

既有建筑改造与加固

郑文忠 解恒燕 王英 著



科学出版社

既有建筑改造与加固

郑文忠 解恒燕 王 英 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

我国建筑业已进入新建与改造加固并重的新阶段。本书系统介绍既有建筑改造与加固研究、既有建筑增层改造实践、既有建筑抽柱改造实践、既有建筑扒墙换梁改造实践、哈尔滨 SP 板生产厂房迁移改造实践、既有建筑楼盖开洞改造实践、青海省察尔汗盐湖地区冷却塔加固、既有建筑抗震加固实践。

本书适合土木工程领域的科研、设计及施工人员，以及高等院校相关专业的高年级本科生、研究生和教师阅读。

图书在版编目(CIP)数据

既有建筑改造与加固/郑文忠, 解恒燕, 王英著. —北京: 科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-039385-2

I. ①既… II. ①郑… ②解… ③王… III. ①建筑物—改造—研究
②建筑物—加固—研究 IV. ①TU746.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 309817 号

责任编辑: 王 钰/责任校对: 刘玉靖

责任印制: 吕春珉/封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年7月第一版 开本: 787×1092 1/16

2014年7月第一次印刷 印张: 28

字数: 646 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<双青>)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137154 (VA03)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

我国既有房屋保有量约 500 亿 m^2 。增层改造，可增大建筑面积，节省土地；抽柱改造、扒墙换梁改造和开洞改造，可提升建筑使用功能；迁移改造，可腾出建筑原用地，同时使原建筑及构件继续服役；加固改造与抗震加固，可使建筑“强筋健骨，延年益寿”。我国建筑业已进入新建与改造加固并重的新阶段。

本书共分 8 章：第 1 章为既有建筑改造与加固研究；第 2 章为既有建筑增层改造实践；第 3 章为既有建筑抽柱改造实践；第 4 章为既有建筑扒墙换梁改造实践；第 5 章为哈尔滨 SP 板生产厂房迁移改造实践；第 6 章为既有建筑楼盖开洞改造实践；第 7 章为青海省察尔汗盐湖地区冷却塔加固；第 8 章为既有建筑抗震加固实践。

1995 年作者及其团队开始从事既有建筑改造与加固的研究及实践工作，本人的研究生及助手解恒燕、王英、周威、刘铁、谭军、李莉、陈明阳、郑弦、王昆、计静、张昊宇、孙绪杰、张博一、郭楠、赵军卫、张朋朋、吴丽洁、徐国洲、王稳、刘思嘉、冯阿巧、杨晓微、张宏伟、封云、来鹏飞、谷锋、叶荣华、李玲等在既有建筑改造与加固方面做了大量具体工作。相关建设单位、设计单位、施工单位为我们提供了宝贵机会。各位前辈、老师及同仁的技术文献为我们开阔了视野，启发了思路，提供了参考。在此一并感谢。

本书的相关工作得到了黑龙江省科技攻关项目（GC09C205）、黑龙江省科技成果推广项目（TC10A0101）、教育部长江学者奖励计划（2009—37）和哈尔滨工业大学“985 工程”优秀科技创新团队建设项目（2011）等的资助。

本人曾应邀在多次学术活动中做既有建筑改造与加固方面的报告，工程界和学术界建议本人将相关内容整理成册，并出版。本书内容的形成经历了 18 个春秋，工程建设标准引用具有时间印记。我想，这也正常，因为昨天是今天的历史，今天又是明天的历史。

由于作者水平所限，书中疏漏及不足在所难免，恳请读者批评指正。

哈尔滨工业大学土木工程学院 郑文忠

2013 年 11 月 10 日

目 录

前言

第 1 章 既有建筑改造与加固研究	1
1.1 套建增层结构体系分类	1
1.1.1 分离式套建增层结构体系	1
1.1.2 协同式套建增层结构体系	2
1.1.3 相关设计与施工问题	3
1.2 分离式套建增层预应力混凝土框架弹塑性地震反应分析	4
1.2.1 结构模型	4
1.2.2 预应力筋的考虑方法	5
1.2.3 典型地震波的选取	5
1.2.4 地震反应分析	5
1.2.5 对几个问题的讨论	10
1.3 套建增层预应力钢骨混凝土框架弹塑性地震反应分析	11
1.3.1 分析对象的形成	12
1.3.2 恢复力模型的选取	13
1.3.3 弹塑性地震反应分析的思路	17
1.3.4 弹塑性地震反应分析	18
1.3.5 小结	24
1.4 套建增层巨型框架抗震设计方法研究	24
1.4.1 巨型框架的定义与分析对象	25
1.4.2 弹塑性地震反应分析	26
1.4.3 施工的影响	29
1.4.4 设计方法	31
1.4.5 小结	32
1.5 对施工阶段套建增层巨型框架的内力分析	34
1.5.1 分析基础	34
1.5.2 套建增层巨型框架施工方法	35
1.5.3 套建增层巨型框架内力分析	36
1.5.4 不同施工方法对比分析	41
1.5.5 小结	43
1.6 协同式套建增层框架时程分析及防倒塌措施	44
1.6.1 协同式套建增层结构分析对象选取	44
1.6.2 时程分析的方法和关键点	45
1.6.3 时程分析结果	48
1.6.4 协同式套建增层框架加强措施	50
1.6.5 小结	52

