模型 设动态联盟中各盟友完成子项的可靠度已知，各盟友追加投资的可靠度增加曲线和可增补的候选伙伴的可靠度已知，模型的目标是如何对盟友追加投资或增选候选伙伴，在项目可靠度达到前提下极小化总投资，或在有限资金的前提下极大化项目成功的可靠度。

(5)分布式多工厂生产计划模型 设企业有 m 个分布的工厂和 n 个来自不同地点的待完成的订货(子项)，计划期内各工厂的各种制造资源的可用量、制造成本和各订货的资源需求已知，模型的目标是在满足资源约束的前提下制订企业的生产计划，使制造成本、运输成本和提前/拖期惩罚之和达到极小。该模型是准时化生产计划从单工厂到多工厂的推广^[94]。

(6)分布式仓库存储控制模型 设在分布的多个工厂和多个市场间有 n 个多分

布的仓库，仓库的容量、仓库与工厂和市场间的距离以及计划期内各工厂的生产能力和市场需求已知，模型的目标是在满足工厂能力约束和市场需求的前提下，制定各仓库的货物补充和发送计划，使运输费用和存储费用之和达到极小。

6.3 结束语

论文的形成是作者在消化、吸收国内外相关领域的研究成果，参与相关企业实施 ERP 系统的基础上，总结企业实施 ERP 的心得体会，结合自己参与江苏省企业信息化套装软件的开发经验，历时数月总结完成的。

最后期望通过本论文的研究，为我国的制造业信息化进程奉献自己的一份力量。

实施及项目管理后得出：将知识管理（Knowledge management）、供应链集成（Supply chain integration）、web 使能创新（web-enabled innovation）作为今后的研究方向。

参考文献

- [1] 赖茂生.企业信息化知识手册[M].北京:北京出版社,1999:9
- [2] Ronald H. Brown,The National Information Infrastructure:Agenda for Action[EB/OL], <http://www.ibiblio.org/nii/NII-Table-of-Contents.html>
- [3] European Communities, Welcome to Esprit, the EU information technologies programme[EB/OL], <http://www.cordis.lu/esprit/home.html>
- [4] EUREKA,A network for market-oriented R&D[EB/OL]. <http://www.eureka.be/ifs/files/ifs/jsp-bin/eureka/ifs/jsp/publicHome.jsp>
- [5] 中国国家信息化发展大事记 <http://www.chinabbc.com.cn>
- [6] 吴澄著 信息技术与企业现代化管理 中国经济出版社 1999 年 12 月第 1 版
- [7] 罗振壁,周兆英,汪劲松等. 制造的革新. 机械工程学报,1995,31 (4):31~37
- [8] <http://www.lms.mech.upatras.gr/CIRP/index.html>
- [9] 张申生.我国研究先进制造技术应重视的几个问题.中国机械工程,1995.6 (4):4~6
- [10] Margaret A. Peteraf, The Cornerstones of Competitive Advantage: A Resource-Based View[J], Strategic Management Journal, 1993,14(3):179-191.
- [11] Nomura Research Institute,Ltd. International Consulting Department,The Comprehensive survey on the international business strategy in Japan, Nomura research Institute, 2001,January 10
- [12] Cobb,I. Understanding and working with JIT[J]. Management Accounting, 1991,69(2):44-46.
- [13] Currie, W.J.J.M. Seddon. Managing AMT in a JIT environment in the UK and Japan. British Journal of Management,1991,3(3): 23-31.
- [14] Harrington Jr., Joseph, Computer Integrated Manufacturing, Robert E. Kreiger Co., FL, 1973 (Reprinted 1979 & 1985).
- [15] Hammer, M. "Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate," Harvard Business Review, 1990, July-August:104-112.
- [16] Hammer, M. & Champy, J. , Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution[M], London: Nicholas Brealey Publishing,1993
- [17] Nagel, R. N., and R. D. Dove, 21st Century Manuf. Enterprise Strategy, PA: Iacocca Institute, Lehigh Univ., 1991.
- [18] Nagel R N. 21th century manufacturing enterprise strategy [C]. Bethlehem: Iacocca Institute, Lehigh University, 1992, 1-4.
- [19] Kidd P T. Agile manufacturing: forging new frontiers [M] . Workingham: Addison-Wesley Publishers, 1994.
- [20] Dove R. Plumbing the agile organization [J] . Production Magazine,1994.12 .
- [21] 赵伟 刘晓冰 制造生产模式的演变与敏捷制造 [J], 工业工程,1999,2(3).-13-17
- [22] 真影等.基于 QFD 的企业敏捷化反应模式 [J] .中国机械工程, 1998,9(1).
- [23] 蒋新松. 21 世纪企业的主要模式—敏捷制造企业 [J] .计算机集成制造系统- CIMS,1996.2 (4):3~8
- [24] 张申生, 等.从敏捷制造到动态联盟 [J] .中国机械工程, 1996, 7(3).
- [25] 蒋新松,张申生.敏捷竞争的挑战和思考 [J] .计算机集成制造系统—CIMS,1996,2(2): 3-9.
- [26] 真影,祁国宁. 敏捷制造的总体技术研究 [J] .计算机集成制造系统,1999,5(3).-1-10
- [27] 徐晓飞著 现代企业资源计划与管理[M],北京: 中国经济出版社 1999 年 12 月第 1 版
- [28] Business Process Change In Real Time, An IDC White Paper, Analyst: Dennis Byron. April 1999
- [29] James Holin Check, Giga Information Group: The Importance of Macro Business - Change Flexibility as an ERP Decision Factor. June 1999.
- [30] David Caruso, AMR Research Inc. Life After Live - ERP Users face a new challenge.1999 June
- [31] <http://www.eis.js.cn> & <http://www.gthinking.com.cn>
- [32] Francois B. Vernadat, Enterprise Modeling and Integration:Principles and Applications[J], Chapman & Hall,

1996.

