

本书在分析网络制造技术和系统的基础上,以网络制造资源管理系统的建模和开发过程为主线,重点讨论了网络制造资源管理系统的发展历程、计算机网络体系结构、网络数据库、C/S (Client/Server) 体系结构和 B/S (Browse/Server) 体系结构、网络制造资源管理系统基本功能、基于遗传算法的多品种小批量生产调度算法等理论基础,以及网络制造资源管理系统的发展趋势。在网络制造资源管理系统理论上,研究了基于统一建模语言 UML 的网络制造资源管理系统的需求分析、系统设计、开发、测试、实施和维护方法。

本书适合于机械制造及其相关专业的高年级本科生、研究生和企业管理者、技术人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

网络制造资源管理系统建模和开发/丁毓峰, 吴波编
著. —北京: 化学工业出版社, 2007. 7
ISBN 978-7-122-00557-1

I. 网… II. ①丁…②吴… III. ①计算机网络-资源管理 (电子计算机)-系统建模②计算机网络-资源管理 (电子计算机)-系统开发 IV. TP393.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 081724 号

责任编辑: 程树珍

文字编辑: 朱 磊

责任校对: 顾淑云

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 368 千字 2007 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着信息技术、计算机网络技术的快速发展，制造环境和以往本地作业的制造相比发生了很大的变化。面对网络经济时代制造环境的变化，需要建立一种按市场需求驱动的、对市场需求具有快速响应能力的网络化制造环境。在这种网络化制造环境下，制造企业将利用 Intranet/Internet 进行产品的协同设计和制造。基于网络支持工具，企业相关人员将直接与客户、供应商进行接触，客户可以参与产品的设计过程，也可以通过在线订单系统直接下订单给企业，企业根据订单需求进行产品定制生产，产品生产出来后企业将产品直接销售给客户。由于在 Intranet/Internet 上信息传递的快捷性，以及制造环境和系统需要对市场变化的快速响应，为此企业内部、企业之间的协同和协作越来越频繁，企业内的信息和知识将高度集成和共享，企业的管理模式将发生很大变化，制造资源将得到更加充分和合理的利用。因此，可以说网络化制造将成为现代制造企业发展的必然趋势。

网络化制造技术通过将制造技术和信息技术相结合，通过信息化带动工业化发展。当前网络化制造的相关技术在欧美等经济发达国家已经取得了一定的研究成果和实践经验。在当前国内外激烈的市场竞争情况下，国内制造企业希望通过发展和应用网络化制造技术，实现资源整合和优势互补，从而可以快速提高企业的制造和管理水平，提升开拓市场的能力和产品的研发水平；同时通过在更大范围内应用网络化制造技术，可以加快企业产业结构调整，提高制造资源利用率，降低制造成本，提高企业的制造能力和制造水平。

在网络化制造技术的推动下，企业制造资源管理模式也发生了相应变化。从传统意义上讲，制造资源系统通常指的是企业制造资源规划（ERP）系统。随着计算机网络技术和信息技术的快速发展，传统 ERP 逐步向支持跨国企业，支持 Internet 上数据传输、数据发放、数据访问、资源集成方向发展。但无疑 ERP 系统是现代制造资源系统的重要理论和技术基础。

ERP 系统首先需要解决的问题就是支持企业制造资源管理方式的转变。根据企业制造资源管理方式和支撑软件的改变和进步，企业制造资源管理规划技术随着时间的发展，可以划分为 20 世纪 60 年代的物料需求计划（material requirement planning, MRP）系统；70 年代闭环式 MRP 系统；80 年代的制造资源计划（manufacture resource plan, MRP II）系统；90 年代的企业资源规划（enterprise resource plan, ERP）系统；90 年代以后的支持 Internet 的企业制造资源管理系统等发展阶段。

目前关于企业制造资源规划技术和系统方面的研究已经很多，并出版了相关的一些书籍。国内有一些企业已经部分实施了 ERP 技术和系统，在网络化制造技术的推动下，ERP 技术和系统呈现新的发展态势，包括与协同设计工具相结合，包含产品数据管理、工艺设计等新的功能，在这种情况下，需要根据网络化制造技术的发展，考虑企业制造资源管理系统的建模和开发。以往 ERP 系统的设计开发大多采用 E-R 图和数据流图的设计方式，不利于开放体系框架下系统的重构，UML 作为一种面向对象的建模方法，可以很好地支持软件过程复用和可重构。本书力图以网络制造资源管理系统建模和开发过程为主线，介绍网络制造资源管理系统的理论基础、基于 UML 统一过程的开发过程、需求分析方法、系统设计方

法、开发过程和测试方法、实施方法和维护方法。计算机网络体系结构、网络数据库、C/S (Client/Server) 体系结构和 B/S (Browse/Server) 体系结构、基于遗传算法的多品种小批量生产调度算法, 基于 UML 的 ERP 系统实施方法等基本理论和技术的研究和应用可以进一步推动网络制造资源管理系统的研究和发展。

本书由丁毓峰、吴波编写; 陶飞博士研究生, 鲁勇、李永峰、史贤忠等硕士研究生参加了本书的部分章节的编写、整理和软件开发工作。网络制造资源系统建模和开发得到了国家自然科学基金重点项目“网络环境下的数字制造理论与关键技术研究”(编号: 50335020) 和湖北省数字制造重点实验室开放基金项目“制造网络资源调度理论和技术研究”(编号: SZ0406) 的支持, 在此表示衷心感谢。

作为介绍网络制造资源管理系统技术方面的著作, 在总结国内外相关技术现状的同时, 融合了很多项目组在该技术方面的研究结果。由于本书涉及技术范围比较广, 很多概念和技术还处于发展阶段, 对于一些内容概念和内容的理解会存在一些不完善的地方, 恳请广大读者批评指正。

