

863现代集成制造系统技术丛书

数字化协同与 网络交互设计

周祖德 盛步云 编著

CIMS



科学出版社
www.sciencep.com

863 现代集成制造系统技术丛书

数字化协同与网络交互设计

周祖德 盛步云 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书阐述了数字化协同与网络交互设计的协同交互模式及其系统体系结构。书中介绍了数字化建模技术、协同设计环境与工具、协同产品数据管理、产品三维可视化、数字化设计的信息交换规范与格式等。本书还系统地研究数字制造系统中的数据交换格式、协议与技术及其应用,并介绍了产品数据交换标准 STEP、XML、XSL 和 VRML 等各种协议及标记语言。

本书可以作为制造业信息化与先进制造技术领域的科研和工程技术人员参考,也可以作为高等院校机械制造、自动化、计算机等相关专业的教师和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字化协同与网络交互设计/周祖德、盛步云编著. —北京:科学出版社, 2005

(863 现代集成制造系统技术丛书/杨海成主编)

ISBN 7-03-014466-X

I. 数… II. ①周…②盛… III. 集成制造系统-系统设计 IV. TP278

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 104798 号

责任编辑:段博原 贾瑞娜/责任校对:赵桂芬

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2005 年 1 月第一次印刷 印张: 21 1/2

印数: 1—2 500 字数: 412 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《863 现代集成制造系统技术丛书》

编写委员会

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

序 一

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

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

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

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

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

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

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

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

“十五”计划自启动以来，经过大家三年多的辛勤工作，多项研究课题已经取得阶段性成果，为了进一步推广应用制造业信息化及先进制造技术，国家“十五”863 计划现代集成制造系统技术主题专家组精心组织，汇集了部分课题的优

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



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

序 二

随着世界工业市场竞争的不断加剧以及信息技术的快速发展,各国制造企业纷纷采用各种新概念、新方法、新技术来改进产品的开发过程和开发模式,力求产品能够在市场上具有较强的竞争力和生命力。由于客户需求的多样化、个性化,传统的产品开发模式已经很难满足市场的需要,在这种情况下,虚拟设计、并行工程、敏捷制造、精益生产等先进设计和制造的理念和方法应运而生,但这些技术知识只是从企业范围内最大限度地提升企业,不能为企业间日益增强的合作和协作产品开发模式提供有力支持。

进入二十一世纪,制造企业在世界范围内的合作进一步加强,竞争进一步升级,网络技术取得了更大的发展并得到更广阔的应用。企业如何实时地将数字化信息在全球范围内,在不同的系统平台上发布,支持联盟企业之间的信息共享,从而实现协同设计和制造,是企业信息化技术应用需要解决的新课题。

产品数字化协同设计与制造技术是在 20 世纪 80 年代法国达索公司开发的航空工业标准 CATIA 软件系统上,不断丰富它的功能模块及其兼容性而发展起来的。数字化技术发展获得巨大进展是在 1990 年以美国波音公司为代表率先开展了全数字化设计技术研究。在波音 767-X 的设计上,其使用 CATIA 系统对全部零件进行三维数字化设计、数字化预装配和并行进行结构的详细设计、系统安排、分析计算、工艺规划和工装设计,在企业管理方面进行资源重组、过程重组和产品重组,使飞机设计和制造从观念到技术上实现新的飞跃。在此基础上研制生产出了世界上最先进的波音 777 飞机,其研制周期缩短近 1/2,成本降低 1/4,从而使全数字技术成为世界各航空企业竞争的手段。

