

高层建筑钢结构 设计原理与应用

GAOCENG JIANZHU GANGJIEGOU
SHEJI YUANLI YU YINGYONG

宋岩著



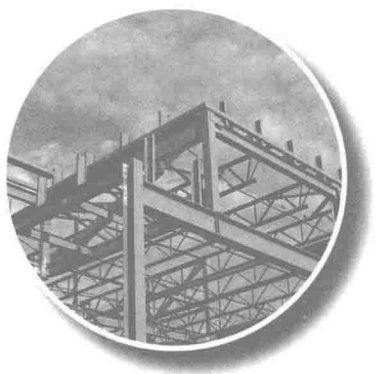
中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

住房和城乡建设部科学技术项目计划 (2015-K2-037)

江苏省高校自然科学基金项目 (15KJD560001)

徐州市科技项目 (KC17135)

高层建筑钢结构 设计原理与应用



宋岩 著

中国海洋大学出版社

· 青 岛 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

高层建筑钢结构设计原理与应用 / 宋岩著. — 青岛 :
中国海洋大学出版社, 2018.9

ISBN 978-7-5670-2003-0

I . ①高… II . ①宋… III . ①高层建筑—钢结构—结
构设计 IV . ① TU973.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 223545 号

高层建筑钢结构设计原理与应用

出版人 杨立敏
出版发行 中国海洋大学出版社有限公司
社 址 青岛市香港东路 23 号 邮政编码 266071
网 址 <http://www.ouc-press.com>
责任编辑 郑雪姣 电 话 0532-85901092
电子邮箱 zhengxuejiao@ouc-press.com
图片统筹 河北优盛文化传播有限公司
装帧设计 河北优盛文化传播有限公司
印 制 定州启航印刷有限公司
版 次 2019 年 3 月第 1 版
印 次 2019 年 3 月第 1 次印刷
成品尺寸 170mm × 240mm 印 张 16.25
字 数 206 千 印 数 1-1000
书 号 ISBN 978-7-5670-2003-0 定 价 62.00 元
订购电话 0532-82032573 (传真) 18133833353

发现印刷质量问题, 请致电 18133833353 进行调换。

前言

PREFACE

钢结构是世界范围内早期多层、高层建筑中最先使用的一种结构类型，因其具有自重轻、抗震性能好、绿色环保、工业化程度高、综合经济效益显著等诸多优点，深受国内外建筑师和结构工程师的青睐，在未来高层建筑中具有广阔的发展前景。我国自改革开放以来，基础建设的效率和技术难度越来越高，加上我国政策、钢材生产、建筑设计等多方面的条件正越来越成熟，高层建筑钢结构在我国得到了越来越广泛的应用。但由于我国现代建筑起步较晚，相关人才建设还不完善，尤其是高层建筑钢结构方面的人才奇缺，因此笔者认为，非常有必要对高层建筑钢结构的设计原理以及相关应用进行一次系统梳理，以方便相关专业、行业的人员。

本书作者为徐州工程学院教师，在总结多年教学、科研和工程实践的基础上，力求理论与实践相结合，不止创新更要务实。衷心希望，本书能够对我国未来建筑业的发展和相关人才的培养起到积极作用。本书的出版获得了徐州工程学院优秀学术著作出版基金的资助，在撰写过程中，得到了徐州工程学院姜慧教授、朱炯教授、李雁副教授，徐州工业职业技术学院王永老师等多位专家和同仁的指导，在此表示感谢。

