

“东北林业大学优秀教材及学术专著
出版与奖励专项资金”资助出版



可调控预应力胶合 竹木梁受弯性能研究

KE TIAOKONG YUYINGLI JIAOHE
ZHUMULIANG SHOUWAN XINGNENG YANJIU

郭楠 左宏亮 著
何东坡 主审

张外借



东北林业大学出版社
Northeast Forestry University Press

“东北林业大学优秀教材及学术专著
出版与奖励专项资金”资助出版

可调控预应力胶合竹木梁 受弯性能研究

郭楠 左宏亮 著

何东坡 主审



东北林业大学出版社
Northeast Forestry University Press

• 哈尔滨 •

版权专有 侵权必究
举报电话：0451-82113295

图书在版编目 (CIP) 数据

可控预应力胶合竹木梁受弯性能研究 / 郭楠, 左宏亮著. — 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2017. 6

ISBN 978-7-5674-1195-1

I. ①可… II. ①郭…②左… III. ①竹材-预应力结构-受弯构件-研究 ①木材-预应力结构-受弯构件-研究 IV. ①TU531

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 155079 号

责任编辑: 任兴华

责任校对: 潘 琦

封面设计: 乔鑫鑫

出版发行: 东北林业大学出版社

(哈尔滨市香坊区哈平六道街 6 号 邮编: 150040)

印 装: 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 10.75

字 数: 190 千字

版 次: 2017 年 7 月第 1 版

印 次: 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 33.00 元

前 言

竹、木结构房屋具有节能、环保、安全、宜居等特点，能够可持续发展，与国家节能减排、发展绿色经济的政策高度吻合。将竹材与木材以相同或不同的结构单元形式进行组合及胶接而成的复合板材或方材，由于材料缺陷分散、强度高，在现代木结构中得到了广泛的应用。普通胶合竹木梁受弯时，常因梁底胶合竹木的抗拉强度不足而发生脆性破坏，此时，胶合竹木梁顶部木材的抗压强度尚未充分发挥。另外，由于竹材和木材的弹性模量较小且具有蠕变特性，设计中常由变形起控制作用，也不利于材料强度的充分发挥，上述两方面的原因，使普通胶合竹木梁的经济性难以保障，限制了此类构件的推广。

在这样的背景下，本书提出了适合施加预应力的竹木复合材，并以此形成通过丝扣拧张横向施加装置施加预应力的预应力胶合竹木梁，通过试验研究和有限元分析，对其短期和长期受力性能进行了研究，并给出了此类构件的设计方法。

本书共分7章：第1章为概述；第2章为胶合竹木复合材棱柱体试块受压性能试验研究；第3章为基于选材的预应力胶合竹木梁受弯试验研究；第4章为预应力胶合竹木梁短期受弯性能试验研究；第5章为预应力胶合竹木梁短期受弯性能有限元分析；第6章为预应力胶合竹木梁长期受弯性能试验研究；第7章为基于蠕变影响的预应力胶合竹木梁短期加载试验。

2011年作者及其团队开始从事预应力木结构方面的研究工作，刘晚成老师提出了大量宝贵意见，研究生王东岳、赵婷婷、杨颖伟、王云鹤、刘秀侠、贺铁、张平阳等在预应力胶合木张弦梁方面做了大量具体的研究工作，研究生姜海新进行了本书的内容整理、插图绘制等工作。各位前辈、老师及

