

复杂高层建筑工程 结构设计

主 编：肖 伟 副主编：张树传 杨玛莎

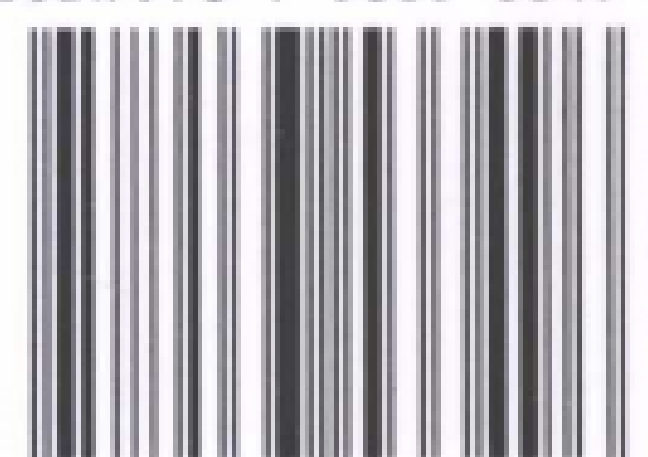


福建科学技术出版社
FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE



责任编辑/李新文
 宁筱彤
 封面设计/陈培亮
 责任校对/郑 诚

ISBN 978-7-5335-3349-6



9 787533 533496 >

定价: 30.00元

复杂高层建筑工程 结构设计

主 编 肖 伟

副 主 编 张树传 杨玛莎

编写人员 (按姓氏笔划排序)

丁立群 王 军 王 霖 关永松

刘 涛 吴水平 陈在谋 李胜利

陈 辉 李 强 罗 军 骆小青

徐洪勇 顾毅云 曹红志 詹敬仁

曾志泓

顾 问 吴冠群 谢益人

主编单位 厦门合道工程设计集团有限公司

图书在版编目 (CIP) 数据

复杂高层建筑工程结构设计/肖伟主编. —福州:
福建科学技术出版社, 2009. 4

ISBN 978-7-5335-3349-6

I. 复… II. 肖… III. 高层建筑—结构设计 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 033614 号

书 名	复杂高层建筑工程结构设计
主 编	肖伟
副 主 编	张树传 杨玛莎
出版发行	福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
网 址	www.fjstp.com
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福建省地质印刷厂
开 本	889 毫米×1194 毫米 1/16
印 张	10.5
字 数	340 千字
版 次	2009 年 4 月第 1 版
印 次	2009 年 4 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5335-3349-6
定 价	30.00 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

1984 年邓小平同志为厦门经济特区写下了“把经济特区办得更快些更好些”的光辉题词，从此厦门城市建设跨越式的发展就拉开了序幕。近年来厦门高层建筑林立，成为特区建设腾飞的主要立面。城市建设离不开建筑师的画笔，厦门合道工程设计集团有限公司不负使命，在厦门特区建设中，抓住时遇、开拓进取、勇于创新，设计了不少超限高层和复杂高层，其数量在福建省内占有相当的比例，积累了许多十分宝贵的设计经验。

本书对这些超限高层和复杂高层建筑工程结构设计进行了总结，主要涉及的技术难点有：①大底盘多塔楼、高位转换，例如厦门东方时代广场；②各种类型转换结构，如蓝湾国际的箱形转换、古楼公寓的型钢混凝土空腹桁架等；③带大悬挑及外挑的结构，如厦门科技创业广场 12 米大悬挑飘板，采用钢筋混凝土空间箱形梁结构；厦门东方时代广场的 12 米悬挑空中花园，采用钢桁架结构；④连体建筑立面开大洞，如厦门金鹏花园；⑤钢管及劲性混凝土斜柱框架-筒体结构，如厦门航空港大厦、杏林湾营运中心。

如果说建筑是记录城市建设发展足迹的“石”书，那么《复杂高层建筑工程结构设计》一书则记录了结构工程师探索建筑科技发展的心路历程，具有实用性及可参考性，能为从事建筑结构领域的相关设计、施工、科研、房产开发单位及高等院校师生等专业人员提供参考和借鉴。

本书编委会

2009 年 1 月 5 日

目 录

厦门东方时代广场	(1)
蓝湾国际	(18)
崑豪酒店	(28)
厦门港务大厦	(35)
古楼公寓	(46)
厦门航空港大厦	(59)
金鹏花园	(68)
厦门国际物流中心之联检中心	(83)
厦门港务地产	(95)
观音山尚峰国际	(108)
福隆大厦	(119)
厦门锋尚大道	(134)
杏林湾营运中心	(148)
厦门科技创业广场	(157)

厦门东方时代广场

1. 工程概况

厦门东方时代广场位于厦门市思明区湖滨西路与厦禾路交叉处，由 3 座塔楼和裙楼组成，建筑面积约 100000m²。地下室共 2 层，为车库，地下 2 层按六级人防设计。地面以上共 32 层，其中 4 层裙楼为大开间正交布置的框剪结构，建筑功能为大型商场，裙楼屋面以上分 A、B、C 3 个塔楼，其中 A 幢 31 层（含 4 层裙楼），楼高 97m，B、C 幢各 32 层（含 4 层裙楼），楼高 99.90m。塔楼均为剪力墙结构，建筑功能为住宅。该工程是改建续建工程。该项目早于 1993 年设计，2001 年 1 月完成了人工挖孔桩及地下室底板的施工，后因各种原因停工，2002 年底根据新的业主（厦门富春东方房地产开发有限公司）的要求，为适应市场的需要，在不改变总层数和高度的前提下进行改造设计。厦门东方时代广场的建筑效果图见图 1-1，剖面图见图 1-2，结构标准层平面图见图 1-3 至图 1-5。