书中的不足之处，望读者朋友们不吝赐教，提出宝贵意见。

宋岩

2018年7月

第一章 绪论 / 001

第一节 国内外高层建筑钢结构发展情况 / 001

第二节 钢结构、钢—混凝土结构及钢骨混凝土结构的应用 / 003

第三节 结构体系的分类及应用 / 010

第四节 高层建筑钢结构的地震震害经验 / 013

第二章 高层建筑钢结构结构类型与体系分析 / 022

第一节 结构类型与特征 / 022

第二节 结构体系与特性 / 023

第三章 钢结构材料及强度设计值综述 / 051

第一节 结构钢材 / 051

第二节 连接材料 / 081

第三节 高层建筑钢结构的钢材选用 / 089

第四节 钢材及连接材料的强度设计值 / 092

第四章 高层建筑钢结构概念设计 / 096

第一节 选择有利的建筑场地 / 096

第二节 确定合适的建筑体型 / 097

第三节 变形缝的设置 / 102

第四节 选择有效的抗侧力结构体系 / 104

第五节 抗侧力构件的布置 / 110

第六节 竖向承重构件的布置 / 114

第七节 削减结构地震反应的措施 / 115

第八节 楼盖结构的选型与布置 / 117

第九节 地下结构的设计原则 / 123

第五章	高层建筑钢结构构件设计	/ 129
第一节	构件设计概述	/ 129
第二节	钢构件设计的内容	/ 130
第三节	钢梁的设计	/ 132
第四节	钢柱的设计	/ 142
第五节	中心支撑框架的设计	/ 165
第六节	偏心支撑框架的设计	/ 170
第六章	高层建筑钢结构节点设计	/ 179
第一节	节点设计概述	/ 179
第二节	梁—柱连接节点	/ 181
第三节	梁—梁连接节点	/ 196
第四节	柱—柱节点	/ 202
第五节	钢柱柱脚	/ 207
第六节	支撑连接节点	/ 217
第七节	抗震剪力墙板与钢框架的连接	/ 223
第八节	钢梁与钢筋混凝土构件的连接	/ 224
第七章	钢结构防火与防腐设计	/ 226
第一节	钢结构防火设计	/ 226
第二节	钢结构防腐设计	/ 232
第八章	案例解析钢结构的制作和安装	/ 236
第一节	钢结构制作	/ 236
第二节	钢结构安装	/ 245
参考文献		/ 253



第一章 绪 论

第一节 国内外高层建筑钢结构发展情况

一、国外超高层建筑发展概况

(一) 超高层建筑的数量在增加

200 m 以上的超高层建筑自 20 世纪 30 年代至今,除 40 年代因受第二次世界大战的影响外,均在持续增加,尤其是 70 年代后更显著。

(二) 较多的是 280 ~ 400 m 的超高层建筑

建于 20 世纪 70 年代高为 443 m 的西尔斯大厦属当时世界上最高建筑,于 1996 年建成的 450 m 的吉隆坡石油大厦在高度上与西尔斯大厦基本相同,而如今世界上最高建筑为位于迪拜的哈里发塔,高达 828 m。100 幢超高层建筑中有 20 幢的建筑高度为 410 ~ 830 m,80 幢为 280 ~ 400 m 高的建筑,这表明后者的建筑高度适用性得到开发商的关注。

(三) 超高层建筑的用途在拓宽

20 世纪 80 年代以前的超高层建筑大部分用作办公建筑,但在 20 世纪 90 年代至今的这段时间则较多地增加了多功能建筑和旅馆建筑的比例,拓宽了建筑用途,相应地结构材料和结构体系的选择也需适应其要求。

(四) 结构材料在多样化

在 20 世纪 70 年代及以前建造的超高层建筑绝大部分采用钢结构,在 80 年代增加了钢—混凝土结构的比例,90 年代至今在非地震区增加了钢筋混凝土结构的比例。

如上所述，这些结构材料的变化除受建筑用途影响外，由于经济原因和防火要求，后两种结构材料的应用比例有所增加。对于地震区超高层建筑则仍以钢结构为主，少量的采用钢—混凝土结构。

二、国内高层建筑钢结构发展概况

2000—2017年，由于钢材品种继续开发，对全钢结构高层建筑抗震性能的优越性有了更多的共识，因此这类结构得到了进一步应用，如高度为190 m的北京摩根中心、高度为250 m的北京银泰中心、高度为200 m的北京电视中心、高度为260 m的天津国际贸易中心等早已建成。台北101层的台北金融中心在2003年竣工。目前我国国内最高建筑为上海中心大厦——高达632 m。

