

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2025.03.016

欢迎按以下格式引用:万萌,余倩倩,方浩宇,等.工程结构全寿命维护实验教学探索[J].高等建筑教育,2025,34(3):135-143.

工程结构全寿命维护实验教学探索

万 萌, 余倩倩, 方浩宇, 张伟平

(同济大学 土木工程学院, 上海 200092)

摘要:现阶段,建筑行业的发展呈现新形势,新建筑的建设速度逐渐减缓,建筑行业开始关注既有建筑的加固修复。结合工程结构全寿命维护课程的实验教学,分析了不同碳纤维增强复合材料(CFRP)加固混凝土梁体系在破坏模式和极限承载力方面的差异,总结了采用新型材料开展梁构件抗弯性能实验的新方法和新思路,并提出了将国家重大需求、工程实践与教学实验融为一体的结构实验教学模式创新改革。该模式作为传统教学的优化和补充,有利于激发学生的实验兴趣和创新思维,培养其发现问题、解决问题能力,以及理论联系工程实践的综合能力。

关键词:全寿命维护;CFRP;实验教学;教学改革;抗弯性能实验

中图分类号:G642 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2909(2025)03-0135-09

“双一流”建设任务要求各大高校更新教育思想观念,以服务创新驱动发展战略和经济社会发展为导向,进一步完善高水平科研支撑拔尖创新人才培养的机制,全面提升学生的综合素质、科学精神和创造能力。作为传统工科的土木工程学科,同样应当积极响应国家的号召,以国家重大需求为导向,深化改革学科教学方法和手段,突出学科建设重点方向,并且注重培养学生科研能力、实践能力和学科交叉能力等^[1-5]。

经过几十年的高速发展,我国基础建设领域达到一定的饱和状态,新建筑的建设速度逐渐减缓,因此建筑行业开始关注既有建筑的加固修复。一方面,大量的既有建筑结构临近使用寿命年限,需要对其进行检测、评估和加固;另一方面,随着社会经济与技术的进步,一些早期修建的结构已经不能满足现行的设计标准与规范要求,需要对其进行相应的改造和升级。

一、工程结构全寿命维护课程设计

同济大学顺应行业发展趋势,率先在混凝土结构基本原理课程中,增加了“验算”(评估)原理,还引入了环境作用下结构性能退化的相关内容。同时,学校新开设了工程结构全寿命维护课程,旨

修回日期:2022-12-10

基金项目:同济大学第十九期实验教学改革专项基金

作者简介:万萌(2000—),女,同济大学土木工程学院在读硕士研究生,主要从事建筑结构抗震研究,(E-mail)2330595@tongji.edu.cn;(通信作者)余倩倩(1987—),同济大学土木工程学院教授,博士,主要从事结构性能演化与控制研究,(E-mail)qianqian.yu@tongji.edu.cn。

在培养学生对工程结构全寿命维护的概念,促进其了解工程结构全寿命过程各阶段的划分及其特点,掌握工程结构全寿命维护的基本理论与技术,为后续研究生课程学习奠定必要的理论基础。具体课程目标如下。

课程目标1:了解工程结构全寿命过程各阶段的划分及其特点、结构时变可靠性理论和全寿命经济分析方法的发展与应用。

课程目标2:了解施工阶段混凝土结构的裂缝控制方法和技术,以及施工阶段结构安全性的监测技术,熟悉施工阶段的划分和结构受力特点,以及早龄期混凝土的时变特性,掌握施工阶段时变结构安全性的分析方法。

课程目标3:了解引起结构性能退化的环境作用的时空分布特征,熟悉环境作用下主要结构材料的劣化机理,掌握环境作用下时变结构性能的分析方法。

课程目标4:熟悉既有结构的检测技术和抽样理论,掌握既有工程结构与拟建结构的差异,以及既有结构的可靠性评定理论和方法。

课程目标5:熟悉工程结构加固改造技术的发展和适用范围,掌握加固结构的受力特点及其设计方法。

根据课程目标,设计了工程结构全寿命维护的教学内容,如表1所示。工程结构全寿命维护实验基本情况如表2所示,其内容设置与工程结构全寿命维护课程教学单元7、8对应。本研究基于课程的第二部分内容——结构加固改造理论、技术和案例,以CFRP加固混凝土梁受弯性能实验为例,开展教学探索。

