

以培养工程实践能力为目标的 建筑自动化教学

清华大学 江 亿[☆] 姜子炎

摘要 从教学思路、教学内容、教学方法三方面介绍了清华大学建筑环境与设备专业建筑自动化课程的教学探索。课程以一系列实际工程问题为线索,通过 4 个由浅入深、环环相扣的教学循环,引导学生学习相关领域的知识,培养学生解决实际工程问题的能力。

关键词 建筑自动化 教学 课程建设

Building automation teaching aiming at engineering practice ability

By Jiang Yi[★] and Jiang Ziyang

Abstract Presents the teaching exploration of building automation course of the building environment and equipment speciality in Tsinghua University from teaching ways, contents, and methodologies. The course takes a series of real projects as a master thread and consists of four teaching cycles which are organized from easier one to more difficult one and interlocked, aiming at arousing students' interest and training them in developing the ability to cope with practical projects.

Keywords building automation, teaching, curriculum construction

★ Tsinghua University, Beijing, China

①

1 背景

近 20 年来,建筑自动化系统已逐渐成为新建建筑,特别是大型公共建筑必不可少的组成部分。然而,建筑自动化系统的实际运行效果却并不令人满意。相关的大学专业教育是提高我国建筑自动化系统设计、运行水平的重要基础。在这种背景下,1999 年,建筑环境专业(以下简称建环专业)教学指导委员会根据专业发展的要求,在指导性教学计划框架下把“建筑自动化”确定为主干专业必修课,计划为 48 学时。

建筑自动化涉及建筑机电设备系统、电工电子技术、热工参数测量、自动控制理论、计算机硬件与软件、数字通信网络、工程管理等许多学科的内容,其中只有“空气调节”和“建筑环境测量技术”是建环专业学生的必修课。有限的学时不能全面介绍所有相关领域的基础知识。如何将控制原理、通信和硬件技术以及建筑设备这三个领域的知识有机地结合在一起,在有限的课时内全面介绍建筑自动化系统,并突出实际工程中面临的关键问题,是建筑自动化教学的难点。

清华大学建环专业 1991 年开设了建筑控制课程。经过多年的实践和尝试,我们找到一套以实际工程问题为主线、以培养学生工程实践能力为目标的教学方法,并在此基础上于 2007 年撰写了《建筑设备自动化》一书作为建筑自动化课程的教材。本文将从教学思路、教学内容、教学方法三个方面介绍在教学实践中的经验和教训,希望引起关于建筑自动化教学的讨论,共同做好这门课程的教学。

2 教学思路

传授与建筑自动化相关的知识是本课程教学的目的之一。由于建筑自动化涉及多个学科,如果按照基础知识→应用知识→工程实践的传统教学思路,先从抽象理论入手,依次介绍各个相关领域的知识,在短短 48 学时中,往往如蜻蜓点水般,各个相关领域都难以深入,也容易脱离实际问题;或者采用另一种思路,直接介绍各个相关领域的应用知识和专

①☆ 江亿,男,1952 年 4 月生,博士,教授,中国工程院院士
100084 清华大学建筑技术科学系
(010) 62781339
E-mail:jiangyi@tsinghua.edu.cn
收稿日期:2010-06-03

项技术。但这样只是知识和专项技术的简单罗列,更类似专科的技能培训,没有突出解决问题的共性思路,学生难以融会贯通。在面对实际工程问题时,学生依然不知道应该采用哪项技术。另一方面,近年来电子、计算机与通信、热工测量、空调设备等相关领域技术日新月异,建筑设备控制特别是暖通空调系统的优化控制算法也不断推陈出新。在这样的背景下,当学生走上工作岗位真正面对实际工程问题时,当初所学的“相关领域知识”有可能已经过时。因此,相对于传授知识,培养学生解决实际工程问题的能力应该是建筑自动化课程更重要的任务。

那么如何安排教学内容才能实现在传授知识的过程中培养学生能力的目标?