编者

2007 年 1 月

目 录

1 网络制造资源管理系统理论基础	1	2.1.5 RUP (rational united process) 模型	46
1.1 网络制造资源管理系统 发展历程	1	2.1.6 基于组件的开发流程	47
1.1.1 网络制造	1	2.2 网络制造资源管理系统 需求分析	48
1.1.2 企业制造资源	4	2.2.1 需求收集	48
1.1.3 企业制造资源分类	5	2.2.2 系统需求分析	48
1.1.4 制造资源的建模	7	2.2.3 需求分配	49
1.1.5 企业制造资源系统的 发展过程	9	2.2.4 软件需求分析	49
1.2 网络制造资源管理系统 基本原理	18	2.2.5 需求管理活动	49
1.2.1 计算机网络体系结构	18	2.3 网络制造资源管理系统设计	51
1.2.2 网络数据库	26	2.3.1 软件架构设计	51
1.2.3 C/S 体系结构和 B/S 体系结构	27	2.3.2 软件数据结构设计	53
1.2.4 网络制造资源管理系统 基本功能	28	2.3.3 软件接口设计	53
1.2.5 基于遗传算法的多品种 小批量生产调度算法	28	2.3.4 软件人机界面设计	54
1.3 网络制造资源管理系统 发展趋势	38	2.4 网络制造资源管理系统开发	55
1.3.1 ERP 功能的扩展	39	2.4.1 .NET 框架	55
1.3.2 基于 Internet/Web 的 应用程序	40	2.4.2 J2EE 框架	55
1.3.3 新的模块化软件和专业 化软件	41	2.4.3 Visual C++	56
1.3.4 ERP 软件向 Windows 平台转移	42	2.5 网络制造资源管理系统测试	56
参考文献	42	2.5.1 单元测试 (unit testing)	57
2 网络制造资源管理系统的 开发过程	44	2.5.2 集成测试 (integration testing)	59
2.1 软件开发过程模型	44	2.5.3 验证 (确认) 测试	62
2.1.1 瀑布模型 (waterfall)	44	2.5.4 回归测试	63
2.1.2 原型模型 (prototype)	45	2.5.5 测试信息管理	64
2.1.3 增量模型 (incremental)	45	2.6 网络制造资源管理系统维护	68
2.1.4 螺旋模型 (spiral)	45	参考文献	69
		3 网络环境下的制造资源 系统建模	71
		3.1 广义模型化方法	71
		3.2 IDEF 建模方法	72
		3.2.1 IDEF0 方法的定义和规则	72
		3.2.2 IDEF0 图的评审过程	76
		3.2.3 IDEF0 图实例	77
		3.2.4 IDEF1X 方法的基本规则	78

3.2.5	IDEF1X 的文件格式	81	仓库管理 UML 模型	107
3.3	GRAI 建模方法	81	4.2.6 网络制造资源管理系统	
3.4	面向对象建模方法	83	质量管理 UML 模型	108
3.4.1	面向对象建模方法的		4.2.7 网络制造资源管理系统	
	基本概念	83	设备管理 UML 模型	108
3.4.2	面向对象方法的基本定义	83	4.2.8 网络制造资源管理系统人力	
3.4.3	面向对象建模方法的		资源管理 UML 模型	108
	图形表示	84	4.2.9 网络制造资源管理系统基础	
3.4.4	面向对象建模技术	84	数据管理 UML 模型	109
3.5	Petri 网建模方法	86	4.3 网络制造资源管理系统生产管理	
3.5.1	基于 Petri 网的多主体协		子系统用例模型详细分析	109
	同行为分析	87	4.3.1 业务用例模型	110
3.5.2	基于同步有色网的协		4.3.2 系统用例模型	112
	同行为分析	88	4.3.3 用例详细描述	116
3.5.3	汽车转向器部件协同设计的		4.4 逻辑模型分析	117
	同步有色网表示实例	89	4.5 业务对象模型	118
3.6	UML 建模方法	90	4.6 分析模型	120
3.6.1	UML 建模方法概述	90	4.6.1 建立分析类图	120
3.6.2	UML 建模基本概念	90	4.6.2 创建用例实现	122
3.6.3	UML 建模技巧	94	4.7 设计模型	129
3.7	网络制造资源管理系统 UML		4.8 网络制造资源管理系统	
	可视化建模工具	95	部署 UML 模型	132
3.7.1	Rose 建模工具	96	参考文献	132
3.7.2	Microsoft Visio 建模工具	97	5 网络制造资源管理系统设计	134
参考文献		97	5.1 制造资源系统最高层	
4 基于 UML 的网络制造资源管理系统			UML 模型图	134
需求分析		99	5.2 网络制造资源管理系统	
4.1 概述		99	构架设计	135
4.1.1 系统总体功能需求		99	5.2.1 软件技术构架	135
4.1.2 系统非功能性需求		100	5.2.2 开发语言和工具的选择	136
4.2 网络制造资源管理系统总体			5.3 网络制造资源管理系统	
UML 模型		100	接口设计	137
4.2.1 网络制造资源管理系统			5.3.1 接口设计基本原则	137
用户管理 UML 模型		106	5.3.2 制造资源管理系统与其它	
4.2.2 网络制造资源管理系统			软件接口设计	138
销售管理 UML 模型		106	5.3.3 菜单接口函数设计	141
4.2.3 网络制造资源管理系统			5.4 制造资源管理系统数据库	
生产管理 UML 模型		106	设计	142
4.2.4 网络制造资源管理系统			5.4.1 数据库设计的基本概念	
采购管理 UML 模型		107	和准则	143
4.2.5 网络制造资源管理系统			5.4.2 实体关系图	144

5.4.3	数据库设计的规范化	144	6.6.2	系统培训	200
5.4.4	数据库建立和查询	146	参考文献		200
5.4.5	数据库设计实例	148	7	网络制造资源管理系统实施	202
5.5	网络制造资源管理系统		7.1	网络制造资源管理系统	
	用户界面设计	154		实施概述	202
5.5.1	用户界面设计原则	154	7.1.1	企业中实施的基本流程	202
5.5.2	界面设计模板	155	7.1.2	ERP 实施现状	202
5.5.3	图标设计	156	7.1.3	ERP 系统实施过程中	
5.5.4	界面设计实例	158		的问题	204
5.6	网络制造资源管理系统设计		7.2	基于 UML 的制造资源管理	
	及开发工具	161		系统实施方法论	204
参考文献		161	7.3	传动机械网络制造资源管理	
6	网络制造资源管理系统开发			系统实施过程分析	206
	和测试	163	7.3.1	基于 Rational 统一过程的	
6.1	网络制造资源管理系统开发的			实施基本过程	206
	组织和管理	163	7.3.2	传动机械制造企业实施	
6.2	网络制造资源管理系统			ERP 的总体目标	207
	编码规范	166	7.3.3	网络制造资源管理系统	
6.3	基于构件的开发原理	173		实施准备	208
6.4	网络制造资源管理系统典型		7.3.4	网络制造资源管理系统	
	模块开发实例	175		实施过程	208
6.4.1	网络制造资源管理系统开发		参考文献		217
	关键技术	176	8	网络制造资源管理系统维护	218
6.4.2	网络制造资源管理系统生产		8.1	软件维护过程	219
	管理子系统开发实例	179	8.1.1	软件维护的定义和特点	219
6.4.3	网络环境下数字制造资源		8.1.2	软件维护的过程	220
	共享平台设计与开发	189	8.1.3	软件的可维护性	220
6.5	网络环境下的制造资源		8.2	软件维护技术和分析方法	222
	系统的测试	192	8.2.1	软件维护技术和分析方法	
6.5.1	系统需求的测试	193		研究现状	222
6.5.2	系统设计的测试	194	8.2.2	软件维护方法	222
6.5.3	程序代码的单元测试	194	8.2.3	面向对象软件的维护	
6.5.4	系统测试	197		分析方法	223
6.5.5	系统的非功能性测试	198	8.3	网络制造资源管理系统维护	225
6.5.6	用户确认测试	199	参考文献		226
6.6	网络环境下的制造资源		附录	缩略语	227
	系统的部署	199			
6.6.1	系统文档	199			

1.