图 1-1 建筑效果图

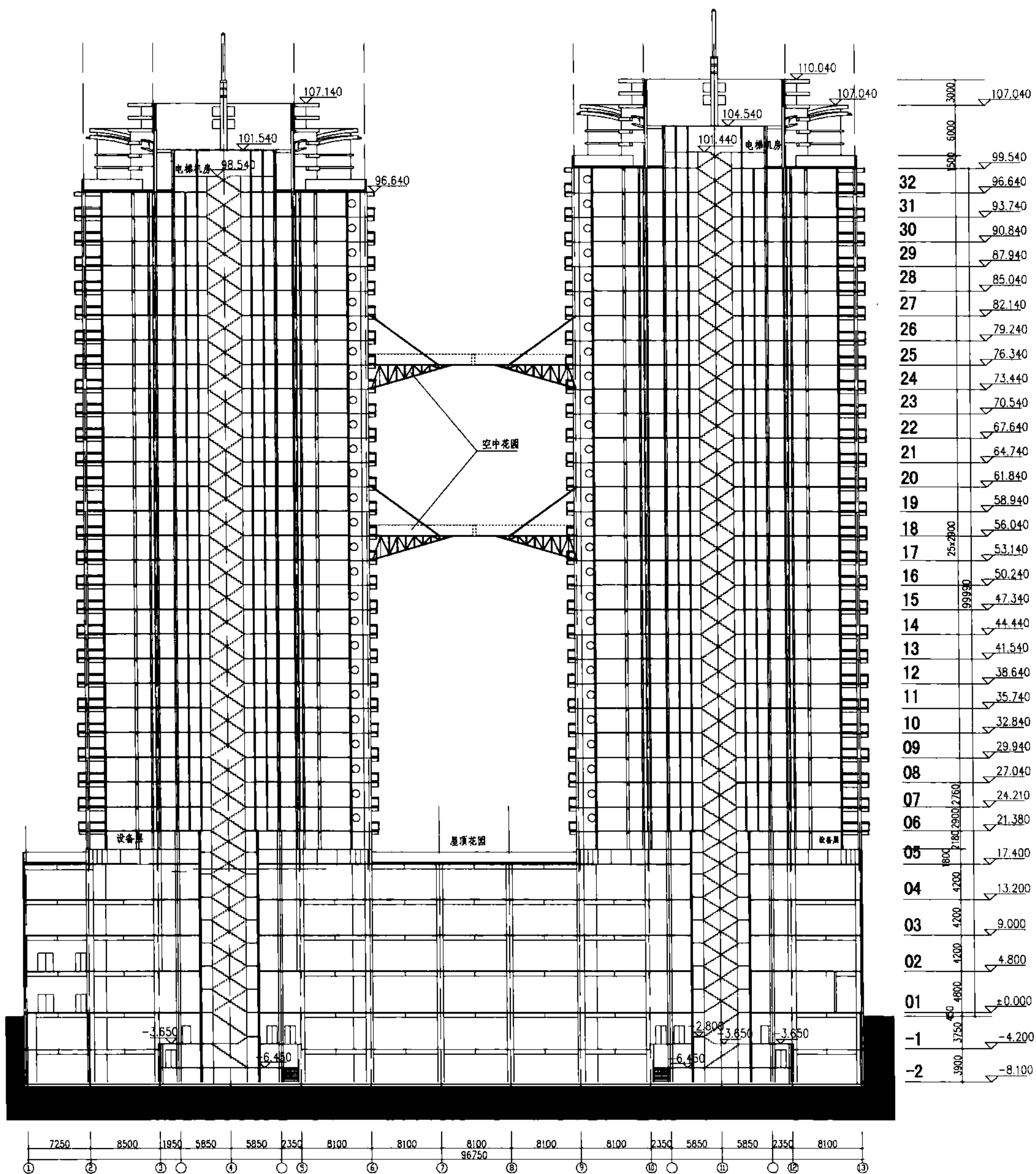


图 1-2 建筑剖面图

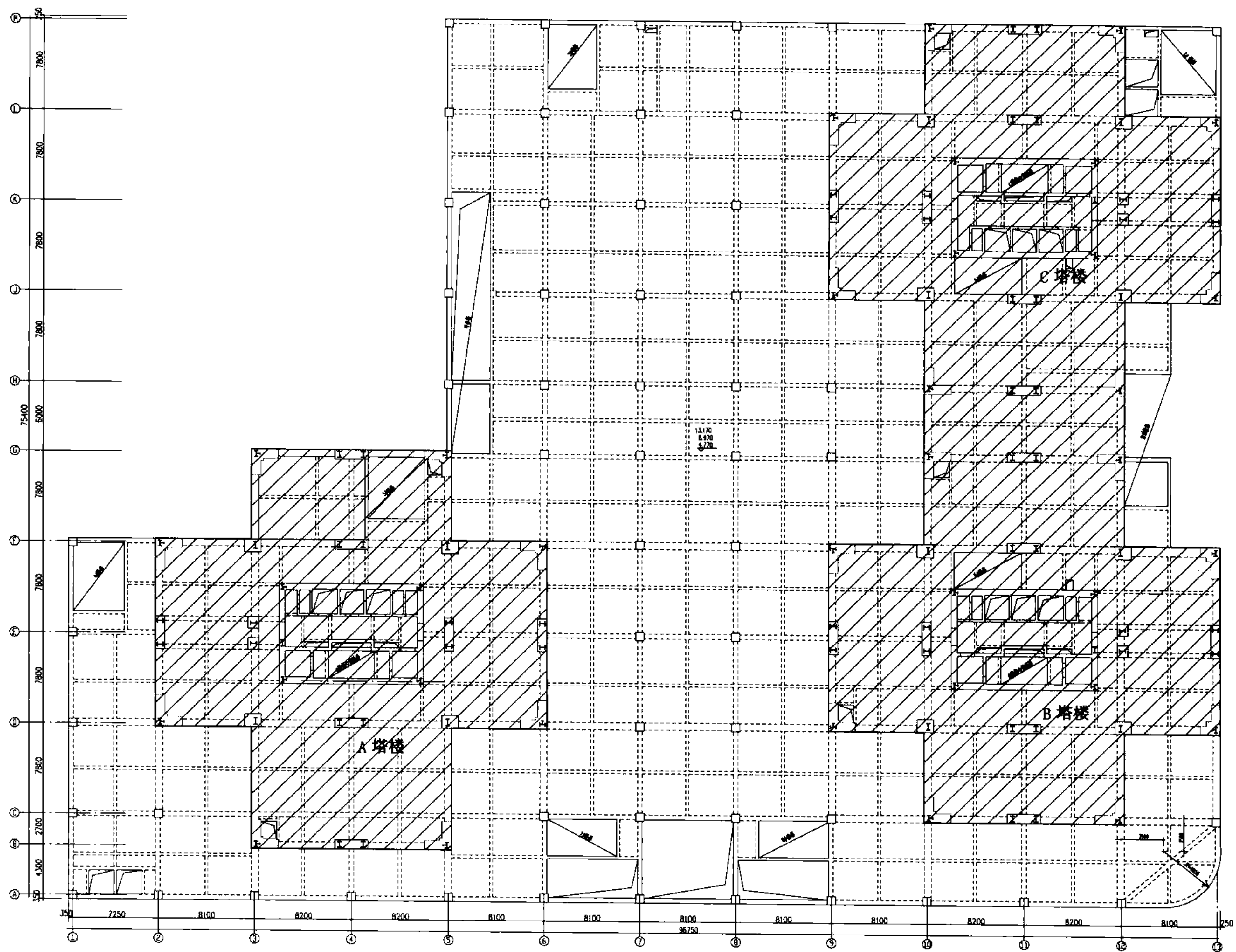


图 1-3 1~4 层结构平面图

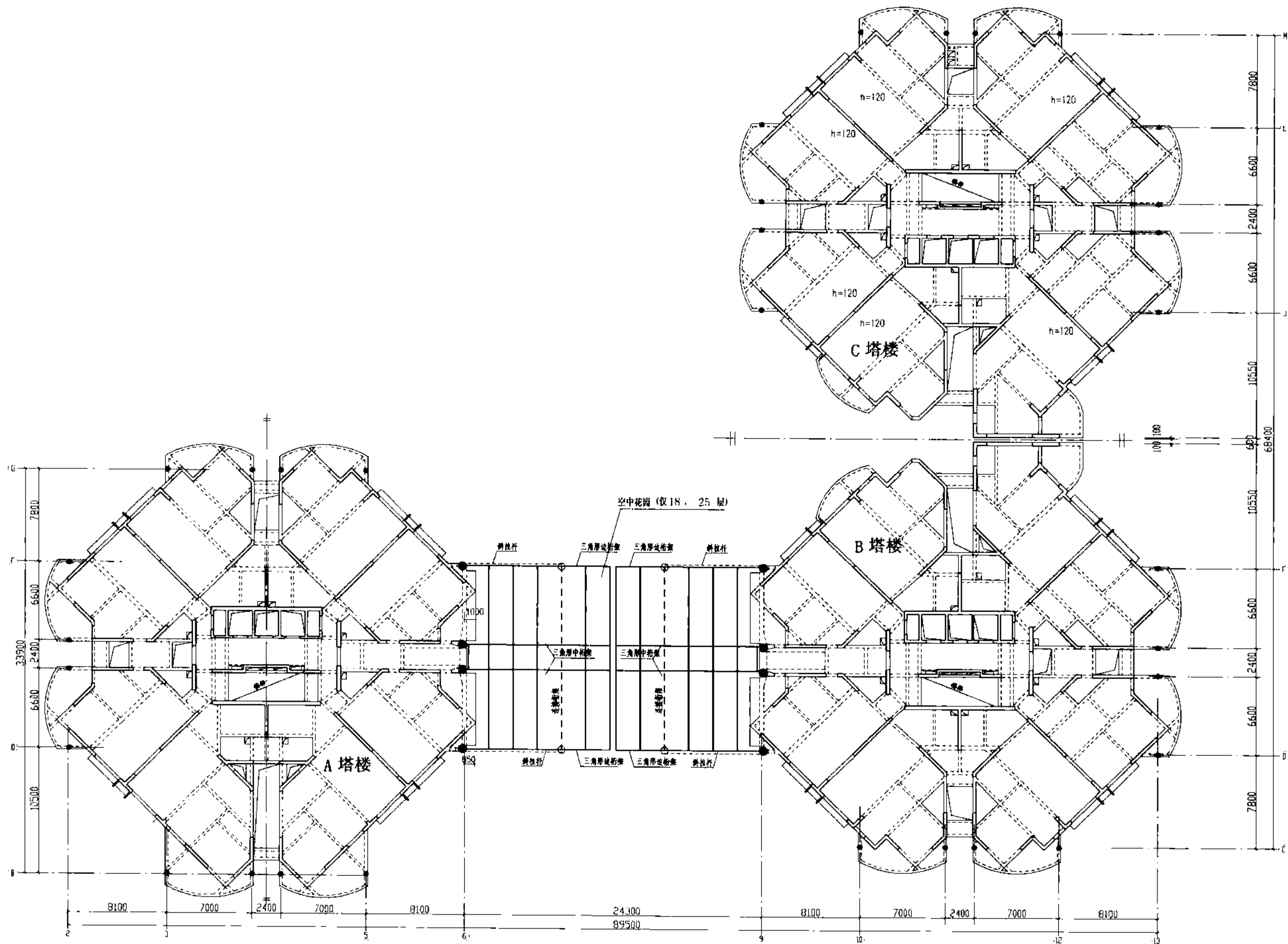


图 1-5 标准层结构平面图

2. 设计依据

2.1 设计规范及标准

本工程结构设计以国家和福建地区的相关规范和规程为设计依据。

2.2 设计荷载

本工程常用结构荷载按《建筑结构荷载设计规范》(GB50009-2001)取值,特殊设备荷载由有关方提供,如表 1-1 所示:

表 1-1 特殊荷载取值

功能分区	楼面恒荷载标准值 (kN/m ²)	楼面活荷载标准值 (kN/m ²)
变、配电所/高压开关室	10	10
消防车道	8	20
裙楼屋顶花园	14.5	3.5
空中花园	12.0	3.5

2.3 风荷载

按规范取 100 年一遇的基本风压 0.95 kN/m²,风荷载体型系数取 1.4,地面粗糙度为 A 类。

2.4 地震作用

抗震设防烈度为 7 度,设计地震分组为第一组,设计基本地震加速度为 0.15g,场地类别为Ⅲ类,场地特征周期为 0.35s。地震影响系数最大值采用 0.12 (多遇地震)。设计按抗震设防烈度 8 度 (0.20g) 时各类建筑的要求采取抗震构造措施。

