

# 油气管道 SCADA 系统跨平台人机界面的设计与实现

祁国成<sup>1</sup> 沈国辉<sup>2</sup> 陈鹏<sup>1</sup> 程大闯<sup>2</sup> 孟鑫<sup>2</sup>

1. 中国石油北京油气调控中心 2. 南京南瑞集团公司

祁国成等. 油气管道 SCADA 系统跨平台人机界面的设计与实现. 天然气工业, 2013, 33(11): 92-97.

**摘 要** 目前国内采用的大规模油气管道 SCADA 系统都是国外厂商提供和实施的, 研发大型国产油气管道 SCADA 系统软件, 对我国的能源安全有着重要意义。为此, 设计了一种国产化的适用于大规模油气管道 SCADA 的跨平台人机界面, 其设计思路是分层的架构设计、一体化的数据访问和展示; 并重点论述了人机统一展示、图模库一体化、设备拓扑着色、脚本管理等关键技术以及人机界面的总体结构、软件层次结构。人机界面包括人机控制台、人机应用层和服务接口层, 其中控制台负责实现界面集成管理功能, 人机应用以插件方式集成到系统中, 通过服务接口层的服务代理与后台服务进行交互。该系统已应用于某大型油气管道调控中心, 使用效果表明: 该系统采用分层设计、分布式部署和管理、一体化访问和展示, 实现了管道运营情况、设备状态、报警等信息的统一集中展示, 画面标准、易用、美观, 为调度员和维护人员全景监控油气管道的运行状况提供了有力的支撑。

**关键词** 人机界面 油气管道 SCADA 系统 国产化 统一管理 图模库一体化 拓扑着色 脚本 插件

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2013.11.016

## Design and implement of cross-platform human-machine interface in an oil and gas pipeline SCADA system

Qi Guocheng<sup>1</sup>, Shen Guohui<sup>2</sup>, Chen Peng<sup>1</sup>, Cheng Dachuang<sup>2</sup>, Meng Xin<sup>2</sup>

(1. PetroChina Oil & Gas Pipeline Control Center, Beijing 100007, China; 2. NARI Group Corporation, Nanjing, Jiangsu 210006, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 11, pp.92-97, 11/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**Abstract:** At present, most domestic large-scale oil and gas pipeline SCADA systems are provided and implemented by foreign manufacturers. Concerning the national energy security, it is of great value in developing such SCADA systems made in China. In view of this, we developed a cross-platform human-machine interface for a large-scale pipeline SCADA system, adopting hierarchical architecture and integrated access and presentation of data and using essential technologies such as display integration, graphics model and database integration, equipment topology coloring, script management, etc. Human-machine interface (HMI) includes human-machine console, human-machine application layer and the service interface layer. The console integrates and manages the screens. The applications are integrated as plug-ins while using a service agent in an interface layer to interact with background services. With hierarchical design, distributed deployment and management, and integrated access and display adopted in a case history of a certain large oil and gas pipeline transportation center, this HMI system successfully presented pipeline operation, equipment status and alarm information in a unified scheme with standard, easy-to-use, pleasing-to-the-eye graphics on the panels, while efficiently supporting users to achieve the full-view monitoring of oil and gas pipelines.

**Keywords:** human machine interface (HMI), oil gas pipeline, supervisory control and data acquisition system (SCADA), display integration, graphics model and database integration, topology coloring, script, plug-in

**基金项目:** 西气东输二线关键技术研究重大科技专项(二期)(编号: 2009E-0102)。

**作者简介:** 祁国成, 1967 年生, 硕士, 高级工程师; 主要从事管道自动化方面的研究工作。地址: (100007)北京市东城区东直门北大街 9 号中国石油大厦 B 座中国石油北京油气调控中心。电话: (010)59983866。E-mail: scada\_paper@163.com

**通信作者:** 沈国辉, 1968 年生, 硕士, 研究员; 从事电力调度自动化和油气管道自动化的研发工作。电话: 18610291086。E-mail: sgh315@sina.com

监控与数据采集系统 (Supervisory Control and Data Acquisition System, SCADA) 近几年来在我国油气管道调度中得到了一定程度的发展<sup>[1-7]</sup>。本文参考文献[2]指出了长输管线 SCADA 将向智能监测控制发展。目前国内大多油气管道 SCADA 系统软件都是国外厂商提供和实施的,使我国在此领域形成了对国外产品和技术的依赖<sup>[2-4]</sup>,但因其设计和开发基本上都是 10 余年前完成的,在系统的应用结构、应用功能、网络安全性等方面不能满足我国油气管道快速发展的需要,对我国的能源安全构成潜在威胁。为此,迫切需要研发跨平台的人机界面接口 (human machine interface, HMI), 提供人机画面浏览、系统组态、操作控制、应用界面、维护诊断等功能。