网络制造资源管理系统理论基础

1.1 网络制造资源管理系统发展历程

1.1.1 网络制造

随着信息技术、计算机技术、计算机网络技术的快速发展，全球正在形成一种称为“网络经济”的新经济模式。在这种经济模式下，制造环境和以往本地作业的制造相比发生了很大的变化。面对网络经济时代制造环境的变化，需要建立一种按市场需求驱动的、对市场需求具有快速响应能力的网络制造环境。

在网络制造环境下，制造企业将利用 Intranet/Internet 进行产品的协同设计和制造。基于 Internet 和相关网络支持工具，企业相关人员将直接与客户、供应商进行接触，客户可以参与产品的设计过程，也可以通过在线订单系统直接下订单给企业，企业根据订单需求进行产品定制生产，产品生产出来后企业将产品直接销售给客户。由于在 Intranet/Internet 上信息传递的快捷性，以及制造环境和系统需要对市场变化的快速响应，为此企业内部、企业之间的协同和协作越来越频繁，企业内的信息和知识将高度集成和共享，企业的管理模式将发生很大变化，制造资源将得到更加充分和合理的利用。因此，可以说网络化制造将成为现代制造企业发展的必然趋势。

网络化制造技术是在设计制造技术计算机网络技术、数据库、信息技术上的所有先进制造技术的总称，涉及制造业的产品生产周期和经营活动的全过程，其技术构成涉及设计、分析、工艺、制造、管理等流程和相关单元工具，学科交叉范围大。以计算机网络技术为基础是其区分其他制造技术的主要特征，该特征表明了计算机网络对其重要的支撑作用。

网络化制造技术通过将制造技术和信息技术相结合，通过信息化带动工业化。当前网络化制造的相关技术在欧美等经济发达国家已经取得了一定的研究成果和实践经验。在当前国内外激烈的市场竞争情况下，国内制造企业也逐步认识到了面临的严峻形势，希望通过发展和应用网络化制造技术，实现资源整合和优势互补，从而可以快速提高企业的制造和管理水平，提升开拓市场的能力和产品的研发水平；同时通过在更大范围内应用网络化制造技术，可以加快企业产业结构调整，提高制造资源利用率，降低制造成本，提高企业的制造能力和制造水平。

因此，发展网络化制造关键技术将成为用网络化制造技术来改造和提升传统制造业，用信息技术带动中国制造业从制造大国走向制造强国的重要技术基础。网络化制造技术和系统涉及产品的协同设计/制造、服务、销售和装配等产品生命周期内的几乎所有子过程，通常

包括以下关键技术和功能子系统。

- i. 网络化企业动态联盟和虚拟企业的组建和优化技术和子系统。
- ii. 网络制造环境下项目管理技术和子系统。
- iii. 网络制造环境下的制造资源发布和管理技术以及子系统。
- iv. 网络化协同产品开发支持技术和子系统。
- v. 网络制造环境下协同产品数据管理技术和子系统。
- vi. 网络制造环境下产品设计制造集成支持技术和子系统。
- vii. 网络制造环境下敏捷供应链管理技术和子系统。
- viii. 产品网络销售与定制的开发与运行支持技术和子系统。
- ix. 计算机网络和数据库支撑技术和子系统。

在网络制造系统总体框架下，这些功能子系统既能集成在网络制造系统环境下运行，也能单独成系统运行。由下往上将网络制造平台划分为安全体系、社会支援体系、知识体系、区域网络化协作平台等，体系框架如图 1-1 所示，涉及的关键技术包括以下几点。

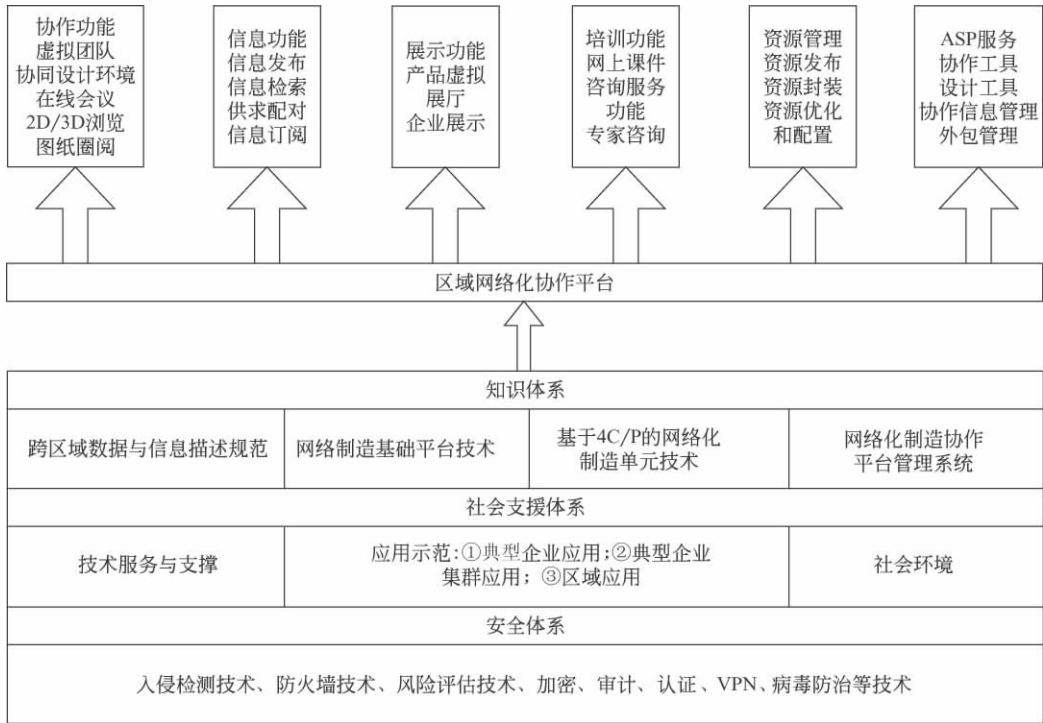


图 1-1 网络化制造平台体系框架

① 敏捷基础设施网络 (agile infrastructure for manufacturing system net, AIMS Net) AIMS Net 是一个开放的网络，任何企业都可在上面提供相关服务，AIMS Net 包括成员注册、供应商信息、制造资源和伙伴选择、合同与协议服务、虚拟企业运作支持和小组协作支持等。通过 AIMS Net 可以缩短产品研发周期，并且可以将技术能力互补的相关企业连接起来，形成供应链。企业不再强调技术全面，而是强调自己的核心竞争力。通过相互合作，能有效地处理不可预测的市场变化。