2001 年, CIMData 公司提出了协同产品定义管理 (collaborative product definition management, CPDM) 的概念。CPDM 的本质是支持跨企业的协同工作环境,提供多企业协作发展的完善的产品生命周期管理。CPDM 并不是单一的软件工具,它是指支持虚拟企业或企业联盟的产品协同设计与开发,适应多种软硬件平台,建立在多种支撑技术之上的,以传统 PDM 技术为核心的多种软件系统的集合。CPDM 可以在 Internet 上,在全球范围内实现“虚拟企业”和“企业联盟”级的产品结构和配置管理、项目管理。第三代的 PDM 系统也属于 CPDM 的范畴,并且在不断的发展中,其中以 PTC 公司的 Windchill、Matrix One 公司的 eMatrix 为代表,在支持异地协同设计的产品数据管理方面开创了好的先例。

21 世纪初面对的不断变化的全球性和区域性市场将有较大的现实意义,运用现代高新技术、特别是信息技术和数字技术改造传统制造业,武装新兴制造业,发挥后发优势,通过制造业信息化走出一条以信息化带动工业化,以数字化促进信息化的新路,有力促进我国制造业信息化建设,提升 CIMS 应用层次和水平,从而实现真正意义上的信息集成与共享,使我国由制造大国变为制造强国,实现跨越式发展,在经济全球化的分工中取得有利地位。

作者所在的武汉理工大学数字制造实验室(湖北省重点实验室)课题组在 863 计划、国家攻关项目和国家自然科学基金的支持下,对产品数字化协同设计和制造、产品数字化协同与网络交互设计式设计系统的体系结构、协同产品数据管理系统的体系结构和各部分的功能组成、支持数字制造的标准、规范、协议等理论和关键技术进行了深入的研究,取得了较多有价值的理论研究成果,并开发了多通道协同设计工具集。该工具集已经进行了实际应用,可以有效地支持企业内部和外部相关人员协作开发产品,极大地提升了企业的产品开发能力。相信该项目取得的理论和应用成果对推动企业的信息化建设将起到很好的促进作用。

熊有伦

2004 年 9 月于武汉

前 言

网络技术的飞速发展和广泛应用深刻地改变了人类的生产和生活方式，也导致了制造企业运作模式的变化，大大拓展了企业的设计、制造和销售范围。产品数字化协同与网络交互是在网络经济下产生并得到广泛应用的先进制造理念，是基于网络技术的先进制造模式，是在因特网和企业内外网环境下，企业组织产品设计开发、经营管理的理论与方法。

产品数字化协同与网络交互式设计涉及企业生产经营和产品全生命周期等方面，其相关技术可以用来支持开展企业生产经营和产品开发的各类活动。产品数字化协同与网络交互式设计以快速响应市场，满足客户需求为主要目标，其通过协同工作和网络交互，突破由于地理空间上的距离与工作时间的不同步给企业产品开发和企业合作所造成的障碍，提高企业的市场响应速度，进而提高企业的竞争能力。产品数字化协同与网络交互式设计强调企业间的协作与社会范围内的资源共享，通过企业间的协作和资源共享，提高企业（企业集群）的产品创新能力和制造能力，实现产品开发的低成本和高效率。

产品数字化协同与网络交互式设计是在网络时代以企业和产品的数字化为基础，面向客户、供应商以及合作伙伴的协同设计。它不仅体现在利用计算机技术、多媒体技术和网络通信技术，而且支持工作群体成员在共享环境下的协同工作、交互协商、分工合作、共同完成产品开发任务，支持多个时间分离、空间分布而工作上相互依赖的产品开发相关人员的协同工作，还支持客户、供应商以及合作伙伴通过 Web 方式进行产品的大规模定制设计。

由于产品的设计开发过程要涉及产品的形状特征、工艺特征、装配特征，车间、设备、人员和组织等资源特性，企业的业务流程、组织管理和决策的形式、特点等，而不同功能的这些特征、特性、形式、特点往往有较大的差异，所以产品数字化协同与网络交互式设计需要对产品、资源和企业进行数字化，以建立统一、协调的产品模型、资源模型和企业工作与管理模型，为各类协作成员在产品开发阶段进行实时地交流与协作提供基础支持。同时，产品数字化协同与网络交互式设计的研究与实施，还涉及协同支持技术（CSCW）、大规模定制技术、产品管理技术、制造信息交换技术、平台的组织管理与运行技术，结合不同企业的具体情况和应用需求，将上述技术灵活应用，可以构建不同功能的协同设计应用系统。这些技术的进一步研究和应用可以深化和促进产品数字化协同与网络交互式设计的研究与发展。

