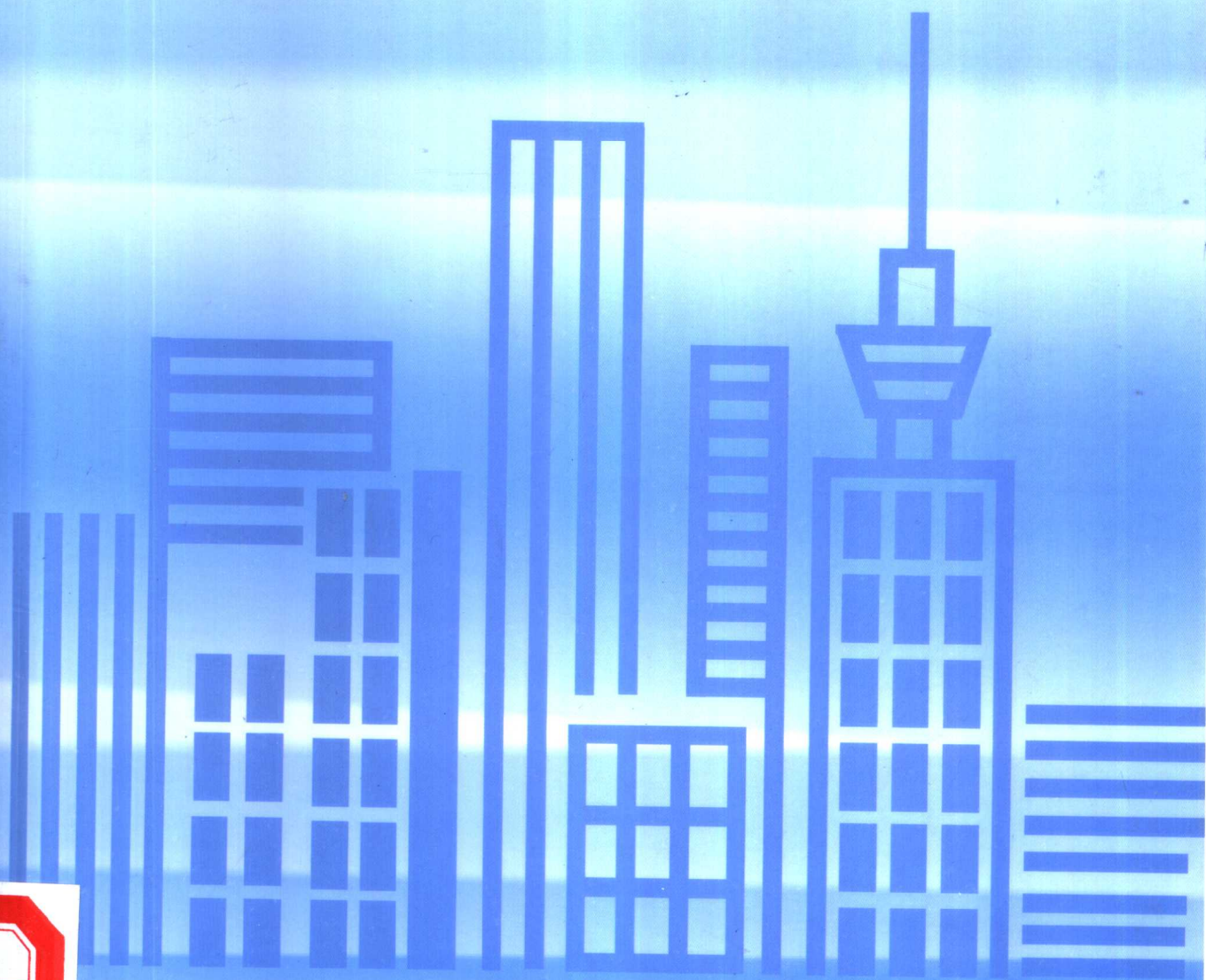


高层建筑转换层 结构设计与施工

唐兴荣 编著

● 中国建筑工业出版社



高层建筑转换层结构设计与施工

唐兴荣 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑转换层结构设计与施工/唐兴荣编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2002
ISBN 7-112-05139-8

I. 高… II. 唐… III. ①高层建筑—建筑结构, 转换层—结构设计②高层建筑—建筑结构, 转换层—工程施工 IV. TU972

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 034007 号

本书按照我国最新规范《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2002)、《混凝土结构设计规范》(GB50010-2002)、《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001) 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2002), 系统而完整地阐述高层建筑转换层结构的设计和施工。内容包括: 梁式转换层结构设计, 深弯构件设计, 桁架转换层结构设计, 厚板转换层结构设计, 箱形转换层结构设计, 巨型框架结构设计, 错列桁架结构体系, 错列墙梁结构体系, 错列剪力墙结构体系, 底部大空间剪力墙结构设计, 底部大空间上层鱼骨式剪力墙结构设计, 大底盘大空间剪力墙结构设计, 预应力混凝土转换层结构设计, 高层建筑转换层结构的动力分析, 高层建筑转换层结构的施工以及高层建筑转换层结构设计中的几个问题等。

读者对象: 土木工程专业本科生、研究生、教师及工程技术人员等。

高层建筑转换层结构设计与施工

唐兴荣 编著

*

中国建筑工业出版社 出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店 经销

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19½ 字数: 470 千字

2002 年 10 月第一版 2002 年 10 月第一次印刷

印数: 1—3,000 册 定价: 31.00 元

ISBN 7-112-05139-8

TU · 4563 (10753)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

从 20 世纪 70 年代中期,国内开始尝试使用底层大空间剪力墙结构,到现在短短的二十余年时间,转换层结构的工程应用发展很快,正朝着形式多样、方法多样以及结构受力更有利的方向发展。转换层结构已成为现代高层建筑结构发展的趋向之一,转换层结构在高层建筑中的应用使高层建筑结构的发展进入了一个新的发展时期。

