

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2023.04.008

欢迎按以下格式引用:冯驰,蒋敏,李小龙,等.新工科背景下建筑热工实验室建设与人才培养——以比利时荷语鲁汶大学和重庆大学为例[J].高等建筑教育,2023,32(4):56-63.

新工科背景下建筑热工实验室 建设与人才培养

——以比利时荷语鲁汶大学和重庆大学为例

冯 驰, 蒋 敏, 李小龙, 唐鸣放

(重庆大学 a.建筑城规学院;b.山地城镇建设与新技术教育部重点实验室,重庆 400045)

摘要:在我国努力实现“双碳”目标和推进新工科建设的时代背景下,加强建筑热工学学科发展和专业人才培养具有重要示范意义和引领作用。以比利时荷语鲁汶大学和重庆大学的建筑热工实验室为例,对比了两个实验室在硬件设施、人员配置和日常运行三方面的差异,分析了实验室建设在本硕博、博士后和青年教师等各类专业人才培养过程中的作用。结果表明,重庆大学建筑热工实验室已具备较好基础条件,但与世界一流实验室相比仍有一定差距。此外,研究发现建筑热工实验室对博士生和青年学者的研究工作有明显支撑作用,但在本科生培养过程中的作用尚不显著。研究结果建议,未来我国建筑学专业本科教育应适当增加建筑物理实验教学课时,并在实验教学过程中引入开放性、探索性和研究性的实验内容。

关键词:建筑教育;建筑热工学;实验室建设;人才培养

中图分类号:TU111;G642

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2023)04-0056-08

建筑热工学是建筑物理的三大方向(建筑热工学、光学和声学)之一,主要研究室外气候通过建筑围护结构对室内热环境的影响,以及室内外热湿作用对围护结构的影响^[1]。建筑热力学的理论基础是热量、水分和空气的传递过程,主要任务是通过建筑设计改善室内热环境。1970年以前,人们普遍使用暖通空调系统对室内热环境进行调节,1973年和1979年两次石油危机的爆发加速了世界各国对新能源的研究,建筑节能公共意识开始显现。1979年世界卫生组织对“病态建筑综合征”的定义让民众认识到,健康的室内热环境不能再单纯地依赖机械设备。自此,建筑热工学所提倡的被动式建筑环境营造方法开始得到学界的广泛重视,并逐渐被世界各国纳入建筑学和土木工程等专业教育中。2020年,“碳达峰”和“碳中和”被列为我国“两个一百年”奋斗目标中的具体战略任务,使

修回日期:2022-11-14

基金项目:国家自然科学基金面上项目(52178065)

作者简介:冯驰(1986—),男,重庆大学建筑城规学院教授,博士生导师,主要从事建筑技术科学方向研究,(E-mail)fengchi860602@cqu.edu.com。

我国建筑热工学发展再次迎来新的机遇和挑战。

近年来,为应对经济快速发展、产业剧烈变革和全球行业激烈竞争等新挑战,教育部提出把新工科建设作为新时期国家推进高等教育改革的新战略,旨在培养现代经济社会所需的实践与创新能力强、具有跨界整合和动态适应能力的高素质复合型工程科技人才^[2]。作为建筑热工学教学与科研的核心阵地,实验室是建筑学专业建设的重要组成部分^[3],在本硕博、博士后和青年教师等各类专业人才的实践能力与创新思维培养方面都发挥着至关重要的作用。因此,在新工科建设背景下,对标国际一流实验室,结合具体国情,从硬件设施、人员配置和日常运行等方面深入探讨我国建筑热工实验室的建设方向和重点,对高水平复合型人才培养具有重要意义。

比利时荷语鲁汶大学(KU Leuven)是建筑热工学在欧洲高等教育中的发源地之一,其土木工程学院建筑物理系由 Gerrit Vermeir 教授和 Hugo Hens 教授共同于 1978 年创立,先后培养出了 Staf Rols、Bert Blocken、Jan Carmeliet 等多位建筑物理(热工)领域的国际知名学者。同样作为我国高等教育中建筑物理的发源地,重庆大学建筑城规学院(原重庆建筑工程学院建筑系)于 1959 年开设了全国第一个建筑物理培训班,于 1960 年开办了全国第一个建筑物理专业本科班,并于 1982 年和 1985 年分别建立了建筑技术科学的硕士点和全国第一个博士点。经过 60 多年的发展,重庆大学建筑热工学方向已培养出西安建筑科技大学刘加平院士、华南理工大学孟庆林教授和中建西南院冯雅总工程师等一大批杰出人才,逐渐形成了具有自身特色的办学体系、积累了雄厚的师资力量。