2 可控预应力胶合竹木梁受弯性能研究

同仁的技术文献为我们开阔了视野，启发了思路，提供了参考。

本书的相关工作得到了国家自然科学基金青年基金（51208083）、中央高校基本科研业务费专项资金项目（2572015CB29）等的资助。

由于作者水平有限，书中疏漏及不足在所难免，恳请读者批评指正。

东北林业大学土木工程学院 郭楠 左宏亮

2016年10月

目 录

1	概述	(1)
1.1	胶合竹木梁概述	(1)
1.2	国内外研究现状及发展趋势	(5)
1.3	存在的问题	(8)
1.4	本书开展的主要工作	(9)
2	胶合竹木复合材棱柱体试块受压性能试验研究	(11)
2.1	试验方案	(11)
2.2	胶合竹木复合材试块试验现象	(16)
2.3	破坏机理及破坏形态	(29)
2.4	胶合竹木复合材试块试验结果	(31)
2.5	胶合竹木复合材试块延性分析	(36)
2.6	本章小结	(39)
3	基于选材的预应力胶合竹木梁受弯试验研究	(41)
3.1	预应力胶合竹木梁的提出	(41)
3.2	试验概况	(43)
3.3	试验结果与分析	(48)
3.4	选材建议	(63)
3.5	本章小结	(64)
4	预应力胶合竹木梁短期受弯性能试验研究	(65)
4.1	锚固及张弦装置优化	(65)
4.2	试验概况	(70)
4.3	破坏判别标准及极限荷载的确定	(77)
4.4	试验现象	(78)
4.5	破坏形式	(81)
4.6	试验结果分析	(83)
4.7	平截面假定的验证	(94)
4.8	承载力计算公式推导	(96)
4.9	经济性评估及预应力作用效果	(103)
4.10	本章小结	(105)

5	预应力胶合竹木梁短期受弯性能有限元分析	(107)
5.1	模型的建立	(107)
5.2	分析结果	(110)
5.3	有限元分析结果与试验结果的对比	(112)
5.4	本章小结	(114)
6	预应力胶合竹木梁长期受弯性能试验研究	(116)
6.1	长期荷载大小的确定	(116)
6.2	试件分组	(117)
6.3	长期加载试验	(118)
6.4	试验现象	(122)
6.5	试验结果与分析	(123)
6.6	本章小结	(144)
7	基于蠕变影响的预应力胶合竹木梁短期加载试验	(146)
7.1	试验分组及加载制度	(146)
7.2	试验结果及分析	(148)
7.3	本章小结	(161)
	结语	(162)
	参考文献	(164)

1 概 述

1.1 胶合竹木梁概述

1.1.1 竹木结构的优势

竹木结构房屋因具有环保、安全、节能、宜居等诸多优点而备受人们青睐。在欧美等发达国家和地区,大部分低层商业建筑、公共建筑及住宅等均采用木结构。在我国,木结构房屋也曾拥有辉煌的历史,但在新中国成立初期,大规模的建设致使木材遭受过量砍伐,进而使得木结构房屋的建设几近停止,木结构技术停滞不前^[1~4]。近年来,由于国家实施大力种植速生林、推行退耕还林和适当进口木材等政策,木结构建筑已呈逐渐复苏的状态。图 1-1 为由木材建造而成的上海世界博览会温哥华城市最佳实践馆;图 1-2 为完全由竹材建造而成的壳体结构房屋。竹材和木材具有诸多优点,例如:作为天然资源之一,具有可再生性;竹、木在生长过程中吸收二氧化碳并释放氧气,可起到改善环境的作用;保温性能好,节能减排;竹木结构房屋拆除后的材料可用于造纸等工业生产,使其具有再生利用功能;抗震性能好。因此,竹木结构将具有较大的发展空间。