② 网络化制造模式下的计算机辅助工艺设计 (computer aided process planning, CAPP) 技术 CAPP 是联系设计和制造的桥梁和纽带，所以网络化制造系统的实施必须获

得工艺设计理论及其应用系统的支持。因此,在继承传统本地二维 CAPP 系统研究成果的基础上,进一步探索网络化制造模式下的集成化、工具化 CAPP 系统是当前网络化制造系统研究和开发的前沿领域。需要研究和解决的关键技术包括研究基于 Intranet/Internet 的工具化零件信息输入机制、基于 Intranet/Internet 的工艺设计方法等。

③ 计算机辅助制造网络 (computer aided manufacturing net, CAM Net) 通过该网络可以提供产品设计的可制造性分析、加工过程仿真及产品的试验等多种产品加工制造支撑服务,使得联盟企业的成员能够快速连接和共享制造信息。通过建立敏捷制造的支撑环境,在网络上协调工作,将企业中各种以数据库文本图形和数据文件存储的分布信息进行共享以供合作伙伴使用,为各合作企业的过程集成提供技术支持。

④ 企业集成网络 (enterprise integration net, EI Net) 该网络提供各种增值的服务,包括目录服务、安全性服务和电子汇款服务等。目录服务帮助用户在电子市场或企业内部寻找信息、服务和人员。安全性服务通过用户权限为网络安全提供保障。电子汇款服务支持在整个网络上进行商业往来。通过这些服务,用户能够快速确定所需要的信息,安全地进行处理各种业务以及财务事务。

随着计算机网络技术的发展和网络制造技术和系统的应用,目前制造系统正在从传统的“他组织”走向“自组织”,企业的制造系统将不再是一堆死的、被动的设备和物料的集合,而是由一系列具有自身利益界定和自主决策能力的主体 (agent) 所组成的整体。生产设备将不再是被动地被操作、被调度,而能够按照其所采集到的周围的信息,根据当时的实际情况,自主地采取正确的对策与行动。在“规则”许可的限度内,每一台设备都最大限度地争取其自身的“利益”,同时,也为整体做出一份贡献。在制造业自行从“他组织”向“自组织”发展的同时,在信息技术领域,一类叫做“网格”技术的新技术正在蓬勃兴起和发展。

网格是一组一体化的共享资源,也被称为虚拟超级计算机,是一种利用互联网或专用网络把地理上广泛分布的各种计算资源互联在一起的技术。2001 年 Ian Foster 对网格的定义:动态多机构虚拟组织中的资源共享和协同问题解决^[7]。从该定义可以看出,网格具有资源共享、协同工作和动态组成虚拟组织三个特点。目前国外许多公司和国家级的研究机构对网格技术进行了深入研究和实验。

网格技术在制造业的应用,可以为制造业提供一个公共的制造网格平台,实现企业和社会资源共享和集成,支持企业群体协同运作和管理的集成支撑环境。制造网格基于网格和相关先进的计算机与信息技术,通过网络将分散在不同企业和社会群体 (包括高校、研究所等) 中的设计、制造、管理、信息、技术和软件资源通过封装和集成,屏蔽资源的异构性和地理分布性,以透明的方式为用户提供各类制造服务 (这里的制造是指广义制造,包括企业生产经营的一切活动),使企业或个体能够以请求服务的方式,方便地获得所有制造服务,能够像使用本地资源一样方便地使用封装在制造网格中的所有资源,实现各类资源的集成和优化运行,并为虚拟企业产品开发提供协同工作支持环境,从而实现企业间的协同设计和制造,使制造企业群体能够以低成本和短周期,制造出符合市场需求的高质量产品。

目前国内外网格技术的理论及应用研究主要集中在高性能计算机、操作系统、协同教学、远程沉浸等领域,将网格技术扩展到制造领域,开展基于网格技术的制造网络理论、技术、方法等方面的研究,解决制造业资源共享问题,在目前仍然处于刚刚起步阶段。在制造领域的应用研究项目和文献还比较少,但是理论和实践研究证明,网络化制造正在向制造网格快速发展。

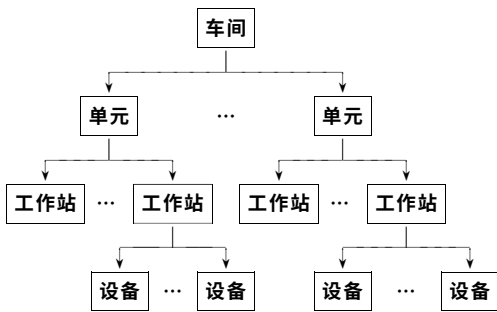


图 1-2 AMRF 的车间控制结构

1. 1. 2 企业制造资源

制造环境主要指完成产品制造加工过程所需要的机床设备、夹具、刀具、工具、人员、相应的信息、数据以及组织管理模式等，它是实现计算机集成制造系统（computer integrate manufacture system, CIMS）和网络制造的基础。美国国家标准技术研究所（前美国国家标准局）所提出的五层结构为很多企业所接受，通常可以作为企业制造环境设计和构建的参考。

美国国家标准技术研究所于 1982 年开始建设其自动化制造研究工程（automatic manufacturing research foundation, AMRF），并在此基础上提出了 CIMS 体系结构的五层参考模型，目的是建立一个小批量制造的原型工厂，用以研究集成的标准。其五层结构自上而下包括工厂层、车间层、单元层、工作站层和设备层等 5 个层次。制造环境主要指五层结构中车间以下的部分，AMRF 的车间控制结构是一个四层递阶控制系统，如图 1-2 所示^[8]。五层结构和开发活动、能力状态的关系如图 1-3 所示。