用反应谱法计算地震作用时,采用《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2001) 5.1.5 条规定的地震影响系数曲线,结构阻尼比取 0.05。

弹性时程分析所取的地面运动最大加速度为:多遇地震下地震加速度峰值 55cm/s²;罕遇地震下地震加速度峰值 310cm/s²。所选的地震波其加速度时程的持续时间为 40s,步长 0.02s。

本工程抗震设防重要性类别为丙类。抗震等级:框支层框架的抗震等级为特一级,剪力墙底部加强部位为地下 1 层至地上 7 层 (标高-4.20~24.21m)。剪力墙底部加强区的抗震等级为特一级。剪力墙底部加强区以上的剪力墙的抗震等级为一级。地下 1 层至转换层之间的非框支裙楼部分的框架抗震等级为一级。地下 2 层部分的框架和剪力墙的抗震等级为三级。

结构计算以地下室顶板为嵌固部位,地下室顶板厚度为 200mm,地下 1 层侧向刚度 (不考虑外墙土约束) 大于地上 1 层侧向刚度的 2 倍以上。

3. 基础设计

根据地质勘察资料,该场地中风化花岗岩岩面埋深在地面以下 20~46m。主楼地下室 2 层,开挖深度约为 9m,原设计以中风化花岗岩为桩端持力层,桩长为 15~38m。基础采用人工挖孔桩,桩端进入中风化岩层深度不小于 600mm。基础为单柱单桩,桩径为 1.2~2.3m,剪力墙筒体下采用群桩基础,桩径取 1.6m 和 2.0m。