从对我国多幢高层建筑钢结构和钢—混凝土结构的归纳结果分析，得出下列结论。

（一）2/3的工程及5幢最高建筑是钢—混凝土结构

20世纪80年代之前，我国多数高层建筑项目由外商设计。当时设计的项目主要采用钢结构，其原因是多方面的，一是考虑到建于地震区，钢结构的抗震性能较好；二是根据国外的经验，因劳务费高，认为钢结构造价低于混凝土结构，施工周期也短。在20世纪90年代则主要采用钢—混凝土结构（包括少量的钢骨混凝土结构），原因主要在于投资商结合我国国情，采用钢—混凝土结构可降低结构造价。此外，我国目前上述5幢最高建筑均是采用钢—混凝土结构。

（二）建筑高度多数为150～300 m

我国高层建筑中60%的建筑高度为150～300 m，其中有受城市规划和商业适用性的影响；在结构上因建于地震区，受钢筋混凝土高层建筑结构适用高度的影响，主要考虑选用钢结构和钢—混凝土结构。

（三）29幢高层建筑均建于抗震设防区

我国较多的大中城市位于抗震设防区，尤其是沿海商业城市。因此，设计时很重视钢筋混凝土结构、钢—混凝土结构和钢结构的选用以及结构体系的选择。相应地促进钢结构和钢混结构的发展，也推动科研工作和规范的制订。在这一过程中，关于钢—混凝土结构在地震区高层建筑中的应用问题受到工程界的关注。

（四）高层建筑的用途多样化

我国与国外在高层建筑用途的多样化发展方面基本相同，即在数量上虽然办公楼占多数，但多功能及旅馆用途的高层建筑逐渐增多，以适应当今开发商在商业上的需要。

三、国内钢材生产和钢结构制作安装技术概况

(一) 钢材质量及规格在不断提高和开发

高层建筑钢结构中的柱子及竖向支撑常需采用大于 40 mm 的厚钢板, 而且要求符合 Z 向断面收缩率的规定。目前, 厚钢板的生产质量在逐渐提高, 已能生产符合断面收缩率要求的厚钢板, 如舞阳钢铁公司及上海宝山钢铁公司等。

H 型钢的生产供应已处于开发供应阶段。自 1997 年开始, 已有马鞍山钢铁公司、鞍山第一轧钢厂及莱芜钢铁公司等厂家生产 H 型钢。马钢公司可供应的最大截面——宽翼缘 H 型钢为 400 mm × 400 mm, 中翼缘 H 型钢为 600 mm × 300 mm, 窄翼缘 H 型钢为 700 mm × 300 mm。

前一时期国内高层建筑钢结构的钢材主要采用进口钢材。现随着国内厂家的产品开发, 规格增多、价格趋于合理等, 已使国产钢材的采用数量有很大增加。

(二) 钢结构制作安装专业公司在扩大

高层钢结构的制作及安装技术要求, 一般情况下要高于钢筋混凝土结构。近年来, 随着国内高层钢结构工程不断增多以及国内厂商与外商在制作和安装的合作, 并经历了北京、上海和深圳等一批大中项目的实践, 已形成一些专业公司, 具有较好的技术水平。国内有些专业公司已具备高层钢结构总承包商的条件。

第二节 钢结构、钢—混凝土结构及钢骨混凝土结构的应用

目前我国的高层建筑结构主要采用钢筋混凝土结构, 这既符合我国国情, 可适应使用要求和降低工程造价, 也符合规范关于适用高度的规定。对于建于抗震设防区的超高层建筑, 由于国内外对钢筋混凝土结构的实践经验还较少, 因此在考虑结构方案时, 主要关注钢结构和钢骨混凝土结构等方案, 而且这类结构还有其他方面的优点。现就高层建筑中钢结构、钢—混凝土结构和钢骨混凝土结构等三类结构的主要优缺点做一粗略分析。

一、高层建筑钢结构

(一) 主要优点

1. 抗震性能优于钢筋混凝土结构

相对于钢材来说, 混凝土的抗拉和抗剪强度均较低, 延性也差, 混凝土构件开裂

后的承载力和变形能力将迅速降低。钢材基本上属各向同性的材料，抗压、抗拉和抗剪强度均很高，更重要的是它具有良好的延性。在地震作用下，钢结构因有良好的延性，不仅能减弱地震反应，而且属于较理想的弹塑性结构，具有抵抗强烈地震的变形能力。

