

木结构建筑健康性能调查研究 成果报告

健康建筑产业技术创新战略联盟
中国建筑科学研究院有限公司
二零二一年五月

目 录

一、研究背景	1
二、性能检测	4
2.1 苏州太湖玲珑花园项目	4
2.2 杭州开元森泊度假酒店	5
2.3 中加低碳节能建筑技术交流中心	6
2.4 海口市市民游客中心	6
2.5 昆明九溪云舒体验中心	7
三、调研成果	8
3.1 线上调研情况	8
3.2 线下调研情况	14
四、结果分析	19
五、工作展望	20
参考文献	22

一、研究背景

面对全球气候变化、环境匮乏与环境风险日益严峻的问题，全社会高度重视，积极探索可持续发展路径。根据国际能源署(IEA)对全球建筑领域用能及排放的核算结果：2018年，建筑业建造和建筑运行相关的终端用能占全球能耗的35%，在我国，这一比例达到37%，建筑的资源消耗和用能效率仍是落实全球可持续发展议程的重要挑战。我国近年在绿色建筑、被动式建筑、近零能耗建筑、装配式建筑等方面给予大量的政策、科技和产业支持，推动标准体系不断完善，工程实践规模增长，在资源高效利用和节能减排方面取得了突出的成果。2015年8月31日，工业和信息化部、住房和城乡建设部印发《促进绿色建材生产和应用行动方案》，推动建材工业服务绿色发展，并明确指出发展木结构建筑；2017年3月23日，住房和城乡建设部印发《“十三五”装配式建筑行动方案》，提出“制定全国木结构建筑发展规划，明确发展目标和任务，确定重点发展地区，开展试点示范”的重点任务。木结构建筑在落实绿色发展和绿色建造方面受到越来越多的支持。

现代木结构建筑因其材质绿色环保特性，可工业化的建造方式，全寿命周期的低环境影响，在许多森林资源丰富的地区已经广泛应用。木结构建筑是指建筑的整体承重结构使用原木或工程木的一种建筑形式，其建筑主体材料为经过加工的木质材料，如正交胶合木、胶合木等^[1,2]。与传统建筑相比，木结构建筑的低碳、生态、节能、绿色的优势明显。在原材料方面，木材是易于再生、可重复利用的资源和良好的固碳建筑材料。研究发现，采用木结构消耗的能源当量仅为采用钢结构的三分之一，采用混凝土结构的八分之一。木结构的二氧化碳排放当量仅占其他两种结构的一半或更低。在建造方式方面，木结构建筑可采用装配式和模块化的方式。通过工厂预制成型，工地现场装配，既降低了气候条件对材料生产和施工环境的限制，又缩短了施工周期^[1,4]、降低了现场操作强度、劳动成本、资源消耗、以及噪声和粉尘等环境污染。在安全方面，木结构建筑具有良好的抗震性和防火性。木结构因自重较轻，受强风地震等影响相对较小，同时具有良好韧性，对瞬间冲击载荷和周期性疲劳破坏有较强抗性^[1,5]。在公众普遍关注的耐火能力方面，大尺寸木结构构件可在表面形成碳化层抵抗热渗透，同时还可以采用防火石膏板保护层、增加防火间隔、安装自动喷淋系统等措施提高防火性能。现代木结构具有较好的可修复性，在良好的维护条件下，木结构房屋比混凝土结构更耐久^[2]。在工程市场方面，现代木结构建筑的应用成熟。在美国，95%以上的低层民用建筑是木结构建筑；在加拿大，每年新建的独栋住宅中装配式木结构建筑占比约80%；在欧洲北部，芬兰，瑞典，90%的房屋是1~2层木结构建筑；在澳大利亚、英国、法国、日本等发

达国家，木结构建筑的应用也在快速增加^[6]。我国木结构建筑主要用于三层及三层以下的民用建筑，目前每年新增的项目数量低于 1000 个，在新建建筑增量中占比很低^[3]，中国实施的人工林政策效果明显，种植面积和库存量均跃居世界前列，木结构建筑有了充足的原材料，获得了良好的发展基础。

现代木结构建筑因独具木材天然的健康属性与调节作用，可营造出温暖、自然、舒适、健康的建筑环境，随着建筑健康性能提升需求的攀升，将受到更广泛的关注。研究表明，人的一生近 90% 的时间在室内度过，建筑中的空气、水质、噪声、温度、湿度、健身条件、社交环境、生活服务等对人的健康状态有着重要影响。建设健康环境，提升建筑健康性能，对提升公众的健康水平意义重大。2016 年，中共中央、国务院印发了《“健康中国 2030”规划纲要》，明确提出推进健康中国建设。同年，全国爱国卫生运动委员会《关于开展健康城市健康村镇建设的指导意见》提出建设健康城市和健康村镇是推进以人为核心的新型城镇化的重要目标，是推进健康中国建设、全面建成小康社会的重要内容。2017 年，住房和城乡建设部《建筑节能与绿色建筑发展“十三五”规划》提出了坚持以人为本，满足人民群众对建筑健康性不断提高的要求。2020 年，住房和城乡建设部等七部委联合印发《关于印发绿色建筑创建行动方案的通知》，提出“提高建筑室内空气、水质、隔声等健康性能指标，提升建筑视觉和心理舒适性”的要求。各地在落实将健康理念贯穿城镇建设管理的各环节过程中，北京市、深圳市、济南市等地从 2021 年起，逐步开始将健康建筑纳入土地拍卖、地方条例、绿色建筑高质量发展实施。在技术和标准支撑层面，2017 年发布《健康建筑评价标准》T/ASC 02-2016，从生理、心理、社会三方面出发，对空气、水、舒适、健身、人文和服务六大性能提出技术要求，指导健康建筑的建设^[7]。截止到 2021 年 5 月，我国健康建筑系列标准体系已形成，健康建筑、社区、小镇标准发布实施，健康酒店、养老建筑、校园、检测、产品等标准开展编制工作。在工程建设方面，近 2000 余栋建筑申请健康建筑标识，推广建筑面积达 2500 万 m²，覆盖 20 个省或直辖市。健康建筑的全面快速发展是解决人们健康诉求不断提升和建筑行业落实大健康理念的重要抓手，后疫情时代，建筑健康性能的升级和规模化的增长趋势将持续。木结构建筑因固有的环境调节和健康影响优势将迎来更好的发展机遇。

目前，国内外关于木结构建筑健康舒适性的研究成果主要是木质环境学方向，与健康建筑整体技术体系的交叉研究工作相对欠缺。木质材料相较于钢筋混凝土，不仅是传承千年的建筑文化的代表，更是天然的生态建筑材料，符合亲环境设计，贴近自然，能够营造人——建筑——自然相和谐的生活氛围，也能营造建筑内部特有的微环境，从视觉、听觉、嗅觉、

