

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2022.04.009

基于质性分析的我国建筑废弃物政策研究

蔡彬清,杨晓露,张杰辉,张铮燕
(福建工程学院 管理学院,福建 福州 350118)

摘要:选取 2003—2021 年我国发布的建筑废弃物相关政策文本 55 份,从政策工具、政策时间、建筑废弃物管理阶段三个维度建立政策三维分析模型,应用质性分析 Nvivo12 软件进行编码分析,并对三个维度的政策文本进行独立和交叉分析,结果表明:我国建筑废弃物强制性政策占比最大,自愿性政策少;国家逐渐加大建筑物废弃管理力度,但政策主要集中于建筑物的产生和再生利用阶段,提出完善我国建筑废弃物政策工具结构体系、强化专项政策的制定与实施等建议。

关键词:建筑废弃物;政策分析;质性分析

中图分类号: X24

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2022)04-0362-07

Policy study on construction waste in China based on qualitative analysis

CAI Binqing, YANG Xiaolu, ZHANG Jiehui, ZHANG Zhengyan
(School of Management, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: Fifty-five policy texts related to construction waste published in China from 2003 to 2021 were selected to establish a three-dimensional policy analysis model from the three dimensions of policy tools, policy time and construction waste management stage. The qualitative analysis software Nvivo12 was used for coding analysis. Independent and cross-analysis of the three dimensions of the policy texts was conducted, and results show that: in China, mandatory policy on construction waste accounts for the largest proportion, and there are few voluntary policies; the state has gradually increased the management of construction waste, but the policies mainly focus on the generation and recycling stages. Suggestions are put forward to improve the structural system of construction waste policy tools in China and strengthen the formulation and implementation of special policies.

Keywords: construction waste; policy analysis; qualitative analysis

《2022—2027 年中国建筑垃圾处理行业市场调研及投资战略规划建议报告》显示,2020 年我国建筑垃圾的数量达到 23.85 亿 t。我国是建筑大国,目前我国建筑废弃物的数量已占城市垃圾总量的 30%~40%,而建筑废弃物的资源化利用率大约仅 4%,加强建筑废弃物的综合利用已刻不容缓^[1]。然而,由于建筑废弃物综合治理与利用需要付出较高的额外成本,建筑施工企业缺乏动力来开展相关活动,需要政府适度干预,因此设

计合理的政策对建筑废弃物治理具有重要意义。

从世界范围看,部分发达国家对建筑废弃物的管控重视程度高,建立了较为完整和成熟的管控体系:美国采用分级利用制度并有效实现政府倡导、企业自律、公众参与;日本出台详细政策,对再生产品制定技术规范并积极推进奖励性经济措施;德国采用惩罚性经济措施,其成熟的行业协会制度更是保证了自愿性政策的有效实施^[2-3]。

在我国,随着建筑废弃物对环境的负面影响

愈发凸显,建筑废弃物治理也越来越被关注。2003 年建设部发布《城市建筑垃圾和工程渣土管理规定》,相关部门陆续发布有关政策;住建部提出到 2025 年底,各地区建筑垃圾减量化工作机制应进一步完善。学者们也从政策工具^[4]、政策体系^[5]、发挥自愿性环境政策作用^[6]、分析制度优越性和局限性^[7]、案例研究^[8]等角度对建筑废弃物相关政策进行研究。

从已有政策和研究看,虽然我国近年已出台大量有关建筑废弃物的政策,但政策关联性不强、针对性不足,现有研究系统梳理不够。故本文广泛收集我国已发布的建筑废弃物政策,从政策工具、政策时间、建筑废弃物管理阶段三个维度建立政策三维分析模型,并应用质性分析 Nvivo12 软件对 2003—2021 年间出台的政策进行编码分析和三个维度的政策文本独立分析、交叉分析,以期全面系统地梳理我国建筑废弃物政策并提出相关建议。