1.7	既有房屋与套建增层框架协同工作的相关问题	52
1.7.1	对协同式套建增层结构设计原则的探讨	52
1.7.2	新旧结构协同工作的连接构造设计	53
1.7.3	对协同式套建增层结构设计条款的讨论	56
1.7.4	协同连接对套建增层结构受力性能的影响	56
1.7.5	小结	58
1.8	混凝土板墙加固砖墙轴心受压承载力试验研究	59
1.8.1	试件设计与制作	60
1.8.2	试验现象与测试结果	64
1.8.3	测试结果分析	67
1.8.4	混凝土板墙加固砖墙设计建议	70
1.8.5	小结	71
1.9	砖混结构竖向轴压比限值研究	71
1.9.1	竖向地震加速度的取值	72
1.9.2	砌体结构竖向地震作用	72
1.9.3	砌体结构轴压比	75
1.9.4	小结	77
1.10	混凝土板墙加固砖墙受剪承载力计算方法	77
1.10.1	砖墙剪压复合受力分析	78
1.10.2	混凝土板墙受力分析	81
1.10.3	抗震抗剪强度和受剪承载力设计值	87
1.10.4	小结	87
1.11	钢筋网水泥砂浆面层加固砖墙受剪承载力分析	88
1.11.1	砖墙抗剪强度分析	89
1.11.2	钢筋网水泥砂浆面层加固砖墙受剪承载力分析	92
1.11.3	加固后墙体受剪承载力分析结果	93
1.11.4	钢筋网水泥砂浆面层抗震加固砖墙设计方法	95
1.11.5	小结	97
第2章	既有建筑增层改造实践	98
2.1	哈尔滨医科大学第一临床医院实验楼套建增层改造工程	98
2.1.1	工程概况	98
2.1.2	改造技术	99
2.1.3	改造经济分析	119
2.2	绥芬河青云市场套(扩)建改造工程	120
2.2.1	工程概况	120
2.2.2	改造思路与目标	122
2.2.3	改造技术	123
2.2.4	改造效果分析	143
2.2.5	改造经济分析	143
2.2.6	改造的推广应用价值	144
2.2.7	思考与启示	144

2.3	哈尔滨工业大学动力楼巨型框架套建增层改造工程	144
2.3.1	工程概况	144
2.3.2	改造思路与目标	149
2.3.3	改造技术	150
2.3.4	测试与分析	171
2.3.5	改造效果与经济分析	175
2.3.6	改造的推广应用价值	175
2.3.7	思考与启示	175
2.4	哈尔滨南岗会堂增层改造工程	175
2.4.1	工程概况	175
2.4.2	改造思路与目标	176
2.4.3	改造细化目标	180
2.4.4	改造技术	181
2.4.5	改造效果分析	196
2.4.6	改造经济性分析	196
2.4.7	改造的推广应用价值	196
2.4.8	思考与启示	197
2.5	哈尔滨市流浪少年儿童救助保护中心改造工程	197
2.5.1	工程概况	197
2.5.2	改造思路与目标	199
2.5.3	基础改造	203
2.5.4	上部结构改造	216
2.5.5	改造施工方案	219
2.5.6	建筑改造	219
2.5.7	思考与启示	223
2.6	哈尔滨巴黎公寓酒店综合改造工程	224
2.6.1	工程概况	224
2.6.2	改造思路与目标	226
2.6.3	改造技术	227
2.6.4	改造效果分析	247
2.6.5	改造经济性分析及推广应用价值	247
2.6.6	思考与启示	248
2.7	哈尔滨银河大酒店改造工程	249
2.7.1	工程概况	249
2.7.2	改造目标	251
2.7.3	改造技术	254
2.7.4	改造效果分析	272
2.7.5	改造经济性分析	272
2.7.6	改造的推广应用价值	272
2.7.7	思考与启示	272