转换层结构工程的应用虽较多,但目前国内尚没有一本系统而完整地阐述高层建筑转换层结构设计与施工的专门论著,以反映现代高层建筑转换层结构的发展。笔者有幸从师于东南大学丁大钧教授和蒋永生教授,博士学位论文以南京新世纪广场工程为背景,对高层建筑转换层结构进行了较为系统的试验研究和理论分析,同时积累了大量的相关资料,觉得有必要编写一本较为系统地对高层建筑转换层结构知识进行介绍的著作,为我国经济建设和科技创新作一点贡献。

本书有两个显著的特点:一是着重于阐述各种转换层结构设计和施工问题;二是重视高层建筑转换层结构基本概念和设计方法的论述。希望在帮助读者学习和掌握转换层结构知识的同时,能较好地解决实际工程中的设计问题和创新地设计出新型转换层结构形式。

本书是一部全面详细地论述现代高层建筑转换结构设计理论与施工方面的论著,内容包括:梁式转换层结构设计、深受弯构件设计、桁架转换层结构设计、厚板转换层结构设计、箱形转换层结构设计、巨型框架结构设计、错列桁架结构体系、错列墙梁结构体系、错列剪力墙结构体系、底部大空间剪力墙结构设计、底部大空间上层鱼骨式剪力墙结构设计、大底盘大空间剪力墙结构设计、预应力混凝土转换层结构设计、高层建筑转换层结构的动力分析、高层建筑转换层结构的施工以及高层建筑转换层结构设计中的几个问题等。

本书可供土木工程专业高年级的本科生、研究生、教师及工程技术人员参考。希望本书能对他们了解和掌握高层建筑转换层结构设计和施工方面的知识有所帮助,为知识经济时代的到来和知识创新、加速现代高层建筑结构的发展和应用,起到一定的作用。

限于编著者的水平,加上时间仓促,书中定有不妥甚至错误之处,希望读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 转换层的功能及其分类	2
第三节 转换层的主要结构形式	7
第四节 转换层结构在高层建筑中的布置原则	9
第五节 结构转换层的特点	11
第六节 转换层结构的研究及发展趋势	13
第二章 梁式转换层结构设计	27
第一节 梁式转换层的主要结构形式及其受力特点	27
第二节 托墙形梁式转换层结构的计算简图	32
第三节 托柱形梁式转换层结构的计算简图	37
第四节 转换梁的截面设计方法	38
第五节 梁式转换层结构的设计与构造要求	41
第三章 深受弯构件设计	49
第一节 概述	49
第二节 深受弯构件的内力分析方法	50
第三节 深受弯构件的截面设计	52
第四节 深受弯构件的构造要求	55
第四章 桁架转换层结构设计	65
第一节 桁架转换层的主要结构形式及其受力特点	65
第二节 桁架转换层结构的试验研究	71
第三节 桁架转换层结构的设计及构造要求	74
第五章 厚板转换层结构设计	82
第一节 概述	82
第二节 厚板转换层结构的计算方法	82
第三节 厚板转换层结构的设计和构造要求	95
第六章 箱形转换层结构设计	99
第一节 箱形转换层结构的计算方法	100
第二节 箱形转换层结构的设计和构造要求	104
第七章 巨型框架结构设计	106
第一节 概述	106
第二节 巨型框架结构的计算	110
第三节 框架-剪力墙-巨型框架结构体系的计算	113

第四节	巨型框架结构的设计及构造要求	116
第八章	错列桁架结构体系	118
第一节	概述	118
第二节	错列桁架结构体系考虑空间工作的基本原理	119
第三节	竖向荷载作用下错列桁架结构的内力计算	120
第四节	水平荷载作用下错列桁架结构的内力计算	122
第五节	错列桁架结构体系的设计和构造要求	126
第九章	错列墙梁结构体系	129
第一节	侧向荷载下错列墙梁结构体系的空间工作	130
第二节	侧向荷载下错列墙梁结构的内力计算	130
第三节	错列墙梁结构体系的设计和构造要求	138
第十章	错列剪力墙结构体系	140
第一节	错列剪力墙结构体系考虑空间工作的基本原理	140
第二节	错列剪力墙结构内力的计算方法	141
第三节	错列剪力墙结构体系的受力分析	153
第四节	错列剪力墙结构体系的设计和构造要求	156
第十一章	底部大空间剪力墙结构设计	160
第一节	底部大空间剪力墙结构布置	162
第二节	底部大空间剪力墙结构的计算	165
第三节	底部大空间剪力墙结构的设计与构造要求	169
第十二章	底部大空间上层鱼骨式剪力墙结构设计	177
第一节	概述	177
第二节	底部大空间上层鱼骨式剪力墙结构的试验研究	179
第三节	底部大空间上层鱼骨式剪力墙结构设计和构造要求	184
第十三章	大底盘大空间剪力墙结构设计	188
第一节	概述	188
第二节	大底盘大空间剪力墙结构的试验研究	191
第三节	大底盘大空间剪力墙结构的设计与构造要求	194
第十四章	预应力混凝土转换层结构设计	199
第一节	预应力混凝土梁式转换层	199
第二节	预应力混凝土桁架转换层	205
第三节	预应力混凝土厚板转换层	207
第四节	预应力混凝土转换梁设计实例	208
第十五章	高层建筑转换层结构的动力分析	216
第一节	概述	216
第二节	高层建筑转换层结构动力试验研究	216
第三节	高层建筑转换层结构在水平地震作用下的动力分析	224
第四节	高层建筑转换层结构在竖向地震作用下的动力分析	234
第十六章	高层建筑转换层结构的施工	238

