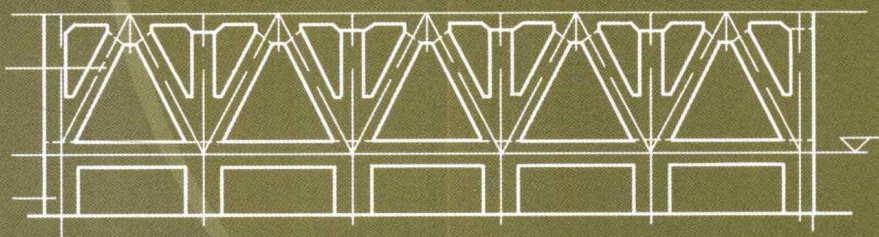
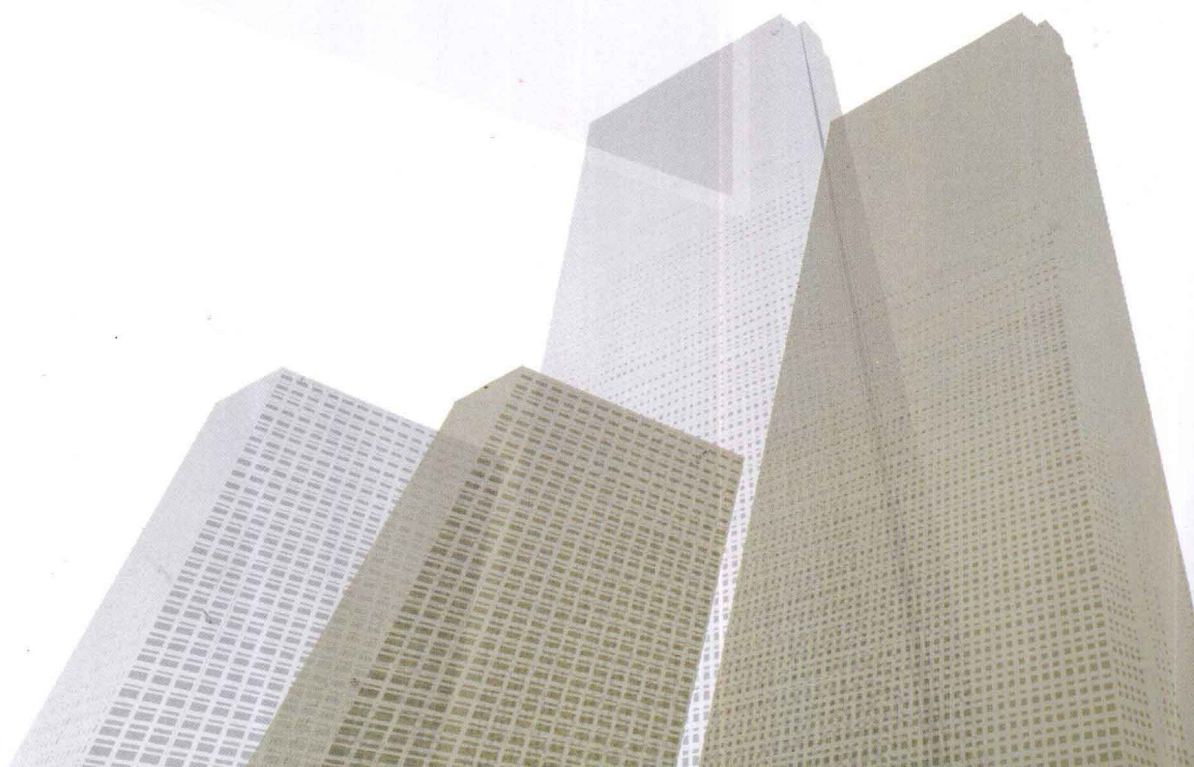


多高层建筑转换结构设计要点与实例

李国胜 编



中国建筑工业出版社



多高层建筑转换结构设计 要点与实例

李国胜 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

多高层建筑转换结构设计要点与实例/李国胜编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2010
ISBN 978-7-112-11880-9

I. 多… II. 李… III. ①多层建筑-钢筋混凝土结构-结构设计
②高层建筑-钢筋混凝土结构-结构设计 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 039014 号

本书是针对带有转换的钢筋混凝土多高层建筑结构设计的概念和要点编写。本书较全面地介绍了带转换结构的震害实例、转换构件的类型、设计的方法及近些年建成的有代表性和参考价值的工程实例。全书共四章: 概述、底部大空间部分框支剪力墙结构、承托上部柱的转换结构、底部框架-抗震墙上部砌体结构, 重点是第二章。本书可供建筑设计、施工图审查、监理、施工、科研人员及大专院校土建专业师生参考使用。

责任编辑: 武晓涛

责任设计: 李志立

责任校对: 兰曼利

多高层建筑转换结构设计要点与实例

李国胜 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18¼ 字数: 456 千字

2010 年 6 月第一版 2010 年 6 月第一次印刷

定价: 39.00 元

ISBN 978-7-112-11880-9
(19139)

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

随着我国经济的发展，房屋建筑使用功能的要求越来越高，立面体形变化多样化，现在采用转换层结构相当普遍。例如，沿街住宅房屋底部设有大空间商店；有的公寓、高层住宅的门厅设有局部大空间；宾馆、饭店上部为钢筋混凝土剪力墙结构底部为大空间公共用房；写字楼、综合楼等某些公共建筑，因为规划用地或立面体形要求外墙框架柱上下不在同一位置而需要转换，有的顶部若干层平面或立面体形与下部楼层不一致，需要设转换层；外框架-内核心筒结构，底部四周或某侧面需要去掉若干框架柱使之具有较大空间的大门入口或其他使用功能的需要，为上部楼层柱需设置转换构件等。

带有转换构件的建筑结构，是属于传力不直接、受力复杂的不规则结构，在地震作用下可能造成结构的软弱部位或薄弱层。有关规范、规程对这类结构的设计虽有规定和要求，但由于工程的多样性及复杂性尚缺乏可操作性。

近十几年来有不少带有转换结构的工程设计，结合试验研究提出了一些新的设计方法，积累了不少经验。本书是根据收集到的这些成果及作者实践的经验编写而成，共四章，内容包括转换结构的类型，适用范围，抗震概念设计，规范、规程的有关规定，设计要点及构造要求，并附有大量工程实例。其重点有：一是基于性能的抗震设计；二是底部大空间上部剪力墙结构转换层上下刚度比的计算方法；三是转换构件的局部补充计算；四是型钢混凝土转换构件设计要求。

本书的特点是简明实用、可读性和可操作性强，既有设计概念、设计要点和构造细节，又有工程实例，便于从事建筑结构设计人员参照应用，提高设计质量和效率，也可供建筑结构施工图文件审查、施工及监理等工作人员和大专院校土建专业师生参考。

本书编写过程中得到李俊霖、张雷等工程师的帮助，在此表示感谢。编写中参考和引用的文献较多，对原作者深表谢意。限于编者的水平，有不当或疏漏之处在所难免，热忱盼望读者指正，编者将不胜感激。

