

预制带肋底板混凝土 双向叠合板的受力性能 及设计方法

STRUCTURAL BEHAVIOR AND DESIGN METHOD OF CONCRETE
COMPOSITE SLAB WITH PRECAST PRESTRESSED CONCRETE RIBBED PANEL

黄海林 张明亮 杨凡 著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

预制带肋底板混凝土双向叠合板的受力性能及设计方法/黄海林, 张明亮, 杨凡著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2019.7
ISBN 978-7-112-23616-9

I. ①预… II. ①黄…②张…③杨… III. ①预制结构-钢筋混凝土结构-带肋板-叠合板-受力性能-研究②预制结构-钢筋混凝土结构-带肋板-叠合板-设计-研究 IV. ①TU375.2②TU33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 071836 号

本书分为上、下两篇, 共 9 章。上篇着重解决基于正交构造异性特征影响的双向叠合板静力计算设计难题, 包括: 第 1 章绪论, 第 2 章双向叠合板的双向受力效应理论研究, 第 3 章双向叠合板的刚度正交构造异性特征研究, 第 4 章双向叠合板的弹性计算方法研究, 第 5 章双向叠合板的简化弹性计算方法研究, 第 6 章双向叠合板的简化弹性计算方法应用实例, 第 7 章双向叠合板的塑性计算方法研究。下篇在静力性能研究基础上结合弯曲疲劳试验, 提出双向叠合板弯曲疲劳性能计算设计理论, 包括: 第 8 章双向叠合板的疲劳性能试验研究, 第 9 章双向叠合板的弯曲疲劳验算方法研究。

本书适合装配式结构、组合结构相关领域科研人员阅读, 也可供建筑结构设计、施工技术人员参考。

责任编辑: 武晓涛

责任设计: 李志立

责任校对: 焦乐

预制带肋底板混凝土双向叠合板的受力性能及设计方法

黄海林 张明亮 杨凡 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15 字数: 370 千字

2019 年 7 月第一版 2019 年 7 月第一次印刷

定价: 49.00 元

ISBN 978-7-112-23616-9

(33909)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

叠合楼盖在美国、日本、澳大利亚等国家的研究与应用已有 60 多年的历史,但存在以下问题:一是国内的理论与应用研究明显滞后于国外,且国外的新型叠合楼盖技术一般具有产权保护,不便于我国采用。二是传统的装配式楼盖由于整体性、抗震性和抗裂性较差,在我国已逐步被限制使用;传统的叠合楼盖采用平板式预制构件,在运输及施工中损耗大,质量难以控制,施工中需设置支撑、工艺复杂;而现浇楼盖在施工中支模难,模板用量大,施工进度慢,对环境的污染大,噪声大,且易产生温度收缩裂缝。总之,传统的建造方式耗费大量钢材和木材,污染环境,结构自重大、造价高、速度慢。三是现行行业标准《预制带肋底板混凝土叠合楼板技术规程》JGJ/T 258—2011 中所采用的预制带肋底板混凝土叠合板,明显呈正交构造异性板特征,规程所述设计方法并未考虑刚度各向异性特征,且现行国内外规范有关双向板静力计算设计方法与疲劳计算设计理论不能直接采用,因此这种叠合板的双向板静力计算设计理论与疲劳计算设计理论尚需完善。针对上述问题,在国家自然科学基金(51308207)、湖南省自然科学基金青年人才培养联合基金(14JJ6031)、湖南省自然科学基金青年项目(2018JJ3161)以及湖南建工集团基础基金项目(JGJTK-2018003)的资助下,课题组围绕考虑预制带肋底板混凝土双向叠合板(以下简称双向叠合板)的受力性能及设计方法展开了系统研究,取得了独具特色的研究成果。作者希望通过本书系统介绍我们在双向叠合板受力性能及设计方法方面取得的研究成果,推动叠合楼盖在我国的应用与发展。

本书分为上、下两篇,共 9 章。上篇着重解决基于正交构造异性特征影响的双向叠合板静力计算设计难题,包括:第 1 章绪论,第 2 章双向叠合板的双向受力效应理论,第 3 章双向叠合板的刚度正交构造异性特征研究,第 4 章双向叠合板的弹性计算方法研究,第 5 章双向叠合板的简化弹性计算方法研究,第 6 章双向叠合板的简化弹性计算方法应用实例,第 7 章双向叠合板的塑性计算方法研究。下篇在静力性能研究基础上结合弯曲疲劳试验,提出双向叠合板弯曲疲劳性能计算设计理论,包括:第 8 章双向叠合板的疲劳性能试验研究,第 9 章双向叠合板的弯曲疲劳验算方法研究。

