

竹筋混凝土性能及其开发应用

邓绍云^{1,2}, 蓝宏民^{1,2*}, 邱清华^{2,3}

¹北部湾大学建筑工程学院, 广西 钦州

²北部湾大学创新创业学院, 广西 钦州

³北部湾大学陶瓷与设计学院, 广西 钦州

收稿日期: 2025年2月8日; 录用日期: 2025年3月1日; 发布日期: 2025年3月11日

摘 要

采用文献计量和文献综述的研究方法, 对国内竹筋混凝土性能和开发应用的研究成果进行了全方面的梳理, 回顾了国内竹筋混凝土性能的研究和开发应用的历史过程及历史背景。通过详尽细致地统计分析表明我国竹筋混凝土性能研究缘于为了节能减排、降低材料的消耗和能耗, 节约项目经费, 降低工程成本, 充分高效利用竹及其竹制品的优良特性; 研究表明: 表面经过凹凸刻痕处理的竹筋与混凝土的黏结性能不是很差, 较之钢筋与混凝土的黏结差距不是很大; 竹芯竹筋混凝土抗弯性能略高于素混凝土, 远低于钢筋混凝土; 在对混凝土结构的抗弯要求不高的情况下, 竹筋可以代替钢筋用于混凝土工程中, 可按普通钢筋的抗拉强度的三分之一来换算, 但只能用于非重要和关键的构件; 竹纤维可以提高混凝土强度。基于这些特性, 竹筋混凝土可以且主要用于: 低强度要求的路面工程、低抗弯要求的滩涂围填工程中的桩柱工程、土建非承重墙板构件、承载压弯要求很低的简易梁楼板构件、需抗震隔热隔音的非受力的墙板构件及其他非主要受力构件。文章最后指出了研究存在的问题和不足, 也指明了后期努力方向。

关键词

竹筋混凝土, 性能, 开发应用

Properties and Development and Application of Bamboo Reinforced Concrete

Shaoyun Deng^{1,2}, Hongmin Lan^{1,2*}, Qinghua Qiu^{2,3}

¹College of Civil Engineering and Architecture, Beibu Gulf University, Qinzhou Guangxi

²College of Innovation and Entrepreneurship, Beibu Gulf University, Qinzhou Guangxi

³College of Ceramics and Design, Beibu Gulf University, Qinzhou Guangxi

*通讯作者。

文章引用: 邓绍云, 蓝宏民, 邱清华. 竹筋混凝土性能及其开发应用[J]. 材料科学, 2025, 15(3): 356-369.
DOI: 10.12677/ms.2025.153041

Received: Feb. 8th, 2025; accepted: Mar. 1st, 2025; published: Mar. 11th, 2025

Abstract

By means of literature metrology and literature review, the research results of bamboo reinforced concrete properties and development and applications in China were reviewed, and the historical process and background of the research, development and application of bamboo reinforced concrete properties in China were reviewed. The detailed statistical analysis shows that the research of bamboo reinforced concrete performance in China is due to energy saving, reducing material consumption and energy consumption, saving project funds, reducing project costs, and making full and efficient use of bamboo and its bamboo products. The results show that the bonding performance of bamboo bar with concrete is not very bad, and the difference between the bonding performance of steel bar and concrete is not very big. The flexural performance of bamboo-reinforced concrete with bamboo core is slightly higher than that of plain concrete and much lower than that of reinforced concrete. When the flexural requirement of concrete structure is not high, bamboo reinforcement can be used instead of steel reinforcement in concrete engineering. It can be converted according to one third of the tensile strength of ordinary steel reinforcement, but it can only be used for non-important and critical components. Bamboo fiber can improve the strength of concrete. Based on these characteristics, bamboo reinforced concrete can be mainly used for: pavement engineering with low strength requirements, pile engineering in beach enclosure filling engineering with low bending requirements, civil non-load-bearing wallboard members, simple beam floor members with low load-bearing bending requirements, non-stressed wallboard members requiring seismic insulation and sound insulation, and other non-major stressed members. At last, the paper points out the existing problems and shortcomings of the research, and also points out the direction of later efforts.

Keywords

Bamboo Reinforced Concrete, Performance, Development and Application

Copyright © 2025 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

竹筋(竹条)混凝土指用竹子作材料代替混凝土中所使用的钢筋。把竹筋绑扎后浇灌混凝土,就成为竹筋混凝土构件。竹筋混凝土结构用竹子代替钢筋,一方面降低造价;另一方面竹子方便取材,降低能耗,绿色环保。竹筋混凝土以竹子和竹片及竹条作为混凝土的添加材料,竹子和竹片及竹条作为竹筋混凝土结构的抗拉、抗剪和抗扭材料,同时竹子和竹片及竹条作为混凝土的连接和箍栓作用,混凝土起抗压作用。当然,竹子和竹片及竹条的抗拉、抗剪及抗扭的强度都不大,但经过一定的工艺制作的竹筋混凝土是可以用于恰当的工程结构和工程构件中。

竹筋混凝土作为一种绿色、环保、可持续发展的建筑材料,近年来受到了国内外学者的广泛关注并加以研究,其研究主要进展体现在:1) 材料性能研究;2) 抗弯性能研究;3) 组合筋混凝土研究;4) 竹筋混凝土预制构件研究;5) 竹筋混凝土应用研究;6) 相关改进措施研究。

总之,竹筋混凝土研究取得了显著的进展,但仍需进一步深入研究,以解决其存在的不足,为实际

工程应用提供更加可靠的理论依据和技术支持。在未来,竹筋混凝土有望在绿色建筑、可持续发展和环保方面发挥重要作用。

2. 数据来源与研究方法

2.1. 数据来源

对我国科研工作者针对竹筋混凝土结构性能的研究文献进行统计分析是对国内竹筋混凝土性能研究进展的最佳及有效途径。

检索相关“竹筋混凝土”研究文献以北部湾大学图书馆检索为主,以其他高校图书馆检索为辅。北部湾大学图书馆购买有中文数据库:有中国知网、维普、万方、博看期刊数据库、超星汇雅电子书、畅想之星电子图书和书生之家电子图书等,有外文数据库如:SCIE 数据库、SpringLink 数据库、Wiley 数据库、ScienceDirect、EBSCO 数据库、EBM 外文电子书、金图国际外文数字图书馆(电子书)、NSTL 回溯数据服务平台、CALIS 外文期刊网、ASFA 水生科学和渔业文摘数据库,有试用数据库如:新学术新知学术发现系统、SpiScholar 学术资源在线、百度文库、DDS 学位论文集成发现系统、EBSCO 系列子数据库、SpecialSci 数据库、墨香华文数字报纸搜索服务平台、Worldlib-Sci 精品学术论文、Worldlib Excel 国外优秀学术论文等等,有开放数据库如开放获取论文一站式发现平台(GoOA)、国家科技报告服务系统(NSTRS)、汉斯国际中文开源期刊、国家标准全文公开系统等等。

