

◎ 研发、设计、测试 ◎

# 大型水电仿真系统的模型驱动架构设计

张浩华<sup>1,2</sup>, 赵海<sup>1</sup>, 赵明<sup>1</sup>

ZHANG Hao-hua<sup>1,2</sup>, ZHAO Hai<sup>1</sup>, ZHAO Ming<sup>1</sup>

1. 东北大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110004

2. 沈阳师范大学 物理科学与技术学院, 沈阳 110034

1.School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China

2.Department of Physics Science, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China

E-mail: flyzxh@163.com

**ZHANG Hao-hua, ZHAO Hai, ZHAO Ming. Design of model driven architecture about large hydropower simulation system. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(4): 72-75.**

**Abstract:** A development frame of hydropower simulation system has been introduced based on model driven architecture, it takes UML as the object-oriented modeling tool, constructs the system from a higher abstract level, describes and summarizes the function, model structure and level, model transformation and code generation, avoids the flaw of the traditional development, makes system modeling become the core of software development. As a case study, the frame has been tested in Fengman Hydropower Station, Jilin province. The generality, advantage and credibility of the system are validated through this experiment; the new method is suitable to realize the large-scale software development, such as hydropower simulation system.

**Key words:** Model Driven Architecture(MDA); hydropower simulation; Unified Modeling Language(UML)

**摘要:**介绍了基于模型驱动架构设计的水电仿真软件开发框架,以UML作为面向对象建模工具,从更高的抽象层次上构建系统,描述和总结了系统的功能组成、模型结构与层次、模型变换及代码生成,避免传统开发的缺陷,使对系统的建模行为成为软件开发的核心。以吉林丰满水电站为用户案例,对系统进行应用测试,实践验证了该方法的通用性、先进性和可靠性,是一种适合实现水电仿真系统等大规模软件开发的新方法。

**关键词:**模型驱动;水电仿真;统一建模语言

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.04.020 **文章编号:** 1002-8331(2009)04-0072-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

## 1 前言

水电仿真系统是一个对实际水电厂运行环境进行仿真的软件系统,在水电厂的培训、研究、决策中发挥着极为重要的作用<sup>[1]</sup>。对于这种以仿真模型为主体的大型软件系统开发来说,结构复杂,个体功能差异,耦合关系复杂,控制逻辑准确等特性使仿真过程变得异常复杂,同时模型的选择、调整、调优及相互协作匹配也是一个长期不断变化的过程。传统的开发方式容易产生模型和代码不同步的问题,从而直接影响软件的开发效率、可移植性、协同工作能力和可维护性<sup>[2]</sup>。这些薄弱环节在东北大学开发大型通用水电仿真系统过程中均有不同程度的体现,造成模型更换困难、系统组件紧耦合、更新维护成本高、适应性差等软件缺陷,随着水电运行系统的智能化和复杂程度的不断提

高,对仿真软件的适应性、扩展性、重用性等方面提出了新的要求,而弥补建模和开发之间的鸿沟的关键就在于将建模变为开发的一个必不可少的部分。模型驱动结构(Model Driven Architecture, MDA)是由不同层次模型与模型之间的映射技术所构成的一个体系结构,它以UML模型为基础,从具体实现技术更高的抽象层次上构建系统,从而缓解上述问题,增强系统的灵活性、健壮性,是一种适合实现大型水电仿真系统的新方法。

## 2 MDA 技术思想和开发过程

MDA的基本思想就是:一切都是模型<sup>[3]</sup>,是OMG提出的一种基于UML(Unified Modeling Language)、MOF(Meta-Object Facility)、XMI(XML Metadata Interchange)和CWM(Common

**基金项目:**国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.69873007);国家科技部国家级火炬计划项目(the National Torch Project of China under Grant No.2002EB010154)。

