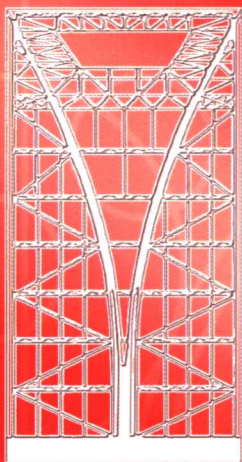




新型高层结构系列

高层混合结构 设计与施工



沈蒲生 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TU973/59

2008

新型高层结构系列

高层混合结构设计与施工

沈蒲生 编著

机械工业出版社

本书是新型高层结构系列丛书中的一本。

全书简要介绍了高层混合结构的定义、特点、应用与研究简况,主要对高层混合结构模型抗震性能试验与建筑物动力性能实测、高层混合结构的抗震分析方法、影响高层混合结构抗震性能的因素分析、高层混合结构竖向变形差分析、节点刚性对高层混合结构受力性能的影响等问题进行了详细介绍与分析。此外,还介绍了高层混合结构的设计与施工实例,并且对高层混合结构设计施工提出了建议。

本书可供从事建筑工程设计、施工人员使用,也可供高等院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高层混合结构设计施工/沈蒲生编著. —北京:机械工业出版社, 2008. 1

(新型高层结构系列)

ISBN 978-7-111-23085-4

I. 高… II. 沈… III. ①高层建筑-结构设计②高层建筑-工程施工 IV. TU97

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 194744 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:张晶 责任校对:李秋荣

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2008 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 14.75 印张 · 541 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-23085-4

定价: 46.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68327259

封面无防伪标均为盗版

前 言

高层建筑是社会需求与经济繁荣和科技进步的产物。随着对高层建筑使用功能要求的日趋复杂，高层建筑在数量日渐增多、高度不断提升的同时，结构形式也在发生变化。高层混合结构便是顺应这种变化而发展起来的新的结构形式之一。

高层混合结构是指由钢框架或型钢混凝土框架与钢筋混凝土筒体（或剪力墙）所组成的共同承受竖向和水平作用的高层建筑结构。与不同的材料在构件层面上的结合或不同材料的构件在结构层面上的结合相比，高层混合结构这种不同材料的结构之间的结合，是设计理念上的更大的升华。因此，这种结构有着更加广泛的应用前景。我国已经建成的 10 栋最高的建筑中，大部分采用了这种结构体系。正在建设的更高建筑中，也普遍采用这种结构体系。最近十多年来，我国工程技术人员和科技工作者对高层混合结构的设计、施工和理论研究等方面做了大量的工作，积累了许多宝贵的经验，但是也还有许多问题需要进一步探讨。迄今为止，还没有一本专门地、比较系统地介绍这种结构的书籍。为了使读者对高层混合结构的受力性能和设计、施工方法有一些了解，特编写此书。

本书简要介绍了高层混合结构的定义、特点、应用与研究简况，主要对高层混合结构模型抗震性能试验与建筑物动力性能实测、高层混合结构的抗震分析方法、影响高层混合结构抗震性能的因素分析、高层混合结构竖向变形差分析、节点刚性对高层混合结构受力性能的影响等进行了详细介绍。此外，还介绍了高层混合结构的工程实例，并且对高层混合结构的设计与施工提出了建议。书中除了介绍了我国工程技术人员和科技工作者部分有代表性的成果之外，还介绍了我和我的研究生龚胡广、方辉、夏心宏、刘哲锋、陈伯望、孟焕陵、胡习兵等人在国家自然

