

研究与开发

面向全生命周期的 e 定制研究与实现

张闻雷^{1,2}, 范玉顺³

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 清华大学自动化系, 北京 100084)

摘要: 为了实现面向全生命周期的网络化产品定制, 在分析 e 定制生命周期模式的基础上, 提出了一种由企业门户、功能组件和设计仓库等分层组建的分布式 e 定制体系。进而讨论了实现全生命周期 e 定制的关键技术: 面向原子级定制的产品族模型、基于在线配置器的功能-结构-设计相混合的配置方法、基于 J2EE 的集成框架。最后以鞋机产品为例进行应用说明。

关键词: 大规模定制; 配置; 全生命周期; 产品族架构

中图分类号: TH166

文献标识码: A

文章编号: 1009-0134(2006)10-0001-05

Product lifecycle oriented e-customization system: research and implementation

ZHANG Wen-lei^{1,2}, FAN Yu-shun³

(1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Dept. of Automation, Tsinghua Univ., Beijing 100084, China)

Abstract: Aiming at implementation of web based customization across the product lifecycle, the architecture of four-layer distributed e-Customization system is presented by analyzing the product lifecycle supported customization mode. And key technologies of e-customization are further discussed, including: atomic customization oriented product family architecture modeling, online function-structure-design based product configuration approach, and J2EE based integration system architecture design. Finally, a shoe machine application case is given for demonstration.

Key words: mass-customization; configuration; product lifecycle; product family architecture

网络化定制(即 e 定制)为企业与客户交流提供了一个高效便捷的电子商务平台,使客户不受时间、地点的限制访问产品信息,进行自助配置等,极大增强了企业获取客户订单的能力。e 定制已广泛应用于汽车、家电、房屋和服装等诸多领域^[1,2]。

经过大量文献和应用研究发现,现有 e 定制系统与技术存在如下问题:通常仅限于产品数据查询和部件选配等订单获取阶段,与设计 and 生产等后续环节相剥离;客户通过功能或结构的选配实现产品定制,方式单一,难以描述产品的特殊设计要求;现有系统基于电子商务平台考虑较多,与企业其它系统相对独立。

针对上述问题,基于国家 973 项目“可重构制造系统的关键技术研究”并以浙江省制造业信息化工程重大科技攻关项目“面向鞋机行业的大规模定

制关键技术研究”为应用背景,本文提出了一种面向全生命周期的 e 定制模式,研究了 e 定制实现的关键使能技术,并开发了相应的原型系统。

1 面向全生命周期的 e 定制模式

1.1 e 定制的全生命周期流程分析

在大规模定制中,客户驱动成为产品开发的持续原动力,要求产品定制生产过程始终以客户订单为核心,进行一致连贯的产品数据演化和业务流转。以订单状态作为刻度标记定制的生命周期过程,建立定制的典型业务流程模型如图 1 所示。

定制全生命周期的大致流程为:首先客户通过 Internet 登录企业的销售门户网站,浏览产品信息,进行产品自助配置,并获取相应产品报价和供货期等信息,确认后提交产品订单意向。企业接收到订

收稿日期:2005-08-24

基金项目:国家 973 课题资助项目(2002CB312200)

作者简介:张闻雷(1978-),男,博士生,研究方向为产品全生命周期管理、产品建模和知识工程等。

制造业自动化

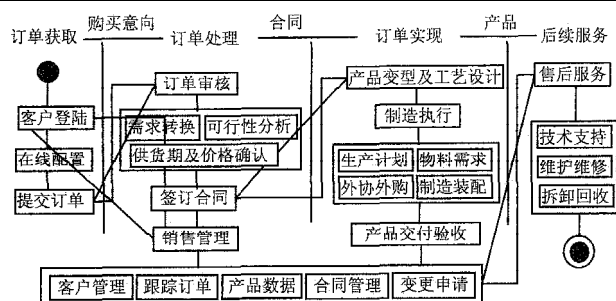


图1 面向全生命周期的定制业务流程

单意向后，对客户提出的特殊需求进行工程转换，并从设计、工艺和经济等方面对订单进行可承接性分析，并与客户洽谈协商，以签订合同，形成正式订单。订单生效后，客户定制需求规范（包括客户定制物料清单 CBOM 和特殊需求等数据），被提交到相应的设计、工艺和生产等部门，各部门基于产品族技术进行结构数据转换、变型设计、快速工艺规划和生产计划编制等。客户定制的产品经过零部件自制生产、外协加工、零部件装配、产品总装后，交付给客户验收。企业需要为客户提供与订单相符的个性化售后服务，例如产品定期检修、技术支持、备件备料及时供应等。客户全程参与产品定制生产过程，包括查询历史数据，监测订单执行，协同设计、变更设计和维护维修申请等。