**获奖情况:**该水电仿真系统已获得软件专利(No.2006sr03297),并于2001年6月在北京举办的国际软件博览会上荣获金奖,通过由辽宁省科委组织的科技成果鉴定。

**作者简介:**张浩华(1977-),男,博士生,讲师,主要研究领域为软件工程,系统仿真;赵海(1959-),男,教授,博士生导师,主要研究领域为嵌入式系统,系统仿真;赵明(1977-),女,博士生,讲师,主要研究领域为系统仿真。

**收稿日期:** 2008-09-27 **修回日期:** 2008-11-03

Warehouse Meta-model)等标准的新的系统开发方法学,主要思想是分离业务功能和实现技术与平台之间紧耦合的关系,从而将技术与平台变化对系统的影响降低到最小程度<sup>[4]</sup>。其主要关注的是在抽象的不同层次上模型的定义和转换,强调整个系统开发过程由对软件系统的建模行为驱动,完成系统需求分析、架构设计、构建、测试、部署和运维工作。MDA 定义了计算独立模型(Computation-Independent Model, CIM)、平台独立模型(Platform Independent Model, PIM)和平台相关模型(Platform Specific Model, PSM)。CIM 对应业务模型和用例模型,是一个抽象层次较高、独立于任何实现技术的系统概念模型,它着眼于操作环境中的系统以及系统需求的描述,而不关心系统本身的结构和功能实现细节;PIM 对应分析模型,它处于中间抽象层次,关注系统的整个架构实现,但却忽略掉与平台相关的部分。平台独立模型可以转换成多个平台相关模型;PSM 对应设计模型,包含了业务模型具体平台的特定实现技术。OMG 使用 UML 来描述模型,并通过建立贯通最表层业务领域到底层技术平台之间各个环节之间相互映射关系和辅助自动化工具来实现各模型的转化和应用系统开发。

传统开发过程与 MDA 开发过程对比如图 1,传统开发一旦开始编码,前面 3 个阶段产生的文档和图表很快就会失去价值。系统经常是开始时简单并且易于理解,通过一系列自然演进,就变得越来越复杂,随着编码阶段的进展,模型和代码之间的同步变得越来越困难,代码为了应付新增加的需求和新产生的想法而不断变化,模型却一直停留在原地不动,这使得模型在一段时间之后就失去了价值。只有代码的系统给软件维护、移植、互操作带来极大难度。MDA 中模型贯穿整个开发过程,软件是由系统建模行为驱动的,开发阶段任何影响设计模型的对代码所做的变更都会同步地返回给模型;任何模型所作的变更也同步地进入已存在的代码中,经多次迭代,直到形成完整系统。其优势在于克服传统方式缺点,提高系统完备性、一致性、扩展性,可实现对新技术的快速包容、平台无关性、领域相关性、降低开发成本和缩短开发周期。

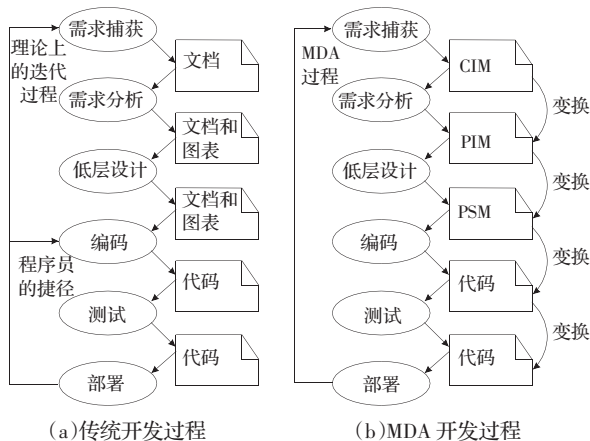


图1 传统开发过程和MDA开发过程对比

### 3 水电仿真系统 MDA 设计

#### 3.1 仿真系统要求和功能

水电仿真系统是电站全范围、高逼真度仿真<sup>[5]</sup>,应具有实用性和通用性;能充分体现水电厂实际现场运行的真实情景,逼真地模拟实际操作运行行为;合理地设计水电厂已经发生过或可能发生各种故障、事故案例;具有灵活多变的体系可扩展