2.8	远东商务中心增层改造结构设计	273
2.8.1	工程概况	273
2.8.2	增层设计思路	273
2.8.3	基础设计	274
2.8.4	上部结构设计	274
2.8.5	小结	277
2.9	某教学楼套建工程结构与施工	278
2.9.1	工程概况	278
2.9.2	改造思路	279
2.9.3	结构与施工措施	279
2.9.4	小结	283
2.10	哈尔滨新吉商场扩建改造设计	283
2.10.1	工程概况	283
2.10.2	悬吊扩建改造法	283
2.10.3	承托扩建改造法	286
2.10.4	两种方案的选取	288
2.11	哈尔滨制药六厂变电所扩建改造	288
2.11.1	工程概况	288
2.11.2	套建结构设计	288
2.11.3	施工方案与施工验算	293
2.11.4	思考与启示	294
2.12	三种套建结构在既有房屋增层改造中的应用	294
2.12.1	工程概况	294
2.12.2	三种套建增层结构与施工措施	295
2.12.3	造价分析	298
第3章	既有建筑抽柱改造实践	300
3.1	大兴安岭森林防火指挥部抽柱改造设计	300
3.1.1	工程概况	300
3.1.2	加固方案一	300
3.1.3	加固方案二	301
3.1.4	施工注意事项	304
3.1.5	小结	304
3.2	黑龙江大豆批发市场交易大厦抽柱改造设计	305
3.2.1	工程概况	305
3.2.2	柱及基础核算	305
3.2.3	新增大梁设计	306
3.2.4	节点设计	307
3.2.5	施工中应注意的问题	308
3.2.6	小结	309
3.3	北安市海天大厦抽柱设计	310
3.3.1	工程概况	310

3.3.2	修改设计结构方案	311
3.3.3	结构设计计算	311
3.3.4	小结	315
3.4	绥芬河公安局附属用房抽柱改造设计	315
3.4.1	工程概况	315
3.4.2	技术方案	315
3.4.3	施工中应注意的问题	327
3.4.4	小结	327
第4章	既有建筑扒墙换梁改造实践	329
4.1	哈尔滨市计划生育委员会办公楼结构改造设计	329
4.1.1	工程概况	329
4.1.2	结构改造设计	329
4.1.3	施工中应注意的问题	336
4.2	哈尔滨市妇幼保健医院改造设计	336
4.2.1	工程概况	336
4.2.2	结构改造设计	337
4.2.3	托换施工中应注意的问题	340
4.3	哈尔滨伯特利教堂结构改造设计	340
4.3.1	工程概况	340
4.3.2	改造方案	340
4.3.3	结构设计	342
4.3.4	其他问题	344
4.3.5	小结	344
第5章	哈尔滨SP板生产厂房迁移改造实践	345
5.1	工程概况	345
5.2	改造目标	348
5.3	改造技术	349
5.4	改造效果分析	361
5.5	改造经济性分析	361
5.6	改造的推广应用价值	361
5.7	思考与启示	362
第6章	既有建筑楼盖开洞改造实践	363
6.1	某商场无粘结预应力楼盖开洞改造与加固	363
6.1.1	工程概况	363
6.1.2	开洞所需加固设计	364
6.1.3	无粘结预应力板开洞	365
6.1.4	加固施工方法	366
6.1.5	小结	366
6.2	哈尔滨中央大厦无粘结预应力楼盖封洞与开洞改造设计	367
6.2.1	工程概况	367

6.2.2	改造设计	369
6.2.3	几点启示	375
6.3	哈尔滨凯利汽车百货广场西6号楼开洞改造	375
6.3.1	工程概况	375
6.3.2	改造思路	376
6.3.3	改造设计与施工	376
第7章	青海省察尔汗盐湖地区冷却塔加固	386
7.1	工程概况	386
7.2	病害检测与分析	387
7.2.1	损伤原因分析	387
7.2.2	冷却塔检测	387
7.2.3	内力计算	392
7.2.4	冷却塔损伤评价	392
7.2.5	冷却塔耐久性分析	392
7.3	冷却塔的加固方案与加固后内力计算	392
7.3.1	加固设计的基本思路	392
7.3.2	加固与修复方案	393
7.3.3	加固后的内力计算	394
7.3.4	耐久性处理与分析	395
7.4	结论	396
第8章	既有建筑抗震加固实践	397
8.1	伊春师范学院教学楼抗震加固	397
8.1.1	工程概况	397
8.1.2	改造思路与目标	398
8.1.3	加固改造技术	400
8.1.4	加固改造效果分析	411
8.1.5	加固改造经济分析	411
8.1.6	加固改造的推广应用价值	411
8.1.7	思考与启示	411
8.2	汶川地震中房屋震害分析与震损房屋抗震加固	412
8.2.1	框架结构房屋震害及分析	413
8.2.2	砖砌体结构墙体剪切裂缝	421
8.2.3	震损房屋抗震加固设计与施工	422
8.2.4	小结	428
附录	混凝土的品格	429
	参考文献	430