所以,检索源非常丰富多样,检索步骤、检索方法正确,所能检索到的文献已经足够全面,漏检极少,也就是说本文所检索到的文献非常可靠。

2.2. 研究方法

研究方法采用调查分析的方法与文献综述的方法相结合,调查分析又以网络调查为主,网络调查又以电子图书馆资料调查为核心,通过对所调查搜集到的相关资料进行统计分析,从中总结归纳出相应的结论和规律。

具体的方法和途径是:对从较为全面的文献检索源北部湾大学电子图书馆,中国知网、万方数据库、维普数据库、百度学术和谷歌学术等数据库搜集搜全搜准相关文献进行统计分析,获得基础数据,并将这些文献搜索范围逐步缩小和固定准确,得到进一步精准和缩小范围的数据,再借助科学知识图谱工具 CiteSpace 和文献引文数据分析软件 HistCite,展示该主题领域的核心作者、文献互引、学科分布等信息,并重点对文献的关键词共现网络进行可视化分析,进行探究本主题领域研究热点和发展脉络,为后续研究找到空白处和切入点,预测未来研究方向和发展趋势。

3. 研究现状

3.1. 研究总体情况

查找“竹筋混凝土”相关科研成果可以通过多种方法和途径去搜索和查找及收集,不如网络查找,如通过检索引擎进行搜索,如百度、谷歌等;比较专业的网络检索如百度学术搜索或谷歌学术搜索;也可以通过图书馆查找,但传统的图书馆查找已经淘汰了,现在往往是在电子图书馆进行查找。由于电子图书馆搜集了众多类型的文献有:期刊文献、图书、硕博学位论文、会议论文、技术标准、专利、法规条例、科研成果、科技研究多媒体、报纸报道等等。首先,在电子图书馆检索查找“竹筋混凝土”相关科研成果,非常方便高效,省时省钱省力。此外,科研成果没有公开发表则不算是真实的科研成果,也就是说电子图书馆查找不到的成果可以忽略。所以,分别以“任意字段 = 竹筋混凝土”、“标题 = 竹筋混凝土”、“关键词 = 竹筋混凝土”为检索条件在北部湾大学电子图书馆检索到的结果记录如下统计表 1。

Table 1. Literature search statistics on “bamboo reinforced concrete” in China
表 1. 我国相关“竹筋混凝土”研究文献检索统计

检索条件	文献							
	期刊文献	硕博学位论文	会议论文	图书	专利	科技成果	法律法规	其他文献
任意字段 = 竹筋混凝土	91	18	8	3	109	3	1	0
标题 = 竹筋混凝土	46	12	2	3	26	0	1	0
关键词 = 竹筋混凝土	30	2	2	0	22	0	0	0

从统计**表 1**可见，以“任意字段 = 竹筋混凝土”为检索条件所检索到的文献最多，有 233 条文献，其中专利 109 项、期刊文献 91 篇、硕博学位论文 18 篇、会议论文 8 篇、图书 3 册、科研成果 3 篇、相关法律法规 1 篇。中文文献 230 篇、英文文献 3 篇。这个数量对于一个领域方面的研究成果不多，也就是说我国对于竹筋混凝土研究没有多大兴趣。

下文从这些所检索到的文献进行剖析及推断，以便对国内对竹筋混凝土的研究历程、研究原因、研究成果和研究动态进行详细的梳理和陈述。

在图书馆馆藏书刊中找到三部相关图书：1) 1957 年，由建筑工程出版社出版的建筑科学研究院编写的《关于竹筋混凝土的研究论文集》；2) 1956 年，建筑工程出版社出版的细田贯一所编写的《竹筋混凝土》；3) 1960 年，由安徽煤炭厅设计院编写、煤炭工业出版社出版的《竹筋混凝土道板的试验》。

从这个三部图书文献可见我国上个世纪五十年代就开始研究和开发应用竹筋混凝土，这跟当年我国经济极度困难有密切联系，在这种经济困顿的年代，一切从简，钢铁产量有限，为此，采用竹筋代替钢筋，用于一些受压道路、水库大坝等构件。在开发应用竹筋混凝土结构问题上，我国建设管理部门非常谨慎，1957 年，国家建设委员会经过调查研究指出暂时停止推广使用竹筋混凝土制作建筑物的承重构件。

Table 2. The number of related “bamboo reinforced concrete” research literature published year by year
表 2. 相关“竹筋混凝土”研究文献逐年发表数量

年度	篇数	年度	篇数	年度	篇数	年度	篇数	年度	篇数	年度	篇数
1937	1	1980	1	1995	2	2003	1	2011	1	2019	16
1940	1	1982	1	1996	2	2004	1	2012	10	2020	13
1943	3	1986	4	1997	1	2005	1	2013	7	2021	8
1956	3	1988	2	1998	3	2006	3	2014	18	2022	8
1957	12	1989	4	1999	2	2007	8	2015	19	2023	8
1958	3	1990	1	2000	2	2008	3	2016	11		
1959	1	1992	3	2001	2	2009	2	2017	16		
1960	2	1994	2	2002	1	2010	9	2018	10		

对“竹筋混凝土”相关研究文献的检索统计年度发表篇数如上**表 2**所示，从该**表 2**统计分析可知：我国对于“竹筋混凝土”相关研究始于上个世纪三、四十年代，正值中国抗战艰苦时期，这个时候的竹筋混凝土的研究开发和利用与当时的建筑物结构寿命及强度要求不是很高有密切关系，同时与国家工业落后钢铁产量极低和经济贫困有密切关系。1957 年有个大的猛增，但也是非常短暂，跟当时新中国刚成立不久，需要建设，但工业产值和经济都极为不乐观有密切关联；而后又进入低迷状态，跟竹筋混凝土

本身的强度低有密切关系；1980 年至 2011 年长达三十年，在改革开放经济复苏，教育科研高涨时代，相关“竹筋混凝土”研究成果依旧极少，这跟“竹筋混凝土”本身的弱点和劣性有关。2012 年起对于“竹筋混凝土”研究有所复苏，热情开始有所增长，这跟近些年材料科学的发展及生态环保节能减排意识的增长有密切关联。