在人机界面设计方面,有研究者提出需要采取以人为本的人机界面设计思想<sup>[8]</sup>。本文参考文献[9]给出一种人机界面组件的组装方法和基于组件组装的系统设计方法,以实现目标系统的快速构建。在工业控制领域,有众多基于组态软件开发的监控系统<sup>[10]</sup>,可快速实现较为简单的监控功能,但在人机界面功能丰富性、应用功能扩展方面有较大的局限性。本文参考文献[11]对过程控制系统中的人类因素进行了分析,进行了人机交互设计研究。另外在电力调度自动化中对基于可缩放矢量图形 (Scalable Vector Graphics, SVG) 格式的图形描述已有一定研究<sup>[12-13]</sup>。

针对当前油气管道监控的人机界面存在的不具有源代码级或二进制级跨平台特性、图形描述采用私有格式与其他系统交换困难、对地理信息系统的支持不够、缺少对油气输送方向和油品混油界面跟踪的功能等方面问题,提出了一种基于面向服务体系结构 (service-oriented architecture, SOA) 的人机界面,对人机界面的设计思路、体系结构、关键技术进行了论述,为油气管道监控系统的国产化提供了有益经验。

## 1 人机界面设计思路

综合分析应用需求和考虑系统未来发展,系统在总体架构上遵循分层设计、分布式部署和管理、一体化访问和展示的设计开发思路。

### 1.1 系统架构上进行分层设计

系统的架构设计按照分层的原则进行设计,包括硬件和操作系统、支撑平台(即基础平台)、人机界面和应用。支撑平台提供基本的数据存储和管理、节点管理、应用切换、集成总线等资源管理功能。人机界面通

过支撑平台的服务接口为各个应用提供统一展示。

### 1.2 系统采用一体化访问和展示

对应用和人机界面提供统一的数据服务和 API 接口来访问系统的数据、图形、模型、文件等资源,进行系统应用集成和展示,各类应用以插件方式集成到系统中,通过统一的人机界面,进行系统内多套油气管线各种数据的展示,实现油气管道 SCADA 系统配置、监视与控制。

## 2 关键技术

所设计的人机界面的关键技术包括人机统一展示、图模库一体化、油气流动与拓扑着色和脚本管理。

### 2.1 人机统一展示技术

人机界面是油气管道 SCADA 系统中的重要组成部分之一,提供人机交互画面、系统组态、监视控制、Web 应用等功能。

油气管道 SCADA 系统采用分布式部署,每个子系统负责多条管道的监视和控制。人机统一展示将这些分属于不同子系统的管道数据在同一幅画面中进行展示。

人机统一展示包括数据的定义和汇总两个部分。数据定义是在画面编辑时执行,通过在画面编辑器中引入子系统的概念,统一展示画面中定义的管道数据必须说明其所属的 SCADA 子系统;数据汇总在画面浏览时执行,画面浏览器在展示画面时通过分析画面中管道数据所属的 SCADA 子系统名称获取数据,汇总之后再行进行综合展示。画面浏览器通过新研发的跨系统访问服务和应用的功能,分析各管道所属的子系统去连接相应的服务并获取数据。

HMI 的客户端通过远程服务访问代理实现本地服务、远程服务的适配代理,通过资源定位服务,获得提供数据、画面等的各种人机服务位置,各种人机服务可分布在多套独立部署的 SCADA 系统中,从而实现一套 SCADA 系统的 HMI 客户端可作为其他 SCADA 系统的人机界面,并且各套 SCADA 系统可使用公共的 HMI 客户端。具体实现机制如图 1 所示。服务请求者通过本地的服务代理和其他系统的远程服务代理,获取其他子系统的画面和数据。