目前,产品数字化协同与网络交互式设计的研究与应用在我国上尚处于起步阶段,虽然已经有不少研究人员从不同的角度开展了相关概念和技术的研究。但是,有关产品数字化协同与网络交互式设计的许多关键技术问题还处于探索阶段。本书作者首先综述了国内外在产品数字化协同与网络交互式设计相关领域的研究状况和发展趋势,在此基础上,结合作者多年来在产品数字化协同与网络交互式设计中的研究和应用心得,对产品数字化协同与网络交互式设计系统的体系结构、建模技术、协同设计环境及其工具集、基于 STEP 的产品信息共享与交换、协同产品管理系统、基于网络的协同交互设计技术、ASP 技术等进行了论述。

本书由周祖德、盛步云编写,赵秀栩、罗丹、丁毓峰博士和马志远硕士等参与了部分章节的编写与整理。本书的研究得到了以下与产品数字化协同与网络交互式设计相关的研究项目的支持:国家科技攻关项目(课题编号:2003BA103C)、国家自然科学基金重大基金(课题编号:E05 50335020)、国家 863 计划(课题编号:2001AA412240),在此表示感谢。

作为一种介绍产品数字化协同与网络交互式设计的学术专著,书中的许多内容是作者及项目组研究开发工作的体会,作者也力图客观全面地向读者介绍产品数字化协同与网络交互式设计这一新兴技术。由于本书所涉及的学科范围较宽,产品数字化协同与网络交互式设计技术还正处在迅速发展阶段,对于一些新概念的认识和问题的分析还会有一些不完善的地方,我们诚恳欢迎广大读者批评指正。

作者

2004 年 9 月

目 录

序一

序二

前言

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 国内外研究现状	3
1.3 产品数字化协同与网络交互式设计系统的体系结构	5
1.3.1 产品数字化协同与网络交互式设计系统的几种体系结构	5
1.3.2 产品数字化协同与网络交互式设计系统的体系结构	7
1.3.3 产品数字化协同与网络交互式设计系统的功能	8
1.4 产品数字化协同与网络交互式设计系统中的关键技术	10
1.4.1 产品数字化模型的分布共享	10
1.4.2 异步协同设计及其管理	13
1.4.3 同步协同设计及其管理	15
1.4.4 基于 Internet 的制造信息安全	18
参考文献	19
第2章 数字化建模技术	21
2.1 数字化产品建模技术	22
2.1.1 几何建模	22
2.1.2 特征建模	27
2.1.3 装配化建模	36
2.1.4 集成建模	38
2.2 数字化资源建模技术	41
2.2.1 车间建模	41
2.2.2 设备建模	43
2.2.3 人员建模	44
2.2.4 组织建模	46
2.3 数字化企业建模	47
2.3.1 数字化企业的概念	47
2.3.2 企业功能建模方法	48

