



Light Wood Frame
Construction

熊海贝 康加华 何敏娟 著

轻型木结构



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

“十二五”国家重点图书出版物出版规划项目
同济大学学术专著(自然科学类)出版基金项目

轻型木结构

熊海贝 康加华 何敏娟 著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

轻型木结构/熊海贝,康加华,何敏娟著. —上海:同济大学出版社,2018.5

ISBN 978-7-5608-6179-1

I. ①轻… II. ①熊… ②康… ③何… III. ①木结构
IV. ①TU366.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 318516 号

“十二五”国家重点图书出版物出版规划项目
同济大学学术专著(自然科学类)出版基金项目

轻型木结构

熊海贝 康加华 何敏娟 著

出品人: 华春荣

责任编辑: 高晓辉

责任校对: 徐春莲

装帧设计: 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)
经 销 全国各地新华书店、建筑书店、网络书店
排版制作 南京新翰博图文制作有限公司
印 刷 上海安兴汇东纸业有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 26.25
字 数 655 000
版 次 2018 年 5 月第 1 版 2018 年 5 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-6179-1
定 价 108.00 元

版权所有 侵权必究 印装问题 负责调换

前 言

木材是传统天然的建筑材料,这种资源易于再生,且绿色环保。采用木材作为主要建筑材料的轻型木结构房屋具有保温隔热、环境友好及良好抗震性。建筑在材料生产、建造及使用维护期间都要消耗大量能源,因此大力推广轻型木结构房屋在我国应用与发展,非常符合建筑业节能减排和可持续发展的大政方针。

鉴于轻型木结构房屋具有的上述优点及特性,国外如北美地区(加拿大和美国)几乎所有的低层住宅都采用轻型木结构房屋的建筑形式。随着 2003 年颁布的《木结构设计规范》(GB 50005—2003)中增加了轻型木结构房屋设计相应部分的规范条文,最近几年,在我国部分地区的民用和公共建筑中,轻型木结构房屋得到了较快地发展和应用。同济大学于 2003 年起恢复了木结构的本科教学,作为选修课向土木工程本科专业开设。近年来已有数百名本科生选修该课程。自 2004 年起,同济大学与加拿大林产创新研究院开展了一系列轻型木结构房屋相关的研究,陆续培养了数届与轻型木结构研究相关的硕士及博士研究生。

本书就是笔者在将近 10 年的教学和研究基础上编写而成的,涵盖了轻型木结构研究、设计两大部分内容。本书共分 10 章,主要包括:轻型木结构房屋抗震性能试验和数值研究方法及其研究结论、基于性能的轻型木结构抗震设计理论探讨、木基结构板-矩形截面搁栅组合梁受弯性能试验及理论研究、木楼盖双向特性研究及其应用、木楼盖设计及人致振动分析、轻型木结构房屋结构设计方法及实例。本书可作为在校师生在教学和研究工作中的参考书,也可作为工程设计和施工人员的参考书。

本书主要由同济大学土木工程学院编写完成,同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司参与编写了部分内容。主要分工为:熊海贝编写第 1 章、第 2 章、第 5 章、第 6 章、第 9 章;康加华编写第 3 章、第 4 章、第 7 章、第 8 章;何敏娟编写第 10 章。

感谢加拿大林产工业创新研究院、加拿大木业协会、林创(中国)为本书编写所提供的资料。同济大学土木工程学院研究生在本书的编写过程中参与了资料整理、文字和图片录入等工作。在此表示衷心感谢!

限于作者水平,书中谬误之处在所难免,敬请读者指正。

熊海贝

2017 年秋于同济园

目 录

前 言

第 1 章 绪论	1
1.1 轻型木结构房屋及其相关特性	1
1.1.1 轻型木结构房屋体系	1
1.1.2 轻型木结构房屋主要材料	2
1.1.3 轻型木结构房屋抗震性能	3
1.1.4 轻型木结构房屋环境友好性	4
1.1.5 轻型木结构房屋其余各项优势	5
1.1.6 轻型木结构房屋注意事项	6
1.2 国内外轻型木结构房屋应用与发展	6
1.2.1 国外轻型木结构房屋应用与发展	6
1.2.2 国内轻型木结构房屋应用与发展	8
1.3 国内外相关轻型木结构房屋研究概况	11
1.3.1 钉连接节点试验及其数学模型研究现状	11
1.3.2 木框架剪力墙试验及数值模拟研究现状	13
1.3.3 轻型木结构房屋试验及数值模拟研究现状	15
1.3.4 基于性能的轻型木结构房屋抗震设计方法研究现状	16
1.3.5 木楼盖振动控制及人致振动分析研究现状	17
1.3.6 轻木-混凝土混合结构研究现状	19
1.4 本书主要研究对象及各章节的关系	19
第 2 章 轻型木结构试验系列研究	21
2.1 引言	21
2.2 钉连接节点试验研究	21
2.2.1 试验方法	22
2.2.2 节点破坏模式	23
2.2.3 节点滑移承载力关系	24
2.2.4 结果应用	28
2.3 木框架剪力墙试验研究	29
2.3.1 试验方法	29

