

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2024.02.005

欢迎按以下格式引用:陈金华,沈雪莲,谭力,等.建筑环境与能源应用工程专业虚拟仿真实验系统建设与示范[J].高等建筑教育,2024,33(2):35-41.

# 建筑环境与能源应用工程专业虚拟仿真实验系统建设与示范

陈金华,沈雪莲,谭力,秦子雄

(重庆大学土木工程学院,重庆 400044)

**摘要:**重庆大学土木工程学院依托国家级实验教学示范中心,对建筑环境与能源应用工程专业空调冷热源系统、大型通风空调系统等成本高、危险性高、周期长的实验内容进行虚拟仿真实验教学系统建设,共建设了空调冷热源系统、空调系统、热水供暖系统三个综合虚拟仿真实验系统。实验建设紧密围绕建环专业实践教学体系展开,坚持“能实不虚、虚实互补”原则,以培养解决复杂工程问题、具有创新思维、高素质复合型工科人才为目标。实验内容设置综合性的多工况虚拟实验、事故工况实验和科研创新实验,支撑了完整的实验教学过程,并建立了双向评价体系。实验采用Web端在线实验形式,提高实验的便捷性和共享性。2020—2021年,虚拟仿真实验系统除服务本校本科实验教学外,向4个高校超300名学生提供实验教学服务,获得校内外较高评价,产生了良好的示范和社会效益。

**关键词:**本科教学;建环专业;虚拟仿真;实验系统建设

中图分类号:G642.0

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2024)02-0035-07

根据教育部办公厅关于实施一流本科专业建设“双万计划”的通知,教育部决定全面实施“六卓越一拔尖”计划2.0,启动一流本科专业建设“双万计划”<sup>[1-2]</sup>。中国高等教育将迎来一场“质量”革命,只有贯彻“以本为本,四个回归”,坚持以学生为中心的现代教学理念,主动适应新一轮科技革命和产业变革,才能培养堪当民族复兴大任的时代新人<sup>[3-5]</sup>。实验教学作为现代大学发展水平的标志,对新时代人才的培养具有不可替代的作用,尤其对于建筑环境与能源应用专业(以下简称建环专业)等工程类专业,实验教学更是培养学生工程实践能力,科研、创新能力的重要教学环节<sup>[6-7]</sup>。建环专业冷热源系统、通风空调系统、水系统等实验系统体积庞大,建设费用高、周期长,设备运行维护工作量大、经费高,因此难以建设足够多的实验台套数,较多前沿技术成果难以及时应用于实验教学中。由于非常规、事故状态的实验对设备存在影响,甚至可能存在安全隐患,在实体实验中难以进行。此

修回日期:2022-04-15

基金项目:重庆市高等教育教学改革研究项目(重点项目)(212010);重庆市研究生教育教学改革研究项目(一般项目)(yjg223004);重庆大学教学改革研究项目(2019Y46);重庆大学大学生科研训练计划项目(CQU-SRTP-20220556)

作者简介:陈金华(1973—),男,重庆大学土木工程学院教授,工学博士,主要从事建筑环境与能源应用工程专业本科、研究生教学及暖通空调与建筑节能领域科学研究,(E-mail)c66578899@126.com。

外,空调系统实验受室外气象条件制约明显,实验时间安排严重受限。在实体实验教学中学生实验参与度低,实验内容有限,难以激发学习积极性和自主性,知识、能力、素质培养均受到限制。针对以上问题,将本科教学与信息技术深度融合,建设虚拟仿真实验系统,不仅可弥补实体系统实验的诸多不足,而且丰富教学资源,推动自主型学习、研讨型学习等教学模式改革,在“新工科人才培养及实现教育资源共享上均具有显著优势<sup>[8-9]</sup>。2017年至今,全国各高校陆续进行虚拟仿真教学资源建设,在如火如荼的建设中也逐渐显露出缺乏顶层设计、论证不补充、综合性创新性不足、不具有持续改进性、共享困难、示范受限等问题<sup>[10-11]</sup>。以重庆大学建环专业虚拟仿真实验系统的建设、教学及推广示范展开,对虚拟仿真实验在工科类专业实验教学的应用和发展进行初步探索。