### 2.2 图模库一体化技术

图模库一体化依托画面编辑器实现,摒弃传统的以单一设备元件为基本单位作图入库的做法,采用以多个基本图素组合成的图形模板作为作图基本操作单

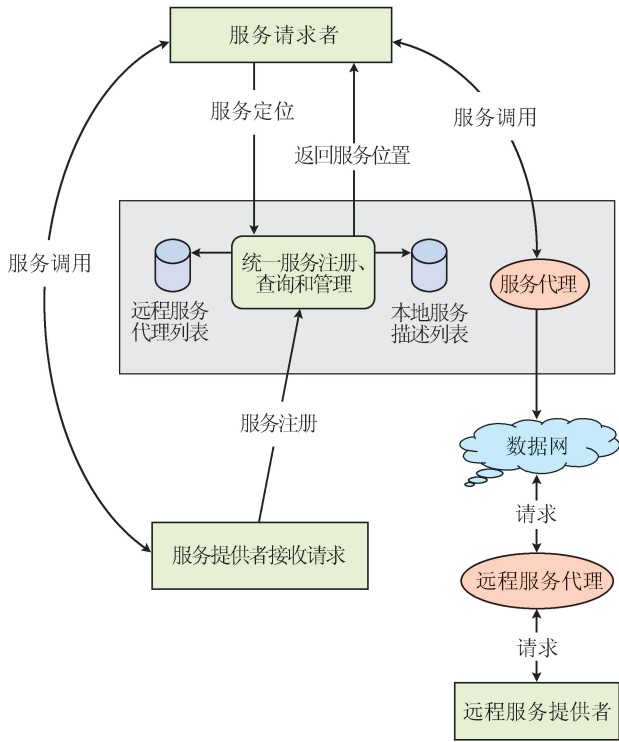


图 1 人机统一展示示意图

元的方法,可以更好地维护录入数据的完整性,使用户可以一次性录入大量数据信息。

图模库一体化功能包括人机图形编辑和模型维护服务两部分,人机图形编辑负责必要的事件触发和基本信息的录入,模型维护服务负责接收人机图形编辑器请求,完成模型信息的处理。

将有关联的各元件组合在一起,并且用连接线连接起来,就组成一个图形模板。为了将图形模板作为一个整体来操作,各个元件间在模板内建立关联关系,并将此关联关系保存为库模版,使用库模板可以更好地维护录入数据的完整性,使用户可以一次性录入大量数据信息。

数据字典是对数据的数据项、数据结构、数据关联、处理逻辑的描述。记录了各个设备模型需要维护的数据库信息,如设备对象及其属性以及这些对象之间的关联关系。画面保存时,将画面的网络拓扑信息填入数据库,网络拓扑以画面中设备的连接关系为依据构建。

图模库一体化功能数据流程如下:

- 1)通过图素编辑器形成基本设备元件。
- 2)通过图模板编辑形成图模板。
- 3)通过库模板编辑形成库模板。
- 4)图库模板绑定。

5)利用画面编辑器,通过图库模板绘制画面,形成图形文件。

6)通过填库服务和数据字典录入模型数据信息。

7)通过导库服务将模型导入离线实时数据库。

8)通过发布服务,将图形文件发布到服务器,将离线库中内容发布到在线库。

库模板即模板模型定义图形模板内各个元件的关联关系。使用库模板可以更好地维护录入数据的完整性,使用户可以一次性录入大量数据信息。

### 2.3 油气流动和设备拓扑着色技术

油气管道均需要表示介质的流动方向动画显示。油气在管道内由管压大的站场向管压小的站场方向流动,此管压差通过管道的高程、压力和密度进行计算得到。人机界面设计了管道组件,由液柱和管道组成,以立体效果图展示。液柱以动态流动的方式展示了油气的流向,液柱的流向即油气输送的方向,液柱不流动表明此刻管道停止了输送。

设备拓扑主要是对于油气管道中相连的设备之间的连接关系进行描述,用于对由多个设备构成的回路进行判断或计算。拓扑着色主要是依据拓扑计算结果对不同的设备以及设备之间的连接线(设备之间的连接关系)进行不同的着色。设备的不同颜色代表设备的不同状态。

画面编辑器首先对管道设备进行图素化处理,建立设备对象与图素的对应关系,形成管道的图形模型,再对设备间的连接关系进行抽象,形成管道逻辑连接图。通过图素的对象化,将抽象的图素与数据库中设备的外观、位置等属性进行关联。

管道图形化之后,由画面浏览器负责实现油气管道 SCADA 系统人机界面的拓扑着色。当画面浏览器启动并完成画面文件的加载和解析后,组织画面中的图素信息,按照访问协议访问后台服务。画面浏览器收到返回的查询结果后,根据设备投运状态、管网连接关系,分析并计算出设备和管线的拓扑着色结果,设置颜色、刷新条件等属性,通知图形绘制引擎进行绘制着色。

