

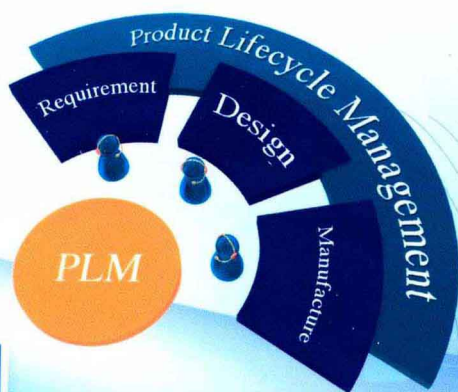
PLM

集成产品模型及其应用

—— 基于信息化背景

PLM JICHENG CHANPIN MOXING JIQI YINGYONG

崔剑 陈月艳 © 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

PLM集成产品模型及其应用

——基于信息化背景

崔 剑 陈月艳 编著

机械工业出版社

本书以信息化为背景,在产品全生命周期管理、集成产品模型、元模型以及信息系统开发实施方法信息化技术下,研究了产品集成技术,提出了集成产品元模型理论,并对 IPMM 建模内容、建模机制和建模语言等相关技术进行了深入研究,结合对象关系模型建立了一种增量式聚合开发实施方法,最后以宁波某服装集团 PLM 项目和上海某重型机器股份有限公司 PLM 项目为例,在详细对比分析企业特性和产品特性的基础上,对集成产品元模型理论和增量式聚合开发实施方法进行了应用验证。

本书适合于企业从事 PLM 需求管理的管理人员和技术人员阅读,也可供工业工程、管理科学与工程、企业管理、系统工程、MBA 等相关领域的研究人员与师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

PLM 集成产品模型及其应用:基于信息化背景/崔剑,陈月艳编著. —北京:机械工业出版社,2013.12
ISBN 978-7-111-44566-1

I. ①P… II. ①崔…②陈… III. ①信息技术—应用—产品—生产管理—研究 IV. ①F273.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 253683 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张敬柱 王华庆 责任编辑:张敬柱 王华庆

版式设计:霍永明 责任校对:陈越

封面设计:张静 责任印制:李洋

北京瑞德印刷有限公司印刷 (三河市胜利装订厂装订)

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

140mm×203mm·6 印张·1 插页·173 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-44566-1

定价:29.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面防伪标均为盗版



世界自由贸易与全球经济一体化进程的加快,使企业的竞争环境发生了根本性变化,更多的企业采用 PLM 作为企业发展的应用系统。随着 PLM 理念及其软件系统的发展与推广,越来越多的企业开始采用这种新的管理理念和软件系统来提高竞争力。基于此,本书以信息化为研究背景,对 PLM 集成产品模型及其应用进行了详细介绍。

本书共分为 7 章。第 1 章阐述了信息化研究背景,分析了 PLM 理论应用研究现状,介绍了集成产品模型、元模型建模技术以及信息系统开发和实施方法等信息化技术;第 2 章具体介绍了 PLM 定义、体系结构以及信息模型和功能结构等;第 3 章介绍了 PLM 的集成技术,分析了 PLM 与各个其他系统的集成,如 PLM/CAD 集成、PLM/ERP、PLM/CAx 集成,并介绍了各种集成接口的设置和功能实现等;第 4 章介绍了 PLM 集成产品元模型,采用元模型方法分析集成产品的机理和语义描述等知识;第 5 章是在 PLM 集成产品元模型的基础上建立 PLM 集成产品模型,并对其进行了多维度表达和多维度分析;第 6 章介绍了基于 IPMM 的增量式聚合开发实施方法,分析了增量式聚合开发实施模型,并对其进行了机理描述;第 7 章介绍了 PLM 系统开发实施方法在不同领域企业中的应用,并以宁波某服装集团定制服装 PLM 系统以及上海某重型机器股份有限公司磨煤机集成化管理平台的开发实施为例,在对比企业特性以及机械产品与服装产品区别的基础上,对广义 PLM 开发实施进程、IPMM 构建与应用以及基于 IPMM 的 PLM 软件系统增量式聚合开发实施方法进行了验证。

本书由崔剑和陈月艳编著,崔剑负责全书结构规划,陈月艳负责统稿工作。在书稿完成之际,特别感谢浙江大学祁国宁教授,全书的撰写自始至终都得到了祁老师认真、细致的指导和关心。感谢

