

圆竹材构件在建筑中的应用

严彦^{1,3}, 费本华^{2*}

(1. 国际竹藤中心安徽太平试验中心, 黄山 245716; 2. 国际竹藤中心, 北京 100102;
3. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

摘要:天然圆竹因其独特的观感和力学特性, 在建材领域中有着混凝土和钢材等传统建材不可替代的地位。综述圆竹材料在建筑基础、梁柱、结点等不同部位的应用现状, 分析圆竹建筑的建造工艺。研究表明, 圆竹建筑产业需进行体系化升级; 在原材料方面应实现大规模工业分选分级, 形成以竹种、径级和力学性能为标注的分级圆竹材料; 圆竹构件及连接件应建立在分级圆竹基础上进行设计并以工厂化加工为主, 同时形成配套的标准化制备工艺和性能检测标准; 模块化设计和施工技术有利于圆竹建筑的建造和应用推广。

关键词:圆竹建筑; 建造技术; 梁柱; 构件结点

中图分类号: S795.08

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2020)02-0205-06

Application of round bamboo components in architecture

YAN Yan^{1,3}, FEI Benhua²

(1. International Centre for Bamboo and Rattan Anhui Taiping Experimental Station, Huangshan 245716;
2. International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102;
3. School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: With unique appearance and excellent mechanical properties, nature bamboo has an irreplaceable position in the field of building materials such as concrete and steel. This paper discussed the application status of round bamboo materials in building foundation, beam and column, joints and other parts, and analyzed the construction techniques of round bamboo building. The research showed that the round bamboo building industry needs to be upgraded systematically. The large-scale industrial sorting of natural bamboo culms should be carried out to form graded round bamboo materials marked by bamboo species, diameter and mechanical properties. The components and joints of round bamboo should be designed on the basis of graded round bamboo and mainly processed in factory and supported standardized processing technology and performance testing standards. Modular design and construction technology are beneficial to the construction and promotion of round bamboo building.

Key words: round bamboo construction; construction technology; beam and column; component joints

20世纪以来, 热带和亚热带森林上层林木砍伐后, 竹子用途不断扩大, 其经济价值越来越高^[1]。我国竹资源丰富, 开发创新竹产品对社会经济发展具有重要意义, 除传统的竹席/帘胶合板、竹地板等成熟产品外, 近年来随着竹缠绕工程材料、竹质异形材^[2-3]以及胶合竹^[4-5]等一系列竹质工程材料的研发制备, 使得竹材在建筑领域的应用得到进一步推广。然而竹材较之木材存在硬度大、径级小、中空

和出材率低等特点^[6], 使得竹材的加工成本相对较高。圆竹作为一种传统的天然材料被广泛用于建造房屋^[7]、制造家具以及生活器具^[8], 又因其光滑的外壁、竹节的自然质感和竹文化气息, 圆竹深受人们喜爱。圆竹作为建筑材料有着悠久的历史, 因其价廉量大, 又方便获取等特点, 在我国南方、南亚及拉丁美洲的一些国家和地区, 圆竹建筑较为普遍^[9]。我国傣家竹楼是传统竹建筑的典型代表, 但

收稿日期: 2019-05-27

基金项目: 国际竹藤中心基本科研业务费专项资金(1632018025)和国际竹藤中心基本科研业务费专项资金(1632019030)共同资助。

作者简介: 严彦, 博士, 助理研究员。E-mail: yanyan@icbr.ac.cn

* 通信作者: 费本华, 博士, 研究员, 博士生导师。E-mail: feibenhua@icbr.ac.cn

随着旅游业、绿色建筑的发展，在体量、结构、功能以及风格上都对传统竹建筑提出了新的要求。与此同时，国内外学者对圆竹杆件设计及力学性能^[10-11]、圆竹分级^[12]、微观构造^[13-14]以及干燥及防腐^[15-16]等方面开展了大量研究并取得了一系列进展，这为天然竹材的优化利用提供了理论基础。