目 录

第一章 概述	1
一、转换层类型	1
二、抗震概念设计	4
三、基于性能的抗震设计	41
四、型钢混凝土构件	74
第二章 底部大空间部分框支剪力墙结构	82
一、结构特点及适用范围	82
二、设计原则	83
三、结构布置	83
四、结构设计要点	86
五、框支梁	92
六、转换梁	93
七、框支柱	94
八、落地剪力墙	97
九、上部墙体及楼板	98
十、转换层的框支梁、柱和剪力墙简化计算	100
十一、厚板转换层	105
十二、箱形梁转换层	107
十三、其他形式转换	108
十四、工程实例	110
第三章 承托上部柱的转换结构	156
一、类型及有关规定	156
二、转换梁	161
三、斜撑(柱)转换	175
四、搭接柱转换	189
五、桁架转换	203
第四章 底部框架-抗震墙上部砌体结构	243
一、有关规定	243
二、计算要点	245
三、抗震构造措施	259
四、钢筋混凝土抗震墙	262
五、砖砌体抗震墙	266
六、抗震墙基础	267
七、工程实例	268
参考文献	287

第一章 概述

一、转换层类型

随着我国经济的发展,房屋建筑使用功能的要求越来越高,立面体形变化多样化,使不少建筑造成结构的竖向构件上部与下部不能贯通,需要采用转换层。例如,沿街住宅房屋底部设有大空间的商店、汽车库;有的公寓、高层住宅的底部设有局部大空间门厅;宾馆、饭店上部采用钢筋混凝土剪力墙结构底部需要大空间公共用房;写字楼、综合楼等,因为规划用地或立面体形要求外框架柱上下不在同一位置而需要转换,有的顶部若干层平面或立面体形与下部楼层不一致,使上部柱与下部柱不贯通而设转换构件;外框架-内核心筒结构,底部四周或某侧面需要去掉若干柱使之具有较大柱间的大门入口或其他使用功能的需要,为上部楼层柱需要设置转换构件等。

转换构件所在的楼层称为转换层,底部大空间剪力墙结构转换构件以下的楼层称为框支层,《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)(以下简称《高规》)10.2.2规定的底部大空间框支层数是地面以上的层数,不计入地下室大空间层。框支梁属于转换梁,框支梁的特点是既有弯曲又有轴向拉力的偏心受拉构件。

1. 底部大空间剪力墙结构的转换层类型

底部大空间上部剪力墙结构的转换层结构构件,可根据转换层层高、使用功能要求,采用转换梁、框支梁、箱形梁、空腹桁架及有斜腹杆桁架和厚板(图1-1)。

目前,底部大空间剪力墙结构的转换层由于相邻上部剪力墙有较大门洞口或为墙肢,常见的是采用转换梁(图1-1(a));当相邻上部剪力墙为实体墙或跨中小洞口整体墙的转换梁可成为偏心受拉的框支梁(图1-1(b)、(c));当转换层利用层高较低(一般2.1m)的设备层时,采用充分利用空间而刚度较大的箱形梁(图1-1(d));当设备层较高或利用正常楼层而不影响使用空间时,转换构件可采用空腹桁架或斜腹杆桁架(图1-1(e)、(f));《高规》10.2.1条规定,非抗震设计和6度抗震设计时转换构件可采用厚板,7、8度抗震设计的地下室的转换构件可采用厚板(图1-1(g));底部大空间上部为砌体结构的房屋,转换层一般采用钢筋混凝土转换梁。

2. 承托上部柱的转换构件类型

外框架(外框密柱筒)-内核心筒结构及框架,底部大柱距上部小柱距的转换构件可根据建筑立面、转换层高度采用转换梁(图1-2(a))、斜腹杆桁架(图1-2(b))、空腹桁架(图1-2(c))。外框筒上部密柱下部稀柱转换形式如图1-3所示。

由于建筑立面的原因框架上部柱与下部柱不能贯通,可采用搭接柱(块)(图1-4(a)、(b)),斜柱(图1-4(c)、(d)、(e)、(f)、(g)),人字柱(图1-4(g)、(h))。