- [33] ESPRIT, Project 688, AMICE, OPen Systems Architecture for CIM[R], Springer Verlag, Berlin (1988)
- [34] ESPRIT Consortium AMICE, Open System Architecture, CIMOSA, AD 1.0, Architecture Description, ESPRIT Consortium AMICE, Brussels, Belgium (1991)
- [35] Klittich, M., 'CIMOSA Part 3: CIMOSA Integrating Infrastructure - The Operational Basis for Integrated Manufacturing Systems[J],' Int. J. Computer Integrated Manufacturing, Vol. 3, Nos. 3 and 4, pp. 168-180 (1990)
- [36] Jorysz, H.R. and Vernadat, F.B., 'CIMOSA Part 1: Total Enterprise Modeling and Function View,' Int. J. Computer Integrated Manufacturing, Vol. 3, Nos. 3 and 4, pp. 144-156 (1990)
- [37] Jorysz, H.R. and Vernadat, F. B., 'CIMOSA Part 2: Information View,' Int. J. Computer Integrated Manufacturing, Vol. 3, Nos. 3 and 4, pp. 157-167 (1990)
- [38] Zanettin, M., and Doumeingts, G., 'The GIM Method for CIM System Analysis', for Advanced Studies in Systems Research and Cybernetics, International Institute for Advanced Studies in Systems Research and Cybernetics, Baden Baden, Germany (August 1992).
- [39] Doumeingts, G., Vallespir, B., Zanettin, M., and Chen, D., GIM, GRAI INTEGRATED METHODOLOGY, A Methodology for Designing CIM Systems, Version 1.0, Unnumbered Report, LAP/GRAI, University Bordeaux 1, Bordeaux, France (May 1992).
- [40] Williams, T. J., "The Purdue Enterprise Reference Architecture" Instrument Society of America, Research Triangle Park, NC (1992).
- [41] Purdue Reference Model for CIM 参考: <http://www.pera.net/Pera/PurdueReferenceModel/ReferenceModel.html>, <http://iies.www.ecn.purdue.edu/IIES/PLAIC/PERA/Publications>
- [42] A.-W. Scheer. Architecture of Integrated Information Systems: Foundations of Enterprise Modeling. Springer, Berlin, 1992.
- [43] Ref: <http://www.idef.com>
- [44] IDEF0 (1981). Integrated Computer-Aided Manufacturing (ICAM), Architecture Part II, vol. IV- Functional Modelling Manual (IDEF-0). SofTech, Inc. Waltham, MA, USA, June.
- [45] IDEF1X (1985). Information Modeling Manual Idef1 -Extended (IDEF1X). Manhattan Beach, California:D. Appleton Company, Inc., December.
- [46] Thomas Curran, Gerhard Keller, Andrew Ladd 著, SAP R3 业务蓝图, 人民邮电出版社 2000 年 10 月 第 1 版
- [47] 王向阳, 试论软件重用[J], 计算机研究与发展, 1993(9):59-63
- [48] 何志均, 王少锋, 基于可重用构件库的软件重用技术[J], 计算机科学, 1998, 25 (5) :120~124
- [49] 郑春明, 张家重, 王岩冰, 关于软件复用[J], 计算机科学, 1994, 21(4):68~71
- [50] 魏延. 软件重用技术[J]. 重庆师范学院学报(自然科学版), 1999, 16(2):38~43
- [51] 韩向东, U.W.Geitner. 关于动态企业建模的探讨[J]. 工业工程, 2000, 4
- [52] 乔非等. 基于高级 Petri 网的 BPR 过程建模与仿真[J]. 控制与决策, 2001, 16 (2) :181~185
- [53] W M P Van Der Aalst. The application of Petri nets to workflow management[J], J of Circuits Sytem and Computers, 1998, 8(1):21-66.
- [54] T.Yomiyawa. A manufacturing paradigm towards the 21St Century, Integrated Computer Aided Engineering, 1997, 4:159-178
- [55] 张曙. 美国的“下一代制造”和我们的对策[J]. 中国机械工程, 2000, 11(2):97-100
- [56] National Research Council. Visionary Manufacturing Challenges for 2020, 1998 (National Academy Press, Washington,DC).
- [57] National Science Foundation, America's Investment in the future(EB/OL).
<http://www.nsf.gov/od/lpa/news/publicat/nsf0050/manufacturing/nextgen.htm> (2003)
- [58] 曾庆宏. 下一代制造和协作工程[J]. 制造业自动化, 2000, 22(1):1-5
- [59] A. D. Jhingran, N. Mattos, H. Pirahesh. Information integration:A research agenda[J]. IBM SYSTEMS JOURNAL, 2002, 41(2):555-562

