

过程控制工程实验虚拟仿真平台建设*

罗娜, 何翔, 孙京浩

(华东理工大学 信息科学与工程学院, 上海 200237)

[摘要] 过程控制工程课程是自动化专业的核心科目, 其实验内容在强化学生对理论知识理解的同时, 注重培养学生的实际动手能力。学生在实验平台的锻炼可为其未来成为合格的自动化工程师奠定基础。但在实际教学过程中, 鉴于化工装置的高温高压特性, 对真实装置进行操作的危险性大, 因此学生实际动手机会少, 理论学习与实践之间存在明显的脱节。本文以乙二醇工业过程的控制为背景, 建立了缩小比例的工艺过程实物模型和过程机理模型, 提供了基于集散式控制系统的多套控制方案实验, 形成了具有工业过程特色的实验虚拟仿真平台。该平台还可实现先进过程控制方案等学科前沿问题的验证。

[关键词] 虚拟仿真; 过程控制; 实验平台

Development of Virtual Simulation Platform for Process Control Engineering Experiments

Luo Na, He Xiang, Sun Jinggao

Abstract: As the core subject of automation major, the course of process control engineering makes students well understand general control theory and improves their practical ability with experiments in the laboratory. So it is important to develop a platform similar with industrial circumstance for students who will be automation engineers in the future. However, chemical process is usually of high temperature and high pressure, which is dangerous to test control strategies on it. Therefore students have less chance to do experiments on real process and there is a big gap between theory and practice for students in learning control theory. Based on real industrial process, this paper proposed a virtual simulation platform for process control experiments. In the platform, process facilities with reduced scale to the real facilities were built in the lab. Combined with these facilities, mechanism model were developed to generate the process state variables. Based on these models, this platform provided multiple control experiments for students who can complete them in the Distributed Control System. This platform not only can be used for students to do experiments but also provides a testing circumstance for advanced process control strategies from researchers.

Key words: Virtual simulation; Process control; Experimental platform

[作者简介] 罗娜(1977-), 女, 副研究员, 硕导, 博士。

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(61403140), 华东理工大学 2015 自动化系本科专业建设项目。

过程控制工程作为自动化专业的主干课,注重让学生在理解控制理论的基础上,根据工业过程实际对象的特性设计并实现控制方案,因而该课程是一门理论与实际紧密结合的课程^[1]。然而面对实际工业对象,特别是化工过程,由于其操作条件多为高温高压,操作危险性大,学生很难有机会在实际装置上进行控制实验。而传统的控制系统实验又难以使学生体会到复杂过程的特性,从而导致学生理论与实践脱节,在步入工作岗位后能力不足。

基于以上情况,开设过程控制工程专业的高校均十分重视过程控制工程课程的实验平台建设。从培养工程实践能力同时减少实验过程危险的角度来说,过程仿真成为过程控制工程实验平台建设最经济、安全的解决方案。吴重光对建设现代化工仿真训练工厂进行了早期探索,搭建了仿真训练的建设框架^[2],确定了具体的建设内容,并在此框架下设计了一个石油化工危险、安全与控制仿真试验平台^[3]。赵爽等将仿真虚拟实验技术引入化工实验教学^[4],通过计算机辅助教学弥补常规教学的不足,形成了一个包括实验类仿真实验、实训类仿真实验、创新拓展类仿真实验在内的多层次实验平台。陈国辉等以中南大学已建设的虚拟仿真平台为例^[5],提出了包括工科基础化学仿真实验平台、矿物分离与湿法冶金虚拟仿真实验平台、高温冶金与节能虚拟仿真实验平台等在内的冶金行业实验平台建设方案。许亚岚等通过分析现有的实训装置、半实物仿真装置和石化企业操作员培训仿真系统的优劣^[6],融合操作员培训仿真系统、缩小冷模物理仿真技术和半实物仿真技术,以炼油过程为对象建设了新一代流程级仿真装置。荣冈等针对炼油过程建立了智能工厂流程模拟仿真平台^[7],并在此基础上开展了一系列工作^[8-12]。王凯强等利用半实物仿真技术^[13],将硬件控制系统与工业现场仿真模型相结合,实现了集散式控制系统与过程控制系统的实验教学,缩短了实验室与工厂之间的距离。随着计算机技术的发展,虚拟技术在实验室平台的建设方面得到了更为广泛的应用^[14-15]。

