## 专家视角 | 装配式木结构建筑的应用现状及展望

来源: 建筑工业化装配式建筑网 2019/3/1

链接: <https://mp.weixin.qq.com/s/cuBScVm4MWFY2nAtviG_yA>

 木结构是我国古代建筑中的一种结构体系，它以木构梁柱为承重骨架，柱与梁之间多为榫卯结合，以砖石为体、结瓦为盖、油饰彩绘为衣，经能工巧匠精心设计、巧妙施工而成，集历史性、艺术性和科学性于一身，具有极高的文物价值和观赏价值[1]。木结构建筑发展至今，已从传统重木结构建筑进入现代木结构建筑的新发展阶段[2]。现代木结构中，因其可工业化的建造模式，提出了预制装配式木结构建筑的说法[3]。在钢材、混凝土、木材、石材四大常用建筑结构材料中，木材是唯一一种具有可再生特点的自然资源。中国正在大力推进生态文明建设，木材作为一种可再生的天然资源，制成工程木材后可高效利用。应用于建筑领域的工程木材主要包括层板胶合木(Glulam)、平行木片胶合木(PSL)、单板层积胶合木(LVL)、层叠木片胶合木(LSL)、正交胶合木(CLT)。这些工程木材可填补新型建筑材料、节能环保型材料的空缺，对节能减排、对建设行业的可持续发展有重要意义。木结构建筑是生态建筑的重要代表，为节能减排、绿色环保，减轻建筑在建造、使用、拆除的全生命周期内对环境资源的压力，实现材料的循环利用和可持续发展，推广应用木结构已越来越成为全社会的共识。杨学兵[4]系统地介绍中国《木结构设计标准》由20世纪50年代不断发展至今的历史过程，并对本标准历次的修订工作和修改的技术内容做出分析，并研究当前我国工程建设中木结构建筑的应用现状，分析我国木结构建筑的未来发展趋势；蔡绍祥[5]比较了传统与现代木结构建筑在材料使用上的优缺点以及在应用中的解决办法，为未来木结构建筑发展提供参考建议；陆伟东等[6]和娄万里等[7]分别分析论述了胶合木结构和轻型木结构的应用领域并指出在中国广阔的应用前景；徐伟涛[8]介绍木结构建筑的特点及其在北美和我国的发展概况，并对我国木结构建筑的发展提出建议；刘伟庆[9]和刘永健等[10]从材料性能及加工、构件性能及创新、连接性能与进展、体系研究与开发、防火研究及需求等五个方面系统总结我国现代木结构的研究进展，分析我国现代木结构的研究现状、存在的问题与发展趋势。

基于此，本文首先从六个方面总结了装配式木结构建筑的主要特征，再通过研究木结构建筑在国内外的应用情况提出三个制约我国木结构建筑发展的因素，最后展望了未来我国装配式木结构建筑的发展方向与趋势。

1 、装配式木结构建筑的主要特征

      相较于钢筋混凝土结构或其他结构的建筑，装配式木结构建筑主要特征表现在以下六个方面。

1.1  环保性能

木结构建筑在生产环节、建设环节和拆除环节都体现了其环保性能。

1.1.1  碳排放量最少

木材、钢材和水泥三种建筑材料的碳排放系数分别为30、6470和1220 kg CO2/t[7]。可见相较于钢材和水泥，木材生产碳排放最少，不影响生态环境，而钢材和水泥生产释放的温室气体，为全球雾霾做出了巨大贡献，带来的环境污染有目共睹。

1.1.2  环境污染最小

（1）建设环节

建设过程中钢筋混凝土建筑产生的建筑垃圾要比木结构建筑多得多，且较难处理，对环境造成污染。

（2）拆除环节

木结构建筑拆除后的木材易于处理，可循环再利用，无需填埋占用耕地，不同于钢筋混凝土和金属结构材料在拆除后产生大量固体废弃物。

1.2  节能保温性能

由于木质的导热系数小，木质墙体的保温隔热好，可大大减少为了保温、隔热而需要消耗的能量，因此木结构建筑的节能环保性能好。

1.3  安全性能

1.3.1  抗震安全性

木结构建筑由于自身的质量小，地震时吸收的地震力也相对较少。木结构的韧性大，对于瞬间冲击载荷和周期性疲劳破坏有很强的抵抗能力，可以吸收并消散能量。因此木结构的抗震性优良。

1.3.2  防火安全性

木结构构件的耐火能力，得益于碳化层的保护作用。在火势凶猛的情况下木材通常以每分钟0.7mm的速度碳化。碳化层自然地将木材与外界隔离并且提高木结构可承受的温度。因此，在一场持续30min的大火中，胶合木的每个暴露表面只有19mm因碳化而损失，余下绝大部分原始横截面则完整无损，其燃烧速度可控，这给人员的安全撤离提供了足够的时间。