- [60] W. T. Kernochan, Enterprise Information Integration: The New Way to Leverage e-Information[R], Aberdeen Group Report, May 2002.
- [61] 史殿习,吴泉源, 王怀民等.一种实现互操作的分布式集成框架的设计与实现[J].计算机研究与, 1999,36(8):1012~1018
- [62] Johannesson P., Wangler B., Jayaweera P., Application and Process Integration - Concepts, Issues, and Research Directions[R]. Information Systems Engineering: State of the Art and Research Themes, Springer, June 2000.
- [63] Wangler, B. and Persson, A. (eds.). Special issue on advanced information systems engineering[J], Information Systems ,2001,26:1-2.
- [64] Linthicum D. Enterprise Application Integration[M]. Addison-Wesley, 2000
- [65] 张浩,陆剑峰,杨菁.CAD/CAPP/CAM 与 MRPII 的集成技术研究与实现[J]. 同济大学学报, 2001,29(2): 179~184
- [66] 沈建新 周儒荣, 基于 PDM 技术的 CAX 的集成框架的研究, 2001 年航空制造技术学术交流会. 2001.10:18~20
- [67] Manufacturing Execution Systems Association, Whitepaper Number 1:The Benefits of MES:A Report from the Field.Ref:<http://www.mesa.org>,[EB/OL],2002
- [68] Advanced. Manufacture. Technology., 1998, 19(9): 12
- [69] Manufacturing Execution Systems Association, Ref:<http://www.mesa.org>,[EB/OL],2002
- [70] Manufacturing Execution Systems Association, Whitepaper Number 6: MES Explained:A High Level Vision.Ref:<http://www.mesa.org>,[EB/OL],2002
- [71] Lisa Kempfer.Linking PDM and ERP[J].Compute-Aided Engineering,1998(10):58-64
- [72] 叶晓俊 王建民 孙家广.产品数据管理[J], 计算机辅助工程.1998,4(12): 1-9
- [73] Ed Miller , PDM Today[J] , Computer-Aided Engineering , Feb , 1995, 32-40
- [74] Ed Miller.Integrating PDM and ERP[J].Compute-Aided Engineering,1999(3):69-78
- [75] 李世斌 李农等.PDM / ERP 集成技术研究[J]. 机械与电子.2002,(4):57-59
- [76] 高奇微, PDM 与 ERP 的集成[J], 山东工程学院学报, 2000, (3): 56-58
- [77] Ed Miller. Obstacles Hinder PDM/ERP Integration[J].Computer-Aided Engineering Magazine, 1998(2)
- [78] Jeanne W. Ross The ERP Path to Integration: Surviving vs. Thriving(EB/OL), <http://www.sap.com>. Posted: Monday, November 01, 1999.
- [79] 胡小平 杨世锡. PDM 和 ERP 的集成[J].电子机械工程.2002,18(4):21-23
- [80] 胡敏,企业集成环境下 BOM 的研究[J].计算机工程,2001(6):22-26
- [81] Olsen KA, Aetre P,Thorstenson A. A Procedure-oriented Generic Bill of Materials. Computers in Ind.Engng, 1997, 32(1):29-45
- [82] Nandakumar G. The Design of a Bills of Material Processor Using a Relational Data Base. Computers in Industry ,1985(6):15-21
- [83] 高奇微, 莫欣农 产品数据管理(PDM)及其实施[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998
- [84] 汪芸, CORBA 技术及其应用[M].南京: 东南大学出版社, 1999
- [85] Fleish E, Powell S G. The value of information in a business network. In: Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences, 1999:1
- [86] 李一军 于洋, 电子商务环境下企业资源计划(ERP)的新进展.高技术通讯,2002,(9):100~ 106
- [87] Chuang M L, Shaw W H. Distinguishing the critcal success factors between E-Commerce, Enterprise Resource Planning and Supply Chain Management. In: Proceedings of IEEE Engineering Management Society, 2000:596
- [88] 俞中达 王吉龙, CAD\CAMPDM 技术在苏医的应用, 资料来源: <http://www.eworks.com>
- [89] Stein T. (1998) "Extending ERP", Information Week, 22 July - 4 August, pp. 34-36.
- [90] Zygmont J. (1999) "Mixmasters Find An Alternative To All-In-One ERP Software", Datamation, February.
- [91] Light, B. and Holland, C. (2000), "Enterprise Resource Planning Systems: Impacts and Future Directions", in Henderson, P. (Ed.) Systems Engineering for Business Process Change:Collected Papers from the EPSRC

- Research Programme, Springer, London. pp. 117-126.
- [92] DATAR S,JORDAN C, KEKRE S,et al. New product development structures and time-to-market[J]. Management Science, 1997,43(4):452-464.
- [93] COOP L. Location-allocation problems[J]. Operations Research , 1963,11(2):331-343
- [94] WANG D. Earliness/tardiness production planning approaches for manufacturing systems[J].Computer & Industrial Engineering 1995,28(3):425-436