本文以乙二醇生产过程为对象,结合化工企业现场过程控制的实际情况,开发了过程控制工程实验虚拟仿真平台。基于该平台,学生可以进一步理解流量、温度、液位、压力等变量的控制方案,能够完成系统参数辨识、单回路控制、串级控制、前馈-反馈控制、滞后控制等多种控制实验。该平台为学生提供了过程控制工程课程的实验装置,也可为相关研究人员提供一个先进控制方案测试的物理模拟对象和实验平台。

一、平台架构

本文从系统功能、开放扩展性、石化行业市场占有情况等多方面考虑,以乙二醇生产过程为控制对象,进行虚拟仿真实验平台的开发。平台采用分层式扁平化功能结构,分为过程半实物仿真层、过程数据采集层和系统监控层,如图1所示。

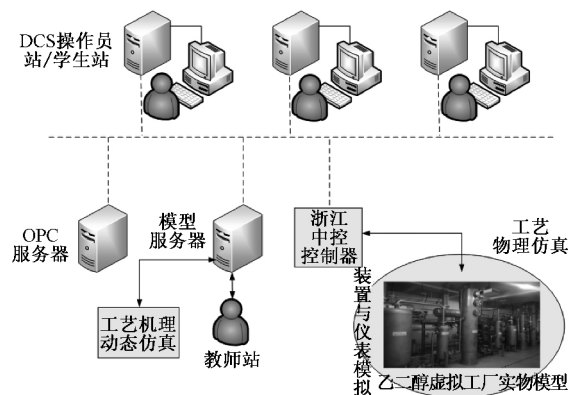


图1 虚拟仿真实验平台架构图

过程半实物仿真层由过程实物模型和动态模型构成。其中乙二醇过程的实物模型实现了装置和仪表的模拟,过程动态模型实现了过程工艺机理的仿真。在该层中,乙二醇生产过程的实时运行数据随着过程的进行不断生成,并传输到实际装置上的仪表中,再传入集散式控制系统。为保障实验过程的安全性,过程实物模型按实际装置缩小比例12.5%后制造,设备多采用不锈钢材质,同时配有比例缩小的管路、手动阀门和控制阀门,如图2所示。为进一步实现对实际过程的仿真,过程设备和管线中还配有压力、流量、温度、液位和阀位的传感器和仪表,学生通过仪表检测可以观察过程变化的时间特性,从而为进行控制系统实验提供直观的操作和运行过程系统的环境。

过程动态模型基于过程机理开发,是在实际过程基础上建立的反映工业过程实际运行情况的模型,也是该平台的核心和基础软件。



图2 过程半实物仿真模型

集散式控制系统实验平台的现场设备控制层采用浙江中控 JX-300XP 控制系统作为集散式控制系统的核心控制器,配有四台工程师站,并可在在此基础上进行扩展。控制系统采用 1:1 冗余的通信网络 Snet II,可靠性高,纠错能力强,通信效率高,可以保障控制系统的互连。控制站通过主控制卡、数据转发卡和相应的 I/O 卡件实现现场信号的采集、处理和控制等功能。

过程数据采集层是过程机理模型与实物装置之间的桥梁。在该层中,过程动态模型的运算结果通过 OPC 技术中的 OPCD 规范及 MPI 通讯驱动传输到 DCS 系统,并转换为模拟电信号,传送到现场的各种仪表,进行模拟与数字多种方式的实时显示。同时,过程操点的模拟信号(如阀门的转动)通过集散式控制系统传输至 OPC 服务器,进而传送到动态模型中进行运算。以上交互过程实现了实物装置和动态模型的数据统一。