肤觉等方面影响室内声、光、热湿环境^[4]。在光环境方面，木材可根据表面的颜色、光泽、纹理和密度给人带来不同体验。木质材料也可通过木材纹理吸收部分有害紫外线和反射红外线，从而降低反射率，使人产生温暖感觉，避免了钢混结构的冰冷沉重。配合适当的采光设计能够营造治愈，充满希望的氛围^[4,9,12]；在声环境方面，木质材料由于其多孔特性，在吸音隔音方面表现良好，既能降低室外噪声干扰，降低结构撞击噪声传递，也能减少室内回声，营造私密性良好的空间^[8]；在热环境方面，相同厚度下，木质材料较标准混凝土传热系数更低。同时，木结构产品也比空心砖墙的隔热效果高数倍，被动调节室内热舒适，保证冬暖夏凉；在湿度方面，木质材料经过加工会控制在 19% 以下的含水率，避免室内湿气过重，也具有数倍于砖混结构的防潮能力，可抑制霉菌滋生。木结构建筑通过调节热湿耦合、热对流等参数，可使不同气候状况下室内维持适宜的湿度和通风状态^[1]；在空气质量方面，木质材料的大量使用使得住宅透气性能更好，有利于室内空气质量的维持。此外，木质材料也可散发特殊芳香气体，芬多精和负离子，起到镇静精神、保健杀菌、增强免疫力的作用^[1,10]；在体验感方面，木质表面给人提供生理上和心理上柔软的触感，可缓解血压升高，利于心理健康。研究发现，木质材料的柔软特性和抗冲击性能，可以吸收部分冲击能量，也降低了人的摔伤概率，更适宜老年人等敏感人群居住^[2,11,12]。木质材料能够有效降低神经系统活跃度，增强压力感知，更易感觉放松^[1]。木质材料因具有以上多方面的健康属性优势，由其构成的建筑环境为建筑健康性能的落实提供了良好的保障。然而，目前木结构建筑整体环境的健康性能还缺乏量化与验证的研究。

2020 年，林创中国联合健康建筑产业技术创新战略联盟、中国建筑科学研究院有限公司《健康建筑评价标准》T/ASC 02-2016 为技术参照，选择木结构建筑中关注度高、易量化的空气、热湿、声环境指标，对坐落于苏州、杭州、昆明、海口、石家庄的 5 个木结构建筑中进行现场检测、计算和健康性能符合性判定。同时，开展用户的木结构建筑使用体验和认知调研，研究木结构建筑在健康方面的公众认知与实际效果。

二、性能检测

根据《健康建筑评价标准》T/ASC 02-2016，健康建筑包括六类指标：空气、水、舒适、健身、人文、服务。本研究目标是选取木结构或木质环境与健康相关的典型指标，暂不考虑水、健身和服务。根据文献研究，目前主要有木材释放物质、湿度调节和隔声性能等相关的研究，与健康建筑标准中涉及的空气质量、热湿环境、声环境直接相关。木结构建筑营造的完整室内环境是否满足健康建筑对空气、热湿、声的要求呢？基于这样的考虑，课题组确定了检测和计算相关指标，对标标准限值进行符合性判定，研究相关健康性能落实情况的工作方法。与此同时，结合线上线下的调研，根据使用者和公众主观的体验与认知，了解木结构建筑环境对健康舒适性的贡献和实际效果。

在检测指标选取方面。空气质量部分选取典型污染物进行浓度测试，包括甲醛、苯、甲苯、二甲苯、氨、TVOC、氡，PM_{2.5}、PM₁₀，CO₂，此类污染物可以反映基本的室内空气质量；热湿环境部分选取风速、温度、湿度进行测试，在此基础上结合项目现场人员服装热阻、人体代谢等进行室内热湿环境评价；噪声部分根据主要功能（居住/酒店建筑为夜间睡眠、办公/展览建筑为昼间办公）测试室内噪声级。

室内热湿环境评价区分人工冷热源热湿环境评价和非人工冷热源热湿环境评价。人工冷热源热湿环境评价对其整体评价指标进行判定，包括预计平均热感觉指标（PMV）、预计不满意者的百分数（PPD）。预计平均热感觉指标 PMV 是一个集温度、湿度、辐射温度、风速、服装热阻和人体代谢率的综合计算出的指标，范围在-3~0~+3，其中 0 表示不冷不热，负值为冷，正值为热，在评价空调或供暖建筑时较为适宜，对非人工冷热源建筑的评价有较大偏差。非人工冷热源热湿环境评价对预计适应性平均热感觉指标（APMV）进行判定。

2.1 苏州太湖玲珑花园项目

本项目位于苏州市吴中区胥口镇孙武路 1029 号，北靠孙武路，南临香山运河。选取其中两栋建筑进行检测：15#楼为独栋住宅（木结构建筑），地上 3 层、地下 1 层，建筑面约 400 平方米；16#楼为 6 层住宅（内部木结构组合墙体），建筑面约 8000 平方米，地上 6 层、地下 1 层。



图 2-4-1 15#楼外立面图



图 2-4-2 16#楼外立面图

2.2 杭州开元森泊度假酒店

本项目位于浙江省杭州市萧山区湘湖风景区湘湖路 1515 号，位于杭州市萧山区湘湖景区，项目总占地约 300 亩，本次对 8735 客房、一览居会议室、雁来轩餐厅进行了测试，均为木结构。8735 客房为二层独栋客房（一层客厅，二层卧室），一览居会议室为独栋建筑，会议室面积约 78.5 平方米。



图 2-4-7 8735 客房立面图



图 2-4-8 一览居外立面图



图 2-4-9 雁来轩外立面

2.3 中加低碳节能建筑技术交流中心

本项目位于石家庄市槐安西路 395 号。1 号楼总建筑面积约 6600 平方米，其中木结构面积约 3500 平方米，一层为混凝土框架结构，二至四层为木结构。木结构部分包括了轻型木结构、重木结构及轻重木混合结构三种木结构形式。



图 2-4-13 交流中心 1 号楼外立面



图 2-4-14 交流中心 2 层大会议室

2.4 海口市市民游客中心

本项目为公共建筑，采用纯木结构屋面，主要用于办公使用，位于海南省海口市龙华区滨海公园路 1 号，东侧、北侧、西侧分别毗邻泰华路、泰华横路、世纪公园路，南侧紧靠公园内湖。项目建设用地面积约 58.79 亩，建筑面积为 29800 平方米，地上四层，面积为 16800 平方米，地下一层，面积为 13000 平方米。



图 2-4-19 项目立面图



图 2-4-20 项目俯视图

2.5 昆明九溪云舒体验中心

本项目位于昆明市呈贡区七甸街道意思桥水库旁，地处昆明市阳宗海国家级旅游度假区风景名胜区内。项目主要结构为钢结构与木结构，室内空间采用木构和木质装饰物。



图 2-4-24 楼外立面图



图 2-4-25 楼外立面图

三、调研成果

本课题调研工作采用线上线下结合的形式,问卷题目的设置基于木结构建筑健康性能相关的文献,《健康建筑评价标准》T/ASC 02-2016,课题实际情况和工作组启动会讨论结果。