第 1 章 既有建筑改造与加固研究

1.1 套建增层结构体系分类

从理论上讲，既有房屋的套建增层改造可分为分离式套建增层和协同式套建增层两大类^[1,2]。

1.1.1 分离式套建增层结构体系

分离式套建增层结构型式主要有 11 种，如图 1.1 所示。

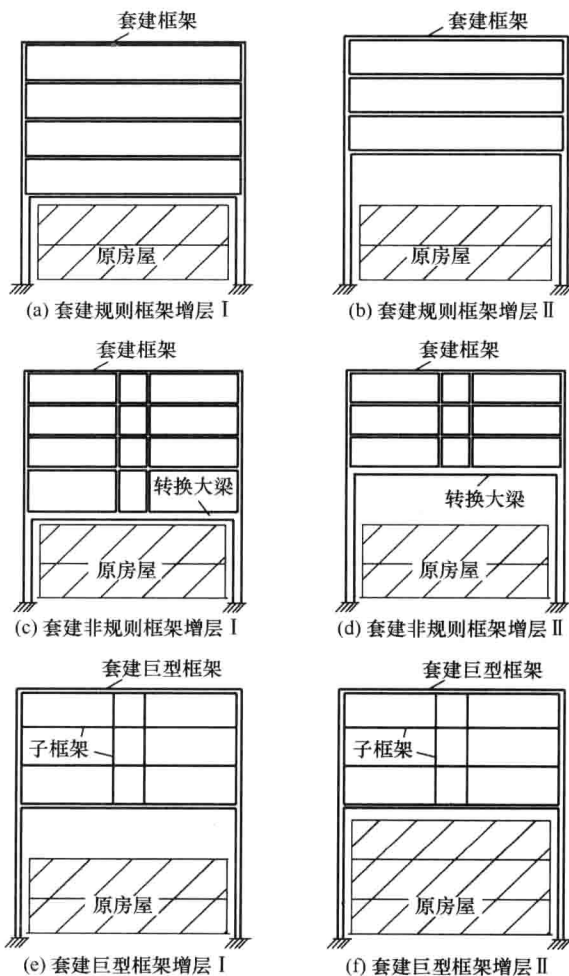


图 1.1 分离式套建增层结构方案示意

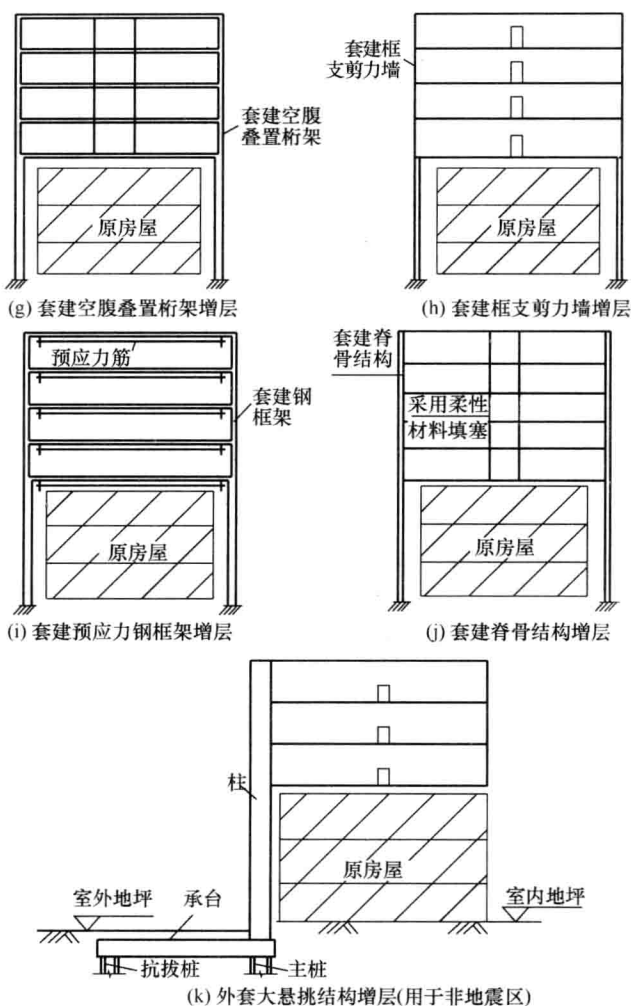


图 1.1 分离式套建增层结构方案示意 (续)