2.3.2	典型试验结果	32
2.3.3	结果应用	39
2.4	整体轻型木结构房屋试验研究	40
2.4.1	整体轻型木结构房屋静力试验研究概述	40
2.4.2	整体轻型木结构房屋模型低周反复加载试验研究	41
2.4.3	整体轻型木结构房屋模型模拟地震振动台试验研究	57
2.5	本章小结	66
第3章	轻型木结构房屋有限元模拟方法	67
3.1	引言	67
3.1.1	国外研究概况	67
3.1.2	国内研究概况	76
3.2	轻型木结构房屋精细化有限元建模方法	77
3.2.1	木框架构件之间的连接处理	77
3.2.2	钉连接节点承载力调整	80
3.2.3	有限元模型单元选择及相关材性参数	88
3.3	有限元模型验证	88
3.4	12.5 mm 及 15.5 mm 板厚钉连接节点承载力调整	90
3.5	轻型木结构房屋简化有限元建模方法	93
3.5.1	钉连接节点恢复力模型	94
3.5.2	自定义弹簧单元	97
3.5.3	木框架剪力墙低周反复加载数值模拟结果	99
3.5.4	木框架剪力墙简化	100
3.5.5	简化的轻型木结构房屋整体模型	102
3.5.6	模型基本特性及动力分析结果	103
3.6	本章小结	106
第4章	轻型木结构房屋抗震性能分析及评价	107
4.1	引言	107
4.1.1	轻型木结构房屋抗震性能计算分析研究概况	107
4.1.2	采用自定义弹簧单元的轻型木结构房屋有限元模拟研究	108
4.1.3	采用专用轻型木结构房屋分析软件的有限元模拟研究	109
4.1.4	采用通用有限元程序的轻型木结构房屋有限元模拟研究	110
4.1.5	本书所采用的有限元模型及其优缺点	110
4.2	基于静力非线性分析的轻型木结构房屋抗震性能分析	110
4.2.1	地震作用确定	111
4.2.2	轻型木结构房屋非线性静力分析基本原理	112
4.2.3	结构基本动力参数计算结果	114
4.2.4	轻型木结构房屋不同水准地震作用下性能点计算结果	116

4.2.5 钉连接破坏过程	126
4.2.6 墙体端部墙骨柱上拔	131
4.3 基于静力非线性的轻型木结构房屋抗震性能评价	132
4.4 本章小结	134
第5章 基于性能的轻型木结构房屋抗震设计理论	136
5.1 引言	136
5.1.1 抗震设计方法沿革	136
5.1.2 现行轻型木结构房屋抗震设计方法概述	136
5.1.3 现行设计方法的不足	137
5.2 轻型木结构房屋抗震性能目标研究	138
5.2.1 国外研究概况	138
5.2.2 国内研究概况	139
5.2.3 非结构构件性能目标的研究	139
5.3 基于性能的轻型木结构房屋抗震设计方法	140
5.3.1 基于性能的轻型木结构房屋抗震设计方法概述	140
5.3.2 基于整体结构的直接位移设计法	141
5.3.3 基于单片墙体的直接位移设计法	143
5.4 标准木框架剪力墙变形-等效刚度系列曲线	146
5.4.1 标准墙体及其变形-等效刚度曲线	147
5.4.2 不同高宽比对墙体承载力的影响	152
5.4.3 洞口对墙体承载力的影响	153
5.5 直接基于位移的轻型木结构房屋抗震设计方法实例	156
5.5.1 工程概况	156
5.5.2 剪力墙布置	157
5.5.3 质量及刚度矩阵	159
5.5.4 大震下纵向各层等效刚度需求计算	160
5.5.5 刚度分配原则及纵向墙体的选择	161
5.5.6 三水准地震作用结构横向墙体设计结果	163
5.5.7 有效墙肢端部墙骨柱上拔力计算	164
5.6 本章小结	166
第6章 组合构件受力性能试验研究	167
6.1 引言	167
6.1.1 现行木楼盖设计方法	167
6.1.2 试验目的	170
6.2 试验设计	170
6.2.1 试件设计	170
6.2.2 仪器布置及数据采集	172