本文以比利时荷语鲁汶大学和重庆大学两所代表性高校的建筑热工实验室为例,对比两个实验室的建设状况,就实验室建设对专业人才培养的机制及意义展开分析,并从“双碳”目标和新工科建设背景下建筑热工学专业人才培养的角度讨论了实验室建设的意义。

一、比利时荷语鲁汶大学和重庆大学建筑热工实验室的基本情况

(一) 发展状况

得益于欧洲理工科的实验传统及当地发达的经济水平,自创办伊始,比利时荷语鲁汶大学建筑物理系(尤其是建筑热工学方向)就不遗余力地发展其实验室,在过去近半个世纪里取得了长足的发展,并逐渐成为世界知名的高水平实验中心,享有国际盛誉(图 1)。与比利时荷语鲁汶大学类似,重庆大学很早就意识到实验是建筑物理学科不可或缺的一部分。因此,即便受到当时历史、社会和经济等多方面因素的限制,陈启高、杨光璿、谢德安、庄仪生等老一辈教师们仍克服了重重困难,在物资匮乏的情况下手工编写了《建筑物理实验指导书》,并自制了多种教学和科研仪器设备(图 2)。改革开放后,重庆大学建筑物理实验室逐渐发展壮大,并在 2000 年以后进入了加速上升期。其中,建筑热工实验室更是自 2020 年起以年均超过 100 万元的经费陆续添置了多种新型仪器设备(图 3)。



图 1 比利时荷语鲁汶大学建筑热工实验室

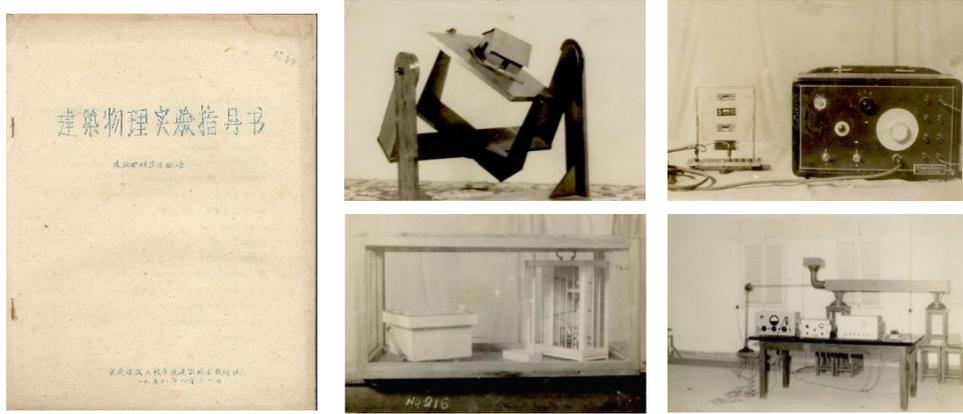


图2 原重庆建筑工程学院建筑系建筑物理实验教材与仪器设备



图3 重庆大学建筑热工实验室

(二) 基本状况对比

从硬件设施、人员配置和日常运行三个方面比较了比利时荷语鲁汶大学和重庆大学建筑热工实验室的基本状况。如表1表示,比利时荷语鲁汶大学建筑热工实验室在硬件设施、人员配置和日常运行三方面表现突出,彰显了世界一流实验室的综合实力。相比之下,重庆大学建筑热工实验室虽在多个方面有一定差距,但差距正在日益减小。

1. 硬件设施

硬件设施方面,比利时荷语鲁汶大学建筑热工实验室室内面积高达 800 m^2 ,且有专属的室外测试场地和建筑面积为 150 m^2 的现场测试用房,虽与德国 Fraunhofer 建筑物理研究所相比尚有不足,但与其他地处中心城区的欧洲高校相比已属佼佼者。此外,比利时荷语鲁汶大学建筑热工实验室配备各种专业车床及机械加工设备,可以高效、精确地按照研究人员的设计方案对实验装置或测试试件进行加工制造。与之相比,重庆大学建筑热工实验室的面积暂时只有约 200 m^2 ,且无固定的室外测试场地。为改善现状,对原学校印刷厂厂房进行改建的建筑技术实验大楼将于2023年底完成翻新并投入使用,届时建筑热工实验室面积将扩充至 700 m^2 ,实验场地不足的问题也将被较好地解决。