参加本书相关研究工作的科研人员主要有湖南科技大学祝明桥教授、曾垂军副教授、石卫华博士、黄志博士,湖南建工集团有限公司陈维超高工、阳凡高工、刘维高工,湖南航凯建材技术发展有限公司陈赛国工程师,研究生有李金华、张锡捷、宾智、朱慧、李遨、邓轩、刘光伟、言兴、姜德文、陈思程、周福林等,在此表示衷心的感谢。由于作者水平有限,完稿仓促,故书中难免存在诸多不足,敬请广大读者予以批评指正,不胜感激。

作者

2018 年 11 月 8 日

目 录

上篇

第1章 绪论	3
1.1 概述	3
1.2 研究意义	6
1.3 广义叠合板的基本概念及其分类	8
1.3.1 广义叠合板的基本概念	8
1.3.2 广义叠合板的分类	8
1.4 国内广义叠合楼盖的发展过程及最新研究动态	9
1.4.1 发展过程	9
1.4.2 最新研究动态	10
1.5 国外广义叠合楼盖的发展过程及最新研究动态	14
1.5.1 发展过程	14
1.5.2 最新研究动态	15
1.6 双向受力效应研究及其新型结构体系开发	22
1.6.1 双向受力效应研究	22
1.6.2 新型结构体系开发	25
1.7 本书主要工作	28
第2章 双向叠合板的双向受力效应理论研究	29
2.1 概述	29
2.2 双向受力效应的提出	29
2.3 双向受力效应的有限元分析	30
2.3.1 有限元分析的基本假定	30
2.3.2 有限元模型的确定及单元划分	30
2.3.3 有限元计算结果及分析	32
2.4 本章小结	36
第3章 双向叠合板的刚度正交构造异性特征研究	37
3.1 概述	37
3.2 双向叠合板在第一阶段荷载作用下的刚度研究	37
3.2.1 预制带肋薄板的刚度试验研究	38
3.2.2 预制带肋薄板的等效刚度理论推导	40
3.2.3 理论分析与试验结果的对比	45
3.2.4 肋上开孔对预制带肋薄板施工阶段挠度计算方法的影响研究	47

3.3	双向叠合板在第二阶段荷载作用下的刚度研究	52
3.3.1	强方向的刚度研究	52
3.3.2	弱方向的刚度研究	53
3.3.3	强、弱方向的理论弹性刚度比取值探讨	54
3.4	本章小结	57
第4章	双向叠合板的弹性计算方法研究	59
4.1	概述	59
4.2	双向叠合板挠曲面基本微分方程及内力表达式	59
4.3	均布荷载作用下四边简支双向叠合板	60
4.3.1	均布荷载作用下四边简支双向叠合板的挠度	60
4.3.2	板中心点挠度计算式	61
4.3.3	板中心点弯矩计算式	62
4.3.4	算例	63
4.4	均布荷载作用下两对边简支另两对边固支双向叠合板	64
4.4.1	均布荷载作用下两对边简支另两对边固支双向叠合板的挠度	64
4.4.2	板中心点挠度计算式	66
4.4.3	板中心点弯矩计算式	66
4.4.4	固支边中心点负弯矩计算式	67
4.4.5	算例	67
4.5	均布荷载作用下一边固支三边简支双向叠合板	68
4.5.1	均布荷载作用下一边固支三边简支双向叠合板的挠度	68
4.5.2	板中心点挠度计算式	71
4.5.3	板中心点弯矩计算式	72
4.5.4	固支边中点负弯矩计算式	72
4.5.5	算例	73
4.6	均布荷载作用下四边固支双向叠合板	74
4.6.1	均布荷载作用下四边固支双向叠合板的挠度	74
4.6.2	板中心点挠度计算式	79
4.6.3	板中心点弯矩计算式	79
4.6.4	固支边中点负弯矩计算式	80
4.6.5	算例	81
4.7	均布荷载作用下其他复杂边界条件双向叠合板	81
4.7.1	均布荷载作用下一边简支三边固支双向叠合板	81
4.7.2	均布荷载作用下两相邻边简支另两相邻边固支双向叠合板	82
4.8	本章小结	82
第5章	双向叠合板的简化弹性计算方法研究	83
5.1	概述	83
5.2	双向叠合板与各向同性板解析解的关系	84
5.2.1	均布荷载作用下四边简支双向叠合板	84