考察建筑自动化系统的发展过程可以发现,建筑自动化从早期的简单通断控制,到各种单回路闭环控制算法,到空调系统群控,再到基于通信网络的多系统的集成控制,这一过程是人们不断认识建筑控制问题,并将各种相关专业技术应用在建筑领域的过程。

循着人们认识事物的规律以及建筑自动化系统的发展轨迹,建筑自动化的教学可以以一系列具体的实际工程案例为线索组织教学内容。工程案例选取建筑自动化发展过程中的经典工程问题以及目前常见的实际问题,按照从简单局部控制问题到系统集成管理的顺序,由浅入深排列。本课程的学习过程就是解决一系列实际工程问题的探索过程:为了解决工程问题,学生需要了解实际工程中的难点和限制,从而避免纸上谈兵;为了解决工程问题,学生需要学习相关领域的知识,从而有的放矢地掌握电子、测量、自动化、通信等相关领域的知识。由于解决的是实际工程问题,学生会接触到常用的传感器、执行器、控制器等硬件设备并进行仿真或实物实验,从而了解了相关产品行情,锻炼了动手能力。更重要的是,课程的学习过程是对学生解决实际工程问题方法的一种训练,让学生亲身体验了解决实际工程问题所面临的各个环节及各类难点问题,锻炼了学生解决实际问题的能力。

3 教学内容

从上述思路出发,图1给出了以真实工程案例为主线的4个教学循环:

第1个循环通过对恒温水箱控制和对整体式恒温恒湿机组的控制这两个简单的工程问题,使学生



图1 由浅入深的4个教学环节

了解自动控制系统的的基本结构和基本问题,同时接触相关的硬件,掌握控制器、传感器和执行器的基本原理,消除对自动控制的神秘感。这个环节从简单通断控制问题入手,学生将接触到数学推导、实验和模拟仿真三种研究控制系统的方法,并且将三种方法对同一问题的分析结果进行对比,从而了解三种方法的各自特点,认识到应用模拟仿真工具分析问题时的基本原则和方法。这一循环通过简单的控制问题,使学生对建筑系统控制有了初步的认识;同时使学生通过对恒温恒湿机组控制电路的设计,初步了解控制器原理,掌握从计算机到接口电路再到动力电路间的关系以及一些安全保护过程的原理。

第2个循环结合散热器实验台的恒温控制这个实际工程问题,介绍调节原理的初步知识,使学生根据解析与分析的结果认识闭环控制的各个主要调节特征和基本原理,掌握一些主要的调节控制算法。学生在仿真实验中尝试应用各种控制算法来实现控制目标,体会调节过程中各种影响因素的作用,掌握控制参数的整定方法。这一循环通过较复杂的控制系统介绍简单的控制原理的基本知识,使学生掌握一到两种单一参数闭环控制的控制算法(如PID或模糊控制)。

第3个循环深入讨论具体的空调系统的控制问题,在用上一循环介绍的控制算法完成底层局部闭环控制的基础上,解决如何结合空调专业知识确定上层控制策略问题。这一循环较全面地讨论室内温湿度控制调节、空气处理室的调节、空调水系统的调节以及制冷站的控制调节,并引导学生就空气处理室控制调节、VAV变风量末端控制调节、风机盘管末端的控制调节等几个典型的空调控制问题进行研究和讨论。学生可体会到空调系统控制工程中的实际问题和难点,并学会通过仿真手段解决工程问题的方法,提高解决实际问题的能力。

这一循环中学生在已掌握单一参数闭环控制算法的基础上,解决了 HVAC 系统的控制策略问题。

第 4 个循环对建筑自动化系统作全面介绍。这一循环中涉及空调、照明、电梯、给水排水、消防、保安监控等建筑自动化所包含的其他子系统。通过对建筑自动化系统整体架构的介绍和讨论,使学生全面了解建筑自动化的功能、要求、设计方法,以及常见的系统形式和通信网络结构与协议,从而初步了解建筑自动化的全貌。此循环中又安排了对某个实际控制系统的设计、安装和调试任务,由学生完成。通过对实际工程的设计和现场调试,学生就可以胜任基本的工程任务了。