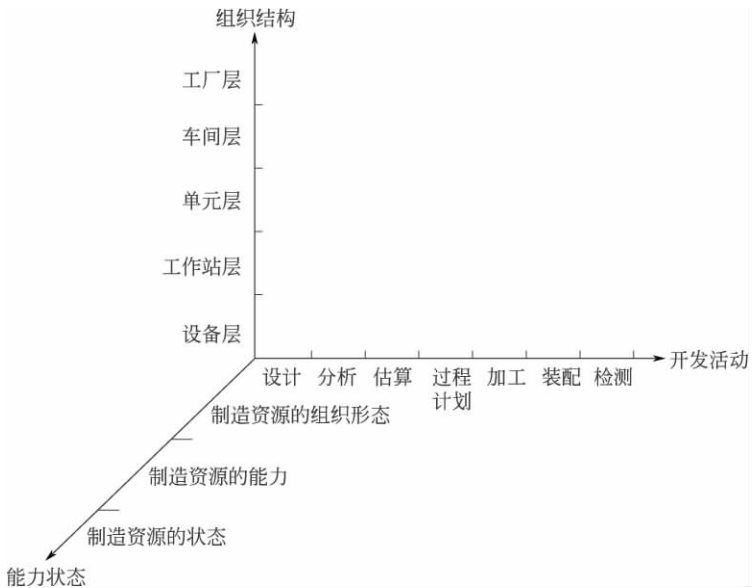


图 1-3 制造资源的结构坐标系^[9]

AMRF 车间控制结构的基本思想是每个加工设备都有自己的控制器，几个设备组成一个工作站，每个工作站也都有自己的控制器，完成包括车削、铣削、磨削、检测、物料传送等特定的工作。几个工作站由一个单元控制管理。单元控制器制定生产计划和调度决策，并将指令下达给工作站。工作站将收到的指令分解为若干任务交给它所控制的设备，并对各设备的工作进行协调。AMRF 已经实现了底下三层。关于车间层和工厂层的功能，可以参考 ISO 标准的“车间生产参考模型”。

与 AMRF 车间控制结构相并列，一种叫做集成制造数据管理系统（integrated manufacturing data administration system, IMDAS）的数据管理结构被开发出来。它是一种分布式的异构的计算环境，数据存储在不同类型、不同地点的分布式数据库中，并及时将所需数据

提供给各个控制计算机使用。IMDAS 的“用户”就是上述车间控制结构中的各控制器，但是 IMDAS 与控制器是分离的，而其管理的数据对控制器是透明的。按照 AMRF 的设计思路，车间控制的分层递阶结构管理其自己的物料和设备等制造资源。同时，IMDAS 也同样管理它自己的数据等制造信息资源。这两个部分由基于计算机网络的通信系统连接起来，构成集成的网络制造环境。

现代集成制造技术与传统制造技术的最主要的区别在于，现代集成制造系统必须在传统制造环境的基础上实现系统集成。这里的系统集成包括功能集成和信息集成两个方面：功能集成实现物料和工件的交换和加工，即对物流和加工设备的控制。信息集成实现制造信息和数据的交换和管理，因此，建立网络环境下的计算机集成制造系统，需要重点解决功能和信息两方面的集成问题。对于传统的制造环境，已经有了相应的国际、国家、行业和企业等标准，涉及各种加工设备和工具的性能、参数、测试条件和操作等。所以对于网络环境下的现代集成制造系统，着重从集成的角度去考虑各种资源如何实现信息共享。例如加工设备在进行信息交换、柔性加工及物流控制等方面的特点及其有关的各级标准。

1.1.3 企业制造资源分类

根据制造环境的定义和特征，可以将制造资源简单地理解为完成产品设计、制造和服务的整个产品生命周期中各种活动的物理元素的总称。包括人力资源、机床设备、工艺装备（刀具、量具、夹具、辅具等）、应用软件等物理实体，以及产品技术数据、标准（国际标准、国家标准、行业标准、企业标准等）、培训与服务等各种数据信息。它是企业完成设计、工艺、生产、管理和服务等活动的基础。具体涉及计算机辅助产品开发集成系统 CAD/CAE/CAPP/CAM、产品数据管理系统（production data management, PDM）、企业资源计划（enterprise resource planning, ERP）、客户关系管理（customer relation management, CRM）等多种软件应用系统、计算机系统、工艺装备、机床设备等硬件设备。与传统的制造系统相比，网络制造系统中的制造资源具有以下一些显著特征。

① 异构性和分布性 制造资源种类繁多，功能各异，且在地理上分布在不同国家的不同企业和组织中，并不局限在某个国家的范围内。这些企业和组织对制造资源的管理都有一套自己的共享标准和规范，并且用各自的管理系统进行管理。

② 动态性和多样性 制造资源不是一成不变的。制造资源的可获得性是随着时间的变化而动态变化的。一个制造资源提供给用户使用的能力也是随着时间而动态变化的。原来可用的资源随着时间的推移可能变得不再可用，而原来没有的资源也会逐渐加入到可提供资源清单。制造资源是多种多样的，隶属于不同的企业和组织中，服务于不同企业的不同阶段。

③ 抽象性和相似性 在制造网络中，所有制造资源高度被抽象成为用户可见的“电源接线板”，其它的东西对用户是透明的。制造网络的资源是由各资源节点组成的，具有全局和局部之分。全局资源是由各局部资源组织起来的，与局部资源在一些行为特征上有其相似性。

网络制造资源管理系统是以提供设计、分析、工艺、制造和管理服务为目的，具有特殊性、多样性和异构性等特点。从资源提供者的角度，按照资源的属性、用户需求、使用方式以及在制造活动中的作用，可以将制造资源划分为人力资源（human resource, HR）、制造设备资源（manufacturing equipment resource, MER）、技术资源（technology resource, TR）、物料资源（material resource, MR）、应用系统资源（application system resource,

AR)、服务资源 (service resource, SR)、用户信息资源 (user information resource, UIR)、计算资源 (computer resource, CR)、其他相关资源 (other resource, OR)。分类层次模型如图 1-4 所示，其具体说明如下。



图 1-4 网络制造系统中的制造资源分类图^[10]

① 人力资源 (HR) 就是在产品整个生命周期中各个阶段具有丰富经验的业务和领域专家。他们能够为资源使用者提供专家咨询、专家诊断等服务。可以根据产品整个生命周期的知识结构细分为产品设计专家、产品分析专家、工艺专家、制造专家、管理专家和营销专家等。

② 制造资源 (MR) 可以细化为制造设备资源、快速原型制造资源、快速制模资源等。其中制造设备资源是指在车间层具有制造能力的制造资源的抽象。它们主要为资源需求者提供加工服务，加工的范围可以是产品、零件的一道或几道工序。可以根据功能将制造设备资源进一步细化为机械加工、铸造、焊接、锻造、粘接、装配、热处理、冲压等加工资源。快速原型制造资源包括物体分层制造法 (laminated object manufacturing, LOM)、立体平板印刷法 (stereo lithography apparatus, SLA)、选择性激光烧结法 (selected laser sinering, SLS)、熔化堆积造型法 (fused deposition modeling, FDM) 等设备及其相应的管理软件；