5.2.2	均布荷载作用下两对边简支另两对边固支双向叠合板	85
5.2.3	均布荷载作用下一边固支三边简支双向叠合板	87
5.2.4	其他边界条件双向叠合板与相应各向同性板解析解的关系	88
5.3	由解析法得到的双向叠合板简化弹性计算方法	89
5.4	双向叠合板与各向同性板的等效关系	89
5.4.1	双向叠合板与各向同性板挠度的等效关系	89
5.4.2	双向叠合板与各向同性板内力的等效关系	90
5.5	双向叠合板等效各向同性板的计算方法	91
5.6	单区格双向叠合板的简化弹性计算方法	93
5.6.1	四边简支双向叠合板的简化弹性计算方法	93
5.6.2	两对边简支另两对边固支双向叠合板的简化弹性计算方法	95
5.6.3	一边固支三边简支双向叠合板的简化弹性计算方法	99
5.6.4	四边固支双向叠合板的简化弹性计算方法	102
5.6.5	其他复杂边界条件双向叠合板的简化弹性计算方法	104
5.7	多区格双向叠合板的简化弹性计算方法	104
5.8	算例	105
5.9	讨论分析	105
5.10	本章小结	107
第6章	双向叠合板的简化弹性计算方法应用实例	109
6.1	概述	109
6.2	双向板肋梁楼盖计算	109
6.3	本章小结	123
第7章	双向叠合板的塑性计算方法研究	124
7.1	概述	124
7.2	均布荷载作用下四边固支双向叠合板	125
7.2.1	公式推导	125
7.2.2	塑性铰线位置的确定	127
7.3	均布荷载作用下四边简支双向叠合板	130
7.4	均布荷载作用下两对边简支另两对边固支双向叠合板	131
7.4.1	情况一:两短对边简支另两长对边固支双向叠合板	131
7.4.2	情况二:两长对边简支另两短对边固支双向叠合板	132
7.5	均布荷载作用下一边简支另三边固支双向叠合板	132
7.5.1	情况一:一短边简支另三边固支双向叠合板	132
7.5.2	情况二:一长边简支三边固支双向叠合板	134
7.6	均布荷载作用下一边固支另三边简支双向叠合板	136
7.6.1	情况一:一短边简支另三边固支双向叠合板	136
7.6.2	情况二:一长边固支另三边简支双向叠合板	138
7.7	均布荷载作用下两相邻边固支另两相邻边简支双向叠合板	140
7.8	双向叠合板单位宽度极限弯矩的简化计算公式	142

7.9 试验验证	143
7.9.1 四边简支试验	143
7.9.2 四边固支试验	146
7.10 本章小结	147
下篇	
第8章 双向叠合板的疲劳性能试验研究	151
8.1 概述	151
8.2 试验目的及内容	151
8.3 板件设计与制作	152
8.3.1 板件设计	152
8.3.2 板件制作	154
8.4 试验装置与加载方案	160
8.4.1 试验装置	160
8.4.2 加载方案	161
8.4.3 测点布置	162
8.5 材料性能试验、几何参数测量及传感器标定	164
8.5.1 材料性能试验	164
8.5.2 几何参数测量	166
8.5.3 拉压传感器标定	167
8.6 板件试验研究及主要试验结果	167
8.6.1 板件静载试验研究及主要试验结果	167
8.6.2 矩形肋底板叠合板件疲劳试验研究及结果	179
8.6.3 T形肋底板叠合板件疲劳试验研究及结果	194
8.6.4 实心平板叠合板件 DHB5-1 疲劳试验研究及结果	205
8.6.5 现浇板件 XJB1 疲劳试验研究及结果	209
8.6.6 板件疲劳试验结果对比分析	213
8.7 本章小结	215
第9章 双向叠合板的弯曲疲劳验算方法研究	217
9.1 概述	217
9.2 预制带肋底板混凝土叠合板正截面弯曲疲劳性能及基本假定	217
9.3 预制带肋底板混凝土叠合板正截面弯曲疲劳验算	218
9.4 本章小结	220
参考文献	221

第1章 绪论

上篇

1.1 概述

建筑的大部分全部构件是在工厂预置完成, 通过运输到施工现场, 通过不同的连接方式拼装而成的建筑, 称为装配式建筑。装配式建筑是相对于传统现浇式建筑而言的。随着工业技术的发明, 装配式建筑应运而生。

目前, 我国各地装配式建筑的比例和规模比较参差不齐, 装配式建筑的发展建设方式的有关要求还有很大差距。为此, 各级政府部门相继出台了一系列装配式建筑的发展规划。

2015年8月27日, 住房和城乡建设部发布《工业化建筑评价标准》(GB/T 51129—2015), 决定2016年全国全面推行装配式建筑。

2015年11月14日, 住房和城乡建设部出台《绿色建筑评价标准》, 提出到2020年新建装配式建筑占新建建筑的比例达30%以上, 到2025年装配式建筑占新建建筑的比例达50%以上。

2016年2月22日, 国务院出台《关于大力发展装配式建筑的指导意见》, 要求因地制宜发展装配式混凝土结构、钢结构和现代木结构等装配式建筑, 力争用10年左右的时间, 使装配式建筑占新建建筑面积比例达到30%。

2016年3月4日, 李克强总理在政府工作报告中要求要大力发展装配式建筑, 提高建筑工业化和绿色化水平。

2016年7月1日, 住房和城乡建设部发布《住房和城乡建设部2016年科学技术项目计划编制办法》(建标[2016]10号), 并公布了2016年科学技术项目支撑装配式建筑科技示范项目名单。