2. 人员配置

配置实验室固定人员极大地减轻了专业科研人员的压力,使其能集中时间和精力专注于科学研究。在固定人员配置方面,比利时荷语鲁汶大学建筑热工实验室拥有实验员、技术员和车工各1名。实验员主要负责一些简单重复性或常规标准化的实验操作(如材料的导热系数测试等),以及实验室基础设施的维护;技术员主要负责仪器设备或实验耗材的定期校准与采购等任务,同时与实验员配合进行部分难度较高或有一定危险的标准化实验(如压汞法测试材料孔径分布等);拥有职业执照的车工主要负责操作专业车床和机械加工设备,以及特殊实验装置的加工与制作。与之相

表1 比利时荷语鲁汶大学和重庆大学建筑热工实验室基本状况对比(截止到2022年8月)

项目	比利时荷语鲁汶大学	重庆大学	
硬件设施	实验场地面积	室内约 800 m ² 室外约 400 m ²	室内约 200 m ² 即将扩建至 700 m ²
	仪器设备价值	约 500 万欧元(3 500 万人民币)	约 800 万人民币
	室内环境控制	全部空间恒温,部分空间恒温恒湿	部分空间恒温恒湿
	实验测试尺度	材料、构件、建筑、空间环境	材料、构件、空间环境
	其他配套设施	各种专业车床及机械加工设备 含淋浴间	无
人员配置	实验员	1	由 1 人兼任
	技术员	1	
	车工	1	无
日常运行	安全管理	所有人员需安全培训合格 特殊设备需专门化的安全培训	所有人员需安全培训合格
	使用管理	贵重仪器设备预约使用	贵重仪器设备预约使用
	收费制度	贵重仪器设备计时(次)收费	贵重仪器设备计时(次)收费

比,重庆大学建筑热工实验室仅配备有 1 名固定人员,兼任实验员和技术员,且需同时负责本科生的实验教学等任务。为此,重庆大学建筑热工实验室还需进一步完善人事制度,增加固定人员的数量,以提高实验室固定人员的专门化程度和综合效率。

3. 日常运行

日常运行方面,两校的建筑热工实验室基本一致,均做到了安全与规范,如所有操作人员进入实验室前必须完成安全培训、贵重仪器实行预约使用制等。由于比利时荷语鲁汶大学建筑热工实验室拥有一些特殊设备(如压汞仪等),要求相关人员在使用这些设备前需进行专门化的培训,并在使用一段时间后进行体检,以保障人身安全。

二、建筑热工实验室对专业人才培养的作用

(一) 本科生培养

由于在比利时荷语鲁汶大学建筑类本科生培养方案中,没有建筑物理实验课程,因此建筑物理实验室不对本科生开放,对本科专业人才培养不发挥作用。

我国建筑学本科生培养方案中,设计课程作为核心专业课程,持续 5 年,并贯穿于整个学习阶段。建筑物理的理论课通常设置在大三阶段,与设计课程的训练内容相结合,并辅以一定的实验课时。以重庆大学建筑学本科为例,结合文化建筑设计或旧建筑改造课程,在大三上学期设置有 20 学时的建筑热工学理论课程以及 4 学时的实验课程(一般为导热系数实验和日照实验)。专家学者认为,建筑物理实验课程是建筑学专业技术教育的重要环节^[4],应当鼓励学生参加科研训练^[5],以通过实验培养学生自主思考和主动探究问题的能力^[6-7]。但由于种种原因,当前本科建筑热工乃至整个建筑物理实验课大多停留在通识教育阶段,以演示性或验证性实验为主^[6],难以激发学生的学习热情和创造力。为此,许多教育专家建议使用 PBL(Problem-based learning)教学法^[4],或基于创新能力培养的建筑物理实验教学模式^[6]、体验式建筑物理实验教学模式^[8],或以开放式研究性建筑物理实验^[9]、以 VITAL(Variety-Innovation-Teaching-Academic-Learning)为核心理念的建筑类专业国际化