1.1.2 协同式套建增层结构体系

协同式套建增层结构体系主要有 4 种, 如图 1.2 所示。

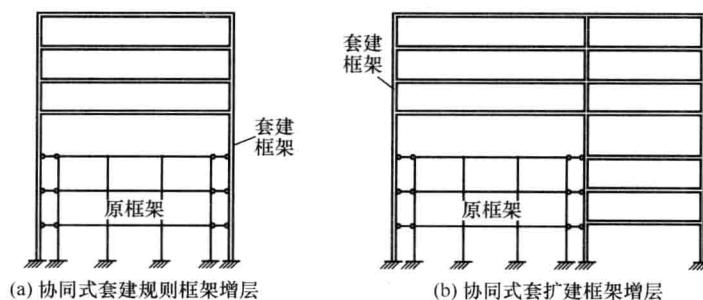


图 1.2 协同式套建增层结构方案示意

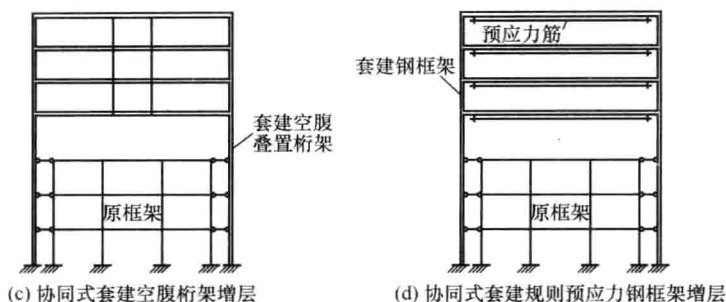


图 1.2 协同式套建增层结构方案示意 (续)

我们认为,砌体结构房屋套建增层应以采用分离式为主,钢筋混凝土结构房屋可采用协同式套建增层。当采用协同式套建增层方案时,应注意通过连接节点实现新旧房屋结构竖向自由变形及水平协同工作。连接节点的构造做法有两种:方法一如图 1.3 所示;方法二是在施工过程中有可靠措施做保障的前提下,待主体结构施工结束后,通过将原结构柱中的后植钢筋与新增框架柱中的预埋钢筋可靠焊接,来实现新旧结构在水平荷载下的协同工作^[3]。

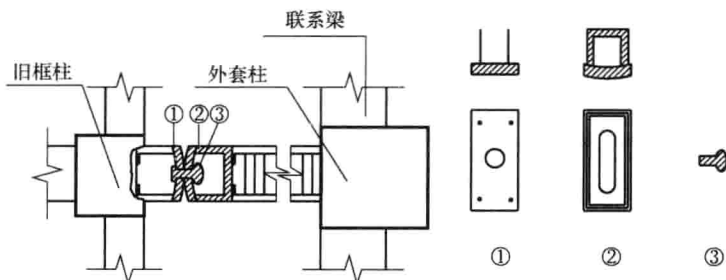


图 1.3 外套框架柱与原框架柱的连接构造

1.1.3 相关设计与施工问题

针对采用外套混凝土框架结构或框支剪力墙结构增层时,原房屋的屋盖难以承受施工阶段新增楼层的自重、模板荷载及施工荷载,采用钢桁架吊反梁围托施工这一传统技术,在混凝土结构形成后所用钢桁架被切割后成为废品,存在浪费和损失较大等现实问题,我们提出了可实现套建结构受力与套建施工措施一体化的“无支撑自承重现浇混凝土楼盖结构”的设计思想。该思想的核心是:用钢桁架代替纵筋和箍筋,通过在钢桁架(预应力钢桁架)的下侧挂底模,并以底模为支撑设置侧模,来实现在浇筑混凝土过程中由钢桁架承担梁自重和施工荷载,在使用阶段内置钢桁架-混凝土组合梁与外套结构柱通过节点连接成整体,作为外套框架承担新增荷载;次梁采用内置钢箱-混凝土组合梁,内置钢箱由两槽钢对焊而成,将内置钢箱通过连接焊板与前述钢桁架(预应力钢桁架)实现可靠连接,通过在钢箱下侧挂底模,并以底模为支撑设侧模来实现施工过程中由钢箱来承担次梁自重和施工荷载,在使用阶段内置钢箱与其外

钢筋混凝土以组合梁的形式开展工作；垂直于钢箱焊接槽钢作主楞，在主楞上布置木方作次楞，在次楞上铺放板底模，这样浇筑梁板的混凝土时就不会将荷载传给原屋盖^[4,5]。