2016年8月10日, 国务院办公厅转发国务院常务会议纪要, 提出要大力发展装配式建筑, 推动产业转型升级。

2016年9月27日, 国务院发布《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》, 对大力发展装配式建筑的重点区域、重点领域和占比新建建筑目标、重点发展领域进行了明确。

2016年, 国务院办公厅发布《关于进一步做好城市综合开发管理工作的若干意见》中明确提出, 力争在2026年新建装配式建筑的比例达到30%。

2017年, 住房和城乡建设部下发的《关于印发《“十三五”装配式建筑行动方案》的通知》将装配式建筑纳入了“十三五”规划。

此外, 全国许多省市也出台了装配式建筑的相关政策和指导意见, 见图1-1。随着这

第 1 章 绪 论

1.1 概述

建筑的部分或全部构件先在工厂预制完成，然后运输到施工现场，最后将构件通过可靠的连接方式组装而建成的建筑，称为装配式建筑。经过多年尝试，20 世纪 60 年代，国外成功实现装配式建筑。随着工业技术的发展，装配式建筑迅速在世界各地推广开来。

目前，我国各地装配式建筑的比例和规模化程度普遍较低，与我国发展绿色建筑和先进建造方式的有关要求还有很大差距。为此，各级政府部门相继出台了一系列装配式建筑的发展规划：

2015 年 8 月 27 日，住房和城乡建设部发布《工业化建筑评价标准》GB/T 51129—2015，决定 2016 年全国全面推广装配式建筑；

2015 年 11 月 14 日，住房和城乡建设部出台《建筑产业现代化发展纲要》，提出到 2020 年实现装配式建筑占新建建筑的比例达 20% 以上，到 2025 年实现装配式建筑占新建建筑的比例达 50% 以上；

2016 年 2 月 22 日，国务院出台《关于大力发展装配式建筑的指导意见》，要求要因地制宜发展装配式混凝土结构、钢结构和现代木结构等装配式建筑，力争用 10 年左右的时间，使装配式建筑占新建建筑面积的比例达到 30%；

2016 年 3 月 5 日，李克强总理在政府工作报告中提出要大力发展钢结构和装配式建筑，提高建筑工程标准和质量；

2016 年 7 月 5 日，住房和城乡建设部出台《住房城乡建设部 2016 年科学技术项目计划装配式建筑科技示范项目名单》，并公布了 2016 年科学技术项目建设装配式建筑科技示范项目名单；

2016 年 9 月 14 日，国务院召开国务院常务会议，提出要大力发展装配式建筑推动产业结构调整升级；

2016 年 9 月 27 日，国务院出台《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》，对大力发展装配式建筑和钢结构重点区域、未来装配式建筑占比新建筑目标、重点发展城市进行了明确；

2016 年，国务院印发的《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》中明确提出，力争在 2026 年前后使装配式建筑的新建比例达到 30%；

2017 年，住房和城乡建设部下发的《建筑业发展“十三五”规划》将绿色建筑、装配式建筑发展纳入了“十三五”规划。

此外，全国许多省市也出台了装配式建筑的发展规划和指导意见，见表 1.1。随着这

些规划的制定和实施,装配式建筑迎来了前所未有的大好发展时机。2007~2017年我国房屋新开工面积年均复合增长率为6%,由于基数较大及房地产市场政策收紧,假设2018~2020年房屋新开工面积每年增速为5%,之后维持在3%,到2020年,我国房屋新开工面积可达20.69亿 m^2 ,到2025年,我国房屋新开工面积可达23.98亿 m^2 ,见图1.1。假设自2015年起,以10年为周期,装配式建筑占新建建筑面积比例每年增加3%,2020年全国装配式建筑占新建建筑的比例可达15%以上,2025年全国装配式建筑占新建建筑的比例可接近30%,见图1.2。