图 1-1 由木材建造而成的上海世界博览会温哥华城市最佳实践馆

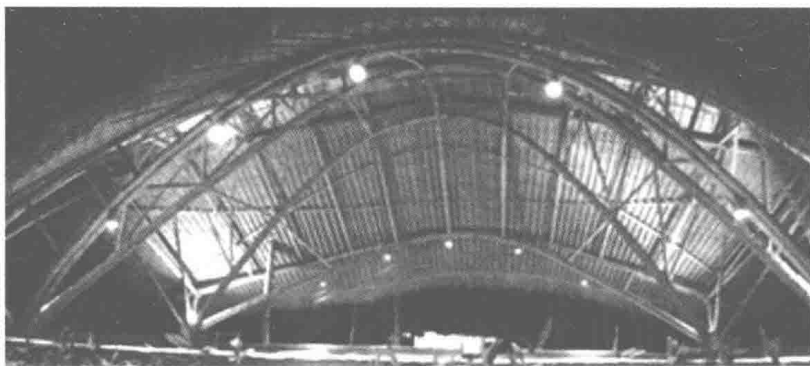


图 1-2 完全由竹材建造而成的壳体结构房屋

1.1.2 竹木结构的历史机遇

改革开放以来,我国的经济得到了飞速发展,但由于缺乏环境保护相关的政策、法规,目前环境问题尤其突出。而传统的建筑材料及装修材料大多来自于化工材料,甚至有些材料本身就含有毒物质,而它们又将挥发到室内空气中,给居住其中的人们造成不良影响。据美国环境保护局的专家对新建房屋中与建材相关的 500 余种化学物质含量抽样检查结果显示,这 500 余种化学物质在新建房屋中的含量远远高于室外空气中的含量。此外,根据相关论文,现代建筑约 3% 含有石棉和氡气等有害物质,约 10% 含有细菌、病毒等微生物。像此类含有有害物质的建筑常常被称为“病态建筑”,其自身的有害物质将对使用者的身心健康构成严重威胁。此外,据统计,我国超过 80% 的建筑属于非节能建筑,其单位面积的耗能水平是发达国家的 2~3 倍,而建筑行业的能源消耗几乎占社会总能耗的 1/3。而且水泥、混凝土等建材的大量使用,将会产生大量的建筑垃圾及扬尘(图 1-3),造成固体废物污染及空气污染。根据相关统计资料,若将传统的混凝土结构替换为木结构,则在房屋建造阶段可节省能源约 45.24%,节约水资源约 46.17%,而在实际应用阶段则将节约电能约 10.92%。此外,相比于传统建材中的钢材和混凝土,竹木材制品废弃后更易处理,可作为燃料,也可以作为人造板或纸张原料等进行循环利用。由此可见,因具有低碳、环保及可持续发展等特点,竹木结构房屋与国家节能减排战略及绿色建筑产业化政策相符合,是具有较大发展潜力的建筑形式之一。因此,“绿色建筑”这一概念应运而生。所谓“绿色建筑”,指的是将节水、节地、节能等贯穿于建筑的整个生命周期,并满足健康、使用高效、能与自然和谐共生的要求。

此外,为促进绿色建材的生产与应用,推动建材工业稳增长、调结构、



图 1-3 建筑垃圾及扬尘

转方式、惠民生，2015 年 8 月 31 日，中华人民共和国工业和信息化部、中华人民共和国住房和城乡建设部联合印发《促进绿色建材生产和应用行动方案》。该方案的目标指出，到 2018 年，绿色建材生产比重明显提升，发展质量明显改善。在新建建筑中绿色建材的应用比例达到 30%，绿色建筑的应用比例达到 50%，试点示范工程的应用比例达到 70%，既有建筑改造应用的比例提高到 80%。该方案明确将木结构这一建筑纳入大力推广的建筑形式之中。由此看出，竹木结构建筑作为绿色建筑的代表性建筑形式，将具有较好的发展前景。

1.1.3 竹木复合材的优点及不足

以相同或不同的单元形式，将竹材、木材进行组合、胶接而形成的复合板材或方材称为竹木复合材^[5]，如图 1-4 所示，该材料具有以下优点。

(1) 竹木复合材构件能消除或均匀分散竹材及木材的缺陷，使构件变异性降低，使得可靠度及可利用强度提高。

(2) 木材具有易加工、生产率高等优点，同时具有硬度低、残余应力大、不宜用于工程结构及机械强度差等缺点；竹材具有韧性好、强度高、硬度大及耐磨等优点，同时具有径级小、出材及加工效率低等缺点。而本书所指竹木复合材，如图 1-4 所示，则是在梁沿梁高方向的最顶层板和最底层板放置竹材，以充分利用其强度高的优势；在梁体中间层板放置木材，以充分利用其易于加工的优势。