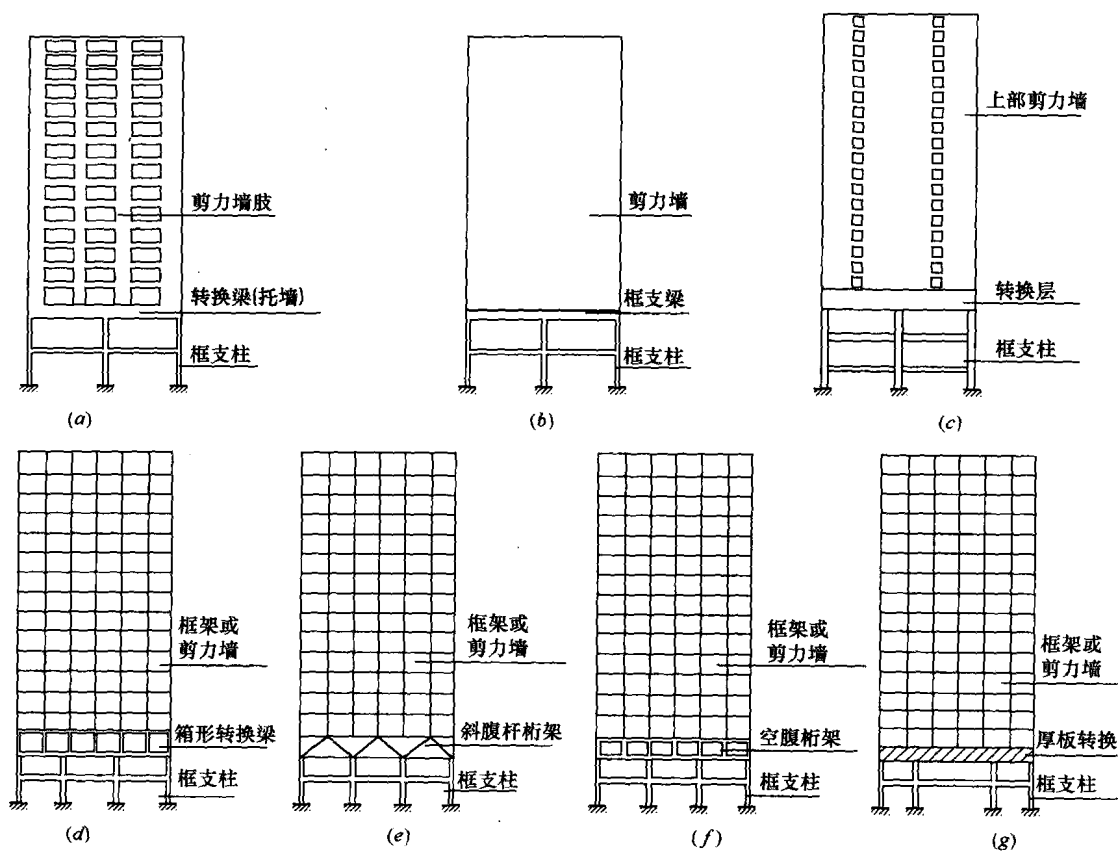


图 1-1 底部大空间上部剪力墙结构转换构件示意图

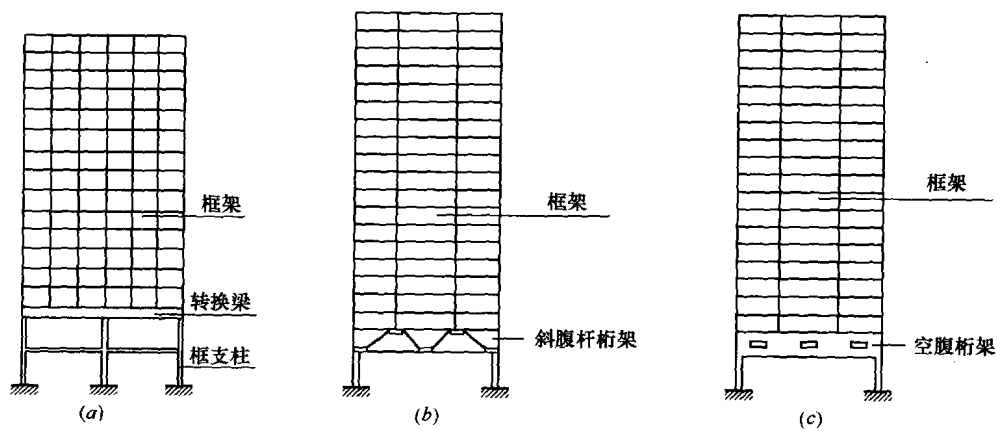


图 1-2 框架底部大柱距转换构件示意图

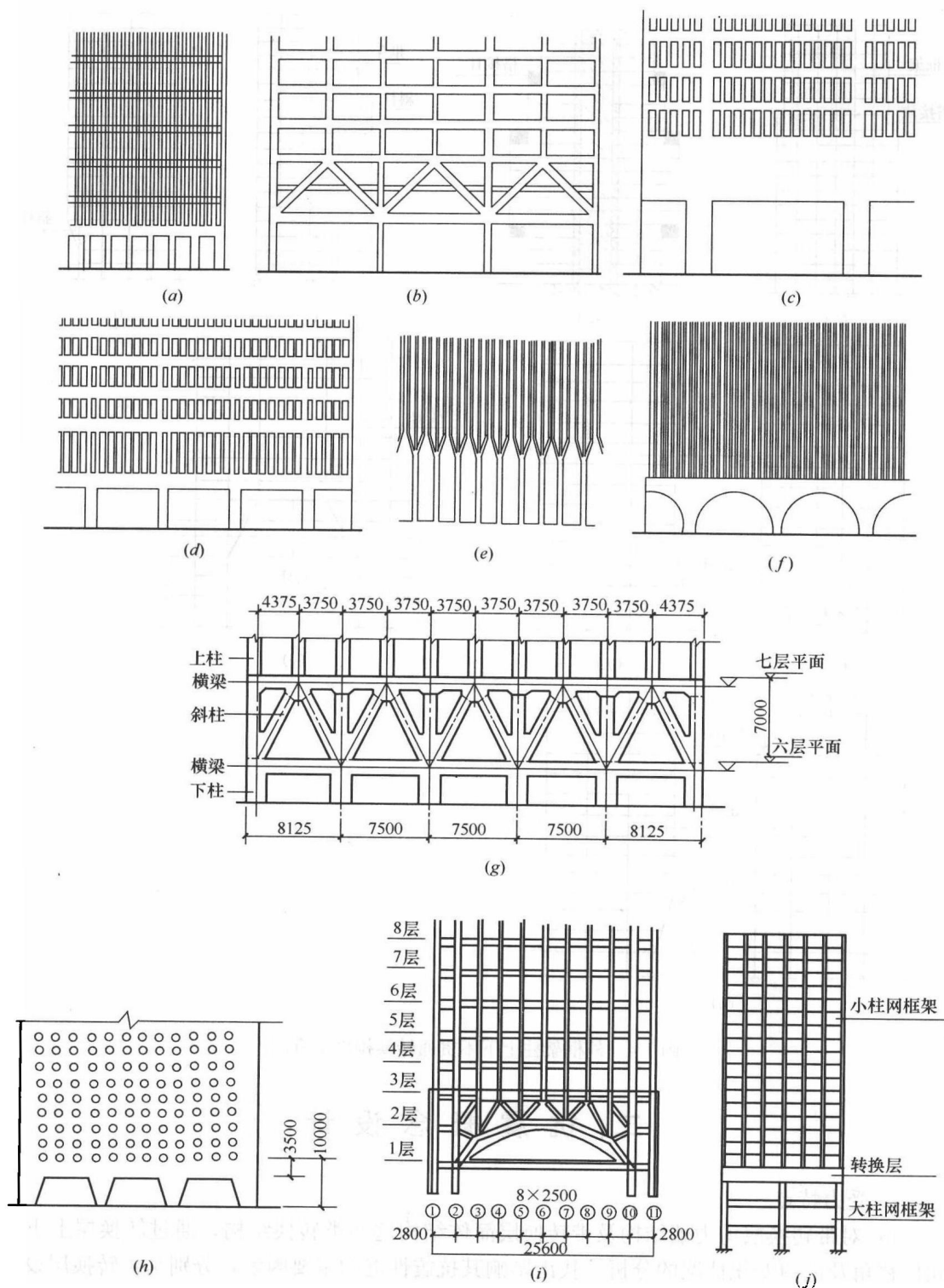


图 1-3 上部密柱下部稀柱转换形式

(a) 转换梁 (波特兰大厦); (b) 转换桁架 (第一威斯康星中心); (c) 转换墙 (Seattle 金融中心);
 (d) 间接转换梁; (e) 合柱 (世界贸易中心); (f) 转换拱 (IBM 大厦); (g) 南京新世纪大厦转换桁架;
 (h) 香港康乐中心; (i) 日本岗山住友生命保险大楼; (j) 转换梁托柱