1 建筑废弃物三维政策分析框架

根据我国建筑废弃物管理现状及特点,参考国内外专家学者的研究成果,以政策工具维度为主要研究维度,时间维度和管理阶段维度为辅助维度,对我国建筑废弃物政策进行细致研究及解读。

1.1 基于政策工具维度的建筑废弃物政策分析

建筑废弃物政策按政府参与程度可分为三类:强制性、激励性和自愿性。强制性政策是政府直接参与建筑废弃物各阶段的管控政策,包括法律、行政、规章制度和方案计划等手段;激励性政策是政府通过一些间接手段来对建筑废弃物各阶段进行管控,包括市场机制、示范工程、财政政策和资金支持等,干预程度相对较低,易于调动企业的积极性,但管控风险增大;自愿性政策是指在没有政府干预的前提下企业的自发行为、教育培训以及社会公众监督^[9]。

1.2 基于时间维度的建筑废弃物政策分析

2010 年以前,对建筑废弃物管理问题的政策和规范数量不多。2010 年,我国建筑业总产值增速达到最高峰,国家印发了一定数量针对建筑废弃物各阶段管理的技术标准,但针对性不强。2015 年后,国家大力推进城镇化建设和建筑业现代化建设,在绿色发展和生态文明建设背景下,国

家更重视建筑废弃物问题,出台了系列政策并积极推进试点城市建设。故此,将建筑废弃物政策时间划分为三段:2010 年以前、2010—2014 年、2015—2021 年。

1.3 基于管理阶段维度的建筑废弃物政策分析

建筑废弃物政策基于建筑废弃物各管理阶段的特点,以建筑废弃物的有效管理为导向,明确建筑废弃物管理的主体责任和义务,从而有利于政府各部门制定针对性政策。建筑废弃物管理包括四个阶段:源头产生阶段、废弃物运输阶段、废弃物处置阶段以及再生利用阶段^[5,10]。政策文本在这四个阶段所对应的内容如表 1 所示。

表 1 建筑废弃物管理阶段及其相应政策
Tab.1 Construction waste management stages and corresponding policies

建筑废弃物管理阶段	相应政策
建筑废弃物产生阶段	对建筑废弃物源头的管理
建筑废弃物运输阶段	对运输车辆、运输市场的管理以及各方监督
建筑废弃处置阶段	涉及处置的技术标准和要求
建筑废弃物再生利用阶段	建筑废弃物资源化的技术规范和推广应用的规定

1.4 政策三维分析模型的建立

对建筑废弃物的政策工具、政策时间、建筑废弃物管理阶段进行系统梳理和分析,在此基础上建立政策三维分析模型,如图 1 所示。

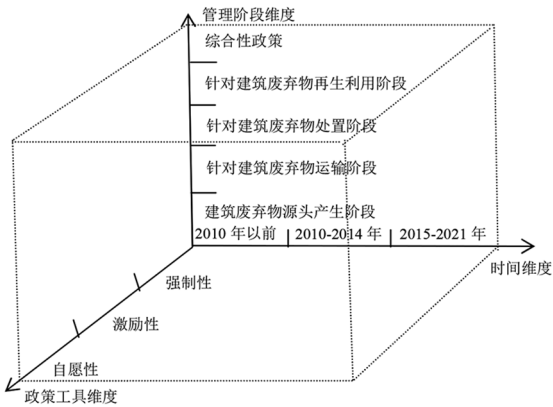


图 1 建筑废弃物政策三维分析模型

Fig.1 Three-dimensional analysis model of construction waste policy

2 建筑废弃物政策文本的获取与编码

2.1 政策文本的获取

通过政府各部门官网、北大法宝等媒介,以建筑废弃物、建筑垃圾和绿色建筑等为关键词,获取 2003—2021 年国家相关政策文本。剔除已失效的文件、地区文件和不涉及建筑废弃物的政策,且以最新修订的政策文本为准,最终筛选出 55 份政