2. 减轻结构自重降低基础工程造价

一般钢筋混凝土框—剪结构和框架—筒体结构的高层建筑，当外墙采用玻璃幕墙或铝合金幕墙板，内墙采用轻质隔墙时，包括楼面活荷载在内的上部建筑结构全部重力荷载约为 $15 \sim 17 \text{ kN/m}^2$ ，其中梁、板、柱及剪力墙等结构的自重约为 $10 \sim 12 \text{ kN/m}^2$ 。相同条件下采用钢结构时，全部重力荷载约为 $10 \sim 12 \text{ kN/m}^2$ ，其中钢结构和混凝土楼板的结构自重约为 $5 \sim 6 \text{ kN/m}^2$ 。由上述可知，两类结构的结构自重的比例为 $2 : 1$ ，全部重力荷载的比例约为 $1.5 : 1$ ，这相当于 75 层高的钢结构高层建筑上部重力荷载，可等同于 50 层高的钢筋混凝土结构高层建筑。荷载值的很大差异造成相应的地震作用数值也大为减小，基础荷载大为减轻，同时，基础技术处理的难度、基础工程造价等都将受到很大影响。

3. 减少建筑中结构所占的面积

对于 30 ~ 40 层的钢筋混凝土结构的高层建筑建于地震区时，其柱截面尺寸常取决于轴压比限值，一般为 $(1.8 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}) \sim (2.0 \text{ m} \times 2.0 \text{ m})$ ，核心筒在底部的壁厚将达 $0.6 \sim 0.8 \text{ m}$ ，以符合结构侧向刚度和层间位移的要求，这两项结构面积约为建筑楼层面积的 7%。采用钢结构，柱截面大为减小，核心筒采用钢柱及钢支撑时，包括它外侧的装修做法，其厚度仍比筒壁厚度薄很多，相应的结构面积一般约为建筑楼层面积的 3%，比钢筋混凝土结构可减少约 4%，这对投资方来说，将产生不小的经济效益。

4. 施工周期短

钢结构的施工特点是钢构件在工厂制作，然后在现场安装。钢构件安装时，一般不搭设大量的脚手架，同时采用压型钢板作为混凝土楼板的永久性模板，无须另行支设模板，而且混凝土楼板的施工可与钢构件安装交叉进行。钢筋混凝土结构除钢筋可在车间内下料外，大量的支模、钢筋绑扎和混凝土浇筑等工作均需在现场进行。因此，钢结构的施工速度常快于钢筋混凝土结构 20% ~ 30%，相应的施工周期也缩短，能早日投入使用，使投资方在经济效益上提早获得回报。

(二) 关于钢结构造价及综合经济效益

1. 高层钢结构的造价高于同高度混凝土结构的造价及其原因

不包括基础及地下室结构在内，上部高层钢结构造价一般为同样高度钢筋混凝土结构造价的 $1.5 \sim 2.0$ 倍，从而增加了上部结构的直接投资。钢结构的造价一般包含

三部分，即钢材费用、制作和安装费用以及防火涂料费用，这三者的粗略比例关系可由下式表示：

钢结构造价 = 钢材费用 (45%) + 制作安装费用 (35%) + 防火涂料费用 (20%)

实际工程中，钢结构的用钢量虽大于钢筋混凝土结构中的钢筋用钢量，但这不是两种结构差价的主要原因，主要原因在于防火涂料费用占有较大的比例，以及钢结构制作安装的技术含量较高，相应的劳务费也高。上式中制作安装费用和防火涂料费用与结构用钢量相关，因此节省用钢量对降低工程造价是很见效的。

2. 上部钢结构造价与全部结构造价及工程造价的比例关系

全部结构造价包括上部钢结构外，还包括影响较大的基础造价和地下室造价。基础造价与地基土条件有很大的关系，软土地基时的桩基费用相当高。对于一般性高层建筑，上部钢结构造价为全部结构造价的 60% ~ 70%。工程造价除包括全部结构造价外，还包括费用很高的建筑装修及电梯、机电设备等。粗略估计，一般全部结构造价为工程造价的 20% ~ 30%，相应地上部钢结构为工程造价的 15% ~ 20%。