定制生命周期跨越了需求分析、设计、生产到售后服务多个阶段，涉及到多个职能部门之间的业务及数据交互。因此要想实现高效稳定的全生命周期 e 定制，需要具备：可重用的统一设计资源，例如产品族架构、知识库、参数化标准件库，支持产品设计、工艺、生产制造甚至服务的快速重构；多业务、多系统集成，以保证数据的一致性和业务流程的连贯性；高度集成和柔性的网络支撑平台，使客户和企业等价值链成员能够基于网络实时交互，及时发布、共享和转化产品数据。

1.2 e定制解决方案的总体技术框架

基于以上分析，设计 e 定制解决方案的总体技术框架如图 2 所示。其中 PLM 为 e 定制提供一个全面集成的应用环境和设计资源库，以企业门户的方式为价值链成员提供单一访问入口和协同工作平台，同时进行系统级的管理和业务流程控制。基于 PLM 既可直接开发相应功能模块例如网络化销售与定制子系统，又可通过业务组件的方式与企业遗留系统（EIS）例如 PDM/ERP 等进行集成。信息基础架构是 e 定制系统实施基于的 Internet/Intranet 的网络架构和数据库系统等软硬件环境。

为实现连贯一致的数据及业务流，各独立子系统（CAD/CAPP/PDM/ERP）在 PLM 环境下进行组件服务注册，提供统一数据访问接口和业务调用方法；同时 PLM 在各子系统中嵌入相应功能菜单与插件，实现 PLM 与 EIS 的双向集成。PLM 下的各业务模块的主要功能，以及它们之间的数据及业务转化关系如图 2 所示，主要特征如下：

(1) PDM 负责产品族、零部件等基础数据管理和文档检入检出管理等。PDM 为客户在线定制提供产品数据、通用物料清单（GBOM）和配置参数等；根据从销售系统中接收的客户定制需求规范（包括定制 BOM、特殊需求等），在原型产品的基础上，进行产品结构的变型调整，如：替换零部件、增加新零部件等，形成差异零部件列表；通过对差异零部件的变异设计形成准确的技术资料，即差异零部件物料清单（差异 BOM）、正式物料清单（EBOM）和设计规范等；产品结构调整完成、审批后，发布到 ERP 系统中进行生产准备，而设计人员同时进行差异零部件的变型设计。

(2) CAD/CAE 负责对零部件模块进行变型设计、工程分析和装配等，需要从 PDM 中申请图号、查询填写借用件信息，并访问 PDM 的零部件模块设计参数库和装配推理库；在建立零部件属性时，需要从 ERP 中读取材料、标准件、外购件的编码和名称规格信息；设计完成后，将相关数据和图文档提交给 PDM 系统。

(3) CAPP 通过建立标准工艺文件库，采取查询、修改相似产品工艺文件的方法，快速编制定制

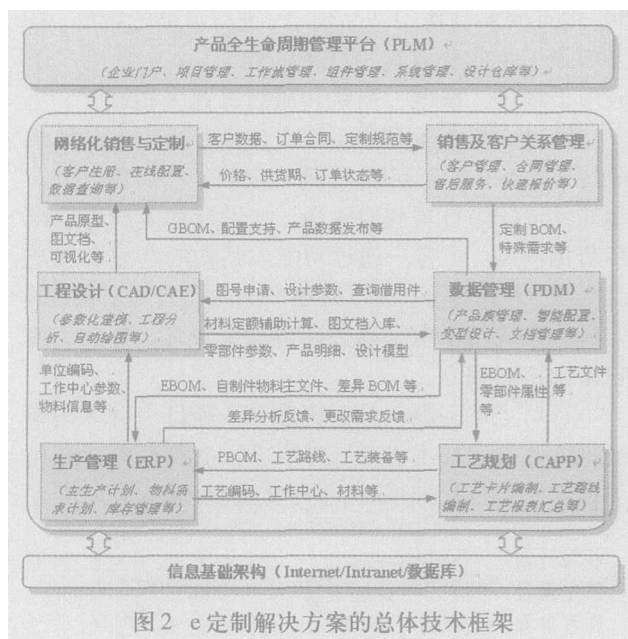


图2 e定制解决方案的总体技术框架

产品的工艺文件；CAPP 直接共享 PDM 的设计数据 (EBOM、零部件图形及属性、设计文件等)；从 ERP 中获取基础生产数据 (工作中心、车间班组、材料信息等)，为 ERP 编制工艺路线等。