致 谢

本论文是在南京航空航天大学机电学院廖文和教授的悉心指导和帮助下完成的。在此谨向导师廖文和教授表示衷心的感谢！

在两年多的研究生求学生涯中，本人在学业上一直备受廖老师的悉心教诲，在生活上也得到他无微不至的关心。廖老师以他渊博的专业知识、创新的思想、严谨求实的治学态度、平易近人的学者风范以及卓越的领导才能和宽厚待人的高尚品德令我获益很深，并且为我树立了一个永久榜样，指引我未来的学业、工作和为人处事。

在论文的研究过程中，本人得到了沈建新、黄翔、程筱胜、曾容、张乐年、张丽艳、周来水、高扬等老师的殷切指导和启迪帮助，在此表示由衷的感激。几位老师孜孜不倦地科研精神和深厚的学术造诣同样为我树立了努力的方向和榜样。

深切地感谢养育我的父母亲以及所有支持我学业的亲人！

感谢关心我的所有人！

衷心感谢百忙之中审阅论文和参加答辩的每一位老师！

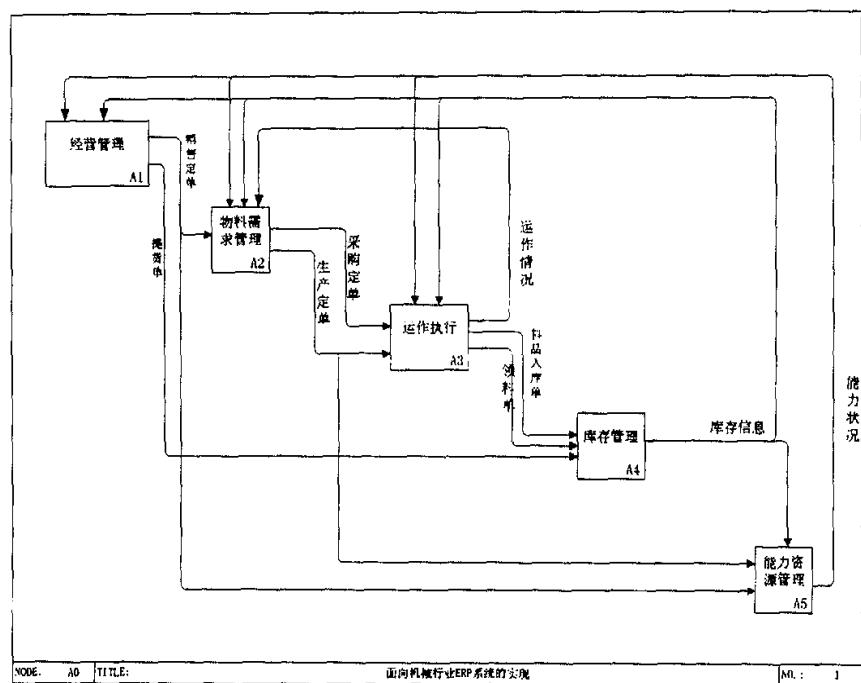
卓 炜

2005 年 2 月

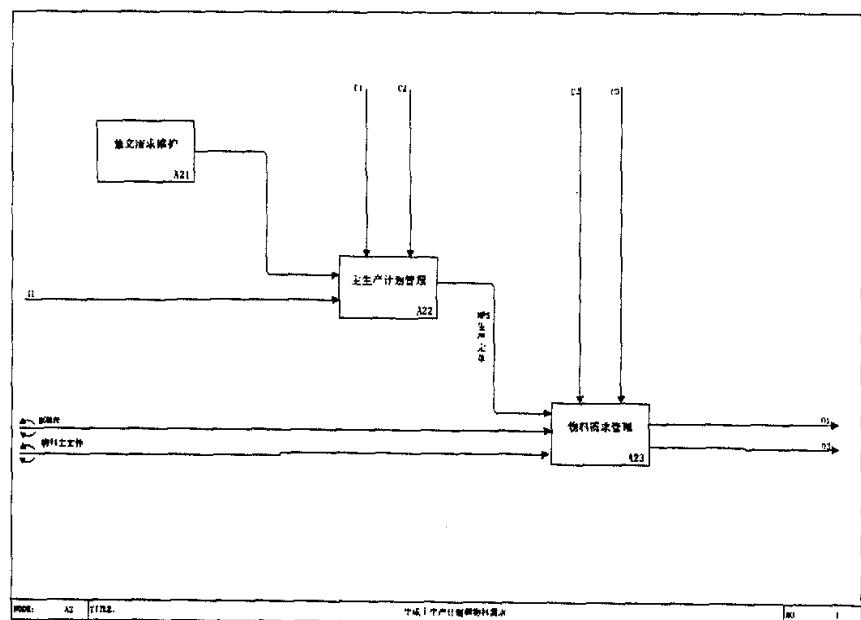
在学期间发表的学术论文

- [1] 卓炜,廖文和.制造业企业应用系统集成关键技术研究[J].机械制造与自动化,2004,33(4),71~75.