表1 工程结构全寿命维护教学内容

知识单元	课程目标
绪论	课程目标1
施工阶段早龄期混凝土的时变性能与裂缝控制	课程目标2
施工阶段时变结构性能分析与监测	课程目标2
环境作用下结构材料的侵蚀机理与预测	课程目标3
环境作用下工程结构受力性能的退化	课程目标3
结构裂缝、耐久性调研和讨论	课程目标3、课程目标4
既有结构可靠性检测技术和评定方法	课程目标4
结构加固改造理论、技术和案例	课程目标5

表2 混凝土结构基本原理实验课程基本情况

知识单元	课程目标	实验类型
既有结构可靠性检测技术和评定方法	课程目标4	既有结构性能检测实验,包括混凝土碳化、钢筋锈蚀等检测和评定
结构加固改造理论、技术和案例	课程目标5	结构加固实验,包括混凝土梁、柱、节点加固等

二、CFRP加固混凝土梁受弯性能概述

纤维增强复合材料(FRP)是由纤维材料(如玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维、玄武岩纤维等)与基体材料通过缠绕、模压或拉挤等成型工艺制成的复合材料。由于FRP材料具有轻质高强、高弹性模量、耐腐蚀等优异性能,以及易裁剪、施工快、对原有结构改变较小等特性,近二十年来土木工程领

域广泛将FRP材料应用于既有建筑的加固和修复工程。其中,外贴CFRP片材粘贴加固混凝土结构是常见的加固方式之一,在梁构件受拉面粘贴CFRP片材可以有效提高梁的抗弯承载力,同时控制裂缝发展,改善梁的使用性能。

竣工于1924年的上海邮政总局大楼,素有“远东第一”的美誉,为国家级文物。受限于当时的设计理念及条件,结构没有进行抗震设计,同时使用的材料强度不高。长期服役后,结构发生了板底开裂、梁钢筋锈蚀等病害,在2003年采用外贴CFRP材料的方式对梁、楼板等构件进行了加固。该方式极大地保留了这栋历史建筑的美感。

在工程结构全寿命维护课程体系中引入CFRP的实验教学项目,可以增强学生对新技术、新材料的认识,进一步培养其工程结构全寿命维护思维。在教学和实验过程中,通过讲解工程案例、播放施工视频,有助于提高学生的学习兴趣,开拓学生的工程视野。教师带领学生开展工程问题分析,思考解决方法,能够提升学生发现问题和解决问题的能力。

三、CFRP加固混凝土梁受弯性能实验设计

(一) 试件设计

- (1) 试件尺寸(矩形截面): $b \times h \times l = 120 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 1800 \text{ mm}$ 。
- (2) 混凝土强度等级:C40。
- (3) 纵向受拉钢筋种类:HRB400。
- (4) 箍筋的种类:HPB300。
- (5) 纵向钢筋混凝土保护层厚度:20 mm。
- (6) 本次实验使用两种型号的试件,相应的配筋情况如图1和表3所示。

(7) CFRP片材的种类:东丽碳纤维布,品名号码为UT 70-20(200 g/m^2),使用纤维T70012K。单层CFRP片材的厚度为0.111 mm。CFRP具体粘贴情况如表4所示。

(8) 结构粘胶采用碳素纤维加固工法用含浸树脂SANYU RESIN L-500系列。该系列包括L-500A/B,L-267A/B和RN-6A/B三种产品,A为主剂,B为硬化剂。其中L-500用作碳纤维复合材料浸渍/粘接用胶粘剂,L-267用作底层找平修补胶,RN-6用作底层树脂。结构胶的使用方法、施工次序和注意事项均参照产品使用的说明书。结构胶层的设计厚度为1 mm。