(4) ERP 负责生产组织管理，从 PDM 中获取 EBOM 和差异 BOM 数据，并从 CAPP 读取工艺物料清单 (PBOM)、工艺路线和工艺装备等数据；进行相关的主生产计划、物料需求计划编制，执行相应的采购、库存和车间作业管理等。

1.3 e定制系统框架

由上述讨论，笔者开发了基于 J2EE 的 e 定制全生命周期管理系统 (EPLMS)。EPLMS 采用四层架构模式，如图 3 所示。

(1) 资源层处理企业遗留系统、底层数据和知识资产。设计手册、标准工艺、专家知识、典型实例和标准件库等构成了企业的重要知识资产。设计仓库作为产品信息中心，利用人工智能技术对知识资产进行系统组织和管理，支持面向产品全生命周期的信息检索、知识重用和智能设计等。

(2) 业务层封装系统各项主要功能的业务逻辑，构建数据管理、工程设计等中性功能组件，各功能组件对外具有标准一致的调用方法和属性接口。组件服务层为功能组件的垂直应用提供基础性的服务，负责资源层访问接口封装、组件对象注册、基础类型定义、权限验证等底层事务的处理。

(3) 门户层为 EPLMS 的访问入口。销售门户为企业面向客户的网络营销站点，负责执行客户注册、在线配置和历史数据查询等交互操作；协同设计门户提供基于 Internet 的产品三维虚拟可视交互环境，

利用 VRML 和虚拟现实技术实现产品的动态展示、协同设计和虚拟装配等；应用门户为 EPLMS 面向企业内部人员和合作伙伴等成员的系统入口，为产品研发和系统维护等提供集成交互环境。

(4) 客户层为客户端浏览器层，客户和设计人员等通过基于 Web 的浏览器例如 IE，访问定制系统的门户网站，执行相应权限的操作。

2 产品构架建模

产品族技术是实现全生命周期 e 定制的关键技术，EPLMS 以产品族架构 (Product Family Architecture, PFA) 模型为核心对一族产品的功能、设计、制造和服务等数据进行概念表示和逻辑组织，使之构成设计仓库的骨架。

本文将 PFA 模型定义为一个四元组，即 $PFA = \langle Item, GPS, R_{con}, Fe \rangle$ ，其中 Item 表示物料项、GPS 表示产品族创成结构、Rcon 表示配置规则、Fe 表示特征参数。

{Item} 表示一组标准的、可互换的零部件模块、毛坯和原材料等物料项，形成产品定制多样化和个性化的基础。其中，复合模块 CM 表示由一组子模块装配而成的部件模块；类产品 GP 属于特殊的 CM，作为 GPS 的根节点，为一族相似产品的通用表示；构件模块 {GM} 表示一组功能主体相同的类似模块的组合；参数化模块 {PM} 表示一类参数可调模块的虚拟设计原型，属于一种特殊的无子节点的 GM，在实际定制中根据客户的需求进行实例化设计，生成具体定制模块。

GPS 以树形结构来表示和组织产品数据，以 SR 表示 Item 之间的结构关系，则 Item 和 SR 构成了 GPS 的节点和树枝。SR = {A, O, X}，A 为“存在”分枝，表示 CM 与子节点之间的装配关系；O 为“挑选”分支，表示 GM 与其子节点之间的多选一关系；X 为“可剪”分枝，表示附件模块相对父节点的可选关系。GPS 利用虚拟模块节点 {GM, PM} 和变元结构关系 {O, X}，来抽象表示相似产品之间的差异部分，从而能够以一个单一产品结构树来表示一族产品的通用结构关系。通过基于 GPS 的配置、虚拟模块赋值，来消除变元结构，得到具体的定制产品。