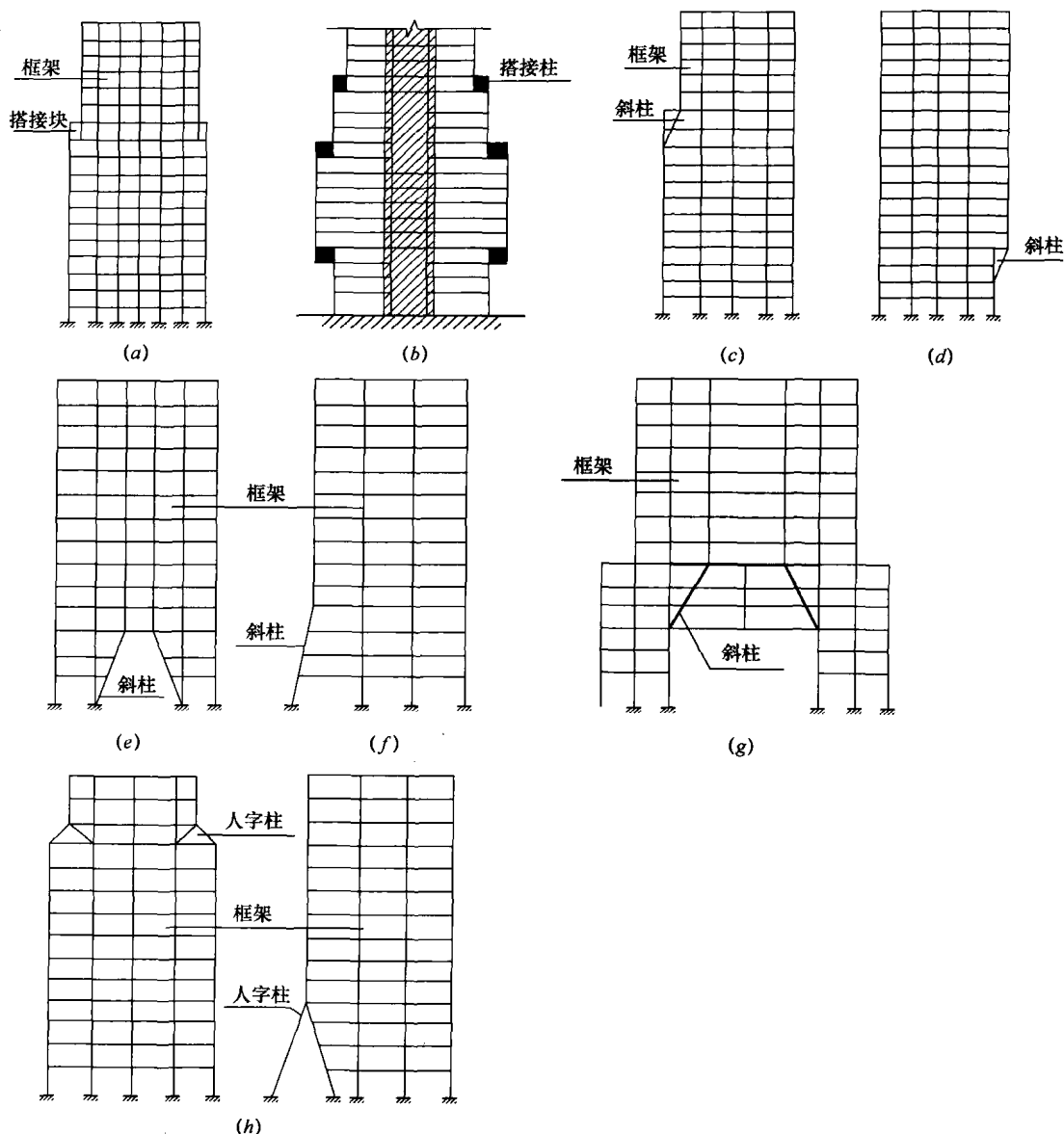


图 1-4 外框架柱上下不贯通转换构件示意图

二、抗震概念设计

1. 受力特点

1) 对带转换层剪力墙结构及带转换层筒体结构这两类转换结构,通过转换层上下层间位移角及内力变化情况的分析,找出影响其抗震性能的主要因素,分别是:转换层设置高度、转换层上部与下部结构等效刚度比、转换层结构与其上层结构侧向刚度比。对带转换层筒体结构其主要影响因素表现为转换层上部外筒的刚度、转换层设置高度和内筒刚度。

2) 对上述两类转换结构, 转换层高度是影响其抗震性能的主要因素之一, 转换层高度越高, 转换层上下层间位移角及内力突变越明显, 设计时应限制转换层设置高度。

3) 20 世纪 90 年代, 带转换层的底部大空间剪力墙结构迅速发展, 在地震区许多工程的转换层位置较高, 一般位于 3~6 层, 有的工程转换层位于 7~10 层。中国建筑科学研究院在原有研究的基础上, 研究了转换层高度对框支剪力墙结构抗震性能的影响, 研究得出, 转换层位置较高时, 易使框支剪力墙结构在转换层附近的刚度、内力和传力途径发生突变, 并易形成薄弱层, 其抗震设计概念与底层框支剪力墙结构有较大差别。转换层位置较高时, 转换层下部的框支结构易于开裂和屈服, 转换层上部几层墙体易于破坏。转换层位置较高的高层建筑不利于抗震, 因此抗震设计时宜避免高位转换, 如必须高位转换, 应作专门分析并采取有效措施, 避免框支层破坏。

9 度设防的多、高层抗震设计的建筑, 不应采用底部大空间剪力墙结构。

2. 震害实例

20 世纪 70 年代以来, 多次大地震如 1971 年美国圣费南多地震、1979 年美国 El Centro 地震、1995 年日本阪神地震等的震害表明, 剪力墙竖向不连续结构因设计不当, 在地震作用下大量严重破坏或倒塌。这些震害给我们提供了非常有价值的经验。结构的震害是实际结构的非人为控制的地震振动试验结果, 这种试验虽然缺乏测量数据, 但却是最实际、生动的, 在实验室难以做到。我国在研究剪力墙竖向不连续结构的抗震性能和抗震设计方法时, 除进行大量的实验室试验和理论分析外, 也十分重视总结地震震害经验。

其他如 1976 年罗马尼亚地震, 普鲁耶士蒂一幢 4 层框架建筑, 由于上部 3 层建造了砖砌体隔墙, 使上、下层刚度差异加大, 形成上部刚、下部柔的结构, 底层是软弱层, 地震时上层塌落; 1995 年日本阪神地震中, 1980 年以前建造的很多多层和高层居住楼房遭受严重破坏或倒塌, 原因就是当地习惯将多层或高层住宅的底层作为商店、车库等, 底层没有或只有很少隔墙, 或者没有纵墙, 形成空旷底层。

【例 1-1】美国 Holy Cross 医院主楼。

(1) 建筑物概况

Holy Cross 医院主楼地面以上 7 层, 有一层地下室, 基础采用桩基。结构布置有框架和剪力墙, 设计中抗侧力体系为钢筋混凝土剪力墙, 而框架柱仅考虑承受竖向荷重。结构的南北向及东西向都布置了剪力墙, 墙厚 203mm, 建筑物西边 E 轴及东边 N 轴有较多剪力墙竖向不连续, 不连续的墙靠楼盖的梁支承, 由楼板传递剪力。该建筑的東西向外周边布置了钢筋混凝土柱 (截面尺寸 406mm×813mm), 南北向外周边及建筑物中部也布置了一些钢筋混凝土柱。楼盖结构采用南北向密肋梁板体系, 梁高 356mm, 梁宽平均 180mm, 梁间距平均 950mm, 楼板厚 76mm。建筑外周边柱之间有裙梁, 梁高约 1220mm、梁宽 200mm, 裙梁与柱的内侧边连接。楼盖结构采用轻混凝土, 圆柱体轴心抗压强度 $f'_c=20.7\text{MPa}$; 剪力墙和柱采用普通混凝土, $f'_c=34.5\text{MPa}$ 。实际施工中, 墙、柱竖向构件的楼盖部位夹杂灌注了 20.7MPa 的轻混凝土。钢筋强度 $f_s=138\text{MPa}$ 。

