

产教融合下建筑能源物联网课程实践教学的改革与实践

李慧, 王桂荣, 魏建平

山东建筑大学热能工程学院, 山东 济南

收稿日期: 2023年12月13日; 录用日期: 2024年1月10日; 发布日期: 2024年1月17日

摘要

建筑能源物联网课程是我校建筑环境与能源应用工程专业和新能源科学与工程专业新工科建设开设的一门新课, 深化课程产教融合, 强化实践教学, 是建筑能源物联网复合型、创新型、应用型人才培养的关键。本课程建立了两级实验平台, 包括物联网实训室和能源物联网综合实验平台, 为课程的实践环节提供了硬件保障; 提出了5级4层实践模式, 前两级PC机实操和实训教具实操为基础实践层, 第3级能源物联网设计为综合实践层, 第4级大学计划认证为高阶实践层, 第5级物联网竞赛为创新实践层。课程运行结果表明, 5级4层实践模式强化了实践环节, 满足了不同层次学生个性化需求, 培养了学生实践能力和创新能力。

关键词

实践教学, 产教融合, 教学改革

Reform and Practice of Practical Teaching for Building Energy Internet of Things Course under Integration of Production and Education

Hui Li, Guirong Wang, Jianping Wei

School of Thermal Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: Dec. 13th, 2023; accepted: Jan. 10th, 2024; published: Jan. 17th, 2024

Abstract

The building energy Internet of Things (IoT) course is a new course for the construction of new engineering courses of the building environment and energy application engineering specialty and new energy science and engineering specialty. Deepening the integration of production and teaching and strengthening practical teaching are the key to the cultivation of compound, innovative and application-oriented talents of building energy IoT. A two-level experimental platform has been established, including the IoT training room and the energy IoT comprehensive experimental platform, providing hardware support for the practice of the course. A 5-degree 4-level practice mode is proposed, with the first two degrees of PC practice and training aids practice as the basic practice level, the third degree of energy IoT design as the comprehensive practice level, the fourth degree of university plan certification as the high-level practice level, and the fifth degree of IoT competition as the innovative practice level. The course operation results show that the 5-degree 4-level practice mode strengthens the practice teaching, meets the individual needs of students at different levels, and cultivates students' practical ability and innovation ability.

Keywords

Practical Teaching, Integration of Production and Education, Teaching Reform

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2017年，国务院办公厅发布的《关于深化产教融合的若干意见》提出：“大力支持应用型本科和行业特色类高校建设，紧密围绕产业需求，强化实践教学，完善以应用型人才为主的培养体系[1]”。产教融合是促进校企协同发展，提高学生实践能力和创新能力，培养高水平应用型人才的重要举措[2] [3]。目前，应用型本科院校与国家倡导的产教融合要求还存在不小差距，课程建设还处于起步阶段，需要加大力度促进其改革与发展[4]。加强课程校企合作，深化产教融合，是实现应用型本科院校应用型人才培养的重要环节。当前，物联网技术正促使能源网络迈向万物智联的新阶段[5]，能源物联网的快速发展对建筑能源类专业新工科建设提出了新的要求，迫切需要将信息技术、物联网技术、传感控制技术等与建筑能源系统紧密结合，培养建筑能源物联网复合型、创新型、应用型人才[6]。在此背景下，2017年，山东建筑大学在建筑环境与能源应用工程专业和新能源科学与工程专业新开了建筑能源物联网课程。

建筑能源物联网课程是实践性非常强的一门课，如何让能源物联网技术落地，组织好实践教学环节，将理论与实践深度融合，提高学生的创新能力和实践能力，是应用型人才培养面临的难题。基于我校培养高素质应用型人才定位，以行业需求为导向，以培养德才兼备的高素质应用型、复合型、创新型能源物联网人才为己任，教学团队建立了两级实验平台，提出了5级4层实践模式。实践环节包括PC机实操、实训教具实操、能源物联网设计、大学计划认证、物联网竞赛5级。前2级为基础实践层，第3级为综合实践层，第4级为高阶实践层，第5级为创新实践层。5级4层实践模式，强化了实践环节，满足了不同层次学生的个性化需求，培养了学生的实践能力和科创精神。