产品族各构成元素 {GP, Item, SR} 利用一组特征参数 {Fe} 来描述其自身特性及其与外界的关联，由 GPS 负责全局组织和逻辑表示。{Fe} 包括：标识数据 (即 ID、名称和类型等)、关联文档数据 (文档路径或以 ASCII 码数据形式保存的文档)、领域参数

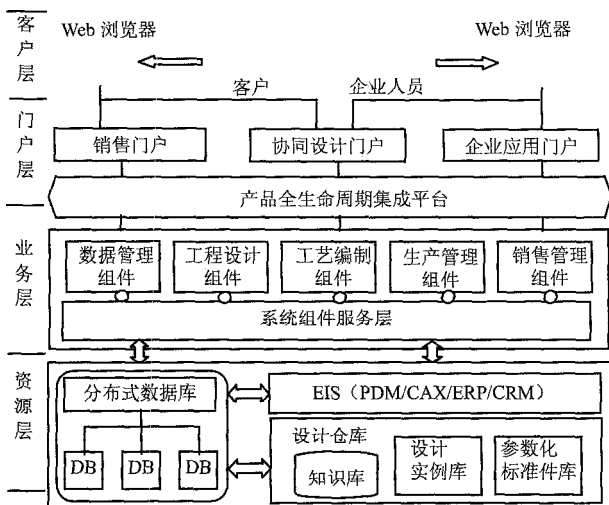


图3 面向全生命周期的 e 定制系统的体系结构图

(即功能、技术和制造等方面的参数)等。

产品族定义和管理需要一整套规则{Rcon}来约定,主要包括: 模块之间的约束规则,例如在产品配置时,选择模块 A 则必须选择模块 B; 产品族领域视图之间的映射转换规则,例如产品功能需求与零部件模块的匹配规则; PFA 的构建规则,用以构建的正确有效的 PFA 模型,例如 GM 与子模块之间不能定义 SR= " A " 类型关系。

图 4 给出了 PFA 的主要构造关系类图,其中 GBOM 表示产品族的通用物料清单,是 GPS 的数据视图。通过配置可从 GBOM 生成客户定制产品的具体物料清单(即 CBOM)。

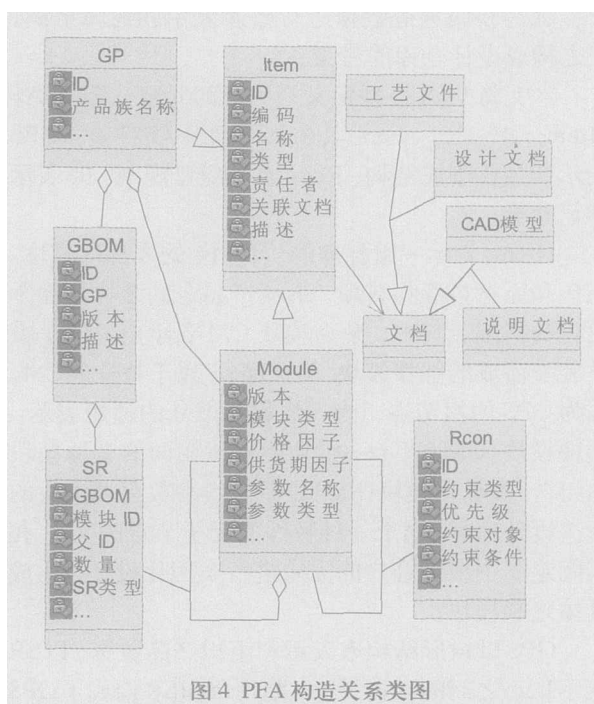


图 4 PFA 构造关系类图

产品族中通常存在一类需要特殊定制模块,模块实例之间具有几何、设计和工艺等共有特性,具体参数视客户个体需求而定。在 PFA 模型中采用 PM 作为此类参数可调模块的设计原型,以实现面向 ETO/MTO 的原子级定制。经过分析,本文采用三种方法来对 PM 进行表述和定制转化:

(1) 系列参数可选,通过对 PM 的可变参数的连续取值空间进行离散分析,得到一组逼近各类客户共性需求的最优解,形成该 PM 的各项参数的系列可选值列表。例如在 EVA 鞋机中,“注射机构”模块具有定制参数:{螺杆类型={2 段式,3 段式,...},螺杆直径={ 50, 60,...},...}。客户通过对各类参数的可选值列表进行选择,组合形成 PM 的实例定制数据。