线上调研未限制参与人群,内容侧重于对木结构建筑的体验、印象、优点、缺点、前景的直观感受或认知,包含 15 个问题。线下调研人群为本课题 5 个检测项目的现场工作人员,内容侧重于人群自身热感觉,空调使用行为,建筑环境感受(热湿、空气质量、采光、隔声),和对工作生活的影响。

调研结果显示:

(1) 项目现场半数受访者感觉冬季、夏季室内温度适中,7 成认为冬季、夏季湿度适中;

(2) 项目现场半数受访者认为室内无刺激性气味,仍然有半数认为有刺激性气味。在室内空气质量的总体评价中,38.46%认为室内空气“清新”。空气质量总体令人满意,但仍有很大提升需求以消除刺激性气味带来的顾虑;

(3) 项目现场受访者认同木结构建筑给人们的生活/工作带来了积极的影响,半数认为木结构建筑可以改善情绪状态;

(4) 木结构建筑天然、舒适、节能、环保、高品质、调节情绪、气味怡人的属性被广泛认可;

(5) 木结构建筑的视觉舒适满意度最高。而对于通常担忧的隔声痛点,不满意度占比 3 成;

(6) 木结构建筑更适用于居住建筑,公共建筑其次。对于公共建筑,木结构建筑更适用于文化建筑,具有天然的人文属性特色。

3.1 线上调研情况

调研共收到国内 28 个省、直辖市、自治区和国外共计 342 份问卷反馈(图 3-1-1),地区涵盖我国严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区和温和地区 5 个气候区。受访者男女比例差异不明显,其中男性占 57.02%,女性 42.98%;年龄在 21-30 岁为主,占 43.57%,其次为 41-50 岁,占 34.21%(图 3-1-2)。

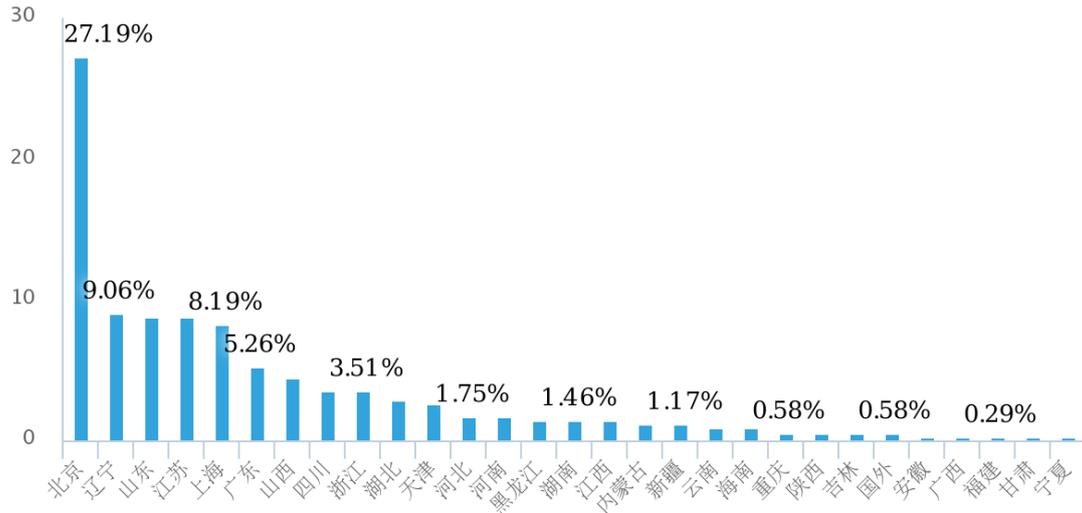


图 3-1-1 问卷地区分布

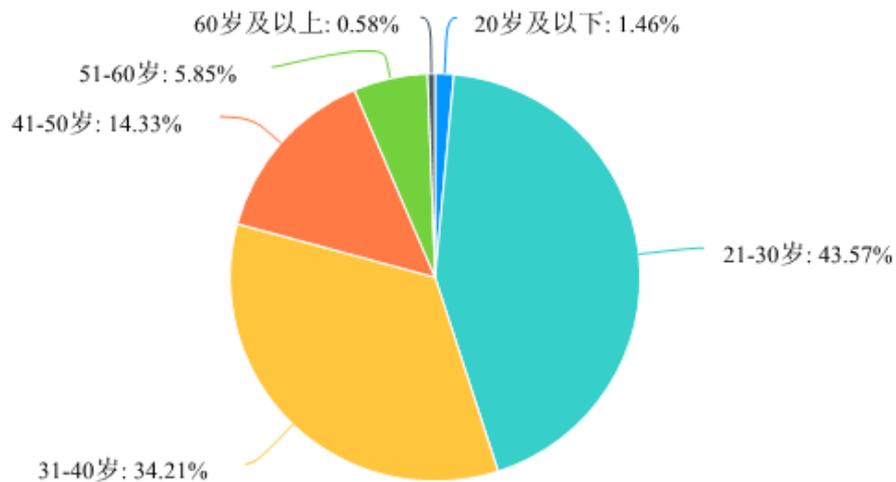


图 3-1-2 线上调研受访者年龄比例

线上调研结果显示：

(1) 印象中的木结构建筑主要用于旅游景点、游客中心、乡村住宅、山中木屋、小型别墅，是原生态休闲娱乐场所的重要应用；

(2) 木结构建筑天然、舒适、节能、环保、高品质、调节情绪、气味怡人的属性被广泛认可；

(3) 木结构建筑给予人视觉的舒适，而对于通常担忧的隔声痛点，不满意比率为23%；

(4) 木结构建筑适用于居住建筑，公共建筑其次。公共建筑中，木结构建筑更适用

于文化建筑，具有天然的人文属性特色；

(5) 多数受访者对于木结构建筑的发展持看好的态度。

受访者目前居住的木结构建筑、砖木结构较少，以钢筋混凝土结构建筑为主。图 3-1-3 为受访者居住类型分布，居住在钢筋混凝土结构建筑中的人数最多，占 78.95%；砖混结构、木结构建筑、砖木结构建筑分别占 14.62%、3.22%、2.63%、0.58%。

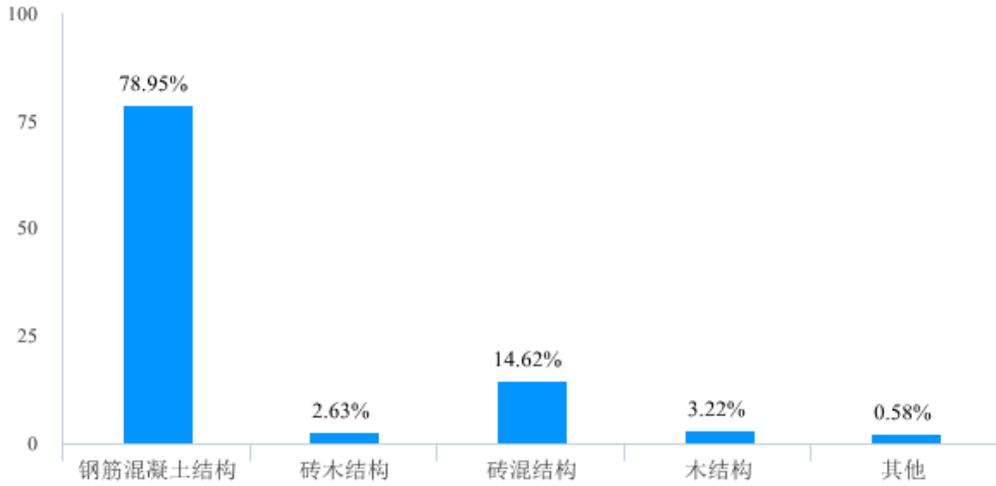


图 3-1-3 受访者目前居住的建筑类型

受访者在木结构建筑中居住或工作过的比例占 51.17%（图 3-1-4），使用时间以一年为主。其中，居住或工作时间在一年以内的人数占比 43.68%、1-2 年占比 12.07%、2-3 年占比 20.69%。