浙江大学顾新建教授自始至终的指导、关心和帮助，顾老师渊博的知识、活跃的思维、忘我的工作精神给我留下了深刻的印象。感谢浙江大学谭建荣院士在学术上的教导、关心以及工作和生活中的鼓励与帮助。感谢杭州电子科技大学陶俐言教授的耐心指导和帮助。感谢杭州汽轮机股份有限公司叶钟总工程师、黄哲人高级工程师提供了真实有效的数据。

在本书的编写过程中参阅了大量的文献资料，在此向这些文献资料的作者表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中错误之处在所难免，希望读者不吝赐教，在此谨表示衷心的感谢。

编者



前言

第 1 章 绪论	1
1.1 PLM 概述	2
1.1.1 PLM 的产生和演化	2
1.1.2 PLM 理论研究现状	3
1.1.3 PLM 应用研究现状	5
1.2 集成产品模型	10
1.2.1 产品模型研究现状	10
1.2.2 面向 PLM 的集成产品模型研究现状	11
1.3 元模型建模技术	13
1.3.1 元模型概念及其主要特征	14
1.3.2 元模型建模层次	14
1.3.3 元模型建模流程	15
1.4 信息系统开发和实施方法	18
1.4.1 信息系统开发方法	18
1.4.2 信息系统实施方法	19
第 2 章 产品全生命周期管理	26
2.1 PLM 产生的必要性	26
2.1.1 PLM 是提高企业竞争力的必要手段	26
2.1.2 PLM 是提高企业效益的使能器	27
2.2 PLM 的定义和内涵	29
2.2.1 PLM 的定义	29
2.2.2 PLM 的内涵	32
2.3 PLM 体系结构	34
2.4 PLM 信息模型	35
2.5 PLM 核心功能	36
2.6 PLM 在企业信息化中的地位和作用	38
2.7 PLM 发展方向	38

第3章 PLM 集成技术	40
3.1 PLM/CAD 集成	40
3.1.1 PLM/CAD 的集成方式	40
3.1.2 PLM/CAD 的主要接口功能	41
3.1.3 PLM/CAD 接口功能的实现	41
3.2 PLM/ERP 集成	48
3.2.1 PLM 系统与 ERP 系统的分工与集成	48
3.2.2 PLM/ERP 过程链及其数据流	49
3.2.3 PLM 系统与 ERP 系统之间的数据交换	51
3.2.4 控制 PLM 系统与 ERP 系统之间数据的冗余	51
3.2.5 PLM/ERP 接口功能的实现	53
3.3 PLM/CAx 集成	58
3.3.1 PLM/CAx 集成的基本原理	58
3.3.2 基于 PLM 系统的 M-CAD/E-CAD 集成	59
3.3.3 产品数据与工艺装备数据的集成	60
第4章 PLM 集成产品元模型	62
4.1 IPMM 概述	62
4.1.1 PLM 集成产品元模型的获取	64
4.1.2 PLM 集成产品元模型的组建	65
4.1.3 PLM 集成产品元模型的表达	68
4.2 IPMM 视图集成	73
4.2.1 产品元模型与产品模型	73
4.2.2 过程元模型与过程模型	74
4.2.3 资源元模型与资源模型	78
4.2.4 组织元模型与组织模型	79
4.2.5 模型视图集成	79
4.3 IPMM 对象链	81
4.3.1 集成产品元模型对象链概述	82
4.3.2 产品对象链	83
4.3.3 过程对象链	88
4.3.4 过程资源对象链	90
4.3.5 项目对象链	91
4.4 IPMM 重用机制	92

4.5 IPMM 转换机制	93
第5章 PLM 集成产品模型	98
5.1 PLM 集成产品模型分析与表达	98
5.1.1 PLM 集成产品模型分析	98
5.1.2 PLM 集成产品模型表达	99
5.2 PLM 集成产品模型多级别分析	102
5.2.1 集成产品模型多维度表达	103
5.2.2 集成产品模型多级别分析	105
5.3 PLM 集成产品模型存储	108
第6章 基于 IPMM 的增量式聚合开发实施方法	110
6.1 增量式聚合概念	110
6.2 增量式聚合开发实施方法模型分析	111
6.3 基于 IPMM 的增量式聚合开发实施方法	113
6.3.1 增量式聚合开发实施方法的 IPMM 模型特性分析	113
6.3.2 增量式聚合开发实施过程模型	114
6.3.3 增量式聚合开发实施过程形式化描述	115
6.3.4 模型驱动系统开发过程模型	116
6.3.5 增量式聚合开发实施方法特性	118
6.4 开发实施项目管理	118
6.4.1 项目准备	118
6.4.2 项目计划管理	128
6.4.3 预算与风险管理	130
6.4.4 解决方案的制订	131
6.4.5 增量式聚合开发实施	133
6.4.6 系统运行	134
6.4.7 系统维护	134
第7章 PLM 集成产品模型及其开发实施应用研究	136
7.1 需求分析	136
7.1.1 企业概况	136
7.1.2 应用对象特性对比	140
7.2 开发实施应用	142
7.2.1 宁波某服装集团开发实施应用	142