(9) CFRP片材加固混凝土梁存在多种破坏模式,主要包括混凝土压碎破坏、CFRP片材拉断、端部剥离破坏和中部剥离破坏。

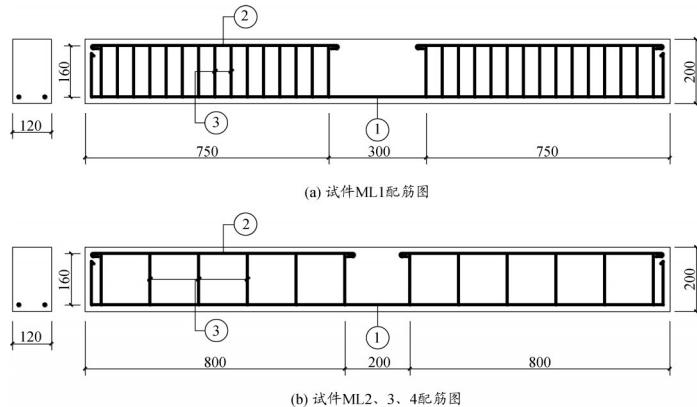


图1 梁受弯实验试件配筋图(单位:mm)

表3 梁受弯实验试件配筋情况

试件编号	试件特征	配筋情况		
		①	②	③
ML0	对照	2Φ6	2Φ6	Φ6@150(2)
ML1	混凝土被压碎	2Φ14	2Φ10	Φ6@50(2)
ML2	CFRP片材被拉断	2Φ6	2Φ6	Φ6@150(2)
ML3	CFRP片材中部剥离	2Φ6	2Φ6	Φ6@150(2)
ML4	CFRP片材端部剥离	2Φ6	2Φ6	Φ6@150(2)

表4 梁的CFRP片材粘贴情况

试件编号	试件特征	CFRP粘贴情况			设计破坏荷载 <i>P</i> /kN
		长度/mm	宽度/mm	粘贴层数	
ML0	对照	0	0	0	13.2
ML1	混凝土被压碎	1400	120	1	91.0
ML2	CFRP片材被拉断	1400	20	1	19.7
ML3	CFRP片材中部剥离	1400	80	3	50.5
ML4	CFRP片材端部剥离	800	120	1	14.3

(二) 实验装置

CFRP片材加固混凝土梁四点受弯性能实验采用的加载装置如图2所示,加载设备为千斤顶。装置采用两点集中力加载,在跨中形成纯弯段,由千斤顶及反力梁施加压力,分配梁分配荷载,压力传感器测定荷载值。

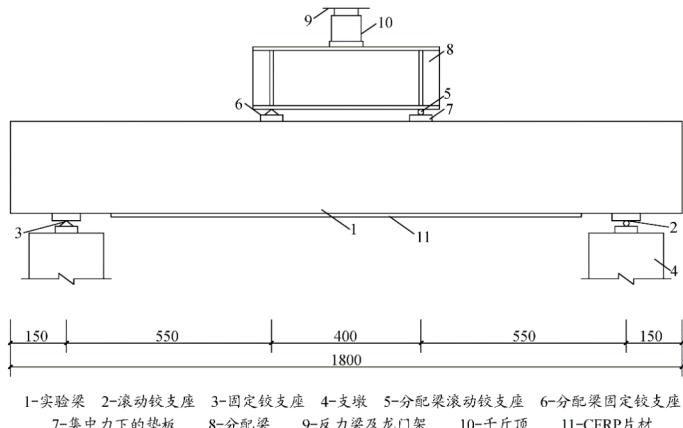


图2 梁四点受弯实验装置图

(三) 加载方式

本实验采用单调分级加载,每次加载时间间隔15分钟。正式加载前,为检查仪器仪表读数是否正常,需要预加载,预加载所用的荷载是分级荷载的前2级。

梁的加载步骤如下:(1)在加载到开裂实验荷载计算值的90%以前,每级荷载不宜大于开裂荷载计算值的20%;(2)达到开裂实验荷载计算值的90%以后,每级荷载值不宜大于其荷载值的5%;(3)当试件开裂后,每级荷载值取10%的承载力实验荷载计算值(P_u)的级距;(4)当加载达到纵向受

拉钢筋屈服后,按跨中位移控制加载,加载的级距为钢筋屈服工况对应的跨中位移 Δ_y ;(5)加载到临近破坏前,拆除所有仪表,然后加载至破坏^[6]。

当实验加载过程中出现以下情况时,认为构件达到承载力极限状态,即可停止加载:(1)对有明显物理流限制的热轧钢筋,受拉主筋的受拉应变达到0.01;(2)受拉主筋被拉断;(3)受拉主筋处最大垂直裂缝宽度达到1.5mm;(4)挠度达到跨度的1/30;(5)受压区混凝土压坏;(6)CFRP片材被拉断;(7)CFRP片材端部片材与梁体间出现局部剥离;(8)跨中裂缝处粘结界面发生宏观的连续剥离。