## 一、建设思路

### (一) 遵循工程教育的CDIO模式,充分论证,合理设计

虚拟仿真实验系统建设中遵循工程教育的CDIO模式,即以“构思(Conceive)–设计(Design)–实施(Implement)–运作(Operate)”理念为指导,注重顶层设计,充分考虑理论课与实验课、虚拟实验与实体实验之间的支撑关系和人才培养任务,选择适宜的实验内容及教学形式。

#### 1. 坚持实践教学体系和专业人才培养计划相结合原则

重庆大学建环专业构建了基于工程创新人才培养的“二三四”实践教学体系,如图1所示。虚拟仿真实验系统在建设之初应明确虚拟仿真实验在体系中的定位及支撑作用,明确建设规划及预期效果。同时,结合建环创新人才培养计划确定虚拟仿真实验教学内容和方式。

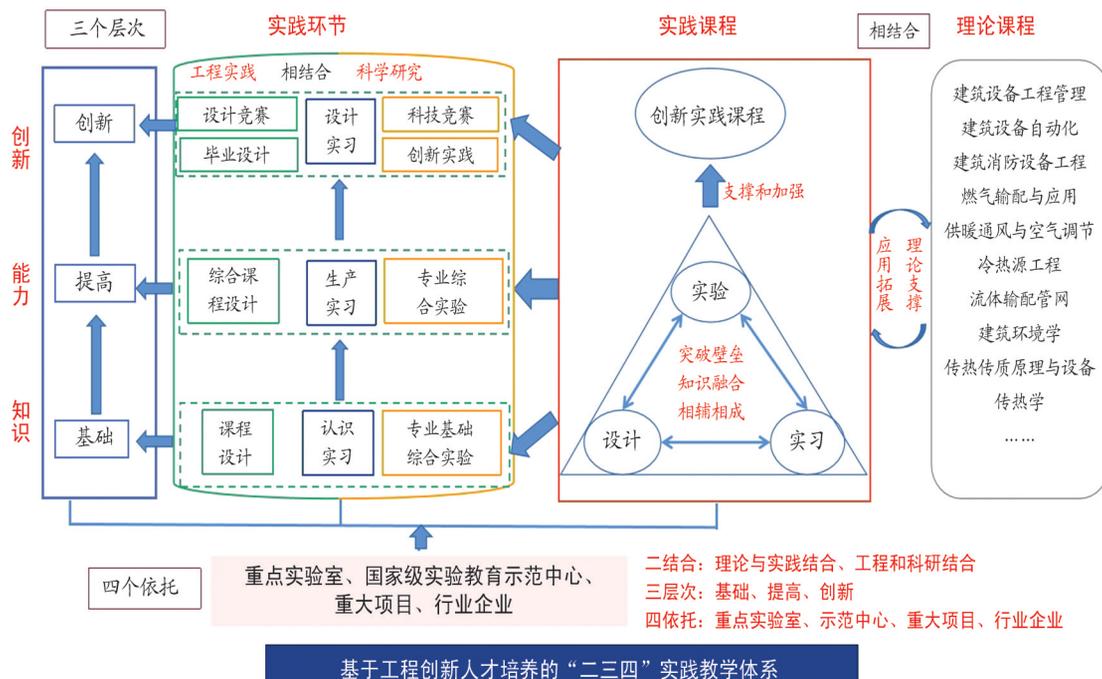


图1 专业实践教学体系

#### 2. 坚持“能实不虚、虚实结合”原则

充分论证建设虚拟仿真实验系统的必要性,挑选成本高、危险性高和实验周期长等“两高一长”特点的实验内容进行建设。在设计、实施过程中,客观看待虚拟仿真技术的优势及局限性,充分利用实体实验与虚拟实验实现优势互补、资源配置合理优化,提高实验教学质量。

## (二) 贯彻“学生为主,教师为辅”的教学理念,优化内容,引导为主,监督为辅

### 1. 建设合宜的教学内容,突出“两性一度”特点

实验类型规避演示性、验证性实验,选用综合性、创新性实验。设置多工况(包括事故工况)实验,并引入实际工程场景和实验影响因素和测试背景的复杂性,同时,将科研成果转化到实验内容中,使实验内容具有高阶性、创新性,提升实验挑战度。