IV

科学基金资助下所做的部分工作成果。

本书是作者所写新型高层结构系列丛书之一。由于我们的水平所限，错误和不妥之处，欢迎批评指正。

沈蒲生

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 高层混合结构的定义	1
1.2 高层混合结构的特点	6
1.3 高层混合结构的工程应用状况	7
1.3.1 高层混合结构在国外的应用状况	7
1.3.2 高层混合结构在我国的应用状况	13
1.4 高层混合结构的研究状况	24
1.5 高层混合结构中需要重视的几个问题	27
1.5.1 抗震性能问题	27
1.5.2 抗震计算模型问题	29
1.5.3 施工过程和混凝土收缩徐变等因素产生的竖向变形差对结构受力性能的影响问题	29
1.5.4 钢框架或型钢混凝土框架与混凝土筒体或混凝土剪力墙的协同工作问题	29
第 2 章 高层混合结构模型抗震性能试验与建筑物动力性能实测	31
2.1 反复荷载试验	31
2.1.1 单层框架-剪力墙平面模型低周反复荷载试验	31
2.1.2 4层框剪混合结构模型低周反复荷载试验	37
2.1.3 23层混合结构模型动力特性试验	50
2.2 拟静力试验	58
2.3 拟动力试验	66
2.4 振动台试验	79
2.4.1 沪东造船厂综合技术中心大楼结构模型振动台试验	79
2.4.2 上海世茂国际广场大厦结构模型振动台试验研究	86
2.4.3 北京 LG 大厦结构模型振动台试验	94
2.4.4 上海环球金融中心整体结构振动台试验	101
2.5 建筑物动力性能实测	102
2.5.1 深圳地王大厦抗振抗风性能实测	102
2.5.2 上海金茂大厦结构动力特性实测	108

第3章 高层混合结构的抗震分析方法	116
3.1 抗震分析方法的发展概况	116
3.2 钢框架和混凝土剪力墙的单元分析模型	118
3.3 高层混合结构的分析模型	130
3.3.1 模型类型	130
3.3.2 阻尼矩阵	131
3.3.3 $P-\Delta$ 效应	138
3.3.4 输入地震波的选择	140
3.3.5 非线性问题的数值解法	141
3.3.6 非线性静力分析方法	142
3.4 几个简易计算模型及计算实例	142
3.4.1 并联双列分层多质点模型	142
3.4.2 平面杆系模型	149
3.4.3 半刚架-竖向悬臂杆-竖向受载杆模型	153
3.4.4 分区耦合模型	160
3.4.5 竖向弯曲杆-剪切杆模型	168
3.5 改进的多模态静力推覆分析方法	173
3.5.1 改进的多模态静力推覆分析方法介绍	173
3.5.2 结构的破坏准则及损伤模型	183
3.5.3 结构破坏机制	187
3.5.4 算例分析	188
3.6 常用结构分析软件	195
第4章 影响高层混合结构抗震性能的因素分析	196
4.1 结构选型与布置的影响	196
4.2 楼板厚度的影响	202
4.3 底柱加强的影响	206
4.4 核心筒厚度的影响	212
4.5 剪力墙分缝的影响	216
4.6 轴向变形的影响	222
4.7 阻尼模型的影响	227
4.8 地震动参数的影响	234
4.9 水平加强层的影响	241
第5章 高层混合结构竖向变形差分析	247
5.1 竖向变形差分析的重要性	247

5.2 竖向荷载下考虑施工过程的竖向变形差分析	249
5.2.1 一次加载方法	249
5.2.2 近似模拟施工过程方法	249
5.2.3 精确模拟施工过程方法	250
5.2.4 高层框架结构算例	252
5.2.5 高层混合结构算例	266
5.3 考虑施工过程和混凝土徐变与收缩的竖向变形差计算	270
5.3.1 引言	270
5.3.2 考虑施工过程和混凝土徐变收缩影响的有限元方法	271
5.3.3 考虑施工过程和混凝土徐变收缩影响的实用分析方法	273
5.4 减小竖向变形差的工程对策	294
5.4.1 设计方面	294
5.4.2 施工方面	298
第6章 节点刚性对高层混合结构受力性能的影响	315
6.1 节点按刚性的分类	315
6.2 钢梁与钢柱连接节点	315
6.3 钢梁(钢桁架)与混凝土墙连接节点	340
6.3.1 钢梁与混凝土墙节点低周反复加载试验	340
6.3.2 钢桁架(钢梁)与混凝土墙间单剪板连接的约束弯矩	349
6.4 节点刚性对高层混合结构受力的影响分析	355
第7章 高层混合结构的工程实例及设计与施工建议	375
7.1 工程设计与施工实例	375
7.1.1 设计实例	375
7.1.2 施工实例	439
7.2 设计与施工建议	447
7.2.1 设计建议	447
7.2.2 施工建议	455
参考文献	457