截至2018年全国各地关于装配式建筑的发展目标

表 1.1

省市	目标
北京	到2018年,实现装配式建筑占新建建筑面积的比例达到20%以上;到2020年,实现装配式建筑占比达到30%以上
河北	到2020年,实现装配式建筑占新建建筑面积的比例达到20%以上,其中钢结构建筑占新建建筑面积的比例不低于10%;到2025年,实现装配式建筑占比达到30%以上
山西	到2020年,全省11个设区城市实现装配式建筑占新建建筑面积的比例达到15%以上,其中太原市、大同市力争达到25%以上
辽宁	到2020年,实现全省装配式建筑占新建建筑面积的比例达到20%以上,其中沈阳市力争达到35%以上,大连市力争达到25%以上,其他城市力争达到10%以上;到2025年,实现全省装配式建筑占新建建筑面积的比例达到35%以上,其中沈阳市力争达到50%以上,大连市力争达到40%以上
吉林	到2020年,全省装配式建筑面积不少于500万 m^2 ,长春、吉林两市实现装配式建筑占新建建筑面积的比例达到20%以上,其他设区城市达到10%以上;到2025年,实现全省装配式建筑占新建建筑面积的比例达到30%以上
上海	2016年外环线内新建民用建筑全部采用装配式建筑,外环线以外超过50%;2017年外环线以外在50%基础上逐年增加
江苏	到2020年,实现全省装配式建筑占新建建筑面积的比例达到30%以上
浙江	到2020年,实现全省装配式建筑占新建建筑面积的比例达到30%
安徽	到2020年,实现装配式建筑占新建建筑面积的比例达到15%;到2025年,力争达到30%
福建	到2020年,实现全省装配式建筑占新建建筑面积的比例达到20%以上。其中,福州、厦门25%以上,泉州、漳州、三明20%以上,其他地区15%以上;到2025年,实现装配式建筑占比达到35%以上
江西	2018年,全省采用装配式施工的建筑占新建建筑的比例达到10%,其中,政府投资项目达到30%;2020年达到30%,其中政府投资项目达到50%;到2025年力争达到50%,符合条件的政府投资项目全部采用装配式施工
山东	到2020年,济南、青岛市装配式建筑占新建建筑比例达到30%以上,其他设区城市和县(市)分别达到25%、15%以上;到2025年,全省装配式建筑占新建建筑比例达到40%以上
湖北	到2020年,全省开工建设装配式建筑不少于1000万 m^2 。武汉市装配式建筑面积占新建建筑面积比例达35%以上,襄阳市、宜昌市和荆门市达20%以上,其他设区城市、恩施州、直管市和神农架林区达到15%以上
湖南	到2020年,全省市州中心城市装配式建筑占新建建筑比例达到30%以上,其中,长沙市、株洲市、湘潭市三市市中心城区达到50%以上
广东	珠三角城市群:到2020年,装配式建筑占新建建筑面积比例达到15%以上,其中政府投资工程装配式建筑面积比例达到50%以上;到2025年,比例达到35%以上,其中政府投资工程装配式建筑面积占比达到70%以上。常住人口超过300万的粤东西北地区地级市中心城区:到2020年,比例15%以上,其中政府投资工程装配式建筑面积比例达到30%以上;到2025年,比例达到30%以上,其中政府投资工程装配式建筑面积占比达到50%以上。其他地区:到2020年,比例10%以上,其中政府投资工程装配式建筑面积比例达到30%以上;到2025年,比例达到20%以上,其中政府投资工程装配式建筑面积占比达到50%以上

续表

省市	目标
广西	到2020年,综合试点城市装配式建筑占新建建筑的比例达到20%以上,新建全装修成品房面积比率达20%以上;到2025年,全区装配式建筑占新建建筑的比例力争达到30%
四川	到2020年,全省装配式建筑占新建建筑的30%
云南	到2020年,昆明市、曲靖市、红河州装配式建筑占新建建筑比例达到20%,其他每个州市至少有3个以上示范项目;到2025年,力争全省装配式建筑占新建建筑面积比例达到30%,其中昆明市、曲靖市、红河州达到40%
陕西	到2020年,实现重点区域装配式建筑占新建建筑面积的比例达到20%以上
甘肃	到2020年,全省累计完成100万m ² 以上装配式建筑试点项目建设;到2025年,力争装配式建筑占新建建筑面积的比例达到30%以上
青海	到2020年,实现全省装配式建筑占同期新建建筑面积的比例达到10%以上。其中,西宁市、海东市15%以上,其他地区5%以上
宁夏	到2020年,实现全区装配式建筑占同期新建建筑面积的比例达到10%;到2025年,达到25%以上

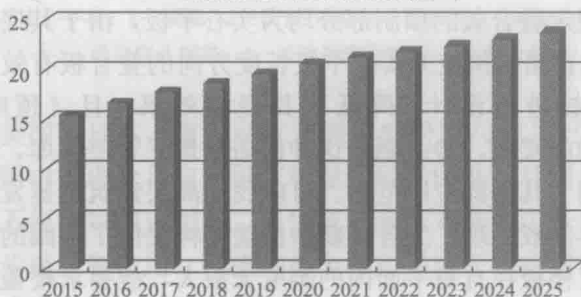
■ 我国房屋新开工面积测算(亿m²)

图 1.1 2015~2025 年我国房屋新开工面积测算

■ 我国装配式建筑面积测算(亿m²)

— 我国装配式建筑占新建建筑面积比例测算(%)