6.2.3 加载控制	174
6.3 试验结果及数据分析	174
6.3.1 数据处理说明	174
6.3.2 试验结果	175
6.3.3 试验数据分析	180
6.4 考虑翼缘-腹板部分滑移的组合梁受弯性能理论分析	189
6.4.1 考虑翼缘-腹板部分滑移的 T 型组合梁理论	189
6.4.2 相关材性及钉连接刚度	193
6.4.3 考虑翼缘-腹板部分滑移的 T 型组合梁抗弯刚度理论计算值	194
6.4.4 考虑翼缘腹板部分滑移的工字型组合梁理论	195
6.5 考虑翼缘-腹板部分滑移的组合梁数值有限元模型	197
6.5.1 组合梁建模方法	197
6.5.2 T 型组合梁数值分析及其结果	199
6.5.3 工字型组合梁数值分析及其结果	201
6.6 考虑翼缘腹板部分组合作用的组合梁截面滑移研究	204
6.7 本章小结	206
第 7 章 木楼盖双向受力特性研究及其应用	208
7.1 引言	208
7.2 木楼盖双向特性数值模拟及理论研究	208
7.2.1 木楼盖有限元模型建模方法	208
7.2.2 均布荷载下木楼盖数值模拟分析	210
7.2.3 各向异性加劲板刚度及荷载分配计算方法	213
7.3 木楼盖平面范围内竖向荷载分配计算	216
7.3.1 钉连接节点刚度 S 值的确定	216
7.3.2 不同长宽比木楼盖竖向荷载分配计算	218
7.4 墙肢端部墙骨柱上拔力计算	221
7.4.1 水平荷载作用下墙肢端部墙骨柱上拔力计算	221
7.4.2 考虑重力荷载有利作用后墙肢端部墙骨柱上拔力	223
7.5 本章小结	229
第 8 章 木楼盖设计与人致振动分析及评价	230
8.1 引言	230
8.2 考虑楼面板-搁栅组合作用的木楼盖设计	230
8.2.1 木楼盖端部楼面板-搁栅滑移的规定	230
8.2.2 楼面板及搁栅材性	231
8.2.3 由楼面板-搁栅相对滑移决定的承载力	232
8.2.4 搁栅强度决定的承载力	236
8.2.5 搁栅挠度决定的承载力	241

8.3	考虑双向作用的木楼盖设计	249
8.4	木楼盖振动控制设计	254
8.4.1	人行荷载的特点	254
8.4.2	人行荷载作用下木楼盖的反应	254
8.4.3	国外研究概况	256
8.4.4	国内研究现状	259
8.4.5	木楼盖挠度及频率计算方法	260
8.4.6	采用矩形截面搁栅木楼盖振动控制设计跨度建议值	261
8.5	数值有限元法检校木楼盖振动舒适度	263
8.5.1	舒适度评价方法	263
8.5.2	木楼盖计算模型	265
8.5.3	计算结果	273
8.5.4	楼板人致振动舒适度评价	274
8.6	结论	275
第9章	轻木-混凝土混合结构抗震性能与设计理论研究	277
9.1	引言	277
9.2	轻木-混凝土混合结构抗震性能试验研究	277
9.2.1	试验设计	277
9.2.2	模型地震反应	280
9.3	轻木-混凝土混合结构弹性阶段抗震计算	289
9.3.1	结构抗震计算方法简述	289
9.3.2	弹性计算方法	289
9.3.3	弹性计算模型	290
9.3.4	模型动力特性试验值与计算值比较	290
9.3.5	地震作用计算结果	291
9.4	上部轻型木结构简化计算	299
9.4.1	问题的提出	299
9.4.2	反应谱试验结果分析	300
9.4.3	简化计算方法的适用条件	301
9.4.4	放大系数的确定	301
9.4.5	小结	302
第10章	轻型木结构房屋结构设计方法及实例	304
10.1	结构设计基本规定	304
10.2	构造设计法和工程设计法设计原则	305
10.3	结构体系和平面布置	308
10.4	设计指标和允许值	310
10.5	荷载及作用效应计算	311

10.5.1	一般规定	311
10.5.2	荷载取值	312
10.5.3	水平力分配法及剪力墙刚度计算	312
10.6	轻型木结构地震作用计算和结构抗震验算	315
10.6.1	一般规定	315
10.6.2	地震作用计算方法	316
10.6.3	底部剪力法	316
10.6.4	抗震验算细则	317
10.7	轻型木结构木框架剪力墙和楼屋盖设计	317
10.7.1	剪力墙设计一般规定	317
10.7.2	侧向荷载作用下的剪力墙设计	318
10.7.3	竖向荷载下的墙体设计	319
10.7.4	楼屋盖设计一般规定	320
10.7.5	侧向荷载作用下的楼屋盖设计	320
10.8	轻型木结构设计实例	325
10.8.1	荷载计算	325
10.8.2	屋架计算	329
10.8.3	剪力墙抗侧力计算	333
10.8.4	楼盖抗侧力计算	340
10.8.5	竖向荷载作用下剪力墙墙骨柱设计计算	342
10.8.6	竖向荷载作用下楼盖设计计算	347
10.8.7	墙体与楼盖及基础的连接计算	349
附录 A	向峨小学部分建筑结构图	352
附录 B	标准墙体单位长度变形—承载力及等效刚度曲线	362
附录 C	木楼盖振动控制跨度建议值	370
参考文献		390