二、乙二醇生产过程动态模型

为保证过程控制工程实验虚拟仿真平台能够模拟工业实际过程,动态模型的开发就显得尤为重要。动态模型的开发以实际乙二醇工厂设计数据为基础,基于乙二醇生产过程的反应机理、分离特性,采用实际过程运行数据校正过程参数,最终实现了乙二醇生产过程的动态仿真。

过程动态模型的输入随时间变化时,输出也随之变化。化工过程中通过建立物料、能量的代数、微分方程、偏微分方程,采用严格的热力学方

法,结合相关的水力学限制,加入控制器的作用,最终实现对实际工业过程的模拟。根据文献[2]建立现代化工仿真训练工厂的要求,本文所建立的乙二醇过程动态模型满足以下要求:1. 基于实际乙二醇工业装置尺寸,通过微分方程、偏微分方程定量表示过程物料和能量变化关系;2. 通过一系列方程实现乙二醇过程中反应动力学、气液平衡、流体力学的定量计算;3. 模型能够反映乙二醇过程的动态时间常数、惯性、时间滞后等特性;4. 动态模型的求解速度能够达到实时要求,求解精度应满足相关控制要求。

综合考虑模型开发效率和计算精度,乙二醇生产过程动态模型采用 ASPEN HYSYS 平台开发,涵盖了乙烯氧化制环氧乙烷、环氧乙烷的吸收和解吸、环氧乙烷再吸收等装置。该动态机理模型具有 1 206 个过程变量,1 206 个方程,数十组控制回路。DCS 系统可凭借该动态模型的工艺要求开发过程控制功能算法,并使动态模型各控制回路在设定值范围内保持稳定,保证仿真模型正常运行。本文开发的过程动态模型如图 3 所示。

三、基于平台的过程控制实验

按照过程的工艺要求设计控制方案是学生成为自动化工程师后面临的主要任务之一,具体包括在熟悉过程特性的基础上,深入了解被控过程的工艺特点及要求;合理选择被控参数和控制参数;进行信息的获取;选择变送、调节阀、调节器;进行控制器参数整定,从而保证系统运行在最佳状态。以上相关实验在本文建立的平台均可以实现。下面以乙二醇生产过程中汽提塔塔釜液位控制回路为例进行说明。

根据乙二醇过程工艺的要求,选定被控量为塔釜液位高度,实验要求塔釜液位稳定在给定值。将液位传感器检测到的塔釜液位信号作为反馈信号,在与给定量比较后的差值通过调节器控制调节阀的开度,以达到控制塔釜液位的目的。为了实现系统在阶跃给定和阶跃扰动作用下的无静差控制,系统的调节器应为 PI 或 PID 控制。该实验要求学生能够结合具体分析过程中液位控制器