该工程为续建工程。人工挖孔桩及地下室底板已在 1 年半以前完成施工。现根据新业主要求,为适应市场的需要,在不改变总的层数和高度的前提下进行改造设计。因建筑功能的改变,结构构件截面尺寸的改变,以及构件抗侧刚度的改变将引起内力重分布,柱底内力与原设计也有很大的不同,设计通过剪力墙墙肢长度的调整来控制墙体所承担的力以及相邻位置柱 (墙) 承担的力的大小,以达到不补桩或少补桩的目的。对原设计的桩基进行复核后,仅 ZH38、ZH40 两根桩承载力不足,因其承载力由其桩身材料强

度控制，设计采用在这两根原桩桩身进行钻孔加筋加强处理措施。并对钻孔取芯芯样进行抗压试验，确定原桩身的实际强度。桩身钻孔取芯检测结果表明，实际该桩身混凝土的强度等级均大于原设计的 C30，达到 C48 以上，已可满足设计要求。取芯孔仍按设计要求每孔中各放入 3 Φ 25 的钢筋到底。采用压力灌浆，所用的水泥浆强度不小于 40MPa，并掺入适量的微膨胀剂。

4. 建筑结构布置和超限情况

4.1 建筑结构布置

本工程采用底部大底盘、大空间框支剪力墙、上部多塔楼的结构体系，主要屋面高度为 99.9m。地下部分 2 层，埋深约为 9m。结构高宽比约为 2.7。属 A 级高层。