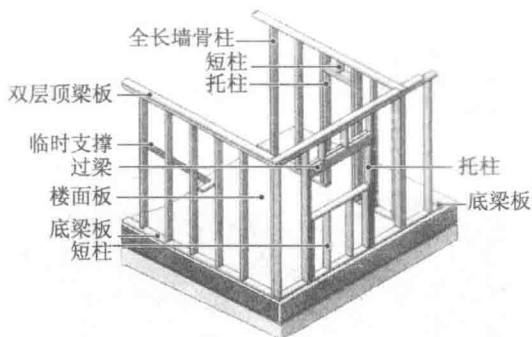
第 1 章 绪 论

1.1 轻型木结构房屋及其相关特性

1.1.1 轻型木结构房屋体系

我国规范《木结构设计规范》^[1]对轻型木结构房屋有如下定义:由木框架剪力墙、木楼盖和木屋盖构成的结构体系,适用于三层及三层以下的民用建筑。加拿大木结构手册^[2]对轻型木结构房屋有如下定义:由间距较密的规格材和木基结构板(OSB 或 Plywood)采用钉子连接组成结构构件的一种木结构房屋体系。

木框架剪力墙是由墙骨柱、顶梁板和底梁板、门窗洞口上的过梁及木基结构板采用钉子连接组成。典型的木框架剪力墙木骨架如图 1-1(a)所示,如图 1-1(b)所示为施工中的木框架剪力墙。轻型木结构房屋体系中的竖向荷载通过木框架剪力墙体中密布的墙骨柱传至基础,墙骨柱的侧向支撑由面内刚度较大的木基结构板材通过钉连接节点予以提供。木框架剪力墙是轻型木结构体系中主要的抗侧力构件,其作用主要是抵抗由风和地震产生的水平作用力,其次是为了房间分隔。



(a) 木骨架



(b) 施工中的墙体

图 1-1 木框架剪力墙

轻型木结构房屋建筑中,木楼盖主要由搁栅、楼面板、横撑组成。搁栅一般有三种类型,分别为实锯木搁栅、平行弦桁架搁栅和工字型木搁栅。实锯木搁栅为截面高度较大的规格材,平行弦桁架搁栅则采用截面较小的规格材通过齿板连接的方式制作而成,工字型木搁栅则是一种工程木产品,相对于前两种形式的搁栅,这种搁栅强度更高,质量更轻,因此采用此

类搁栅建造的木楼盖跨度可以更大。楼面板主要采用木基结构板,搁栅之间的横撑一般采用规格材。为了减少楼板振动通常还需要在楼面板上铺设 40 mm 左右厚的轻质混凝土层或细石混凝土层。为了防火需求在搁栅底部需要覆上一层或两层石膏板。搁栅、楼面板、横撑和石膏板采用钉连接,形成整体的木楼盖结构系统。典型的现代木结构楼盖构造如图 1-2(a)所示,如图 1-2(b)所示为施工中的某木楼盖。

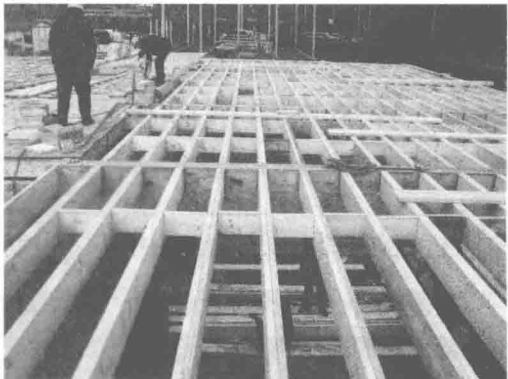
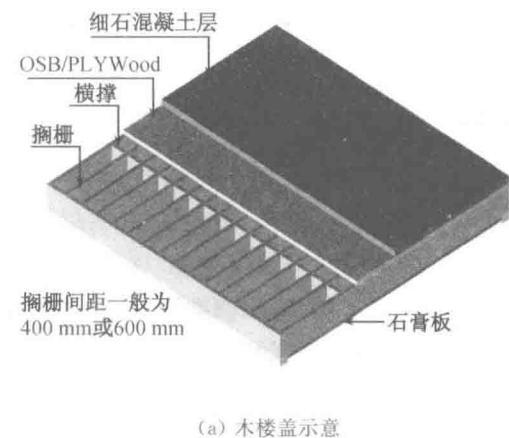