快速制模资源包括各种铸造模具和塑料模具设备等,这种资源是非常特殊的资源,它们是不能移动的,在制造网络中实质为虚拟资源。一旦任务分解到那个资源提供者进行加工,它就在同一时刻只能为该资源服务,直到任务完成。因此具有空间和时间差异。

③ 技术资源 (TR) 是在企业制造过程中经过发放和归档的三维实体模型、设计图纸、设计流程、工艺流程、管理流程和营销流程等所有和技术相关的子资源的集合。可以按照制造过程将技术资源细化分为设计技术资源、工艺技术资源、制造技术资源、管理技术资源和营销技术资源等。

④ 物料资源 (MR) 就是在制造系统中制造某种产品所需要材料、半成品和成品、仓库、运输工具的集合。例如零件加工中所需要的特种钢、毛坯等。

⑤ 应用系统资源 (AR) 应用系统是在制造系统的整个生命周期中用到的所有软件资源的集合。它又可以从功能的角度细化为设计系统、分析系统、仿真系统、虚拟现实系统、三维展示系统和管理系统。设计系统可细化为产品设计、工艺设计和计算机辅助制造等。其中产品设计包括 Solid Works、Pro/E、UG 等,工艺设计软件包括 CAPP、CAXA/CAPP 和 CS/CAPP 等,分析系统包括 Ansys、Abqus、CosmoWorks、FeMAP 等,可以实现产品有限元分析、应力分析、热场分析、流场分析等功能,管理系统可细分为 PDM、MRPII、ERP、CRM、SCM 等相关软件,每一类又有很多相应的工具软件。

⑥ 服务资源 (SR) 是为资源使用者提供各种信息的咨询、培训和维护等,如各种国际标准、国家标准、行业标准、企业标准等标准的咨询、培训和检索。

⑦ 用户信息资源 (UIR) 是记录资源提供者和资源使用者的一些基本信息。如资源提供方的信誉度、企业规模、企业信息化程度、企业员工数量、固定资产、产品特点等,为以后的资源评估、发现和调度提供依据。

⑧ 计算资源 (CR) 在制造网络环境下服务器计算机的 CPU、存储器等资源也将成为制造资源的一部分,这种资源已经超出了传统制造资源的范畴。因此这里将这类资源作为一类计算资源包括在制造资源中。

⑨ 其他相关资源 (OR) 如记账信息、日志信息和公共信息等不在以上所述的资源里的所有资源的集合。

1.1.4 制造资源的建模

为了建立网络环境下的资源模型,在上述的资源分类的基础上,结合面向对象的思想把资源为九大类^[10]:人力资源类、制造资源类、技术资源类、物料资源类、应用系统资源类、服务资源类、用户信息资源类、计算资源类和其它相关资源类。用网格资源类 (grid resource, GR)、资源类 (RR)、资源能力属性集 (capability attribute, CA)、物理属性集 (physical attribute, PA)、状态属性集 (statue attribute, SA) 和资源实体 (resource instance, RI) 等描述它们的关系。图 1-5 给出了 UML 类图描述的制造资源之间的层次和实例关系。图 1-5 中网格资源类是对所有网格环境下资源的抽象,资源类是所有制造网络下的制造资源的抽象,在语法上,它是网格类的一个子类,除了继承网格类的属性和关联之外,它的关联还包括活动关联、父资源类关联和子资源类关联,其属性还包括资源能力集、状态属性集、物理属性集等。同理,人力资源类、制造资源类、技术资源类、物料资源类、应用系统资源类、服务资源类、用户信息资源类、计算资源类和其它相关资源类也继承资源类的属性和关联,并且也包括其祖父类(网格类)的资源能力集、状态属性集、物理属性集等,并各自还有区别于父类和其它类的特有属性。各资源类的父资源类关联和子资源类关联

描述了资源类之间的分类关系，在 UML 中使用关联资源分类描述这种分类关系。关联资源分类是一个有向关联，它由子各资源类指向父资源类，而且这种有向关联只能局限在子类资源和父类资源之间。根据 UML 中关联类的约束可知，子资源类的实例仍然是其父类资源的实例。因此，该资源模型实质上是由各种资源类（包括资源实体、资源类、人力资源类、制造资源类、物料资源类、技术资源类、服务资源类、应用系统资源类、用户信息资源类、计算资源类和其它相关资源类）及其实例和资源分类关联构成的 UML 类图。