策文件并进行编号。因篇幅所限,具体政策文件名称不列出。

2.2 政策文本的编码

采取人工分析和 Nvivo12 质性分析相结合的方法,划分一级节点以及对应的二级节点,如表 2 所示。按政策编号—单项文本的顺序对 55 份政策文本进行单位编码,得到建筑废弃物政策单项文本编码,详见表 3。

表 2 建筑废弃物政策一级节点及二级节点
Tab.2 Construction waste policy node level 1 and node level 2

一级节点	对应的二级节点
强制性政策	法律规定、方案计划、规章制度、行政手段、经济制度
激励性政策	技术、产品、材料的鼓励、示范工程、市场机制、资金支持、财政政策
自愿性政策	社会监督、企业自发行为、教育培训

表 3 建筑废弃物政策单项文本的编码
Tab.3 Coding of single text of policies on construction waste

编号	政策名称	政策文本的编码内容	编码
1	城市建筑垃圾和工程渣土管理规定	第三条:国务院建设行政主管部门负责全国城市建筑垃圾、工程渣土管理工作。	1-1
		第五条:城市人民政府应当将建筑垃圾、工程渣土消纳、处置、综合利用等设施的设置,列入城市总体规划。	1-2
2	建设事业技术政策纲要	鼓励开展对废纸、废金属、废电池、废玻璃、废塑料等的回收利用,逐步建立和完善废旧物资回收网络;鼓励垃圾焚烧余热利用和填埋气体回收利用,以及有机垃圾高温堆肥和厌氧消化制沼气等;鼓励建筑垃圾综合利用。	2-1
3	城市建筑垃圾管理规定	第六条:城市人民政府市容环境卫生主管部门应当根据城市内的工程施工情况,制定建筑垃圾处置计划,合理安排各类建设工程需要回填的建筑垃圾。	3-1
		建筑垃圾处置实行收费制度,收费标准依据国家有关规定执行。	3-2
22	工业绿色发展规划(2016-2020 年)	建立若干工业固体废物综合利用跨省界协同发展示范区。	22-1
		加快推动再生资源高效利用及产业规范发展。围绕建筑废弃物等主要再生资源,加快先进适用回收利用技术和装备推广应用。建设一批再生资源产业集聚区,推进再生资源跨区域协同利用,构建区域再生资源回收利用体系。	22-2
54	住房和城乡建设部办公厅关于进一步做好城市环境卫生工作的通知	加强建筑垃圾治理工作。总结推广建筑垃圾治理试点经验,加强建筑垃圾全过程管理。建立渣土堆放场所常态化监测机制,消除安全隐患。加快建筑垃圾填埋消纳设施建设,规范作业管理。加快建筑垃圾回收和再利用体系建设,推动建筑垃圾资源化利用,因地制宜推进再生产品应用。	54-1
		35 个建筑垃圾治理试点城市要建立长效机制,巩固试点成果,充分发挥示范带头作用。	54-2

续表

编号	政策名称	政策文本的编码内容	编码
55	绿色建造技术导则 (试行)	应采取措施减少固体废弃物产生,建筑垃圾产生量应控制在现浇钢筋混凝土结构每万平方米不大于 300 t,装配式建筑每万平方米不大于 200 t(不包括工程渣土、工程泥浆)。	55-1

3 建筑废弃物政策文本分析

3.1 建筑废弃物政策工具分析

政策响应点为节点的编码数,55 篇政策文本中强制性政策的响应点最多,118 个,占比 63%;

激励性政策响应点次之,57 个,占比 31%;自愿性政策的响应点最少,仅 11 个,占比 6%,各响应点具体如表 4 所示。可见,目前我国建筑废弃物政策主要是以强制性政策和激励性政策为主,政府主导为主,市场调控为辅,自愿性政策很少。