2. 课程简介

建筑能源类专业与物联网技术的融合不是简单的“ $1 + 1 = 2$ ”，而是两个学科有机的融为一体。目前，物联网软件平台很多，选取一款适用于建筑能源领域的物联网软件平台至关重要。霍尼韦尔 Tridium 公司的核心技术 Niagara 物联网软件平台领跑全球物联网 20 多年，已在智慧能源、智慧城市、智慧建筑、智慧电网、数据中心等很多领域广泛应用[7]-[12]。由于霍尼韦尔涉及的主要业务之一为楼宇和空调自控领域，因此其开发的 Niagara 物联网软件包含大量的暖通空调和楼宇组件，方便学生学习和项目部署。为此，该课程选取了 Niagara 物联网软件平台。

教学团队从 2017 年开始与霍尼韦尔 Tridium 公司开展产学研合作，将产业技术与学科理论有机融合，主要体现在以下几个方面：① 组织教学团队成员参加 Tridium 开设的全球 Niagara 物联网培训课程；② 与 Tridium 共建能源物联网实训室；③ 联合 Tridium 正式出版了产教融合住建部十四五规划教材《建筑能源物联网技术》[13]；④ 组织学生参加 Tridium 大学计划认证考试。

建筑能源物联网课程以 Niagara 物联网技术为抓手，课程体系包括建筑能源物联网基础知识、建筑能源物联网软件编程和建筑能源物联网典型应用案例 3 个模块。建筑能源物联网基础知识模块包括建筑能源物联网感知层知识和 Niagara 网络层知识，为后面两个模块奠定基础。建筑能源物联网软件编程模块包括 Niagara 基本介绍、WireSheet 控制编程、History 历史数据编程、Alarm 报警编程、Px 视图编程、Niagara 网络通信编程和 Niagara 网络系统集成等。建筑能源物联网典型应用案例模块包括太阳能辅助空气源热泵物联网实验平台和天然气分布式能源物联网实验平台，通过建筑能源物联网的全流程设计讲解，提高学生解决复杂工程问题的能力和创新思维。

3. 实验平台建设

实验教学是人才培养的重要环节之一[14]，以学生学为中心，该课程的实验平台建设包括 Niagara 物联网实训室建设和建筑能源物联网综合实验平台建设。

3.1. Niagara 物联网实训室建设

2019 年，教学团队联合 Tridium 公司共建了 Niagara 物联网实训室，搭建了实训网络平台，设计了实训教学案例。图 1(a)为实训教具实物图，图 1(b)为实训教具网络结构图。