结构的布置见图 1-5~图 1-7。

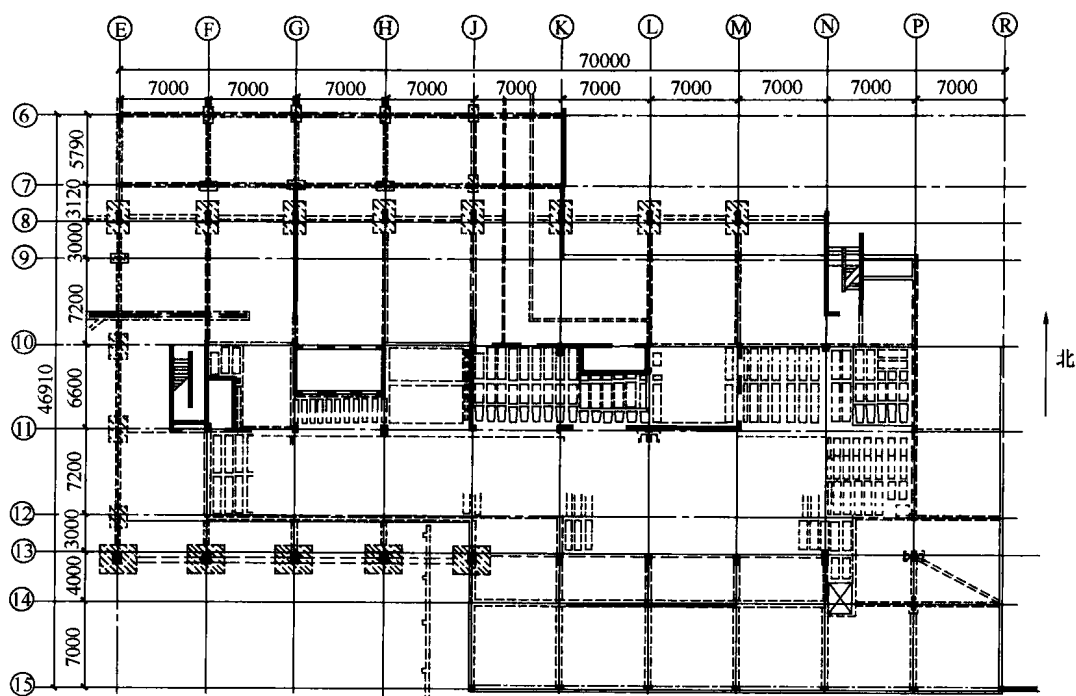


图 1-5 Holy Cross 医院首层平面

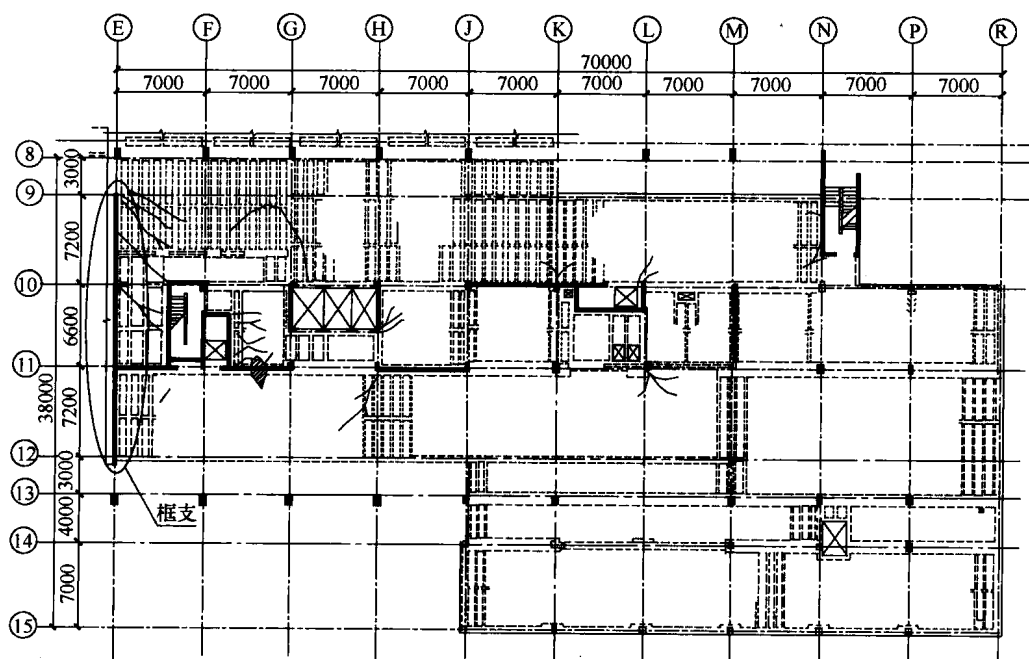


图 1-6 Holy Cross 医院 2 层平面及楼板裂缝

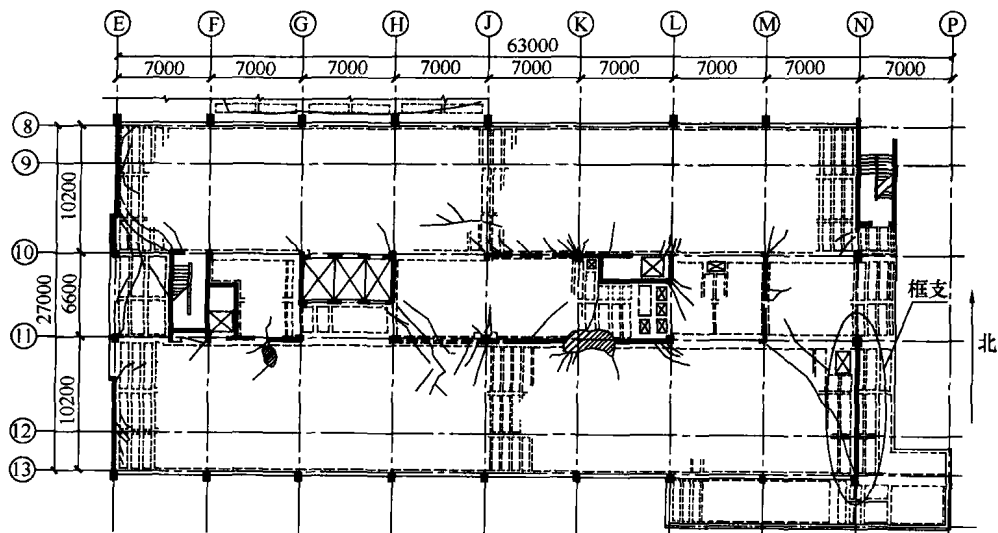


图 1-7 Holy Cross 医院 3 层平面及楼板裂缝

4、5、6、7 层平面与 3 层平面相似，楼面的破坏情况逐层减轻，7 层楼面无损坏。

(2) 结构震害

1971 年 2 月 9 日美国加利福尼亚州圣费南多发生里氏 6.4 级地震。估计 Holy Cross 医院地面运动最大加速度约在 0.4~0.5g 之间。

结构主要震害如下：

1) 建筑物西边 E 轴剪力墙在 2 层及 3 层楼板以下不连续（图 1-5），需通过 2、3、4 层楼板进行水平力的重分配，这几层楼板受力较大，在 E 轴和 F 轴之间产生严重裂缝（图 1-6、图 1-7）。E 轴剪力墙在第 2、3、4 层出现剪切裂缝（图 1-8），在第 3 层楼面处剪力墙沿着夹杂轻混凝土的楼面处开裂，E/11 轴柱在第 3 层楼板处破坏。E/10 轴也有破坏（图 1-8）。E/12 轴 1 层框支柱破坏。