3.2. 相关高水平期刊论文统计分析

高水平期刊论文往往代表某一领域方面的科研真实水平，统计分析“竹筋混凝土”相关高水平论文具有非常重大意义，十分必要。高水平期刊论文主要指 SCI 收录期刊、SSCI 收录期刊、EI 收录期刊、CSCD 收录期刊、CSSCI 收录期刊、北大核心期刊论文。检索统计结果如表 3 所示，只有 6 篇高水平论文。可见，竹筋混凝土并没有引起广大科研工作者的重视。

Table 3. Related “bamboo reinforced concrete” research high-level paper
表 3. 相关“竹筋混凝土”研究高水平论文

检索条件		检索结果				
	序号	作者	题名	期刊	时间	收录期刊
标题 = 竹筋混凝土 关键词 = 竹筋混凝土	1	侯和涛、陈璐、孙燕飞、吕忠珑	竹筋陶粒混凝土的黏结性能	建筑材料科学学报	2013.08	EI、CSCD、北大核心
	2	龙激波、李念平、王倩、曾德军、苏林	竹筋混凝土的热湿应力分析	湖南大学学报(自然科学版)	2010.12	EI、CSCD、北大核心
	3	吴以莉、江爱民	竹筋混凝土楼板校核	工程力学	2001.02	北大核心
	4	黄凯、谢吉鸿、邹立华、张天宇、钟坤禄、江涛	新型改性竹筋混凝土偏压柱力学性能试验研究	应用基础与工程科学学报	2016.12	EI、CSCD、北大核心
	5	邹立华、钟坤禄、谢吉鸿、张天宇、李梁峰、黄凯	改性竹筋混凝土受弯构件力学性能试验研究	土木工程建筑与环境工程	2015.10	北大核心
	6	祝明桥、王华、汪建群、龙勇	竹芯竹筋混凝土单向板抗弯承载力试验研究	工业建筑	2017.01	北大核心

3.3. 相关期刊作者统计分析

统计归纳分析某一领域方向研究成果作者具有一定的现实意义，同时剖析这些作者之间的合作关系也能清晰看到该领域方向研究团队的建设情况。从中间接剖析该领域方向的研究热度和研究力度。考虑到期刊论文能较好地反映作者信息和资助情况等，从而缩窄检索源为中国知网(因中国知网收录期刊论文高于维普与万方数据库)能较为准确统计分析。

以“竹筋混凝土”为主题在中国知网检索，共检索到 90 篇论文，其中学术期刊论文 68 篇、硕博学位论文 16 篇、会议论文 3 篇。以这 90 篇论文的题录来进行统计分析，分析作者出现的频数，统计如下表 4 所示。

可见相关论文作者出现的频数都是极低，最高才是 3，且频数为 3 的作者数量也只是 5 人，频数为 2 的不过 16 人，而这统计的是作者出现频数，而非第一作者出现频数，从而则可以得知相关作者合作关系较少，也就可以统计分析知道对于“竹筋混凝土”的研究没有形成较好的研究团队和研究氛围。

Table 4. Authors of relevant papers and their frequency statistics
表 4. 相关论文作者及出现频数统计

作者	频数	作者	频数	作者	频数
廖术龙	3	张天宇	2	靳贝贝	2
侯和涛	3	王彦明	2	邹立华	2
谢吉鸿	3	王恺	2	田黎敏	2
龙勇	3	郝际平	2	祝明桥	2
钟坤禄	3	周健	2	黄凯	2
方明霁	2	王华	2	赵洪	2
孙燕飞	2	孙国俊	2	于芳芳	2

3.4. 相关资助统计分析

科学研究需要付出人力、物力和财力，研究论文的产生一般依附于相关的科研项目，而科研项目的高低等级一方面反映得到申报获得的难易程度，另一方面反映国家和地方对该方面研究的重视和支持态度和力度。所以，统计分析相关论文的资助项目具有十分重要的意义和较大价值。统计如下表 5 所示，可见相关论文的资助较少，很少的几项资助基金，国家自科基金占据一半以上，反映国家支持很少，地方支持极少，这可能与“竹筋混凝土”的研究价值和研究意义还没有得到国家和地方的重视有密切关联。

Table 5. Statistics of relevant funding funds
表 5. 相关资助基金统计

资助基金类型	国家自科基金	山东自科基金	湖南自科基金	江苏自科基金	海南自科基金	建设部科技计划项目	教育部人文社科项目
数量	12	2	2	1	1	2	1

3.5. 相关硕博论文统计分析

高校三大功能中的首要功能是培养人才，而硕士、博士是高层次人才，硕士、博士的培养往往依附其硕导和博导的科研项目，所以，硕博论文也是某一领域方面研究成果统计分析的对象之一，非常值得重视和践行。

对于我国相关“竹筋混凝土”硕博论文统计发现没有一篇博士论文，有 16 篇硕士论文，列表 6 如下：从表 6 分析可见，真实相关的硕士学位论文只有 11 篇，其他的 5 篇只是稍微相关而已。可见非常之少，竹筋混凝土的研究没有引起高校教师的关注。

3.6. 相关专利统计分析

在中国知网数据库以“竹筋混凝土”为主题检索到 70 条专利文献，现对这些相关专利文献加以统计分析，通过分析发现相关“竹筋混凝土”的专利数量较多，其申报热度高于发表对“竹筋混凝土”研究相关论文的热度。这 70 项专利中，中国专利为 66 项、海外专利 4 项、其他专利 4 项；而这 70 项专利中有 5 项由湘潭大学申报的，有 4 项是由海南大学申报的，其他 61 项由其他单位申报。这 70 项专利中获得授权的实用新型专利有 36 项，发明专利公开 23 项，发明专利授权 7 项。

Table 6. Statistics of master’s degree thesis on “bamboo reinforced concrete” in China
表 6. 我国相关“竹筋混凝土”研究硕士学位论文统计