第 1 章 绪 论

1.1 高层混合结构的定义

我国《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)规定,高层混合结构是指由钢框架或型钢混凝土框架与钢筋混凝土筒体(或剪力墙)所组成的共同承受竖向和水平作用的高层建筑结构^[1]。这是最近十多年来发展很快的一种新的结构形式。为了使读者对高层混合结构有较为全面的了解,本书将根据《规程》(JGJ 3—2002)的定义对其进行讨论。图 1.1 是钢框架-钢筋混凝土核心筒的高层混合结构平面示意图。图 1.2 是型钢混凝土框架-钢筋混凝土核心筒的高层混合结构平面示意图。图 1.3 是主框架为型钢混凝土框架、次框架为钢框架-钢筋混凝土核心筒的高层混合结构平面示意图。图 1.4 是外部为钢筋混凝土框筒,内部为钢框架的高层混合结构平面示意图。图 1.5 是方钢管框架-钢筋混凝土剪力墙的高层混合结构平面示意图。

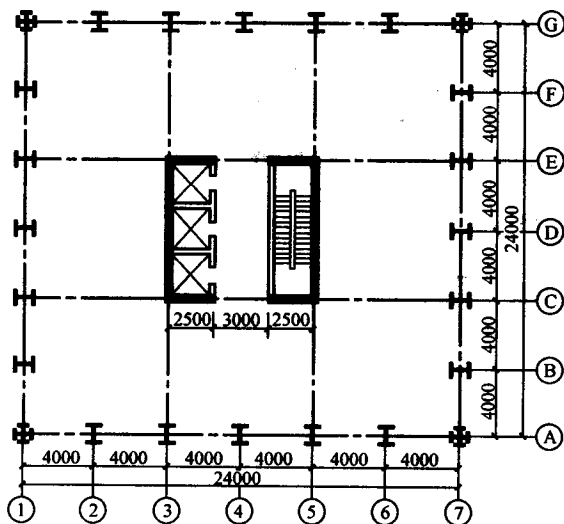


图 1.1 钢框架-钢筋混凝土核心筒高层混合结构平面示意图

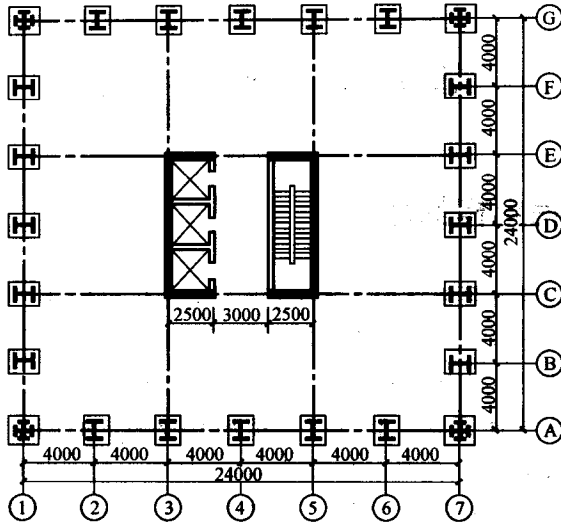


图 1.2 型钢混凝土框架-钢筋混凝土核心筒高层混合结构平面示意图

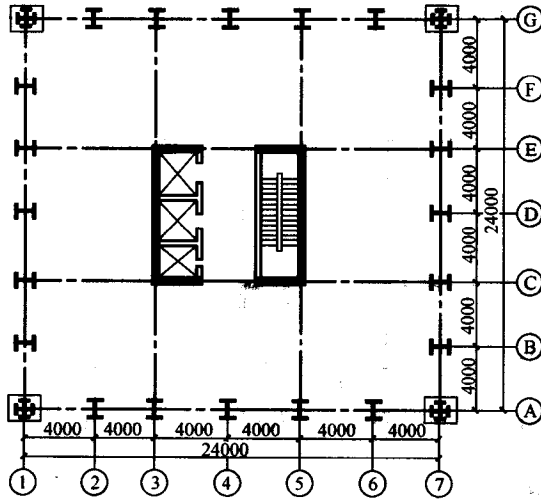


图 1.3 主框架为型钢混凝土框架、次框架为钢框架-钢筋混凝土核心筒高层混合结构平面示意图