图 1-2 典型现代木结构楼盖

木楼盖是轻型木结构中的主要竖向受力构件,其作用是将木楼盖平面范围内的竖向荷载分配至四周墙体,同时还起到传递水平荷载至木框架剪力墙的作用。

轻型木结构中的木屋盖系统主要由采用规格材制造的单榀屋架按照一定间距(一般为 405 mm 或 610 mm)布置,并覆以屋面板(木基结构板)及各类支撑组成,图 1-3(a)所示为典型的木屋盖系统(不含屋面板),图 1-3(b)所示为一施工中的木屋盖系统。

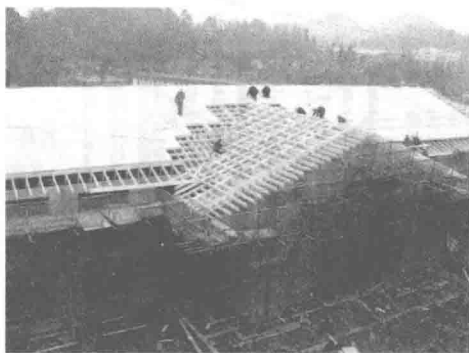
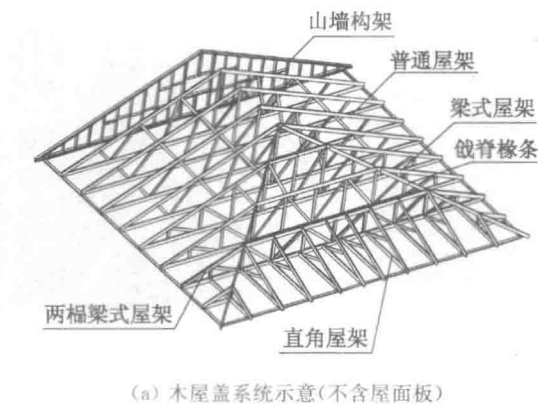


图 1-3 轻型木结构中的木屋盖系统

1.1.2 轻型木结构房屋主要材料

轻型木结构房屋的工程木材主要有以下几种。

1. 定向刨花板

定向刨花板(Oriented Strand Board, OSB)是一种木基结构板材(图 1-4),板材使用 100%原木加工,使用耐久性的热固性树脂,在加热和加压条件下,把木片粘合在一起。OSB 施工方便,使用 OSB 可以快速地覆盖一大块区域,通过钉与规格材相连使结构具有足够的强度和刚度。OSB 适合作为墙面板、屋面板或楼面板,性能良好并且结实,稳定,无翘曲、扭曲或凹陷,均质,无空穴、木节孔和脱层现象,耐撞击,有良好的隔热和隔音性能。用 OSB 铺的楼面板具有耐撞击性能,适合作为地毯、木地板或瓷砖的铺底。

2. 规格材

规格材(Dimension Lumber)主要指木材截面按照一定规格切割的实木锯材(图 1-5)。在北美,规格材主要按照英制被分为 $2''\times 4''$, $2''\times 6''$, $2''\times 8''$, $2''\times 10''$, $2''\times 12''$ 等几种。其对应的公制截面尺寸分别为 $38\text{ mm}\times 89\text{ mm}$, $38\text{ mm}\times 140\text{ mm}$, $38\text{ mm}\times 184\text{ mm}$, $38\text{ mm}\times 235\text{ mm}$, $38\text{ mm}\times 286\text{ mm}$,我国规范中将其对应为 $40\text{ mm}\times 90\text{ mm}$, $40\text{ mm}\times 140\text{ mm}$, $40\text{ mm}\times 185\text{ mm}$, $40\text{ mm}\times 235\text{ mm}$, $40\text{ mm}\times 285\text{ mm}$ 。不同尺寸规格、不同强度等级的规格材被用于墙体、楼盖、屋架等不同受力部位的骨架^[1]。