针对协同式工作房屋通过节点连接之后，要确保新旧结构沿竖向分别自由变形及沿水平方向协同工作的客观要求，我们提出了链杆分阶段建立的构造措施。通过计算分析，我们发现对于不少采用协同式外套框架增层的工程，在竖向荷载下只在原结构顶和外套框架结构间设置链杆与在新旧框架节点间层层设置链杆所得内力计算值是接近的。据此，我们认为，可先在施工过程中在原房屋各榀框架顶层节点处与新增外套框架节点形成链杆连接，待新增套建结构沉降较充分后，再实现下部各层新旧结构间在节点处的链杆连接。为实现在施工过程中原房屋各榀框架顶层节点与新增套建框架节点近似形成链杆连接，我们提出了通过原结构顶层节点与外套框架柱间设置预制混凝土垫块，并在原结构顶层节点所在标高处两外套框架柱之间通过张拉预应力筋，使外套框架柱与原结构在其顶层节点建立所需要的类链杆连接的设计思路。若在施工过程中合理考虑风荷载对新增结构内力的影响，则此种连接与其他施工措施相配套，可保证协同式套建增层结构施工的安全。在套建结构主体施工完成之后，将原房屋结构顶层节点上皮标高处两外套框架柱中有可靠锚固的预埋钢筋通过焊接连通，并浇筑一定厚度的混凝土，待混凝土结硬后，放松预应力筋，卸下预制混凝土垫块，实现原结构与新增外套结构在顶层位置的永久性可靠连接。最后，再将原房屋各层框架节点处后植钢筋与外套框架柱预埋钢筋可靠焊接，并用混凝土将钢筋包裹，以形成在原结构各层节点与新增套建结构各层节点间的最终链杆连接^[6]。

为实现原建筑与套建新增楼层的竖向交通的连续性，我们提出通过在外套框架梁上设置悬挂支承梁，在悬挂支承梁上设置吊杆，以吊杆作为楼梯的竖向承重构件，来后置原房屋顶层地面到套建新增楼层地面楼梯的设计思路和方法。

1.2 分离式套建增层预应力混凝土框架弹塑性地震反应分析

在既有房屋套建增层改造中，由于原房屋跨度通常在14~30m，常采用预应力混凝土框架增层。套建预应力混凝土框架存在着刚度分布不均匀和质量分布不均匀的现象，对于在抗震区的合理应用一直是工程界关注的热点问题。

本书基于平面杆系模型，采用IDARC分析程序，针对不同底层层高和增层层数的情况，分析了建造在四种类型场地土上，相对于三类抗震设计分组、三种柱抗震增强措施下的900余种跨度为16m的分离式套建预应力混凝土框架在不同地震波输入下的地震反应。在此基础上提出了套建预应力混凝土结构用于抗震设计时的建议，以供结构设计时参考。

1.2.1 结构模型

本书研究对象是跨度为16m的套建预应力混凝土框架，其结构计算简图如图1.4所示。底层层高 h_1 分别取为7.5m、11m、14.5m、18m，上部层高为4m。套建增加层

数为2层、4层、6层、8层、10层。场地设防烈度为7度和8度，四种类型场地土。预应力大梁的截面尺寸为500mm×1000mm，框架柱截面尺寸根据轴压比、层间弹性位移角限值及构造要求确定。结构内力计算及配筋采用ANSYS程序按照常遇地震作用下进行，并经过PKPM程序校核，可以用于套建增量预应力混凝土框架设计^[7~9]。

在结构内力计算及配筋时，应考虑文献^[7]《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)中所规定的三种不同的柱弯矩增强措施的影响，如表1.1所示。

表 1.1 柱端弯矩放大系数

放大系数 \ 编号	A	B	C
底层柱	1.15	1.25	1.5
上层柱	1.1	1.2	1.4

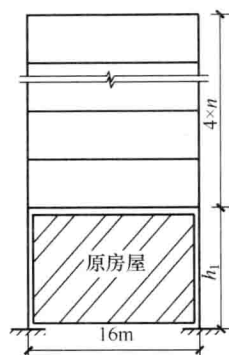


图 1.4 预应力混凝土框架结构计算简图

1.2.2 预应力筋的考虑方法

结构分析模型采用分布塑性模型，构件恢复力模型采用 Park 三线性模型^[10]。其骨架曲线可由 IDARC 程序自行计算，对于预应力混凝土梁，我们运用两阶段工作原理^[11]进行考虑：第一阶段为由张拉到有效预应力 σ_{pe} 的建立，这一阶段运用等效荷载的思想，将预应力作用等效为外荷载施加到结构上；第二阶段是将预应力筋当作相同位置处、相同面积的受拉屈服应力为 $f_{0.2} - \sigma_{pe}$ 的非预应力钢筋，同普通钢筋一起提供抗力。

1.2.3 典型地震波的选取

从太平洋地震工程研究中心（网址为 <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>）的强震数据库中下载强震记录。最终选取的地震波如下：