性,利用一套仿真系统根据各水电厂的实际参数就能用于该电厂及机组的仿真培训。仿真范围为电站就地室和控制室内的设备(包括盘/台及其上全部控制设备、仪表、指示器、开关、按钮、指示灯及电站监控机的 CRT、键盘和鼠标等)以及仿真控制室内所能监视、操作和控制的电站设备、系统和过程<sup>[6]</sup>。具体需求包括:(1)指定机组(或多机)开机,指定机组(或多机)停机;(2)指定机组发电转调相,调相转发电操作;(3)指定机变单元闸操作,灭磁开关操作;(4)动态监视各机组油系统、水系统、风系统、电气系统、主阀系统、电调系统状态,以及油水风辅机系统状态;(5)动态监视全厂结线系统状态、机组运行状态,以及各送电线路潮流;(6)对温度、功率、电压及电流等模拟量绘出实时趋势曲线,以便进行观察和横向比较;(7)对温度、功率、电压及电流等模拟量绘出历史趋势曲线,以便进行查询和横向比较;(8)对于故障、事件,模拟量越限发出报警信号,报警方式有光字牌报警、文字信息报警,还可驱动语音报警、计算机发出语音报警等。

#### 3.2 MDA 开发框架

对于水电仿真这样的大型复杂系统,其复杂性存在于系统的构成和系统开发过程之中。而通过层次结构分析来分离关注点,可方便构建逐层扩展的系统结构,采用 MDA 框架进行模型的变换和映射能有效地保证开发质量和满足系统持续性、柔性等要求。系统的横切结构如图 2 所示,分 4 个层次:通用核心层完成与具体业务无关的底层基本操作;基本模型层为系统核心环节,包含水轮机模型、风水油辅机模型、发电机模型、主变压器模型、厂用电模型等系统核心模型,它们之间通过由状态、数值、控制数据等组成的信息流来实现协作同步,与通用核心层共同完成与水电运行相关的基本工况的仿真;前台展示层提供与真实盘台一致的用户操作界面接口,向用户显示各种开关、仪表的实时状态信息,并解析用户的操作命令,它能够实现数据的初步汇总,与其内包含的两层一起构成了典型水电仿真系统;扩展应用层是在典型系统的基础上扩充了一些更为复杂的功能,如多机组协作、多媒体监控报警、故障诊断、成绩考评等。系统在层次体系结构的基础上,层间利用面向对象的继承、封装和多态等特性,外层能够继承内层的所有功能,并可进行屏蔽、修改和扩充,从而实现功能的逐层扩展。层内各模型使用信息流作为联系的纽带,用层次结构细化各模型内的子模型来分离关注点保证模型粒度和可替换性,如水轮机模型可细化为主阀、调速器;辅机模型可细化为风、水、油模型,风又细化为制动风、冷却风模型等。

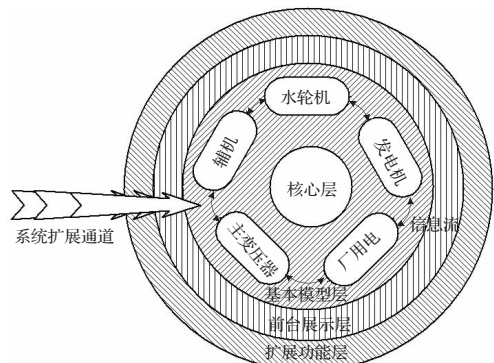


图2 水电仿真系统横切结构

MDA 框架如图 3,包含水电系统的各部分的 CIM 模型、PIM 模型、PSM 模型、Code 模型及其自变换和互变换。

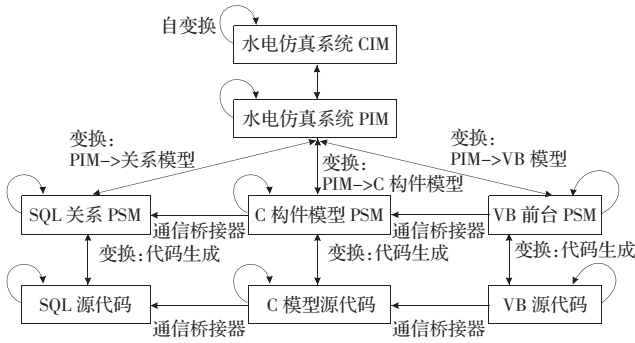


图3 水电仿真系统 MDA 开发框架

MDA 驱动的系统整体模型可用如下五元组来描述:

$$S = \langle CIM, PIM, PSM, Code, Rule \rangle$$

其中,  $S$  表示整个系统,  $CIM, PIM, PSM, Code$  分别为系统各模型的集合,  $Rule$  为模型之间的变换规则集合。

### 3.3 CIM 模型建立及描述

CIM 模型是系统的基础, 主要指独立于计算的业务模型,

为了克服传统需求分析在用例提取、关系描述、粒度划分等方面的不足, 本文使用基于 UML 的面向对象需求分析方法<sup>[7]</sup>, 从业务流程、结构逻辑与行为逻辑、系统需求 3 个不同的角度, 以 UML 用例图、顺序图、状态图为中心分析系统活动, 过程如图 4, 可有效地构造系统的领域模型, 并从中提炼出系统需求模型, 对于各种因素导致的需求变更, 可在当前需求分析的基础上, 通过迭代实现快速演化。