序号	题名	作者	授予单位	时间	引用次数
1	竹筋与混凝土粘结滑移数值模拟研究	楚帅	福州大学	2017	3
2	竹芯竹筋混凝土梁抗弯性能试验研究	王华	湖南科技大学	2017	2
3	竹芯竹筋混凝土单向板受力性能试验研究与分析	龙勇	湖南科技大学	2016	1
4	新型竹筋混凝土受弯构件力学性能研究	钟坤禄	福州大学	2015	2
5	新型竹筋混凝土偏压柱力学性能研究	谢吉鸿	福州大学	2015	1
6	配竹筋混凝土小型空心砌块墙抗震性能试验研究	廖术龙	昆明理工大学	2015	2
7	竹筋陶粒混凝土粘结滑移性能研究	周健	山东大学	2015	6
8	竹筋混凝土复合墙板的抗弯与热工性能分析	李晶晶	山东大学	2015	13
9	竹筋 CFRP 箍筋混凝土短柱轴压力学性能的试验研究	于芳芳	延边大学	2014	2
10	竹筋混凝土梁抗弯性能试验研究	高山源源	合肥工业大学	2014	6
11	节能装配式轻型房屋的分析与设计	孙燕飞	山东大学	2014	14
12	预制竹筋多孔混凝土板研究	赵洪	华南理工大学	2013	7
13	盈江地震中民居混凝土小型空心砌块墙体震害分析及 简易抗震措施研究	陈忠辉	昆明理工大学	2012	6
14	轻钢装配式住宅的设计与应用研究	刘玮龙	山东大学	2012	50
15	楠竹力学性能试验研究及分析	李旭	湖南大学	2011	36
16	玻璃钢——菱镁混凝土复合构件纯弯性能研究	余俊兴	兰州理工大学	2008	

4. 研究内容梳理

从前文文献调查和统计分析得知：我国对“竹筋混凝土”研究内容主要集中在两个方面：竹筋混凝土性能研究和竹筋混凝土的施工方面。其更为详细、更为具体体现在以下十四点上。

4.1. 竹筋与混凝土黏结性能的研究

在这一方面的研究是关注竹筋混凝土研究的科研工作者最为着眼的研究问题之一。梁光远等[1]通过黏结试验研究不同竹筋刻槽及穿销钉的方式对竹筋与混凝土黏结性能的影响。试验结果表明在一定范围内随着刻槽密度的提升，两者的黏结性能随之提升，超过密度反而减弱二者的黏结力；而穿销钉导致竹筋剪切破坏，进而减小了两者之间的黏结能力。侯和涛等[2]对竹筋与陶粒混凝土的黏结性能开展了拉拔试验，研究得出结论：无刻痕竹筋陶粒混凝土的黏结破坏形式主要为拔出破坏，而带刻痕重组材竹筋陶粒混凝土的黏结破坏形式则是肋间混凝土被剪坏；同等条件下，重组材竹筋陶粒混凝土极限黏结强度高于层积材竹筋陶粒混凝土，但低于塑料筋陶粒混凝土；当竹筋刻痕间距为 15 mm 时，带刻痕重组材竹筋陶粒混凝土的极限黏结强度最高，根据试验结果拟合出了重组材竹筋与陶粒混凝土的锚固长度计算公式，这样的公式具有工程实践指导意义。

4.2. 竹芯竹筋混凝土抗弯性能研究

承受弯矩作用的建筑构件叫作梁或板，竹材在其纤维方向的抗拉性能较好，但其纤维垂直方向的抗

拉性能就非常差,虽然较之钢筋竹材有力学上的很多劣势,但在某种特定的工艺制作上,可以作为材料制作为竹芯竹筋混凝土应用于非主要受力或受力较小的梁板结构构件中。当然,这种工程应用必须以一定的科研认识为基础。研究文献[3]告知人们竹材的顺纹抗拉强度与含水率有密切关系,其最佳含水率为11.5%,且竹筋的顺纹抗拉强度设计值可以达到60 MPa,且竹条作为箍筋的情形下,能在一定的程度上提高混凝土的抗裂强度,减小混凝土裂缝产生的几率和裂缝开展的程度,竹芯竹筋混凝土梁的受弯承载特性和能力与钢筋混凝土梁具有很大的相似性,且可以套用钢筋混凝土受弯承载力的计算方法,不过需要乘以一个折减系数,具体这个折减系数多大与实际情形密切关系。这些研究结论为竹芯竹筋混凝土应用于梁板构件提供了理论基础。但是笔者对竹筋混凝土梁的开裂弯矩和正常使用极限状态弯矩的相关实验和验算理论有待探究补充和完善。

竹以其空心,从而竹芯混凝土梁板构件能大大减轻自重,且因竹材为塑性材料,具有显著的塑性变形和屈服现象,在受力时可以发生较大的变形而不立即断裂,表现出一定的塑性和韧性,当然它的塑性和韧性相对于钢筋差得远。这就促使人们研究竹芯混凝土板的抗弯性能,研究文献[4]-[6]告知人们竹芯竹筋混凝土适合制作为单向板而非双向板,可采用丙乳防水砂浆对毛竹表面进行防水防腐处理。且其延性较好,受弯过程呈现两阶段(开裂前弹性阶段和开裂后的带裂工作阶段)特性。人们可以近似按普通混凝土开裂荷载计算方法计算竹芯竹筋混凝土板,但提高毛竹配筋率对混凝土板开裂荷载的影响较小。

但竹芯竹筋混凝土梁,因竹筋的冷塑性能较差,难以能像钢筋混凝土梁一样采用弯锚形式,而不得已采用直锚锚固,从而竹芯竹筋混凝土梁直锚锚固承载力就值得人们探究,文献[7]提出了其直锚锚固承载力的近似计算方法,该方法实质就是混凝土与竹筋之间的黏结强度乘以锚固竹周面积再加以折减,但竹筋与混凝土的黏结力必须通过具体实验获得。

竹筋混凝土梁的抗弯承载显著高于素混凝土梁,所以,竹芯竹筋混凝土梁板在工程实际中具有一定的应用价值,可以加以推广用于适当的情形,研究表明在配筋率介于3%~6%时,能够充分利用竹筋的抗拉强度[4]-[7]。竹芯竹筋混凝土梁板构件的力学性能的提高,有个影响因素值得人们关注,就是竹筋与混凝土的黏结能力的改善和提高,一方面人们可以通过对竹筋采取一定的工艺措施,提高竹筋与混凝土的摩擦力和咬合力;另一方面,可以从混凝土制作方面加以改进,比如采用人工砂石拌制混凝土能增加混凝土的粗糙度,增加其与竹筋的摩擦力和咬合力。研究文献[8]指出指出采用机制砂代替天然砂可以提高竹筋与混凝土的黏结和摩擦减少滑移,从而提高竹芯竹筋混凝土梁板的承载能力,这种方法值得推广和继续探索。