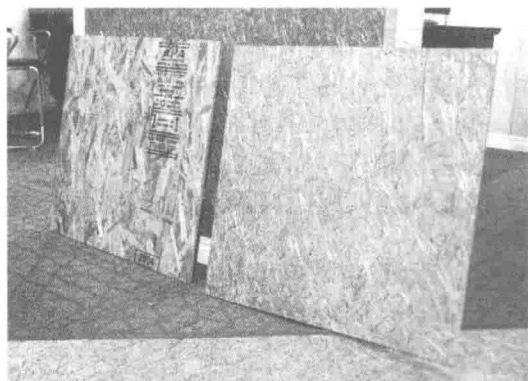


图 1-4 OSB 定向刨花板

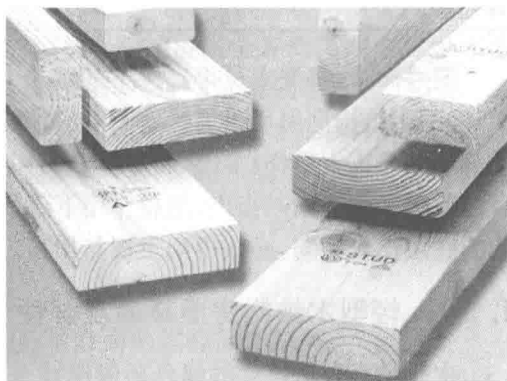


图 1-5 规格材

轻型木结构房屋的主要连接件为钢钉(图 1-6),一般使用低碳钢制作而成。在特殊环境下可使用防锈的不锈钢钉等。为了提高钉子的抗拔出力,确保钉连接节点抗剪失效前不发生拔出破坏,一般使用钉杆带有螺纹的钉子。设计中要保证钉连接主要承受剪力,在构造上要保证足够的钉入深度。钉连接是轻型木结构中墙骨柱与墙骨柱、墙骨柱与顶(底)梁板、墙骨柱与 OSB 连接的基本形式,是确保结构受力和稳定的关键要素。

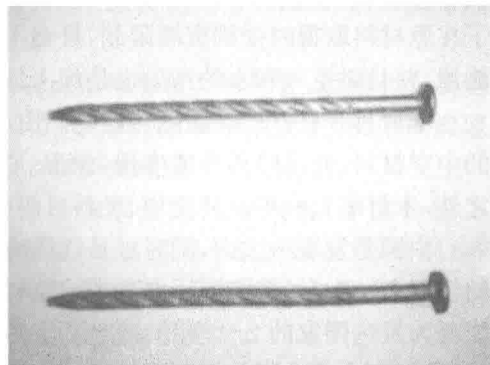


图 1-6 钢钉

1.1.3 轻型木结构房屋抗震性能

相比较于传统的钢筋混凝土结构和钢结构,轻型木结构房屋有两个突出优点:①房屋结构自身质量相对较轻,因此相同强度的地震作用下,结构受到的地震作用相对较小;②轻型

结构房屋体系由大量的金属连接件特别是钉子连接而成,结构的冗余度高,结构具有良好的变形和耗能能力。相关研究人员对 1964 年至 1995 年在北美地区及日本发生的 7 次主要地震中轻型木结构房屋的抗震性能进行了调查^[3],表 1-1 为历次地震中死亡人数的统计。

表 1-1 1964—1995 年历次主要地震死亡人数调查^[3]

地震发生地及时间	震级	大约死亡人数		轻型木结构房屋 数量/幢
		总数	轻型木结构房屋中 死亡人数	
美国 Alaska, 1964	8.4	130	<10	—
美国 San Fernando, 1971	6.7	63	4	100 000
纽芬兰 Edgecumbe, 1987	6.3	0	0	7 000
加拿大魁北克 Saguenay, 1988	5.7	0	0	10 000
美国加州 Loma Priete, 1989	7.1	66	0	50 000
美国加州 Northridge, 1994	6.7	60	20	200 000
日本神户 Hyogo-ken Nambu (Kobe), 1995	6.8	6 300	0	8 000

通过调查,研究人员得到以下的结论^[3]:在 1964—1995 年北美地区及日本的多次地震中,轻型木结构房屋可以承受地面峰值加速度为 0.6g 及更大的地震作用,未造成房屋结构的倒塌和严重人员伤亡。从表 1-1 中可以看到,轻型木结构房屋满足生命安全的传统抗震目标要求。调查同时指出,地震作用下部分轻型木结构房屋出现了轻微损害,部分轻型木结构的底层比较脆弱,必须得到重视与加强。

1.1.4 轻型木结构房屋环境友好性

木材是一种可再生的绿色环保建材。只要有土地、阳光和水分,木材就可以生产。相对于其他建材如砖石、混凝土和钢材等,木材可再生,其再生周期一般为 50~100 年。因此,只要森林资源得到合理规划和管理,木材资源便可取之不尽,用之不竭。砖块、水泥和钢材除了在原材料取得时受到资源限制,且会不同程度地影响环境及生态,在生产过程中消耗大量能源,并且对空气和水的污染也是惊人的。