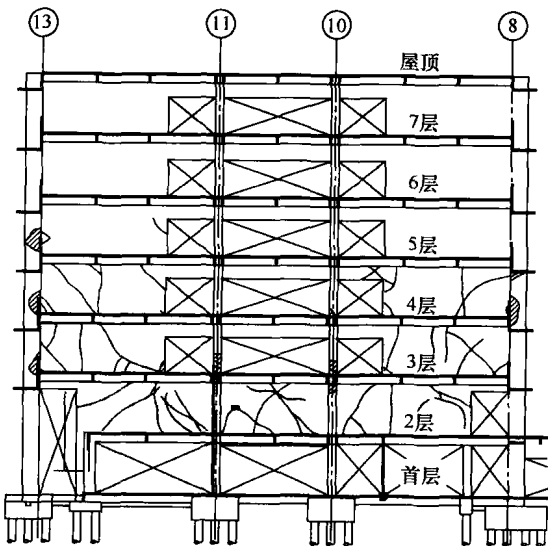


图 1-8 Holy Cross 医院，西边 E 轴墙剖面

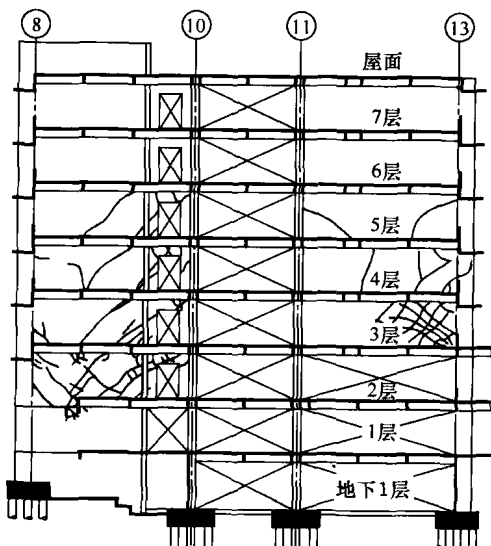


图 1-9 Holy Cross 医院，N 轴墙剖面



图 1-10 Holy Cross 医院, N 轴南侧
剪力墙第 4 层的端部破坏

2) 建筑物东边 N 轴南侧一片剪力墙在第 3 层楼面以下不连续, 该片剪力墙的南端在第 4 层楼面处破坏, 墙端柱混凝土破碎、箍筋断开, 纵向筋搭接部位脱开 (图 1-9、图 1-10)。

3) 建筑物东西向 (纵向) 剪力墙出现 X 形剪切裂缝。

4) 南北向 (横向) 柱出现剪切裂缝, 在第 2、3、4 层最严重, 4 层以上减轻 (图 1-8); 东西向 (纵向) 外框架裙梁压坏, 柱的保护层剥落、纵筋外鼓, 在第 3 层最严重。

(3) 启示

1) 该建筑物中部落地剪力墙较多, 西边 E 轴剪力墙在 2 层及 3 层楼板以下不连续, 转换为框支柱, 但邻近 E 轴 3.5m 处布置有落地剪力墙, 有利于框支柱的抗震。建筑物东边 N 轴南侧一片剪力墙在 3 层楼板以下不连续, 转换为 2 层框支柱, 但 N 轴北侧一片剪力墙是落地剪力墙, 有利于框支柱的抗震。因此, 仅 E/12 轴 1 层框支柱破损, 其余框支柱没有破坏。

2) E 轴及 N 轴剪力墙不连续的楼层没有设置刚度和承载能力较大的转换梁, 楼板采用薄弱的密肋板 (板厚 76mm、配筋少), 使转换层及其上 2 层楼板出现剪切裂缝, 转换层以上有些剪力墙和柱破坏。

3) 剪力墙端部约束箍筋不足, 主筋在同一高度搭接, 造成东边 N 轴剪力墙的南端在第 4 层严重破坏。剪力墙之间的连梁的跨高比都较小, 没有起到屈服耗能的作用, 东西向 (纵向) 剪力墙出现 X 形剪切裂缝。

4) 该建筑的柱设计时只考虑承受竖向荷重, 地震中剪力墙出现大量裂缝、破坏后, 产生较大的非弹性变形, 从而使东西向外周边柱及 E 轴中部柱承受较大的剪力和弯矩, 出现剪切裂缝, 个别柱破坏严重。

5) 楼面采用轻混凝土, 剪力墙和柱采用普通混凝土, 强度低的轻混凝土在楼面处夹杂到剪力墙和柱中, 这也是部分剪力墙在楼面处破坏的原因之一。

【例 1-2】美国帝国县行政办公楼 (ICSB 大楼)。

(1) 建筑物概况

ICSB 大楼 (Imperial County Services building) 于 1971 年竣工, 地面以上 6 层, 无地下室, 基础为桩基, 建筑物总高度 24.87m, 1 层层高 4.42m, 2~5 层层高 4.11m, 6 层 (顶层) 层高 4.01m; 建筑物平面尺寸东西向 41.71m、南北向 22.86m (图 1-11)。

该建筑物南北向为钢筋混凝土框架-剪力墙结构, 东西向为框架结构。东西向 (纵向) 抗侧力体系为 4 榀框架, 每榀框架 5 跨, 跨度 7.62m; 框架柱截面尺寸 610mm×610mm, 中部两榀框架梁截面尺寸 610mm×760mm, 外边两榀框架梁的截面尺寸为 610mm×740mm (1 层)、255mm×1350mm (2~5 层)、255mm×1270mm (顶层); 建筑物南北向

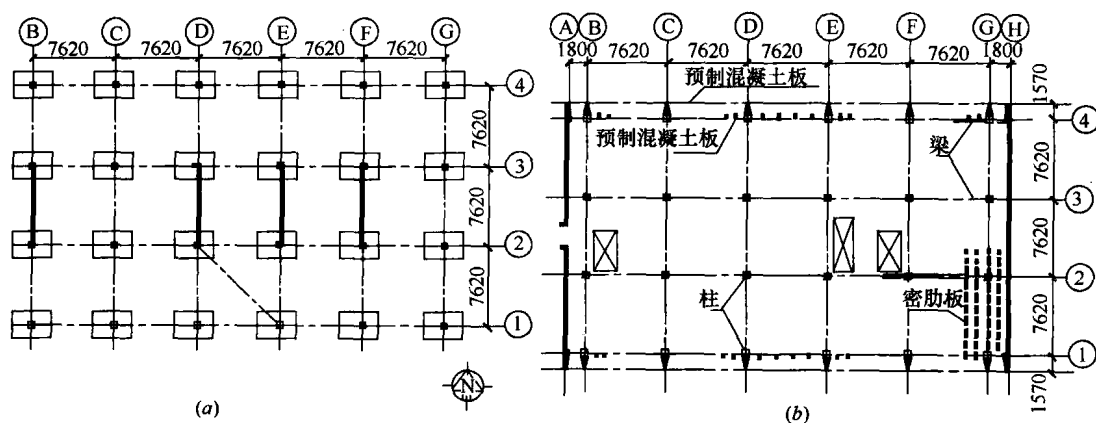


图 1-11 ICSB 大楼平面
(a) 首层平面; (b) 2~5 层平面

采用密肋梁, 梁截面尺寸为 $140\text{mm} \times 355\text{mm}$; 楼板厚度为 125mm (2 层楼板)、 75mm (3~6 层楼板); 南北向 (横向) 抗侧力靠剪力墙和框架, 2~6 层东西两侧布置剪力墙, 第 2 层墙厚 190mm 、3~6 层墙厚 178mm , 东西两侧的剪力墙在 2 层楼面以下中断, 转换为框架 (图 1-11)。第 1 层布置了 4 片短剪力墙, 墙厚 305mm 。基础采用混凝土桩基, 桩承台之间有钢筋混凝土连系梁。

(2) 结构震害

1979 年 10 月 15 日美国加利福尼亚州南部 El Centro 发生里氏 6.4 级地震。该建筑物东边 103m 处测到的自由场地地面运动最大加速度为 $0.213g$ (南北向)、 $0.236g$ (东西向)。