上述每个循环中都涉及传感器和执行器选型、电子电路或控制硬件系统设计、控制策略设计、算法调试等多方面问题,但 4 个循环并不是这些问题的简单重复。

各个循环所涉及工程问题由简单到复杂:前 2 个循环介绍简单通断控制和恒温恒湿控制问题,是早期工业空调环境控制的常见问题;后 2 个循环介绍空调子系统控制和整体系统设计,是目前民用建筑控制中的典型问题。各个循环视角逐步拓展:前 2 个循环关注局部控制环节,第 3 个循环关注空调子系统控制问题,最后 1 个循环关注建筑自动化系统的整体架构和设计方法。各个循环的知识重点不同:第 2 个循环以介绍自动化控制原理为主,第 3 个循环结合控制问题讨论空调控制中如何利用空调专业知识,第 4 个循环介绍网络技术和控制系统架构,前面循环是后面循环的基础。

上述 4 个循环环环相扣,内容由浅入深。这种螺旋式上升的方式有助于引导学生在实际工程问题中“摸爬滚打”,逐步加深对建筑控制问题的理解,掌握建筑自动化的关键问题和相关知识。

4 教学方法

实践出真知。既然教学内容以实际工程案例为线索,对教学中涉及的每个实际工程问题,都设计有相应的实物或仿真实验平台。学生可以在实物或仿真平台上试验控制算法,考察控制策略在各种可能工况下的运行效果,观察传感器误差及执行器调节精度对控制结果的影响,进而改进控制策略,获得真正适用于实际工程的解决方案。

在实验平台的基础上,采用课堂讲授与实践并重的教学方法。对各个工程问题,按照“课堂讲

授→工程问题实验→讨论课”的步骤开展教学。

1) 课堂上,教师结合实际工程案例说明同类典型工程问题的共性,在实际工程中有哪些难点,并简要介绍解决此类工程问题所需的基础知识。教师可以不深入讲解此类工程问题的各项相关知识和各种解决方案,而只需要在介绍某种常用方案的基础上指出其他相关研究方向,并鼓励引导学生对其感兴趣的方向深入研究。兴趣是最好的老师。课堂讲授的任务之一是提出问题,引起学生对工程问题的兴趣,为后面的教学环节打下基础。

2) 课后,学生要完成相关的大作业,即解决某个与课堂内容相对应的工程问题,设计出控制系统硬件及控制策略。为了减小工作量,学生组成小组共同完成作业。通过小组讨论、组间交流、查阅文献自学相关领域知识、请教助教和指导老师等方式,八仙过海,各显其能,各个小组会在有限的时间内形成一套较完整的解决方案。在此过程中,助教或指导老师扮演重要角色,如果能及时和学生沟通,了解其作业进展并指出其中误区和问题,可以提高学生的工作效率,减少弯路,并可以鼓励学生对相关领域进行探索。

3) 讨论课是学生和教师共同对控制方案进行交流的平台。课堂讨论以学生为主角,各小组依次介绍自己的方案、经验和心得;作为听众,其他小组与自己的方案进行对比,相互印证,并提出质疑,引起讨论。学生的方案汇报是教师授课内容的补充,其中会涉及到教师课堂上提出问题的答案,以及指出方向却没有深入讲解的相关领域的知识和方法。对教师来说,讨论课是检查课堂授课效果、查漏补缺、再次强调授课重点的好机会。在倾听学生汇报的过程中,教师可以及时纠正学生对原则性问题的错误理解,可以补充修正学生们提到的相关领域研究成果,可以补充回答学生们的普遍问题,并在学生对工程问题有深刻的感性认识的基础上总结出同类工程问题的共性。

以第 1 循环中的“恒温恒湿空调机组的控制”为例。这个教学环节的内容之一是使学生掌握传感器、执行器、控制器等用来实现控制的电子电路硬件设备。在学习本课程之前,建环专业的学生通常只学习过较少的电子电路基础知识,因此,授课老师在课堂上主要结合案例介绍建环专业常用传感器、执行器设备。在此过程中,介绍相关的测量