表 4 政策工具分布编码表
Tab.4 Policy tools' distribution code table

政策工具	编码	总计	占比
强制性政策	1-1、1-2、1-3、1-4、3-1、3-2、3-3、3-4、3-5、3-6、3-7、3-8、3-9、3-10、3-11、3-12、4-1、4-2、4-3、4-4、4-5、4-6、4-7、4-8、4-9、4-10、4-11、4-12、6-1、7-1、7-2、7-3、8-1、9-1、10-1、11-1、11-2、12-1、12-2、13-1、14-1、14-2、14-3、14-4、14-5、16-1、17-1、17-2、18-1、19-1、21-1、21-2、22-1、22-2、23-1、25-1、26-1、27-1、27-2、27-3、27-4、28-1、30-1、31-1、31-2、33-1、34-1、34-2、35-1、36-1、36-2、37-1、38-1、38-2、38-3、39-1、39-2、39-3、39-4、39-5、39-6、40-1、41-1、41-2、41-3、41-4、41-5、41-6、41-7、41-8、41-9、43-1、43-2、43-3、43-4、44-1、44-2、44-3、45-1、47-1、48-1、48-2、48-3、49-1、49-2、50-1、50-2、51-1、51-2、51-3、51-4、51-5、51-6、51-7、53-1、53-2、54-1、55-1	118	63%
激励性政策	2-1、3-13、4-13、4-14、4-15、4-16、5-1、7-4、7-5、11-3、13-2、13-3、14-6、15-1、16-2、17-3、17-4、17-5、17-6、17-7、18-2、19-2、19-3、19-4、20-1、22-3、24-1、27-5、27-6、29-1、30-2、31-3、34-3、34-4、39-7、39-8、39-9、41-10、42-1、44-4、45-2、49-3、49-4、50-3、51-8、51-9、51-10、51-11、51-12、51-13、51-14、51-15、51-16、52-1、53-3、53-4、54-2	57	31%
自愿性政策	4-17、11-3、17-8、36-3、41-11、41-12、45-3、51-17、51-18、53-5、53-6	11	6%
总计		186	100%

政策的二级响应点为一级节点所对应的二级节点的编码数。从二级响应点来看,强制性政策的二级响应点中方案计划和规章制度占比高达 68%,行政手段和法律规定占 25%,而经济制度占比最小,只有 7%,说明目前政府部门主要通过制定计划和规章对建筑废弃物管理进行干预。激励性政策的二级响应点中,鼓励使用技术、产品、材料以及推广示范工程占比最高,其次是市场机制调节和财政政策支持,资金支持的政策仅占 3%,但资金和财政支持政策最为企业关注,资金和财政支持度较低则无法充分调动企业积极性。与其

他两种政策工具相比,自愿性政策的二级响应点种类较少,只有社会监督、教育培训和企业自发行 3 种,占比分别为 50%、40%和 10%且响应点的个数均很少。可见自愿性政策是我国建筑废弃物政策工具的薄弱方面,对建筑废弃物有效管理的意识引导不足且未建立完善的社会监督体系,今后应补齐政策短板。

3.2 建筑废弃物政策时间分析

2010 年以前,建筑废弃物政策出台数目较少,2006、2007 和 2009 年均 0,2011—2016 年总体上逐年上升,2016 年达到顶峰,政策样本数 13

份。2016 年是“十三五”规划的开局之年,国家高度重视建筑废弃物的治理,出台了较多涉及建筑废弃物管理的规划,2017 年后又陆续出台了系列具体政策和标准。

从质性分析 Nvivo12 软件中获取 2010 年以前、2010—2014 年和 2015—2021 年三个时间段的词语云,结果为:2010 年前的政策文本中出现频率较高的词是“城市、垃圾、建筑、建设、技术”,说明 2010 年以前的政策更多关注建筑废弃物源头产生过程中的技术和建造措施;2010—2014 年间政策文本出现频率较高的词语是“利用、建筑、绿色、资源、发展”,表明这一时期政策逐渐着眼于绿色建筑、资源再利用以及可持续发展;“建设、发展、技术、利用、环境”是 2015—2021 年间政策文本的高频词,表明近几年政策不仅关注工程建设技术的发展,而且越来越关注资源利用对环境的影响。政策文本高频词的变化反映了我国建筑废弃物政策转型的重点,建筑废弃物政策由早期侧重的技术和建造领域逐步向建筑废弃物减量化和资源化利用领域转变。