3. 采用钢结构的综合经济效益

由上述可知，上部钢结构的造价一般为工程造价的 15% ~ 20%，而一般工程造价为工程总投资（包括拆迁、购地及市政设施增容费用等）的 50% ~ 70%，相应地上部钢结构造价为工程总投资的 8% ~ 15%。因此钢结构与钢筋混凝土结构间的差价工程总投资的 5% ~ 10%。但这一差价在采用钢结构后，由于自重轻而降低基础造价、增加建筑使用面积和缩短施工周期等得到相当程度的弥补，从而提高工程的综合经济效益。

（三）存在的主要问题

1. 钢结构的耐火性能差

钢结构是不耐火的结构。钢结构在火灾烈焰下，构件温度迅速上升，钢材的屈服强度和弹性模量随温度上升而急剧下降。当结构温度达到 350℃ 及 500℃ 时，其强度可分别下降 30% 及 50%，至 600℃ 时结构完全丧失承载能力，变形迅速增大，导致结构倒塌。因此，《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99-98) 规定对钢结构中的梁、柱、支撑及作承重用的压型钢板等要求喷涂防火涂料用于保护。

2. 吸取震害经验教训完善钢结构设计

现已颁布的《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99-98) (以下简称“高钢规程”)，在内容上已反映部分国内外的地震震害经验和抗震设计措施。但是，由于地震的随机性和实际工程结构的复杂性，未能避免诸如结构平面和剖面的不规则，以及沿竖向的刚度突变和强度突变的结构方案，潜伏着结构的薄弱部位和遭受破坏的可能

性。钢结构虽有较好的延性，但还难以避免连接节点的开裂、支撑的压屈，在阪神地震中还发生柱子脆性断裂等震害。因此，需要在总结震害经验的同时开展科学研究，逐渐完善钢结构设计。

3. 不易落实钢材供应

目前对于国内生产符合设计规范要求厚钢板，仍需改进和研制开发。H型钢虽已生产，但规格还不齐全，供应上还需适应小批量的要求。因此，设计过程中需要为落实钢材供应做深入的调查研究，必要时要考虑采用进口钢材的可能性和供应条件，以使设计方案和所用的钢材得到落实。

二、高层建筑钢—混凝土结构

(一) 主要优点

1. 侧向刚度大于钢结构

钢—混凝土结构由于采用钢筋混凝土剪力墙或核心筒作为主要抗侧力结构，其侧向刚度大于一般钢结构，相应的水平位移也小，这在一些工程实例中已得到证实。

2. 结构造价介于钢结构和钢筋混凝土结构之间

根据我国国情，钢筋混凝土结构的直接造价低于钢结构。钢—混凝土结构钢材用量小于钢结构，又可节省部分防火涂料费用。因此，钢—混凝土结构的造价基本上介于钢结构和钢筋混凝土结构之间。

3. 施工速度比钢筋混凝土结构有所加快

钢—混凝土结构的施工特点，是常将混凝土核心筒安排先行施工，随后将筒体施工进度安排快于周边钢结构的安装，同时在钢—混凝土结构中的梁、柱采用钢结构，楼板结构采用在压型钢板上浇筑混凝土。因此，钢—混凝土结构的施工速度可快于钢筋混凝土结构，施工周期也可缩短些。

4. 结构面积小于钢筋混凝土结构

由于采用钢柱，相应的柱截面小于钢筋混凝土柱，同时，由于钢—混凝土结构中钢柱承担较小的水平剪力，其截面甚至可小于钢结构中的柱子，故与钢筋混凝土结构相比较，可减小柱子所占用的建筑面积，便于使用。