四、CFRP加固混凝土梁受弯性能实验的教学分析

(一) CFRP片材加固梁受弯性能实验的教学设计

为了激发学生的学习兴趣和主动性,CFRP片材加固梁受弯性能实验一改传统的教学模式,在设计时以学生为主导,教师提供指导和辅助。在实验课开始前,教师准备好一批尺寸大小合适的钢筋混凝土梁的浇筑养护,以便使用。实验课开始,教师花2个课时向学生介绍CFRP片材加固混凝土梁的受弯特性。CFRP片材加固梁截面的应变分析如图3所示。

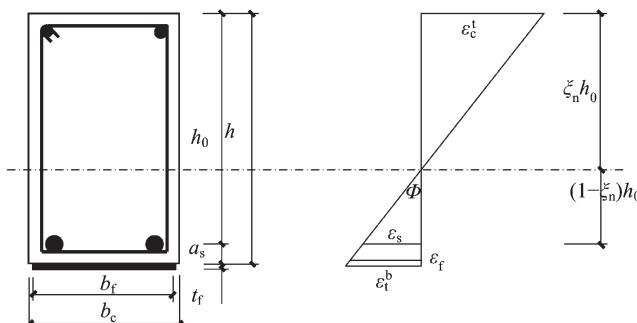


图3 CFRP片材加固梁截面的应变分析

根据平截面假定,不考虑受拉区混凝土开裂后钢筋与混凝土间的相对滑移,忽略CFRP片材和结构胶层的厚度,截面的曲率与应变之间的几何关系如下:

$$\Phi = \frac{\varepsilon_c^t}{\xi_n h_0} = \frac{\varepsilon_s}{(1 - \xi_n) h_0} = \frac{\varepsilon_f}{h - \xi_n h_0} \quad (1)$$

式(1)中: Φ 为截面的曲率; ε_c^t 为截面受压区边缘混凝土的压应变; ε_s 为纵向受拉钢筋的应变; h 为截面的高度; h_0 为截面的有效高度; ξ_n 为混凝土受压区高度和截面有效高度的比值,即相对受压区高度; ε_t^b 为截面受拉区边缘混凝土的拉应变; ε_f 为CFRP片材的应变,忽略CFRP片材和结构胶层的厚度时,近似地认为 $\varepsilon_i = \varepsilon_t^b$ 。

对单筋矩形截面受弯构件的正截面承载力作简化分析,忽略CFRP片材和结构胶层的厚度,将受压区混凝土的曲线应力图形等效为矩形应力图形,如图4所示,设等效后的混凝土压应力为 $\alpha_1 f_c$,等效矩形应力图形的高度为 $\beta_1 x_n$ 。对于强度等级不大于C50的混凝土,经过简化可取 $\alpha_1=1.00$, $\beta_1=0.80$ ^[7]。

根据轴向力和力矩平衡条件,有:

$$\alpha_1 f_c b x = \sigma_s A_s + \sigma_f A_f, \quad (2)$$

$$M_u = \alpha_1 f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + \sigma_f A_f (h - h_{fe}). \quad (3)$$

式(2)和式(3)中: f_c 为混凝土的抗压强度; b 为梁截面宽度; σ_s, A_s 为钢筋的应力和截面积; σ_f, A_f 为CFRP片材的应力和截面积; h_{fe} 为CFRP片材的面积重心至受压边缘的有效高度,当在构件受拉面粘贴CFRP片材时,可取 $h_{fe}=h_0$ 。