图 1.6 和图 1.7 分别是型钢混凝土梁和型钢混凝土柱的截面形式。图 1.8 为日本不同时期型钢混凝土构件截面形式的变化。

高层混合结构的楼盖可以采用钢筋混凝土楼盖，也可以采用钢楼盖或钢-混凝土组合楼盖。图 1.9 ~ 图 1.12 为钢-混凝土组合楼盖的构造图^[116]。

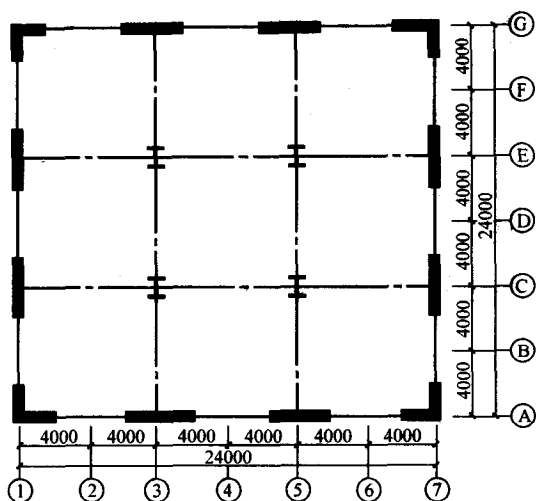


图 1.4 外部为钢筋混凝土框筒，内部为钢框架，
高层混合结构平面示意图

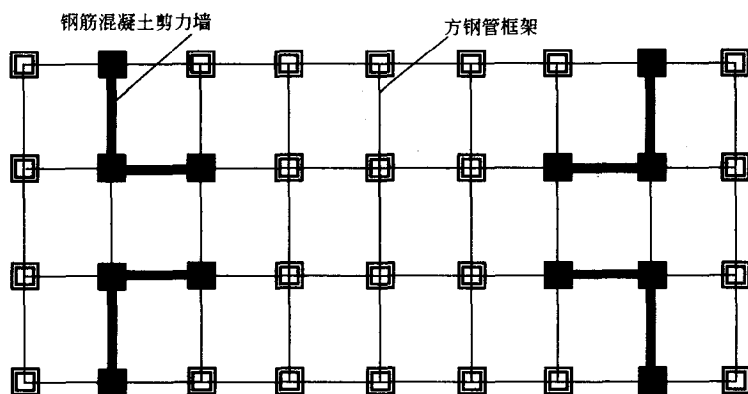


图 1.5 方钢管框架-钢筋混凝土剪力墙高层混合结构平面示意图

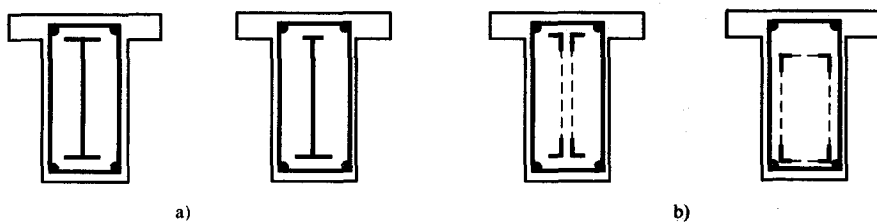


图 1.6 型钢混凝土梁截面形式

a) 实腹式型钢混凝土梁截面 b) 空腹式型钢混凝土梁截面

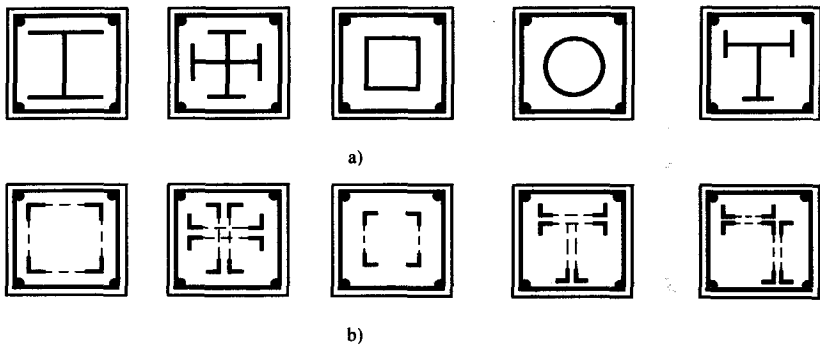


图 1.7 型钢混凝土柱截面形式

a) 实腹式型钢混凝土柱截面 b) 空腹式型钢混凝土柱截面

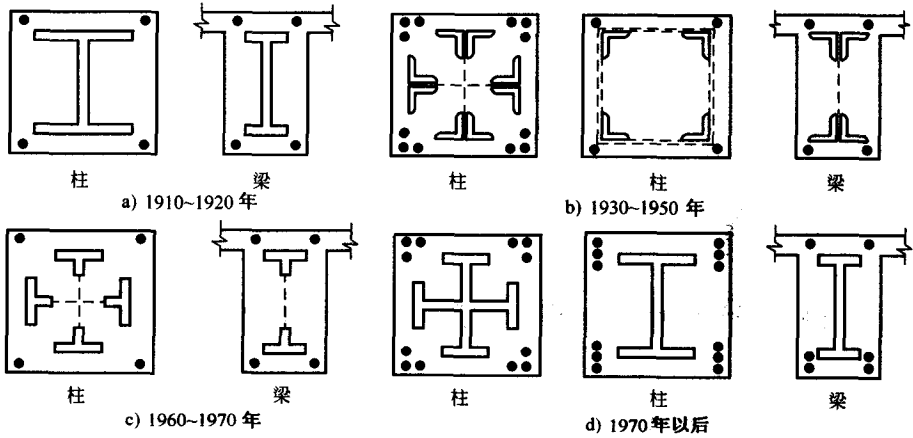


图 1.8 日本型钢混凝土构件截面形式的变化

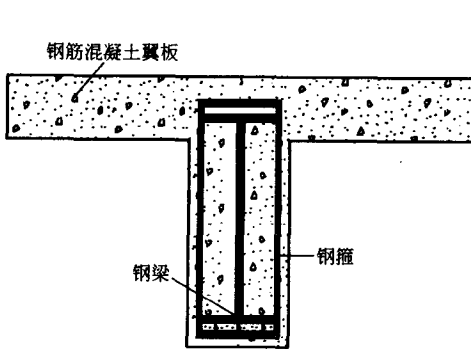


图 1.9 外包混凝土的组合梁

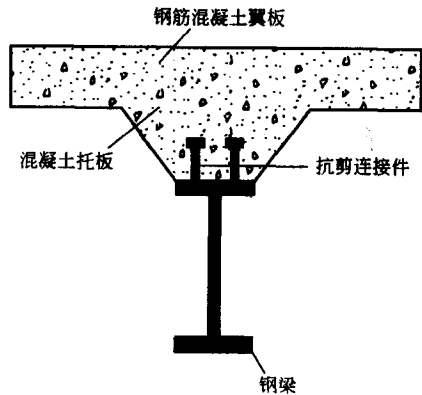


图 1.10 钢梁外露的组合梁