第一节	钢筋混凝土转换层结构的施工	238
第二节	预应力混凝土转换层结构的施工	245
第三节	钢转换层结构的施工	257
第四节	高层建筑转换层结构的施工力学问题	259
第五节	转换层混凝土徐变、收缩和水化热	261
第六节	高层建筑转换层结构施工的几点建议	263
第十七章	高层建筑转换层结构设计中的几个问题	264
第一节	转换层高层建筑结构的抗震等级	264
第二节	转换层上、下结构侧向刚度比的合理取值	264
第三节	转换层楼板平面的内力和变形	267
附录一	错列剪力墙结构内力分析源程序	272
附录二	框支剪力墙内力系数表	297
参考文献		300

第一章 绪 论

第一节 概 述

近年来国内外高层建筑发展迅速，现代高层建筑越建越高、越建越大，其建筑向着体型复杂、功能多样的综合性方向发展，目的在于为人们提供良好的生活环境和工作条件。在同一座建筑中，沿房屋高度方向建筑功能要发生变化，上部楼层布置旅馆、住宅；中部楼层作为办公用房；下部楼层作商店、餐馆和文娱娱乐设施，这种不同用途的楼层需要采用不同形式的结构。

从建筑功能上看，上部需要小开间的轴线布置和需要较多的墙体以满足旅馆和住宅的功能要求；中部则需要小的或中等大小的室内空间，可以在柱网中布置一定数量的墙体以满足办公用房的功能要求；下部需要尽可能大的自由灵活的室内空间，要求柱网大、墙体尽量少，以满足商店、餐馆等公用设施的功能要求。

从结构受力上看，由于高层建筑结构下部楼层受力很大，上部楼层受力较小，正常的结构布置应是下部刚度大，墙体多、柱网密，到上部渐渐减少墙、柱的数量，以扩大柱网。这样，结构的正常布置与建筑功能对空间的要求正好相反（图 1-1）。因此，为满足建筑功能的要求，结构必须进行“反常规设计”，即将上部布置小空间，下部布置大空间；上部布置刚度大的剪力墙，下部布置刚度小的框架柱。为了实现这种结构布置，就必须在结构转换的楼层设置水平转换构件，即转换层结构（Transfer Floor Structure）。一般而言，当高层建筑下部楼层竖向结构体系或形式与上部楼层差异较大，或者下部楼层竖向结构轴线距离扩大或上、下部结构轴线错位时，就必须在结构改变的楼层布置转换层结构。可以说，这类建筑已成为现代高层建筑发展的一大趋势，尤其是现代大城市用地紧张以及复杂的立体交叉更是如此。

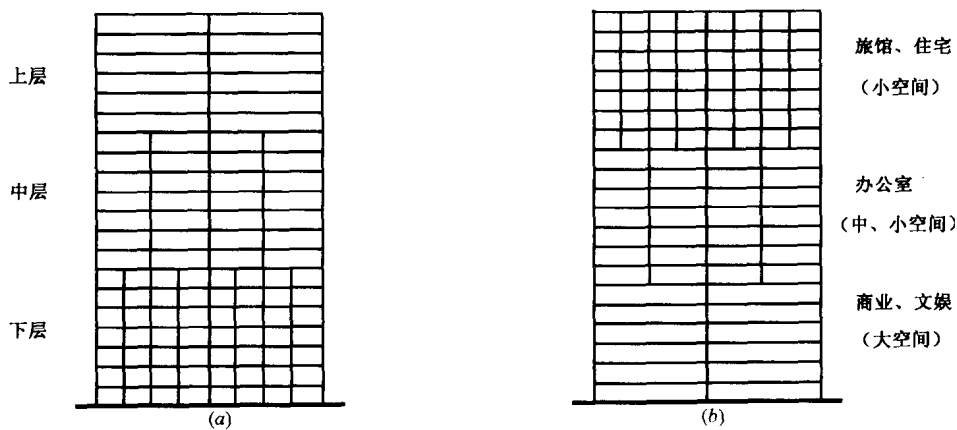


图 1-1 多功能建筑中结构正常布置与建筑功能的矛盾示意图

(a) 结构的正常布置；(b) 建筑功能对空间的要求

第二节 转换层的功能及其分类

一、转换层的建筑功能

在高层建筑中设置转换层可以实现以下建筑功能：

1. 提供大的室内空间

在传统的剪力墙结构中，剪力墙间距小，适合于布置旅馆和住宅的客房层，当需要在底部布置商店、会议室、餐馆、文化娱乐及其他需要较大空间的公用房间时，可以将部分剪力墙通过转换层变为框支剪力墙，用框架柱代替剪力墙，形成大空间剪力墙结构以满足建筑功能的要求。大空间剪力墙结构可以在建筑物下部一层或多层形成大空间。图 1-2 为形成室内大空间的几种方法。

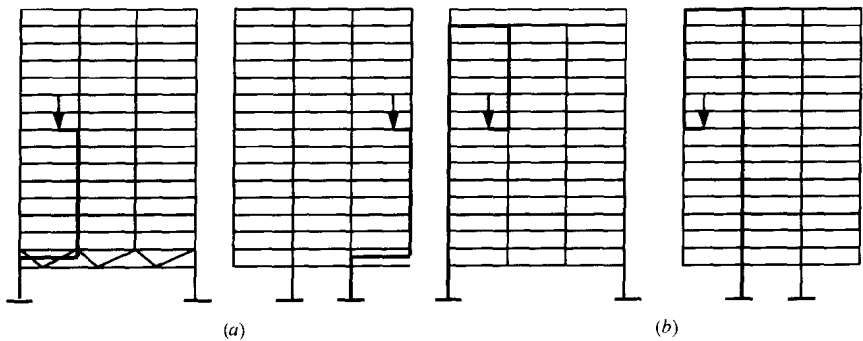


图 1-2 内部大空间的形成
(a) 承托式；(b) 吊挂式

2. 提供大的出入口

一般而言，筒中筒结构的内筒从上到下不需作什么变化，需要转换的主要是外筒。由于外筒筒常常布置 3~4m 的柱距，无法为建筑物提供较大的入口，为了布置大的入口，要求在底部布置水平转换构件以扩大柱距。此时，转换构件沿建筑平面周边柱列或角筒布置。外筒筒的转换层可以采用大梁、桁架、拱等形式的转换结构。