7.2.2 上海某重型机器股份有限公司开发实施应用	162
7.3 开发实施方法支撑平台	166
结语	169
附录 术语及缩略语	170
参考文献	173

第 ① 章

绪 论

世界自由贸易与全球经济一体化进程的加快,使制造企业的竞争环境发生了根本性变化。客户需求的个性化逐渐成为市场发展的趋势,以往企业只考虑自身利润目标的做法已经被时代所淘汰。随着市场竞争的发展,企业与客户的关系进入了互动性双向沟通的时代,且客户在双向沟通的过程中显示出多变的、个性化的需求。对于我国企业而言,要在日趋激烈的国际和国内市场竞争中获胜,需要与客户之间相互集成,以客户为中心,获取客户的真正需求,并将客户需求信息准确地转换到企业实施的设计、制造、销售、服务以及回收各阶段,以满足客户的需求变化。同时,快速发展的信息技术以其强大的扩散力、渗透力、融合性和创新性,对制造业产生了深刻和全面的影响,促使制造企业变更自己的竞争核心、产品发展战略、技术重点、过程重点和组织重点等来适应新的竞争。目前,用信息化技术进行改造是制造企业提高生存空间和国际竞争力的关键手段。面对这种外部环境,企业纷纷提出信息化需求,如实施 CAD、CAPP、ERP、PDM、SCM、CRM 等。但是,这些应用系统只能解决企业产品设计、生产过程中出现的局部问题,并且会导致异构数据急剧膨胀,给企业带来新的压力。

产品全生命周期管理(Product Lifecycle Management, PLM)无论在管理思想上,还是在信息技术上,都能有效地从全局上支持和推动企业的战略转变和业务流程优化,加快新产品上市,降低运营成本,消除企业信息化孤岛,支持产品开发创新。产品模型是 PLM 系统实施的关键技术。本书将采用集成的方法研究 PLM 产品模型,并将其进行功能集合;介绍各种信息系统开发实施方法,并对其进行方法论的研究。

1.1 PLM 概述

要提升企业核心竞争力，必须建立一个贯穿 PLM 的信息基础架构。在这种发展背景下，PLM 集成协同各异构系统，能够解决信息孤岛问题，实现信息在全系统内的共享，成为管理与工程领域研究的热点。

1.1.1 PLM 的产生和演化

PLM 从描述产品相关阶段信息和智力资本的管理术语，发展成为覆盖产品需求分析、详细设计、制造、销售直到回收全生命过程的集成化系统，经历了三个发展阶段。

第一阶段：PLM 概念的提出。PLM 最早出现在经济管理领域，由美国经济学家 Dean 提出。而真正制造业的 PLM 研究则开始于美国计算机辅助后勤支援（Computer Aided Logistic Support, CALS）计划。CALS 是美国国防部于 1985 年 9 月提出的一项战略性计划，它支持并行设计、敏捷制造、协同设计和网络化制造等先进制造技术。

第二阶段：PLM 的局部发展。20 世纪 80 年代后期，PLM 主要是以设计、制造为对象的产品全数据管理（PDM），并涉及部分业务流程管理；进入 20 世纪 90 年代，随着并行工程、CIMS 等制造模式的发展，PLM 初步形成了信息的阶段共享；20 世纪 90 年代后期，随着 SCM、CRM 等系统的出现，PLM 发展成以产品为基础，协同管理客户信息和供应链信息的系统。在这一阶段内，PLM 仍然存在孤立的信息单元，未能实现全系统内信息的集成和协同管理。

第三阶段：PLM 的成熟发展。进入 21 世纪，PLM 的管理范围从产品全生命周期数据管理（PLDM）扩展到资产、质量、环境安全等管理，实现了全周期内资源的协调配置，并通过集成协同 PDM、SCM、CRM 各异构系统，有效地跟踪和管理产品制造数据、质量数据、售后服务数据，将产品更改方案、问题反馈、客户建议等有价值的信息集成到系统管理和解决方案中，实现真正意义上的