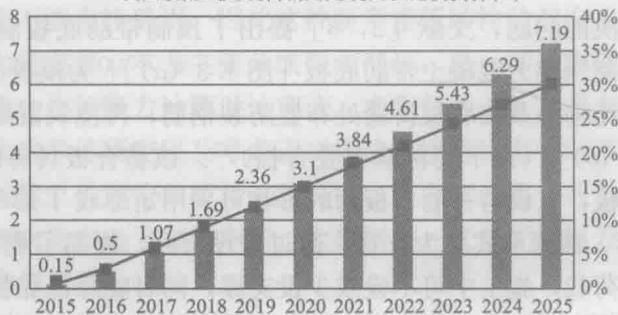


图 1.2 2015~2025 年我国装配式建筑面积及装配式建筑占新建建筑面积比例测算

楼盖结构是装配式房屋建筑的重要组成部分,研究性能良好、环保节材、便于产业化生产的新型楼盖体系是非常必要且十分紧迫的。

根据制作工艺的不同,现有楼盖主要分为现浇和装配式两种,装配整体式介于二者之间。现浇楼盖抗震性、整体性好,但消耗大量模板与支撑、污染环境、施工周期长、不便于工业化生产且易产生温度收缩裂缝;装配式楼盖易于装配,但抗震性、整体性以及抗裂性较差,已逐步被限制使用^[1]。装配整体式楼盖是在底部采用预制构件,上部叠合一层现浇混凝土,二者共同形成整体的受力结构,又称为叠合楼盖(composite floor)。与装配式楼盖比较,叠合楼盖具有刚度大、整体性好、抗震性能优越等优点,与现浇楼盖比较,叠合楼盖具有节省三材、施工简便且能缩短工期等优点,发展这种结构符合国家土地资源政策、环保政策和可持续发展战略。

1.2 研究意义

传统预应力混凝土叠合板是在底部采用预制预应力实心平板,上部现浇叠合层混凝土,二者共同形成整体的结构。由于预制预应力实心平板为不带肋板件,在运输与施工中易折断,预应力反拱度难以控制,施工过程中需设置支撑,施工工艺复杂。现行国家标准《叠合板用预应力混凝土底板》GB/T 16727—2007 与国家建筑标准设计图集《预应力混凝土叠合板》06SG439 规定叠合板的预制部分均为实心平板,由于其底板厚度较大,且一般不小于 50mm,导致垂直预制预应力实心平板长度方向的叠合板有效厚度过小,不宜双向配筋,故主要按单向板进行设计,降低了其经济效果,且《预应力混凝土叠合板》06SG439 不适用于有振动的楼板,势必制约这种楼盖在地下室停车库、大型剧院、工业厂房等结构中的应用,限制了其工程应用范围。目前我国高层建筑飞速发展,各种复杂高层及超限高层建筑如雨后春笋般涌现,为各种新型楼盖结构提供了广阔的应用空间,但高层建筑结构计算一般都假定楼板在自身平面内的刚度无限大,故要求楼盖具有较大的平面内刚度来保证建筑物的空间整体性能和水平力的有效传递,而传统混凝土叠合楼盖由于叠合面抗剪能力薄弱,为此《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010 严格限制了其适用结构类型与建筑高度,严格规定了叠合楼盖在高层建筑中应用应满足的构造要求,缩小了其应用空间。

针对上述亟待解决的问题,文献 [2, 3] 提出了预制带肋底板混凝土双向叠合板体系:以肋内开孔的预制预应力混凝土带肋底板 [图 1.3 (a)]^[2]为模板,在底板凸出的板肋预留孔中布设横向穿孔钢筋及在底板拼缝处布置防裂钢筋,再浇筑混凝土叠合层形成双向配筋叠合板 [图 1.3 (b)] (以下简称双向叠合板)^[4]。该叠合板具有以下显著结构特点:①对比传统平板叠合板,它设有板肋,板肋的形状可采用矩形或 T 形等,使得底板截面形式呈倒 T 形或工字形,截面形式更为有效;通过增设板肋,提高了底板的刚度与承载力,确保底板可承受施工荷载,施工中可不设或少设支撑,同时能降低底板中平板的厚度,减轻自重,增大横向穿孔钢筋的有效高度;板肋的存在明显增大了新老混凝土的接触面积,显著改善了叠合面的性能。②通过在板肋内预留孔洞,叠合板的受力性能与设计计算理论更接近现浇板:板肋设洞可减小底板的反拱度,保证板底平整;板肋预留孔洞内后浇混凝土与板肋形成“销栓”效应,增大了新老混凝土的机械咬合力,有效提高了叠合面的抗剪性能,采用自然粗糙面就能保证叠合板的共同工作性能。③通过在预留孔洞内配置横向穿