现代竹建筑在继承传统建造技术基础上，结合新材料新技术不断发展，使得现代竹建筑在空间体量上超越了传统竹建筑，建筑风格也更加多样化，服务功能也从民居建筑拓展至桥梁^[17-18]和大型场馆建筑^[19-20]。在竹建筑发展过程中，想要了解圆竹材构件在建筑中的应用现状，需对竹建筑基础、梁柱以及连接结点等方面的建造技术进行梳理分析，该研究工作也为促进适应现代建筑用圆竹产业打下坚实基础。

1 建筑基础与地基加固

竹建筑基础工程与其他类型建筑一致，均需依据施工图进行定位放线、平整场地和开挖基槽^[21]。需注意的是竹建筑由于其构件为竹质材料，尤其在我国南方白蚁危害严重地区^[22]，需采用综合防治或药剂处理^[23]后再开展后续施工。圆竹建筑的首层易采用通透结构或设置架空层，并保证净空高度不小于 60 cm，并设置通风口，保证各架空层与外部联通对流，通风口总面积不低于楼盖面积的 1/120。

竹景观建筑常会在山林或临水区域建造，基础遇软弱地质层时，除按常规地基加固方法处理^[24-25]，也可采用圆竹制作竹桩^[26]进行地基加固。竹桩以圆竹为主要材料，施工方便造价低，即可用基础加固，又可作为河流驳岸挡土用的排桩及小型桥梁支承用的排桩等。竹桩按形式分为整竹竹桩和填充竹桩。整竹竹桩以直径 10 cm 以上的整竹制成，将整竹根部向上梢部向下，梢部一端齐竹节锯下，在夯打时为防止顶部开裂，采用圆形硬木制作桩帽，夯打竹桩入土。填充竹桩与整竹竹桩做法一致但其内部被打通内节膜并填土夯实，竹杆外围每距一个竹节用铅丝绕扎，填充竹桩刚性较强，也有良好的耐压强度。

圆竹材构件在用于建筑基础工程时，需要考虑防白蚁和通风防潮处理，竹桩是一种价格便宜宜就地取材和制作的圆竹构件，因缺乏加工标准和性能评价目前应用较少，可开展相应研究扩大利用。

2 圆竹构件与基础的连接

圆竹建筑上部结构与基础的连接方式可分为：

柱础石连接、木质隔板（托梁）连接、金属件装配式、杆件直埋混凝土连接 4 种类型。柱础石连接类型^[27]在我国民居圆竹建筑中采用较多，以傣族竹楼最为典型，圆竹柱支撑起整栋建筑，地面首层架空^[28]。这种建筑的柱与基础连接多采用柱础石，即柱础用于支撑柱子的基石^[29]。柱础石通常制成形状规则的立方体或圆柱体，其顶面与柱脚直接连接，底面与建筑基础连接。

木质隔板或托梁连接类型出现在南美洲的哥伦比亚、委内瑞拉等地区的圆竹建筑中，圆竹竖向密排作为墙结构骨架，并在骨架内外两侧固定竹条和抹灰制作成承重墙^[30]，如图 1，这种墙体的竹质骨架与基础连接处通常安装有木质隔板或托梁，墙体不与地基直接连接，隔板或托梁的下方与建筑基础连接。

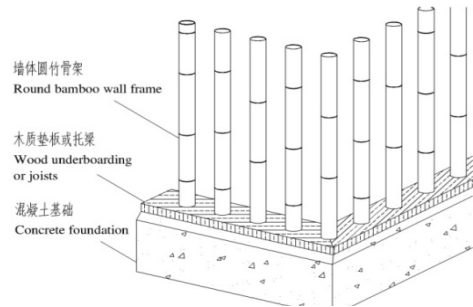


图 1 圆竹墙体框架与木隔板或托梁连接
Figure 1 The connection of round bamboo wall frame and underboarding or joists

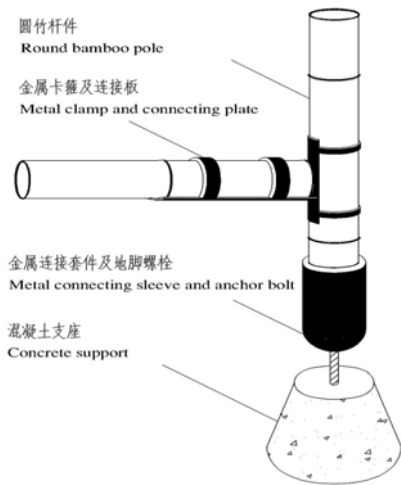


图 2 圆竹柱与基础装配式连接
Figure 2 The assembly connection of round bamboo column and foundation