4.3. 竹筋代替钢筋的分析

以竹筋代替钢筋的竹筋混凝土受弯构件既能够减少建筑行业对钢材的需求,又能够减少碳排放。文献[7]-[12]分析讨论了用竹筋代替钢筋的价值和利益及得失,普遍认为竹材在适合的含水率的条件下,其顺纹抗拉强度还可以,其抗拉强度可以达到普通钢筋的1/3,经过简单的加工处理后是可以在一些非重要和关键构件中代替钢筋,以降低工程造价和绿色节能环保的。但竹筋与混凝土的黏结问题是个需要突破的瓶颈问题,这个问题突破在可以大大拓宽竹筋替代钢筋的应用。

4.4. 竹纤维含量对混凝土强度的影响

在普通混凝土中加入竹纤维筋形成一种复合竹纤维混凝土,竹纤维在混凝土中呈多向分布,可阻碍混凝土内部微裂缝的扩展和宏观裂缝的发生和发展,它能提高混凝土的抗裂性能和抗拉强度。杨凌等[13]为了揭示竹纤维含量和长度对混凝土力学性能的影响,提出了3种含量和3种规格竹纤维长度的竹纤维混凝土试件进行28 d抗压、抗折、抗拉强度试验。试验结果表明竹纤维混凝土抗压强度随着竹纤维掺合

量增加而降低,在小于 5%竹纤维掺合量时,竹纤维相同掺合量,竹纤维长度越长,抗压强度降低幅度越大;竹纤维混凝土抗折、抗拉强度随竹纤维掺合量的增加有着较大提高,在相同竹纤维掺合量下,竹纤维长度越长,提高幅度越大;说明竹纤维对混凝土的强度影响大,特别是对竹纤维抗拉强度充分发挥,抗拉和抗折强度均有较大提高。

4.5. 竹筋混凝土桩柱的抗压问题

桩柱是承压构件,用竹筋代替桩柱中的钢筋与混凝土浇筑用于受压构件而为竹筋混凝土桩柱,在上个世纪经济困难,钢材紧缺的年代,竹筋混凝土桩被应用于某些海塘的挡土板桩,但其制作工艺值得探究,合适的工艺能提升竹筋混凝土桩的抗压性能及其他性能。文献[14]陈诺等探讨了钱塘江海塘竹筋混凝土桩工艺史。文献[15]中张余笼统地指出竹筋混凝土柱在建筑结构中的应用优于竹柱,但没有做出深入的研究与探讨。

4.6. 竹筋混凝土技术在建筑结构中的应用

文献[16]归纳了国内外研究普遍认为:竹材的物理力学性能随竹竿直径、长度、竹龄、物种、沿竹竿高度以及含水率等不同而异的结论。笔者认为竹材能够替代钢筋应用于混凝土结构单元的重要特性之一是其优良的抗拉强度,竹材的抗拉强度一般比木材的抗拉强度大,约为钢材抗拉强度的 1/2。相对于钢材而言,竹材的质轻,因此竹材的抗拉强度与重量比是钢材的抗拉强度与重量比的 6 倍多;但竹材的弹性模量较小,在相同条件下竹筋混凝土单元的开裂和变形比钢筋混凝土单元的开裂和变形都大。

整体而言,竹筋的优良物理力学特性为:1) 较高的抗拉强度;2) 相对钢材有较大的强重比;3) 吸震和抗震性能好;4) 易加工处理。竹筋混凝土技术在建筑结构中的应用在于:1) 竹筋混凝土梁;2) 竹筋混凝土柱;3) 竹筋混凝土板;4) 竹筋混凝土墙。但张余[15]认为竹筋混凝土的抗腐蚀性极佳,这个观点值得怀疑和研究。

4.7. 竹基纤维复合材料筋与混凝土的锚固性能问题

竹基纤维复合材料筋简称为竹筋,竹筋与混凝土的锚固问题是关系到竹筋混凝土结构性能的一个瓶颈性问题。周健[17]通过实验,研究混凝土强度等级、粘结长度、竹筋顺纹抗拉强度和截面形式对粘结性能的作用效应影响程度,研究竹筋粘结长度、截面形式、混凝土强度等级、混凝土类别和养护龄期对粘结性能的影响,观察破坏现象,分析破坏机理,揭示作用规律,发现在竹筋混凝土粘结滑移性能方面,竹筋截面尺寸为重要影响因素,混凝土的强度等级和竹筋与混凝土的初始粘结长度影响显著。刘锦伟等[18]通过竹筋与混凝土锚固性能拉拔试验研究指出:其破坏形式有两种:竹筋断裂(为次)和竹筋拔出(为主),黏结长度和混凝土强度对锚固性能影响较明显;普通混凝土与“竹筋”的锚固性能在极限黏结强度和龄期稳定性方面优于陶粒混凝土。

4.8. 竹材力学性能及其在土木工程中的应用

竹材具有资源丰富、成材快、材料性能优良,强重比较大,陈溪等[19]梳理了 2015 年以前人们对竹材力学性能及其在土木工程中的应用研究成果,认同含水率对竹材的轴向(顺纹)抗压、抗拉、抗剪强度及弹性模量等力学性能影响很大。认识到竹材力学性能的测定方法以及力学模型的相关研究都主要关注顺纹、径向和弦向的抗拉、抗压和抗剪强度与弹性模量,对三维受力情况的力学性能关注较少,十分缺乏试验与理论研究。指出:许多受力情况如圆竹受压、圆竹受弯等,竹材的破坏通常是由弦向劈裂导致的,但尚未有相关的破坏准则。呼吁人们深入研究竹材的破坏准则,以便能更好地解释竹材的各种破坏模式。时延昭[20]根据竹材在工程中的应用实况,提出了工程竹的概念,并从工艺的不同对工程竹进行了分类为:

合成竹材、竹席胶合板、平行层竹材、竹帘胶合板、竹帘竹席复合胶合板等，这些工程竹对土木工程结构都有加固的作用。强调应该对混凝土构架加固后的耐久性能、长久性能和作用技能做出深入研究，指出竹与玻璃钢复合建筑材料应该得到重视和应用推广，并且应该加强对竹纤维的开发与应用研究。