### 2. 提高实验互动性及自主性,尊重学生个性,激发学生学习兴趣

丰富交互操作内容激发学生学习兴趣,增加自学、拓展、研讨等学习板块,引导学生自主学习,养成终身学习的习惯,培养勇于讨论、分享的精神<sup>[12-13]</sup>。实验设置不同难易程度的板块,在兼顾知识、能力、素质多方面培养的同时满足不同层次的学生学习需求,使大多数学生均能在实验中得到锻炼。

### 3. 设置健全的教学管理监督功能,保证实验教学效率及质量

由于虚拟仿真实验注重学生自主性学习,实验过程具有一定的开放性和自由度,为确保实验教学质量,需要辅以一定的监督管理。除了实验操作功能外,应设置实验布置、学生管理、实验监督、实验批改等辅助功能,以保障实验教学有条不紊,学生考核公平公正。

## (三) 重视实验资源的示范性,持续改进,对外服务

### 1. 采用双向评价体系促进实验持续改进和优化

实验系统教师批阅功能应有权对实验操作、习题得分和实验成果等方面进行权重设置,并采用百分制进行评分,实现对学生学习的综合评价。此外,系统应有便捷的反馈功能,方便学生对实验内容、系统、教师教学质量等进行评价,以此促进实验系统优化和教学方法改进。

### 2. 优先采用Web端访问形式

为规避插件安装对电脑配置要求的限制,优先采用Web端访问形式,学生可随时随地访问系统进行实验学习。依托国家、学校共享平台,该实验系统向其他院校开放,实现资源共享。

## 二、建设及实践

### (一) 建设内容

#### 1. 实验功能及环节

虚拟仿真实验系统设置了系统探索、实景演示、虚拟实验、实验考核4个实验操作板块,课前自学、答疑室、意见反馈3个实验辅助板块,系统架构体系如图2所示。

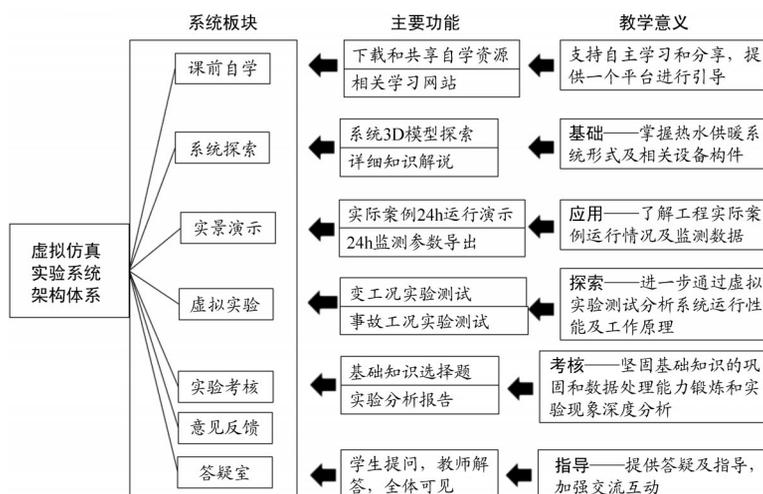


图2 虚拟仿真实验系统架构体系

## 2. 实验内容

2017年至今,建环专业设计了空调冷热源系统、空调系统、热水供暖系统3个综合虚拟仿真实验项目。以空调冷热源系统综合虚拟仿真实验为例,项目通过虚拟仿真技术,构建冷水机组、锅炉机组冷热源系统三维仿真模型,学生可直观全面地观看冷热源系统的组成、构造,对课本知识实体化,有效弥补了生产实习过程中学生难以接触设计科学、安装规范、系统完整的实体工程遗憾。在三维模型界面,学生可进行旋转、移动、缩放视角等操作,学生可点击任意设备、阀门等构件,查看其知识点介绍,对系统设置知其然且知其所以然,夯实基础,构建全局观。系统探索界面如图3所示。

以空调冷热源系统综合虚拟仿真实验为例,虚拟实验包括以下内容:(1)对冷水机组系统的冷冻水供水温度、冷冻水流量、冷却水进水温度、冷却水流量4个参数,以及蒸发器、冷凝器结垢状态进行设置,获得系统供冷量、负荷率、机组 COP 及冷站 EER 等系统性能测试数据;(2)对锅炉机组系统的供水温度、供水流量、锅炉结垢状态进行工况设置,获取系统供热量、负荷率、耗气量、锅炉效率等系统性能测试数据;(3)当设定工况异常,系统将显示故障实验出现的后果。虚拟实验测试界面如图4所示。