金属件装配式类型在现代圆竹建筑中使用较多，在圆竹杆件底部采用套箍进行加固，沿轴向植入金属杆件并用水泥砂浆灌注密实，杆件下部植入混凝土基础支座或与预先预埋入混凝土支座的预埋

件对接安装,如图 2。此种连接类型为装配式连接可重复使用,连接性能稳定且装拆方便,同时圆竹端部也较易进行防潮抗劈处理^[31-33]。

圆竹杆件直埋混凝土连接类型,该种连接是将圆竹杆件基部直接埋入混凝土基础中,其连接强度较大,可用于单根或多根圆竹杆件与基础混凝土支座的连接,如图 3;同时为提高连接处杆件的稳定性和连接强度,通常会在杆件端头增设靴套,内腔设置金属螺杆并灌入混凝土填充密实^[34]。该类型连接外观较为简洁,辅助的金属件及提高了连接性能又较为隐蔽。

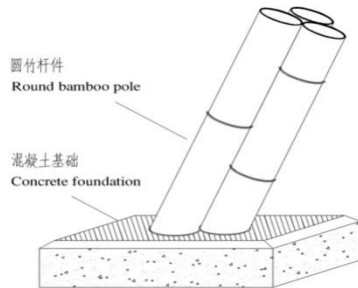


图 3 圆竹杆件与混凝土连接

Figure 3 The connection of round bamboo column and the concrete

圆竹构件与建筑基础的 4 种连接方式均可较好的提供连接,其中前两种连接方式的施工安装较为简便,对构件加工精度要求相对较低,但木质隔板或托梁使用时需增设防潮层^[35];后两种连接方式外观较为美观,结构性能也更为优异,但对加工精度要求较高。金属件装配连接和圆竹杆件直埋连接需考虑标准化的连接件和结点尺寸效应^[5],如配套相关质量评价标准,将有利于规格化圆竹材通用配件的标准化设计和生产。

3 圆竹梁柱加工与安装

圆竹建筑梁柱框架结构主要由圆竹杆件按一定的技术规程^[36]组合而成,圆竹梁即一种以圆竹为主要材料制成的直线或曲线形构件,水平或倾斜安装,用于传递建筑荷载至柱或墙等构件上。圆竹柱在结构中主要承受轴向压力的纵长形构件,一般垂直或与地面成一定角度安装,用以支承梁、屋架等荷载。

3.1 梁构件加工与安装

圆竹梁形式多样,单根或多根圆竹通过一定组合方式均可制作成圆竹梁,但受竹材的径级和长度限制,圆竹之间需要接长来达到设计要求,多根圆竹组合梁除接长外还需在宽度和高度方向上拼宽和叠高以满足构件尺寸及性能要求^[37]。圆竹接长的形

式主要有对头平接、叠接、搭接 3 种形式。对头平接形式主要出现在圆竹拱梁中,拱梁将荷载转化为拱内应力^[38],对接处两侧圆竹通常为轴向受压,其内部通常会辅以小径圆木或其他材料填充成为实心体,再用金属卡箍或螺栓辅助连接。叠接的形式主要出现在圆竹杆件正交重合部位,其下部为完整,上部进行叠接。安装需时先按径级分级圆竹,采用大头对大头,小头对小头进行组合,这样叠接缝均较平顺;叠接处圆竹各切去一半,空腔内填充小径圆木后将上下两半圆竹结合,用螺栓及金属套箍紧固完成接长。搭接既可用于梁内圆竹互搭接长,也可用于梁柱连接时圆竹相互穿插转换,常用于圆竹建筑的悬挑梁或拱梁处^[39-40]。搭接时圆竹大小头交错拼搭,如图 4,棕绳绑扎固定。圆竹互搭连接时即可采用单根圆竹依次搭接延长,也可使用双根或多根圆竹组合搭接延长。