3.3 建筑废弃物各阶段管理政策分析

以政策文本涵盖的建筑废弃物阶段为研究内容,发现:针对建筑废弃物再生利用阶段的政策文本最多,高达 20 份,针对源头产生阶段管理的政策文本 13 份,针对处置阶段的政策文本仅 4 份,但没有专门针对建筑废弃物的运输阶段的政策文本,同时涉及两个及两个以上阶段的综合性政策文本 18 份。由此可知目前建筑废弃物政策主要为针对再生利用阶段以及涵盖多个阶段的综合性政策,运输阶段和处置阶段较为薄弱。

3.4 政策文本的多维度交叉分析

不同类型政策工具和时间的交叉分析如表 5 所示,表中数字代表政策工具的响应点。近年来,强制性政策、激励性政策、自愿性政策均呈现逐年增长趋势,2015—2021 年达到最大数量。在各时间阶段,强制性政策和激励性的政策占主导地位,自愿性的政策文本数量少,我国建筑废弃物的政策工具发展不均衡。我国建筑废弃物减量及资源化利用仍处于起步阶段,建筑废弃物有效处理技术较为缺乏,建筑业从业人员环保意识较为薄弱,所以主要以强制性和激励性政策为主,政府处于主体地位,今后以市场为主体的建筑废弃物资源化市场是废弃物处理的新方向。

表 5 各时期不同类型政策工具的响应点分布

Tab.5 Distribution of response points of different types of policy tools in different periods

项目	2010 年 以前	2010— 2014 年	2015— 2021 年	总计
强制性政策	18	28	72	118
激励性政策	7	8	42	57
自愿性政策	1	2	8	11
总计	26	38	122	186

对不同类型政策工具和各管理阶段做交叉分析,如表 6 所示,表中数字代表政策工具的响应点,可知建筑废弃物源头产生阶段和再利用阶段均涉及较多的强制性政策,其次是激励性政策,自愿性政策很少。可见我国建筑废弃物政策的着力点主要集中于源头产生阶段及末端产品使用阶段,以政府直接或间接参与为主,公众参与度还不高。我国关于建筑废弃物的政策大都为综合性政策,即对建筑废弃物多个阶段的管控,且综合性政策中强制性政策数目是激励性政策的两倍多。涉及处置阶段的专项政策只有 4 份,且不含激励性政策和自愿性政策。可见我国建筑废弃物政策体系尚不完善,专项政策较为缺乏,未明确规定建筑废弃物各相关主体的职责,重复性政策较多。

表 6 不同管理阶段各类政策工具的响应点分布

Tab.6 Distribution of response points of various policy tools at different management stages

项目	针对源 头产生 阶段	针对 运输 阶段	针对 处置 阶段	针对再 生利用 阶段	综合 性政 策	总 计
强制性政策	17	0	5	40	56	118
激励性政策	15	0	0	22	20	57
自愿性政策	3	0	0	3	5	11
总计	35	0	5	65	81	186

4 结论与建议

4.1 结论

1)从政策工具来看,强制性政策占比最大,其次是激励性政策,自愿性政策占比最少。强制性政策以方案计划和规章制度为主,行政手段、法

律规定和经济制度占比较小;激励性政策主要包含三部分,即鼓励使用技术、材料、产品,推广示范工程,国家资金支持,其中市场机制调节和国家财政政策占比很小且规定较为模糊,如2015年出台的《促进绿色建材生产和应用行动方案》提到研究制定建材下乡专项财政补贴和钢结构部件生产企业增值税优惠政策,但并没有明确说明补贴种类及何种建材能获得补贴;自愿性政策只包括社会监督、教育培训和企业自发行为,均占比很小。我国政策工具中,涉及法律规定层面的建筑废弃物政策数目较少。