木材具有良好的保温隔热性能。由于木材本身构造的特点,细胞内有空腔,形成了天然的中空材料,使得热传导速度慢,保温、隔热性能好。木材可以降低建筑物使用能耗。除此之外,木材还具有可循环使用、废料可回归大地以及天然绝缘等优势。

中国是发展中大国,同时也是能源消耗大国。数据表明,约有 30%的能源用在各类建筑的使用上,16.7%的能源用在各类建筑材料上,中国目前以砖石、混凝土、钢材为主的建筑物能耗为发达国家的 2~3 倍。随着环境污染、能源过度消耗的问题越来越突出,我国于 2006 年通过的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中就提出要把节约能源作为基本国策,要从源头上防止污染和能源消耗,保护生态环境。节约能源要从能耗大户着手,才能有效实现节能目标。建设部于 2005 年发布了《关于发展节能省地型住宅和公共建筑的指导意见》(建科[2005]78 号),目标是在 2020 年北方和沿海经济发达地区和特大城市新建建筑实现节能达到 65%;在 2006 年又发布了《民用建筑节能管理规定》(中华人民

共和国建设部令第143号),要求现代技术和材料均需达到节能标准才能使用,并且鼓励再生资源的利用,以期能实现节约50%能源的目标。

清华大学《中国木结构建筑和其他结构建筑能耗和环境影响比较》的研究报告指出,生产建筑材料和建造建筑物过程中所消耗的能量有如下规律:用木结构代替钢结构,将节省27.75%的能源和39.2%的水;代替混凝土结构,将节省45.24%的能源和46.17%的水。

以一幢面积约为200 m²的住宅为对象,分别研究其采用木材、钢材和混凝土时能量的消耗,研究表明,采用木材时:①建筑消耗的能量分别是采用混凝土和钢材时的45%和66%;②建筑排放的二氧化碳分别是采用混凝土和钢材时的66%和81%;③建筑的空气污染指数分别是采用混凝土和钢材时的46%和57%;④建筑的水污染指数分别是采用混凝土和钢材时的47%和29%。^①

建筑物使用能源中约50%用在冬天取暖和夏天降温上,在室内保温上,轻型木结构具有绝对节能优势,由于木材本身的构造(天然中空材料)加上墙体内可填充大量保温材料,这使得轻型木结构的保温、隔热性能比混凝土和钢结构优越很多。木材隔热值比标准的混凝土高16倍,而钢的冷热传导速度是木材的400倍。因此轻型木结构建筑在使用期间的能耗比采用传统建筑材料的房屋要低很多。

本书作者采用全寿命分析方法也曾对一实际的轻型木结构房屋全寿命周期内对于环境的影响进行了分析,并与同体量的混凝土结构房屋和钢结构房屋对环境的影响作了比较,结果表明,轻型木结构房屋在其全寿命周期内对环境产生的不利影响是最小的。

综上所述,考虑能耗、二氧化碳、空气污染、水污染等因素,采用木材为主要建筑材料的轻型木结构最为绿色环保,具有环境友好性。

1.1.5 轻型木结构房屋其余各项优势

除了在抗震及环境方面的优势外,轻型木结构其他方面的优势简述如下:

(1) 装配化程度高。依据设计图在工厂制作完成房屋各部分构件,如屋面桁架、墙体、楼盖。将这些构件送到工地像搭积木一样进行拼装组合,可在较短的时间范围内完成一栋房屋的建造,工业集成化程度高,对房屋周边环境的影响小,适合在城市与钢结构、混凝土结构的混合,提高综合装配化程度。可达到百分百装配率。

(2) 现场施工方便快捷。木材容易加工,可以锯切成各种形状。木材轻,运输和安装容易。尤其对于轻型木结构而言,即使采用现场施工的方式,靠人力和小型设备,就可以快速完成一栋独立屋或住宅的现场施工,适合在乡镇偏远乡村和多地震区采用。

(3) 实际使用面积大。轻型木结构墙体由墙骨柱和双面定向板组成,厚度一般为110 mm或140 mm,内填保温材料,内墙面贴防火石膏板,外墙面做不同装饰石材/砖材/木材等。传统砖混房屋墙体厚度一般为240 mm,管线一般在墙体内部和搁栅内布置,不另占空间。所以轻型木结构房屋得房率比砖混房屋多5%以上,使用面积更大。

(4) 建筑美观舒适。木材的自然纹理与人有很强的亲和力。住在木结构建筑物内,人有一种回归自然的感觉。外形上,可与自然融合,依建筑师最理想的立面设计而做出多样化的屋顶和墙体。