系统 CIM 模型可用如下一个三元组来描述  $CIM = \langle UC, SD, ST \rangle$ , 其中  $UC, SD, ST$  分别为系统中所包含的用例图、顺序图、状态图的集合。

### 3.4 PIM、PSM 模型及模型转换

PIM 模型是与平台无关的分析模型, 主要以静态图(类图及关联)为主; PSM 是与平台相关的设计模型, 按功能分关系 PSM、构件 PSM、界面 PSM, 分别由不同的平台加以实现; Code 模型是各 PSM 的代码实现。三层构架的 3 个层次和 3 个抽象层次是正交的, 抽象层次是自顶向下的, 而系统功能是从右到左的。模型间的映射按照一组无歧义的变换规则自动或手动实

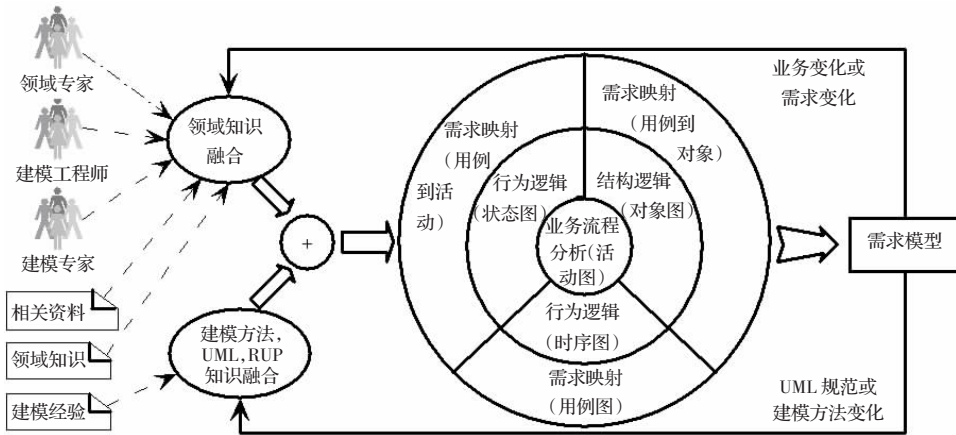


图4 基于UML的面向对象需求分析方法

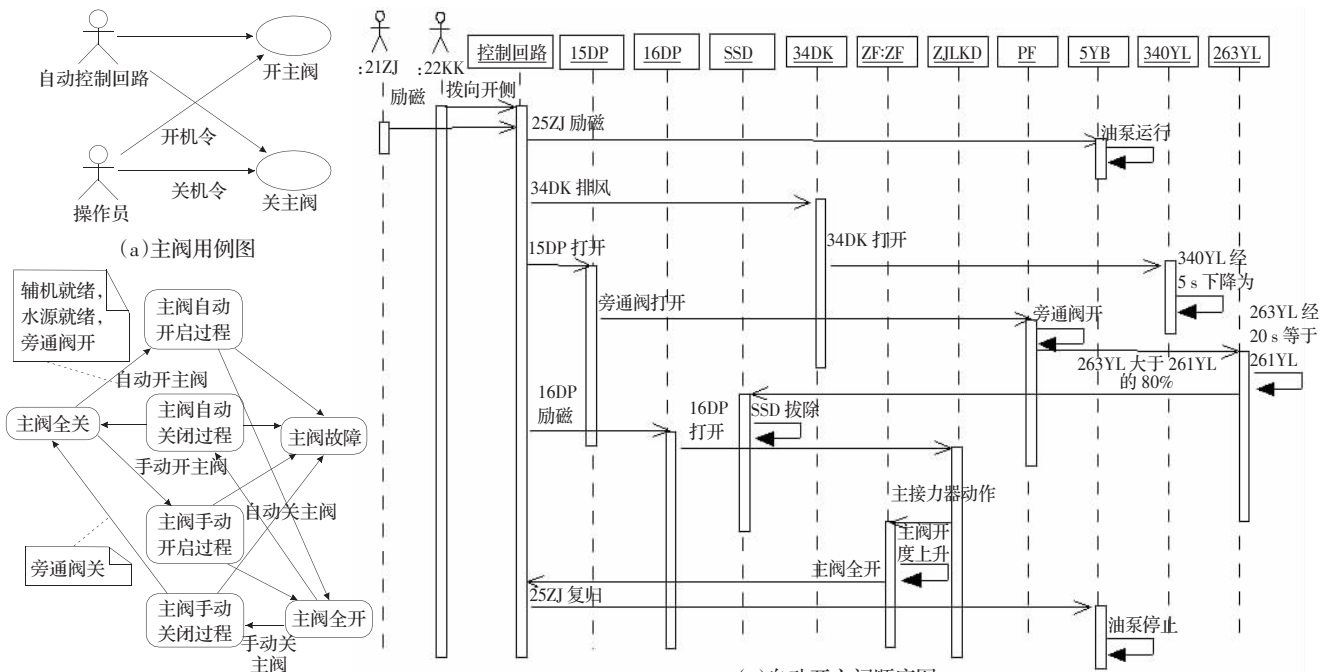


图5 主阀 CIM 模型

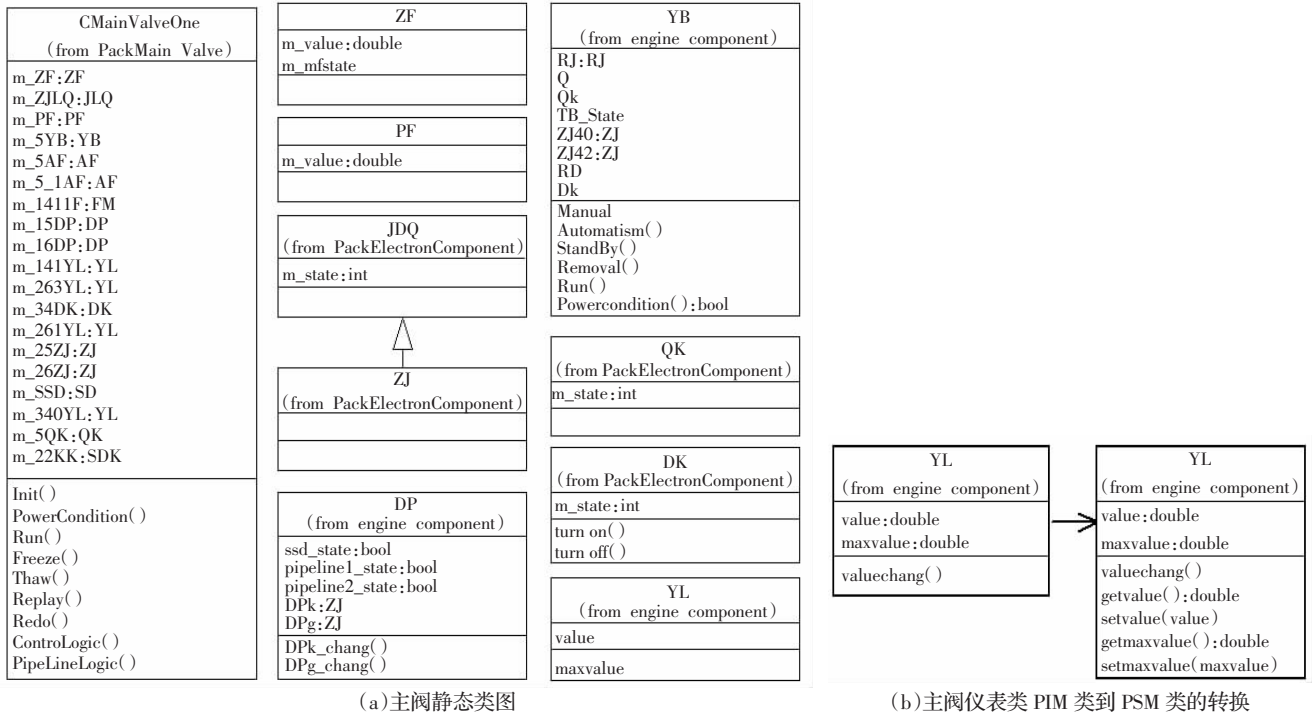


图6 主阀 PIM 类图

现原模型到目的模型的映射: (1) CIM→CIM, PIM→PIM, PSM→PSM, 该映射实际上是模型自身的增强、过滤和精化。(2) CIM→PIM, 该映射是实现概念模型到分析模型的转换。(3) PIM→PSM, 该映射是实现抽象的与平台无关的设计模型到与目标平台相关设计模型的转换, 它是 MDA 框架的核心变换。(4) PSM→Code, 该映射是 PSM 模型的源代码描述。(5) Code→PSM→PIM, 该转换类似于逆向工程, 是从 PSM 中提取与平台无关的模型信息, 是把原有旧版系统模块纳入 MDA 框架的有效手段。