二、转换层按结构功能的分类

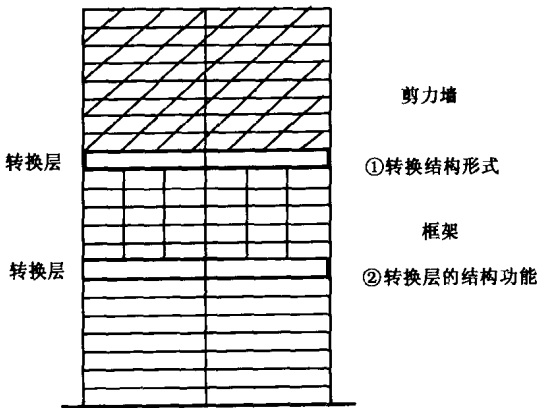


图 1-3 转换层的结构功能

从结构角度看，转换层主要实现以下结构转换：

1. 上层和下层结构类型的转换

转换层将上部剪力墙转换为下部框架，以创建一个较大的内部自由空间。这种转换层广泛用于剪力墙结构和框架-剪力墙结构中，称这种类型的转换层为第Ⅰ类转换层（图 1-3 中的转换层①）。

广州金鹰大厦（图 1-4），地下 1 层，地上 33 层，建筑总高度 $H=110.9\text{m}$ 。第 4 层为转换层，4 层以上为大开间剪力墙结构，1~4 层部分剪力墙转换为框支柱，形成较大室内空间以设置公共部分。框支梁截面尺寸 $1.4\text{m}\times 2.8\text{m}$ 。

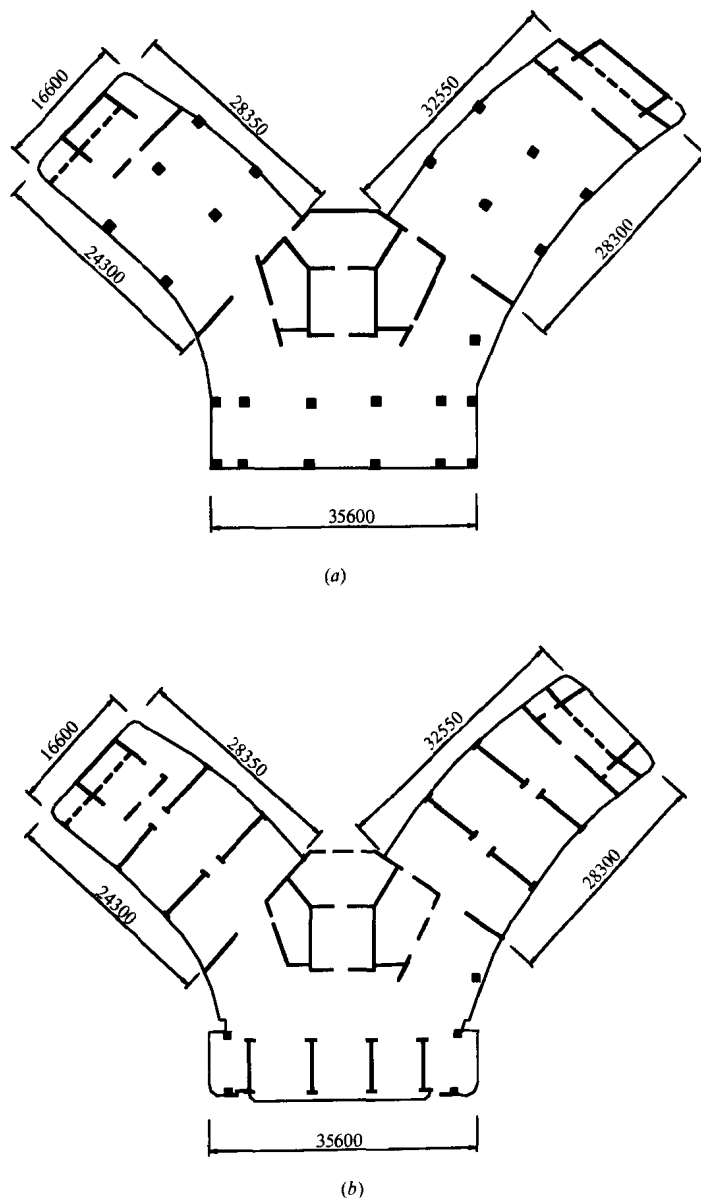


图 1-4 广州金鹰大厦
(a) 1~3 层平面；(b) 标准层平面

北京军队离休干部活动中心(图 1-5), 地下 2 层, 地上 21 层, 建筑总高度 $H=76.8\text{m}$ 。5 层以上为大开间剪力墙结构, 1~5 层部分剪力墙转换为框支柱, 形成较大室内空间以设置公共部分。转换梁截面尺寸 $0.4\text{m}\times 1.2\text{m}$, 框支柱截面尺寸 $0.6\text{m}\times 0.8\text{m}$ 及 $D=0.9\text{m}$ 。转换层楼板厚 180mm , 一般层楼板厚 130mm 。