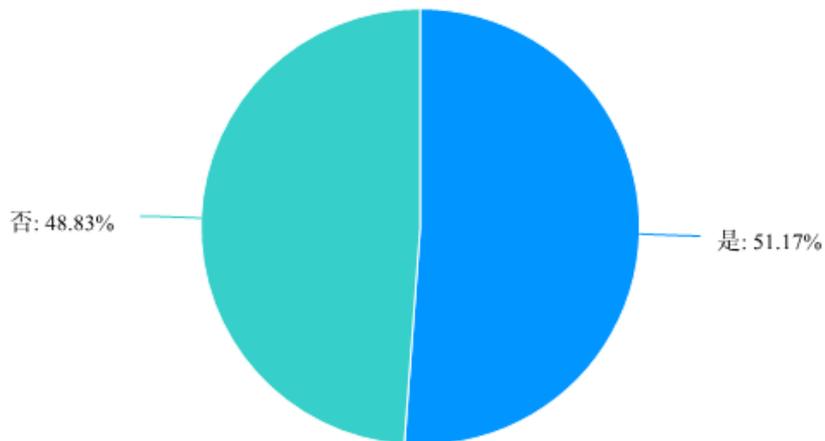


图 3-1-4 受访者使用木结构建筑的经历

多数受访者对木结构建筑有一定了解，了解途径主要源于亲身居住或工作（图 3-1-5、3-1-6）。数据表明，非常了解人数占比近 10%，不了解人数占比 21.05%，了解的途径多样。

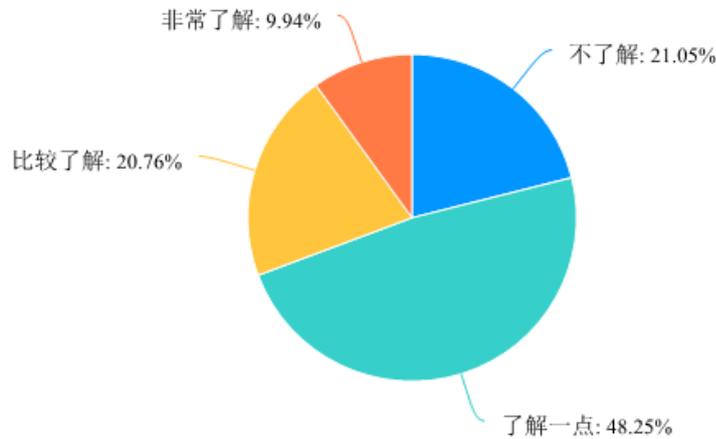


图 3-1-5 受访者对于木结构建筑的了解程度

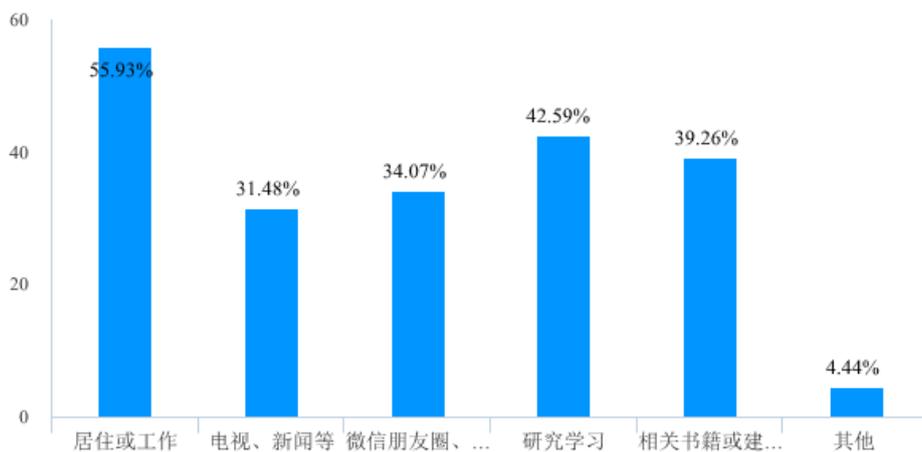


图 3-1-6 受访者对于木结构建筑的了解途径（多选题）

80%以上的受访者印象中的木结构建筑是用于旅游景点、度假村、小型别墅(图 3-1-7)。办公楼、酒店、学校、体育场、展览馆等建筑采用木结构的形式较少，均低于 30%。

选项	比例
山中小木屋、度假村	83.63%
小型别墅或乡村住宅	73.1%
旅游景点游客中心	64.62%
办公楼、酒店等公共建筑	28.36%
学校	15.5%
体育场、展览馆	19.59%

图 3-1-7 受访者心目中的木结构建筑应用形式（多选题）

超半数受访者认为木结构建筑具有天然、舒适，节能、环保，体现环境品质，调节情绪状态，散发怡人气味的优点（图 3-1-8）。数据表明，木结构建筑在提高专注力方面没有明显优势，仅占比 26.9%。

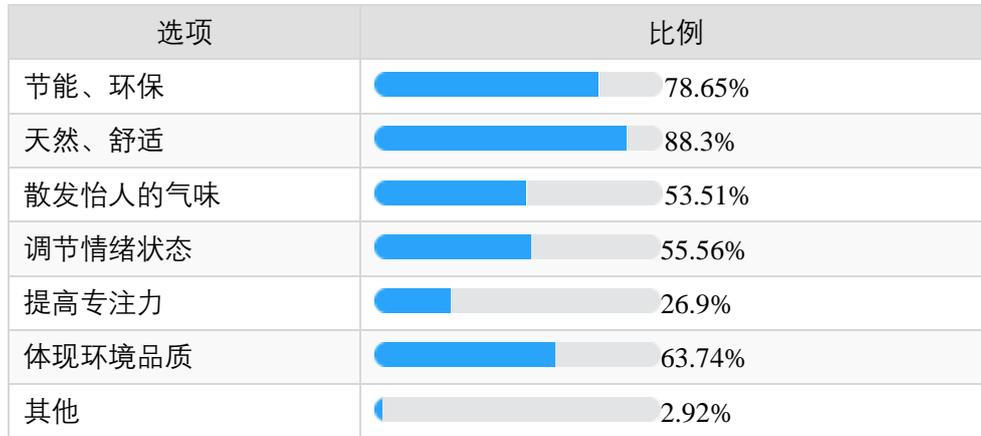


图 3-1-8 木结构建筑的优点（多选题）

木结构建筑的视觉满意度最高，隔声满意度相对最低（图 3-1-9）。采用李克特五级量表对木结构建筑室内温度、湿度、采光、隔声、空气质量、视觉、气味的满意度进行分析：“很满意”计 5 分，“满意”计 4 分，“一般”计 3 分，“不满意”计 2 分，“很不满意”计 1 分。分析表明，在七项维度中，视觉的满意度加权平均值最高，为 4.36；隔声的满意度加权平均值最低，为 3.16，相对其他六项较低，但满意度仍处于“一般”以上。