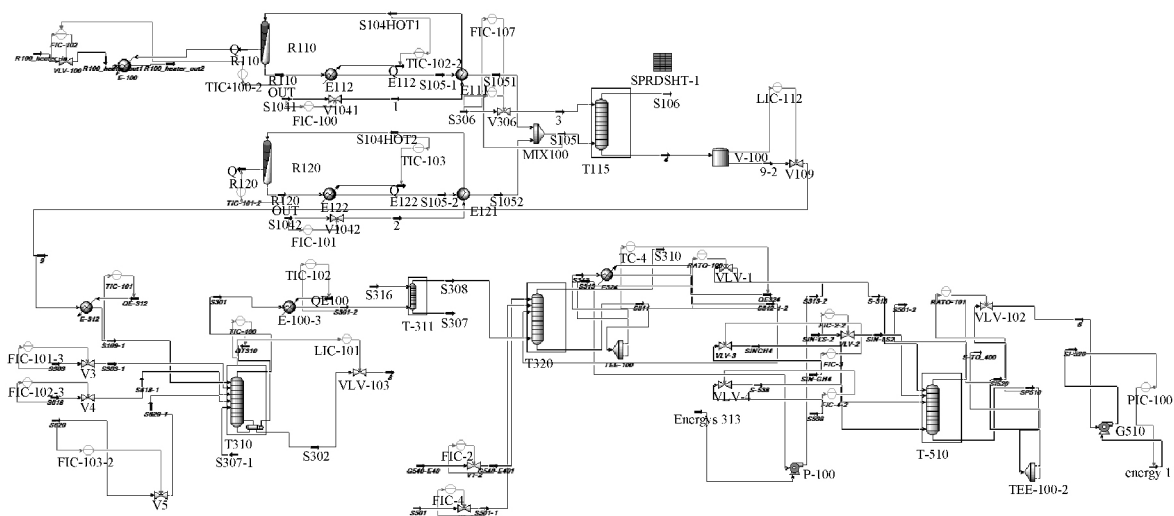


图 3 过程动态模型

的特点,根据现场结构分析该回路的控制系统原理,如图4所示。

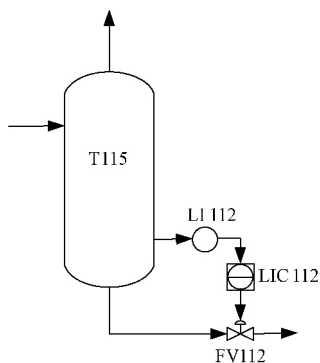


图 4 控制系统原理图

在控制原理图的基础上,学生要结合过程控制工程课程的经典控制理论知识,完成控制系统的方框图设计,如图 5 所示。

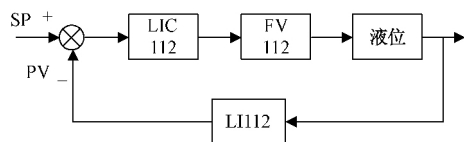


图 5 简单控制方框图

学生在上位机监控界面中将液位控制器设置为“自动”控制,将设定值和输出值设置为一个合适的值,通过适当增加或减少液位控制器的输出量,使塔釜液位平衡于设定值。在此基础上,学生通过经验法或动态特性参数法整定调节器参数,选择 PI 控制规律,并按整定后的 PI 参数进行调节器参数设置。待液位稳定于给定值后,学生通过突增(或突减)控制器设定值的大小,使其有一个正(或负)阶跃增量的变化,将其视为外界干扰,记录此时控制器的设定值、输出值和控制器参数,以及液位的响应过程曲线,在实际过程的调整中加强对 P、PD、PID 三种控制规律的认识。在此基础上,教师要引导学生考虑其他扰动的作用,建立串级控制方案的方框图,如图 6 所示,并在 DCS 系统上实现过程控制界面,如图 7 所示。