产品全生命周期管理。

1.1.2 PLM 理论研究现状

美国国防部于 1993 年在 CALS 研究中指出, PLM 系统集成工作流和相关支撑软件, 协调管理产品概念需求、设计、制造、销售、服务等信息, 并将这一理论迅速向英国、法国、德国等国家的企业扩展。欧盟 ESPRIT-PLM 国际组织提出, PLM 是运用集成和协同技术实现企业信息化共享的新途径, 其目的在于四个正确, 即将正确的信息, 以正确的形式, 在正确的时间, 传递给正确的人和系统。德国 SAP 公司从深度和应用规模上对 PLM 进行研究: 深度上由最初产品管理发展到与产品相关的数据、过程和资源信息的管理; 规模上从小规模集中式、异构分布式发展到自组织多系统集成方式。Portella 在《PLM World》一书中提出了产品集成模型、过程数据模型、组织模型和跨越全生命周期信息行为的 PPOR 模型等概念, 并对各模型内容及模型间的关联进行描述, 以保证产品生命周期信息的完整性和一致性。R. Sudarsan 等为了解决产品生命周期中产品数据的一致性和可追溯性问题, 实现产品信息的语义互操作, 提出了一个产品信息建模框架, 主要包括核心产品模型、开放的装配模型、设计分析集成模型和产品族演化模型等。P. Gu 认为, 在产品设计阶段就需要考虑产品生命周期各阶段的信息, 因而提出采用 STEP 标准描述通用产品模型 (GPM), 其包含了产品全生命周期各阶段的产品信息。Therani Madhusudan 认为, 成功的企业应用集成是实现 PLM 战略的关键, 他在综合 Web Service 和语义 Web 技术后提出了基于中间件的智能化、可扩展的应用集成框架, 即通过 Web Service 框架实现跨组织的信息源和服务集成, 通过记录产品和流程相关知识的领域本体实现语义级集成。约瑟夫·萧塔纳和祁国宁等对 PDM 系统与 CAD 系统及其他 CAx 系统集成的主要功能和接口原理进行了详细的讨论, 为 PLM 系统集成平台的构建和实施提供了理论支持。1993 年, 美国项目管理学会 (PMI) 等一些国际组织和跨国企业集团将 PLM 系统从面向组织和功能的传统管理模式转变到面向项目的现代管理方式, 制订了 PLM 系统项目管理标

准知识体系 PMBOK，使项目管理标准化成为目前 PLM 发展的显著趋势。

我国的 PLM 理论技术正逐渐成熟。在国家自然科学基金重大项目、863 高科技计划以及国防科研计划的资助下，北京航空航天大学、清华大学、浙江大学等教学和科研单位承担了“产品全生命周期管理”的相关课题，对适合国情发展的 PLM 理论和技术实施做出了积极有益的探索。范玉顺等对 PLM 的发展进行了综述性研究，定义了 PLM 的权威概念，论述了 PLM 系统支持的体系结构、关键技术等。乔立红等对面向 PLM 的开发过程建模问题进行了研究，提出在产品全生命周期原则下分步建立全局计划，实现对产品开发过程进行描述、分析与优化的建模原理，并通过将全局计划映射为多视图过程模型，验证了该模型方法的可行性，为解决制造企业在产品开发过程管理方面的瓶颈问题提供了可行的途径。黄双喜等给出了一个集成化产品生命周期模型的概念，实现了对产品生命周期内不同领域、不同阶段、不同方面产品信息的统一定义，并提出了集成化的产品生命周期模型体系。余军合等通过面向对象 Petri 网模型描述了产品生命周期的各种过程及其集成技术。顾巧祥等提出了基于元模型的产品数据概念模型，并对产品全生命周期内所有的业务元模型和数据元模型进行了解释，重点讨论了组成产品全生命周期数据模型的各种对象链。顾新建等提出采用产品信息基因模型的概念对出现在产品生命周期不同环节的机械产品信息进行建模，并给出了产品概念和结构基因模型。高琦等提出了一种按照产品生命周期不同阶段建立产品信息模型的方法，借助 IDEF_{1X} 建模方法，实现了产品生命周期中不同信息之间各种关联关系的表达。沈建新等提出，采用 STEP 标准从多种角度对产品技术性能、生产制造工艺、结构形状等产品全生命周期的全部信息进行完整性描述。舒启林等提出了一种由面向产品生命周期的过程模型、扩展企业资源模型和产品信息模型组成的产品全生命周期模型体系框架，并对组成产品生命周期的需求分析阶段、概念设计阶段、工程设计阶段、产品制造阶段和产品支持服务阶段模型进行了研究。在 PLM 集成技术方面，祁国宁等提出了面向 PLM 配置的管理技术和