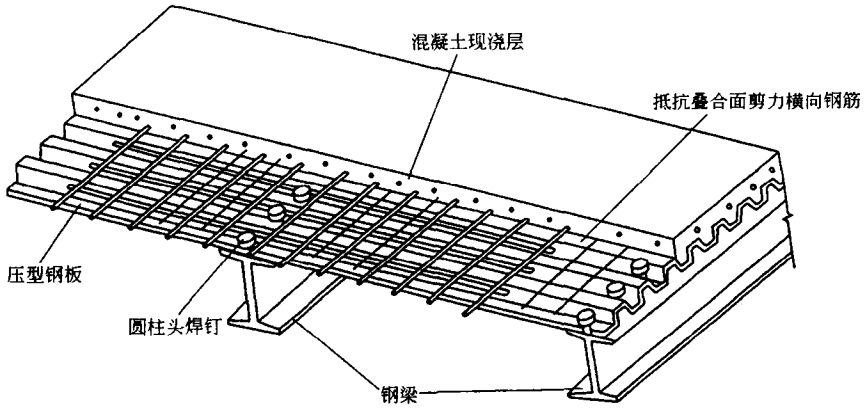


图 1.11 压型钢板组合楼板的构造

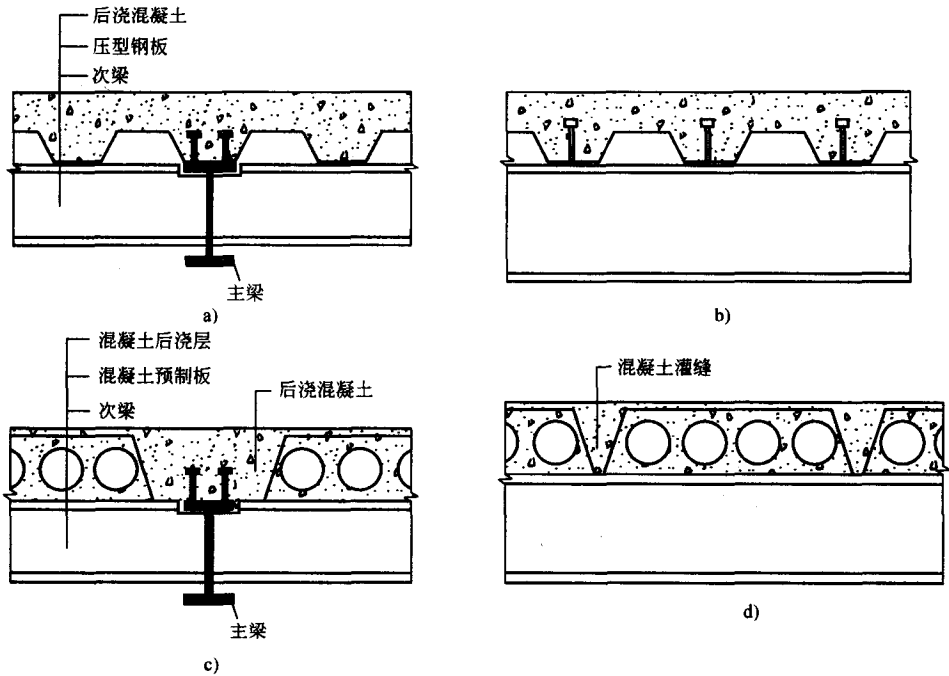


图 1.12 组合梁的翼板

- a) 压型钢板楼板的组合梁，肋平行于主梁 b) 同图 a，肋垂直于主梁 c) 预制
钢筋混凝土板，板跨平行于主梁 d) 预制钢筋混凝土板，板跨垂直于主梁

1.2 高层混合结构的特点

如前所述,高层混合结构是由钢框架或型钢混凝土框架与钢筋混凝土筒体(或剪力墙)组合而成。因此,它具有这两种结构某些共同的特性,但是又是优于高层钢结构与高层混凝土结构的一种结构。具体地说,它具有以下特点:

(1) 抗侧移刚度比钢结构大,延性比混凝土结构好。钢结构具有强度高,延性好,自重轻,结构体积小等优点。但是,它的抗侧移刚度小,在风荷载和地震作用下,结构将产生较大的侧移和二阶效应。高层建筑中,风荷载和地震作用对结构的内力和变形起主导作用。因此,抗侧移刚度小,对结构的正常使用与安全是不利的。钢筋混凝土结构的抗侧移刚度大,但延性较小,自重较大,结构的体积也较大。高层混合结构的抗侧移刚度和结构延性介乎二者之间,而且有多道抗震设防体系,对结构的抗震有利。

(2) 用钢量比钢结构省,造价比钢结构低。高层混合结构采用钢筋混凝土筒体或钢筋混凝土剪力墙抵抗水平作用,比采用带支撑的钢框架抵抗水平作用的用钢量省,从而降低造价。据文献[2]介绍,如仅考虑结构造价,纯钢结构约是混凝土结构造价的2倍,钢-混凝土结构约是混凝土结构造价的1.5倍。