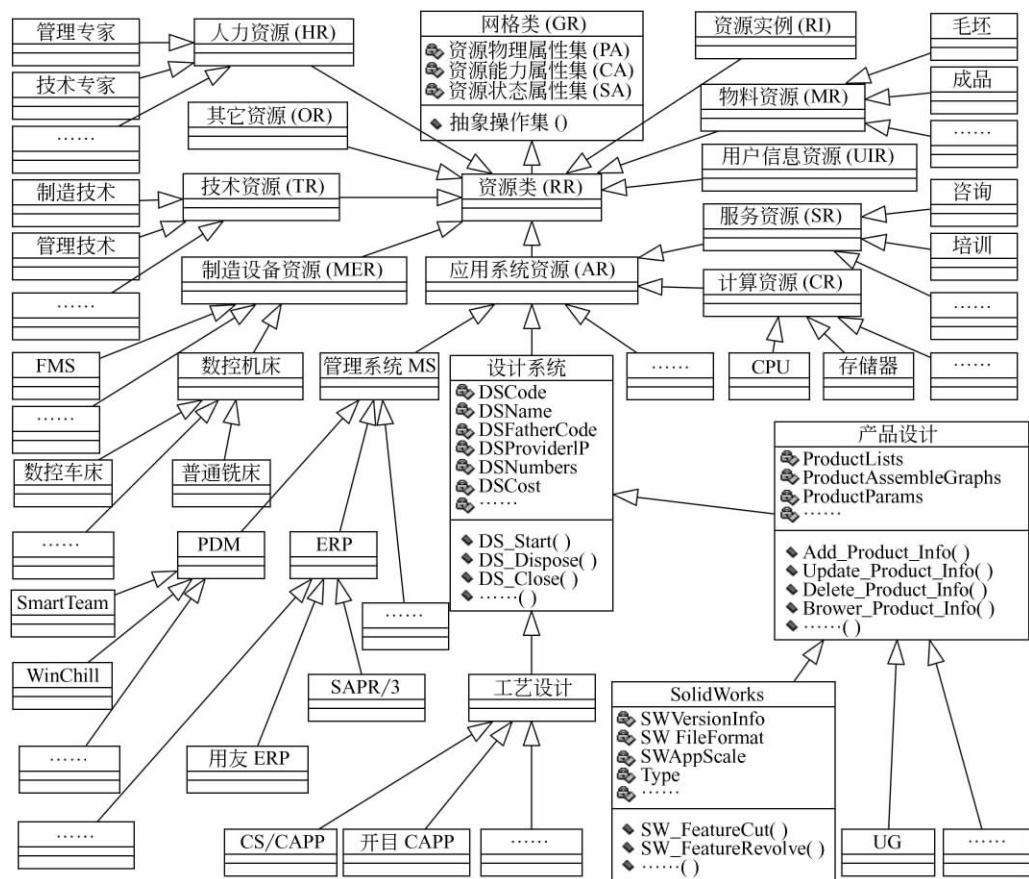


图 1-5 UML 描述的制造资源图

为了便于在制造网络或者制造网格环境下对制造资源进行组织和管理，将每类资源作为网络环境下的一个制造资源域，为了便于建模和关系转换，可以采用如图 1-6 所示的制造资源域和 UML 类图的对应关系进行关系转换。图 1-6 中左边 Domain1~Domain10 对应上面制造网络域中的 10 大自治资源类域，并且分别对应 UML 类图中 Domain1~Domain10 包，各包管理属于自己的资源域。MGD 由 Domain1~Domain10 的资源域组成，最后 MGD 组成了 GD。

根据以上分析,可以把这颗 UML 树进一步划分为网格资源域 (grid resource domain, GRD)、资源服务域 (resource service domain, RSD) 和知识资源域 (knowledge resource domain, KRd),并且分别用一个三元组来表示。

① 网格资源域: $GRD = (Domain, Level, Location)$ 其中 Domain 是继承与网格域 (GD) 的各字节节点, 如人力资源域 (HD)、设备资源域 (ERM) 等, 并且一个 Domain 能够

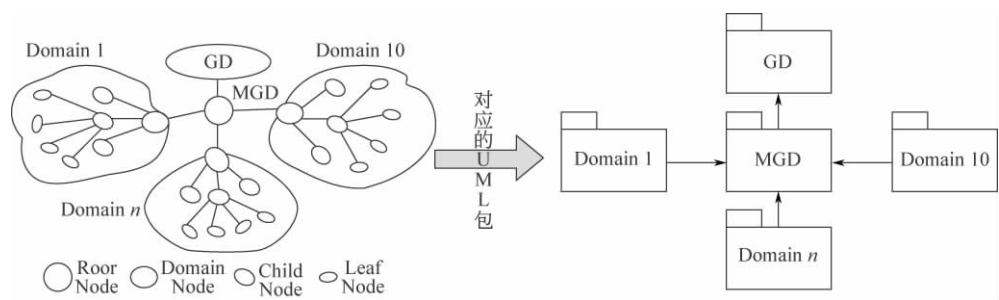


图 1-6 制造资源域和 UML 类图的对应关系

包括几个 Sub Domain，是所有 Sub Domain 的父类域。Level 标明了某个 Domain 在 GRD 的层次。Location 指出了该域在整个网格中的位置，可以是一个网址等。

② 资源服务域：RSD=(Service-Domain, Service-Level, Service-Location) 其中 RSD 依赖于某个域 (Domain) 中，该域管理着它的所有子节点，并且通过每个 RSD 的三个属性而唯一确定。

③ 知识资源域：KRD = (Knowledge-Domain, Knowledge-Level, Knowledge-Location) 其中 KRD 依赖于某个 RSD，是具体资源存储的地方。其它各项的意义与上面类似。

这样各个域便形成了一个层次关系，进一步减少了 UML 树层次，使得在制造网络中进行资源的搜索与定位更加灵活和快捷。制造资源域图的层次关系如图 1-7 所示。

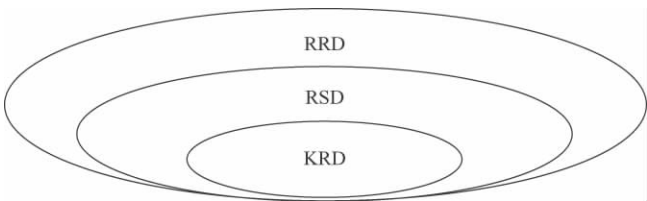


图 1-7 制造资源域图

1.1.5 企业制造资源系统的发展过程

从传统意义上讲，制造资源系统通常指的是企业制造资源规划 (ERP) 系统，随着计算机网络技术的快速发展，传统 ERP 逐步向支持跨国企业，支持 Internet 上数据传输、数据发放、数据访问、资源集成方向发展。但无疑 ERP 系统是现代制造资源系统的重要理论和技术基础。

ERP 系统首先需要解决的问题就是企业制造资源管理方式的转变。根据企业制造资源管理方式和支撑软件的变化和进步，可以将企业制造资源管理划分为以下几个阶段：20 世纪 60 年代的物料需求计划 (material requirement planning, MRP) 系统；70 年代闭环式 MRP 系统；80 年代的 MRPII 系统；90 年代的 ERP 系统。90 年代以后的支持 Internet 的企业制造资源系统。其发展阶段如图 1-8 所示。

1.1.5.1 MRP 理论

20 世纪 60 年代，在长期工作经验基础上，IBM 公司的约瑟夫·奥利佛博士提出了对物料的需求分为独立需求和相关需求的概念。在此基础上发展并形成了物料需求计划理论，即基本的 MRP。这种理论提出物料的采购量是根据需求确定的，这种需求应该考虑产品的结构，也就是说产品结构中的物料的需求量是相关的。产品结构与产品复杂程度有关，如飞