(2) 事物特性驱动,对于具有成熟技术基础的模块,PM 采用事物特性表^[3],结合参数化零部件主模型,对模块进行几何、工艺等特征描述。在实际定制中,由客户给定具体尺寸值等数据,由事物特性表驱动主模型生成实例模块和相应技术规范。

(3) 设计向导辅助,一些模块的设计和开发完全由客户订单决定,企业一般不具备主动性,客户需求也难以预测。对于此,PM 通过一组设计向量来采集数据,引导客户进行需求规范表述,实现客户需求向工程设计的转换。必要时企业和客户双方进行网络协同设计,以获得精确的设计数据。

3 在线配置设计

配置器是实现产品定制操作和需求转化的机制与手段,基于 Internet 的在线配置器通过 Web 站点发布产品配置信息,用户在任何时间、地点都能够登录访问,在系统指导下自主设计产品并提交订单。

通常存在两种基于配置器的配置方法,功能配置和结构配置^[4]。但这两种方法配置手段单一,智能性和简单直观性不能兼备,且都难以实现面向 ETO/MTO 的原子级定制。

客户之间呈现明显的群体特性,体现为对产品的价位、主要功能和技术特征等需求趋向一致。例如企业将 EVA 鞋机细分为“Z 型直压式”,“S 型肘杆式”和“L 型肘杆式”等子类产品,以面向不同客户群对制鞋批量、颜色、尺码和价位等主体需求。由此,本文设计了一种功能、结构和设计相混合的配置方法(简称 FSDC),通过四个主要步骤实现:

步骤 1 全局功能配置,用户首先对一组产品全局功能选项进行判断选择,配置器基于此进行初步配置,过滤 GBOM 数据,缩小配置范围,产生一个基准 BOM;

步骤 2 结构配置,用户基于基准 BOM 选择需要的零部件模块,对于配置选项复杂的 GM 构件模块,用户可以进入该模块的功能配置界面,通过功能配置来确定其对应子项;

步骤 3 参数化模块设计,用户对产品结构中的 PM 进行工程需求描述,必要时申请在线协同设计,实现对 PM 的原子级定制;

步骤 4 提交订单,用户确定产品配置方案后,由配置器估算价格和供货期等数据;用户确认后,可输入特殊需求,提交订单意向,由配置器向销售系统提交订单等记录。

图 5 给出了 FSDC 配置流程的 UML 活动图。

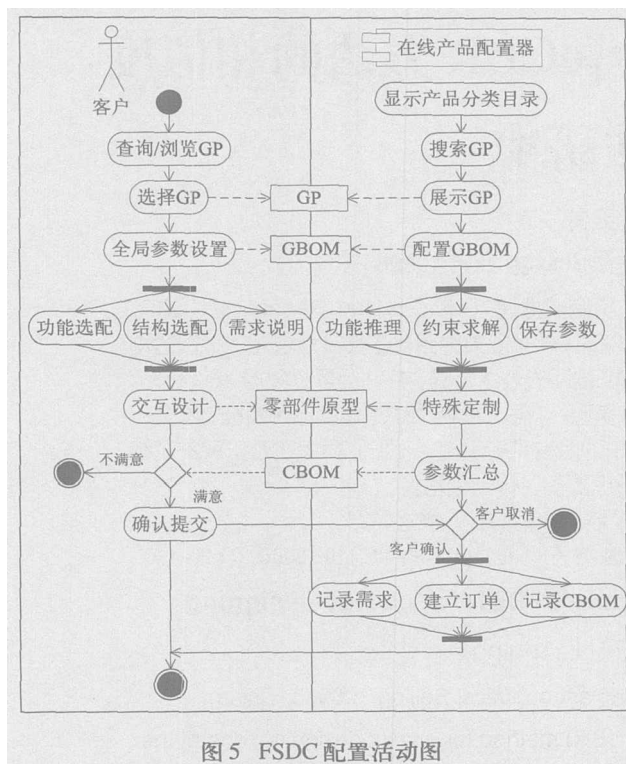


图5 FSDC配置活动图

FSDC 融合了功能配置和结构配置两种方法的优势,使配置过程既智能易懂又直观简捷,符合客户习惯定制方式;采用逐步求精的方法,需求转换、约束求解易于实现;且面向ETO/MTO等原子级定制,能够满足不同类型客户的需要。