(3) 竹木复合材构件的截面形式及长度不受限制，能胶合成各种所需形状，同时满足造型与受力的要求。

(4) 能使我国丰富的人工林及速生林资源得到充分利用。我国人工林保存面积（约 6900 万 hm^2 ）及人工林蓄积量（约 24 亿 m^3 ）均居世界首位，而同时，我国的竹材种类、竹林面积及竹材产量也居于世界各国之首。因

此,将竹、木及竹木复合材广泛用于现代房屋建筑,能够带动相关产业的发展,缓解现今紧张的就业形势,进而产生较高的经济效益,形成良性循环。

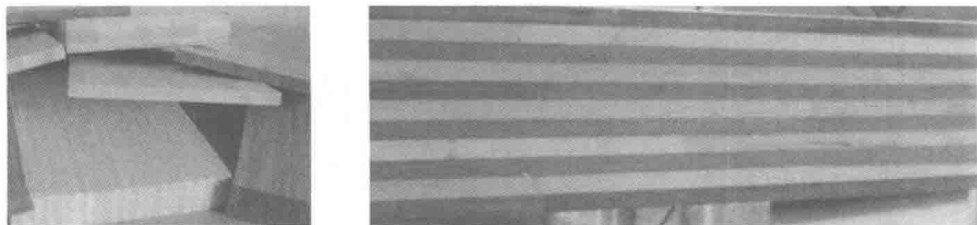


图 1-4 竹木复合材

目前,国内外关于由竹木复合材制成的胶合竹木梁抗弯性能的研究较少,而主要是集中在对于胶合木梁、胶合竹梁的研究上。本书通过归纳总结,发现胶合竹材及胶合木材处于受弯状态时尚存在问题。

胶合竹梁、胶合木梁的变形较明显。这是因为,相对传统混凝土、水泥等建材,竹材、木材的弹性模量低;此外,材料自身的蠕变特性使胶合竹梁、胶合木梁在长期荷载下的挠度呈正增长趋势,进而影响构件的正常使用。胶合竹木梁在实际工程中,其截面尺寸大多与变形相关。据相关的研究表明,对胶合竹梁进行按强度验算时的极限承载力远远小于按挠度验算时的极限承载力^[6],因而无法充分利用各材料强度。

1.1.4 预应力胶合竹木梁

由上述可知,胶合竹梁、胶合木梁在受弯状态下会产生较大变形、材料抗压性能不能充分发挥及易发生脆性破坏等问题。因此,本书提出在胶合竹木梁中施加预应力,形成一种预应力筋受拉、胶合竹木材受压的组合构件,该组合构件具有以下优点。

(1) 施加预应力后,胶合竹木梁在外荷载作用下的挠度减小。

(2) 施加预应力后,胶合竹木梁在外荷载的作用下将由纯受弯状态转化为压弯状态,充分利用其材料的抗压强度,进而节省材料、节约成本;而且在该构件的使用过程中,每调节一次预应力,即意味着把部分原来由竹木复合材承受的荷载分配给了预应力筋,相当于完成了一次内力重分配,进而实现竹木复合材强度的反复利用和高强预应力筋强度的充分利用。

(3) 使梁呈现出一定的塑性变形特征,提高可靠度。

综上所述,对竹木结构的研究具有十分重要的意义。本书从基本构件出发,对胶合竹木梁进行短期受弯试验,分析该结构构件的受力性能,为该组合构件在实际工程中的推广提供理论依据。