4.9. 竹芯竹筋混凝土板受力性能

竹芯混凝土与竹筋混凝土是两个不同的概念，竹芯混凝土强调的是该混凝土结构中竹材所在的位置，着重点在于空间位置的分布上；而竹筋混凝土强调的是该混凝土结构中竹材所起的力学性能，着重点在于受力分布上。而如果两种放在同等作用和位置上，则成为竹芯竹筋混凝土。那么既强调竹材在该混凝土结构中的空间位置结构性能上的作用，更强调竹材在该混凝土结构中的力学性能的作用，该竹筋是要承受相应的拉力或剪力或压力的作用。竹芯竹筋混凝土单向板中，板中竹芯竹筋除板端一小段竹芯竹筋承受剪力作用外，主要承受拉力的作用，中部所受拉力最大。该方面的研究融通于其他研究内容的文献中，如文献[7][8]。但相关的专利文献[21]-[30]较多，这些专利文献一般都是有关竹芯竹筋混凝土板或梁的制作工艺和使用工艺。建筑物的楼盖也是板，而这种楼盖一般不承受多大荷载，从而能充分应用竹芯竹筋混凝土板的力学特点和结构优点。廖玲娟[31]指出竹芯楼盖的整体性能好，刚度较大，与普通实心楼盖相比，挠度有大幅度的减少，适用于大跨度大柱网的结构使用，功能适用、经济合理。陈超[32]提供了一种竹芯模盒现浇混凝土空心楼盖施工技术，该技术在文献[32]中详细加以了阐述。

4.10. 竹筋混凝土复合墙板的抗弯与热工性能

建筑物的墙体有些是非承重墙，一般起隔离空间的作用，这种情况下，竹筋混凝土复合墙板就具有非常好的优势，轻便拉结性能好，其抗弯性能和热工性能在于结构的布置工艺，而这结构的布置包括两个方面，其一是复合材料的种类和性能；其二是复合材料的各组分的空间组合形式。李晶晶[33]研究认为竹筋-陶粒混凝土复合墙板在热工、经济、施工技术方面均优于蒸压加气混凝土砌块墙体或蒸压轻质加气混凝土墙板或钢丝桁架混凝土复合墙板，故，其土木工程中应用前景看好。

4.11. 配竹筋混凝土小型空心砌块墙抗震性能

张兴仙等[34]通过配原竹筋混凝土空心砌块墙抗震试验研究发现其水平抗剪承载力和抗震性能较好。廖术龙[35]研究认为这种配竹筋混凝土小型空心砌块墙的抗震性能较好，在简易抗震构造措施下可应用于农村新建 1~2 层住宅。

4.12. 竹筋在混凝土路面中的应用

路面是纯粹承压构件，将竹筋混凝土应用于路面的建造中是非常合适的，竹筋在这种纯粹承压混凝土构件中除起抗剪的作用外，在很大程度上，作为混凝土牵箍联的作用，可见竹筋应用于混凝土路面中是完全可行的，竹筋在混凝土路面中的应用发展前景良好。贺冉等[36]试验研究告诉人们：竹筋混凝土板极限破坏荷载相比普通素混凝土板增长了 87.5%，且竹筋混凝土板在破坏前有一定的征兆，竹筋加入混凝土中能延缓混凝土的开裂，大大提高混凝土路面的抗弯及抗裂能力。尹家骅[37]调查发现 1941 年京塘公路杨家堤至汗沟镇之间的一段用竹筋混凝土铺装的路面，经过长期使用，直到 1950 年还保持着原来的状况，可见，竹筋混凝土是可以用于公路路面建设用的，且其造价低廉，性价比较高。

而临时性道路中竹筋混凝土的应用就更是合情合理，倪华君[38]通过试验，理论分析和工程实践认为：在临时道路中通过设置竹筋网片，利用竹筋弦向抗弯强度及与混凝土之间的粘结强度，使竹筋与混凝土共同作用，从而有效提高临时道路的抗压，抗弯(曲)，抗裂性能，且经济适用，符合绿色环保节能理念。竹筋混凝土路面的结构制作和工艺因情而异，从而产生一些相关专利[39]-[43]。

4.13. 竹筋混凝土构件的性能及其施工问题

竹筋混凝土构件所在的建筑物部位和工程类型不同而性能不同，其施工工艺也将有所差别。竹筋混凝土梁板结构一般是受弯构件，该方面的研究文献较多，也较集中于该点。所以，如何突破常见的竹筋混凝土结构构件是当今广大科研工作者的使命，有些科研人员在该方面付出了努力。谢威颂等[44]就某些小跨度竹筋混凝土构件使用近五十年之久的现实，提出了竹筋混凝土结构性能检验方案和检验数据的处理及竹筋混凝土结构的性能评估方法等。竹材有其优势，也有其缺陷，通过一些改良技术，能提高竹筋混凝土的某些性能，邹立华等[45]进行了试验研究，分析了不同改性方法和不同配筋率竹筋混凝土受弯构件的力学性能，破坏形态及其影响因素。研究表明经过适当方法改性后的竹筋能确保竹筋和混凝土之间的有效粘结，其正截面强度计算可以采用平截面假定；竹筋混凝土受弯构件的破坏均为脆性破坏，其破坏形态与其截面配筋率有关。另外，应该从结构上进行改良，因为，不经处理竹材虽能提高混凝土受弯构件承载力，但它存在与混凝土粘结性能差，材料强度离散性大，弹性模量偏低及易腐易胀缩等不足，且构件呈脆性破坏，为安全起见，其正截面设计宜以混凝土受压破坏为设计标准。所以，人们应该开发多种改性竹筋以提高竹筋混凝土受弯构件的力学性能。钟坤禄[46]提出了复合竹索具体制作方法，通过强度试验，湿胀试验及构件受弯试验发现：复合竹索除抗拉强度高，强度离散性小及防水防腐，其弹性模量得到提高，用于混凝土受弯构件时可减少构件变形。一种新型建筑结构板材——竹筋桁架-陶粒混凝土复合墙板，得到了开发与应用，赵璐[47]通过试验验证了竹筋作为复合墙板网架材料的可行性，且提出了等效单层板理论用于计算该复合墙板的抗弯刚度和挠度。

4.14. 竹筋混凝土的其他方面的研究

竹筋有其优点也有其缺点，竹筋与钢筋复合使用，取长补短，应该效果会更好。张平等[48]展望了通过加工和合理布置可运用于建筑中，作为一种钢筋替代材料与钢筋混合使用，形成钢竹筋复合混凝土将广泛应用到建筑行业的前景。方思逸等[49]认为可以利用竹筋的韧性较好的特点来制备竹筋透水混凝土板应用于海堤等水工建筑物。李鸿猷[50]指出完全可以利用竹筋代替钢筋使用为农村建池的抗拉材料。如果将混凝土概念进行拓宽，则竹筋混凝土的概念也得到了相应的拓宽，高智能等[51]试验探讨了竹筋夯土墙在水平单调荷载作用下，不同竹筋配制方式对墙片强度和延性的影响，发现：1) 夯土墙加筋可以提高屈服荷载，但对于极限荷载作用不大；2) 竖向竹筋对于提高强度效果不明显，但能改善延性。此外，刘海伟[52]研究认为抗拉竹筋完全可以用于土体加固工程中。