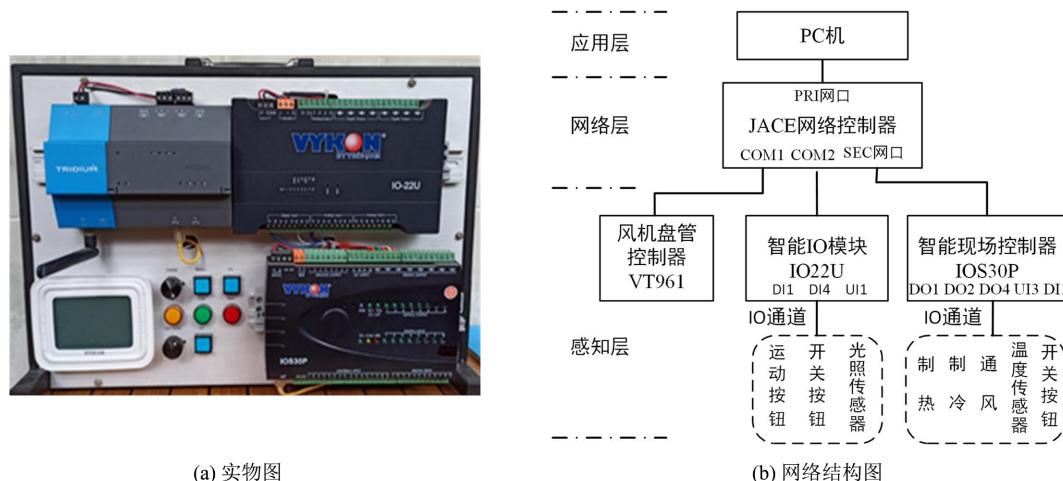


Figure 1. Practical training aids

图 1. 实训教具

JACE 网络控制器的 COM1 口连接 VT961 风机盘管控制器，采用 Bacnet MSTP 通信协议。JACE 网络控制器的 COM2 口连接 IO-22U 智能 IO 模块，支持 BACnet MSTP 协议和 Modbus RTU 两种通信协议，通过拨码开关 DIP1 设置通信模式。JACE 网络控制器的 SEC 网口连接 IOS30P 智能现场控制器，IOS30P 有 5 种工作模式：Modbus RTU/TCP、BACnet MSTP/IP 和 Sedona，内部 DIP1 开关用于协议切换。JACE 的 PRI 网口连接 PC 机，实现 JACE 编程，或作为 supervisor 站点监控站点设备。IO22U 的 DI1 连接“运动按键”，DI4 连接“开关按键”，UI1 连接“光照传感器”。IOS30P 的 DO1 连接“制热”，DO2 连接“制冷”，DO3 连接“通风”，可分别表征空调的制热、制冷和通风控制；UI3 连接“温度传感器”；DI1 连接“开关按键”，表征设备的启停状态。

目前，在实训平台开展的实训项目主要包括：① JACE 网络控制器初始化；② JACE 网络控制器 Station 建立；③ 风机盘管控制器 Bacnet MSTP 网络通信；④ IOS30P BACnet IP 网络通信；⑤ IO-22U Modbus RTU 网络通信；⑥ IOS30P Modbus TCP 网络通信；⑦ Niagara Network 网络集成；⑧ 感知层硬件设计、接线与系统调试。实训室的建设为学生的实践环节提供了坚实的硬件基础。

3.2. 建筑能源物联网综合实验平台建设

2017 年，建立了太阳能辅助空气源热泵物联网实验平台；2018 年，建立了天然气分布式能源物联网实验平台；2021 年，将前期建成的多联机地源热泵系统和体育馆大空间全空气空调系统通过物联网技术深度集成；2022 年，建立了太阳能充电桩物联网实验平台。最终，基于 Niagara 物联网技术将这 5 个能源系统集成到一起，建立了建筑能源物联网综合实验平台，系统结构如图 2 所示。