但是,上部结构造价占工程总造价的比例很小,而采用钢结构、钢-混凝土结构或混凝土结构相互间的结构费用差价占工程总投资的比例更小,一般不到工程总投资的4%。

(3) 耐久性和耐火性比钢结构好。钢结构容易锈蚀,要定期进行油漆与防护,增加了日常维护工作量与费用。钢结构在持续的高温下容易软化甚至熔化,危及结构的安全。高层混合结构采用钢筋混凝土筒体或钢筋混凝土剪力墙承受部分竖向荷载和大部分水平作用,对结构的耐久性和耐火性是有利的。特别是当采用型钢混凝土框架时,对结构的耐久性和耐火性十分有利。

(4) 施工速度比混凝土结构快。混合结构通常先施工钢筋混凝土核心筒体或钢筋混凝土剪力墙,后施工钢框架或型钢混凝土框架,使二者之间保持几层或十几层的差距。钢筋混凝土筒体或钢筋混凝土剪力墙通常采用滑模施工,钢结构构件通常在工厂制作,运至现场安装,而且可以进行立体化施工。施工速度比全现浇的钢筋混凝土结构速度快很多。

(5) 结构所占面积比混凝土结构小,结构的自重比混凝土结构轻。根据文献[2]的介绍,一般高层钢结构柱的截面面积占总建筑面积的3%,而高层混凝土结构墙和柱的截面面积占总建筑面积的7%~9%。高层混合结构墙和柱的

截面面积占总建筑面积的百分率介于二者之间。因此,采用高层混合结构可增加建筑的有效使用面积。此外,钢材虽然单位体积的重量比混凝土大,但是,钢结构构件的截面面积比混凝土结构构件小很多,因此,高层混合结构的自重比高层混凝土结构的轻,有利于节约材料,有利于结构抗震。