人才培养模式^[10]等改进方案。然而,受限于实验课程学时及繁重的设计课压力,仅仅针对建筑物理实验教学模式进行改革显然难以真正实现上述目标^[11]。

建筑学应当是艺术与技术的结合。但我国高校建筑学专业教学过于偏重形态、空间与功能的职业技能训练,而建筑的技术、经济和绿色属性则长期被忽视^[11]。在推进实现“双碳”目标政策下,应考虑适当增加本科阶段的建筑物理教学课时(尤其是实验课时),并在实验课教学过程中充分调动学生的主观能动性,将常规的演示性或验证性实验转变为开放性、探索性、研究性的实验。此举旨在让建筑专业的学生更全面地掌握建筑物理环境营造的基本理论与方法,同时对行业内的技术进步以及学科交叉产生的技术变革有更深刻的理解。在硬件设施方面,以重庆大学为代表的国内许多建筑类院校的建筑物理实验室都已具备充分的条件,可在新工科背景下为高水平专业人才培养提供重要支撑^[12]。

(二) 硕士研究生培养

比利时荷语鲁汶大学建筑热工学方向的硕士学制为两年:第1学年为课堂学习,学生需通过各科目的考试并修满规定学分;第2学年教授给出若干论文选题并在网上公布,学生根据自己的兴趣选题后加入课题组。换言之,硕士生在第1学年完全独立,到第2学年才有固定导师。一个教授每年指导的硕士生通常为1-2人,最多不超过3人。教授主要负责硕士课题的整体把控,并定期听取进度汇报或调整研究方案;硕士生完成课题时所需的理论分析、实验测试和仿真模拟则由教授指派博士后或高年级博士生负责指导。该培养方案使硕士生仅有不到一年的时间完成学位论文,其中9~10月加入课题组,次年5~6月毕业答辩。因此,实验室对硕士生的支持更多地体现在基本硬件设施的支撑方面,即提供必要条件以确保其课题进展顺利。在该情况下,课题内容的设置将受到一定的限制:尽管内容都有一定的探索性,但多是在较成熟的实验技术上稍加扩展和发散^[13],无法开展有较高挑战性或缺失失败风险的研究内容。

与比利时荷语鲁汶大学不同,重庆大学建筑热工学方向的硕士学制为3年,且学生一入校就有固定导师,即加入了固定的课题组。在时间安排方面,虽然第1学年仍以课程学习为主,但硕士生可在导师的安排下进入实验室,通过协助高年级学生开展课题研究来学习相关实验技术,甚至为自己的硕士课题进行一些预实验。在课题来源方面,部分老师采用与比利时荷语鲁汶大学类似的方式,即提出若干个课题由学生自选;也有部分老师给予学生更大的发挥空间,由学生自主提出感兴趣的研究课题,并在证明其可行性后予以开题。由于时间相对宽裕,重庆大学的硕士生可以尝试具有更高难度、更大挑战性的实验研究,如已有实验方法的改进甚至全新实验方法的设计等^[14]。此时,建筑热工实验室不仅要在硬件设施方面给予学生充分支持,其日常运行管理和实验室固定人员的配合支持也面临更高要求。

需要特别注意的是,受制于本科阶段有限的科研和实验技能训练,部分建筑学专业的本科生在攻读建筑热工学(或建筑技术科学)方向硕士研究生初期,存在逻辑性及批判性思维能力偏弱问题。相反,本科阶段学习传统理工科并跨专业学习建筑热工方向的硕士生往往在实验操作及数据分析方面展现出更强的能力。该现象在硕士第1学年最为明显,但通过一定的专业训练后可以明显减弱甚至彻底消除。在“双碳”目标与新工科建设的背景下,国家针对低碳建筑复合型创新人才的需求日益增长。因此,在继续发扬艺术性与人文性的同时,应进一步加强提升建筑学专业培养的技术性与科学性,有必要在本科阶段适当增加建筑学专业培养计划中的数理基础和实验课程。

(三) 博士研究生培养

比利时荷语鲁汶大学建筑热工学方向的博士学制为4年,但通常需5~6年方能毕业。与国内高校博士生的“学生”身份不同,其博士生拥有一种“工作”身份,每年都需进行综合考核,若未通过则