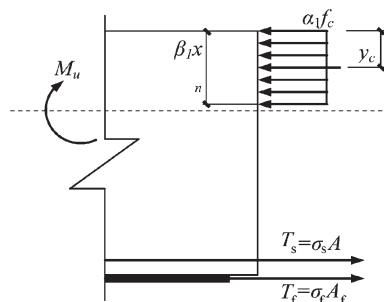


图4 CFRP片材加固梁截面的应力简化分析

由于CFRP片材加固混凝土梁存在多种破坏模式,在考虑不同破坏模式下对应的受弯承载力极限状态时,需要确定CFRP片材的拉应变极限值,将其代入公式(1)—(3)进行综合求解,可以得到梁的极限承载力状况。需要注意的是不同破坏模式下极限状态的CFRP片材拉应变极限值需要通过不同方式计算,包括混凝土压碎破坏、CFRP片材拉断、端部剥离破坏和中部剥离破坏等。根据CFRP片材端部处粘胶层的剥离主应力 σ_t 与混凝土抗拉强度 f_t 的比较,可以判断梁是否因CFRP片材端部应力集中而出现端部剥离破坏:当 $\sigma_t > f_t$ 时,发生端部剥离^[8];当 $\sigma_t < f_t$ 时,不发生端部剥离。该情况下通过受压区混凝土被压碎、CFRP片材被拉断、CFRP片材与混凝土界面产生剥离破坏(即中部剥离破坏)时CFRP片材的有效拉应变 $\varepsilon_{fe,m1}$ 、 $\varepsilon_{fe,m2}$,以及CFRP片材被拉断时换算得到的拉应变 f_{td}/E_f 三者数值的比较,可以判断梁的破坏类型^[9]。教师可以引导学生推理可能存在的破坏模式及其极限状态模型,并鼓励学生在课后自行查阅相关文献,自主探究学习CFRP片材加固梁的受弯特性。

理论课结束后,教师可将学生分成若干小组,让学生通过小组学习探究的方式,分别设计不同的CFRP片材粘贴形式,以期产生不同的破坏模式,并合作撰写对应的实验方案。同时,教师可在实验室进行若干次演示实验,供有时间、有兴趣或在设计中遇到困惑的学生前来学习和模仿。学生提交的实验方案经教师审核和修改后,方可正式进行实验。在实验室中,学生共同观察各组设计的梁的破坏过程和破坏模式,并进行小组评分。小组成员根据各自在实验中的贡献程度进行组内互评打分。实验结束后,每个学生各自撰写本小组的实验报告,并对实验结果作出总结反思。教师从各组实验方案效果、实验报告、实验中学生参与程度,以及小组互评、组内打分等方面对每个学生进行综合评分。

(二) CFRP片材加固梁受弯性能实验的实验结果分析

同济大学于2022年1月开展的CFRP片材加固受弯性能实验中,采用的加载装置如图5所示,加载设备为千斤顶。此次实验共设置5根实验梁,各自的钢筋、CFRP片材使用情况如表3和表4所示。试件的预测及实际破坏荷载如表5所示。



图5 实验加载装置图

表5 试件承载力对比表

试件编号	破坏模式	预测破坏荷载 P_1/kN	实际破坏荷载 P_2/kN
ML0	钢筋屈服,混凝土压碎	15.8	18.9
ML1	钢筋屈服,混凝土压碎	83.2	78.1
ML2	CFRP片材被拉断,钢筋屈服	20.4	21.8
ML3	CFRP片材中部剥离,钢筋屈服	47.2	44.4
ML4	CFRP片材端部剥离,钢筋屈服	15.6	14.0

通过对比可以发现,各组试件的破坏模式均与预期相符合。除空白对照试件的实际破坏荷载大于理论破坏荷载外,混凝土压碎试件、CFRP片材被拉断试件、FRP片材中部剥离试件和CFRP片材端部剥离试件的实际破坏荷载均与理论密切相符,其中CFRP片材被拉断试件实际破坏荷载略高于理论。5组试件的荷载-跨中挠度关系曲线如图6所示。总体而言,经过CFRP片材加固后的混凝土梁,其极限抗弯承载力有不同程度的提高,但延性相比有一定程度的下降。

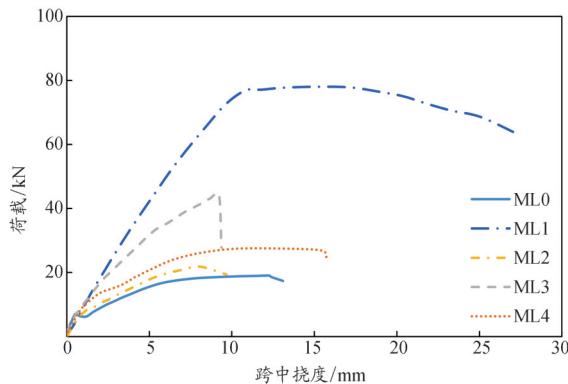


图6 各组试件荷载-跨中挠度关系曲线图

通过分析、计算和对比试件受弯极限承载力的过程,可以培养学生处理实验数据、解决实践问题的能力,提升学生灵活运用所学知识的能力,以及综合分析的水平。同时,可以让学生直观地感受CFRP片材加固混凝土梁的优良效果,认识到新材料、新工艺给土木工程技术注入的活力与能量,为学生将来从事科研相关工作打下坚实的基础。