1.2 国内外研究现状及发展趋势

1.2.1 竹木复合材材性研究

竹材与木材具有迥异的物理力学性能,将二者胶合在一起能够发挥各自优势,从而形成一种新的复合材料。从材性的角度出发对竹木复合材进行研究,是对相应构件受力性能研究的基础。在刘志坤等^[7]的研究中,他们以小径杉木、木束条及废竹片为原材料,研究了竹木复合积成方材的物理性能、生产工艺及力学性能,结果表明,竹木复合积成方材的强度主要取决于竹、木混杂比及其密度,该产品具有比较均匀的材质、良好的物理性能及力学性能,因此可广泛应用于室内装修及结构用材等领域。朱一辛等^[8]研究了影响竹木复合板水平剪切强度的因素,结果表明,其主要影响因素是跨度,其水平剪切强度随跨距的增大呈现负增长趋势,并给出了竹木复合板的合理跨距及其水平剪切强度的取值范围。蒋身学等^[9]对竹木复合层积材这一复合材料进行了性能试验与结构设计,结果表明,以高密度的竹帘胶合板为层面,芯层采用马尾松板的复合板,具有较好的物理性能及力学性能。该板经特殊工艺处理以后,能够满足铁路平车地板对握钉力、耐磨性及高强度等特殊性能的要求。王泉中等^[10]对复合层梁进行了研究,首先依据层合板理论及一阶剪切变形理论建立相关位移公式,推导出其在考虑湿效应情况下的势能函数表达式;随后运用材料力学中的等效梁理论推导其等效弹性模量,并比较不同理论下湿效应前后的等效弹性模量及弯曲变形。研究表明,当吸湿比例达30%时,其等效弹性模量损失超过50%,而在相同外荷载下的弯曲变形是原来的2倍。关明杰等^[11]在五种湿热条件下对木竹复合胶合板的弯曲性能进行了探究,结果表明,在各湿热条件下,木竹复合胶合板的弯曲性能从大到小依次是冰冻、常态、干热、冷水、热水。经冰冻处理后,木竹复合板弯曲性能呈现出正增长趋势;而经干态、冷水、热水处理后,木竹复合板弯曲性能呈现出负增长效应。经干热与冷水处理后,其弹性模量保持率大于静曲强度保持率;经热水处理后,其静曲强度保持率高于弹性模量保持率。在冰冻、冷水、干热状态下,木竹复合胶合板以脆性破坏为主;但经热水处理后的木竹复合胶合板则表现出一定的黏弹性特征。张晓冬等^[12]为研究竹木复合层板的力学损耗及破坏情况,对其进行了3 000 km可靠性路面疲劳试验、45万次动态扭转及50万次动态弯曲试验,并对经疲劳试验后的试件进行了弯曲力学性能测试。测试结果表明,对各项弯曲力学性能保留

率,经 3 000 km 可靠性路面测试后,其值均在 80% 以上;经 45 万次动态扭转试验后,其值均在 85% 以上;经 50 万次动态弯曲试验后,其值均在 90% 以上。李玲等^[13]在疲劳与蠕变荷载的交互作用下研究了竹木复合层板的断裂损失行为,结果表明,当竹木复合层板破坏荷载的 75% 为交变荷载的最大值时,其疲劳与蠕变断裂曲线呈三段式;当竹木复合层板破坏荷载的 55% 为交变荷载的最大值时,其疲劳与蠕变断裂曲线在 6 h 内呈两段式。其断裂寿命随蠕变时间的增长呈现负增长趋势。当破坏荷载的 75% 为交变荷载的最大值时,且蠕变荷载持续时间为 5 min,层板的损伤程度明显大于蠕变持续时间为 3 min 的。在疲劳与蠕变交互荷载作用下,其破坏形式主要表现为截面剪切破坏、层间开裂及纤维撕裂三种形式的综合。王东岳^[6]以东北落叶松、桉木、杨木及 SPF 等为原材料,制作出 102 个棱柱体试件,通过对棱柱体进行受压试验,并结合有限元分析,得出胶合木的顺纹抗压强度、弹性模量及力-位移关系曲线,并研究层板胶合木的受压性能受组坯方式、层板厚度、树种组合及树种类别等因素的影响,结果表明,SPF 材构件沿顺纹方向的受压性能最差;组坯方式及层板厚度对其受压性能的影响有限。