2.3.3 企业信息建模方法	49
2.3.4 企业决策建模方法	52
2.3.5 虚拟企业建模	53
2.4 数字化过程建模	55
2.4.1 概述	55
2.4.2 过程建模的概念和方法	55
2.4.3 工作流建模方法	60
2.4.4 企业经营过程的工作流建模	60
2.4.5 支持动态联盟的工作流建模	62
2.5 建模分析方法	63
2.5.1 企业功能模型建模分析方法	63
2.5.2 企业业务过程模型建模分析方法	63
2.5.3 企业组织模型建模分析方法	64
2.5.4 企业信息模型建模分析方法	64
2.5.5 企业决策模型建模分析方法	64
参考文献	65
第3章 协同设计环境及其工具	66
3.1 协同设计环境国内外研究进展简述	66
3.2 同步协同的应用共享	68
3.2.1 同步协同应用共享的原理	68
3.2.2 同步协同的混合式应用共享的改进	72
3.3 支持协同设计的多媒体交流技术	82
3.3.1 基于 Internet 的音视频的通用交流技术	83
3.3.2 音频系统的特殊处理	85
3.3.3 视频系统的特殊处理	87
3.4 支持协同设计的其他协作技术	88
3.5 协同交互系统管理技术	89
3.5.1 成员的管理	90
3.5.2 发言权管理	90
3.5.3 协同设计的令牌控制	92
3.6 支持协同设计的网络环境及解决方案	93
3.6.1 支持协同设计的单播与多播处理	93
3.6.2 支持协同设计的网络环境	94
参考文献	97

第4章 基于STEP的产品信息共享与交换	98
4.1 基于STEP的数字化产品建模技术研究	98
4.1.1 产品建模技术的国内外研究现状	98
4.1.2 数字化产品多维集成模型	100
4.1.3 基于Web的数字化产品需求的协同交互式获取、分析及定义	103
4.1.4 基于STEP的数字化产品需求模型的表征与描述	106
4.2 基于STEP的产品数据共享和交换的关键技术及实现方法	110
4.2.1 国内外有关基于STEP的产品数据共享和交换研究状况	110
4.2.2 产品模型数据转换标准STEP的层次结构	112
4.2.3 基于STEP的产品数据共享和交换的实现机制	113
4.2.4 基于STEP的产品数据交换实现机制的比较	117
4.2.5 基于JSDAI的产品数据共享及交换的实现	119
4.2.6 AP 203 应用协议在产品数据共享和交换中的应用	123
4.2.7 XML在产品数据共享和交换中的应用	126
4.2.8 基于网络的产品数据共享与交换的实现	129
参考文献	132
第5章 协同产品管理系统	135
5.1 协同产品数据管理系统的整体架构	135
5.1.1 国内外研究状况及发展趋势	135
5.1.2 协同产品数据管理系统WINCAN©CPM的架构及功能	138
5.2 协同产品数据管理系统中的文档管理	140
5.2.1 协同产品数据管理系统文档管理的功能要求	140
5.2.2 协同产品数据管理系统WINCAN©CPM文档管理的系统功能结构	141
5.2.3 WINCAN©CPM系统文档管理的功能	143
5.3 协同产品数据管理系统中的产品配置及产品结构管理	145
5.3.1 基于Web的产品配置及产品结构管理	145
5.3.2 企业产品配置及产品结构管理	146
5.3.3 产品版本管理	147
5.3.4 产品物料清单管理	148
5.4 协同产品数据管理系统中的 workflow 管理	148
5.4.1 workflow 管理系统的体系结构	148
5.4.2 workflow 管理系统的设计与实现	150
5.5 协同产品数据管理系统中的项目管理	153
5.5.1 协同设计系统对项目管理的需求	153
5.5.2 项目管理系统构建	153

5.6 协同产品数据管理系统中的权限管理	156
5.6.1 协同产品数据管理系统的权限管理模型	156
5.6.2 权限管理功能的实现	159
参考文献	161
第6章 基于网络的协同交互设计技术	162
6.1 概述	162
6.1.1 基于 Web 的可视化浏览与交互的研究现状	162
6.1.2 基于 Web 的可视化浏览与交互技术的比较	166
6.1.3 实现产品 3D 模型可视化浏览与交互的关键技术	168
6.2 面向客户的协同设计网站设计及实现	172
6.2.1 远程协同设计网站设计规划	172
6.2.2 远程协同设计网站主页的设计	174
6.2.3 网站用户的管理	177
6.2.4 产品信息	179
6.2.5 项目进度	179
参考文献	180
第7章 产品规模定制设计	181
7.1 规模定制的概念、特征及类型	181
7.1.1 规模定制的概念	181
7.1.2 规模定制生产的特征	183
7.1.3 规模定制生产的类型	184
7.1.4 规模定制生产的国内外研究现状	185
7.2 规模定制的产品数字化设计	188
7.2.1 概述	188
7.2.2 规模定制产品需求信息的获取	189
7.2.3 产品定义的过程	191
7.2.4 基于 Web 的客户化产品交互定制设计过程	192
7.3 规模定制产品需求模型的数字化表征与描述	194
7.3.1 数字化的产品需求结构模型	194
7.3.2 数字化的产品需求模型的描述	195
7.3.3 基于产品族结构的信息模型的建立	197
7.4 面向规模定制的产品配置	200
7.4.1 产品配置的概念	200
7.4.2 数字化产品结构层次模型	201
7.4.3 面向规模定制的产品配置的实现	203