(三) CFRP片材加固梁受弯性能实验的教学优点

1. 创新实验内容

CFRP片材加固混凝土梁的四点弯曲实验,是在传统混凝土教学试验基础上,通过引入新材料和新工艺,对梁受弯性能教学的一次探索与创新。实验的教学目的是通过研究张贴CFRP片材的混凝土梁四点受弯破坏的全过程,促进学生认识CFRP片材的加固效果,同时掌握测试混凝土受弯构件基本性能的方法。这项创新的教学实验不仅适应现阶段建筑行业加固修复既有建筑的大方向,还能锻炼学生的科研能力和科研素养。CFRP片材加固混凝土梁四点受弯实验采用“引入—组合—开放”的思路,对传统的混凝土教学实验进行创新拓展。该实验能够将学科前沿技术和学生已学的基础知识相结合,给土木工程学科的实验内容创新提供了一个良好的思路。

2. 革新实验教学形式

CFRP片材加固混凝土梁四点受弯实验一改传统实验教学中老师主导的教学模式,让学生成为实验课的主体,发挥学生的主人翁意识。从前期理论学习时自行拓展阅读相关文献开始,到实验前自己撰写、改进实验方案再由教师审核,再到实验中学生各自观察彼此评分这一系列过程,能帮助

学生跳出“学生思维”,充分调动学生自主学习、主动学习的积极性,激发学生的科研激情。在本科教学阶段引入这种革新的实验教学模式,引导学生依托新材料、新工艺和学科前沿技术开展合适的创新实践,寓教于研、研学并重,能同时提升实验教学中的教师和学生的创新能力和实践能力^[10]。

3. 提高实践教学的受重视度

传统的实验教学往往未得到师生足够的关注,成绩考核方式单一,且学生一学期通常只有几次机会进入实验室,缺乏学习主动性。CFRP片材加固混凝土梁四点受弯实验符合科研性实验的理念,增加了实验课时、提高实验室对学生开放程度,设置了理论学习、自主探索、小组探究、教师指导、实验验证、反思总结等环节。同时,该实验改革了实验教学的学习评价制度,从整个实验课程的各个环节出发进行考核,有效激励学生自主学习、奋发学习、全面发展。

(四) CFRP片材加固梁受弯性能实验的设置建议

在推广应用该实验教学时,应当考虑不同学生的学习能力和理论知识的掌握水平等。“集约分层式”教学是比较理想的教学模式,依据学生的学习兴趣、知识水平和空余时间等情况,将其分为不同层次的学习小组,分别配给不同深度、广度和自主度的教学资源。这种模式既能充分适应不同学生的学习需要,又能充分利用有限的教学资源,大幅优化创新实验的教学效果^[11]。

在CFRP片材加固混凝土梁四点受弯实验中,CFRP的长度、宽度和厚度等是重要变量,对CFRP片材加固梁的受弯性能影响很大。这要求学生在教师的指导下查阅文献,切实掌握理论后再自行设计实验方案。实验方案设计过程中除了寻求教师指导,还可以参考使用CFRP片材加固混凝土梁四点受弯实验计算小程序,尽可能保证正式实验的成功率。

实验考核需综合评估学生的理论掌握程度、实验操作能力、小组合作贡献、学习态度、实验效果和实验报告质量,重点培养学生的科学态度和实践精神,并鼓励其进行科研探索。多维度的考核评分机制能够提高学生对实验课的重视程度,促进学生自主学习^[11]。分小组设计实验方案,有助于合理控制实验经费和节约时间成本,同时还能培养学生的团队合作能力,促进学生主动思考、自由分配任务,保证学生在实验教学过程中的主体地位^[12]。