5. 存在的问题与展望

综上所述，竹材因其生长迅速，绿色环保，资源丰富，从而引发我国人们高度关注和热情，科研与应用，其大概经历了三个阶段：第一初始阶段，大概从十九世纪初到十九世纪六十年代初，在经济困难，工业不发达，钢材紧缺的上个世纪早期得到人们的垂青和应急应用；其后的冷遇和忽视阶段，这个时段大概是上个世纪六十年代到本世纪初，因我国经济 and 工业的发展，钢材生产的大增，而竹材强度较低，易于腐烂等缺点，竹筋混凝土无法满足建筑业的发展需要而遭受冷淡和荒废；第三阶段，即本世纪第二个十年，因为生态环保意识的提高，绿色建筑理念的贯彻，此外，因为材料科学和技术及结构工程技术的发展和创新，竹筋混凝土再度开始被唤醒研究和开发及应用。

梳理百年我国对竹筋混凝土的研究和应用成就和实例，可见，我国取得丰硕的成绩，但也存在以下这些问题：

1) 竹筋与混凝土黏结性能的研究应该加大力度，竹筋与混凝土黏结性能理论研究还不够，不能只是局限于某些特殊试验方案的实施，以及竹筋与混凝土的锚固长度计算经验公式，普适性的锚固长度计算

经验公式需要进一步推导。

2) 竹芯竹筋混凝土抗弯性能研究应该继续深入,如何从结构的改良上下功夫来进一步提高竹芯竹筋混凝土抗弯性能是广大科研工作者的责任和使命。

3) 竹筋代替钢筋的分析的研究和开发应用还有待加强,不能简单只是从强度方面去考虑,更不能只是从材料方面考虑,而更重要的是要从建筑物的结构的改良上以适应竹筋代替钢筋去分析研究和探究。

4) 竹纤维含量对混凝土强度的影响研究还应该从竹纤维的品种、性能及混凝土中的存在形式等因素对混凝土强度影响研究属性和程度,从定性和定量两个方面加强深入探究。

5) 竹筋混凝土桩柱的抗压问题,在这方面应该像钢管混凝土的探索和发展一样,进一步探究竹管混凝土桩柱的研究和开发应用。

6) 竹筋混凝土技术在建筑结构中的应用应该更进一步地拓宽和拓深。

7) 竹基纤维复合材料筋与混凝土的锚固性能问题还应该进一步从锚固的工艺方面加大力度探索研究,锚固性能得到提高将进一步促进竹基纤维复合材料筋混凝土在工程中的实际应用。

8) 竹材力学性能已经研究得较为精深和完善,但其在土木工程中的应用还需进一步拓宽和拓深,且应该从竹材的材料加工和土木工程结构这两个方面共同创新着手,才能打开一片天地。

9) 竹芯竹筋混凝土板受力性能的研究应该进一步在改良和开发更多形式的墙板结构方面深入挖掘。

10) 竹筋混凝土的其他方面的研究和开发应用应该进一步从竹筋混凝土的拓宽和改良改性及工程建筑物结构形式的发展和优化两个方面结合起来探索和开拓。

总之,竹材是自然界馈赠给人类的宝贵资源,竹筋混凝土是良好的建筑材料和结构构件组成物件,在当今节能环保绿色低碳可持续发展的理念越来越强烈,呼声越来越高的今天,人们就应该继续深入研究和探索,开发和应用,从材料性能的改良及建筑结构的开拓和优化两个大方面相互结合,互相配合地推进探索和发展,以便为人类的发展,经济的繁荣,生态的保护,环境的美化而不懈奋斗。

基金项目

广西高校大学生创新创业训练计划项目“软体吸附动物对海工钢结构的腐蚀研究”(项目编号:S202311607088);北部湾大学高层次人才引进科研启动项目“水泥等胶凝材料性能改良及其应用研究”(项目编号:18KYQD31);北部湾大学自主课题“波流潮生物多因素耦合作用对海工结构疲劳研究”(项目编号:YLXKKY202215);“贝、螺和蚝等生物对海工钢筋混凝土结构侵蚀破坏及其安全防护技术的研究”(项目编号:03030005)。

参考文献

- [1] 胡松林. 竹筋混凝土板的初步研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1956(10): 3-24.
- [2] 尹家骅. 竹筋混凝土在公路和桥涵工程中的应用问题[J]. 公路, 1957(4): 15-17.
- [3] 王华. 竹芯竹筋混凝土梁抗弯性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 湘潭: 湖南科技大学, 2017.
- [4] 龙勇, 祝明桥, 谢子荣, 等. 竹芯竹筋混凝土板抗弯性能试验研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2015, 37(S2): 41-45.
- [5] 龙勇. 竹芯竹筋混凝土单向板受力性能试验研究与分析[D]: [硕士学位论文]. 湘潭: 湖南科技大学, 2016.
- [6] 祝明桥, 王华, 汪建群, 等. 竹芯竹筋混凝土单向板抗弯承载力试验研究[J]. 工业建筑, 2017, 47(1): 79-83.
- [7] 杨国松, 张洁. 竹筋混凝土梁工作性能研究[J]. 力学研究, 2023, 12(1): 1-7.
- [8] 彭辉. 纤维增强竹芯竹束混凝土梁受弯性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌航空大学, 2023.
<https://doi.org/10.27233/d.cnki.gnchc.2023.000556>
- [9] 白冰, 肖朝昀, 陈志彬, 等. 竹筋水泥土挡墙基坑开挖有限元分析[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2014, 44(6): 743-748.