7.4.4 产品规模定制设计与 PDM 系统的集成	206
参考文献	209
第 8 章 基于 ASP 架构数字化协同设计技术	214
8.1 ASP 架构产生的背景及特点	214
8.1.1 制造业信息化对 ASP 架构的需求	214
8.1.2 ASP 的发展历程	216
8.1.3 ASP 应用的效益	218
8.2 基于 ASP 的数字化技术国内外现状及发展趋势	219
8.2.1 基于 ASP 的数字化技术国外发展现状	219
8.2.2 基于 ASP 的数字化技术国内发展现状	222
8.2.3 基于 ASP 的数字化技术发展趋势	223
8.2.4 基于 ASP 服务的数字化产品	225
8.3 基于 ASP 架构的数字化协同设计及其关键技术	225
8.3.1 数字化协同设计系统的 ASP 架构	225
8.3.2 ASP 架构组织模式	225
8.3.3 ASP 并发处理模式	226
8.3.4 ASP 冲突消除模式	227
8.4 ASP 架构的组织模式	227
8.4.1 概述	227
8.4.2 ASP 架构的硬件组织模式	229
8.4.3 ASP 架构的软件组织模式	234
8.4.4 ASP 架构的团队组织模式	239
8.5 并发处理能力	247
8.5.1 ASP 架构对并发处理能力的要求	247
8.5.2 提高并发处理能力的主要方式	248
8.5.3 适合 ASP 架构的负载处理机制	252
8.5.4 动态负载平衡机制的主要技术	256
8.6 ASP 架构下冲突消解模式	262
8.6.1 冲突消解理论及模式	263
8.6.2 适合 ASP 架构的冲突消解模式	266
参考文献	269
第 9 章 数字化设计中的数据交换格式、协议与技术	272
9.1 数据交换格式与协议综述	272
9.1.1 数据交换格式与协议的作用及意义	272

9.1.2 数据交换格式与协议综述	273
9.2 XML 技术	277
9.2.1 XML 核心	277
9.2.2 XML 的有效性	282
9.2.3 XML 的模式	283
9.2.4 数据建模	286
9.2.5 XML 的数据绑定	289
9.2.6 XML 转换	291
9.2.7 XML 的工程应用	293
9.3 XSL 技术	295
9.3.1 XSL 的产生及应用领域	295
9.3.2 XSL 的路径语言: Xpath	296
9.3.3 XSL 核心: XSLT	298
9.3.4 CSS 和 XSL-FO	300
9.4 VRML 技术	302
9.4.1 VRML 的功能及应用	302
9.4.2 VRML 文件主要开发工具及浏览器	304
9.4.3 VRML 文件结构与基本内容	305
9.4.4 VRML 的 Java 支持	309
9.4.5 VRML 的应用实例	310
9.5 WAP 技术	313
9.5.1 WAP 产生背景及工程应用前景	313
9.5.2 WAP 协议	315
9.5.3 WAP 安全性能	319
9.5.4 WML	322
9.5.5 WAP 发展与其他技术的关系	324
参考文献	325