4 基于J2EE的集成框架

J2EE是一种用于简化分布式企业级应用开发与部署的平台规范^[5],具有多层分布、基于组件、易于部署和支持多系统集成等特性。

本文采用如图6所示的J2EE技术体系构筑EPLMS系统架构,具有以下技术特征:

(1)客户层 由客户端浏览器构成,负责显示用户界面,用于信息表示和用户交互。

(2)Web层 处理表示逻辑,对用户请求做出响应。Web层采用Struts框架实现MVC(模型-视图-控制器)模式:模型,由Action类调用EJB Helper(帮助类)来访问EJB层的业务逻辑;视图,由JSP负责与客户交互和页面动态生成;控制器,由ActionServlet实现应用逻辑流程控制,例如根据客户请求选择相应JSP视图等。

(3)EJB层 由EJB组件构成,负责业务逻辑。利用会话Bean封装业务逻辑,实现Session Facade(会话面)模式,用以管理多个业务对象的作用关

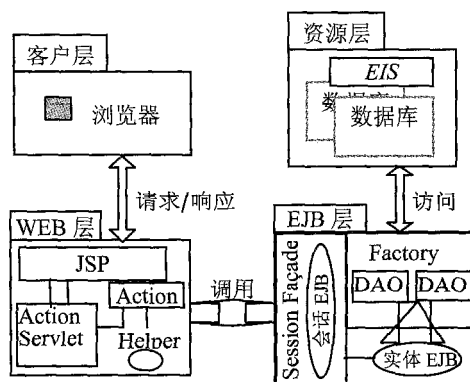


图6

系,控制客户端(指需要访问企业服务的应用程序)与企业数据及服务对象的交互;通过Helper类封装一部分应用逻辑,为Web层提供访问接口;实体EJB为数据库存储数据的对象视图,利用Factory(工厂)与DAO(数据访问对象)结合的模式,使业务逻辑与数据访问代码相分离,便于异构数据库的移植和集成。

(4)资源层,即存放异构数据库和企业遗留系统(EIS)的容器。为保证系统的平滑移植,不能将应用逻辑放在资源层。

全生命周期的e定制具有多业务、多系统集成的特性,因此在EPLMS的集成框架设计中,不可避免地会遇到与各类非JAVA代码、应用及系统的封装问题。为此:使用RMI-IIOP(基于网际ORB的远程方法调用),来支持EJB组件与CORBA对象互访;采用连接器体系结构(JCA),用以实现J2EE应用服务与EIS的安全的、事物的通讯;应用JNI(Java本地方法调用)来封装非JAVA语言编写的代码,例如C或C++。

为驱动定制业务流程的自动执行,本文基于JMS(Java消息服务)和Java Mail(邮件服务)建立事件通知机制,实现定制业务在不同子系统之间的交替和控制(消息传递、任务派遣和流程控制)。事件通知机制包括事件的定义、订阅、触发、记录和查看等过程。例如客户提交订单时会触发预定义的“订单通知事件”,系统会发送一个JMS消息到J2EE服务器,由服务器调用相应的事件Bean(即一个消息驱动Bean),解析消息,执行相关事务操作。这里包括构造电子邮件,自动发送到该事件订阅者(例如销售部门经理)的邮箱,并将工作指令和客户订单记录等递交到其在EPLMS中的个人工作区,供其查看。

【下转第57页】

系统功能描述及特长：

该系统采用中央监视和分散控制的原理。

由：控制局域网(FL—net 相对应)，

数据库站(ADS—PC2000)一对数据库进行一元化管理，

操作站(AOS—PC2000)一用于设备监控，

控制站(ACS—PC2000)一用于设备控制等构成。

数据库站实现了对设备的数据进行一元化管理，扮演了系统中枢的角色，通过通用以太网提取到个人电脑上进行处理。

控制站通过有效结合EI(电气和仪表)两种机能可实现高速的控制。同时处理大量的数字量和模拟量例如喷吹过程中的流量和压力等。

开放性的系统：该系统实现了数据库的开放式

结构。能自由提取在监视控制系统中存储数据，想得到的数据可随时被取出。另外，与商用软件包相连也很简单，所以能实现信息的高效率使用。

3 结束语

2500 M³高炉脱硅设施投入使用一年多来，运转正常，充分证明了MICREX—AX 系统自动化程度高、运用灵活、稳定可靠。特别是在对一些参数调整修改时更显出其灵活方便的特长。目前，炼铁厂正在计划将该系统并入 2500 M³ 高炉控制系统，如此一来可提高生铁的整体质量，更好地满足不锈钢基地对铁水的需求。