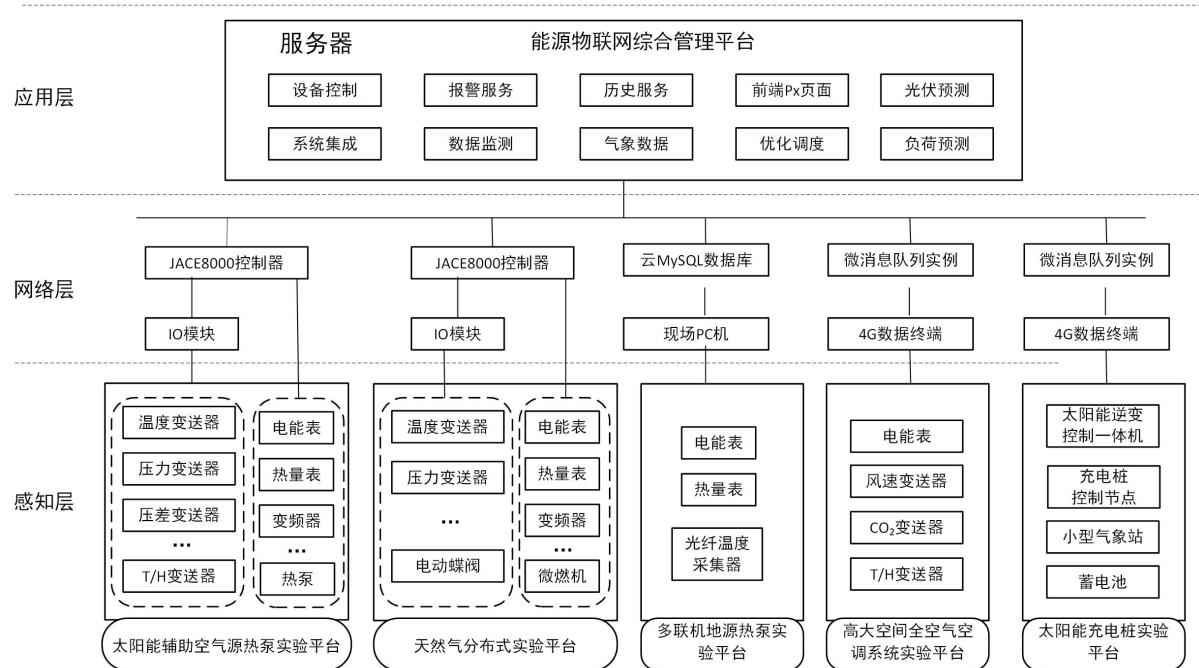


Figure 2. Comprehensive experimental platform of energy IoT
图 2. 能源物联网综合实验平台

其中，太阳能辅助空气源热泵空调系统物联网实验平台和天然气分布式能源物联网实验平台由 JACE8000 网络控制器通过以太网口与能源物联网综合管理平台连接，其相应的感知层模拟量输入输出信号设备和数字量输入输出信号设备通过智能 IO 模块与 JACE 网络控制器连接，感知层通信信号设备通过

串口或网口与 JACE 网络控制器直接连接。由于多联机地源热泵实验平台前期已经建立了云数据库, 因此, 采取通过 Niagara 软件读云数据库的形式与管理平台连接。高大空间全空气空调系统位于学校体育馆, 光伏充电桩位于学生宿舍区, 均距离能源物联网综合管理平台服务器较远, 因此这两个实验平台采取 4G 无线通信技术, 通过 MQTT 协议与管理平台连接。

这 5 个实验平台同时也作为该课程的工程案例, 以实际工程案例开发流程组织教学内容, 提高了学生的实践能力、创新能力和解决复杂工程问题的能力。表 1 给出了建筑能源物联网综合实验平台部分实验项目。

Table 1. Partial experimental projects of the comprehensive experimental platform for building energy IoT
表 1. 建筑能源物联网综合实验平台部分实验项目

| 序号 | 实验平台 | 实验项目 |
|----|--------------|----------------------|
| 1 | 太阳能辅助空气源热泵系统 | 智能 IO 模块数据通信与信号调理 |
| | | 智能热表 + 智能电表数据通信与能耗分析 |
| | | 循环泵压差变频控制编程与控制性能测试 |
| | | 太阳能辅助空气源热泵空调系统可视化展示 |
| 2 | 天然气分布式能源系统 | 智能 IO 模块数据通信与信号调理 |
| | | 分布式能源梯级利用测试与分析 |
| | | 微燃机负荷控制编程与控制性能测试 |
| | | 天然气分布式能源系统可视化展示 |
| 3 | 多联机地源热泵系统 | MySQL 云数据库通信编程与调试 |
| | | 地埋管地下温度场测试与分析 |
| | | 智能热表 + 智能电表数据通信与能耗分析 |
| | | 多联机地源热泵系统可视化展示 |
| 4 | 高大空间全空气空调系统 | 基于阿里云的 4G 网络通信编程与调试 |
| | | 高大空间温湿度场测试分析 |
| | | 高大空间全空气空调系统可视化展示 |
| 5 | 光伏充电桩 | 基于阿里云的 4G 网络通信编程与调试 |
| | | 气象预报平台数据通信与调试 |
| | | 光伏逆变一体机数据通信与性能测试 |
| | | 光伏充电桩可视化展示 |

4.5 级 4 层实践教学模式

根据美国学者埃德加·戴尔的“学习金字塔”理论[15][16]可知, 学习者在 2 周以后, 不同学习方式学习内容留下的比例分别为: “听讲” 5%, “阅读” 10%, “视听” 20%。“演示” 30%, “小组讨论” 50%, “操作实践” 75%, “教给别人” 90%。从上述比例可以看出操作实践对学习的重要性。在实践教学环节设计上, 深化产教融合, 以培养高素质应用型、复合型、创新型建筑能源物联网人才为目标, 根据建筑能源物联网的授课内容和教学过程提出了 5 级 4 层实践教学模式, 如图 3 所示, 实践环节包括 PC 机实操、实训教具实操、建筑能源物联网设计、大学计划认证、物联网竞赛 5 级。PC 机实操和实训教具实操为基础实践层, 建筑能源物联网设计为综合实践层, 大学计划认证为高阶实践层, 物联网竞赛为创新实践层。基础实践层和综合实践层所有学生参加, 高阶实践层和创新实践层挑选优秀学生参加。