孔钢筋，实现了双向配筋，改善了叠合板的受力性能，横向穿孔钢筋与板肋孔洞后浇混凝土形成“钢筋混凝土销栓”，增大了叠合面的抗剪能力。

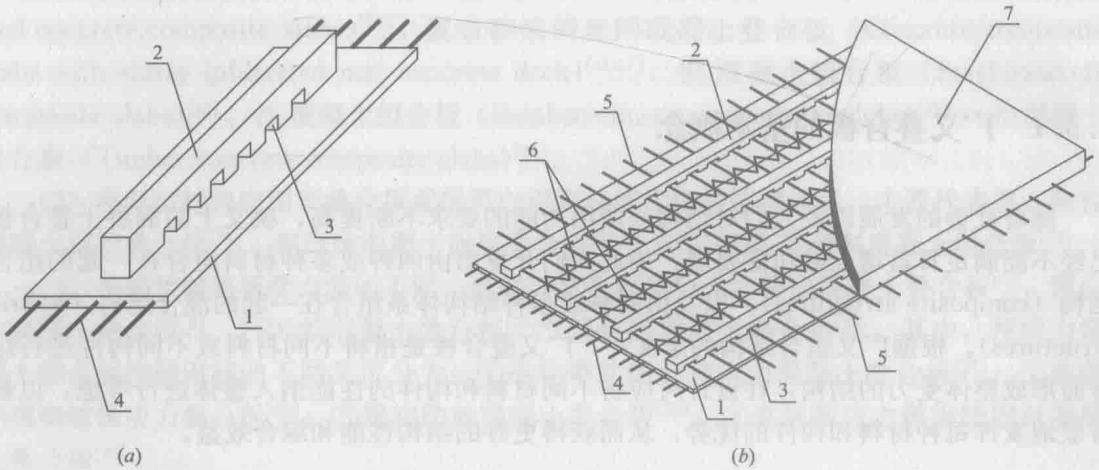


图 1.3 预制带肋底板混凝土叠合板示意

(a) 预制预应力混凝土带肋底板；(b) 预制带肋底板混凝土叠合板

1—实心平板；2—板肋；3—预留孔洞；4—高强预应力螺旋肋钢丝

5—横向穿孔钢筋；6—折线形防裂钢筋；7—叠合层

叠合楼盖结构在美国、日本、澳大利亚等国家的研究与应用已有 60 多年的历史，但存在以下问题：一是国内的理论与应用研究明显滞后于国外，且国外的新型叠合楼盖技术一般具有产权保护，不便于我国采用。二是传统的装配式楼盖由于整体性、抗震性和抗裂性较差，在我国已逐步被限制使用；传统的叠合楼盖采用平板式预制构件，在运输及施工过程中损耗大，质量难以控制，施工过程中需设置支撑、工艺复杂；而现浇楼盖在施工中支模难，模板用量大，施工进度慢，对环境的污染大，噪声大，且易产生温度收缩裂缝。总之，传统的建造方式耗费大量钢材和木材，污染环境，结构自重大、造价高、速度慢。三是对于预制带肋底板混凝土叠合板体系，现行国内外规范有关双向板静力计算设计方法与疲劳计算设计理论不能直接采用，因此这种新型楼板结构的双向板静力计算设计理论与疲劳计算设计理论尚需完善。本书主要分成两大部分：第一部分着重解决考虑正交构造异性特征影响的新型叠合板的静力计算设计理论，主要包括：新型叠合板的双向受力效应理论分析、刚度正交构造异性研究以及考虑正交构造异性特征影响的弹性与塑性简化分析方法；第二部分将通过深入的理论与试验研究，提出新型叠合板的弯曲疲劳性能计算设计理论，为这种楼板结构在地下室停车库、大型剧院、工业厂房以及大跨组合桥面板等结构中的应用提供可靠依据。

预制带肋底板混凝土叠合板克服了传统楼板的缺点，具有如下优点：可在工厂制作、现场装配；不需支模、节省支撑、施工简便，缩短工期约 1/3，可替代压型钢板，为高层钢结构提供了理想的楼板体系；节约钢材 10%~30%、减轻自重约 15%、降低造价 10%~30%。该新型楼板结构不仅符合国家土地资源政策、环保政策和可持续发展战略，而且具有独特的性能特点和良好的综合经济效益，在我国有着较为广阔的应用前景。

1.3 广义叠合板的基本概念及其分类

1.3.1 广义叠合板的基本概念

随着社会的发展以及人们对结构物使用功能的要求不断提高, 狭义上的混凝土叠合板已经不能满足日益增长的功能要求, 为此人们开发出由两种或多种材料组合在一起的组合结构 (composite structures), 以及由两种或多种结构体系组合在一起的混合结构 (hybrid structures)。根据广义组合结构的定义^[5], 广义叠合板是指将不同材料或不同构件进行组合而形成整体受力的结构, 在设计时应将不同材料和构件的性能纳入整体进行考虑, 以最有效地发挥每种材料和构件的优势, 从而获得更好的结构性能和综合效益。

1.3.2 广义叠合板的分类

经过不断的发展和创新, 现今叠合板已广泛应用于各种房屋建筑工程及桥梁工程中。在发展与应用过程中, 叠合板经历了一系列的技术变革。目前, 广义叠合板主要有以下分类: (1) 基于受力特性差异的分类; (2) 基于材料差异的分类; (3) 基于预制底板结构形式差异的分类; (4) 基于应用范围不同的分类。