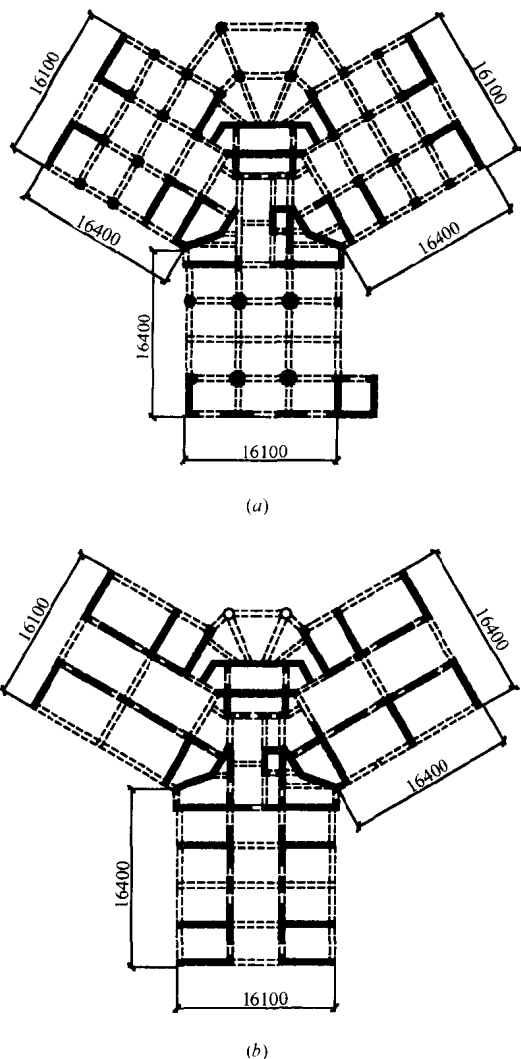


图 1-5 北京军队离休干部活动中心
(a) 1~5 层平面; (b) 标准层平面

2. 上层和下层柱网、轴线的改变

转换层上、下层的结构形式没有改变, 通过转换层使下部柱的柱距扩大, 形成大柱网。这种转换层常用于外框筒的底部形成大入口的情况, 称这种类型的转换层为第Ⅱ类转换层(图 1-3 中的转换层②)。

香港新鸿基中心(图 1-6), 51 层, 建筑物总高 $H=178.6\text{m}$, 筒中筒结构, 5 层以上办公楼, 1~4 层为商业用房。外框筒柱距 2.4m , 无法设置底层入口, 采用 $2.0\text{m}\times 5.5\text{m}$ 的