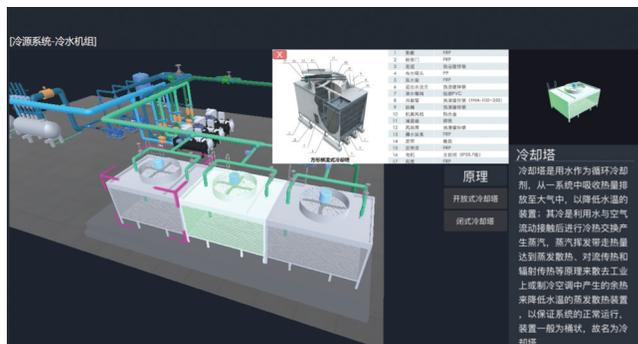


图3 冷水机组系统三维模型探索



图4 冷水机组不同工况虚拟实验

## 3. 实验管理

实验系统教师界面除具有学生界面的实验内容外,另设置教师管理系统。管理系统由多个板块组成,具有用户管理、实验管理、报告批阅、成绩统计、发布公告、更新学生调查问卷、查看问卷统计结果等功能,可实现对实验的高效管理和有力监督,从而确保实验教学效果。

### (二) 教学实践

#### 1. 教学模式及方式

虚拟仿真实验采用线上线下结合的教学方式。每个实验项目4个学时。其中,3个学时由学生独立完成,包括下载资料自学,自主进行实验探索,完成客观题考核,根据测试数据完成实验报告;1个学时为答疑和研讨,教师根据学生自主实验考核情况,对疑难问题进行答疑,并组织学生对实验涉及的科研成果和创新点进行讨论。

虚拟仿真实验与实体实验紧密结合进行实验教学,各虚拟仿真实验项目与实体实验项目的教学关联,见表1—表3。

#### 2. 实验考核方法

实验考核依据平时表现和实验成果,虚拟仿真实验项目平时表现(含操作、提问、研讨)考核权重占40%,实验成果(含客观习题及实验报告)考核权重占60%。

表1 虚实结合实验项目组合一

实验类型	实验项目	教学内容及能力培养	难度	互补联系
虚拟仿真实验	空调冷热源系统综合虚拟仿真实验	更全面的系统组成,多工况系统运行特性及事故工况影响,锻炼较强的自学和分析总结能力	★★★★	互补,并作为实体实验后的提升
实体实验	冷水机组性能综合实验	系统组成、调试,测试仪器、方法及少数工况实验,锻炼实践操作能力及较基础的分析总结	★★★	互补,作为虚拟实验前的基础

表2 虚实结合实验项目组合二

实验类型	实验项目	教学内容及能力培养	难度	互补联系
虚拟仿真实验	空调系统综合虚拟仿真实验	更全面的系统组成,多工况系统运行特性及事故工况影响,冷热源及末端耦合现象,锻炼较强的自学和分析总结能力	★★★★	互补,并作为实体实验后的提升
实体实验	风机盘管性能综合实验	系统组成、调试,测试仪器、方法及少数工况实验,锻炼实践操作能力及较基础的分析总结	★★★	互补,作为虚拟实验前的基础

表3 虚实结合实验项目组合三

实验类型	实验项目	教学内容及能力培养	难度	互补联系
虚拟仿真实验	热水供暖系统综合虚拟仿真实验	较全面的系统组成,多工况系统运行特性及事故工况影响,热源与末端的耦合,锻炼较强的自学和分析总结能力	★★★★	互补,并作为实体实验前的基础
实体实验	供暖系统设计性综合实验	对复杂研学实验系统自主进行实验方案设计、实验测试及分析,各课题小组分享研讨实验成果,培养科研、创新思维,锻炼分析、解决、总结复杂问题的能力及团队协作、交流共享的综合素质	★★★★★	互补,作为虚拟实验后的提升