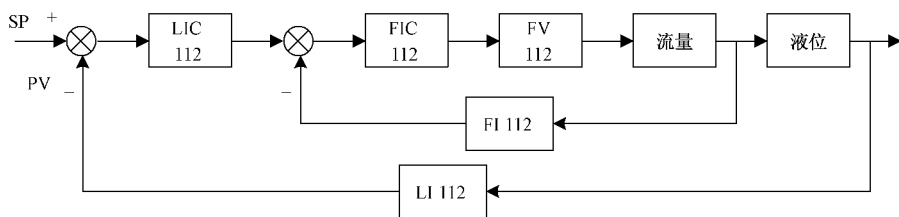


图 6 串级控制方框图

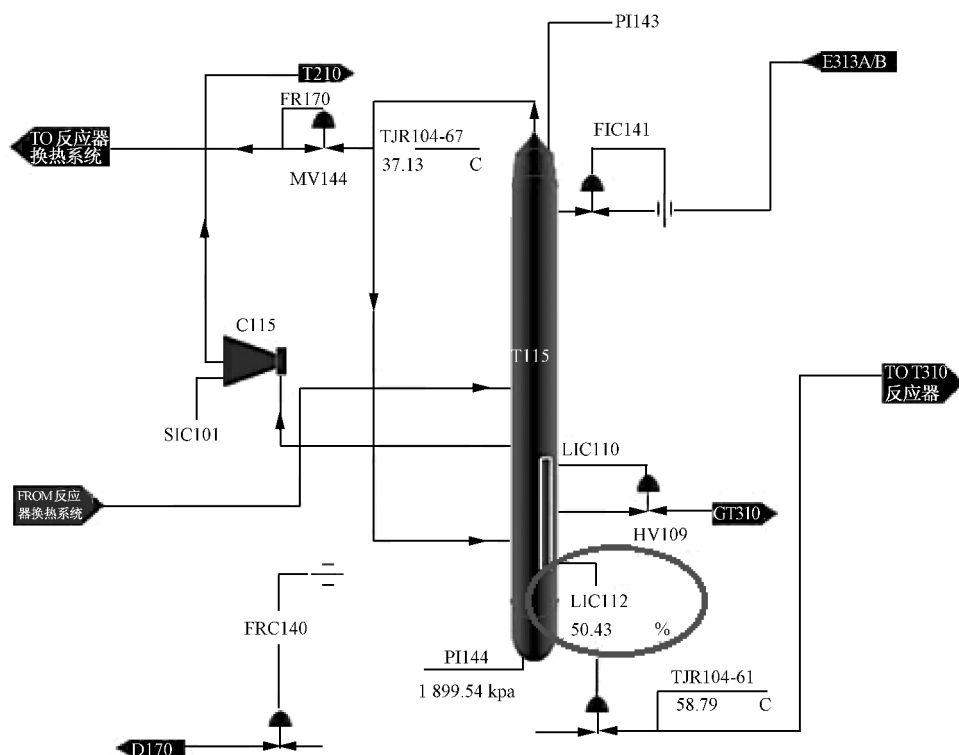


图7 过程控制界面

境下,由学生开发工艺流程画面,进行控制系统的组态(包括控制与显示、参数数据库的组态、工艺流程控制画面组态、控制方案的组态等),同时独立设计完成典型化工过程控制方案。2. 综合型实验。学生通过对若干个简单控制实验的理解,应用已学过的控制方案,开展综合型实验。3. 设计型实验。根据教师提出的实验内容和目的,学生自行设计实验步骤,培养独立工作能力和创新能力。

四、结论

在以培养工程实践能力为主线的新教学方案指导下,为进一步实现过程控制工程课程的改革与实践,同时为进一步加强过程控制工程实验课的效果,我们建立了以乙二醇生产过程为对象的过程控制工程实验虚拟仿真平台。该平台建立了缩小比例的工艺过程实物模型和过程机理模型相结合的综合模型,通过 OPC 技术实现了过程机理模型、分布式集散式控制系统、装置仪表之间的数据传输。在此基础上,我们开发了基于集散式控制系统的多套控制实验,包括系统参数辨识、单回路控制、串级控制、前馈-反馈控制等多种控制实

验,以增强学生的独立操作能力。同时,该平台也可作为先进控制方案的测试、故障诊断方法的研究及控制性能评价等多方面的前沿科学问题研究的测试平台。
(文字编辑:李丽妍)

参考文献:

- [1] 赵虹,张烈平,李海侠. 基于卓越工程师教育培养计划的过程控制课程教学改革[J]. 大众科技,2014(6): 197-198.
- [2] 吴重光. 现代化工仿真训练工厂[C]. 全国仿真器学术会议,2007.
- [3] 夏涛,张贝克,吴重光. 石油化工危险、安全与控制仿真试验平台的结构设计[J]. 系统仿真学报,2003,15(10):1388-1390.
- [4] 赵爽,王敏,鲁奇林,等. 化工过程虚拟仿真实验教学平台建设探索[J]. 课程教育研究,2015(26):236.
- [5] 陈国辉,刘有才,刘士军,等. 虚拟仿真实验教学中心实验教学体系建设[J]. 实验室研究与探索,2015,34(8):169-172.
- [6] 许亚岚,罗雄麟,毛凤英. 炼油化工虚拟工厂建设与情境教学探索[J]. 化工高等教育,2013,30(3):59-62.

