

综述

日本木结构的发展历程与现状

谢力生

(中南林业科技大学材料科学与工程学院, 湖南长沙 410004)

摘要: 日本是一个地震、台风多发国家,其木结构的发展虽非一帆风顺,但得到了举世瞩目的发展。日本木结构建筑文化和技术曾被誉为世界之冠。了解日本木结构的发展与成功经验,对促进我国木结构健康、稳步的发展具有重要的作用。本文介绍了日本木结构的发展历程及现状。

关键词: 日本; 木结构; 木质建材; 工程木

中图分类号: TS6; TU366

文献标识码: A

文章编号: 1001-8654(2009)03-0020-04

The History and Conditions of Wood Structures in Japan

XIE Li-sheng

(College of Material Science and Engineering of Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan, China)

Abstract: The culture and technology of Japanese wood structures is well-known in the world. However, the development of Japanese wood structures has experienced many up and down periods, especially during the period of reconstruction following natural disasters such as destructive earthquakes and typhoons. This paper summarizes the Japanese literature of wood structures and the observations of the author's two visits to Japan. Hopefully, the history and development of Japanese wood structures will provide useful information for Chinese researchers in developing Chinese wood product specifications and structural standards.

Key words: Japan; wood structure; wood-based building materials; engineered wood

日本的森林覆盖率达 66.8%,日本民族自古就有喜爱木建筑的传统。但日本人均森林面积只有约 0.2 万 m^2 ,远低于世界人均森林面积约 1 万 m^2 。日本每年木材需求超过 1 亿 m^3 ,其中 75% 依赖进口^[1]。日本是世界上地震发生和台风袭击最多的国家之一。在这样的背景下,日本木结构得到了稳步的发展。笔者曾于 1998 和 2008 年两度赴日,对其木结构建筑进行了调研。本文总结其发展历程和现状,旨为我国木结构的发展提供参考。

1 日本木结构的发展历程

1.1 二战前传统发展期

日本木结构民居的传统结构形式为梁柱式结构。

最初是将木房屋的柱埋入土中进行固定,由于土中部分容易腐朽,后逐渐将木柱移至基石之上。到我国宋朝时期,日本吸收了当时中国木建筑文化和技术的许多精华,在京都和奈良等都市,建造了不少气势宏伟、具有中国特色的大型木结构建筑。16 世纪末 17 世纪初,为了增加立柱的支承重量,将木结构的立柱支承于底座之上。底座由水平放置于地面的横木构成,分散了立柱下端对地基的集中负载,允许建造更高、支承重量更大的木结构建筑。

传统的日本梁柱式木结构为了适应日本夏天闷热的气候,一般做成大空间,墙壁可拆移、不承重,不使用斜撑^[1]。现代的日本梁柱式木结构,与传统的梁柱式木结构相比,梁、柱的截面尺寸和立柱间的距离均有所减小,且越来越多地使用集成材等木质结构材料。到第二次世界大战结束,在日本,无论是乡村还是城镇,几乎所有房屋都是木结构建筑。

收稿日期: 2008-08-29; 修改日期: 2009-03-16

作者简介: 谢力生(1964—),男,中南林业科技大学教授,博士。

1.2 二战后复兴发展期

日本战后木质结构建筑的发展历程如图 1 所示^[2],经历了混乱期、黑暗期、复兴期和转变期 4 个不同时期。

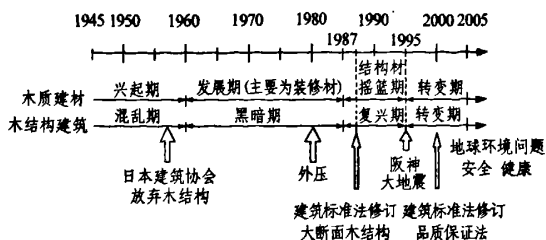


图 1 日本木质建材和木结构建筑的历史(二战后)^[2]

Fig. 1 Japanese wood-based building materials and wood structures after the Second World War

1) 混乱期。两起事件使日本人对木结构建筑产生了怀疑。1923 年,关东南部发生了 M7.9 级大地震,致使房屋倒塌,134 个地方起火。1945 年,美军对日本东京下町一带发动了大规模空袭,烧毁房屋约 27 万户。战后,为了防灾,日本建筑基本法制定了禁用木结构、推进钢筋混凝土的方针。从此,钢筋混凝土结构和钢结构建筑在城区大量涌现。

2) 黑暗期。1959 年,日本伊势湾沿岸遭遇特大台风,使木结构民宅遭受严重风、水灾害,死亡数千人。次年,日本建筑学会通过了“为了防灾禁用木结构的决议”,宣布放弃对木结构的研究。此后长达约 30 年的时间里,日本严格限制木材的结构利用,排斥、轻视木结构的思想占据主导,日本大学的建筑学科取消了木结构的相关课程^[3]。该时期被后来的学者称为“木结构黑暗时代”。