对于 I 类场地选取了迁安波、Cpm 波，II 类场地选取了 Taft 波和 H1 波，III 类场地选取了 El Centro 波和 Cpc 波，IV 类场地选取了天津波和宁河波，对应四种类别的场地和三组设计地震分组共选取了 12 条人工波进行结构的时程分析。在罕遇地震作用下 7 度区分析了 360 种框架，8 度区分析了 540 种框架。

1.2.4 地震反应分析

本书研究的套建预应力框架最多增加层数为 10 层，其变形仍以剪切变形为主。在满足常遇地震作用下承载力、侧移要求及相应的规则框架抗震构造措施的前提下，考察框架在罕遇地震作用下是否满足设计规范要求的“大震不倒”的设计原则。

1.7 度区罕遇地震作用下套建预应力混凝土框架地震反应分析

在 7 度区的 I、II、III 类场地上罕遇地震作用下套建预应力混凝土框架的总损伤指数随着层数的增加而降低，随着底层层高的增高而降低。按常规方法选择柱截面尺

寸时，底层层间转角明显大于上部各层，随层数增加各层层间位移角总体趋于减小。底层层间侧移明显高于上部各层。

套建预应力混凝土框架的部分杆件梁端、柱端钢筋屈服，形成了塑性铰，但框架整体未发生倒塌破坏，在水平地震作用下的变形以剪切变形为主。

故对于建造在 7 度区的 I、II、III 类场地上的套建预应力混凝土框架当满足常遇地震作用下的设计要求时可不进行罕遇地震作用下的结构验算。

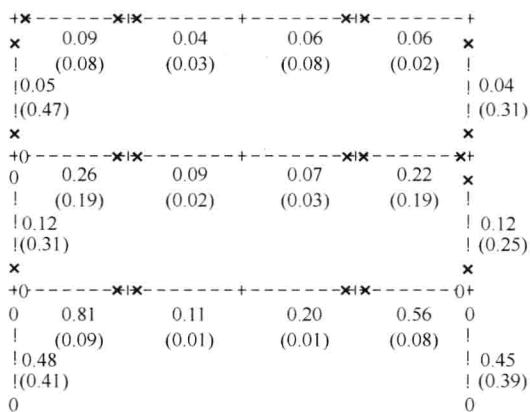


图 1.5 TJK7.5-2C 塑性铰及损伤指数分布

对于建造在 7 度区 IV 类场地上的底层层高为 7.5m、上部增层为两层的套建预应力混凝土框架结构，当框架柱截面尺寸为 750mm×750mm 时，用 ANSYS 程序计算并考虑规则框架的抗震构造措施的相应梁柱截面配筋满足常遇地震作用下的承载力验算和弹性层间位移角限值的要求，但在罕遇地震作用下套建预应力混凝土框架发生了层倒塌破坏。在天津波下 TJK7.5-2 框架在柱增强措施为 C 级时的塑性铰及损伤指数分布如图 1.5 所示 (0 表示塑性铰，× 表示开裂)，此时层间位移角为 1.97% (1/50.8)。

将底层柱增强措施调整为 2.0、上层柱增强措施调整为 1.8 后，对应的结构仍然出现层倒塌现象。调整柱截面尺寸直至 1100mm×1100mm 时，程序计算出的相应梁柱截面配筋才避免了层倒塌现象的出现。套建预应力框架的梁端、柱端普遍开裂，且框架梁的梁端普遍形成塑性铰，符合强柱弱梁的抗震设计原则。因此，对于 IV 类场地土上的套建预应力结构在满足常遇地震要求的前提下其截面尺寸及配筋需经过罕遇地震下时程分析的验算。

在天津波、宁河波和人工波输入下当柱截面尺寸为 1100mm×1100mm 时对应底层层高为 7.5m、增加层数分别为 2 层、4 层、6 层、8 层、10 层的层间弹塑性位移角及侧移如图 1.6 所示。