面临被导师“解聘”的风险,因而压力较大。尽管其博士毕业对论文发表的要求较低(理论上发表1篇英文期刊论文即可),但对研究成果的创新性要求极高,需提交至少5位国内外的专家进行同行评审。为保证博士课题的先进性和科学性,其建筑热工实验室发挥了至关重要的支撑作用。一方面,实验室可以提供高精度的基础数据,用于全新理论或模型的验证。例如, Van De Walle^[15]在攻读博士学位期间提出了根据建筑材料孔隙特征预测其导热系数的数学模型,并采用高分辨率的三维CT图谱和高精度的导热系数测试结果进行了验证。另一方面,实验室高效的运行和管理机制使全新实验方法的开发成为了可能。例如, Jelena Todorović^[16]在攻读博士学位期间设计了研究建筑材料内部盐分迁移的实验装置,并在实验室技术人员和车工的帮助下完成了研究内容。由此可见,在进行前沿研究时,实验室的管理与运行水平往往能直接决定研究项目的先进性乃至成败。

与比利时荷语鲁汶大学相同,重庆大学建筑热工学方向的博士学制亦为4年,并且也常常需要5~6年才能毕业。目前学院正在不断推进教学与科研改革,以增强博士生毕业时研究成果的创新性。博士课题的先进性与科学性正在逐步提高,实验室的支撑作用也愈发受到重视。以建筑热工方向某博士生为例,其课题研究辐射制冷涂料的热工性能及其在建筑中的实际使用效果。为此,该博士生需要进行材料的原料成分、微观结构、传热特性、辐射能力和耐候老化等多方面的实验室测试,并搭建典型的构件装置进行室外现场测试,用于验证传热过程的理论模型,最后在实际建筑工程中开展长期监控,以评价真实条件下的使用效果(图4)。上述研究涵盖了材料、构件、建筑等多个层面的理论分析和实验测试,显然对实验室的各方面都提出了极高的要求。



图4 重庆大学建筑热工方向某博士生实验室与现场测试

(四) 博士后与青年教师培养

与本科生、硕士生和博士生不同,建筑热工方向的博士后和青年教师普遍拥有博士学位,已接受过系统、严格的科研训练,具备较好的科研素养。他们对实验室的认识更为深刻,充分了解实验室对自己事业发展的支撑作用,并有可能在此基础上取得开拓性的一流研究成果。笔者曾以博士后身份在比利时荷语鲁汶大学工作期间,创造性地发明了半透膜实验和露点计实验两种全新的测试方法,解决了无法测得多孔建筑材料在毛细区间内的吸湿过程保水曲线这一长期困扰学界的难题^[17]。在这一过程中,实验室各方面的硬件条件、技术员对选购半透膜的帮助、车工对全新实验装置的精密加工都起到了关键的支撑作用,这也再次说明了一流研究成果与一流实验室的工作人员

配置是相辅相成的。

此外,尤其重要的是,得益于研究的独立性和自主性,博士后和青年教师还有可能根据自己的研究方向和职业规划,对实验室进行改造和扩充。虽然从表1的对比可以看出,重庆大学建筑热工实验室在多个方面与世界一流实验室仍有一定差距,但这种差距也意味着更大的创新空间。以笔者亲身经历为例,在任职重庆大学后,学院和系所在实验空间和设备经费方面给予了极大支持,不仅参照比利时荷语鲁汶大学的建筑热工实验室完成了恒温恒湿气候仓的搭建和多种先进仪器设备的购置(包括国内建筑院校相关实验室中的第一套压力平板仪和第一台露水势仪),并且协助其试制了建筑材料液态水扩散系数的全自动测试装置等,为青年教师职业发展创造了良好条件。