1.3.2.1 基于受力特性差异的叠合板分类

(1) 一次受力叠合结构: 在施工阶段预制板件吊装就位后, 在其下设置可靠的支撑, 施工阶段的荷载将全部由支撑承受, 预制板件只起到叠合层现浇混凝土模板的作用, 待叠合层现浇混凝土达到强度后再拆除支撑, 由两次浇筑后所形成的叠合截面承受使用阶段的全部作用荷载, 整个截面的受力是一次发生的, 从而构成了“一次受力叠合结构”。

(2) 二次受力叠合结构: 在施工阶段预制板件吊装就位后, 直接以预制板件作为现浇层混凝土的模板并承受施工荷载, 待现浇层混凝土达到一定强度后, 再由预制板件和现浇部分形成的叠合截面承受使用荷载, 叠合截面的应力状态是由两次受力产生的, 便构成了“二次受力叠合结构”。

1.3.2.2 基于材料差异的叠合板分类

(1) 按照叠合板预制板件 (底板) 材料的类型, 将混凝土叠合板分为: 混凝土叠合板或预应力混凝土叠合板 (Reinforced or prestressed reinforced concrete composite slabs)^[6]、轻骨料混凝土叠合板 (Light weight concrete composite slabs)^[7]、蒸压轻质加气混凝土叠合板 (ALC concrete composite slabs)^[8]、钢纤维混凝土叠合板 (Steel fiber reinforced concrete composite slabs)^[9]、活性粉末混凝土叠合板 (Performance of reactive powder

concrete composite slabs)^[10]、纤维增强复合材料混凝土叠合板 (Fiber reinforced plastic \ polymer concrete composite slabs)^[11]、纤维增强水泥混凝土叠合板 (Fiber reinforced cement concrete composite slabs)^[12-14]、橡胶集料混凝土叠合板 (Crumb rubber or rubberized concrete composite slabs)^[15]、复合砂浆钢丝网混凝土叠合板 (Concrete composite slabs with slurry infiltrated mat concrete deck)^[16,17]、钢-混凝土组合板 (Steel-concrete composite slabs)^[18]、竹-混凝土组合板 (Bamboo-concrete composite slabs)^[19]、木-混凝土组合板 (Timber-concrete composite slabs)^[20]。

(2) 将新型材料应用于叠合板面层可以得到性能优良的结构体系, 主要代表有: 陶粒混凝土面层叠合板^[21]、钢纤维混凝土面层叠合板^[22]、压型钢板-轻骨料混凝土组合板^[23]。

(3) 按照预制底板受力筋的不同, 混凝土叠合板可分为: 普通混凝土叠合板^[6]、预应力混凝土叠合板^[6]、FRP 筋混凝土叠合板^[24,25]及竹筋混凝土叠合板^[26]。其中, 预应力混凝土叠合板按照钢筋的不同又可分为: ①冷轧带肋钢筋预应力混凝土叠合板^[27]; ②高强刻痕钢丝预应力叠合板^[28]; ③螺旋肋筋混凝土叠合板^[29]; ④高强预应力螺旋肋钢丝混凝土叠合板^[30]。

(4) 按照叠合板是否双向配筋, 叠合板又可分为: 单向受力叠合板^[6]与双向受力叠合板^[31,32]。

1.3.2.3 基于预制底板结构形式差异的混凝土叠合板分类

按照预制底板结构形式的不同, 混凝土叠合板可以分为: 预制实心底板混凝土叠合板^[6]、预制空心底板混凝土叠合板^[33,34]、预制混凝土空腹叠合板^[35]及预制混凝土夹心叠合板^[36]。其中, 预制实心底板混凝土叠合板按照底板肋的形式又可分为: ①预制实心平板混凝土叠合板^[6]; ②预制键槽形芯板混凝土叠合板^[37,38]; ③预制单矩形肋底板混凝土叠合板^[39]; ④预制双矩形肋底板混凝土叠合板^[40]; ⑤预制单 T 形肋底板混凝土叠合板^[41]; ⑥预制双 T 肋底板混凝土叠合板^[30]; ⑦预制钢筋桁架底板混凝土叠合板^[42]; ⑧预制波纹底板混凝土叠合板^[16]。

1.3.2.4 基于应用范围不同的叠合板分类

按照叠合板的应用范围的不同, 大致分为: 工业与民用建筑叠合板^[6,43]、组合桥面板^[44]。

1.4 国内广义叠合楼盖的发展过程及最新研究动态

1.4.1 发展过程

1.4.1.1 简要历史回顾

我国从 1957 年^[6]开始生产预制预应力薄板、预制预应力棒和预制双层空心板等装配