上述研究为本书的研究奠定了基础。

1.2.2 胶合竹、木梁受力性能及破坏形态的研究

将竹材或木材层板用黏结剂粘在一起可形成胶合竹、木梁,此类构件不受尺寸限制,能够分散或消除缺陷,是竹木结构发展历程中的一次飞跃。魏洋等^[14]通过 10 个大尺寸矩形竹梁试验,重点从结构构件层次研究了新型竹梁的受弯性能,结果表明,竹梁存在 4 种典型破坏形态,证实了竹梁允许承受的设计荷载由截面刚度控制,而非强度。刘伟庆等^[15]以江苏速生意杨为原料,共加工 31 根木梁,包括旋切板胶合木、层板胶合木等,对木梁结构性能的各影响因素进行分析,包括构件尺寸、单板厚度、荷载方向及层板组合方式等。许卫群^[16]对竹木复合夹芯梁,依据其弯曲变形的破坏过程,将横截面塑性区的扩展过程人为分成 4 个阶段,在平面假设的基础上给出其强度预测的理论模型。王文静等^[17]对 15 个有竹节和 15 个无竹节的试件进行拉伸试验,研究其抗拉强度、弹性模量及破坏形态,结果表明,有竹节试件,其抗拉强度比无竹节的低 31.17%,其弹性模量比无竹节的低 9.06%。在竹节附近,其横纹方向抗拉强度增加,而顺纹方向抗拉强度减小。左宏亮等^[18]将玄武岩纤维复合材料粘贴于胶合木梁上,通过受弯试验,研究不同层数玄武岩纤维板材及纤维布的增强效果。试验结果表明,玄武岩纤维复合

材料对胶合木梁受弯性能有较高的增强作用;与未经增强的胶合木梁相比,经玄武岩增强后,其延性系数提 23.0%~74.3%,抗弯强度提高 18.7%~27.7%,受弯极限承载力提高 20.88%~111.25%。此外,玄武岩纤维复合材料能明显缓解木材缺陷造成的不良影响。

国外研究主要集中在用新型材料对胶合木梁进行增强上。Ribeiro A. S. 等^[19]提出两种对胶合木进行增强的方法:一是将玻璃纤维与胶合木结合形成组合结构;二是将玻璃纤维板粘于胶合木下表面。其研究通过与传统胶合木梁的对比试验,对新型增强胶合木梁的各种性能进行了评价。Manalo A. C. 等^[20]将纤维材料与木材层板组合,制成胶合夹心梁,分析组合夹层数量及放置方式对破坏形态、强度及刚度的影响。Issa C. A. 等^[21]对胶合木梁分别进行了 CFRP 加固、钢板加固及未加固的对比试验。比较结果表明,胶合木梁经加固后,破坏形态能由脆性逐渐转变为延性,且承载能力有明显的提高。Toratti T. 等^[22]在胶合木的上表面及下表面粘贴短纤维增强的超高强混凝土层,然后进行受弯试验,结果表明,经超高强混凝土层增强后,抗弯刚度降低,但极限强度有较大提高。此后,Ferrier E. 等^[23]通过理论分析及有限元分析,深入地研究了该种组合梁的抗弯性能。

上述针对非预应力胶合竹、木梁及竹木复合梁所进行的研究,从影响因素、研究内容、加载方式、增强方式等多方面为本书后续的研究工作提供了支持,同时也是本书重要的参考资料。

1.2.3 预应力木梁研究

根据木梁受力特点,国内外许多学者提出对普通木梁或胶合木梁施加预应力。张继梅等^[24~26]提出对木梁张弦施加预应力,并根据相应试验结果证实了:在刚度方面,施加预应力后的木梁比普通木梁有大幅度提高,最后给出此类构件的刚度影响因素及挠度计算方法。此后,其通过 ANSYS 有限元分析,对张弦木梁的变形性能及其影响因素进行了研究,后续还对预应力损失进行了初步探讨。Luca V. D. 等^[27]的研究通过拧紧位于钢筋端部的螺帽对组合梁施加预应力,对预应力胶合木梁及传统胶合木梁进行对比分析,结果表明,预应力使梁的刚度及延性均有较大幅度的提高。在文献 [28~30] 中,研究者对预应力钢-木组合梁及预应力木梁,通过试验研究及理论分析,推导其在承受集中荷载下的挠度计算公式,并分析了预应力值对弯曲性能的影响。在文献 [31~34] 中,研究者通过预应力纤维材料对木梁进行加固,并提出施加预应力的方法——预弯法,最后通过理论推导,在平截面假定的基础上,给出了计算方法。Anshari B. 等^[35]提出在胶合木梁上部 1/3 范