三、结语

在推进实现国家“双碳”目标政策与建设新工科时代背景下,社会对建筑学专业毕业生的综合素养与创新能力的要求越来越高,实践、实验类课程的优化和改革迫在眉睫。实验室的建设与发展如何回应这一机遇与挑战,是值得探讨的问题。以比利时荷语鲁汶大学和重庆大学的建筑热工实验室为例,通过对比两个实验室在硬件设施、人员配置和日常运行三方面的差异,就实验室建设在本硕博、博士后和青年教师等专业人才培养过程中的作用进行了分析。结果表明,重庆大学建筑热工实验室已具备较好的基础条件,虽与世界一流实验室相比仍有一定差距,但差距正在逐渐缩小。此外,建筑热工实验室对博士生和青年学者的研究有较明显的支撑作用,但对本科生的培养作用尚不明显。因此,建议在未来建筑学高等教育中,学院应适当增加本科阶段的建筑物理实验教学课时,将常规的演示性或验证性实验替换为开放性、探索性、研究性的实验,以在实验课教学过程中充分发挥学生的主观能动性。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑热工设计规范(GB 50176-2016)[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2017.
- [2] 张登春,郝小礼,于梅春,等. 新工科背景下建筑环境与能源应用工程专业创新型人才培养模式探索[J]. 高等建筑教育, 2022, 31(3): 57-62.
- [3] 梁树英,杨黎黎. 国内四所建筑院校实验室建设的特色与启示[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(7): 248-251.
- [4] 周琴,张九红,陈沈. PBL教学法在建筑物理实验教学中的应用[J]. 物理实验, 2022, 42(1): 29-34.
- [5] 葛坚,朱笔峰. 以绿色建筑教育为导向的建筑技术课程教学改革初探[J]. 高等建筑教育, 2015, 24(3): 83-86.
- [6] 章艳,毛建西,黄斌,等. 基于创新能力培养的建筑物理实验教学改革[J]. 科技创新导报, 2019, 16(17): 222-223.
- [7] 董旭娟,雷一彬. 研究性教学模式在建筑物理实验课程中的应用探索[J]. 建筑与文化, 2021(7): 30-31.
- [8] 陈豫川. 体验式建筑物理实验课程教学改革研究[J]. 物理通报, 2022(6): 107-112.
- [9] 黄凌江,李中奇. 开放式研究性建筑物理实验的教学探索与实践[J]. 高等建筑教育, 2015, 24(6): 121-127.
- [10] 谢辉,冯瑶函,邓钊力,等. 以“VITAL”为核心理念的建筑类专业国际化人才培养模式构建与实践[J]. 高等建筑教育, 2022, 31(3): 1-8.
- [11] 何文芳,杨柳,刘加平. 绿色建筑技术基础教学体系思考[J]. 中国建筑教育, 2016(2): 38-41.
- [12] 何荣,粟多婷,翁季,等. 面向绿色建筑创新人才培养的建筑光学课程教学改革研究[J]. 高等建筑教育, 2022, 31(3): 52-56.
- [13] Gorp M V. Vorstschade in baksteen en metselwerk[D]. Leuven: KU Leuven, 2018.
- [14] 杨寒羽,黄先奇,唐鸣放,等. 多孔建筑材料液态水扩散系数的简化预测方法[J]. 建筑科学, 2022, 38(4): 37-43.
- [15] Van De Walle W, Claes S, Janssen H. Implementation and validation of a 3D image-based prediction model for the thermal conductivity of cellular and granular porous building blocks[J]. Construction and Building Materials, 2018, 182: 427-440.
- [16] Todorović J, Janssen H. The impact of salt pore clogging on the hygric properties of bricks[J]. Construction and Building Ma-

terials, 2018, 164: 850–863.

- [17] Feng C., Janssen H. Hygric properties of porous building materials(IV): Semi-permeable membrane and psychrometer methods for measuring moisture storage curves[J]. Building and Environment, 2019, 152: 39–49

Construction and talent cultivation of laboratory for building thermal engineering under the background of emerging engineering education: Taking KU Leuven and Chongqing University as examples

FENG Chi, JIANG Min, LI Xiaolong, TANG Mingfang

(a. Faculty of Architecture and Urban Planning; b. Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Under the background of the national goal of “double carbon” and the construction of emerging engineering education, the development of building thermal engineering and the cultivation of professionals are becoming increasingly important. Taking the building thermal engineering laboratories in both universities as the examples, this paper compares their differences in experimental facilities, personnel management and operation regulation, and analyzes the effects of laboratory construction on the cultivation of undergraduates, master students, PhD candidates, postdoctoral fellows and young lecturers. The results show that the building thermal engineering laboratory of Chongqing University has laid a good foundation, but there is still a certain gap with the world-class laboratories. Additionally, the building thermal engineering laboratory provides obvious support to the research of PhD candidates and young scholars, but not much for the cultivation of undergraduates. For the architectural education in China, we suggest increasing the teaching hours of building physics experiment at the undergraduate stage, and introducing open, exploratory and research experiments in the teaching process of experimental courses.

Key words: architectural education; building thermal engineering; laboratory construction; talent cultivation

(责任编辑 崔守奎)