表 3-1-1 木结构建筑室内环境参数李克特五级量表满意度加权平均值

指标 数值	温度	湿度	采光	隔声	空气质量	视觉	气味
加权平均值	3.88	3.89	3.92	3.16	4.16	4.36	4.03

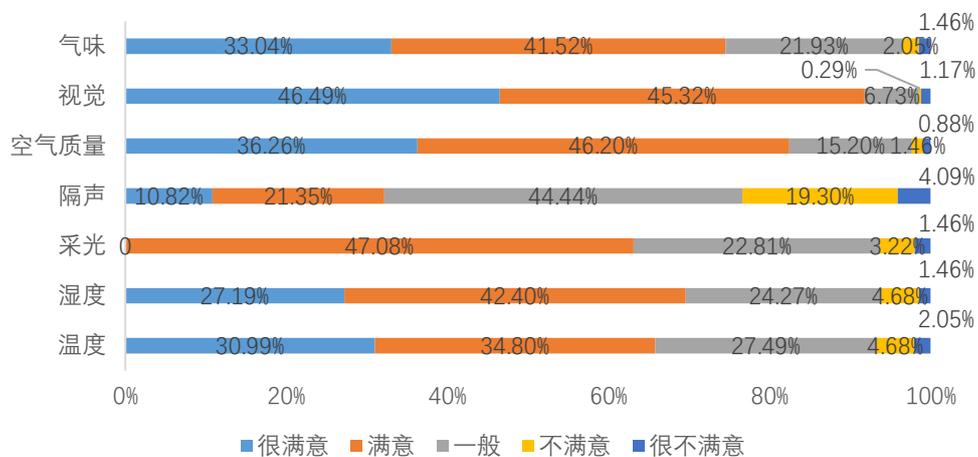


图 3-1-9 木结构建筑室内环境参数满意程度

受访者对木结构建筑的虫蛀、防腐性能最为关注，占比 73.1%。防火问题、隔声不佳、造价较高、维护成本高等也是较多关注的问题（图 3-1-10）。

选项	比例
隔声效果不佳	60.53%
易虫蛀，防腐性能不佳	73.1%
存在防火问题	70.76%
造价较高	41.23%
日常维护成本高，费时费力	55.85%
国内普及不足	58.19%
其他	2.63%

图 3-1-10 木结构建筑存在的问题（多选题）

近半数受访者认为木结构建筑最适宜的建筑类型为居住建筑，公共建筑其次。公共建筑中，木结构建筑最适合文化建筑，占比 64.75%，其次为酒店类建筑，占比 17.27%（图 3-1-11）。

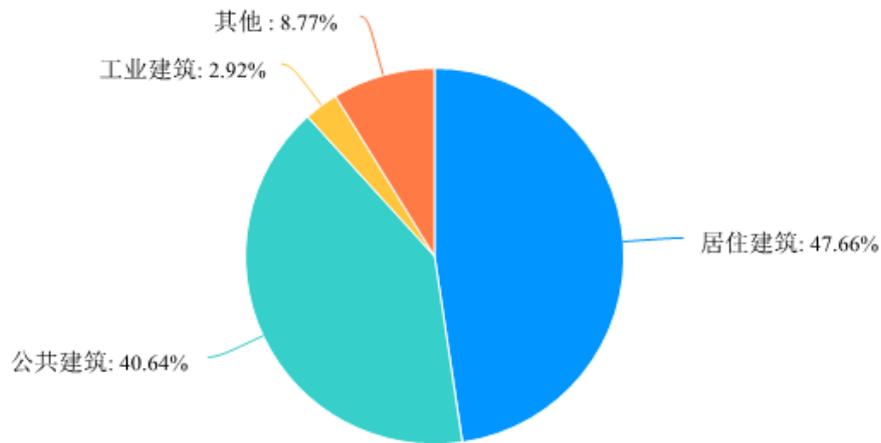


图 3-1-11 木结构建筑适宜的建筑类型

对于木结构建筑的发展前景，大部分受访者持看好态度（图 3-1-12）。调研显示，持看好态度的占比 54.97%，保持中立的占比 40.06%，不看好的占比仅为 4.97%。

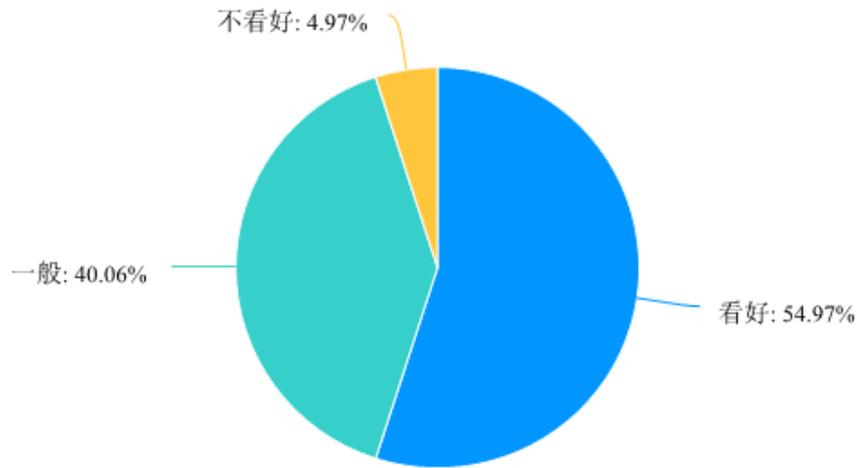


图 3-1-12 木结构建筑在我国的发展前景

3.2 线下调研情况

线下调研共收集了来自太湖玲珑花园（江苏-苏州）、海口市市民游客中心（海南-海口）、中加低碳节能建筑技术交流中心（河北-石家庄）、杭州开元森泊度假酒店（浙江-杭州）、昆明九溪云舒体验中心（云南-昆明）五个项目的 91 份有效答卷，受访人群为项目现场工作人员和访客。受访者男女比例差异不明显，其中男性占 48.35%，女性 51.65%；年龄以 31-40 岁为主，占 47.25%，其次为 21-30 岁，占 45.05%。