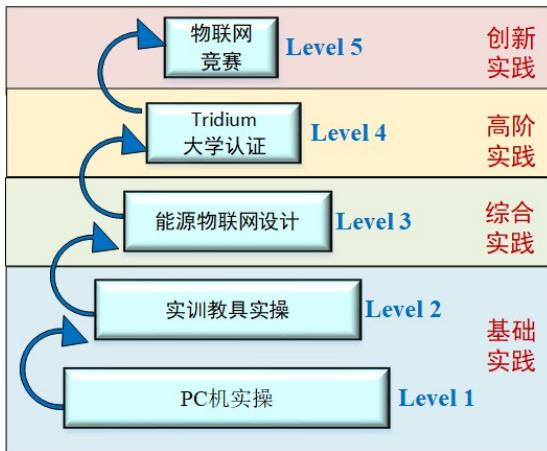


Figure 3. 5-level and 4-layer practical mode
图 3. 5 级 4 层实践模式

4.1. 基础实践层

课程伊始, 要求每位同学安装 Niagara 物联网软件, 由 Tridium 公司大学计划负责人提供软件授权。课程教学中, 编程实操对应的章节如表 2 所示。软件实操包括两个环节, 第一个环节不需要硬件连接, 学生可在个人 PC 机上完成。第二个环节需要硬件连接, 学生需要在实训教具上完成。针对 Niagara 软件编程, 教学团队配套录制了丰富的以任务驱动的软件实操视频, 为学生的自主编程学习提供了很好的保障。

Table 2. Corresponding chapters for programming practical operations
表 2. 编程实操对应章节

| 章序号 | 章名称 | 实操设备 |
|-----|------------|---------|
| 第五章 | 物联网软件平台 | |
| 第六章 | 建筑能源自动控制编程 | |
| 第七章 | 历史数据与报警编程 | 个人 PC 机 |
| 第八章 | 图形用户界面编程 | |
| 第九章 | 物联网网络集成 | 实训教具 |

4.1.1. PC 机编程实操

第五章至第八章的软件编程实操, 学生完全可以在自己电脑上完成, 包括 WireSheet 控制编程、History 历史数据编程、Alarm 报警编程、Px 视图编程等。教学团队开发的实操训练库中的所有软件实操题目均与工程实践紧密结合, 下面以 WireSheet 控制编程实操举其中一例。

实操案例:

在 Station 内, Config 文件夹下建立 ChillerWaterSystemControl 文件夹, 实现制冷机房水系统 WireSheet 控制编程, 要求如下:

- (1) 机房内有 3 台制冷机组, 制冷机组和循环泵串联后再并联, 给空调末端供水。供水温度 7℃, 回水温度 12℃。
- (2) 系统开机关机由时间表控制, 每天上午 8:00 开机, 下午 6 点关机。
- (3) 制冷机组供水温度采取双位控制, 设定值为 7℃, 回差为 2℃。

(4) 循环泵由时间表控制，在开机时间段内，循环泵一直运行。

(5) 供水温度仿真模块模拟水温从3℃到11℃变化。

该实操题目来源于实际制冷机房的控制策略，和工程紧密连接。该环节，提高了学生的编程实践能力。

4.1.2. 实训教具编程实操

第九章为物联网网络集成，该章的编程实操涉及到物联网硬件，需要用到实训教具，必须在实训室完成。实操训练主要包括：物联网硬件连接、通信编程和网络集成等。

(1) 硬件连接：① 传感器、执行器与 IO22U 和 IOS30P 模块连接；② 开关、指示灯、蜂鸣器、继电器等电器元件与 IO22U 和 IOS30P 模块连接；③ JACE 网络控制器与 IO22U 和 IOS30P 模块连接。

(2) 通信编程：① Bacnet MSTP 通信编程，JACE 网络控制器与风机盘管温控器通信；② Modbus RTU 通信编程，JACE 网络控制器与 IO22U 智能模块通信；③ Modbus TCP 和 Bacnet IP 通信编程，JACE 网络控制器与 IOS30P 控制器通信。