主楼为三幢塔楼，在裙楼屋面以上设变形缝分开，在裙楼屋面以下（即转换层以下）通过裙楼屋面大底盘连为一体，不设永久伸缩缝，仅设施工后浇带和加强带。裙楼为正交布置的 4 层框支剪力墙结构。柱网：8.1m $\times$ 7.8m，从下至上的层高分别为 4.8m，3 $\times$ 4.2m，转换层设在裙楼屋面大底盘上（结构层为第 5 层），距地 18.4m，为高位转换，转换层上部为 3 幢 27 层的剪力墙结构的住宅（含 2.2m 高设备层），除设备层外，层高均为 2.8m。转换层以上的混凝土墙体除核心筒位置保持不变，上下贯通连续外，其余上部结构墙体均按 45°斜向布置，无法直接落地，且部分转换梁也无法直接支承在原设计的柱位上，形成二级转换，转换层采用梁式转换，且转换大梁上、下均设 200mm 厚板，形成完整的箱形转换，增大了转换层的整体刚度。为满足建筑卧室观景要求，住宅墙体在各层的外墙转角处均设置了角窗。

本工程 A、B 塔楼之间的 18 层、25 层楼层标高处设计有空中花园，建筑设计上需考虑有 400mm 厚的覆土。空中花园结构采用分别从两座塔楼中悬挑钢桁架的方案，中部断开，见图 1-6。

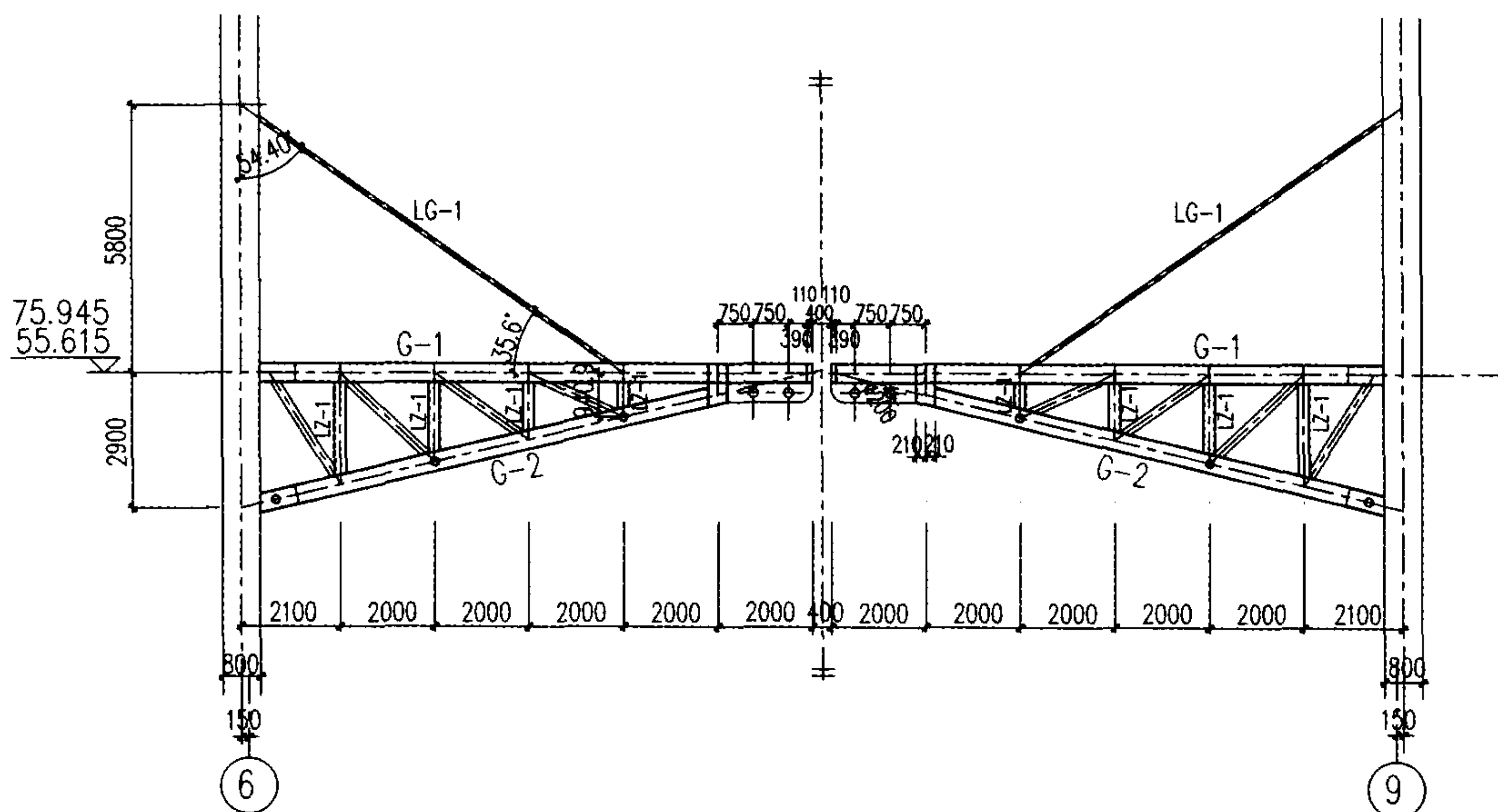


图 1-6 空中花园钢桁架

4.2 超限情况

本工程属《高层建筑混凝土结构技术规程》中的“多塔楼”和“高位转换”这两种复杂结构类型。空中花园结构采用分别从两座塔楼悬挑钢结构桁架的方案后，避免形成连体结构。从而避免了在本工程中出现超过两种的复杂结构类型。

各层平面布置规则：各塔楼的层数，平面和刚度宜接近；塔楼在底盘上对称布置，有利于减小扭转影响。但在空中花园处，两座塔楼平面各悬挑 14m，使该楼层处楼层的质心与塔楼主体的刚心偏移，产生扭转效应，故本工程仍为平面不规则结构。