预应力混凝土大梁进行结构轴线转换，将底层框筒柱距扩大为 16.8m 和 12m。

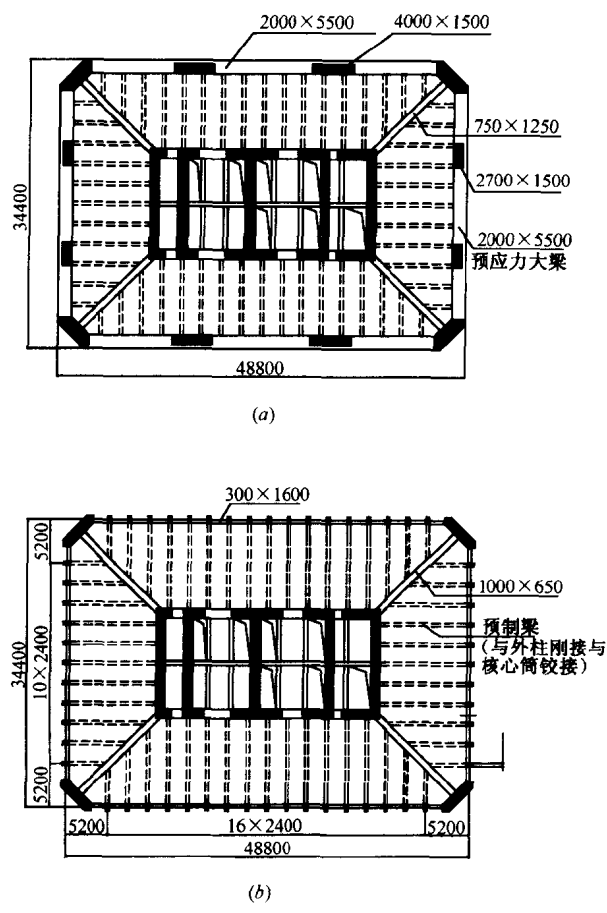


图 1-6 香港新鸿基中心
(a) 五层平面；(b) 标准层平面

南京新世纪广场工程 A 楼（图 1-7），64 层（含 2 层地下室），采用框架外筒和剪力墙

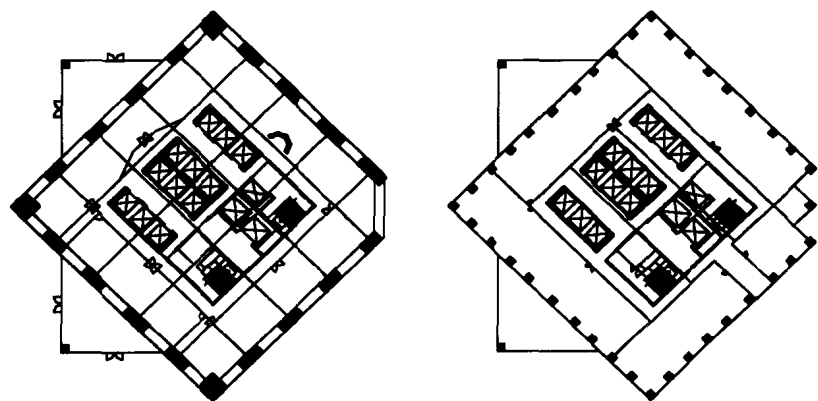
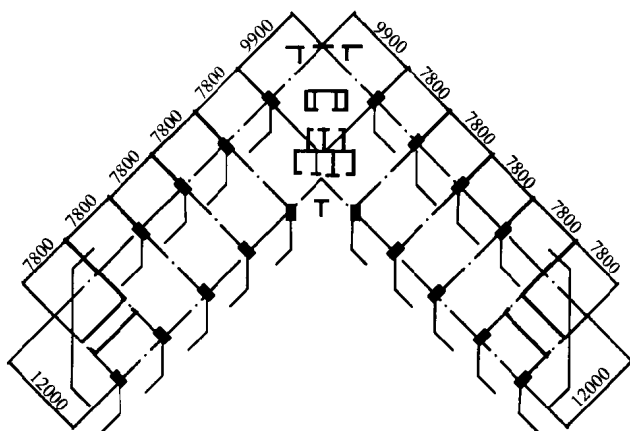


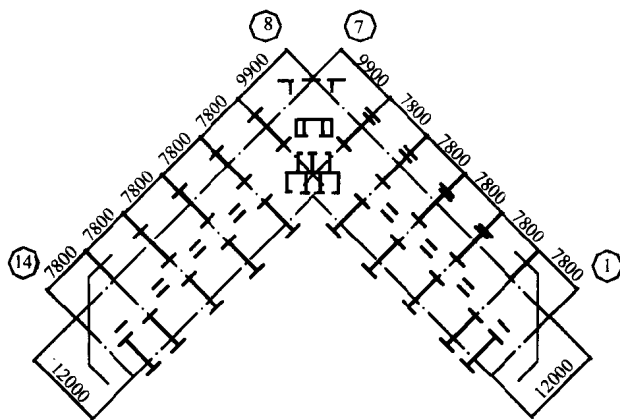
图 1-7 南京新世纪广场
(a) 转换层以下平面；(b) 转换层以上平面

3. 同时转换结构形式和结构轴线位置

深圳华侨大酒店(图 1-8), 地下 1 层, 地上 28 层, 建筑总高度 $H=103.1\text{m}$ 。第 5 层为转换层, 6 层以上为客房, 大开间剪力墙结构, 纵向四轴线内廊式布置, 下部 1~5 层则改为单跨框架, 即纵向变为双轴线。框支梁截面尺寸 $1.7\text{m}\times 2.5\text{m}$, 框支柱截面尺寸 $1.4\text{m}\times 2.3\text{m}$ 、 $1.4\text{m}\times 2.75\text{m}$ 、 $1.4\text{m}\times 1.6\text{m}$ 。1~5 层墙厚 500mm, 6 层以上墙厚 200mm、300mm、400mm。



(a)



(b)

(a) 1~5 层平面; (b) 6~28 层平面

第三节 转换层的主要结构形式

从转换层结构的概念来看,建筑物上部结构与地基间的基础,广义上讲也是一种转换层结构。因此,钢筋混凝土梁式、板式基础(包括柱下条形基础、交梁基础、筏形基础以及箱形基础)的结构形式同样可作为建筑物上部结构之间的转换层结构形式。

转换层的主要结构形式有:梁-柱体系(图 1-9a);桁架体系:空腹桁架(图 1-9b)、斜杆桁架(图 1-9c)、混合桁架(图 1-9d);墙梁体系(图 1-9e、f)等。

它们可以是常规的平面体系,也可以是刚度很大的空间体系:格构式体系(图 1-9g);筒体体系(图 1-9h、i);箱梁体系(图 1-9j)等。

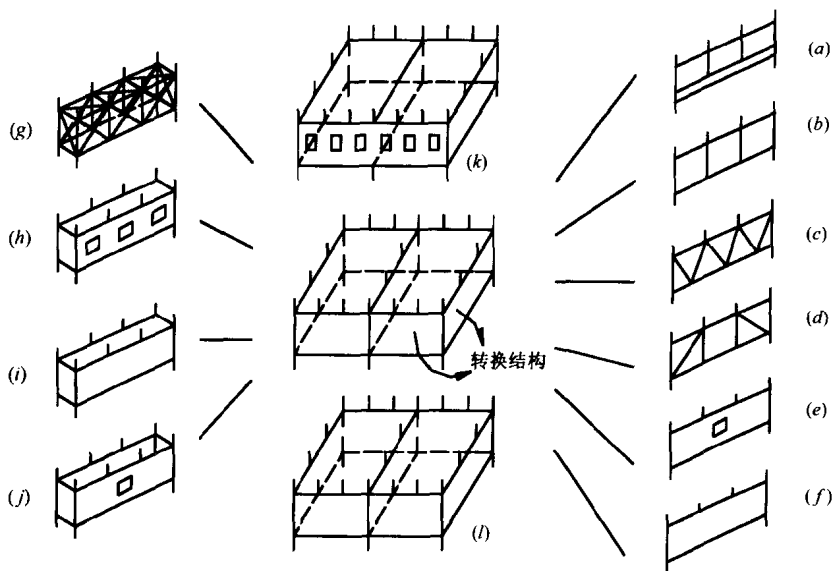


图 1-9 传递竖向荷载的转换层结构体系

1. 底部数层形成大空间的转换层

底部数层要求大空间是最常见的情况,这时可以有两种基本做法:

(1) 转换层结构跨越底层建筑平面的两端,把荷载传到几个支撑点上,这一做法称为桥式结构。

(2) 转换层中部支撑在一个强劲的筒体上,而四周向外悬挑,由此创造底部数层的大空间(层),使之成为一个大商场、停车场、展览厅或者城市广场的一部分。

目前在工程中应用转换层的主要结构形式有:梁(墙梁)式、空腹桁架式、斜杆桁架式、箱形和板式等(图 1-10)。

梁式转换层应用最广泛,它设计和施工简单,受力明确,一般广泛应用于底部大空间剪力墙结构体系中。转换梁可沿纵向或横向平行布置;当需要纵、横向同时转换时,可采用双向梁的布置。

单向托梁、双向托梁连同上、下层较厚的楼板共同工作,可以形成刚度很大的箱形转

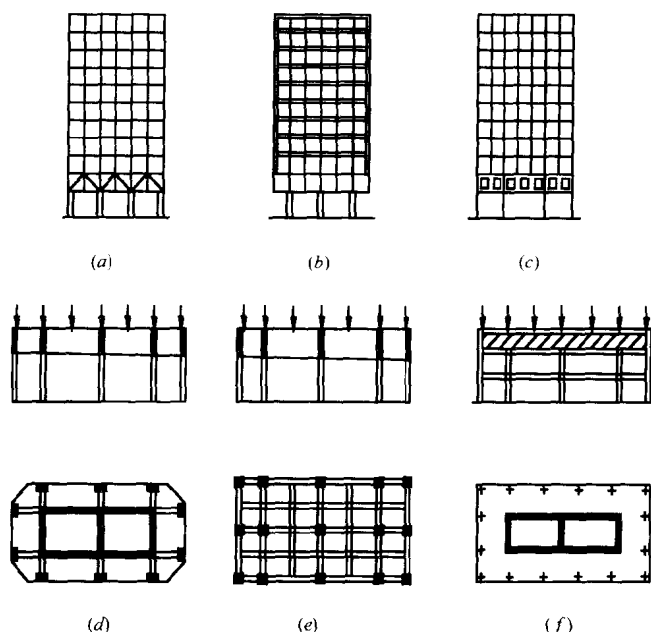


图 1-10 内部大空间转换层的结构形式

(a) 桁架；(b) 箱形；(c) 空腹桁架；(d) 托梁；(e) 双向梁；(f) 板式

换层（图 1-10b）。箱形转换层在铁路工程中是常见的结构形式，用于房屋结构则很少，北京市艺苑假日皇冠饭店采用了箱形转换层。

当上、下柱网轴线错开较多，难以用梁直接承托时，则需要做成厚板，形成板式承台式转换层（图 1-10f）。板式转换层的下层柱网可以灵活布置，毋须与上层结构对齐，但自重很大，材料耗用较多。

采用板式转换层结构的实际工程有：珠海香洲湾花园，深圳皇岗花园大厦，深圳市蛇口工业区华采花园，深圳市佳宁娜友谊广场，深圳市福田彩虹城大厦，香港绿杨新村，南京姜子巷小区商住楼以及国外的斯洛伐克首都布拉格基辅饭店等。

转换层采用深梁、实心厚板或箱形厚板，当塔楼面积较小时，转换层的刚度很大，可以视为刚性转换层；而当采用空腹杆桁架或斜腹杆桁架，且楼层面积较大时，转换层可视为弹性转换层。

2. 外部形成大柱网的转换层

一般来说，筒中筒结构的内筒从上到下不需作什么变化，需要转换的主要是外筒。由于外框筒常常布置 3~4m 的柱距，为了布置大的入口，要求在底部布置水平转换构件以扩大柱距。此时，转换构件沿平面周边柱列或角筒布置。

外筒的转换主要通过转换梁（或墙梁）（图 1-11a）、转换桁架（图 1-11b）、转换空腹桁架（图 1-11c）、多梁转换层（图 1-11d）、合柱（图 1-11e）以及转换拱（图 1-11f）等进行。目前国内最常见的做法是转换梁（墙梁），应用桁架转换层的实际工程有：上海龙门宾馆、铁路大厦，南京新世纪广场工程，温州医学院第一附属医院病房综合楼工程以及北京香格里拉饭店等。

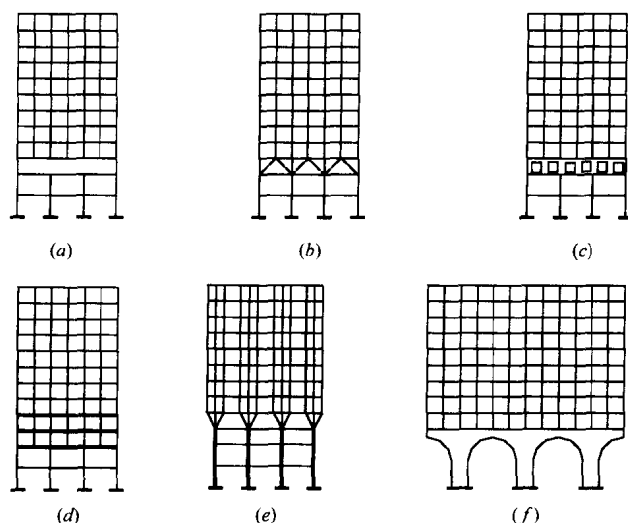


图 1-11 外部形成大入口的转换层

(a) 转换梁（墙梁）；(b) 转换桁架；(c) 转换空腹桁架；(d) 多梁转换；(e) 合柱；(f) 转换拱

第四节 转换层结构在高层建筑中的布置原则

一、结构转换层在高层建筑中的布置

一般而言，当高层建筑下部楼层竖向结构体系或形式与上部楼层差异较大，或者下部楼层竖向结构轴线距离扩大或上、下部结构轴线错位时，就必须在结构改变的楼层布置水平转换构件，即结构转换层。因此，转换结构可根据其建筑功能和结构传力的需要，沿高层建筑高度方向一处或多处灵活布置（也可根据建筑功能的要求，在楼层局部布置转换层），且自身的这个空间既可作为正常使用楼层，也可作技术设备层，但应保证转换层有足够的刚度，以防止沿竖向刚度过于悬殊。