围开矩形凹槽,并在其中放入干燥的压缩木块,进而利用木材的湿胀特性施加预应力,通过该方法施加预应力的梁,虽强度提高不大,但刚度却提高明显。赵婷婷^[36]对9根普通胶合木梁、36根预应力胶合木张弦梁进行了受弯试验,分别从荷载-应变关系、荷载-挠度关系、破坏形态及极限荷载等方面研究预应力筋根数及预加力值对胶合木张弦梁受弯性能的影响。

以上针对预应力木梁的研究,在预应力对梁受弯性能、破坏形态等方面的影响做出了探究。然而,前述研究并未涉及竹木复合材,且竹木复合材更适合施加预应力。

1.3 存在的问题

(1) 目前很多学者都是从各自材料的角度对竹木复合材的力学性能进行探索,但由于竹木复合材力学性能测试方法及标准试块尺寸并没有统一的行业标准,导致研究成果在一定程度上没有定量的可比性。竹材与木材的弹性模量相对较低,胶合竹梁、胶合木梁的变形较大,受固有属性蠕变的影响,导致长期荷载作用下变形进一步增大,使结构的安全性存在很大的隐患,竹、木梁承载能力状态设计基本采用刚度控制,并非强度控制。普通胶合竹梁、木梁受弯时发生脆断破坏,破坏具有突然性,首先梁底纤维受拉达到极限状态,进而跨中挠度进一步增大,受压区材料没有得到充分发挥,在造成资源浪费的同时对竹、木梁的推广应用不利。

(2) 从梁体材料的角度上讲,目前的研究大多集中在对增强胶合木梁、增强胶合竹梁、胶合木梁、胶合竹梁及预应力胶合木梁上,尚无对更适合施加预应力的胶合竹木梁的研究;且需要一种不对梁体造成削弱、使竹木梁与预应力钢丝分离工作,以更大程度地实现全截面受压的新型的端部锚固装置。从梁体受弯性能影响因素的角度讲,虽通过理论分析可以验证预应力胶合竹木梁的受力具有合理性,但是,针对预应力钢丝根数及预应力值对预应力胶合竹木梁的影响程度尚未进行相关的试验验证,且缺乏相应的定性、定量关系,这就导致该类结构构件无法直接应用于实际工程中。从经济性的角度讲,关于预应力胶合竹木梁的承载力优势尚不明确,施加预应力的经济性尚无定量评估。从有限分析的角度讲,在利用ABAQUS进行有限元分析时,研究对象大多只针对胶合木,且多采用各向异性弹性本构,而采用各向异性弹塑性本构模型对竹木复合材进行有限元分析的经验相对较少。