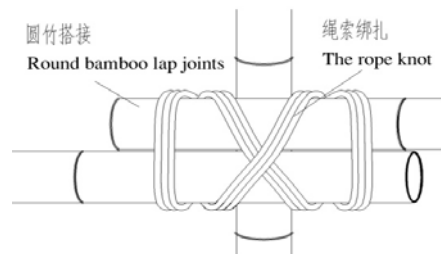


图 4 圆竹搭接做法

Figure 4 The method of round bamboo lap joint

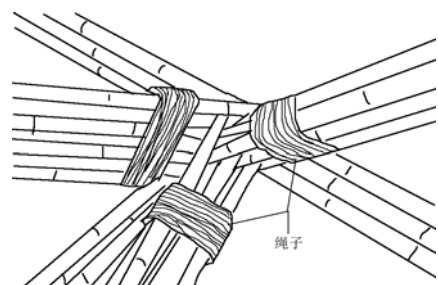


图 5 圆竹梁拼宽叠高及结点

Figure 5 Round bamboo combination beam and joints

圆竹拼宽主要用于增大梁截面尺寸,提高承载能力。但由于圆竹外壁光滑呈圆柱体,相互间易滑动需要辅助木质或其他材质的垫块嵌合圆竹间空隙,也起到增强夹持作用,如图 5,将圆竹分层绑扎并引出绳索在梁体外围缠绕数道,完成圆竹拼宽固定。在一些竹结构的大型场馆中,圆竹拼宽过程中又可与结点结合,将绑扎结点引入其中,实现梁与其他圆竹构件的连接^[41-42]。

3.2 柱构件加工与安装

柱子是直立支承受力构件,在圆竹建筑中依据

柱子的部位不同,可参考木结构建筑分为内排柱和檐口柱^[43]。圆竹柱柱身大多采用直径10 cm以上毛竹(*Phyllostachys edulis*)、瓜多竹(*Guadua paraguayana*)或更大径级的巨龙竹(*Dendrocalamus sinicus Chia et J.L.Sun.*)制作,将多根直径相近的竹筒通过绑扎或金属箍件进行组合,组合形式多样^[44]。由于巨龙竹杆形通直径级大,密度和硬度较高^[45],适宜以檐口单杆柱形式安装,以体现大径的圆竹美感。但因其体量大、长细比大,安装时需预先在柱端部和结点处预先设置好金属连接件,同时宜采用吊车等机械进行辅助安装,以保证安全和精度。

现有圆竹梁柱加工及安装工艺中,从选料到安装多以人工作业为主,标准圆竹材及其梁柱的工厂化预制件使用较少,一定程度上影响了圆竹建筑的质量和成本控制。在圆竹材的尺寸标准化、机械分等^[46]和标准配件等方面需开展相应研究,以提升竹建筑工业化程度并降低成本。

4 圆竹构件结点安装

圆竹构件相互连接形成整体,结点是传力枢纽^[47],其性能对结构整体性能起到了重要作用,且需满足易加工、运输、安装和安全经济等特点,圆竹构件结点可归为绑扎连接、销钉连接、齿槽连接等七类形式。

4.1 绑扎连接

绑扎结合是圆竹连接的一种传统技术,广泛用于圆竹建筑、脚手架、棚架建造中,绑扎材料包括竹篾、棕绳、金属丝等,棕绳绑扎前需油浸提高耐腐蚀性能。绑扎方法为将绑扎材料围绕两根杆件数周,结成圈状再绞紧,以增加绑扎物与杆件的摩擦力,绳子在连接中承受拉力^[32]。在圆竹棚架或临时建筑或脚手架中,多采用镀锌铁丝进行绑扎,绑扎方式与绳索绑扎类似但最后需绞紧。绑扎连接中还可以在绑扎绳索中插入竹片等包接材料,以增大连接面积,起增强结点性能作用^[26],此类连接方法多用在竹柱上部与屋架连接处(图6)。