5. 发挥钢管混凝土柱的承载力和刚度作用

近年来，国内部分钢—混凝土结构工程中已采用钢管混凝土柱，如深圳的地王大厦和赛格广场大厦，分别采用矩形截面及圆形截面的钢管混凝土柱。由于采用了这种柱，既提高了柱的承载力，又提高了柱的抗推刚度和相应的结构侧向刚度，有利于提高柱的防火能力。赛格广场大厦采用圆形截面钢管混凝土柱后，避免了柱需采用厚钢

板,圆钢管的最大壁厚为 30 mm。此外,该工程的四角为非正交的斜交柱网,相应地可简化框架中的梁柱连接构造,避免箱形截面柱与非正交梁连接构造的复杂性。

(二) 存在的主要问题

1. 混凝土内筒的刚度退化将加大钢框架的剪力

钢—混凝土结构中现在采用的主要结构体系为钢框架—混凝土内筒体系,其中钢筋混凝土内筒为主要抗侧力结构,钢框架主要承担重力荷载,也承担较小的水平剪力。在水平地震作用下,由于钢框架的侧向刚度远小于混凝土内筒,钢框架承担的水平剪力除顶部几层为楼层剪力的 15% ~ 20%,中部及下部为相应楼层剪力的 10% ~ 15%。在往复震动的持续作用下,结构进入弹塑性阶段时,墙体产生裂缝,内筒的侧向刚度大幅度降低,而钢框架由于弹性极限变形角大于混凝土内筒很多,虽然此时的水平地震作用要小于弹性阶段,但钢框架仍有可能要承担比弹性阶段大得多的水平地震剪力和倾覆力矩。因此,为符合结构裂而不倒的要求,需要以较大的幅度调整钢框架部分所承担的水平剪力,以提高钢框架的承载力,并采取措提高混凝土内筒的延性。

2. 要进一步分析研究钢—混凝土结构的抗震性能

由于国外工程在地震区很少采用钢—混凝土结构,相应就缺乏这方面的震害资料,国内也无这方面的经验。为使这类结构设计完善些,有必要做一些模型试验,并进行弹塑性时程分析和结构抗震性能的分析研究。

3. 层间位移限值

“高钢规程”没有列出对钢—混凝土结构的设计规定,但对有混凝土剪力墙的钢结构规定应符合《钢筋混凝土高层建筑设计与施工规程》(JGJ 3-1991)(以下简称“混凝土高规”)的要求。对于“混凝土高规”规定的层间位移限值,钢—混凝土结构常不易符合要求。《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3-2002)包含钢—混凝土结构设计规定的部分内容;关于钢—混凝土结构的层间位移限值规定,基本上等同于相应的钢筋混凝土高层建筑结构体系的要求,但当房高大于 150 m 时的限值,则比“混凝土高规”有所放松。

4. 混凝土内筒的施工误差远大于钢结构

钢框架—混凝土内筒体系中,混凝土内筒的施工进度常先于钢框架。由于支模等原因,现浇混凝土结构墙体在水平方向和竖向的偏移差常大于施工规范的规定,而混凝土施工规范规定的误差限值也已大于钢结构施工规范规定很多。当钢梁与混凝土墙采用预埋钢板相连接时,这些钢板埋件在平面和竖向标高的位置,不仅受混凝土墙体偏移的影响,而且受预埋件移位的影响,其误差值远大于钢梁加工尺寸的允许范围,

常需采取难以令人满意的弥补措施。因此，宜在设计上采用适应性较好的连接方法。

三、高层建筑钢骨混凝土结构

国内外高层建筑中，完整地对接梁、柱、支撑及剪力墙等均采用钢骨混凝土的工程实例尚属少数；它主要用于下列情况。

第一，用作过渡层。

上部钢结构与钢筋混凝土地下室或基础之间，“高钢规程”规定宜设置钢骨混凝土结构层作为过渡层。《钢骨混凝土结构设计规程》(YB 9082-97)也有此推荐意见。这种过渡层设置法已在日本很多工程中采用，国内工程中北京的京广中心大厦和京城大厦也采用这种过渡层。