木结构建筑还可通过安装自动喷淋系统、增加防火间隔、控制建筑物之间的消防距离等措施，来提高防火能力。

1.4  可持续性

木材是唯一可以再生的建筑材料，具有重复利用的特点。只要科学管理，合理砍伐，就能以树木的成才周期（少则5~6年，多则20~30年）为循环，周而复始地源源不断地得到上等的、可持续利用的建筑材料。

1.5  设计灵活、改造方便

木结构设计灵活，能够突破木材自身的尺寸限制，实现各种不同的设计。在施工过程中能够随时调整和更改空间布局、洞口位置，相较于钢筋混凝土结构更易改扩建。

1.6  装配化施工

工厂化生产、装配化施工。木结构建筑大量构件能够通过工厂预制成型，工地现场装配，结构件和连接件的生产和施工可以在全年任何气候条件下进行，施工周期只需同等规模混凝土结构建筑的1/3~1/2[11]。减少了施工所需的劳动力，降低了操作强度，节省了劳动成本，提高了施工质量。现代木结构建筑可进行的框架整体预制及剪力墙等大片板式构件预制，提高木结构建筑的工业化水平，推动了装配式木结构建筑发展。

2 、木结构建筑在国内外应用概况

2.1  国外应用概况

在北欧、北美、日本、澳大利亚、新西兰等发达国家和地区木结构的应用相当普遍，如住宅、体育馆、机场、火车站、桥梁、游泳馆、学校建筑、商业建筑、教堂、博物馆等。

2.1.1  住宅

在北美，住宅建设衍生出集设计、制作、安装、装修、整体厨卫为一体的集成住宅产业，工厂标准化生产，工地现场安装。北美轻型木结构住宅是一种将小尺寸木构件按不大于600mm的中心间距密置而成的结构形式（见图 1），占北美住宅的85%以上，无论是在东部还是西部，均可见到大量的木结构住宅。

2.1.2  体育馆

1981年建成的美国塔科马穹顶体育馆穹顶直径162m，高出地面达45.7m，可容纳观众达26000人。穹顶屋面的主要受力构件为414根截面尺寸为200mm×762mm的胶合木梁，每根胶合木梁根据穹顶表面的曲线被弯成曲线形，并通过金属连接件连接形成球形的单层网壳结构（见图 2）。屋面檩条与曲线形胶合木肋梁搭接，屋面板采用2mm×6mm凹槽拼合的冷杉板覆面。

1997年建成的日本大树海体育馆采用双向胶合木杆件和支撑构件组成的三维桁架结构，其长边的上下弦杆与短边杆通过方钢管连接件和螺栓连接，形成一个178m（长）×157m（宽）×18.3m（高）的大跨度穹顶空间。屋顶的拱形构架是秋田杉木的构件，表皮采用聚四氟乙烯的白色半透明材料，与杉木构架的结合给人亲切舒适的感觉，该体育馆也成为当地的地标性建筑（见图 3）。

除上述大型体育馆之外，木结构还经常用于篮球馆、羽毛球馆、溜冰馆、网球馆及健身中心等中小型体育设施中。

2.1.3  机场

菲律宾的Mactan-Cebu国际机场是目前亚洲第1个大跨度全木结构的国际机场。该机场屋面设计为跨度23m的全胶合木屋顶，面积达65000m2，如图 4所示。

2.1.4  桥梁

在国外木结构桥梁不仅应用于人行桥、景观桥，还被用于大型公路桥，美国就有7%左右的公路桥都为木结构桥[6]，如日本Karikobouzu公路桥、美国Alton Sylor Memorial桥和挪威的Tynset桥。其中2001年在挪威Hedmark县境内建成的Tynset桥（见图 5），该桥共3跨，总长125m，跨径组合为7.5m+27.5m+70m，主跨矢高为17.3m，其主拱肋纵向、横向截面形式如图 6所示。

2.2  国内应用概况

2.2.1  贵州省黔东南州游泳馆

该游泳馆用地为东西长132.4m，南北深112m长方形地块，采用大跨度木拱屋架结构形式。上部屋盖采用张弦木拱体系，跨度50.4m；木拱沿弧长分三段拼接，每段由2块截面为170mm（厚度）×1000mm（高度）胶合木构件组合拼装而成，并选用PRF结构胶黏剂粘接，表面采用环保型木材防腐液ACQ和防护型木蜡油进行二次涂装，有效提高了耐久性和防潮性。通过6根木撑杆与主索共同形成张弦结构，与纵向索和屋面索构成完整的稳定结构体系。自平衡的张弦木拱以滑移支座支撑，消除了支座水平推力。