集成技术,对 PLM 各个阶段节点的信息集成机理进行了详细的讨论,并提供了 PLM 系统支持产品从概念设计到工程设计、生产准备和制造、售后服务等整个过程的集成方法、工具。华中科技大学黄莺、张金隆等在比较 CRM 系统、ERP 系统和 SCM 系统三者管理内容的异同点和联系的基础上,分析了三者集成的范围和集成方式。林新华、邵新宇等分析了 PDM 系统与 CRM 系统集成必要性以及集成的内容。东南大学王伟、唐维俊等分析了网络化制造环境下的 CRM 系统、PDM 系统和 ERP 系统集成对象模型,通过集成 UML 类图和个性化客户服务序列图来为系统集成提供服务。

1.1.3 PLM 应用研究现状

在 PLM 理论研究的基础上,许多国际知名企业和软件供应商纷纷致力于系统实施应用。EDS、CATIA、SAP、IBM、PTC 等公司研究开发 PLM 软件平台,分别提供了完整的 PLM 战略规则和系统实施方案,见表 1-1。

表 1-1 EDS、CATIA 等公司 PLM 系统应用方案

公司名称	EDS	CATIA	SAP	IBM	PTC
技术系统	Teamcenter	CAXA V5	mySAP PLM	SmarTeam	Windchill 7.0
应用领域	航天航空、汽车制造	以设计和制造为中心的企业	大中型企业	中小型企业	多级供应链企业
具体企业	通用汽车、KONKA、富士康	Chrysler 公司	康柏、壳牌石油、西门子	托达赛车	大长江摩托
特点	将 Web 体系结构与协同管理结合,强化协同机制	虚拟产品创新,覆盖工程图、三维产品设计等	与第三方分析系统集成,协同过程管理	多级供应链管理、项目管理	多企业、多部门协作,提供端到端的解决方案

PLM 一出现,便引起了各国政府、IT 厂商、工业企业、科研院所的高度重视,将 PLM 视为提高企业核心竞争力的重要手段,纷纷制订各自的研究项目和发展计划。其中,具有代表性的研究项

目有 ICP-35K 项目、JSF 项目、PLCS 项目、AdCoMs 项目和 Enhance 项目等。

1. ICP-35K 项目

ICP-35K 是欧盟第六框架计划中的一个项目。其目标是为欧洲制造企业建立一个高效的 PLM 网络,使 35 000 余家公司可以快速实施协同产品开发和 PLM 技术,以应对激烈的市场竞争。

该项目的主要研究内容有:

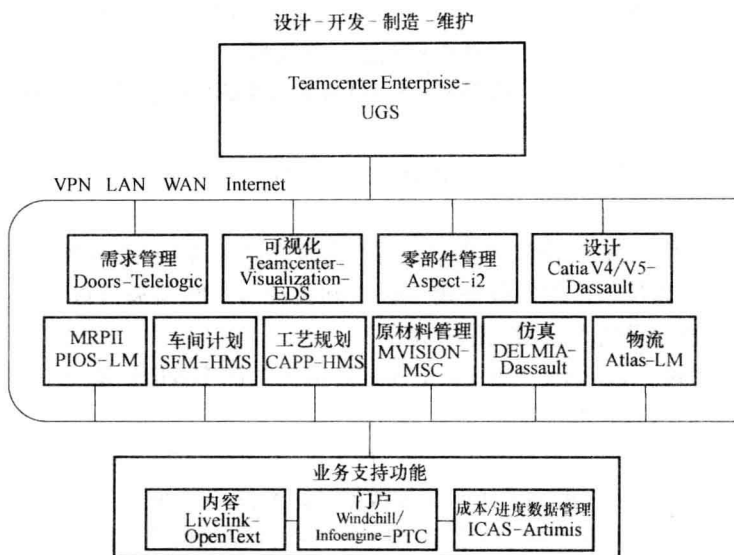
- 1) 研究和开发 PLM 的知识库。
- 2) 开发 PLM 环境下的组织模型和改进的知识管理方式。
- 3) 开发通用的可实施的 PLM 模型。
- 4) 开发全生命周期的信息管理战略,并将其转化为价值链中的知识。
- 5) 定义 PLM 的标准。
- 6) 建立基于知识的 PLM 仿真环境和 Web 入口。
- 7) 为中小型企业建立专用框架,使其可以更好地共享资源,保证它们的需求可以被 PLM 中的其他伙伴了解。
- 8) 为中小型企业提供简单的工具,以支持项目管理、知识获取和效益评估等。