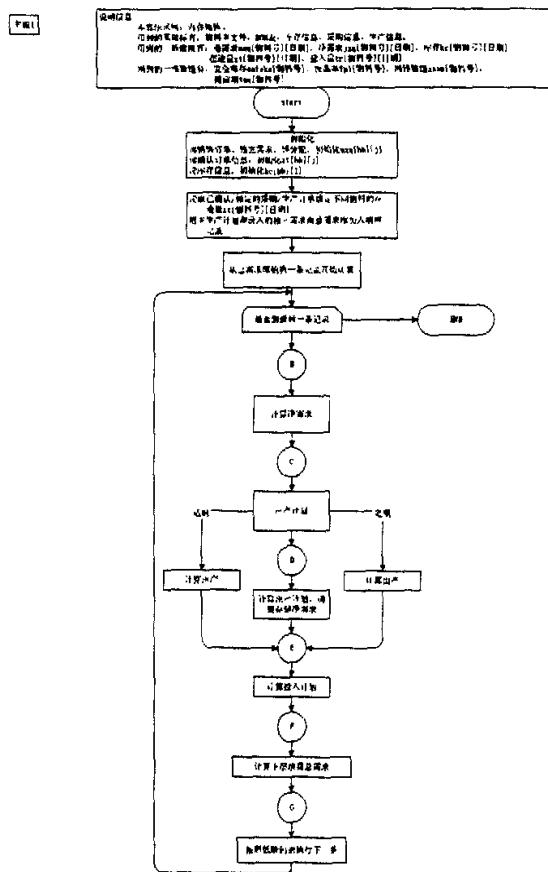
附录 1 面向机械行业的 ERP 系统



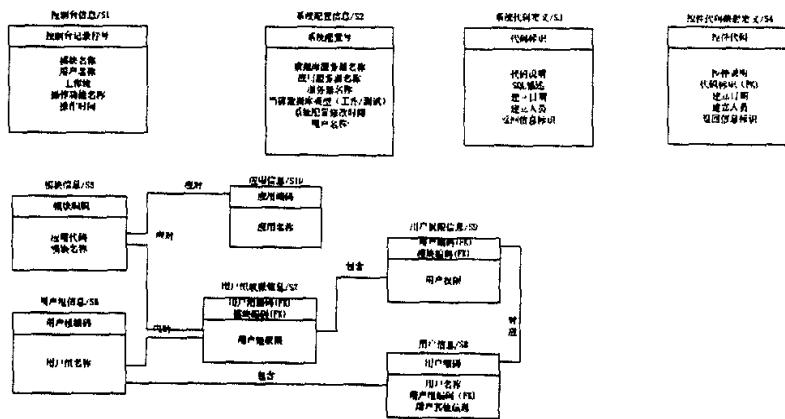
附图 1 面向机械行业 ERP 系统实现的 IDEF0 图



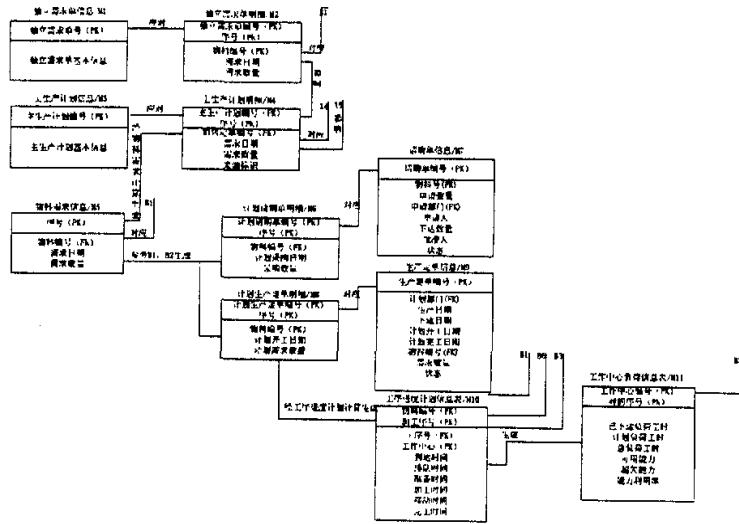
附图 2 生成主生产计划和物料需求 IDEF0 图



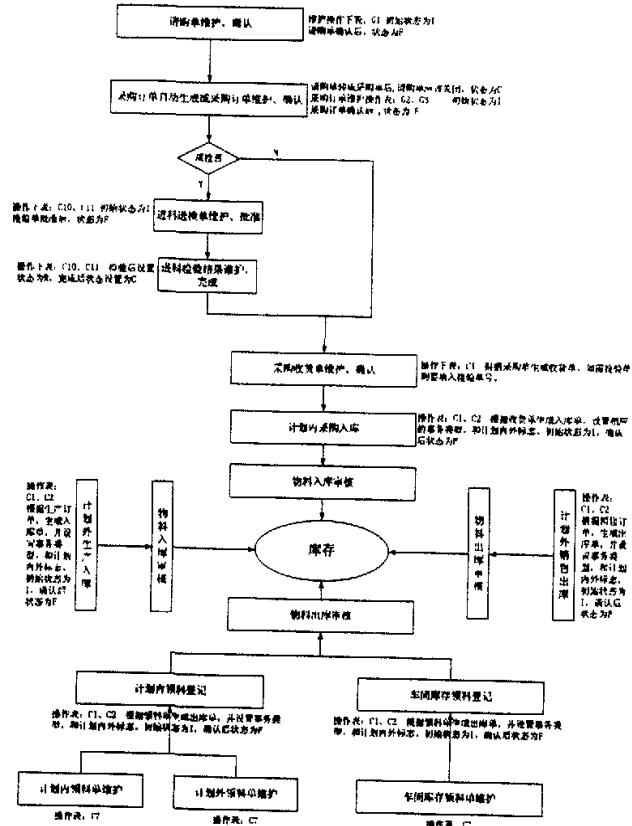
附图3 主程序流程图



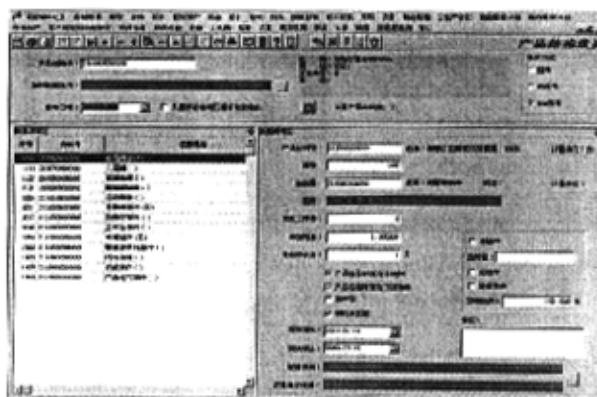
附图4 系统信息视图



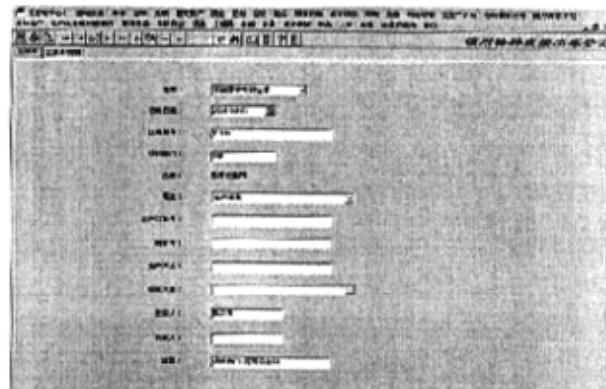
附图 5 主生产计划和物料需求计划



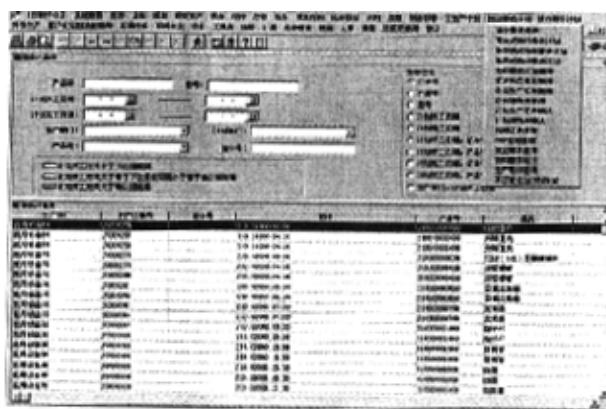
附图 6 库存流程图



附图 7 产品结构维护



附图 8 领用物料直接出库登记



附图 9 生产计划订单查询

附录 2 层次分析法

一、层次分析法

我们采用层次分析法来科学评价 ERP 的实施。