2.2.2  成都都江堰向峨小学

成都都江堰市向峨小学总建筑面积为5290m2，学校可用用地面积为16311m2。教学综合楼、宿舍楼均采用轻木结构建筑，是中国第一所全木结构校舍，如图 8所示。每个单体建筑零标高以上外墙、内隔墙均采用38mm×140mm内龙骨，外墙龙骨间距为406mm；楼面主要由楼面搁栅和楼面板组成，在下层墙顶标高处设置大梁，搁栅之间用填块加强连接。

2.2.3  苏州胥江木结构桁架拱桥

苏州胥江木结构桁架拱桥全长108m，宽6m，主拱跨度为75.7m的胶合木桁架拱体系，主拱截面高度1.2m，建造这座木拱桥共使用了400m3的木材，是目前世界单孔跨度最大的木结构桥梁，如图 9所示。该桥采用高硬度松木，由7cm宽、3cm厚、2m左右长度的小木条拼接胶合而成，设计承载力4.5kN/m2，总承载力为195t。

2.3  制约中国木结构建筑发展的因素

总体上国外装配式木结构建筑在民用、工业用、农业上皆有应用，除农业用比例最小和价值小外，工业和民用木建筑在现实生活中都是“大手笔”的建筑作品。但在国内，我们几乎未见工业用的木建筑，如木厂房、木车间、木仓库，除了一些规模较较小的园林景观建筑外，也很少建设其他类非住宅型木建筑，诸如地标建筑、商业建筑、纪念堂、大型体育或休闲娱乐或宗教类等建筑。制约中国木结构建筑发展的主要因素为以下三个方面。

2.3.1  木结构设计规范限制

建筑层高、建筑层数的规定限制了木结构建筑的发展。消防规范过于严厉，与国外的消防理念有较大差异。国外重点是确保火灾时人员安全，中国除了人之外，还需要确保财产不受损失。因此许多设计方案，在国外行得通，于国内审查却无法过关。

2.3.2  上下游产业链不完善

近几十年来，砖石、钢筋混凝土结构风靡一时，导致建筑用木材的处理技术和现代木材工业停滞。工程木材的相关研究也落后于发达国家。

2.3.3  大众观念的制约

大众仍停留在传统木材的观念上，认为木结构建筑易着火、腐烂快及防白蚁。历史上兵荒马乱、杀人放火，房屋容易被人一把火烧了，还是砖石、钢筋混凝土结构可靠。这些错误观念需要引导并消除。实质上，过度依赖砖石、钢筋混凝土结构也有问题，钢筋、砂石、水泥资源有限，不环保、不可持续，许多地方砂石开采已经告急。

3 、我国装配式木结构建筑发展展望

      木结构是中国几千年建筑历史上最重要的建筑形式。但自上世纪60年代起，新建的木结构建筑在我国占比很低，与发达国家相比，有很大的差距，木结构的发展还有很大的空间。随着国家标准《装配式木结构建筑技术标准》[12]和新版《木结构设计标准》[13]的颁布实施，以及国家鼓励装配式建筑发展的政策推动，中国木结构建筑行业将会出现爆发式发展。特别是我国经济持续高速增长，抗震要求高、或造型特殊的公共建筑、居住建筑、桥梁工程等大批建设项目待建，为装配式木结构建筑提供了广阔的应用前景。对木结构建筑的推广应进行科学引导，尽快形成木结构建筑产业链，业主、设计、施工、制作等各方主体形成合力，共同推动我国木结构建筑健康发展。

（1）多措并举，在全国范围内，大力推广装配式木结构体系。在地震区、地质灾害多发区、旅游度假区，重点推广木结构建筑。提升农村木结构建筑占比，争取旅游风景区木结构建筑全覆盖。

（2）加快研究多层、高层现代木结构建筑技术，进行高层木结构建筑试点示范。推动木结构建筑在政府投融资公共项目中的应用，以及在平改坡、棚户区、历史风貌建筑改造中的应用。

（3）逐年增加木结构研发投入，不断攻克木结构应用的关键技术难题。国内多家高等院校、研究机构、木结构制造企业，在解决工程木材的强度、防火、防潮、及耐久性方面，有了突破性进展，逐步为木结构建筑的大面积推广应用扫清了障碍。

4 、结语

      我国已具备大力发展现代木结构的条件，发展现代木结构是绿色低碳和建筑工业化的重要途径，加快装配式木结构建筑的发展，有利于建筑业企业的转型升级。要以国家大力发展装配式建筑为契机，尽快形成装配式木结构建筑的产业链，加大工程木材的研发投入，在技术上争取早日达到世界领先水平。