原理、单片机知识、信号变送技术及各类技术在实际工程中的使用范围和优缺点。由于以案例为线索,学生较容易了解相关电子技术如何应用于建环专业,并容易产生兴趣。完成恒温恒湿机组的控制硬件系统设计是这个教学环节相应大作业的内容之一,学生可以在完成大作业的过程中对感兴趣的内容深入研究。指导老师和助教可以对感兴趣的学生进行课外指导,并引导他们动手制作电子电路。本校建环专业 2002 级学生在课堂上学习了单片机基本知识后,部分有兴趣的学生课后进一步学习单片机知识,并制作出了硬件恒温控制器;2006 级学生在课上学习了占空比信号测温电路后,自己研究并动手制作了以 555 定时器为基础的、产生占空比信号的湿度测量电路(见图 2)。有过动手实践的学生将这些动手实践的内容在讨论课上与全班同学交流,教师在讨论课上加以评点和补充,从而使没有动手实践的学生也有机会了解制作电子电路的全过程,进一步补充、拓展了课堂讲授的内容。鼓励建环专业学生学习单片机等电子知识不仅丰富了他们的知识结构,也有助于同学们理解第

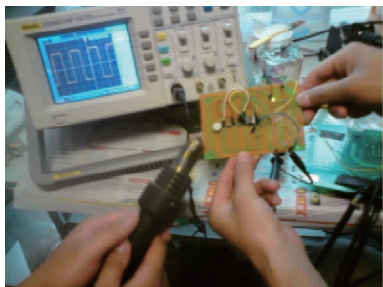


图2 由学生制作的产生占空比信号的湿度传感器

(上接第 60 页)

$\text{kJ/kg} - (81.78 \text{ kJ/kg} - 58.10 \text{ kJ/kg}) \times 70\% = 65.20 \text{ kJ/kg}$ 。转轮式热回收装置回收的能量为 99.48 kW 。采用转轮式热回收装置所增加阻力消耗的功率为 1.69 kW 。转轮式热回收装置的净节能功率为 $39.79 \text{ kW} - 1.69 \text{ kW} = 38.10 \text{ kW}$ 。系统一个夏季所节省的电能为: $38.10 \text{ kW} \times 8 \text{ h/d} \times 30 \text{ d/月} \times 3 \text{ 月} = 27\,432 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

4 经济性分析

通过上述计算可以看到,对于总新风量为 $18\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 的新风系统,采用转轮式热回收装置系统与不采用相比,每年可减少运行电耗: $55\,893.60 \text{ kW} \cdot \text{h} + 27\,432.00 \text{ kW} \cdot \text{h} =$

4 教学循环中的网络通信技术,更能加深同学们对实际工程中测量、调节等环节可行性和限制条件的理解,从而设计出切实可行的控制方案。

在上述模式中,课堂讲授完成了教学工作的一半,“实验→讨论”是教学中非常重要的组成部分,不仅是对课堂传授知识的拓展,更是对学生能力的锻炼:分组完成作业锻炼了学生的团队合作能力;课堂讨论锻炼学生表达和与人沟通的能力。更重要的是这一过程模拟了面对实际工程时,从分析问题到提出解决方案,再到向甲方汇报获取认可的各个环节。通过几次工程实验的锻炼,学生就可以熟悉这一过程,归纳并掌握建筑控制系统的设计方法,为未来解决实际工程问题打下基础。

5 结语

本文介绍了清华大学暖通专业在建筑自动化课程教学方面的探索,笔者认为针对暖通专业的建筑自动化课程教学,应以工程案例为线索,以培养学生解决工程问题的能力为首要目标。在过去近 10 年的时间内,这套教学思路和方法历经清华大学建环专业历届学生们的批评帮助,在摸索中不断改善。

提高教学质量是提高我国建筑自动化系统设计、运行水平的重要途径。随着建筑自动化领域的发展,建筑自动化课程的教学方法也不断推陈出新。希望本文能起到抛砖引玉的作用,推动关于建筑自动化教学的研究。

参考文献:

- [1] 江亿,姜子炎. 建筑设备自动化[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007

83 325.60 $\text{kW} \cdot \text{h}$,电价按 $1.0 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计算,则每年可节省运行费用 8.33 万元。

5 结语

采用热回收装置的空调系统与普通空调系统相比,可以有效利用空调系统排风中的低位能量,具有高效、节能和减少环境污染等优点,适合在大型公共建筑的空调系统中使用。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院,中国建筑业协会建筑节能专业委员会. GB 50189—2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005
- [2] 北京市建筑设计研究院. DBJ 01—621—2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:北京市建筑设计标准化办公室,2005