当建筑物较高柔（例如框架-筒体结构），整体刚度有可能不足时，在结构竖向的一定部位设置水平刚性楼层（即加强层），人为地加强结构的整体弯曲效应，这时转换层可同建筑物的加强层、设备层等统一考虑。

对大底层多塔楼的商住建筑，塔楼的转换层宜设置在裙房的屋面层，并加大屋面梁、板尺寸和厚度，以避免中间出现刚度特别小的楼层，减小震害。

对部分框支剪力墙高层建筑结构，其转换层的位置，7度区不宜超过第5层；8度区不宜超过第3层。转换层位置超过上述规定时，应作专门研究并采取有效措施。

沿高层建筑方向转换结构可以是分段布置，形成大框架套小框架的巨型框架结构（Large-Frame Structures）（图 1-12a）；可以间隔布置，形成错列墙梁或桁架式框架结构（Staggered Wall-Beam or Truss Structures）（图 1-12b、c），这种情况是要求没有支撑障碍的宽敞内部空间，它必须采用大跨度楼盖结构，即采用一组三层水平构件的梁系统，由转换大梁来支撑主梁，再由主梁支撑次梁。这里的转换大梁起到解决大跨度楼盖和改变各主梁间距的作用，与用它来改变柱列是同一实质；错列剪力墙结构（Staggered Shear Panel Systems）（图 1-12d）；也可设置于建筑物的顶部，悬挂下部结构的荷载；叠层承托桁架结

构（图 1-10e）及多梁承托结构（图 1-12f）。

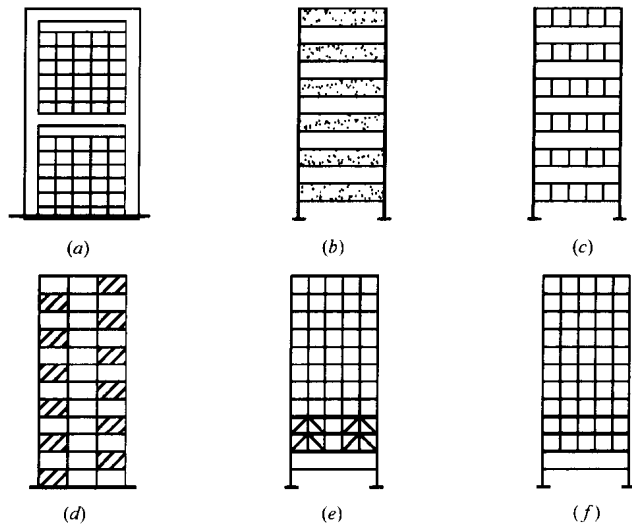


图 1-12 任意层形成大空间或改变柱列的转换层

(a) 巨型框架结构；(b) 间隔墙梁结构；(c) 间隔桁架结构；
(d) 间隔剪力墙结构；(e) 叠层承托桁架结构；(f) 多梁承托方案

二、转换结构构件在平面上的布置

扩大底层入口，过渡上、下层柱列的疏密不一，把水平转换构件布置在平面周边柱列或角筒上(图 1-13a、b)。内部要求尽量敞开自由空间，转换梁可沿横向平行布置(图 1-13c)；转换梁可沿纵向平行布置(图 1-13d)；当需要纵横向同时转换时，采用双向梁的布置(图 1-13e)；间隔布置，并与相邻层错开布置(图 1-13f)；顺建筑平面柱网变化而合理布置(图 1-13g)；相邻层互相垂直布置(图 1-13h)。围绕巨大芯筒在底层四周自由敞开时，大梁布置在两个方向的剪力墙上，并向两端悬挑(图 1-13i)；必要的话可对角线布置(图 1-13j)；建筑平面及芯筒为圆形时，可放射性布置(图 1-13k)。上述布置方案的共同点都必须与相邻层柱网统一考虑。

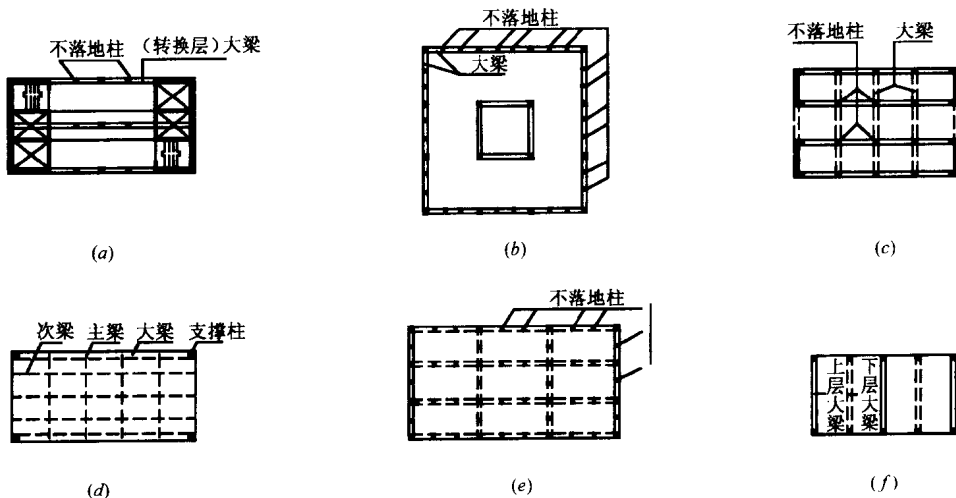


图 1-13 转换层的平面布置（一）