(3) 根据前人成果,目前不管是从材料角度,还是从加工成梁构件角度来说,对胶合木的蠕变研究成果已有很多,但是重组竹作为新型材料,其

长期试验的研究成果较少。而综合使用两种材料的胶合竹木梁的破坏形式、极限荷载和刚度未知,蠕变对其长期受弯性能的影响还有待研究。现阶段的研究成果主要集中在梁本身的蠕变性能,且有部分成果已经深入预应力梁的长期受弯性能,但预应力对梁蠕变的影响并未有具体分析,而预应力的改变又包含了预应力筋数量和总预加力数值大小两个方面,关于这两个方面对梁长期受力性能影响的研究很少,需要后来人的探索和补充。现有文献对梁长期蠕变试验期间所施加的荷载均以使用荷载或固定荷载为主,以长期试验过程中的长期荷载大小作为变量的蠕变试验还未有很多研究成果,因此,研究长期荷载大小对梁长期蠕变性能,即梁长期挠度、钢筋应变等的影响是一个新的方向。目前,预应力梁中的预应力大小一般在使用过程中难以改变,因此关于预应力调控对长期加载后的预应力梁的受弯性能的影响的研究较少。虽然已有可对胶合木梁中的预应力大小进行随时调控的施加预应力的方法,但此装置用于胶合竹木梁后,对预应力胶合竹木梁长期加载后的短期受力性能影响仍需试验研究。

1.4 本书开展的主要工作

针对以上所列的问题,本书主要开展以下工作。

(1) 研究胶合竹木复合材试块的受压性能,选取4种木材(SPF1级、杨木、桉木、东北落叶松)和2种竹材(胶合竹、重组竹)制作4批次22组共计132个棱柱体试块,研究材料种类、组合、层板厚度、组坯方式等因素对竹木复合材受压性能的影响,对比分析竹木复合材的顺纹抗压强度、抗压弹性模量、延性及破坏机理,探讨竹木组合共同工作的可能性,为选择和制作预应力胶合竹木梁提供参考。

(2) 基于选材的目的,研究预应力胶合竹木梁的受弯性能。在胶合竹木复合材试块受压试验的基础上,选择合适的竹木材料和层板厚度来制作预应力胶合竹木梁,研究不同竹木组合及不同组坯方式的梁的受弯性能和破坏形态,为预应力胶合竹木梁提供选材方案。

(3) 对预应力胶合竹木梁,通过短期受弯试验,研究随着预应力钢丝数量及预应力值的改变,其承载能力、变形能力及破坏形态的变化趋势。将无预应力筋的普通胶合竹木梁与预应力胶合竹木梁进行对比分析,研究预应力对胶合竹木梁承载能力的影响,并计算在相同承载能力下普通胶合竹木梁与预应力胶合竹木梁的截面尺寸差;然后依据胶合竹木材及预应力钢丝的当前市场价格,并考虑端部锚固装置、张弦装置等费用,综合评价预应力胶合

竹木梁的经济性。

(4) 利用有限元分析软件 ABAQUS, 按各向异性弹塑性本构关系建立预应力胶合竹木模型。通过改变等效预应力钢丝数量及预应力值等参数, 对预应力胶合竹木梁进行理论分析, 并对比 ABAQUS 分析结果与实际试验结果, 分析有限元分析结果与试验结果存在的差异及产生差异的原因。

(5) 通过预应力胶合竹木梁的长期受弯试验, 首先保证梁具有相同预加力大小的同时, 改变梁的预应力筋数量, 分析梁在长期加载过程中的预应力钢丝应力变化和长期挠度变化, 得到预应力胶合竹木梁长期受弯性能随预应力筋数量增加和胶合竹木蠕变的变化规律, 并思考优化方案; 其次在保证梁具有相同的预应力筋数量的同时, 改变梁的预加力大小, 研究预应力胶合竹木梁在使用荷载作用下的变形性能, 得到预应力胶合竹木梁长期受弯性能随预应力大小增加和胶合竹木蠕变的变化规律, 给出设计建议; 最后对预加力大小相同、预应力筋数量相同的一组预应力胶合竹木梁施加不同长期荷载, 研究其在长期加载过程中预应力钢丝应力变化和长期挠度变化, 评价长期荷载大小对预应力胶合竹木梁长期受弯性能的影响, 给出设计建议。

(6) 长期试验后, 调整预应力将发生蠕变的部分梁变形调整恢复至长期加载初期, 通过长期加载后的短期加载破坏试验, 对比没有发生蠕变的梁、蠕变后的梁和蠕变后经过预应力调控的梁的试验现象和受力性能, 评价胶合竹木蠕变和预应力筋调控对预应力胶合竹木梁短期受力性能的影响。