(3) 网络集成：是指个人电脑 Supervisor 站点与 JACE 网络控制器站点网络集成，包括 JACE 网络控制器站点历史数据和报警信息的推送等。

通过实训教具实操，使学生的动手能力得到充分锻炼，也提高了学生解决实际问题的能力。

4.2. 综合实践层

综合实践层对应建筑能源物联网设计。教学团队搜集典型建筑能源物联网应用案例，结合课程目标设计工程项目。学生成立项目小组，建筑能源物联网设计包括3个环节：

第一环节为硬件设计，在讲完物联网硬件知识和通信知识后发布，每个项目给出不同的传感器和执行器配置表，根据设计要求选择合适的硬件设备，设置 IO 模块正确的拨码开关位置，绘制 IO 模块接线图及模拟量输入输出通道选择图，在此基础上绘制整个硬件连接网络图；编写设计说明书，制作汇报 PPT。

第二个环节为建筑能源物联网综合设计与开发，在建筑能源物联网典型工程应用案例讲解后发布，此时，学生已经熟悉建筑能源物联网的开发流程，每组一个建筑能源物联网项目，由项目小组成员经过小组讨论确定项目方案，分配成员任务。项目内容包括项目监控方案设计、系统硬件设计、系统软件开发、编写设计说明书及制作汇报 PPT。

第三环节为建筑能源物联网实验验证，结合建筑能源物联网综合实验平台和教具开展，主要包括硬件接线、系统硬件调试、通信编程调试、可视化展示等。

建筑能源物联网综合设计与开发，锻炼了小组成员的协作精神、文稿能力和演讲能力，提高了学生解决实际工程问题的能力。

4.3. 高阶实践层

高阶实践层对应 Tridium 大学计划资格认证环节。Tridium 公司近几年一直致力于高校的产学合作，推出与产业需求紧密对接的大学计划认证考试。课程结束后组织优秀学生在物联网实训室参加 Tridium 公司的大学计划认证培训与考试，整个流程完全按照 Tridium 公司大学计划认证要求实施。通过 Tridium 大学计划认证的同学将获得全球统一的大学计划认证证书。

高阶实践层使课程教学和物联网产业有效对接，可以使学生及时掌握物联网前沿知识，拓宽了就业渠道，也增强了学生获得感。

4.4. 创新实践层

创新实践层为物联网竞赛环节。全国大学生物联网设计竞赛是教育部高等学校计算机类专业教学指

导委员会主办的学科竞赛，是国内物联网领域最具规模和影响力的赛事。该课程授课时间在春季学期，物联网竞赛时间在暑期，时间节点非常合适，因此课程结束后组织优秀学生开始备赛。从选题、方案制定、器件购买、系统搭建、系统调试等各个环节给予学生全方位辅导，学生在碰到问题-解决问题-碰到问题-解决问题不断螺旋上升的过程中得到锻炼和提高。从网评初赛到华北赛区区赛、最终到全国总决赛各个赛段，从项目说明书撰写、作品视频录制、答辩 PPT 制作、实物展示等各个环节，学生的综合能力得到大幅提升。

5. 实施效果

该课程从 2021 年开始开课，到目前为止已经运行了 3 个教学周期，“5 级 4 层”实践模式大大激发了学生的学习积极性，每个环节都有相应的学习任务，让学生跳出舒适圈，学习习惯由被动转向主动。培养了学生的科创精神和协作精神，提高了学生的实践能力、创新能力和解决复杂工程问题的能力，教学质量显著提升。

2021 年授课学生为 66 人，其中 24 人荣获 Tridium 公司大学计划全球认证证书。在全国大学生物联网设计竞赛中，学生作品“基于 Niagara 的区域能源智能调度物联网平台”荣获总决赛一等奖。

2022 年授课学生 63 人，其中 21 人荣获 Tridium 公司大学计划全球认证证书(因疫情，大部分授课为线上授课，有一定影响)。在全国大学生物联网设计竞赛中，学生作品“基于 Niagara 的太阳能储能充电桩优化管理平台”荣获总决赛一等奖。