2)从政策文本时间来看,2010年以前政策文本出台数量较少,主要关注建筑废弃物源头产生过程中的技术和建造措施,2011—2016年政策文本出台数量逐年增加,开始着眼于绿色建筑、资源再利用以及可持续发展,2016年到达数量顶峰,2016年后回落,但每年仍出台一定数量的政策文本来填补建筑废弃物管控漏洞。

3)从建筑废弃物各管理阶段来看,建筑废弃物的专项政策主要集中于建筑物的产生和再生利用阶段,针对处置阶段的专项政策较少,虽在综合性政策中提及对运输阶段的管理和规范但缺乏针对运输阶段的专项政策,专项法律缺失会导致政府部门对建筑废弃物的管控和监督不强,甚至存在管控混乱现象。我国政策工具发展不均衡,自愿性政策明显不足。

4.2 建议

1)调整建筑废弃物相关政策工具结构体系。适当减少强制性政策,降低政府干预市场的程度,出台更多的激励性政策和自愿性政策。在政府管控的前提下,通过市场机制和经济手段加强建筑废弃物管理,如对实行建筑废弃物减量的企业和建筑废弃物资源化利用的企业实行补贴制度、优惠贷款和适当免税等奖励性经济措施,激发企业积极性。同时逐渐推进自愿型政策工具的应用,通过宣传教育、企业培训、社会监督等不断强化建

筑废弃物减量化意识。

2)强化重要或相对薄弱阶段与环节专项政策的制定与实施。目前,国家层面虽然没有出台关于建筑废弃运输的专项政策,但是北京、金华、重庆等地陆续出台了此类专项政策。2017年北京出台《北京市住房和城乡建设委员会关于建筑垃圾运输处置费用单独列项计价的通知》,将建筑垃圾的运输处置费在工程造价中单独列项计价,并在竣工验收和预决算审查时考虑运输处置费的使用情况;2018年金华市出台《金华市建筑垃圾运输服务企业实施管理办法(试行)》,规定了运输企业资质、从业人员和运输车辆的要求、运输企业服务考核体系;2020年6月重庆市发布《建筑垃圾密封运输车辆技术规范(试行)》,明确了关于建筑废弃物运输车辆的相关规定以及智能化运输的要求。政府应加强对建筑废弃物运输阶段的重视程度,从运输处置费、运输企业和从业人员的资质、运输车辆等方面,进一步加强对建筑废弃物运输阶段的管理和监督,并针对此阶段出台更多的专项政策,严禁随意倾倒建筑废弃物。

3)针对建筑废弃物源头产生阶段,在全国范围内政府进一步推广绿色建筑的示范企业和建筑废弃物减量化示范工程,从而起示范引导作用。对建筑废弃物处置和再生利用阶段,制定更高要求的技术规范和使用标准,积极推进施工企业使用可再生材料、再生产品和先进技术,制定更多对应奖惩措施的鼓励性政策,建立完备明确的奖惩制度。推动建筑废弃物资源化法律制度建设,从法律层面落实“谁产生谁负责”的原则。

4)适当借鉴国外关于建筑废弃物管控的有益经验,进一步完善我国建筑废弃物相关政策。如推进建筑废弃物分级回收利用制度,发挥我国建筑行业协会在建筑废弃物管理中的积极引导和规范作用,出台明确政策使惩罚性经济措施和奖励性经济措施均衡发展,形成政府管控、企业自愿、社会监督三方相统一的局面。

参考文献:

- [1] 荣玥芳,姚彤,孙啸松.北京市建筑垃圾减量化规划应对策略研究[J].现代城市研究,2021,36(3):62-68.
- [2] 张馨予,林锦眉,卢集富.建筑废弃物的科学管理与有效利用研究[J].环境科学与管理,2021,46(9):16-20.
- [3] 李景茹,赫改红,钟喜增.日本、德国、新加坡建筑废弃物资源化管理的政策工具选择研究[J].建筑经济,2017,38(5):87-90.
- [4] 陈起俊,张瑞瑞,李超伟,等.政策工具视角下我国建筑废弃物政策分析:基于2003—2018年的国家政策文本[J].