### 3. 教学效果及评价

空调冷热源系统综合虚拟仿真实验的3个虚拟仿真实验项目作为专业综合实验课程的实验项目,自2018年投入建环专业本科实验教学,支撑一流专业建设及人才培养,至今,已有500名大四本科生参与实验,并获得学生较好的评价,如图5—图6所示。在建环一流专业评估中,虚拟仿真实验项目满足工程专业人才毕业指标点及所属课程目标情况见表4。



图5 学生“泛在化”学习及讨论

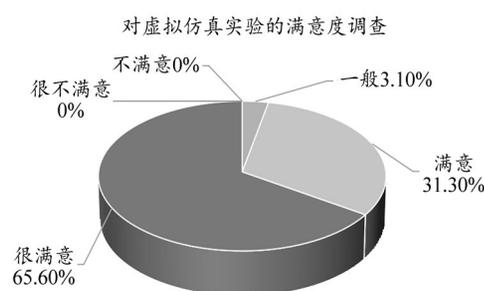


图6 学生意见调查统计

### (三) 推广及示范

#### 1. 校内外共享

建环专业虚拟仿真实验依托重庆大学虚拟仿真实验共享平台,具备对校内外师生共享服务的

能力。除建环专业学生可通过共享平台完成必修课实验项目外,校内其他学生可在共享实验中使用虚拟仿真实验资源进行学习。同时,其他高校可通过申请获得相应实验项目的教学使用权限,并通过平台进行实验项目布置、班级管理、成绩批阅等一系列教学管理工作。此外,空调冷热源系统综合虚拟仿真实验项目2019年被认定为重庆市示范性虚拟仿真实验教学项目,该实验项目同时在实验空间——国家虚拟仿真实验教学项目共享服务平台、重庆高校虚拟仿真实验(实训)教学项目共享平台上共享,对各高校及社会人员开放服务。

## 2. 社会服务、示范成效

2020年各高校线下实验教学无法正常进行,建环专业综合虚拟仿真实验通过线上为社会提供教学服务,获得较高评价,并逐渐对个别高校提供长期的实验教学共享。2020和2021两个学年已有4个高校,超过300名学生使用建环虚拟仿真实验完成实验学习。截至2021年9月,空调冷热源系统综合虚拟仿真实验项目在实验空间——国家虚拟仿真实验教学项目共享服务平台上实验浏览量超一万人次,完成实验人数超过500人。

表4 虚拟仿真实验项目满足的人才毕业指标点及课程目标情况

毕业要求	毕业要求指标点	课程目标
问题分析:能够应用数学、自然科学和工程科学的基本原理,识别、表达并通过文献研究分析建筑环境与能源应用领域的复杂工程问题,以获得有效结论	能够应用数学、自然科学和工程科学的基本理论,对建筑环境与能源应用工程及相关领域的复杂工程问题进行识别、表达 能够经过理论推导、实验验证、对比分析、总结归纳、综合判断等方法,获得有效结论	能够将理论知识与工程实际相结合,在实验测试中识别、表述相关工程问题,并能通过实验测试、数据分析对比,剖析复杂的工程问题,得到有效结论
环境与可持续发展:能够理解和评价针对建筑环境与能源应用工程专业的复杂工程问题的工程实践对环境、社会可持续发展的影响	了解建筑环境与能源应用工程中的工程问题及解决方案对环境、社会可持续发展的影响	通过实验实践发现、体会专业领域存在的工程问题、技术瓶颈,并通过创新性实验、自主性学习和研讨分享等了解相关解决方案及研究方向,并理解其带来的环境、社会可持续发展效益
终身学习:具有自主学习和终身学习的意识,具有提高自主学习和适应建筑环境与能源应用工程新发展的能力	对于自主学习和终身学习的必要性有正确的认识,具有自主学习和终身学习的意识	通过课前自学、线上自主实验等锻炼自主学习和探索的能力,体会理解自主学习和终身学习的重要意义

注:毕业要求为《全国高等学校建筑环境与能源应用工程专业评估(认证)文件》(2019)明确的1-12项毕业要求中的2、7、12项。重庆大学建环专业对每个毕业要求列出多个下属毕业指标点,表中毕业指标点为虚拟仿真实验项目毕业要求涉及到的毕业指标点。