4.2 销钉连接

销钉连接在圆竹结构中应用较多,包括金属销钉、木销、竹销钉等,金属销钉较易采用设备批量加工,性能可控,因此使用较为普遍。销钉连接通常与竹腔填充配合使用,竹腔填充处理可使圆竹构件在连接部位形成实体以增强连接部位强度,利于钻孔和安装销钉。金属销钉一般制作成圆形杆件,一端或两端带有螺纹,以方便穿销并用螺帽垫片等紧固连接;紧固过程中螺栓不得张拉过紧,否则容

易将圆竹杆件挤压变形或开裂。竹质销钉^[48]与被连接杆件的材料一致,在温湿度变化条件下连接部位同种材料间协同性较好^[33];在使用竹销钉连接时,通常根据销钉的截面尺寸进行预开孔,然后楔入竹销,两者类似榫卯的过盈配合^[49]。

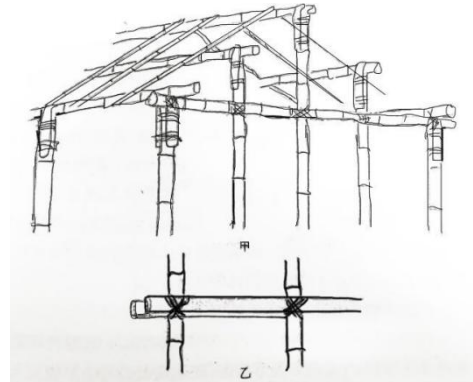


图6 圆竹的绑扎包接

Figure 6 The lashing and securing of round bamboo members

4.3 槽齿连接

槽齿连接是木结构中榫卯连接在圆竹结构中的演变^[26,33],由于圆竹的空腔结构,需在连接处增大槽齿的承压面积,通常增设垫片或竹腔实心化来使齿槽连接更加稳固。增设垫片需在圆竹杆件连接处开设齿槽,在齿槽与齿的接触面上安装垫片,垫片为木质或其他材质,以增大承压面积。齿槽连接前也可将竹腔实心化处理,竹腔实心化可防止圆竹杆件长时间应力集中而受到破坏,通常可用混凝土或圆木等其他材料将结点处竹腔填充;在采用混凝土填充竹腔时由于两者干缩湿胀性能不同,易造成材料界面分离,需改良混凝土,并研究其差异干缩行为^[50-51]。

4.4 烧弯连接

烧弯连接利用竹材局部受热到一定温度下易弯曲,恢复常温时又可维持这种弯曲的特性。烧弯连接通常对烧弯处圆竹杆件进行切削,仅保留一侧的竹青,再对竹青进行火烤,在竹青面有油状物质出现时立刻进行热弯,竹片青面向外包住直通杆件并叠回原杆上,并用绳索绑扎或气钉辅助固定热弯竹片于原杆端部^[52],形成圆竹杆件的直角或任意角度连接^[33]。烧弯连接优点在于连接件与杆件一体化且材料一致,也可用于圆竹调直或弯曲造型,烧弯用处较大但目前工艺却以手工为主,加工效率和精度不高,需加大竹材热弯工艺^[53]机理研究。

4.5 穿斗式连接

穿斗结构是中国古代木结构建筑的一种连接方

式, 每排柱子靠穿透柱身的穿枋横向贯穿起来形成构架, 这种结点的力学性能较好^[54]。用竹子做成的穿斗节点如图 7 所示, 圆竹柱身开设矩形卯眼, 木梁贯穿其中, 为避免卯眼下部竹壁局部受压应力不均造成破坏, 需在卯眼与木梁结合处设置垫片。该种连接适用于圆竹直径较大时适用, 穿斗式连接结构简单经济, 最大特点为结点处梁柱构件均较完整连贯, 且梁柱相互牵拉具较好协同性, 也有一定的抗震性能^[32]。