在处理实验数据时,建议学生绘制裂缝分布图、荷载-挠度关系曲线、弯矩-曲率关系曲线、荷载-纵筋应变关系曲线、CFRP片材应变沿长度分布曲线、荷载-跨中CFRP应变关系曲线,以考察CFRP片材加固混凝土梁的受弯性能特性。同时,建议学生对混凝土梁进行正截面与斜截面承载力分析、构件承载力分析、使用性能分析,并对实际值与理论值之间的差距作出反思与小结。

对于没有科研基础的本科生,设计实验方案时可能面对许多挑战,因此教师要注重前期理论的讲解,为学生推荐可供参考的文献,并在学生设计实验方案的过程中耐心指导,指出问题,从而激发学生科研兴趣。在最终进行考核评分时,教师不宜过分注重实验方案的成功与否,以免降低学生科研的积极性。

五、结语

本研究以CFRP片材加固混凝土梁四点受弯实验为例,探索了工程结构全寿命维护课程的新型实践教学模式。该模式通过充分调动学生的主观能动性,让学生成为实验教学的主导者,促进了学生对专业基础理论的深化、拓展和实践应用。同时,为本科生提供了亲身参与科研实践的机会,培养了其独立思考的能力和个性化的科学思维。该模式可为其他学科的实验教学改革提供创新思路,具有推广价值与教学意义。然而,本研究主要聚焦实验教学设计方面,未来将进一步关注教学成效评估和目标达成度,逐步完善课程内容体系。

参考文献：

- [1] 李静,兀婷,陈正,等.新工科背景下土木工程材料课程的教学改革[J].科教文汇(中旬刊),2021(23):76-78.
- [2] 勾红叶,蒲黔辉,李小珍,等.土木工程专业实验教学改革与探讨[J].高等建筑教育,2020,29(1):133-139.
- [3] 邓华锋,李建林,王乐华,等.提高土木工程专业课程实验教学水平的思考[J].高等建筑教育,2015,24(1):119-122.
- [4] 王承鑫,徐龙军,张天伟.“新工科”背景下实验教学改革的探讨[J].高等建筑教育,2019,28(2):101-105.
- [5] 李福海,吴昊南,姜怡林,等.基于新材料的梁抗弯性能实验教学探索[J].高等建筑教育,2021,30(2):146-153.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构试验方法标准:GB/T 50152—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [7] 顾祥林.混凝土结构基本原理[M].3版.上海:同济大学出版社,2015.
- [8] 欧阳煜,钱在兹.粘贴片材加固混凝土梁时的端部剥离应力分析[J].建筑结构,2000,30(8):51-54.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.纤维增强复合材料工程应用技术标准:GB 50608—2020[S].北京:中国计划出版社,2020.
- [10] 张清华,贾东林,卜一之.基于高性能材料实验的学生创新能力培养[J].实验技术与管理,2019,36(1):16-19,32.
- [11] 余世策,钱匡亮,刘承斌,等.钢筋混凝土实验的集约分层式教学模式[J].实验技术与管理,2008,25(8):132-135.
- [12] 钱匡亮,彭宇,钱晓倩,等.建筑材料实验教学改革和实践尝试[J].实验室科学,2016,19(5):83-87.

Exploration of experimental teaching of the life cycle maintenance of engineering structures

WAN Meng, YU Qianqian, FANG Haoyu, ZHANG Weiping

(College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China)

Abstract: Currently, the development of the construction industry presents a new situation and pattern. After decades of rapid development, the field of infrastructure construction in China has shown a certain saturation state, and the construction speed of new buildings in China has slowed down. Therefore, the construction industry begins to focus on the reinforcement and repair of existing buildings. Combined with the experimental teaching of life cycle maintenance of engineering structures, this paper analyzes in the failure mode and ultimate bearing capacity of concrete beam systems strengthened with carbon fiber-reinforced polymer (CFRP), summarizes the new methods and ideas of using new materials to carry out bending tests of concrete beams, and puts forward the innovative reform of the structural experiment teaching mode, which integrates major national needs, engineering practice and teaching experiments. As the optimization and supplement of traditional teaching, this mode is conducive to stimulating students' experimental interest and innovative thinking, and cultivating their ability to find and solve problems as well as combine theory and engineering application.

Key words: life cycle maintenance; CFRP; experimental teaching; teaching reform; flexural experiment

(责任编辑 代小进)