因竖向构件不连续，设置了转换层，故本工程亦为竖向不规则结构。

5. 针对复杂结构的抗震措施

针对本项目的“多塔楼”、“高位转换”这两种复杂结构类型及空中花园平面大悬挑的特点,采取了以下抗震措施。

5.1 大底盘多塔楼结构

多塔楼的布置:各塔楼的层数,平面和刚度接近;塔楼对底盘对称布置,以减小扭转影响。

大底盘多塔楼结构的地震反应复杂,各塔楼之间存在不协调振动,为保证多塔楼结构中的塔楼与底盘整体工作,大底盘多塔结构连接各塔楼的裙楼屋面刚度宜加大,裙楼屋面板应加厚并加强配筋,板面负弯矩筋贯通设置;裙房屋面上下层结构的楼板也应加强构造措施,以保证底部裙楼能带动上部塔楼共同振动。补充 SAP2000 计算分析,图 1-7、图 1-8 为地震作用下转换层楼面正应力分布图,图 1-9 为地震作用下 5 层楼板剪应力分布图:

从图 1-7~图 1-9 可以看出,地震作用下,转换层楼面正应力、剪应力在其竖向构件附近均有较大的应力区,而且在楼面的部分端部区域,也存在较大的应力区,同时非转换楼层的楼面其他部分也有较大的应力;4 层楼面在上部为转换层的筒体附近区域也存在较大的应力区,其他区域应力相对较小。因此设计转换层楼面、4 层楼面的筒体附近区域楼板时,应考虑板面的应力集中现象,进行加强。转换层板厚 200mm,其他楼层的板厚均为 150mm。

塔楼之间裙楼连接体的屋面梁以及塔楼中与裙楼连接体相连的外围柱、墙,从固定端至裙楼屋面上一层的高度范围,柱纵筋配筋率均适当提高,且柱箍筋在裙楼屋面上、下层范围内加密。

5.2 高位转换

为避免结构在转换层附近形成薄弱层,设计采取如下措施:

(1) 除控制楼层剪切刚度比外,还应控制转换层以下框支结构的等效刚度(即考虑弯曲、剪切和轴向变形的综合刚度),使转换层上、下结构变形特征和综合刚度比较接近,以避免在转换层附近产生层间位移角突变;应满足《高层建筑混凝土结构技术规程》附录 E 规定的楼层侧向刚度比的要求,其转换层上部与下部结构的等效侧向刚度比 γ_c 不应大于 1.3;当转换层设置在 3 层或 3 层以上时,其楼层侧向刚度尚不应小于相邻上部楼层侧向刚度的 60%。

(2) 框支柱承担的地震剪力应不小于基底剪力的 30%。

构造采取了以下措施:

(1) 转换层以下核心筒混凝土墙加厚,主要墙肢厚 500mm,并避免在核心筒的四个角附近开洞,在转换层以下,在相对于上部每个塔楼的外墙转角处设置了 800mm 厚“L”形转角墙,同时加大转角墙的连接梁的截面,于裙楼部分形成外筒体系(近似筒中筒结构),加强了转换层以下结构的整体刚度,其外伸的墙肢也作为斜向布置的转换梁的支承点,减少转换梁的转换次数,避免出现三级转换。

(2) 设计为了提高框支层框架的延性,增大框支柱的安全性,在转换层以下的所有框支柱和每个核心筒墙体的四角设置型钢,形成劲性混凝土柱。柱内型钢布置从地下一层至转换层楼面再向上延伸一层。在相对于柱内型钢平面位置的地下二层的柱内则设计成芯柱,以保持延性的延伸过渡。框支柱、剪力墙底部加强部位的抗震等级尚宜比规定的等级提高一级采用。

(3) 转换梁与筒体应有可靠的联结与锚固。

(4) 转换层及转换层以下的混凝土强度等级均为 C50。

5.3 空中花园

由于空中花园的荷载比较大,且该楼层质量中心与刚度中心存在比较大的偏心,在地震作用下,振型曲线在 18、25 层处出现拐点,说明该处地震反应强烈,且存在较明显的扭转效应。因此,对于该楼层的楼板以及空中花园的楼板均应进行加强,以减小空中花园悬挑端的水平扭转位移。对于承受空中花园荷载的楼层及相邻楼层的竖向构件,应提高其承载能力及延性,并对相应地与空中花园连接处的构件节点也进行加强。与空中花园钢桁架相连的 $\phi 800$ 支承柱从下至上均设置型钢,提高柱的抗震性能,且便于钢桁架连接。