建筑物东侧 G 轴第 1 层的 4 根柱破坏, 柱下端混凝土压碎、主筋呈灯笼状外鼓, 外端 2 根柱的破坏比中间 2 根柱严重。剪力墙和楼板没有明显的剪切破坏。

第 1 层柱的下端箍筋是加密的, 但加密区的高度仅到 1 层地板处, 使东侧 1 层 4 根柱的破坏集中在 1 层地板处。

该建筑物南北向所经受的地震地面运动最大加速度仅为 $0.213g$, 如经受更强烈的地震, 1 层柱有可能倒塌, 第 2 层密肋楼板也有可能出现严重的剪切破坏。

(3) 启示

1) 该建筑物表面看来, 似乎是一个简单、规则的结构, 但实际上第 1 层剪力墙的布置是不对称, 此外, 2~6 层东西两侧的剪力墙在第 1 层中断, 使南北向的剪力传递途径发生急剧的改变, 第 1 层南北向的刚度和承载力突然减弱, 这是一个典型的框架-剪力墙结构的剪力墙竖向不连续结构。设计者试图在第 1 层另设 4 片短剪力墙改善第 1 层的刚度和承载能力突变。震害表明, 这种结构体系对抗震不利, 主要原因是传力途径复杂, 2~6 层的绝大部分剪力和倾覆力矩由东、西两侧剪力墙承担, 到了第 1 层需通过第 2 层楼板将剪力墙的剪力传递到中部 4 片短剪力墙, 上部剪力墙的倾覆力矩全部由框架柱承受。假如建筑物南北向除东西两侧框支剪力墙外, 中部还有上、下连续的落地剪力墙, 则框支剪力墙的剪力和倾覆力矩就可减少, 框支柱不易破坏。

2) 该建筑物第 1 层 4 片短剪力墙的布置不对称。东侧第 1 层的 4 根柱距离 1 层东边

短剪力墙 7.62m, 东侧上部剪力墙很大的剪力在第 1 层要传递到内部短剪力墙, 其传力途径较长 (约 9.42m), 使东侧第 1 层的 4 根柱难免承受一定的剪力, 特别是上部剪力墙的倾覆力矩和竖向荷重全部通过 4 根柱传递到基础; 相反, 西侧第 1 层的剪力墙设置在中间 2 根柱之间, 上部剪力墙的剪力传递途径很短 (约 1.8m), 上部剪力墙的倾覆力矩和竖向荷重可由中间短剪力墙和 4 根柱共同承受 (图 1-12)。东侧框支柱在地震中严重破坏, 而西侧框支柱无明显破坏。

3) 东侧第 1 层柱的下端箍筋加密区的高度仅仅到第 1 层的地板处, 使 4 根柱的破坏集中在 1 层地板处, 由此看来, 嵌固端柱端加密区高度应加高。

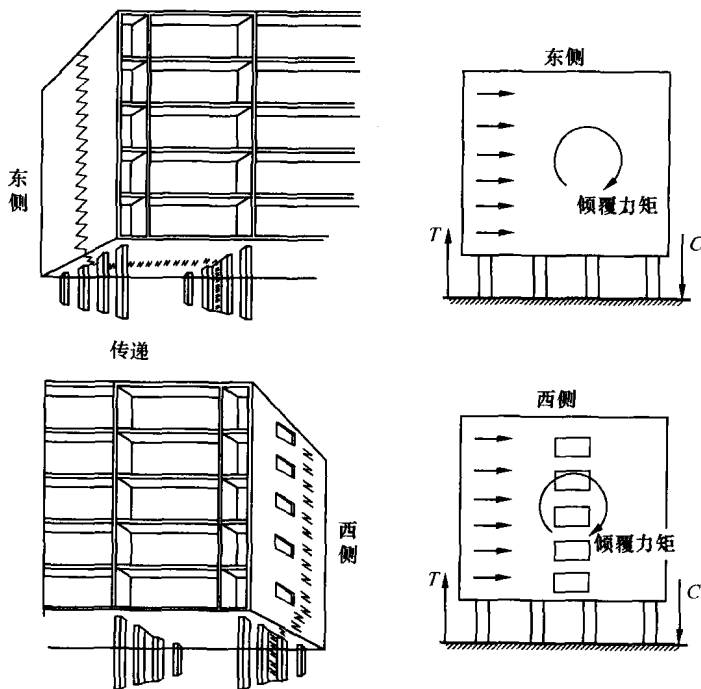


图 1-12 南北向东西两侧剪力墙的剪力和倾覆力矩传递

【例 1-3】日本 HA 公寓。

(1) 建筑物概况

该建筑物位于神戸市兵库区, 前通 4 丁目, 1988 年竣工, 地上 10 层, 第 1 层为停车场, 2~10 层为公寓, 无地下室, 基础采用桩基, 总高度 29.75m。建筑物的平面形状为矩形, 进深 (南北向) 8.5m, 长方向 (东西向) 共 6 个开间、每个开间 5.5m, 总长度 33m (图 1-13)。图中裙房与主体结构用防震缝断开。结构的南北向 2~10 层为钢筋混凝土带边框架的剪力墙结构, 每个轴线都有剪力墙, 而第 1 层有 3 个轴线 (X1、X3、X5) 布置 V 形斜撑, 1 个轴线 (X7 轴) 仍有剪力墙, 另有 3 个轴线 (X2、X4、X6) 为框架支撑, 图 1-14 为 X1、X2、X3 及 X4 轴的结构竖向剖面。结构东西向为框架结构。

(2) 结构震害

1995 年阪神大地震中, 该建筑物震害集中在第 1 层, 2 层以上无震害, 1 层中部 4 个轴 (X2、X3、X4、X5) 的 8 根柱上端主筋压屈 (图 1-15)。