生态经济, 2020, 36(6): 196-203.

- [5] 胡鸣明, 杨美文. 基于政策工具的我国建筑垃圾资源化政策分析[J]. 建筑经济, 2019, 40(2): 22-26.
- [6] 王惠娜. 自愿性环境政策工具在中国情境下能否有效? [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(9): 89-94.
- [7] 王盛楠. 不同政策工具视角下建筑垃圾减量化管理的演化博弈分析[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2016.
- [8] BAO Z K, LU W S. Developing efficient circularity for construction and demolition waste management in fast emerging economies: lessons learned from Shenzhen, China[J]. Science of the Total Environment, 2020, 724: 138264.
- [9] 王秋菲, 王盛楠, 李学峰. 国内外建筑废弃物循环利用政策比较分析[J]. 建筑经济, 2015, 36(6): 95-99.
- [10] 陈雅芝, 黎江平, 王婉怡. 德国建筑废弃物层级管理及其对中国的启示[J]. 建筑经济, 2020, 41(3): 24-29.

(责任编辑: 王圆圆)

(上接第313页)

- [24] 缪小龙. 风起云涌廊桥遗殇——闽浙木拱廊桥抗风抗洪研究[C]//第四届中国廊桥学术研讨会论文集. 丽水, 2011: 370-397.
- [25] 苏旭东. 闽浙木拱桥三种结构制式比较[C]//第四届中国廊桥学术研讨会论文集. 丽水, 2011: 77-82.
- [26] 杨艳, 刘建新. 闽浙木拱桥为拱结构的论证研究[C]//第四届中国廊桥学术研讨会论文集. 丽水, 2011: 71-76.
- [27] 李小午, 宋国晓, 王建省, 等. 屏南地区木拱廊桥局部构件的二级系统研究[J]. 北方工业大学学报, 2011, 23(1): 89-94.
- [28] 吕伟荣, 陈智, 王智丰, 等. 大跨木拱廊桥的数值模拟与内力分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(8): 86-89.
- [29] 刘建新. 闽浙木拱桥受力行为研究[D]. 福州: 福州大学, 2011.
- [30] 隋葵, 赵鸿铁, 薛建阳, 等. 古建筑木结构直榫和燕尾榫节点试验研究[J]. 世界地震工程, 2010, 26(2): 88-92.
- [31] 赵鸿铁, 张海彦, 薛建阳, 等. 古建筑木结构燕尾榫节点刚度分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2009, 41(4): 450-454.
- [32] 赵鸿铁, 董春盈, 薛建阳, 等. 古建筑木结构透榫节点特性试验分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2010, 42(3): 315-318.
- [33] 杜彬. 古建筑木结构燕尾榫节点抗震性能研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.
- [34] 赵均海, 俞茂宏, 高大峰, 等. 中国古代木结构的弹塑性有限元分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 1999, 31(2): 131-133.
- [35] 赵均海, 俞茂宏, 杨松岩, 等. 中国古代木结构有限元动力分析[J]. 土木工程学报, 2000, 33(1): 32-35.
- [36] 隋允康, 常婧雅, 叶红玲. 木结构半刚性结点的数值模拟[J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(9): 1298-1303.
- [37] 康敏. 传统木构建筑榫卯连接静力性能研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [38] 应鹏杰. 古建筑木结构榫卯节点力学性能分析及精细化数值模拟[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2016.
- [39] 李双. 古建筑木结构榫卯节点接触特性研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2016.
- [40] YANG Y, NAKAMURA S, CHEN B C, et al. Mechanical behavior of Chinese woven timber arch bridges[J]. Engineering Structures, 2019, 195: 340-357.
- [41] 熊俊锋, 邵长专, 罗智. 2019北京世园会青杨洲编木拱虹桥设计施工新技术[J]. 建筑结构, 2019, 49(17): 51-55.

(责任编辑: 陈雯)