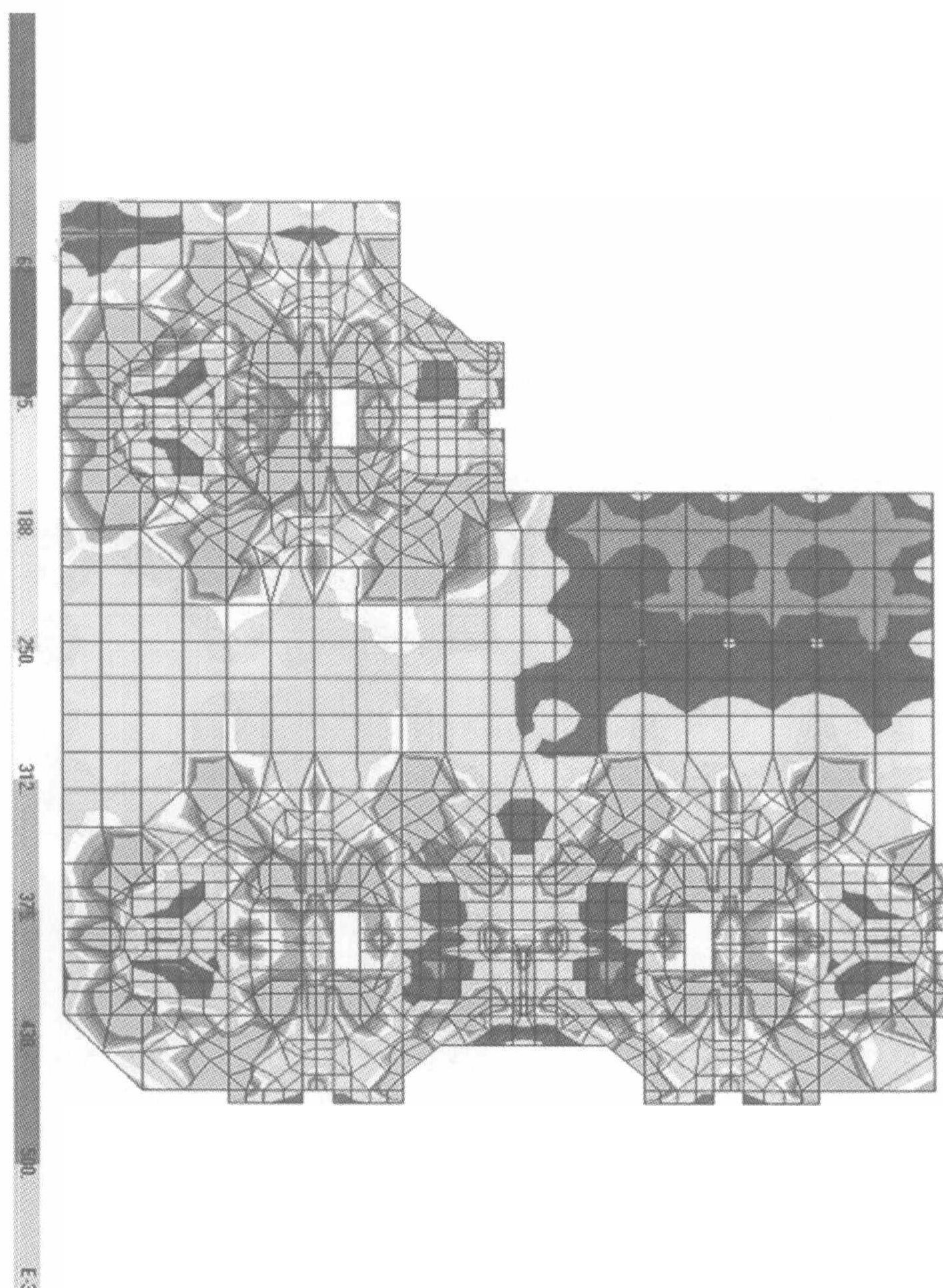


图 1-7 地震作用下转换层楼面 x 向正应力分布图 (N/mm^2)