拓扑着色应用包括:全局着色、管线着色、注入点追踪着色。

1)全局着色。全局着色首先对设备按照实时状态进行着色;其次对管道进行着色,依据管网的连接关系,对管网进行连通状态分析,管道按照两端所连设备的状态和介质压力进行着色。全局着色可以帮助用户了解站场关阀、线路紧急截断阀误关闭、泵站停泵等管线停输的状况。

2) 管线着色。管线着色是用户指定设备,对该设备所在的管线及管线上所有设备进行着色,着色范围、设备状态判定、管道连通性判定都限定在指定设备及其所在管线范围。

3) 油品注入点追踪着色。注入点追踪着色是对于用户指定的设备,向其上游方向进行搜索,直至搜索到油品注入点,并根据搜索路径对相关设备和管道进行着色。

### 2.4 脚本管理技术

通过在画面中定义脚本,可扩展人机界面的功能。通过脚本可实现油气管道 SCADA 系统的数据获取、数据展示、设备控制等基本功能。

脚本主要实现:

1) 脚本编辑编辑器功能,实现脚本内容的复制、粘贴、撤销、重做、查找、替换、java 关键字变色等基本编辑功能。

2) 语法检查功能。

3) 脚本存储管理功能,支持正常存储和容错存储功能。

4) 脚本解释器功能。系统提供脚本解释器,实现脚本内容解释执行。

脚本内容在画面编辑器中编辑,并同图形信息一起保存至图形文件中,并在画面浏览器中执行。在画面浏览器加载图形时,自动解析嵌入在其内部的脚本内容。脚本的执行依赖于外部条件触发,当画面浏览器监听到某个事件发生时,自动触发执行该事件对应的脚本,实现特定的逻辑功能。

## 3 设计与实现

### 3.1 人机界面总体结构

人机界面(即 HMI)软件架构按照分层原则进行设计。客户端自上而下分为人机控制台、人机应用层和服务接口层。

1) 人机控制台是用户使用人机界面的初始界面,用户通过控制台的登录功能进入系统后使用各类人机应用;同时控制台还负责子系统中各类人机应用的管理,主要包括应用的注册、激活和卸载。

2) 人机应用层由子系统各个应用组成,主要包括各种组态应用、集成开发环境、图形浏览器、系统配置管理、事故追忆界面、报警界面、实时库管理界面等功能模块。各应用采用插件技术进行开发,可以实现动态加载和卸载,因此保证了人机界面良好的功能扩展性。

3) 服务接口层提供了各类应用与后台服务交互的

接口,主要包括实时库接口、关系库接口、画面刷新服务接口、事件服务接口、权限服务接口、文件服务接口等。服务接口层实现了应用对服务的透明性访问。

人机界面采用客户/服务器模式,客户端与服务器之间的数据交互过程通过集成服务总线实现。客户端中的各类应用提供用户使用系统的图形界面,应用接受用户操作请求,通过服务层接口访问支撑平台(即基础平台)服务,在收到服务结果后将其用图形界面的形式展现给用户。支撑平台服务部署在多台服务器上,为人机界面访问相关数据和应用提供服务。支撑平台服务可访问保存在实时库、关系库、文件中的数据或通过消息总线发送、接收消息。

人机界面结构示意图如图 2 所示。图 2 中列出了人机界面和支撑平台服务的各组成部分及其之间的层次关系。

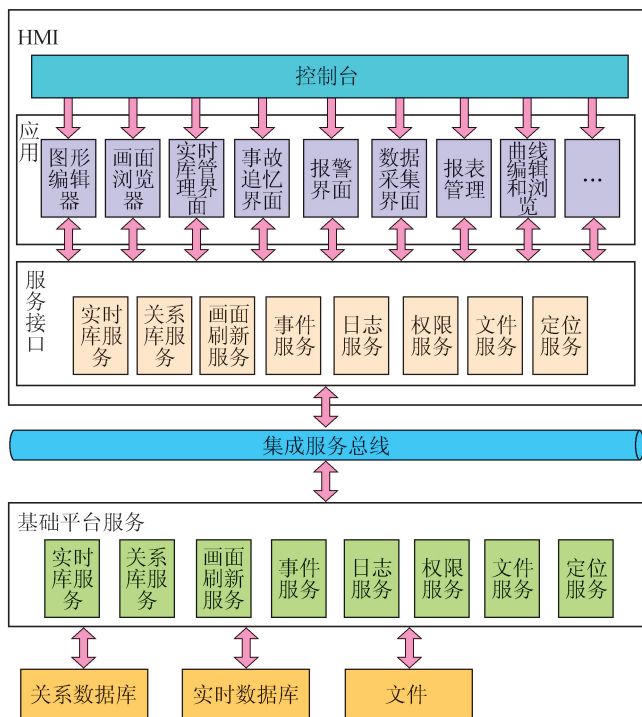


图 2 人机界面结构示意图

### 3.2 人机界面逻辑层次架构

人机界面软件逻辑层次架构中定义了若干个层,包括:控制台(HMIConsole)层、控制台服务(HMI-Console Service)层、人机应用(App)层、服务接口(Service)层。