2023 年授课学生 65 人，其中 26 人荣获 Tridium 公司大学计划全球认证证书。在全国大学生物联网设计竞赛中，学生作品“基于 Niagara 的光储供能智慧大棚”荣获总决赛一等奖和霍尼韦尔 Tridium 企业创新奖。

6. 结语

建筑能源物联网课程是新工科建设开设的一门新课，采取产教融合协同育人模式。针对实践教学，教学团队进行了一系列实践资源建设和实践教学改革。在实践教学资源建设方面，建立了 Niagara 物联网实训室和建筑能源物联网综合实验平台，配套录制了丰富的以任务驱动的软件实操视频，建立了大容量软件实操训练库和建筑能源物联网工程项目库。在实践教学模式改革方面，提出了 5 级 4 层实践教学模式，基础实践层和综合实践层所有学生参加，高阶实践层和创新实践层挑选优秀学生参加。从实施效果看，教学质量显著提高，3 个教学周期共计 71 人荣获 Tridium 大学计划认证证书，连续三年均荣获全国大学生物联网设计竞赛总决赛一等奖。该课程的实施，有效推动了建筑能源物联网应用型人才的培养。

致 谢

感谢霍尼韦尔 Tridium 公司给该课程的建设与实施提供的软件和硬件支持。

基金项目

山东省本科教学改革研究项目(M2020252): 校企融合打造《基于 Niagara 能源物联网》混合式课程。

山东建筑大学课堂教学改革重点项目：新工科背景下《建筑能源物联网技术》课堂教学改革与实践。

参考文献

- [1] 国务院办公厅. 关于深化产教融合的若干意见[R/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-12/19/content_5248564.htm, 2022-11-01.
- [2] 涂宝军, 丁三青, 季晶晶. 应用型本科院校推进产教融合的四种思维[J]. 职业技术教育, 2020, 24(41): 24-31.

-
- [3] 黄琼, 韦苏茜, 马莎, 等. 产教融合协同育人的课程教学研究与实践[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2021, 46(11): 77-80.
 - [4] 杨梓樱, 邓宏宝. 基于产教融合的应用型高校课程改革探究[J]. 职教论坛, 2020(1): 56-62.
 - [5] 刘俊勇, 潘力, 何迈. 能源物联网及其关键技术[J]. 物联网学报, 2020, 4(4): 9-16.
 - [6] 李慧, 王桂荣, 魏建平. 新工科背景下建筑能源物联网课程建设探索与实践[J]. 高教学刊, 2022, 8(8): 5-9, 14.
 - [7] 陈杰蒋澄. Niagara Framework 技术在云一边协同的智慧建筑管理系统的应用[J]. 城市建筑, 2018(16): 57-59.
 - [8] 穆永超, 周志华, 邹芳睿, 杜涛, 田浩. 基于 Niagara 平台的公共建筑监控系统研发[J]. 建筑技术, 2020, 51(1): 52-55.
 - [9] 毕玉萍. 基于 Niagara 技术的管廊环控系统的研究[J]. 软件工程与应用, 2019, 8(1): 1-10.
 - [10] Chen, Y.Y., et al. (2021) A Smart Home Energy Management System Using Two-Stage Non-Intrusive Appliance Load Monitoring over Fog-Cloud Analytics Based on Tridium's Niagara Framework for Residential Demand-Side Management. *Sensors*, **21**, 2883. <https://doi.org/10.3390/s21082883>
 - [11] 曹宇, 李慧, 李凡. 基于微燃机分布式能源系统的物联网管理平台开发[J]. 自动化仪表, 2020, 41(9): 98-101.
 - [12] 谢林鸿, 李慧. 区域能源智能物联网平台开发[J]. 自动化仪表, 2022, 43(6): 24-28, 32.
 - [13] 李慧, 王桂荣, 魏建平, 徐风. 建筑能源物联网技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.
 - [14] 王宗山, 袁鹏丽, 端木琳. 建筑环境与能源应用工程专业自主研究型实验教学模式的实践[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(10): 219-222.
 - [15] 石庆升, 鲁可. 学习金字塔理论在“城市轨道交通概论”小班教学中的应用[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(5): 225-226, 244.
 - [16] 李红惠. 学习金字塔: 学术神话建构与解构的博弈[J]. 外国教育研究, 2021(11): 20-32.