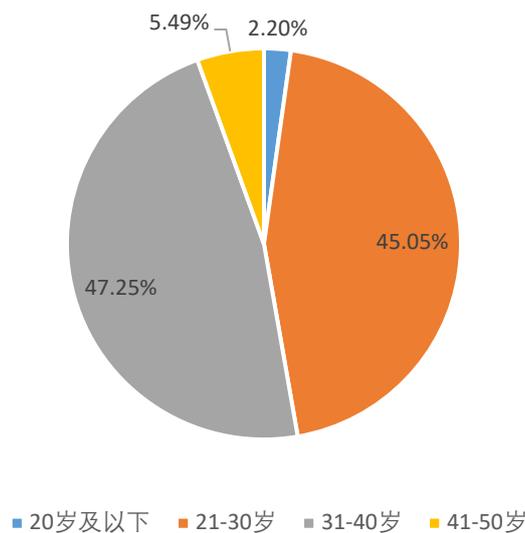


图 3-2-1 线下调研受访者年龄比例

线下调研结果显示：

(1) 半数受访者感觉调研项目冬季、夏季室内温度适中，7 成认为冬季、夏季湿度适中；

(2) 同等半数受访者认为室内无刺激性气味和仍有一些刺激性气味，38.46%的受访者对室内空气质量的评价为“清新”。空气质量总体令人满意，但仍有提升空间消除刺激性气味的顾虑；

(3) 木结构建筑的视觉满意度最高，对于通常担忧的隔声痛点，不满意度占比约 30%；

(4) 受访者认同木结构建筑给人们的生活/工作带来积极的影响，半数认为木结构建筑可以改善情绪状态。其次，是“提高注意力和专注力”、“更好的创造力”。

调研显示，半数受访者感觉冬季、夏季室内温度适中，感觉冷和热的人员占比不足 10%。其中，49.45%的受访者感觉冬季室内温度适中，较凉和较暖的占比为 35.16%；57.14%的受访者感觉夏季室内的温度适中，较凉和较暖的占比为 30.77%（图 3-2-2、3-2-3）。

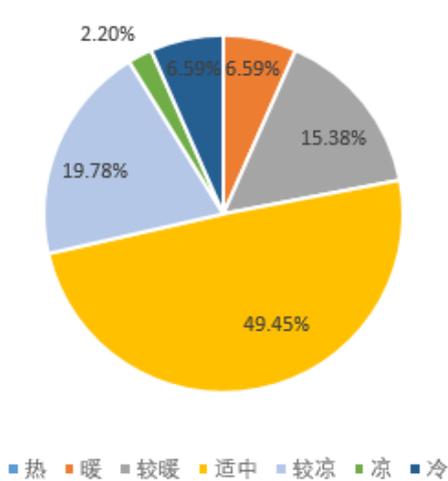


图 3-2-2 冬季室内热感觉

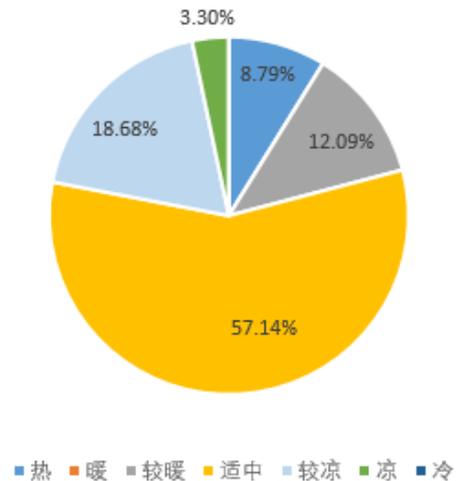


图 3-2-3 夏季室内热感觉

近 7 成受访者认为冬季、夏季湿度适中，也有 3 成受访者认为潮湿和干燥。冬季与夏季相比，感觉更干燥。其中，68.13%的受访者感觉冬季室内的湿度适中，73.63%的受访者感觉夏季室内湿度适中，感觉冬季室内干燥的人员占比较夏季高 10%（图 3-2-4、3-2-5）。

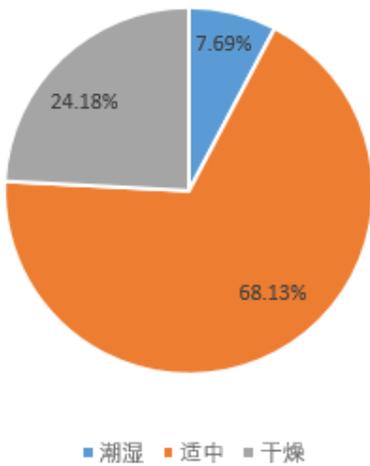


图 3-2-4 冬季室内湿度感觉

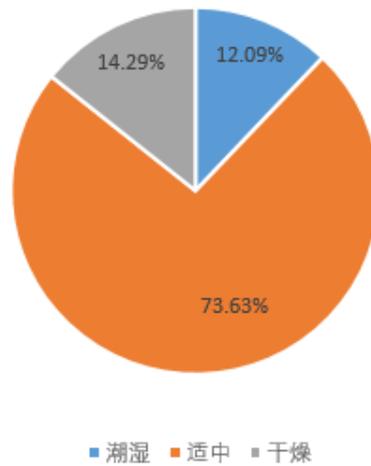


图 3-2-5 夏季室内湿度感觉

50.55%的受访者感觉室内“没有”刺激性气味,49.45%的受访者感觉室内“有一些”刺激性气味,无受访者感觉室内有“强烈”和“非常强烈”的气味。61.54%的受访者对室内空气质量的总体评价为“一般”,38.46%评价为“清新”,无受访者感觉室内空气质量“污浊”。空气质量良好,但仍有提升空间,消除“有一些”刺激性气味的心理顾虑,提升“清新”感(图 3-2-6、3-2-7)。