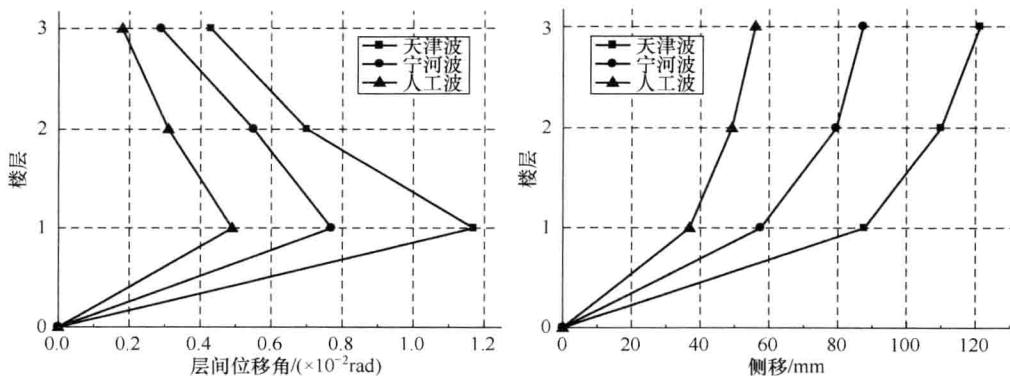


图 1.6 增层数分别为 2 层、4 层、6 层、8 层、10 层时结构层间位移角及侧移

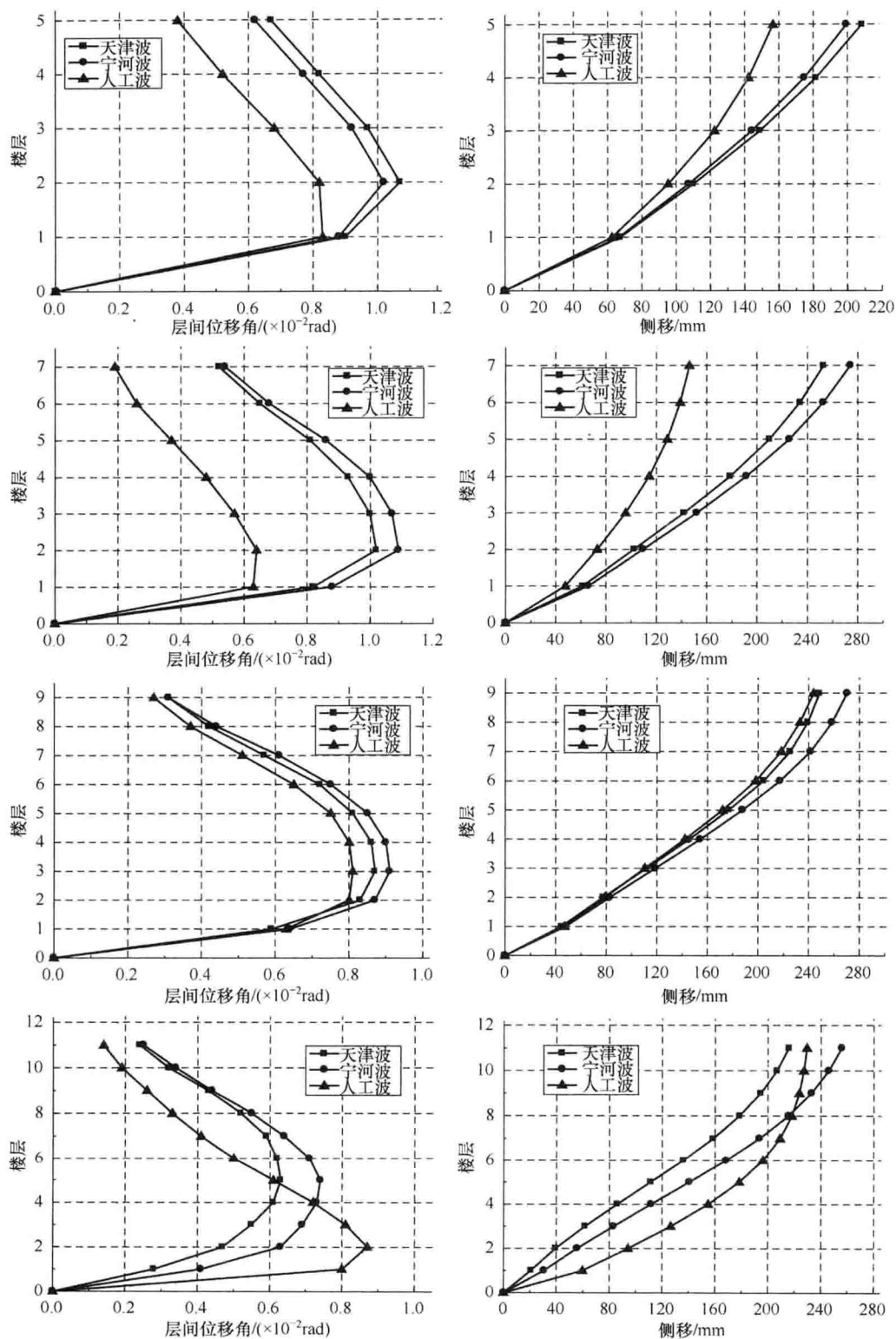


图 1.6 增层数分别为 2 层、4 层、6 层、8 层、10 层时结构层间位移角及侧移 (续)