## 三、结语

重庆大学建筑环境与能源应用工程专业遵循工程教育的CDIO模式,坚持“能实不虚,虚实互补”的原则,建设空调冷热源系统等多个虚拟仿真实验项目,在创新人才培养、一流专业评估中均起到较好的支撑作用,在社会服务、高校示范中也取得较理想的成效,获得校内外较高的评价,但仍有一些不足和待突破的地方。首先,实验项目还需持续改进优化,进一步丰富实验内容及交互环节,将科研成果更深入地融合到实验中,如增加不同建筑类型、气候条件的实验,除典型系统外还可增加一些新型系统。此外,在对外服务及示范中,需联合更多的高校共同建设和提升实验内容,形成互补之势,提高资源利用率,提升虚拟仿真实验系统教学质量及示范能力。

## 参考文献:

- [1] 教育部办公厅关于实施一流本科专业建设“双万计划”的通知[EB/OL]. (2019-04-02)[2023-03-06]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201904/t20190409\\_377216.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201904/t20190409_377216.html).
- [2] 教育部启动实施“六卓越一拔尖”计划2.0[J]. 国内高等教育教学研究动态,2019(9):F0001.
- [3] 张晨,李澈. 教育部印发“新时代高教40条”决定实施“六卓越拔尖”计划2.0[J]. 教书育人(高教论坛),2018(36):35.
- [4] 刘沈如,王伟,张其林,等. 基于全过程课程设计虚实结合教学模式探讨[J]. 高等建筑教育,2019,28(4):99-102.
- [5] 陈宝生. 坚持以本为本 推进四个回归 建设中国特色、世界水平的一流本科教育[J]. 时事报告(党委中心组学习),2018(5):18-30.
- [6] 李红阳,王立峰,高永丰,等. 高校实验教学示范中心建设与创新型人才培养[J]. 实验技术与管理,2010,27(9):111-114.
- [7] 李俊梅,孙育英,乔雅心. 建筑环境与能源应用工程专业虚拟仿真实验教学的实践探索[J]. 高等建筑教育,2021,30(3):165-170. 2909.2018.05.002.
- [8] 蔡磊,向艳蕾,管延文,等. 建筑环境与能源应用工程专业新工科人才培养体系探索[J]. 高等建筑教育,2018,27(5):9-13.
- [9] 肖世维,青思含,文锦琼. 从虚拟现实到增强现实探索基础医学实验教学“金课”建设[J]. 高校医学教学研究(电子版),2019,9(3):7-12.
- [10] 王淑婧,贺行洋,邹贻权,等. 土建类虚拟仿真实验教学资源持续建设与实践[J]. 高等建筑教育,2018,27(5):159-165.
- [11] 徐伟杰,徐明,郭彤,等. “金课”背景下土木类虚拟仿真实验教学发展趋势——基于2018年国家虚拟仿真实验教学项目共享平台公示数据[J]. 高等建筑教育,2020,29(1):74-85.
- [12] 康利. 关于研究型大学高素质创造性人才培养的思考[J]. 中国校外教育(理论),2011,(z1):851.
- [13] 徐凯. 积极探索新形势下培养综合性人才的新途径[J]. 辽宁工学院学报(社会科学版),2005,7(2):86-87.

## Construction and demonstration of virtual simulation experiment system of Building Environment and Energy Application Engineering

CHEN Jinhua, SHEN Xuelian, TAN Li, QIN Zixiong

(School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing, 404100, P. R. China)

**Abstract:** Depending on the National demonstration Center of experimental Teaching, School of Civil Engineering of Chongqing University constructed virtual simulation experiment system for experimental contents with high cost, high risk and long cycle, such as air conditioning cold and heat source system and ventilation and air conditioning system of building environment and energy application engineering. Three comprehensive virtual simulation experiment systems were constructed: air conditioning cold and heat source system, air conditioning system and hot water heating system. Under the aim of training creative engineering talents with ability to solve complex engineering problems, experimental construction was concentrated on the practice teaching system and maintained the principle of “virtual reality complementation”. The contents provide mutual evaluation system and complete experiment course including virtual simulation experiment system under multiple working conditions and accident condition. In the form of online experiment, it's more convenient and shared. From 2020 to 2021, the virtual simulation experiment system has got high evaluation from our undergraduates and more than 300 students in 4 universities.

**Key words:** undergraduate teaching; building environment and energy application engineering; virtual simulation; experimental system construction

(责任编辑 邓云)