1) 控制台和控制台服务包括控制台的相关功能,其中控制台层包含菜单(Menu)、工具栏(ToolBar)等界面显示功能。

2) 控制台服务层包含权限管理(PrivManager)、应

用管理 (AppManager)、界面管理 (UIManager) 等功能,分别负责用户登录、应用管理和界面管理。

3) 人机应用层包括了系统中的各类应用。

4) 服务接口层又分为代理 (Agent) 和通用功能 (Utility) 两部分:代理层提供各类人机应用使用的服务接口;通用功能提供 I/O 和任务运行功能。

人机界面中的应用以插件方式集成到系统中,控制台负责实现界面集成管理功能。人机应用通过服务接口层的服务代理与后台服务进行交互,服务代理提供了访问后台服务的接口,其主要功能是接收人机应用的服务请求并将请求通过服务总线发送给后台服务,然后接收服务应答并返回给人机应用。服务代理屏蔽了访问服务的细节,使应用无需关心服务的具体部署信息以及访问过程,因此有很好的服务访问透明性。

## 4 应用及其效果

该系统在某油气管道调控中心投入使用,实现了人机交互画面、系统组态、操作控制等功能。人机界面显示的效果如图 3 所示。

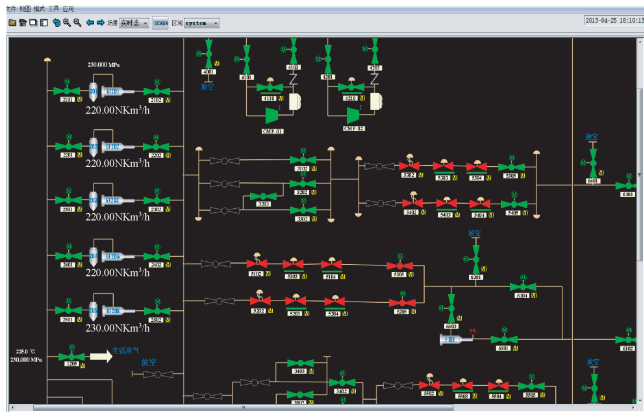


图 3 站场工艺效果示意图

该人机界面在以下方面取得了突破:

1) 人机界面采用 Java 语言实现,具有良好的跨平台性。

2) Web 展示和人机客户端使用同一套图形、同一套图形引擎程序,避免在 Web 浏览时图形转换带来的图形失真。

3) 人机界面与后台系统的通信采用 3 层架构,人机客户端通过后台系统提供的服务获取实时数据、历史数据、发送接收消息。客户端只需要部署人机程序,无需部署数据库,即可完成各项人机交互功能。此“瘦客户”人机模式,大大降低了人机工作站配置要求,节省了投资。

4) 人机界面采用组件化设计思想,各类组件可实现即插即用,体系架构灵活,扩展性强,新功能可以快速集成到人机系统中。

5) 人机界面可实现基于瓦片格式的地理图展示,地理图包括行政区域图、地形图,油气管网以地理图为背景绘制。

6) 人机界面采用图库模一体化设计,在画面编辑的同时完成模型的建立,使维护工作便捷、快速,极大地减轻了用户的维护工作量。

7) 人机浏览采用多窗口、多主题的显示界面,有利于各类相关信息的集成显示。通过将相关画面组织成不同的多主题窗口,实现关联信息的集中展示,既能浏览管道监控的全局信息,又能查看流量、阀门等细节信息,达到运行监控概览信息和细节信息一览无余的效果。

8) 设计了标准图形描述规范,描述了元素、基本绘图元素、油气管道图形元素等特性。基于此图形规范,存储的图形文件可以在不同油气管道公司、站场和调度中心之间进行数据共享和交换,提高了图形文件的复用性。

## 5 结论

1) 利用 Java 技术和图形图像技术,研究并设计了一种人机界面方案,开发了一个油气管道 SCADA 系统跨平台人机交互软件,通过工程实践证明了该设计方案的可行性。