然而,日本百姓对木结构建筑的珍爱未变,乡村和小城镇的民房,基本上仍是木结构建筑,在大城市的装修也大量采用木材和木质材料。因此,即使在“黑暗时代”,日本的木结构也并未出现大幅倒退,木质材料仍得到了较快的发展。

1962 年,日本国内诞生了采用木质人造板的板式木质结构,1970 年引进了原木结构,1974 年又从北美引进了用规格材作框架、用结构胶合板覆面的木框架覆面结构^[1](wood frame construction,即我国 GB 50005-2003《木结构设计规范》中的轻型木结构)。

1974 年,东京大学农学部林产学科,在教学课程中首次导入了木结构强度等科目,该举动得到日本其他大学林产学科的响应。从而,在日本木材学会中建

立了木质结构领域,正式开始了木质结构材料和木质结构的研究。

在 1978 年的第 27 次日本木材学会大会上,“强度领域”变更为“强度·木结构领域”,1984 年的第 35 次大会(成立 30 周年大会),又将其称为“强度·木质结构部门”,并一直沿用至今。在 1985 年的木材学会理事会上,提案并通过了“木材强度研究会”更名为“木材强度·木质结构研究会”的决议^[4],为日本的林产学科注入了活力,也为木质结构研究带来了生机。

随着木质结构材料的发展,阻燃、防腐木材及各类结构木质材料应用到木建筑中。为了强调新时代,日本木建筑界前辈杉山英男先生首先提出“木质结构”的概念,以区别于结构部分仅由锯材构成的传统木结构,得到业界一致认同,并被普遍使用^[5]。木质结构的构造方法可分为梁柱构造法、规格材构造法、板式木质构造法等。

3) 复兴期。20 世纪 80 年代后期,在北美强烈要求日本开放木质建材市场的外压下,1987 年日本修改了建筑基本法,允许建造三层木质结构和大型木质结构建筑,从此,日本的木质结构和木质建材发生了历史性的转变。结构用大截面集成材开始被广泛应用^[6]。日本著名的出云穹顶,就是用大截面集成材建造的,集体育馆、展览厅和会堂于一体的大型木结构建筑(1992 年,直径 143 m、高度 46 m)。

1995 年,阪神地区遭遇了 M7.3 级大地震,因木结构住宅倒塌而死亡六千多人。此次日本并没有全盘否定木质结构建筑,而是客观地、积极开展调查研究,以此为契机,产、学、研联合,开展提高木质结构建筑抗震性能的研究,取得了多项研究成果。

4) 转变期。木质建材和木质结构建筑的加工能耗,远低于钢结构和钢筋混凝土结构的加工能耗,可以减少温室效应气体 CO₂ 的排放,有利于环境保护;且木材和木质材料是可持续生产的材料,并具有固碳的作用。进入 21 世纪后,日本建筑界也积极适应环境保护和可持续发展的潮流,努力推进木结构建筑的发展。建筑水平得到了很大的提高,不但建造了大量木质结构的小学校舍、多功能会堂,还建造了木质结构的桥梁和大型的木质结构体育馆等。

2000 年日本制定了“住宅品质确保促进法”,规定:新建住宅建筑方有义务对结构体和防水性能做 10 年保证期的承诺。近几年来,日本对木结构知识进行了大量的宣传,民众普遍对木结构有了新的、更深的认识,保证了日本木结构建筑更加稳健的发展。

2 近年日本木结构住宅建设情况及其特点

根据日本交通省综合政策局情报管理部建设统计室的调查统计^[7],日本近年来新建住宅的情况列于表1。从表1可以看出,2000—2007年,日本每年新建木质结构住宅占新建住宅总数的比例基本维持在45%左右,变动幅度较小。日本建筑基本法规定,木质结构住宅不许超过3层,3层或3层以下住宅基本上全部为木质结构。

表1 日本近年新建住宅与木质住宅的统计结果

Tab. 1 The statistics on new houses and wooden houses in Japan since 2000

年度	新建住宅数量/ 万户	木质结构住宅					
		数量/ 万户	占新建住宅 的比例/%	梁柱式木结构		工厂预制式结构	
				数量/万户	比例/%	数量/万户	比例/%
2000	122.98	55.58	45.19	44.64	80.31	3.03	5.46
2001	117.39	52.28	44.54	41.84	80.03	2.72	5.20
2002	115.10	50.38	43.77	40.10	79.61	2.37	4.71
2003	116.01	52.32	45.10	41.84	80.00	2.33	4.45
2004	118.90	54.08	45.48	42.77	79.10	2.23	4.12
2005	123.62	54.28	43.91	42.63	78.53	2.07	3.82
2006	129.04	55.92	43.34	43.27	77.38	2.11	3.77
2007	106.07	50.45	47.57	38.84	77.00	1.76	3.48