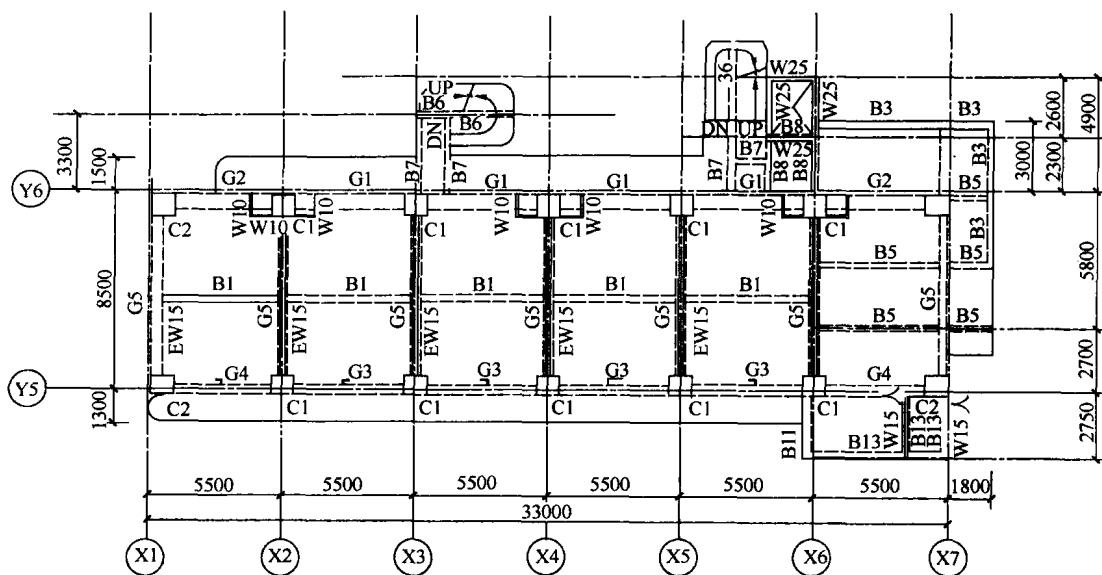


图 1-13 HA 公寓 2 层平面

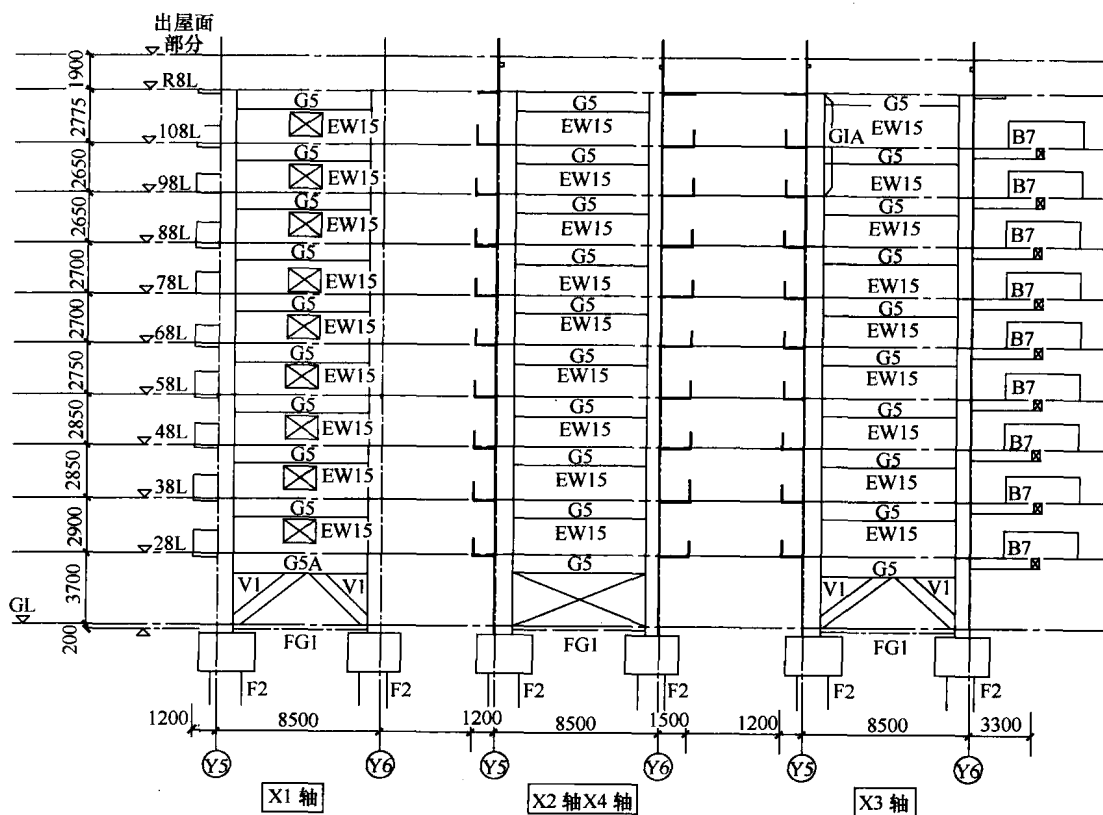


图 1-14 HA 公寓竖向剖面



图 1-15 HA 公寓 1 层
带斜撑的框支柱震害

该结构南北向 2 层以上 7 个轴都有剪力墙，刚度很大，使 1 层单跨框架柱承受很大的由上部结构倾覆力矩引起的轴向拉、压力，导致柱上端主筋屈服。第 1 层西侧 X1 轴除有斜撑外，还布置了非结构墙，X6 轴有非结构墙，X7 轴有剪力墙，这可能是 X1、X6、X7 轴框架柱没有破坏的原因。

(3) 启示

1) 该建筑物第 1 层框支层的抗震设计与日本阪神地震中大量倒塌的带框支层结构相比，是比较合理的。第 1 层仅 3 个轴为框架支承，其余 4 个轴设置了斜撑或剪力墙，使 1 层的抗侧刚度有所增加，减少了结构竖向刚度的突变。从震害程度看来，1 层没有呈现侧向残余变形，2 层以上没有震害，也没有明显的向下倾斜。

2) 1 层布置 V 形斜撑有利于提高抗侧刚度和抗剪承载能力，但不能减少 1 层框架柱由于上部剪力墙倾覆力矩而引起的很大的轴向拉、压力，造成有斜撑的框架柱上端主筋压屈。

【例 1-4】日本神户 A 公寓。

(1) 建筑物概况

该建筑物位于神户市中央区，1965 年竣工。地上 10 层，地下局部 1 层地下室，屋顶局部突出屋面 2 层。1~3 层用于店铺和办公，4~10 层为公寓。建筑物平面如图 1-16 所

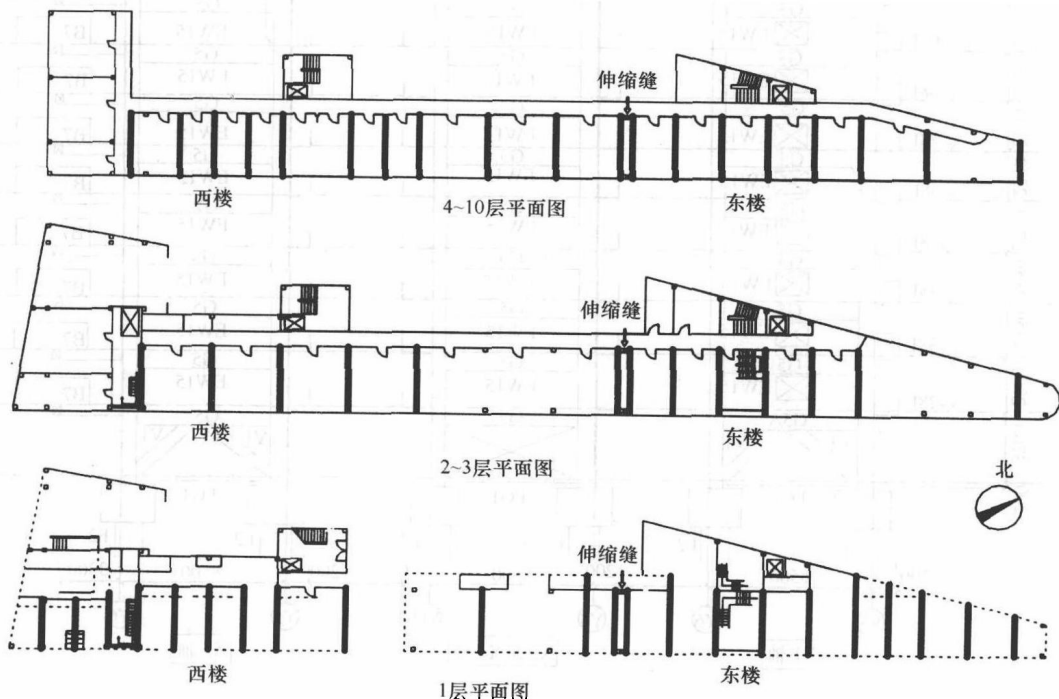


图 1-16 建筑平面