- [10] 王杨君, 何瑾, 张洁, 等. 竹筋、机制砂混凝土梁抗弯性能试验研究[J]. 山西建筑, 2021, 47(22): 34-37, 51.
- [11] 许克. 浅谈现代建筑中竹材的发展前景[J]. 科技风, 2013(12): 165.
- [12] 罗有海. 竹筋代替假顶中部分钢筋的试验研究[J]. 江西铜业工程, 1995(3): 38-43.
- [13] 杨凌, 陈强, 谢兴华, 等. 竹纤维含量对混凝土强度影响的试验研究[J]. 四川建材, 2022, 48(2): 15-18.
- [14] 陈诺, 朱娟丽, 陈伟. 钱塘江海塘竹筋混凝土桩工艺史探究[J]. 浙江水利科技, 2022, 50(2): 1-3, 9.
- [15] 张余. 竹筋混凝土技术在建筑结构中的应用分析[J]. 建材与装饰, 2018(32): 36-37.
- [16] 王慧英, 赵卫锋, 朴国斌. 竹筋混凝土技术在建筑结构中的应用[J]. 建筑技术, 2012, 43(7): 605-607.
- [17] 周健. 竹筋陶粒混凝土粘结滑移性能研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2015.
- [18] 刘锦伟, 季可凡, 侯和涛, 等. 复合墙板竹基纤维复合材料筋与混凝土的锚固性能试验研究[J]. 工业建筑, 2018, 48(6): 168-174.
- [19] 陈溪, 许清风, Kent A. Harries. 竹材力学性能及其在土木工程中应用的研究进展[J]. 结构工程师, 2015, 31(6): 208-217.
- [20] 时延昭. 基于竹材力学性能及其在土木工程中应用的研究进展[J]. 低碳世界, 2016(32): 266-267.
- [21] 谢剑波, 韦义理, 辛红, 等. 一种现浇混凝土竹芯楼板结构及其施工工艺[P]. 中国专利, CN201710467071.6. 2017-08-22.
- [22] 魏洋, 徐扬, 程勋煜, 等. 一种原竹填芯竹-混凝土桥面板[P]. 中国专利, CN201810328770.7. 2018-08-03.
- [23] 祝明桥, 龙勇, 梁辰坤. 竹芯竹筋现浇混凝土楼板[P]. 中国专利, CN201420428872.3. 2014-12-03.
- [24] 谢剑波, 韦义理, 张辉, 等. 一种现浇混凝土竹芯楼板结构[P]. 中国专利, CN201720714823. X. 2018-01-23.
- [25] 饶春武, 朱辉, 龚云峰, 等. 一种用于空心楼盖的竹芯盒抗浮定位装置[P]. 中国专利, CN201820571679.3. 2019-01-01.
- [26] 徐扬, 魏洋, 程勋煜, 等. 一种原竹填芯竹-混凝土组合板[P]. 中国专利, CN201820534238.6. 2018-11-09.
- [27] 赵仁杰. 一种竹基热固性塑料混凝土模板[P]. 中国专利, CN200920064853.6. 2010-09-15.
- [28] 陈志华, 马睿, 杜颜胜, 等. 一种可装配的工程竹-轻质混凝土夹芯楼板及施工方法[P]. 中国专利, CN202011410950.3. 2021-04-09.
- [29] 王武祥, 崔琪, 张磊蕾, 等. 一种利用废弃竹胶板生产夹芯复合墙板的方法[P]. 中国专利, CN201510697666.1, 2017-06-27.
- [30] 杨鼎宜, 俞君宝, 马志鸣, 等. 一种重组竹-泡沫混凝土组合板墙做法[P]. 中国专利, CN201911068738.0. 2020-02-28.
- [31] 廖玲娟. 竹芯现浇混凝土空心无梁楼盖建筑技术与应用研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2008.
- [32] 陈超. 竹芯模盒现浇混凝土空心楼盖施工技术研究[J]. 河南科技, 2018(32): 74-76.
- [33] 李晶晶. 竹筋混凝土复合墙板的抗弯与热工性能分析[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2015.
- [34] 张兴仙, 李煜. 配原竹筋混凝土空心砌块墙抗震试验研究[J]. 建筑结构, 2016(S2): 296-299.
- [35] 廖术龙. 配竹筋混凝土小型空心砌块墙抗震性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.
- [36] 贺冉, 蔡景, 马达伟, 等. 竹筋在混凝土路面中的应用试验研究[J]. 四川建材, 2012(3): 105-106.
- [37] 尹家骅. 竹筋混凝土在公路和桥涵工程中的应用问题[J]. 公路, 1957(4): 15-17.
- [38] 倪华君, 李灿峰. 临时道路竹筋混凝土施工技术应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2014(35): 4081-4082.
- [39] 崔志海, 邓应平, 刘迎鑫, 等. 一种竹筋混凝土临时道路[P]. 中国专利, CN201620947714.8. 2017-04-12.
- [40] 宋柯, 刘志明, 王小明, 等. 一种竹筋混凝土路面[P]. 中国专利, CN202021128496.8. 2021-06-15.
- [41] 蔡范军, 刘新征. 一种竹筋混凝土路面结构[P]. 中国专利, CN201921352434.2. 2020-05-15.
- [42] 马明磊, 刘斌, 陈艳明, 等. 竹筋混凝土路面结构及其设计方法[P]. 中国专利, CN201710171109.5. 2019-02-15.
- [43] 夏丹, 黄烨, 李君, 等. 一种竹筋混凝土路面结构[P]. 中国专利, CN201921793739.7. 2020-09-08.
- [44] 谢咸颂, 丁雄峰, 朱朝晖. 竹筋混凝土楼板的结构性能检验及评估[J]. 工程建设与设计, 2010(11): 39-42.
- [45] 邹立华, 钟坤禄, 谢吉鸿, 等. 改性竹筋混凝土受弯构件力学性能试验研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2015, 37(5): 33-40.

-
- [46] 钟坤禄. 新型竹筋混凝土受弯构件力学性能研究[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福州大学.
- [47] 陈璐. 竹筋-陶粒混凝土粘结性能及复合墙板抗弯性能的试验研究与理论分析[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2013.
- [48] 张平, 刘邦, 何成岗, 等. 钢竹筋复合混凝土的应用前景研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2022(9): 40-42.
- [49] 方思逸, 李兆恒, 谢亮, 等. 竹筋透水混凝土板的制备及其在海堤建设中的应用[J]. 广东水利水电, 2017(7): 43-46.
- [50] 李鸿猷. 竹筋与竹筋混凝土在沼气池上的应用[J]. 建筑技术, 1977(4): 51-52, 59.
- [51] 高智能, 杨晓东, 陶忠, 等. 竹筋夯土墙在水平单调荷载作用下的试验研究[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版), 2009, 34(2): 68-70.
- [52] 刘海伟. 抗拉竹筋运用于土体加固工程的可行性研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2011.