注:根据日本国土交通省《住宅开工统计》^[7]编制

从木质结构住宅的结构类型来看,梁柱式木结构仍占绝对比例,但8年间所占比例下降了3.31%,降幅为4.12%。工厂预制式结构(一般为板式结构,在工厂生产出整块的墙,包含门、窗,楼板甚至单元间,运往建设地吊装即可完工)所占比例不大,亦呈逐年下降的趋势,8年间所占比例下降了1.98%,降幅达36.26%。采用规格材为框架的轻型木结构,这几年得到了较快的发展,8年间所占比例增长了5.3%,增幅达到了37.25%。

轻型木结构之所以在日本得到较大的发展,一个很重要的原因就是,在近几年所发生的地震中,轻型木结构住宅几乎没有倒塌的案例。有调查表明:所有新建的或在使用年限内、维护较好的木质结构住宅,都未发生倒塌,倒塌的多是年久失修的旧式传统梁柱木结构住宅^[9]。经媒体和生产厂家的宣传,日本民众都认识到了轻型木结构住宅的安全性。

工厂预制式结构的生產效率高,适合工业化大规模生产,理应得到较快的发展,但其数量在逐年减少,原因主要来自两方面:一是轻型木结构的工厂化生产程度亦很高,工厂预制式结构的优势相对减小;二是日本的公路普遍较窄且交通繁忙,大体积的预制单元体运输困难。

3 日本木质结构材料的发展过程与现状

工程木(Engineered wood,EW),指强度性能在工程设计上能够得到保证的结构用木材或木质材料制品^[5],包括I型梁、应力等级锯材(Machine stress rated lumber,MSR,指采用机械应力非破坏性测定分级的锯材)、结构用集成材、LVL、结构胶合板、□型金属复合梁(Metal cassette truss,空心金属梁外覆木质材料)等。

日本木质结构材料的发展过程如图2所示^[9]。

最初只有锯材,后来出现了木质材料,木质材料又分化成装修等普通用材和结构用材,最终由结构用材和部分锯材组成工程木。

从图1可以看出,木质结构用

材在20世纪90年代开始发展。无损检测技术和结构可靠性应用理论等的发展,促进了工程木的发展。

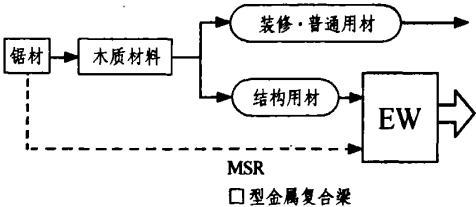


图2 日本木质建材的发展过程^[9]

Fig. 2 The development of the Japanese wood-based building materials

日本在木材的干燥、阻燃、防腐、防蚁等方面进行了大量的研究,取得了多项成果。特别是木材干燥技术取得了很大的进展,目前高温干燥技术已经普及,柱状、方形及厚板等锯材产品均能进行人工干燥^[6]。

关于木质材料物理力学性能的研究,直到20世纪60年代末,日本仍停留在对木材的组织构造、强度和物理性质进行调查的基础上,进行木材加工技术、木质材料制造及材质改性等方面的研究。近年,其研究方向发生了转变,即从有关理想化木材的强度研究,向实际应用型木质结构材料的强度方向转移^[4]。目前的研究内容包括:如何用概率论等来处理木材的

强度性能,对木材进行强度分级等。

过去日本的木质结构用材主要来自于国外。二战后日本大量种植的以日本柳杉为代表的人工林,已逐渐进入成熟期。近年来围绕日本柳杉材的开发利用,进行了大量的研究。典型的应用范例就是柳杉中小截面结构用集成材,于 1999 年正式生产,其产量不断增长,广泛用于制作梁柱式木结构的梁和柱;还有厚型结构柳杉胶合板,可用作规格材框架的覆面板和屋顶基板等,近几年产量亦大幅增加^[6]。

近几年,以日本国产材为对象开发的木质建材层出不穷,如:把木柱锯成两半,经干燥、再胶合的双子柱;使用梯形木条接宽的层积梯形集成材;用数根方材层积胶合而成的胶接层叠梁;圆筒形 LVL;柳杉细长刨花定向刨花板;钢板/柳杉复合梁等^[6,10]。