- [7] 裴瑞凌,荣冈. 炼油过程的智能工厂流程模拟仿真平台[J]. 化工自动化及仪表,2005,32(2):43-46.
- [8] 冯毅萍,荣冈. 流程工业智能工厂实验系统[J]. 信息与控制,2005,34(1):35-39.
- [9] 方红飞,荣冈,冯毅萍. 动态模拟在流程工业智能工厂实验系统中的应用[J]. 信息与控制,2006,35(3):362-367.
- [10] 朱玉韬,金星,荣冈. 一种石化企业虚拟现实仿真系统的设计与实现[J]. 化工自动化及仪表,2007,34(5):40-44.
- [11] 周泽伟,冯毅萍,吴玉成,等. 基于虚拟现实的流程工业过程模拟仿真系统[J]. 计算机工程与应用,2011,47(10):204-208.

(上接第 48 页)

- [6] 徐辉,王冬晓. 大学生学科竞赛的实践[J]. 实验室研究与探索,2012,31(10):141-143,149.
- [7] 孙爱良,王紫婷. 构建大学生学科竞赛平台培养高素质创新人才[J]. 实验室研究与探索,2012(6):96-98.
- [8] 温凤媛,白雪飞. 高校创新型人才培养模式研究[J]. 现代教育管理,2012(10):88-91.

(上接第 51 页)以实验结果为主要依据,而是更注重学生整个实验过程和操作的规范性,以及对结果的分析、讨论或评价。这样不仅让学生更加重视实验操作规范,也能帮助学生养成良好的分析、讨论问题的习惯,拓宽他们对各类问题的分析思路。总之,仪器分析类综合化学实验充分调动了学生的学习兴趣 and 热情,帮助他们提升了综合能力,达到了实验教学的目的。

四、结语

仪器分析类综合化学实验教学表明,选择有现实意义的研究对象并利用大型仪器来开发该类综合实验,不仅能提升本科高年级学生的学习能力和综合素质,还能提高实验教学质量。然而,由于大型仪器价格相对昂贵且数量有限,实验教学中很难做到“一人一机”完成实验内容。因此,合理安排实验教学内容、教学方法,充分利用有限资

- [12] 齐瑞超,荣冈,冯毅萍,等. 智能工厂可配置的多层次建模方法[J]. 化工学报,2013,64(12):4354-4365.
- [13] 王凯强,徐龙飞,经广斌,等. 基于半实物仿真技术的 DCS 系统实验平台用于过程控制研究[J]. 天津理工大学学报,2013,29(4):16-21.
- [14] Hashemipour M, Manesh H F, Bal M. A modular virtual reality system for engineering laboratory education[J]. Computer Applications in Engineering Education, 2011,19(2):305-314.
- [15] Villar-Zafra A, Zarza-Sánchez S, Lázaro-Villa J, et al. Multiplatform virtual laboratory for engineering education[J]. International Journal of Online Engineering,2012(8):1-6.

- [9] 张姿炎. 大学生学科竞赛与创新人才培养途径[J]. 现代教育管理,2014(3):61-65.
- [10] 蒋西明,陈世平,李慈,等. 加强学科竞赛管理,提高人才培养质量[J]. 实验技术与管理,2012,29(11):22-25.
- [11] 刘长宏,张恒庆,王刚. 大学生实践与创新能力培养体系的研究与实践[J]. 实验室研究与探索,2006,23(5):552-554.

源达到最佳的教学效果是我们的目标。

(文字编辑:李丽妍)

参考文献:

- [1] 孙学芹,刘洪来. 综合化学实验[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [2] 王伯康,王志林,孙尔康. 开设综合化学实验的探索与实践[J]. 大学化学,2001,16(2):25-26.
- [3] 周璐珊,张文雄. 化学类本科综合化学实验教学的实践与思考[J]. 化学通报,2012,75(3):279-283.
- [4] 王月荣,胡坪,苏克曼,等. 一个分析化学综合实验——洗衣粉中表面活性剂的分析[J]. 化工高等教育,2012(2):66-69.
- [5] 刘鑫,王月荣,冯若兰,等. 多层次综合化学实验平台的建设与实践[J]. 实验室研究与探索,2014,33(10):246-249.