参考文献：

- [1] MICREX-AX 系统硬件及网络[z].
- [2] MICREX-AX 系统仪表控制功能及实现[z].

【上接第 5 页】

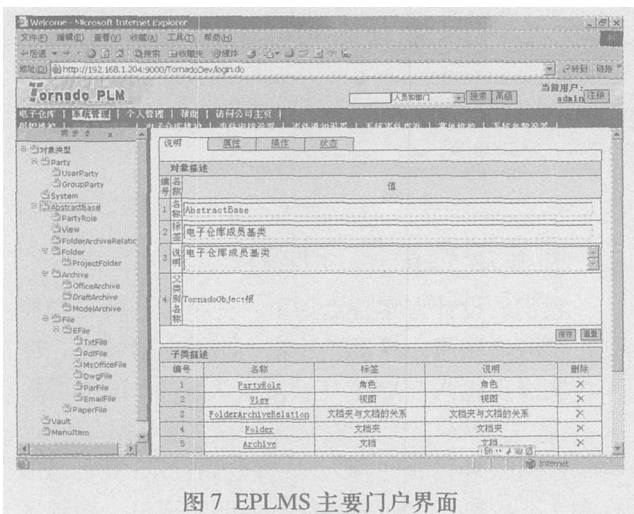


图 7 EPLMS 主要门户界面

5 应用实例

基于本文的方法和思想，EPLMS 采用 Eclipse 3.0 等工具开发，数据库采用 MySQL 5.0 和 SQL Server 2000，并与 PRO/E、SQL Server 以及 XTPDM、XTERP 等 EIS 系统集成。系统的 Web 层和 EJB 层分别采用 Tomcat 5.0 和 JBOSS 3.2 作为应用容器，整个架构部署在多个服务器上，实现多层、基于组件的、易扩展的分布式体系结构。本系统已成功应用于温州瓯江液压有限公司的鞋机产品网络化定制与开发中。通过实施 EPLMS，该公司建立了面向全生命周期的企业级产品定制平台，能够实现基于 web 的产品在线配置、协同设计、订单数据快速转换、产品变型设计等诸多功能。通过对典型产品

“EVA”鞋机定制开发的实例分析，与应用 EPLMS 前相比，从获取订单到产品装配完成的整个生命周期缩短 30% 以上。

EPLMS 的主要界面如图 7 所示。

6 结束语

现有网络化定制系统功能单一、难以实现面向产品全生命周期的数据业务的一致转化与集成。本文在剖析 e 定制全生命周期模式的基础上，讨论了面向全生命周期的 e 定制系统的设计，并对产品族架构、在线配置和系统集成等关键技术进行了深入研究。基于此开发的原型系统 EPLMS 在鞋机企业的实际应用证明，该系统能够为产品网络化定制提供一个高度集成的协同平台，对产品配置、设计、生产到售后服务的整个生命周期提供协调一致的支持，实现整个企业以客户需求为驱动的协调运行和资源共享。

参考文献：

- [1] ZERDICK A, PICO T A, SCHRAPE K. E - economics[M]. New York: Springer, 2000.
- [2] 韩伟力, 陈刚, 董金祥. 面向个性化服务的虚拟设计系统[J]. 计算机集成制造系统, 2001, 7(12): 13-18.
- [3] 祁国宁, 顾新建, 李仁旺. 大批量定制及其模型的研究[J]. 计算机集成制造系统, 2000, 6(2): 41-45.
- [4] 顾新建, 金勇华, 胡蓉, 等. 网上通用产品配置设计工具的研究[J]. 计算机集成制造系统, 2001, 7(4): 22-25.
- [5] JOHNSON R. J2EE 设计开发编程指南[J]. 北京: 北京电子工业出版社, 2000.