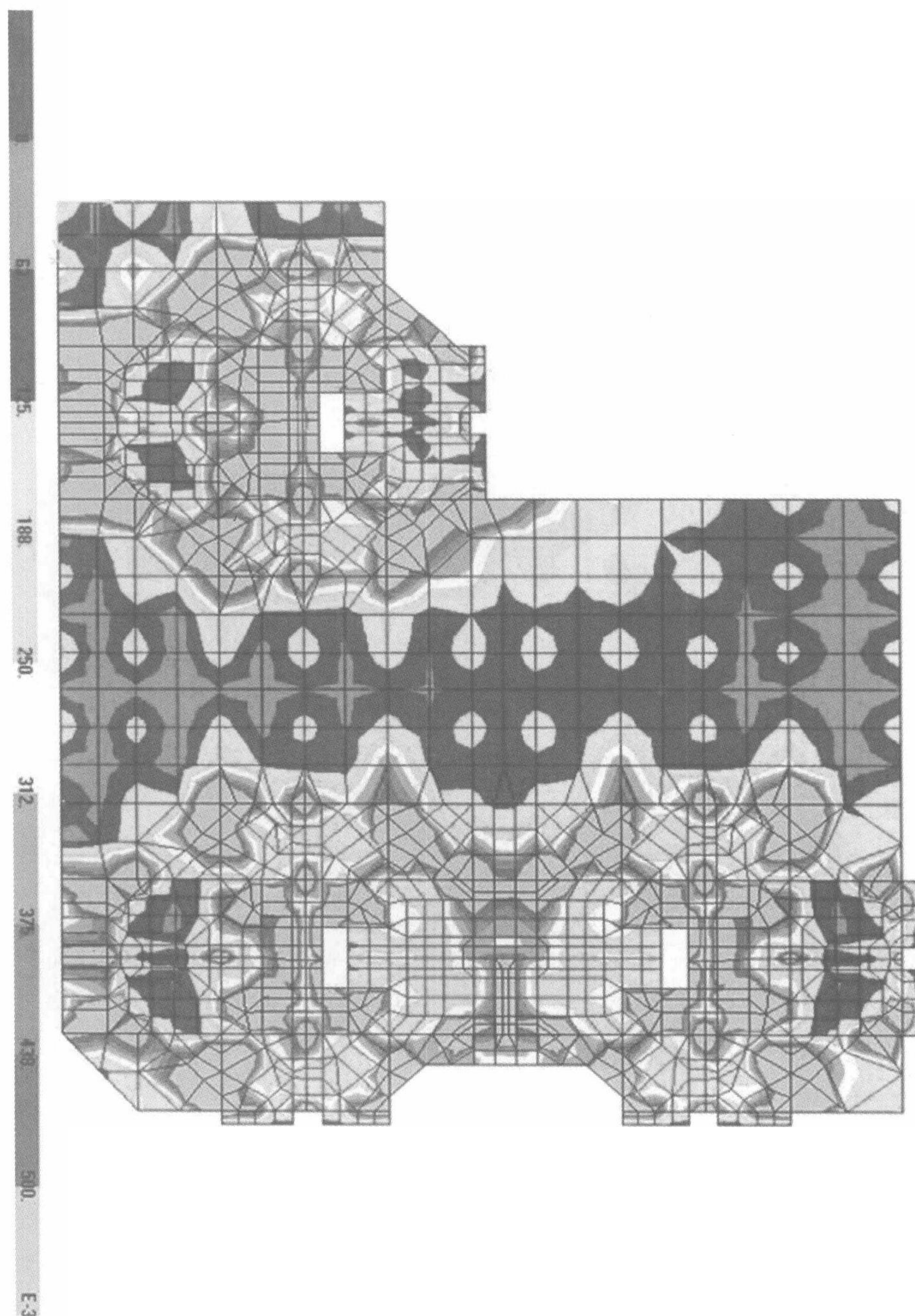


图 1-8 地震作用下转换层楼面 y 向正应力分布图 (N/mm^2)

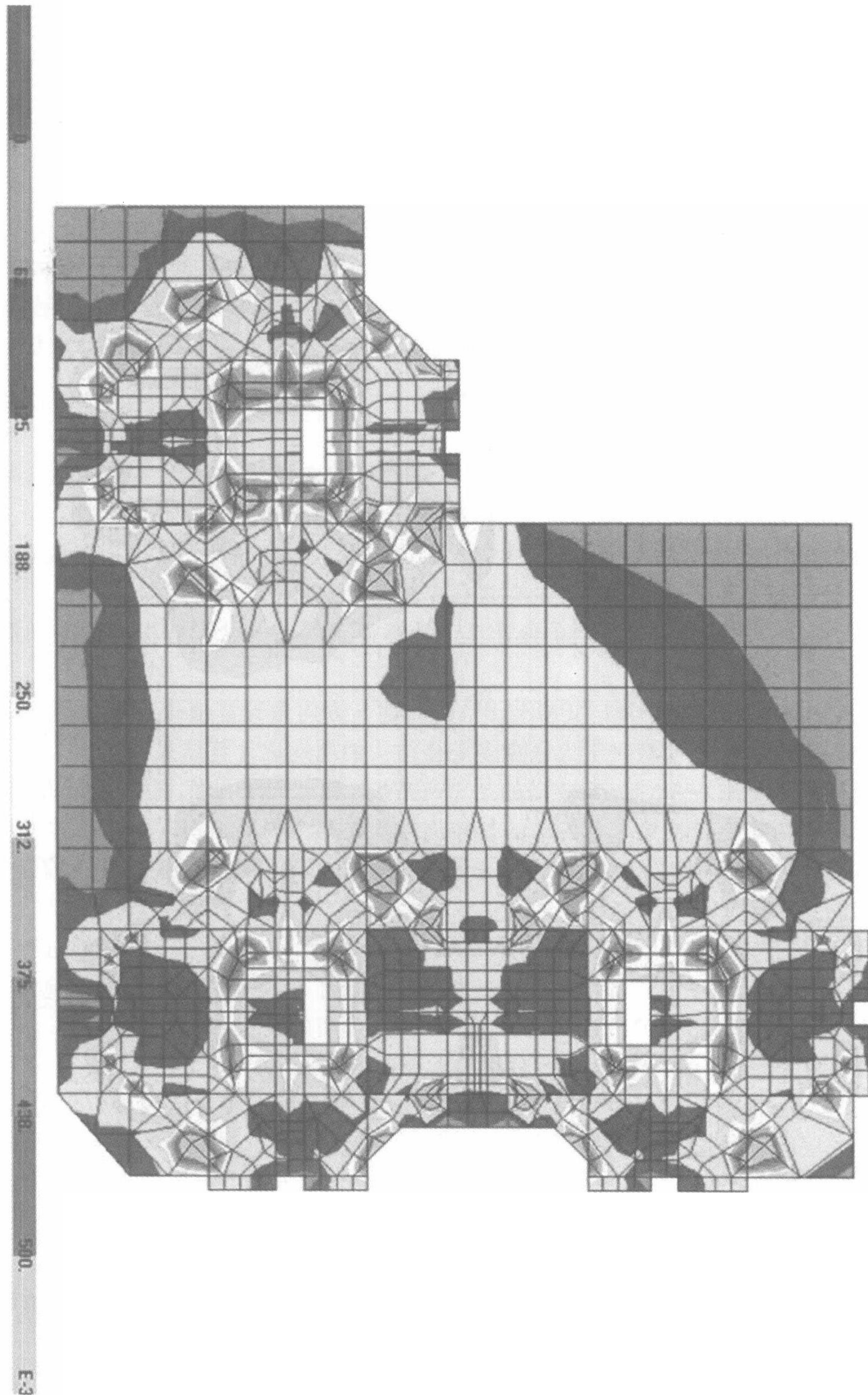


图 1-9 地震作用下转换层楼面剪应力分布图 (N/mm^2)