在有关决策的研究中存在两种倾向：一是过分地依赖数学模型，期望对复杂的问题进行定量而精确的分析并追求大而复杂的数学模型，其结果是无法反映人们的经验因素，因而使相当多的数学模型的最优解与现实中的最优相距甚远。其二，是过多的偏重于行为、逻辑、推理方面的研究和分析，而忽视了把重要因素，定量的反映到决策中来，以致于不能够定量描述因素之间的相关关系。正是在这种背景下，美国运筹学家 A.L.Saaty 教授于 70 年代中期提出了处理复杂社会、经济、技术等决策问题的层次分析法（Analytical Hierar-chy Process，简称 AHP 方法），应用这种方法，决策者通过将复杂问题分解为若干层次和若干因素，在各因素之间进行简单的比较和计算，就可以得出不同方案的权重，为最佳方案的选择提供依据。

层次分析法在系统评价方法中应用比较广泛，基于如下优点：①由于经济活动本身的复杂性及本身所带有的人为因素，在评价过程中加入人为因素有其合理性；②由于需要专家咨询，而专家比较能够客观地描述经济活动及其重要程度；③通过人为因素确定权重，也可以将当前改革政策或要求等引入其中，使系统在使用中有较灵活的导向性；④赋予权重后的加权取和综合评分，可以比较直接地表现出各方面的实际情况，既能从总量上计算分析，也能从细节上分析；⑤简便易操作，可以对比排序，直观应用。

二、层次分析法基本原理

层次分析法的基本原理可以用以下的简单事例分析来说明。假设有 n 个物体 A_1, A_2, \dots, A_n ，它们的重量分别记为 W_1, W_2, \dots, W_n 。现将每个物体的重量两两进行比较如表 1：