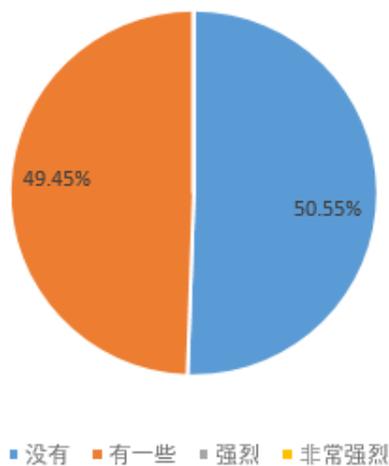


图 3-2-6 室内气味感知

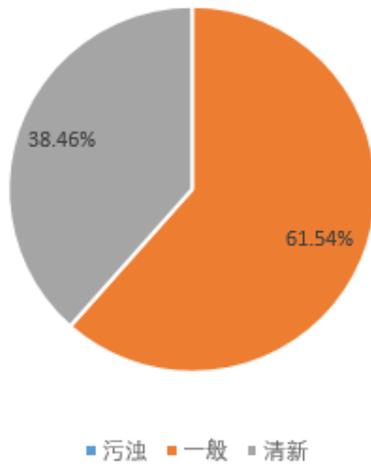


图 3-2-7 室内空气质量总体评价

受访者对室内自然采光总体满意,占比 82.42%,仅有 10.99%的人感觉“光照过强”,6.59%的人感觉“采光不足”(图 3-2-8)。

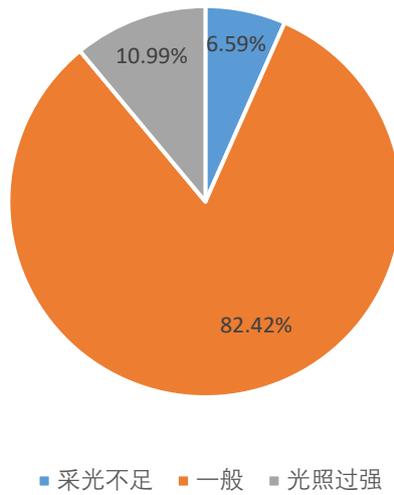


图 3-2-8 室内自然采光感知

近 7 成受访者对建筑隔声性能满意，3 成不满意。其中，28.57%感觉隔声性能“较差”，3.30%感觉隔声性能“差”（图 3-2-9）。

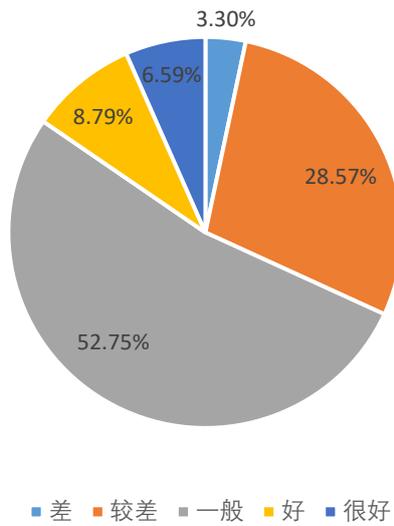


图 3-2-9 建筑隔声感知

受访者认同木结构建筑给人们的生活/工作带来积极的影响，半数认为木结构建筑可以改善情绪状态。其次，是“提高注意力和专注力”、“更好的创造力”（图 3-2-10）。

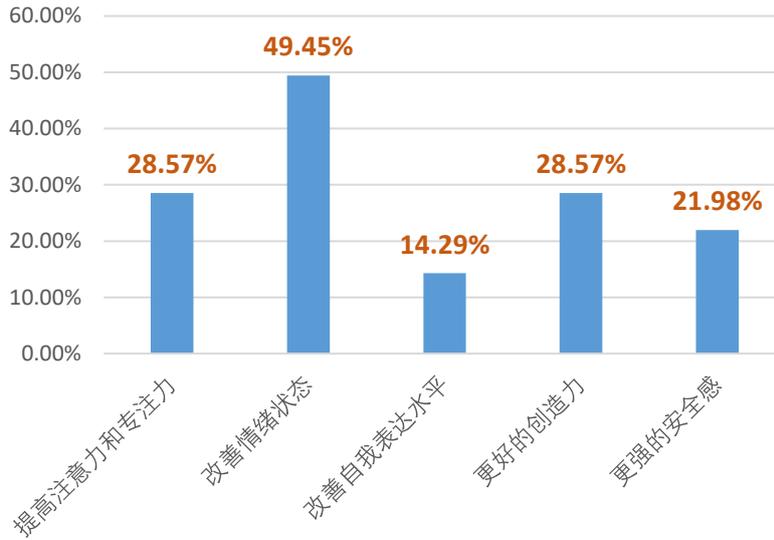


图 3-2-10 调研项目对生活/工作的积极影响（多选）

木结构建筑的视觉满意度最高，隔声满意度相对最低（图 3-2-11）。采用李克特五级量表对木结构建筑室内温度、湿度、采光、隔声、空气质量、视觉、气味的满意度进行分析：“很满意”计 5 分，“满意”计 4 分，“一般”计 3 分，“不满意”计 2 分，“很不满意”计 1 分。分析表明，在七项维度中，视觉满意度的加权平均值最高，为 4.12；隔声满意度的加权平均值最低，为 3.25，相对其他六项较低，但满意度仍处于“一般”以上。

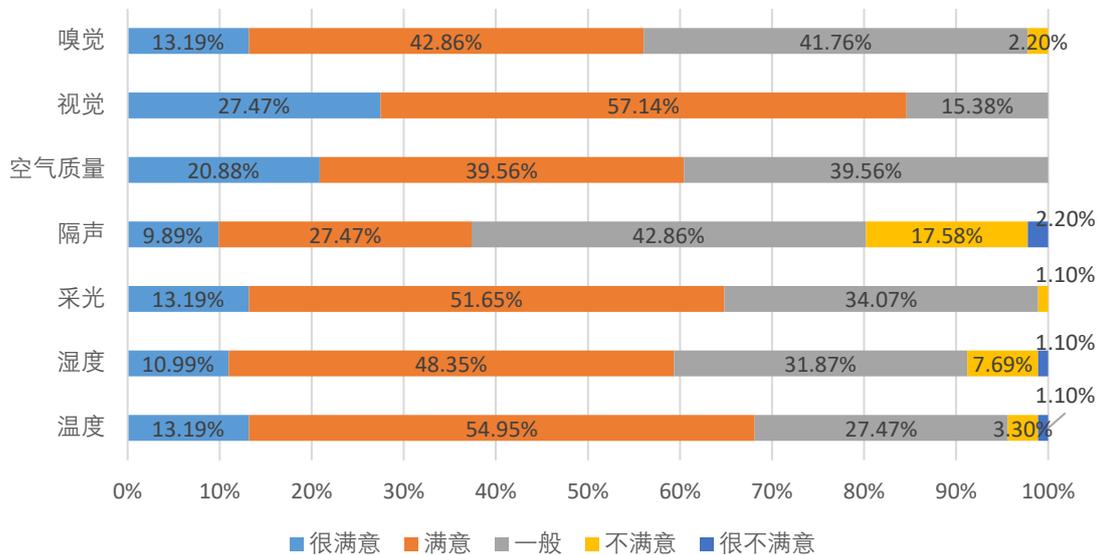


图 3-2-11 调研项目室内环境参数满意程度

表 3-2-1 调研项目室内环境参数李克特五级量表满意度加权平均值

指标 数值	温度	湿度	采光	隔声	空气质量	视觉	嗅觉
加权平均值	3.76	3.60	3.77	3.25	3.81	4.12	3.67

四、结果分析

本部分将 5 个项目的室内空气质量、热湿环境、室内噪声级的实测、计算与调研结果进行总结分析如下：

空气质量

实测结果显示：所有项目中甲醛、苯、甲苯、二甲苯、氨、TVOC、氡浓度均满足《健康建筑评价标准》T/ASC 02-2016 中相关控制项的要求。

现场调研结果显示：49.45%的受访者认为室内仍存在“一些刺激性气味”。原因可能是被调研人员对典型污染物浓度的耐受不一、以及木结构建筑中木材本身释放物质的影响，这一内容需进一步研究室内空气组分。事实上，相关的研究^[13]也得到了与本研究类似的结果。研究中选取了两批次的人造板进行甲醛释放量和 TVOC 检测，并收集消费者关于气味的反馈情况，检测结果虽满足且远优于国家标准规定限值，然而这两批次木质产品均得到了消费者的投诉，原因是不接受其产生的气味。关于室内空气气味的此类问题目前比较普遍且受到行业高度关注，2020 年 6 月 28 日，中国工程建设标准化协会立项《室内空气气味现场测试标准》在此方面开展研究。对于木结构建筑，木质产品用胶、涂覆材料和木材本身是木制环境中异味来源的重要途径。由于木材中含有各种挥发性油、树脂、树胶、芳香油及其他物质，随着树种的不同会产生各种不同的味道。例如，松木有松脂气味，杨木有青草味，椴木有腻子气味等。一般来说，新材、湿材的气味比老材、干材浓，边材气味比心材浓。总体看，木质产品的气味来源、成分以及测试、评价和控制是一个复杂的问题，需要进行系统的研究^[14]。