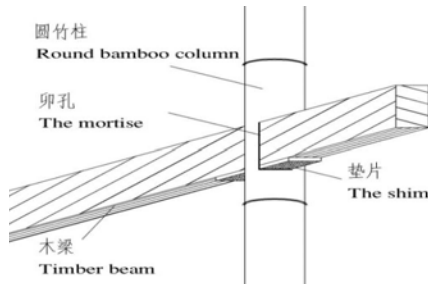


图 7 圆竹构件穿斗式连接

Figure 7 The cross connection of round bamboo members

4.6 金属件连接

圆竹杆件间通过金属件进行连接, 连接形式灵活多样, 连接件包括金属杆件、卡箍、柔性垫片等, 如图 3。有些圆竹杆件在连接处需预先进行内腔灌注, 灌注材料可以选用水泥砂浆、石膏、小径圆木或圆竹等^[52,55-56], 填充后的圆竹杆件易于安装带有柔性垫圈的卡箍, 卡箍带有标准金属接口, 采用螺杆、连接板等配件与金属接口对接装配完成连接。此种结点连接的圆竹杆件数量和角度均较灵活, 并可定制设计^[57], 且结点性能较为稳定, 但需形成统一的连接标准。

4.7 套筒连接

套筒连接即在圆竹杆件外部套接圆形套筒或类似靴帽状连接件, 并通过套筒相互连接来实现圆竹杆件间的连接。套筒材质多样可以为金属、工程塑料以及一些性能较好的木材, 套筒样式多样可以为直线、直角、十字正交或空间交叉等样式。套筒内径通常略大于杆件外径, 并可以辅以胶水或金属螺杆对套筒连接进行加强。需要注意的细节是, 由于圆竹杆件的端部通常为完整的竹节, 由于节部的凸出, 需要在套筒孔内预设凹环以配合连接^[26,58]。套筒连接优点在于即实现了圆竹杆件的连接, 又在其最薄弱的圆周方向^[59]给予了增强和保护, 如能实现规格化的圆竹套筒一体化标准杆件将有利于圆竹构件工厂化生产。

圆竹结点形式多样, 但工业化生产和装配率较

低, 也缺乏较为标准的连接工艺。绑扎、烧弯、穿斗开孔等传统连接做法大多以手工制作安装, 金属件或套筒等连接件可实现工业化批量生产但现场装配和水泥砂浆灌注竹腔还需要人工操作, 工序也较为复杂; 这些因素导致圆竹材构件的加工和安装效率低, 成本高, 建筑结点质量难于控制。

5 结语

综上所述, 圆竹材以及其生物量大、采伐周期短、强度高价格低等特点沿用至今, 在受到人们持续研究和利用的同时, 圆竹建筑也因此表现出强大的生命力, 并传承着竹建筑的美感和竹文化底蕴^[60], 促进了经济发展^[61]。通过对圆竹材在建筑基础、基础与构件连接、圆竹梁柱、结点等方面应用的探讨发现, 圆竹材用于建筑地基处理或驳岸防护具有价格便宜就地取材的优势; 圆竹材力学性能优良, 适宜加工成现代竹建筑的大型梁柱构件, 构件结点既有传统做法, 也有结合金属配件的现代竹建筑连接做法, 传统做法以人工操作为主, 要求人员具有一定安装技能和经验, 现代连接方式多采用金属预制件, 但现场安装也需人工操作, 工序较为复杂, 在进行水泥砂浆灌注时效率不高。随着现代建筑制造工厂化和装配模块化的产业发展要求, 圆竹材在建筑中的应用急需进行产业化升级, 实现竹材原料规模化工业分级, 并可参考规格材进行标准化加工, 在圆竹材的竹种、外观、尺寸以及力学性能使用系统的产品编码; 圆竹材构件及其连接件也应以模块化设计与工厂化生产为主, 并制定相关产品质量检测标准。提升圆竹材及其构件的标准化、规模化生产制备, 将会使圆竹材在建筑中的应用更加普及, 并对我国竹林经济发展产生积极效应。

参考文献:

- [1] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002.
- [2] 费本华, 陈美玲, 王戈, 等. 竹缠绕技术在国民经济发展中的地位与作用[J]. 世界竹藤通讯, 2018, 16(4): 1-4.
- [3] 王戈, 程海涛, 顾少华, 等. 竹质异型材的分类与应用现状[J]. 林产工业, 2018, 45(11): 1-5.
- [4] 严彦, 刘焕荣, 张秀标, 等. 毛竹材性差异对胶合竹层板应力分级的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(2): 260-264.
- [5] YAN Y, LIU H R, ZHANG X B, et al. The effect of depth and diameter of glued-in rods on pull-out connection strength of bamboo glulam[J]. J Wood Sci, 2016, 62(1): 109-115.
- [6] 江泽慧, 王戈, 费本华, 等. 竹木复合材料的研究及发展[J]. 林业科学研究, 2002, 15(6): 712-718.
- [7] 邱尔发, 洪伟, 郑郁善. 中国竹子多样性及其利用评述[J]. 竹子研究汇刊, 2001, 20(2): 11-14.
- [8] 谢贻发, 谢贵水, 姚庆群, 等. 我国竹类资源综合利用现状

- 与前景[J].热带农业科学,2004,24(6):46-52.
- [9] 朱建新,盛素玲.浅谈竹结构建筑的生态性[J].建筑科学,2005,21(4):92-94.
- [10] 张丹,王戈,张文福,等.毛竹圆竹力学性能的研究[J].中南林业科技大学学报,2012,32(7):119-123.
- [11] RICHARD M J, HARRIES K A. Experimental buckling capacity of multiple-culm bamboo columns[J]. Key Eng Mater, 2012, 517: 51-62.
- [12] 刘焕荣,孙正军,江泽慧,等.一种圆竹分级方法[P]. CN107486410A
- [13] 刘嵘.毛竹材细胞壁的纹孔特征研究[D].北京:中国林业科学研究院,2017.
- [14] 罗俊吉,刘嵘,连彩萍,等.竹材导管壁纹孔式的比较研究[J].竹子学报,2018,37(1):16-22.
- [15] 覃道春.铜唑类防腐剂在竹材防腐中的应用基础研究[D].北京:中国林业科学研究院,2004.
- [16] TANG T K H. Preservation and drying of commercial bamboo species of Vietnam[D]. Hamburg: University Hamburg, 2013.
- [17] JANSSEN J J A. Bamboo: its use in the construction of roofs and bridges[J]. Appropriate Technology, 1983, 10(2): 20-23.
- [18] LAROQUE P. Design of a low cost bamboo footbridge[J]. Massachusetts Institute of Technology, 2007:57-59.
- [19] KRIES M, DETHIER J, STEFFENS K. Grow Your Own House: Simon Velez and Bamboo Architecture[J]. Vitra Design Museum, 2002.
- [20] 卢健松,刘一琳,徐峰.中国南方拱形大跨竹建筑的特征及应用[J].建筑学报,2014(S2):1-6.
- [21] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑地基基础工程施工质量验收规范:GB 50202-2018 [S].北京:中国计划出版社,2018.
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.中国陆地木材腐朽与白蚁危害等级区域划分: GB/T 33041-2016 [S].北京:中国标准出版社,2017.
- [23] 谷岱霏,严善春,李志强.氧化苦参碱对台湾乳白蚁纤维素酶活性的抑制作用[J].林业科学,2017,53(2):83-88.
- [24] 中华人民共和国建设部.既有建筑地基基础加固技术规范: JGJ 123-2012 [S].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [25] 孙训海,佟建兴,杨新辉,等.微型桩在软土地基加固工程中的应用[J].岩土工程学报,2017,39(S2):91-94.
- [26] 李正,顾正.竹材及其在建筑工程中的应用[M].上海:上海科学技术出版社,1957.
- [27] 秦亮泰.古建筑柱础石的演变与分期特点[J].文物世界,2006(6):26-30.
- [28] 沈丽贤,尹建伟.从形式与功能角度初探傣族竹楼的传承[J].艺术与设计(理论),2008(2):106-108.