上海静安希尔顿酒店是我国较早建造的高层混合结构房屋,该建筑地上43层,高143.6m,型钢用量仅 $69\text{kg}/\text{m}^2$,钢筋用量仅 $64\text{kg}/\text{m}^2$ 。表1.1是上海民用建筑设计院对上海静安希尔顿酒店三种结构方案所做的技术经济分析^[3]。由表1.1可见,高层混合结构更符合我国的经济、技术、材料及施工条件,是一种经济、有效的结构体系。

表 1.1 上海静安希尔顿酒店三种结构方案技术经济分析

指标	项 目	钢-混结构	钢结构	钢筋混凝土结构
结构 自重	总重量/t	66 434	54 626	94 111
	每平方米结构重量/ (t/m^2)	1.28	1.05	1.80
	百分率(%)	100	82	142
施工 工期	上部结构工期/d	322	242	434
	比率	1	0.75	1.47
建筑使 用空间	结构面积/ m^2	1.730	1.320	4.700
	结构面积/总面积(%)	3.3	2.5	9.0
用钢量	总用钢量/ (kg/m^2)	133	165	—
	型钢用量/ (kg/m^2)	69	141	—
	钢筋用量/ (kg/m^2)	64	24	—
施工 技术	节点电焊量(%)	100	250	—
	高强螺栓量(%)	100	200	—

1.3 高层混合结构的工程应用状况

1.3.1 高层混合结构在国外的应用状况

高层混合结构始建于美国。1972年,美国芝加哥建造的 Gateway III Building (36层,137m)被认为是世界上最早建成的高层混合结构。随后,这种结构在美国、欧洲、日本、马来西亚、新加坡等国得到推广。法国巴黎1973年建成的 Main Mantparnasse 大楼(64层)以及 Anconda Tower (40层)、英国伦敦的 The

National West Minster Bank Building、捷克的 Guezla 大厦 (36 层)、日本神奈川县 1992 年建成的海老名塔楼 (25 层)、马来西亚的彼得罗纳斯大厦 (95 层, 450m)、新加坡的海外联合银行中心 (Overseas Union Bank Center, 64 层) 以及美国西雅图 1985 年建成的 Bank of America Center (76 层) 等, 都属于高层混合结构。文献 [4] 介绍了国外一部分高层混合结构的构成方式 (表 1.2)。图 1.13 ~ 图 1.17 为国外一部分高层混合结构的图例。