表 1 权重比较

A_k	A_1	A_2	A_n
A_1	W_1/W_1	W_1/W_2	W_1/W_n
A_2	W_2/W_1	W_2/W_2	W_2/W_n
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
A_n	W_n/W_1	W_n/W_2	W_n/W_n

若以矩阵来表示各物体的这种相互重量关系，即

$$A = \begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \cdots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \cdots & W_2/W_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \cdots & W_n/W_n \end{bmatrix} = (b_{ij})_{n \times n} \quad \text{式(1)}$$

式(1)中, A 称为判断矩阵。若取重量向量 $W=[W_1, W_2, \dots, W_n]^T$, 则有:

$$AW=n \cdot W \quad \text{式}(2)$$

这就是说, W 是判断矩阵 A 的特征向量, n 是 A 的一个特征值。事实上, 根据线性代数知识, 不难证明, n 是矩阵 A 的唯一非零的, 也是最大的特征值, 而 W 为其所对应的特征向量。

上述事实说明, 如果有一组物体, 需要知道它们的重量, 而又没有衡器, 那么我们就可以通过两两比较它们的相互重量, 得出每对物体重量比的判断, 从而构成判断矩阵; 然后通过求解判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} 和它所对应的特征向量, 就可以得出这一组物体的相对重量。根据这一思路, 在科学的研究中, 对于一些无法测量的因素, 只要引入合理的标度, 我们也可以用这种方法来度量各因素之间的相对重要性, 从而为有关决策提供依据。上述思路就是层次分析法的基本原理。

三、层次分析基本步骤

层次分析方法的基本过程, 大体可以分为如下六个基本步骤:

(1) 明确问题。即弄清问题的范围, 所包含的因素, 各因素之间的关系等, 以便尽量掌握充分的信息。

(2) 建立层次结构(或称评价模型)。在这一个步骤中, 要求将问题所含的因素进行分组, 把每一组作为一个层次, 按照最高层(目标层)、若干中间层(准则层)以及最低层(措施层)的形式排列起来。这种层次结构常用结构图来表示, 图中要标明上下层元素之间的关系。如果某一个元素与下一层的所有元素均有联系, 则称这个元素与下一层存在有完全层次的关系; 如果某一个元素只与下一层的部分元素有联系, 则称这个元素与下一层存在有不完全层次关系。层次之间可以建立子层次, 子层次从属于主层次中的某一个元素, 它的元素与下一层的元素有联系, 但不形成独立层次。

(3) 构造判断矩阵。这一个步骤是层次分析法的一个关键步骤。判断矩阵表示针对上一层次中的某元素而言, 评定该层次中各有关元素相对重要性的状况, 判断矩阵的构成是, 先给出递阶层次中的某一层因素, 比如第 i 层, 以及相邻上一层($i-1$)层次中的一个因素 A_i , 两两比较第 i 层的所有因素对 A_i 因素的影响程度, 将比较的结果以数字的形式写入一个矩阵表, 即构成判断矩阵。如设 B_1, B_2, \dots, B_n 为 i 层的因素 其中, b_{ij} 表示对 A_i 而言, B_j 对 B_i 相对重要性的数值表现形式。任何一个递阶层次结构, 均可以建立若干个判断矩阵, 判断矩阵数目是该递阶层次结构图中, 除最低一层以外的所有各层次的因素之和。对于两两比较的比率采用什么标度, 也即判断比率问题。层次分析法一般采用的标度是 1-9 标度法, 如表 3 所示。其形式如下:

表 3 标度方法

标度	含 义
1	表示两个因素相比，具有同样重要性。
3	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素明显重要。
7	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素显得很重要。
9	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素显得极其重要。
2,4,6,8	上述两相邻判断的中值
倒数	因素 i 与 j 比较得判断 b_{ij} ，则因素 j 与 i 比较的判断 $b_{ji} = 1/b_{ij}$ 。

选择标度方法有下述的一些事实和科学依据：

- (1) 在估计事物的区别时，可以用五种判断很好表示，即相同重要、较重要、重要、很重要、极其重要。当需要更高精度时，还可以在相邻判断之间作出比较，这样就有九个数值，它们有连贯性，因此在实践中可以应用。
- (2) 在比较中，9个项目为心理学极限。如果取9个因素进行逐对比较，它们之间的差别可用9个数字表示出来。
- (3) 社会调查也说明，在一般情况下，人们至多需要7个标度点来区分事物之间质的差别或重要性程度的不同。
- (4) 如果需要用比标度1-9更大的数，可用层次分析法将因素进一步分解聚类，在比较这些因素之前，先比较这些类。这样就可使所比较的因素间的差别落在1-9标度范围内。

构造比较判断矩阵是确定评价指标权重的关键。一般有两种方法，即专家评定法和个人主观评定法。前者是根据评价问题的内容，邀请相关专业领域的专家，按事先设计好的比较判断矩阵专家意见咨询表，请专家们按照 AHP 的标度法则进行两两比较，将比较结果填入咨询表中构造判断矩阵，然后对专家们的判断矩阵进行综合分析与计算获得问题的排序权值，这也称之为群体 AHP 问题。