4 日本木质结构的现状与发展方向

针对日本民众最关心的木质结构的抗震性能,有关专家学者开展了大量的研究,开发出了多种减震和免震装置。目前在木质结构住宅中使用得较多的是,利用橡胶吸震的减震装置。经实物振动台试验证明:这种减震装置最多可吸收地震 50% 的能量。

梁柱式木结构过去不使用斜撑,也很少使用金属加强件。但现在的研究表明:斜撑对增强梁柱木结构的抗震能力具有十分重要的作用。因此,现在的梁柱木结构普遍使用了斜撑和金属加强件。梁柱式木结构的榫槽和榫头由专用数控机床加工,加工精度高,也进一步提高了其抗震能力。从北美引进的轻型木结构,通常是在规格材组成的木框两面,采用钉子固定结构胶合板,不使用胶黏剂,木框里面一般也不填充材料;而日本的轻型木结构开始胶和钉并用,并在木框中填充难燃、绝热材料。

日本对大截面集成材结构的联接,亦进行了大量的研究,内容包括:螺栓孔的大小、位置对联接强度的影响。开发了在 LVL 梁、柱上,采用异型钢材与环氧树脂形成刚性结合的联接方式。目前集成材主要采用金属件联接,正在开发采用强化 LVL 板材和强化 LVL 圆棒,结合胶接、金属件的联接方式^[11]。

在木质结构设计方面,过去基本上是根据建筑标准选择材料、尺寸和结构形式,设计出来的木质结构能保证其规定的抗震性能,但由于材料性能的偏差、加工精度等原因,其可靠性并不一定很高。自 2000 年建筑标准修改后,许多企业开始通过试验和计算来设计木质结构,使其能满足要求的抗震能力^[12];还可

根据用户的要求进行个性化设计,可靠性更高。

另外,对木质结构部件的朽化程度检测,通风防潮、气密性、耐久性、隔音性,部件交换,解体木质结构的再使用、再利用等,也进行了诸多研究^[13]。新建的木质结构住宅普遍安装了具有热交换功能的换气装置和太阳能发电装置,保证了室内空气的质量,能源基本自给,达到了节能和保护环境的目的;不再使用燃气炉灶,而普遍采用电磁炉,减少了火灾隐患。

基于社会强烈要求打破既存框架、吸收各种结构的优点,选择最适合日本木材供给、住宅生产体系、气候条件和居住方式的新型木质结构,成为日本木质结构的发展方向。内容包括:以国产材为主要原材料,发挥传统梁柱式结构的柔软性和地域适应性,借鉴轻型木结构的规格材系统组合方法,发挥工厂预制结构的生产效率和板件使用技术,研究集成材作为梁柱材料的合理性^[4]。今后的木质结构住宅具有高的隔热性,容易创造出可变空间,可再使用/再利用率高,抗震能力强,能源自给^[14]。

参考文献:

- [1] 有马孝礼,高桥彻,增田稔. 木质结构[M]. 日本滋贺县:海青社, 2001:35-48.
- [2] 林知行. 集成材·LVL[J]. [日]木材工业, 2005(7):323-325.
- [3] 稻山正弘. 社会人大学院木造建筑课程开设 1 年的回顾[J]. [日]木材工业, 2006(10):452-455.
- [4] Motoaki Okuma. Trends and Views of the Study of Wood Strength and Timber Construction[J]. Mokuzai Gakkaishi, 2005 (1):25-28.
- [5] 木质结构研究会. 木质结构建筑读本[M]. 东京:井上书店, 1998:12-13.
- [6] 林知行. 工程木的 20 年[J]. [日]木材工业, 2008(2):58-63.
- [7] 日本国土交通省综合政策情报管理部建设统计室. 建筑开工统计调查(2008-04-30). <http://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/chojou/kencha.htm>.
- [8] 神谷文夫,松水浩史,杉本健一,等. 平成 19 年能登半岛地震中木造建筑的受灾调查[J]. [日]木材工业, 2007(8):361-364.
- [9] 林知行. 变化了的木材·木造建筑[M]. 东京:丸善株式会社, 2003:83.
- [10] 田中洋. 钢板/柳杉复合梁[C]// [札幌]第 45 回日本木材学会大会研究发表要旨集, 2004:201.
- [11] 田中欣作. 使用柳杉强化 LVL 的木质结构连接材料[J]. [日]木材工业, 2002(10):420-425.
- [12] Noboru Nakamura. Present state and outlook for reliability studies of timber structures and wood-based materials [J]. Mokuzai Gakkaishi, 2005(1):16-18.
- [13] Takuro Hirai. Current issues of timber construction[J]. Mokuzai Gakkaishi, 2007(3):117-126.
- [14] 野口弘行. 木质结构近未来形的思考[J]. [日]木材工业, 2006 (4):175-177.

(责任编辑 向 琴)