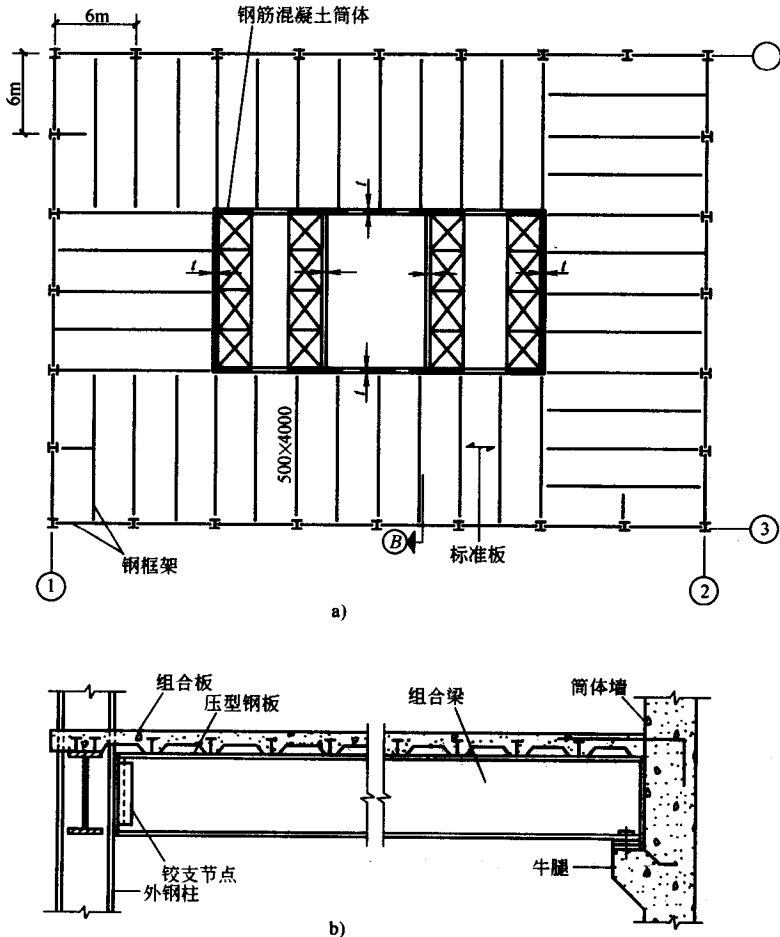


图 1.13. Anaconda Tower

a) 平面 b) 剖面

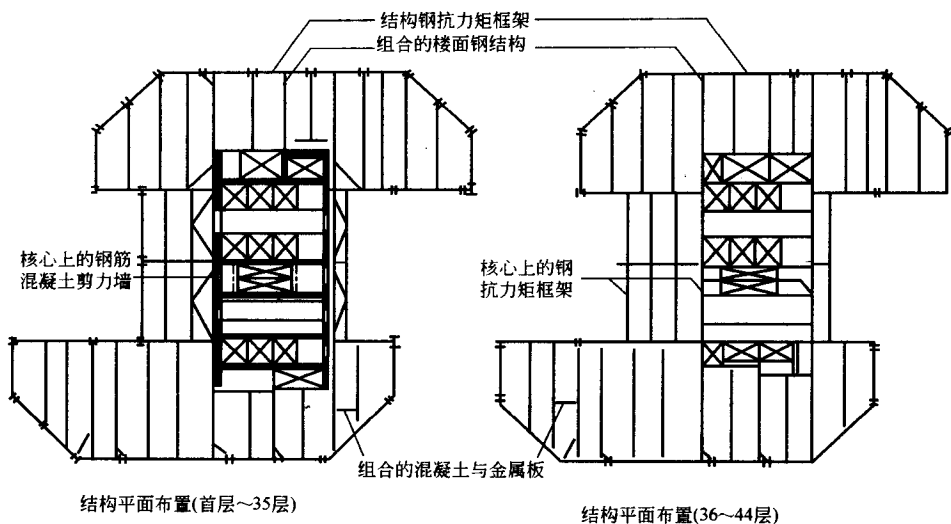


图 1.14 纽约塔楼 49[#]平面图

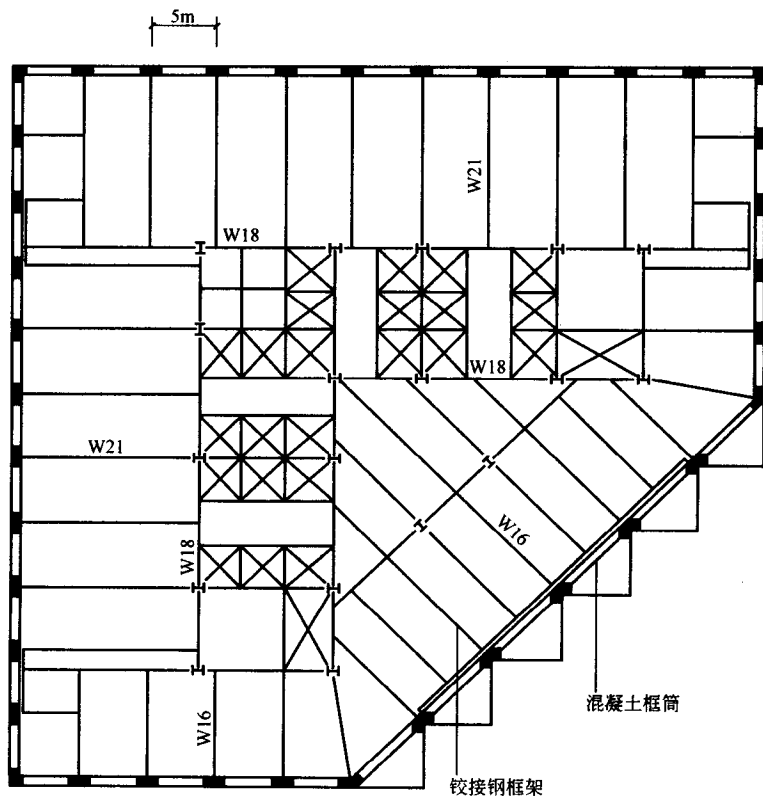


图 1.15 Three First National Plaza 平面图