第二，用作外筒结构的柱子。

休斯敦美洲大厦在密柱外筒结构中，柱子采用钢骨混凝土。这一结构的内筒为钢框架，但仅承担重力荷载。

第三，用作钢—混凝土结构的外框架柱。

上海瑞金大厦在采用钢—混凝土结构时，内筒为混凝土结构，外框架的柱为钢骨混凝土，框架梁在上部为钢梁，下部几层为钢骨混凝土梁。

第四，用作框架柱及内筒。

休斯敦第一城市大厦在采用框架—内筒结构体系时，框架柱及内筒为钢骨混凝土，梁均为钢梁。

(一) 主要优点

1. 可用作底部及地下室区段的结构过渡层

(1) 高层建筑在标准层以下和地下室以上常安排有公共建筑部分，其层高大于标准层很多。由于柱的抗推刚度 D 是柱高度 h 三次方的倒数关系 ($D = \alpha \frac{EI}{h^3}$)，因此，这一部位是结构侧向刚度突变的部位。例如，这一部位的钢柱截面同标准层，而层高是标准层的 2 倍，则公共建筑部位柱的抗推刚度比标准层柱的抗推刚度要降到 1/8，刚度突变量很大。如对箱形截面钢柱或 H 型截面钢柱采用钢骨混凝土柱，并对支撑框架核心筒也改用钢骨混凝土核心筒，由此可构成底部过渡层，则不仅提高柱的承载力，更主要的是可改善该部位刚度较小的不利情况，以及减小该部分的层间位移量。但应注意，上述底部过渡层结构要避免与上部结构之间产生过大的刚度差。

(2) 高层建筑地下室主要是机电设施用房，其防火要求较高，建筑设计上也不再采用吊顶装修。因此，如采用钢骨混凝土梁柱构件形成地下过渡层，则可不再喷涂

防火涂料, 比起钢梁钢柱构件更适合地下室的使用要求。

(3) 在一些工程中除为适合地下室功能要求外, 还考虑为安排钢构件加工有一进度上的间隔, 或要设置人防结构等, 需要采用钢筋混凝土结构的地下室。此时, 上部钢结构与地下室钢筋混凝土结构之间, 需要采用钢骨混凝土结构过渡层, 以使钢柱及竖向钢支撑等有良好的受力特性过渡, 也便于连接构造。

此外, 当钢结构主楼与钢筋混凝土裙房结构之间相连而不设防震缝时, 在该部位的主楼结构采用钢骨混凝土结构, 有利于两种结构之间的构造连接。

2. 造价低于钢结构, 防火能力高于钢结构

钢骨混凝土柱可发挥混凝土的受压强度, 截面小于钢筋混凝土柱, 用钢量少于钢柱, 相应地可降低造价。钢骨混凝土有很好的防火能力, 可避免采用昂贵的防火涂料。钢骨混凝土柱比钢柱便于建筑装修。

此外, 采用钢骨混凝土柱有可能避免采用进口的厚钢板, 而采用国产钢板。

3. 延性优于钢筋混凝土, 刚度大于钢结构

钢骨混凝土与钢筋混凝土的阻尼比基本相等, 但延性有一定程度的提高, 滞回曲线丰满些。由于钢骨混凝土柱截面大于钢柱, 相应的刚度也大。

4. 施工速度可快于钢筋混凝土结构

钢骨混凝土结构施工的特点是可先形成钢骨结构, 然后交叉施工钢筋混凝土部分。此时, 可利用钢骨结构作为施工用的承重结构, 节省大量脚手架; 与钢筋混凝土结构相比较, 可加快施工速度, 缩短施工周期。

当不采用钢骨混凝土梁, 而采用钢梁及在压型钢板上浇筑混凝土作为楼板时, 其施工速度甚至可接近钢结构施工速度的水平。这也是在一些工程中不采用钢骨混凝土梁的原因之一。

(二) 存在的主要问题

1. 钢骨混凝土梁、柱的连接构造复杂

已建的高层建筑中, 在标准层部位采用钢骨混凝土柱及剪力墙时, 很少采用钢骨混凝土框架梁及次梁。其原因有三: 一是梁柱连接构造复杂; 二是未能减小梁的截面高度, 从而不能增加建筑楼层的有效净高; 三是影响施工速度。