#### 4 实例分析

以基于 MDA 的架构实现的丰满水电仿真系统中水轮机子系统中的主阀模型为例来说明系统设计的过程。主阀系统主要功能是控制水轮机进水主阀的开和关。经过与水电领域专家多次交流后画出主阀的 CIM 模型如图 5, 在对主阀各种工况详细分析的基础上结合主阀的 CIM 模型生成的主阀 PIM 模型是由主阀子系统包、主阀私有类包、水轮机子系统公共类包共同组成, 其所包含的类构成如图 6(a) 所示, 图 6(b) 显示了该 PIM 模型的一个仪表类转换为 PSM 的变换, 类包含 2 个属性, 所有属性都被声明为公有。在高层 PIM 中通常使用公有属性表明是该对象所具有所指定的属性, 这个属性可随时间变化取不同的值。在 PSM 中创建的是 C 源代码模型, 而不是业务概念模型, 因此应用变换规则来封装公有属性实现信息隐藏, 具体规则如下:

(1) 对 PIM 中每个类在 PSM 中要有一个同名类与之相对应。

(2) 公有操作名字为属性名加上“get”前缀, 以属性类型为返回类型: `getAttributeName():Type`。

(3) 公有操作名字为属性名加上“set”前缀, 以属性作为参数, 没有返回值: `setAttributeName`。

此规则的逆规则即可实现 PSM 到 PIM 变换, 由 Rose 工具自动完成 PSM 到代码的另一个变换, 将两个变换自动化并加以

组合, 就可由 PIM 生成所需操作的源代码, 实现基于 MDA 的代码自动生成。

#### 5 结论

在大型系统仿真软件开发过程中, 由于缺乏合理的开发架构, 开发过程往往是一个熵增加的过程, 最终导致系统进入不可控和难以演化的无序状态, 为此基于 MDA 系统架构从更高的抽象层次上以模型语言构建系统, 改变了软件设计、实现和维持的方法, 提出了一种比中间件层次更高的、更抽象的适合大型软件开发解决方案, 通过丰满水电仿真系统的设计实现加以验证, 该方案使系统互操作和移植变得更加容易和快速, 并且把从模型到代码的自动生成提高到更高的层次。目前, 这一系统正在吉林丰满水电站运行并取得良好效果, 并在各水电站推广应用。

#### 参考文献:

- [1] 苏羽, 赵海, 苏威积. GHS: 一种新型水电仿真系统平台的研究与应用[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5): 1230-1233.
- [2] Kleppe A, Warmer J, Bast W. MDA explained[M]. 鲍志云, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2004: 2-5.
- [3] MG/MOF. Meta Object Facility (MOF) Specification[R]. Technical Report Object Management Group, 2000.
- [4] MG Unified Modeling Language Specification, version 2.0 [EB/OL]. [2004]. <http://www.omg.org/uml>.
- [5] 刘静. 云南水电仿真系统研制与应用[J]. 云南电力技术, 2003, 31(3): 10-12.
- [6] 张德干, 赵海. 基于信息融合思想的通用水电仿真系统[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(10): 1334-1347.
- [7] 刘玉兰, 赵玉兰. 一种基于 UML 的面向对象需求分析方法[J]. 内蒙古大学学报, 2005(7): 449-452.