热湿环境

热湿环境实测和计算结果显示：除中加低碳节能建筑技术交流中心 1#二层大会室外，五个项目的所有实测空间热湿环境评价均满足《健康建筑评价标准》T/ASC 02-2016 中评分项要求。

现场调研结果显示：约 85%的问卷参与人员认为室内热湿环境为较暖、适中、较凉（+1~0~-1），虽与计算值存在差异，但总体较为满意。此处分析是因人员热湿感受的个体差异所导致。根据相关研究：热湿环境模型并不能 100%保证预测人们在实际建筑中的热感觉，

人不是给定热环境的被动接受者，而是通过多重反馈循环与人-环境系统交互作用的主动参与者。由于被调研人员新陈代谢、着装、热敏感度等不同，热感觉会有差异。

室内噪声

室内噪声级实测结果显示：所有空间室内噪声级满足《健康建筑评价标准》T/ASC 02-2016 中相关条文评分项要求。

现场调研结果显示：31.87%的人认为声环境仍较差或差。的人认为声环境仍较差或差。处分析是因人员个体差异对噪声敏感程度不同导致。由此可见，使用者对声环境的要求较高，满足标准限值要求并不代表使用者完全满意。根据相关研究，噪声出现的时间不同对人的影响不同，同样的声音对不同心理和生理特征的人群影响不同，因此，满足标准限值要求的噪声级并不能说明被调研人员均满意。事实上，人们对于噪声十分敏感，2017年发布的《中国城市居住噪声指数白皮书》显示，84.5%的居民反应噪声影响生活。对于本研究中，噪声主观评价的不满意情况，可能来源为房间之间的空气声、撞击声、设备声或是同一空间脚步声，深入的研究还需要详细的深入调研。

总体来看，除特殊环境影响和非正常运行工况影响，研究中五个项目的室内空气质量、热湿环境、室内噪声级均满足《健康建筑评价标准》T/ASC 02-2016 中相应的要求。

线上调研结果

线上调研结果显示：木结构建筑更适用于旅游景点、游客中心、乡村住宅、山中木屋、小型别墅等原生态休闲娱乐的场景。同时对木结构建筑天然、舒适、节能、环保、高品质、调节情绪、气味怡人的属性广泛认可。木结构建筑应用场景中亲生物性和对健康状态的提升作用被公众认可。在此方面，结题会上专家给出了建议：控制空气、温湿度、噪声等室内环境的物理指标仅为健康建筑环境的基本要求，难以突出木结构建筑相较于其他结构形式的有点。木结构建筑的推广和发展应该充分发挥木结构建筑高品质环境、亲生物性、健康改善的独特优势，与传统混凝土结构建筑、钢结构建筑有所区分走差异化的道路。

五、工作展望

在“双碳”目标和“健康中国”战略的大背景下，木结构建筑因其低碳环保和健康舒适的双重特性，将具有更大的发展优势。然而，作为健康建筑中天然优势十分明显的一类建筑结构形式，当前木结构建筑的实践应用并未充分发挥出在健康舒适方向的优势，相关的基础研究和推广工作急需加强。在此方面，林创中国将持续推动以下工作：

1. 推进基础研究，完善健康支撑。联合木质环境学、健康建筑领域相关的研究机构，聚

焦木结构和木质材料组成的室内环境，开展木材释放物质、不同功能空间适宜木材率、隔声降噪技术等方面的专项研究，以及木质环境对人生理、心理和社交方面的影响和机理研究。

2. 开展对比研究，突出木质优势。聚焦使用者主观感受，增加其他建筑结构形式作为对比参照，研究木结构建筑或木质环境在亲生物性、独特质感、优美肌理、心理调节、治愈能力等方面的独特优势，开展全方位、多维度的使用者调研。其中，应重点关注木结构建筑的亲生物特性，形成木结构建筑亲生物设计理念、研究设计体系、开展基于循证的健康影响研究。

3. 调研用户体验，挖掘研究重点。联合已经落地的木结构建筑管理运营团队，采取便捷可行的形式，调研使用者在多种条件下的感知与体验。包括不同功能的木结构建筑；不同季节的使用情况；使用前、使用后不同阶段；不同室内木质环境等。

参考文献

- [1]胡婧羽,朱剑刚.木结构健康建筑特性解析[J].建设科技,2020(21):130-133.
- [2]程卓,龚蒙.木结构建筑与健康生活环境[J].国际木业,2020,50(03):8-13.
- [3]杨学兵.我国现代木结构建筑发展趋势分析[J].建设科技,2017(05):12-15.
- [4]宋莎莎,费本华,王戈,孙正军,王晓欢.木结构建筑与现代人居环境[J].林产工业,2012,39(05):17-21.
- [5]王佳.木结构房屋及其室内空间(一)——让 Linwood 创造您的理想居室[J].家具与室内装饰,2006(02):48-51.
- [6]韩叙,武振,张海燕,高颖.装配式木结构建筑国外发展经验借鉴[J].住宅产业,2019(06):49-53.
- [7]王清勤,李国柱,孟冲,刘茂林,何莉莎,盖轶静.健康建筑的发展背景、标准、评价及发展平台[J].建筑技术,2018,49(01):5-8.
- [8]王智恒,杨小军.我国现代木结构建筑的现状与发展综述[J].木工机床,2011(02):5-8.
- [9]周晓燕,华毓坤.绿色设计——木质居住环境[J].室内设计与装修,2000(04):88-91.
- [10]吴楚材,郑群明.植物精气研究[J].中国城市林业,2005(04):61-63.
- [11]日本木材出口协会.有益身心健康的木材和木结构建筑[J].中国木材 2019(05):21-22.
- [12]于海鹏,刘一星,刘迎涛.国内外木质环境学的研究概述[J].世界林业研究,2003(6).
- [13]吕斌,杨俊魁,杨忠,林秋兰.浅议木质家具的气味和环保性能[J].中国人造板,2017,24(03):4-6.
- [14]刘如,黄安民,王晨,吕斌.家具气味源分析及控制技术的研究进展[J].木材工业,2018,32(03):34-38.