后者则根据个人的认识和理解水平进行比较赋值，构造判断矩阵。前者操作起来较为复杂，但可信度较高；后者操作容易，但对评价者的要求较高，他们必须对待评价问题有较深刻的认识和理解，且熟悉 AHP 方法。衡量判断矩阵质量的标准之一是矩阵中的判断是否具有一致性。如果判断矩阵存在关系：

$$b_{ij} = \frac{b_{ik}}{b_{jk}} \quad (i,j,k=1,2,3, \dots, n) \quad \text{式(3)}$$

则称它具有完全一致性。但是，因客观事物的复杂性和人们认识上的多样性，可能会产生片面性，因此要求每一个判断矩阵都有完全的一致性显然是不可能的，特别是因素多、规模大的问题更是如此。为了考察层次分析法得到的结果是否基本

合理，需要对判断矩阵进行一致性检验。

(4) 层次单排序。层次单排序的目的是对于上层次中的某元素而言，确定本层次与之有联系的元素重要性次序的权重值。它是本层次所有元素对上一层次而言的重要性排序的基础。

层次单排序的任务可以归结为计算判断矩阵的特征根和特征向量问题，即对于判断矩阵 B ，计算满足：

$$BW = \lambda_{\max} W \quad \text{式(4)}$$

的特征根和特征向量。

式(4)中， λ_{\max} 为 B 的最大特征根， W 为对应于 λ_{\max} 的正规化特征向量， W 的分量 W_i 就是对应元素单排序的权重值。

通过前面的分析，我们知道，当判断矩阵 B 具有完全一致性时， $\lambda_{\max} = n$ 。但是，在一般情况下是不可能的。为了检验判断矩阵的一致性，需要计算它的一致性指标：

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad \text{式(5)}$$

式(5)中，当 $CI=0$ 时，判断矩阵具有完全一致性；反之， CI 愈大，则判断矩阵的一致性就愈差。为了检验判断矩阵是否具有令人满意的一致性，则需要将 CI 与平均随机一致性指标 RI （见表 4）进行比较。一般而言，1 或 2 阶判断矩阵总是具有完全一致性的。对于 2 阶以上的判断矩阵，其一致性指标 CI 与同阶的平均随机一致性指标 RI 之比，称为判断矩阵的随机一致性比例，记为 CR 。一般地，当

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.10 \quad \text{式(6)}$$

时，我们就认为判断矩阵具有令人满意的一致性；否则，当 $CR \geq 0.1$ 时，就需要调整判断矩阵，直到满意为止。

表 4 平均随机一致性指标 RI

阶数 N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

(5) 层次总排序。计算同一层次中所有元素对于最高层(目标层)的相对重要性程度(即合成排序权重向量)称为层次总排序。这一过程是从最高层次向最低层次逐层进行的，对于最高层，其层次单排序就是其总排序。

若上一层次所有元素 A_1, A_2, \dots, A_m 的层次总排序已经完成，得到的权重值分别为 a_1, a_2, \dots, a_m 与 a_j 对应的本层次元素 B_1, B_2, \dots, B_n 的层次单排序结果为 $[b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{nj}]^T$ (这里当 B_j 与 A_j 无联系时 $b_{jj}=0$)

那么，得到的层次总排序见表 5。

表 5 层次总排序表

层次 A 层次 B	A_1	A_2	A_m	B 层次的总排序
	a_1	a_2	a_m	
B_1	b_{11}	b_{12}	b_{1m}	$\sum_{j=1}^n a_j b_{1j}$
B_2	b_{21}	b_{22}	b_{2m}	$\sum_{j=1}^n a_j b_{2j}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
B_n	b_{n1}	b_{n2}	b_{nm}	$\sum_{j=1}^n a_j b_{nj}$

显然
$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_i b_{ij} = 1 \quad \text{式(7)}$$

即层次总排序为归一化的正規向量。

(6) 层次总排序一致性检验。考虑到人们在对各层元素作比较时，尽管每一层中所用的比较尺度可能基本一致，但各层之间仍可能有所差异，而这种差异将随着层次总排序的逐层计算而累积起来，为此需从评价模型的总体上来检验一下这种差异程度的累积是否显著，上述检验过程称为层次总排序的一致性检验。这一工作也是从最高层到最低层逐层进行的，为此，需要分别计算下列指标：

$$CI = \sum_{j=1}^m a_j CI_j \quad \text{式(8)}$$

$$RI = \sum_{j=1}^m a_j RI_j \quad \text{式(9)}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{式(10)}$$

在(8)式中， CI 为层次总排序的一致性指标， CI_j 为与 a_j 对应的 B 层次中判断矩阵的一致性指标；在(9)式中， RI 为层次总排序的随机一致性指标， RI_j 为与 a_j 对应的 B 层次中判断矩阵的随机一致性指标；在(10)式中， CR 为层次总排序的随机一致性比例。

同样，当 $CR < 0.10$ 时，则认为层次总排序的计算结果具有令人满意的一致性；否则，就需要对本层次的各判断矩阵进行调整，从而使层次总排序具有令人满意的致性。