- [29] 李国豪.中国土木建筑百科全书·建筑[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [30] LOPEZ, O H. Bamboo-The gift of the gods[M]. Columbia: D'NINNI LTDA,2003.
- [31] ZERI Organisation. Construction with Bamboo-ZERI Pavilion [R]. ZERI Pavilion on the EXPO,2000.
- [32] 张楠,柏文峰.原竹建筑节点构造分析及改进[J].科学技术与工程,2008,8(18):5318-5322.
- [33] 王修通.基于结构分析的原竹屋架构造技术研究[D].昆明:昆明理工大学,2013.
- [34] 刘可为,奥利弗·弗里斯.全球竹建筑概述:趋势和挑战[J].世界建筑,2013(12):27-34.
- [35] 沈显超.建筑围护结构防潮性能研究[D].武汉:武汉理工大学,2006.
- [36] 中国工程建设协会.圆竹结构建筑技术规程:CECS 434:2016 [S].北京:中国计划出版社,2016.
- [37] 郝际平,寇跃峰,田黎敏.喷涂复合材料-原竹组合梁受弯性能试验研究[J].建筑结构学报,2018,39(S2):242-246.
- [38] 邹智波.混凝土收缩徐变对钢管混凝土拱梁组合结构内力重分布的影响[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [39] HENRIKSON R, GREENBERG D, EXPO. Bamboo architecture: in competition and exhibition; the International Bamboo Building Design Competition and the 2010 Shanghai World Expo[M]. Ronore Enterprises, 2011.
- [40] LYNNE E, ADAMS C. Alternative construction: Contemporary natural building methods [M]. China Machine Press, 2005.
- [41] 朱晓琳.上海世博会越南馆[J].建筑技艺,2012(2):194-201.
- [42] 朱晓琳.竹子的翅膀[J].建筑技艺,2012(2):214-219.
- [43] 赵鸿铁,张锡成,薛建阳,等.中国木结构古建筑的概念设计思想[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2011,43(4):457-463.
- [44] NAIDU D R, 刘可为.印度馆2010年上海世博会中国[J].世界建筑,2013,12:80-85.
- [45] 邓嘉雯,刘瑞华,成聘睿,等.厚壁型巨龙竹秆材物理性质分析[J].林业科技通讯,2015(3):74-76.
- [46] 任海青,郭伟,殷亚方.北美规格材机械分等综述[J].世界林业研究,2006,19(3):66-70.
- [47] 许昆,郝际平,赵曰亭,等.竹材在建筑结构中的应用发展与研究现状[J].竹子研究汇刊,2013,32(4):12-18.
- [48] 宋焕,李桥,祁云扬,等.国内外钉/木销连接层积材研究进展[J].林业机械与木工设备,2018,46(10):8-11.
- [49] 杨建福.榫卯结构参数对其力学性能的影响研究[D].北京:北京工业大学,2017.
- [50] 石妍,杨华全,陈霞,等.骨料种类对混凝土孔结构及微观界面的影响[J].建筑材料学报,2015,18(1):133-138.
- [51] VETTER R E, SÁ RIBEIRO R A, SÁ RIBEIRO M G, et al. Studies on drying of imperial bamboo[J]. Eur J Wood Prod, 2015, 73(3): 411-414.
- [52] 王雅晶.以原竹为主要材料的西双版纳傣族民居轻型屋顶更新研究[D].昆明:昆明理工大学,2011.
- [53] 陈美玲.毛竹材弯曲延性的研究[D].北京:中国林业科学研究院,2018.
- [54] 郝晓航.抬梁、穿斗式木构架结构性能试验研究[D].南京:东南大学,2015.
- [55] MATEO K, JEAN D, KLAUS S. Grow your own house: Simon Velez and bamboo Architecture [M]. Ginevra: Germany Vitra Design Museum, 2016.
- [56] VILLEGAS M. New Bamboo Architecture and Design[M]. Villegas Editores, 2003.
- [57] 刘天剑.内填式竹结构构件轴压试验及非线性分析[D].广州:广东工业大学,2018.
- [58] SHARMA B. Seismic performance of bamboo structures[D]. Pittsburgh :University of Pittsburgh, 2010
- [59] 王戈,陈复明,程海涛,等.圆竹双轴向压缩方法的研究[J].中南林业科技大学学报,2010,30(10):112-116.
- [60] 彭镇华,江泽慧.绿竹神气[M].北京:中国林业出版社,2006.
- [61] 王方华.世博会与上海经济[M].上海:上海交通大学出版社,2003.