2) 人机界面适用于调控中心与站控的监控应用场景,实现管道运营设备状态、报警等信息的集中显示,以及画面的标准化、易用性、美观性,为调度员和维护人员全景监控油气管道的运行状况提供了有力的支撑。

3) 今后人机界面将向信息可视化、展示方式与地理信息融合等方向发展。

### 参 考 文 献

- [1] 屈彦.川东地区天然气生产 SCADA 系统的优化改造[J].天然气工业,2011,31(11):88-92.  
QU Yan.Optimization and modification of a SCADA system for natural gas production in the eastern Sichuan Basin [J].Natural Gas Industry,2011,31(11):88-92.
- [2] 杨璐锋,杨进峰,陈明,等.长输管线 SCADA 系统的应用现状和前景[J].中国水运:学术版,2007,7(4):127-129.  
YANG Lufeng, YANG Jinfeng, CHEN Ming, et al.The present application situation and the prospect of SCADA system in long-distance pipeline [J].China Water Transport:Academic Version,2007,7(4):127-129.

- [3] 刘成龙,刘大兴,鲁军,等.长呼天然气管道的 SCADA 系统应用与探讨[J].石油化工应用,2009,28(3):79-80.  
LIU Chenglong, LIU Daxing, LU Jun, et al. Application and discuss of Changhu oil gas pipeline SCADA[J]. Petrochemical Industry Application, 2009, 28(3): 79-80.
- [4] 董春红,石中锁.天然气输气站站控 SCADA 系统[J].天然气工业,2005,25(2):149-151.  
DONG Chunhong, SHI Zhongsuo. Natural gas transmission station control SCADA system[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(2): 149-151.
- [5] 王金柱,王泽根,张丙辰,等.基于 SCADA 和 GIS 的油气调控运行系统[J].油气储运,2011,30(12):902-906.  
WANG Jinzhu, WANG Zegen, ZHANG Bingchen, et al. Oil gas dispatch control operation system based on SCADA and GIS[J]. Oil and Gas Storage and Transportation, 2011, 30(12): 902-906.
- [6] 王文平. SCADA 系统在长输油气管道系统中的应用[J]. 电子元件, 2012, 14(11): 51-55.  
WANG Wenping. Application of SCADA system in long distance transportation oil gas pipeline[J]. Electronic Components, 2012, 14(11): 51-55.
- [7] 李桂成. 新一代油气管网 SCADA 系统设计方案及标准化研究[J]. 石油化工自动化, 2008, 44(5): 1-5.  
LI Guicheng. The research into the design and standardization of the new generation oil and gas transportation pipeline network SCADA system [J]. Automation in Petrochemical Industry, 2008, 44(5): 1-5.
- [8] 李天科. 以人为本的人机界面设计思想[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(5): 1228-1229.  
LI Tianke. Design thinking oriented human in human-computer interface [J]. Computer Engineering and Design, 2005, 26(5): 1228-1229.
- [9] 王红艺,李冠峰,吴庆涛,等.一种人机界面组件组装方法的研究[J].河南科技大学学报:自然科学版,2011,32(1):33-36.  
WANG Hongyi, LI Guanfeng, WU Qingtao, et al. Assembly method of human-computer interface component [J]. Journal of Henan University of Science & Technology: Natural Science Edition, 2011, 32(1): 33-36.
- [10] 王晓远,杜静娟,齐利晓,等.基于工业组态软件 WinCC 的化工工业监控系统[J].化工自动化及仪表,2006,33(5):41-43.  
WANG Xiaoyuan, DU Jingjuan, QI Lixiao, et al. Supervision control system of chemical industry based on WinCC [J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 2006, 33(5): 41-43.
- [11] FRIEDHELM N, PETER N, INGA M. Human factors in process control systems: The design of human machine interfaces[J]. Safety Science, 2006, 44(1): 5-26.
- [12] 黄缙华,赵强.基于开放标准的电力系统图库模一体化研究[J].现代电力,2010,27(6):73-78.  
HUANG Jinhua, ZHAO Qiang. Research on integration of graphic, data and model based on open standards[J]. Modern Electric Power, 2010, 27(6): 73-78.
- [13] 黄缙华.基于 SVG 的电力系统图库模一体化的研究与实现[D].北京:华北电力大学,2011.  
HUANG Jinhua. Study and implement of power system graphics and database integration based on SVG[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2011.

(修改回稿日期 2013-10-08 编辑 赵 勤)