^① 此数据来源: <http://www.canadawood.cn>。

1.1.6 轻型木结构房屋注意事项

(1) 木材是各向异性材料。强度按作用力性质、作用力方向与木纹方向的关系一般可分为顺纹抗压、横纹抗压、斜纹抗压、顺纹抗拉、横纹抗拉、顺纹抗弯、顺纹抗剪、横纹抗剪及抗扭等,各种强度差别相当大,其中顺纹抗压、抗弯的强度较高。因此,在设计轻型木结构时,应特别注意木材的各向异性,避免承受横纹拉力,横纹受剪或受扭。

(2) 木材容易腐蚀。腐蚀主要由木腐菌引起,因此通常人们会对木结构建筑物的耐久性产生怀疑。事实上,采用良好的技术和构造措施可避免木材的腐蚀,保证木结构在设计使用年限内的耐久性。基本原则是使用干燥的木材,并做好建筑物的通风、防潮。对于长期可能受到潮气侵入的部位,如与基础连接处木材,可以采用具有天然防腐性的木材或对木材进行防腐处理。设计合理、措施恰当的木结构建筑的耐久性完全是可以保证的,著名的山西应县木结构宝塔已足有 960 岁“高龄”了。

(3) 木材易受虫害侵蚀。木材是有机材料,特别易受白蚁侵蚀,严重者甚至会导致结构破坏而倒塌。可以通过合理的防治及建筑构造措施来防止虫害,切实做好木材防虫是减少或避免虫害的主要措施。此外,在木结构房屋建造前,对建筑场地及四周土壤清理树根、腐木,设置土壤化学屏障等也是防止白蚁的有效措施;木结构建筑一发现有虫害,应及时用药物处理。

(4) 木材是可燃材料。因此人们往往认为木结构房屋较混凝土、砖砌体、钢材等建筑材料建造的房屋更易发生火灾。事实上,研究表明:房屋的防火安全性与建筑物使用的结构材料的可燃性之间并无根本性联系。防火安全很大程度上取决于使用者对于火灾的防范意识,室内装饰材料的可燃性及防火措施(如防火间距、疏散通道、火灾报警及灭火设施)是否得当。具有科学合理规范化防火设计的木结构建筑可达到安全的防火要求,具有良好的防火性能。

(5) 木材隔声、防振性能差。由于木质楼盖由木板和搁栅组成,木质墙体由木板与墙骨柱组成,因此其隔声和防振能力差,在公共建筑中使用受到限制。但目前,随着隔音垫层、防振措施等的采用,经过合理设计并施以辅材之后,以上问题便可以很好地解决。一般在轻型木结构墙体空腔中安装吸音材料,双层墙骨柱错开布置等。一般木质墙体可以达到 240 mm 厚砖墙的隔音效果。此外还可以在楼面上铺 35 mm 厚轻质混凝土或石膏板,以达到隔音减振的效果。

1.2 国内外轻型木结构房屋应用与发展

1.2.1 国外轻型木结构房屋应用与发展

轻型木结构房屋为 19 世纪 30 年代北美地区出现的一种以小截面木材构成的房屋体系,借鉴和引用了欧洲木质隔墙、木搁栅、木楼板的设计思路,以木墙骨柱和板材组成的墙体传递水平荷载和竖向荷载。近年来,随着森林资源的合理利用和管理,以及木材加工业的迅猛发展,轻型木结构在北美已大量用于住宅、商业和工业建筑中(图 1-7—图 1-9)。据统计,



图 1-7 飞机俯瞰下的美国某城市住宅区
(绝大部分为轻木结构房屋)

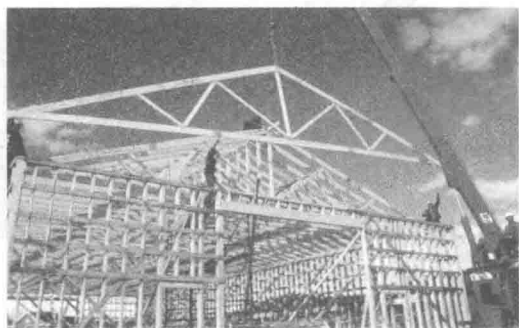


(a) 城市普通民居



(b) 山地别墅

图 1-8 低层轻型木结构房屋



(a) 建造中的大跨轻木结构仓库



(b) 建造中的多层轻木结构住宅

图 1-9 多层轻型木结构房屋

在北美,约有 85% 的多层住宅和 95% 的低层住宅采用轻型木结构体系。此外,约 50% 的低层商业建筑和公共建筑,如餐馆、学校、教堂、商店和办公楼等,采用这种结构体系。美国平均每年有近 150 万幢新的住宅建成,其中木结构住宅占总数中 80% 及以上。1997 年,美国