2. JSF 项目

JSF 是准备装备于美国海军、空军、海军陆战队以及英国皇家海军的下一代先进的联合攻击战斗机。整个 JSF 项目将持续 40 ~ 50 年,其中生产周期将持续 20 ~ 25 年,使用和维护周期将持续 25 ~ 30 年。JSF 是历史上首次采用真正全球化的虚拟企业方式协同设计和生产的高性能联合攻击战斗机。JSF 项目团队建立了一个虚拟的开发环境,通过 PLM 战略来管理 JSF 开发的全过程,使工程人员可以在实际加工前仿真飞机设计和制造的每一个方面。在早期的开发阶段改进设计,可有效地减少返工次数,提高设计质量。

JSF 的 PLM 信息系统框架如图 1-1 所示。其中 PLM 系统作为集成平台,起核心作用。

在 JSF 的 PLM 信息系统框架中,选用 UGS 的 Teamcenter 作为 PDM 解决方案,通过 VPN、LAN、WAN 和 Internet 向使用者提供各



种应用服务。

JSF 的 PLM 信息系统框架中各主要应用软件的功能如下：

(1) Doors Doors 是由 Telelogic 公司开发的面向对象的需求管理系统。所谓的需求管理是一种获取、组织并记录系统需求的系统化方案，以及一个使客户与项目组对不断变更的系统需求达成并保持一致的过程。

(2) TeamCenter-Visualization 进行数字化大装配的关键是干涉检查以及产品结构的可视化管理，在 JSF 信息系统框架中，该工作由 EDS 的可视化装配系统软件 e-VIS 来完成。

(3) Aspect 由 i2 公司提供的 Aspect 软件主要用来完成零部件的管理。

(4) Catia V4/V5 由 Dassault 公司提供的 Catia 是一个集成了 CAD、CAE、CAM 的应用软件包。

(5) PIOS 由洛克希德·马丁公司开发的 MRPII 系统 PIOS，用于控制主生产进度和制订库存品订货计划。

(6) SFM 和 CAPP 由 HUM 公司提供的 SFM 和 CAPP 软件产品,用于进行作业计划管理和工艺过程规划。

(7) MVISION 由 MSC 公司开发的 MVISION 系统用来进行制造过程中的原材料管理。

(8) DELMIA Dassault 公司的 DELMIA 软件可以进行工厂/生产线布局和仿真。

(9) Atlas 由洛克希德·马丁公司开发的 Atlas 是一个现场状态分析软件,该软件曾被用于分析和验证 C-130 运输机以及 F-22 战斗机的平均无故障工作时间。

(10) Livelink 由 Open Text 公司提供的 Livelink 是一个基于 Web 的内容管理系统。

(11) Windchill/Infoengine 由 PTC 公司提供的 Windchill/Infoengine,为用户提供了访问其他数据处理系统的界面。

(12) ICAS 在 JSF 信息系统框架中,成本和进度需求由 Artemis 公司的 ICAS 进行管理。

3. PLCS 项目

PLCS 是最近启动的一个国际性开放项目。其目的是开发满足产品全生命周期信息管理需求的国际标准。PLCS 项目准备提供全球化的标准,以支持复杂、长生命周期产品开发中的信息定义和交互。PLCS 项目将在 STEP 基础上,开发一个开放的产品全生命周期数据管理软件框架,用 3 年时间完成一份 ISO 标准的草案。该标准将与 ISO10303 标准兼容,以增强 PLCS 在企业中的应用性,更好地支持产品全生命周期不同阶段的需求。

4. AdCoMs 项目

AdCoMs 项目是欧盟 ESPRIT 计划支持的一个项目,也是欧洲 AIT 计划的一部分。AdCoMs 项目开始于 1996 年,主要参加单位包括参与欧洲战机项目的欧洲飞机制造商、IBM、CSC、System Consult 公司以及 Leeds 大学。作为一个概念性验证项目,AdCoMs 的主要目的是解决异地分布环境下多企业参加的复杂产品协同开发问题,特别是针对欧洲战机项目,解决欧洲主要宇航公司所面临的一些关键性问题。