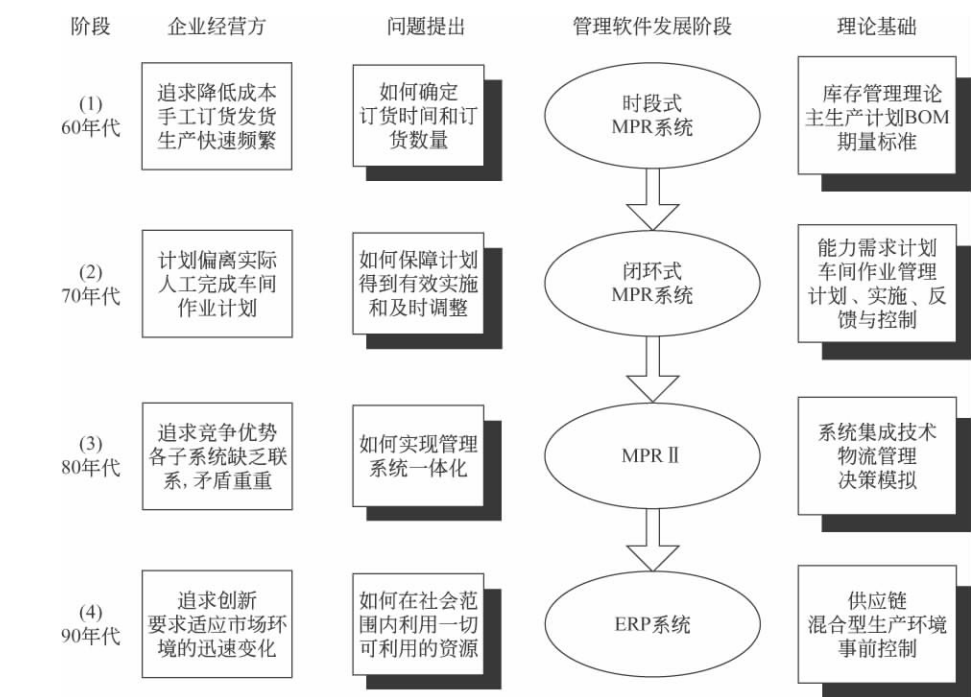


图 1-8 ERP 技术发展阶段图

机、汽车、轮船等复杂产品由成千上万甚至更多零部件组成，而门锁、电扇等简单产品却只包括几个零件。图 1-9 给出了汽车发动机产品结构的部分组成示意。

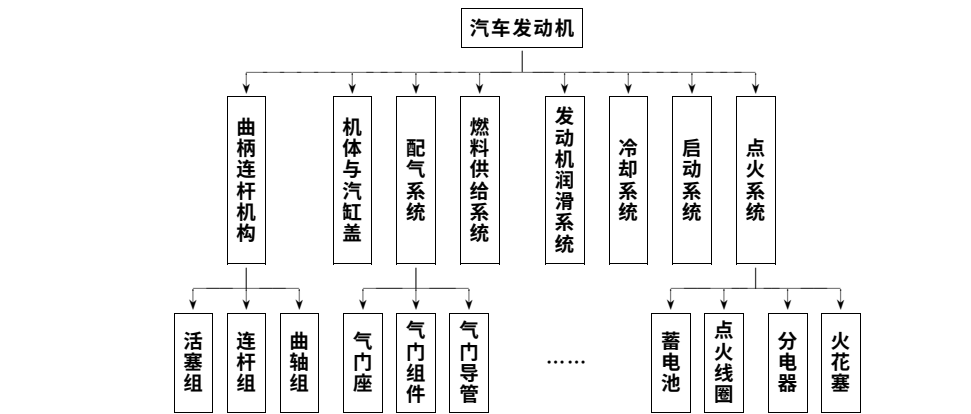


图 1-9 汽车发动机产品结构

MRP 系统最主要的目标是根据产品产量确定物料的需求量，以便为正确地进行生产管理、库存管理提供必要的信息。MRP 系统假设物料清单（bill of material, BOM）和库存记录的数据完整；已知所有物料的订货提前采购；所有受控制的物料都要经过出入库管理，在计算物料需求时间时，假定用于构成某个部件的所有子项都必须在下达部件的订货时到齐。运行 MRP 系统的前提条件包括： i . 已经生成一个主生产计划； ii . 每项物料具有一个唯一的物料编码； iii . 有一个通过物料代码表示的 BOM； iv . 有完整的库存记录。在满足这些条件的情况下，通过向 MRP 系统输入主生产计划，零部件订货数量和要求，零部件需求量预测，库存数量记录文件，物料清单后，这些输入信息经过系统加工处理后输出下达生

产计划订单的通知、日程改变通知、撤销订单的通知、物料库存状态分析的备用数据、未来一段时间的计划订单等信息。另外,MRP 系统还可以输出不一致或超出界限的各种反常信息报告、库存量预报、采购任务单、作业完成情况等信息。

1.1.5.2 闭环 MRP 算法

市场的发展和基本 MRP 在一些企业的应用与实践,促使在基本 MRP 的基础上,于 20 世纪 80 年代初发展形成了闭环 MRP 理论。闭环 MRP 理论认为主生产计划与物料需求计划(material requirement plan, MRP)是可行的,即考虑能力的约束,或者对能力提出需求计划,在满足企业能力需求的情况下,才能保证物料需求计划的执行和实现。基于该种算法和理念,企业必须对投入和产出进行控制,其基本流程如图 1-10 所示。首先企业根据产品销售预测与市场需求制定企业主生产规划,并进行生产能力与负荷的分析,如果生产能力与负荷的分析结果可行,则根据主生产计划 MPS、物料库存信息,产品物料清单 BOM 制定物料需求计划 MRP,由物料需求计划、产品加工工艺路线和车间各加工工序能力数据生成能力需求计划。如果能力需求计划不可行,则需要调整物料需求计划,必要时可以调整主生产计划;如果能力需求计划可行,则生成采购和车间作业计划,并进行投入和产出控制,同时根据作业执行结果反馈到计划层,从该流程可见闭环 MRP 理论和算法可以较好地解决计划与控制问题,但是存在并没有完全解决计划与控制的问题。

1.1.5.3 MRP II 算法

企业管理人员从长期的管理实践中认识到,低水平的管理常常导致企业拥有多种不同类型的管理子系统。很多子系统所做的事情实质上都是相同的,只不过从不同角度出发。由于在构建这些子系统的时候缺乏统一的规划,它们之间联系甚少。因此,虽然有很多管理软件系统,但企业管理问题并没有得到有效解决,相反导致了更多的矛盾和问题。

闭环 MRP 系统的出现和应用统一了企业生产活动的多种子系统。但在企业的管理活动中,生产管理只是一个重要方面,它所涉及的是物流,而与物流密切相关的还有资金流。由于早期财务管理使用单独的财务软件,所以造成了相关数据的重复录入与存储,由于存在多个数据入口,很容易造成数据的不一致。在更高的管理层次上也有类似的问题,经营规划与生产规划通常分别制订。在许多企业中,制订生产规划的人甚至不知道经营规划的存在,制订经营规划的人也从不去具体了解生产规划。于是企业管理人员意识到应该建立一个一体化的管理系统,除去不必要的重复性工作,以保证数据的一次录入,减少数据间的不一致性和提高工作效率,实现资金流与物流的统一管理,把财务管理子系统与生产管理子系统相结合,形成一个整体系统。最终将销售、仓库、生产、采购、财务等各个子系统集成为一个一体化的系统,称为制造资源计划(manufacturing resource planning, MRP II)系统,英文缩写也是 MRP,为了与物料需求计划系统(缩写也是 MRP)进行区分而记为 MRP II。MRP II 系统具有如下特点。