采用钢骨混凝土框架梁时, 该梁的上下层纵向钢筋要穿越十字形钢骨柱两个方向上的腹板, 梁柱节点处柱箍筋要穿越柱侧 2 ~ 4 根钢骨梁的腹板, 构造很复杂。尤其是框架梁与柱非正交连接时, 不仅十字形钢骨柱截面为一异形截面, 而且在柱腹板上要留斜向穿筋洞, 施工相当困难。主次梁连接时, 次梁下筋要与主梁的连接板焊接。

2. 钢骨混凝土梁影响压型钢板的采用

高层建筑钢结构之所以能快速施工，原因之一是采用在无须支模的压型钢板上浇筑混凝土楼板的方法。但是，当采用钢骨混凝土梁时，就难以采用压型钢板做法，对梁自身和混凝土楼板等均需支模施工，而且梁柱节点处要穿筋，从而减慢了施工进度，甚至与钢筋混凝土结构的施工速度相近。

3. 层间位移限值等同于钢筋混凝土结构的规定

和钢—混凝土结构一样，钢骨混凝土结构的部分设计规定，也包含在《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3-2002)中，并将其层间位移限值等同于相应的钢筋混凝土结构体系的限值。当框架梁采用钢梁时，将对结构的侧向刚度有所减弱，无适当措施时，其刚度小于相应的钢筋混凝土结构。

第三节 结构体系的分类及应用

一、高层建筑钢结构的结构体系分类

目前高层建筑钢结构的结构体系分类，主要是在大量工程实践经验的基础上，根据不同建筑高度所采用的各种不同抗侧力结构对水平荷载效应（内力分布及位移特征等）的适应性进行粗略分类的。图 1-1 是有关文献对高层建筑钢结构的结构体系分类示意图，大致分为四大类：① 框架结构体系（包括半刚接及刚接框架）；② 共同作用结构体系（包括框架—支撑体系、带伸臂桁架的框架—支撑体系）；③ 部分筒体结构体系（包括带支撑的槽形筒、槽形筒和工字形开口筒的组合筒）；④ 筒体结构体系（包括外筒、筒中筒及巨型支撑外筒）。

“高钢规程”中除未列举类型③的结构体系外，基本上与上述划分的结构体系类似，对所列结构体系与建筑高度的适应关系在概念上也基本相同。

按上述划分的各类体系，在实际工程中还可派生出一些有其本身特征的结构体系，也有些工程还不易确切地说明其属哪一种结构体系。随着时代的进步以及人们创造性地不断发挥，结构体系还会多样化。

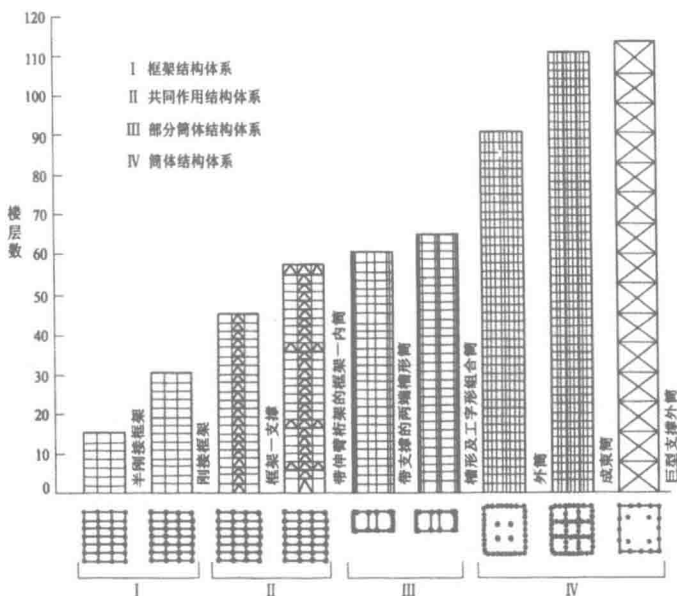


图 1-1 各类结构体系的适应高度

二、结构体系的选用

进行实际工程设计时，常需综合考虑很多因素，由此进行深入的方案比较，在优化过程中确定其适宜的结构体系。优化过程中宜考虑的主要因素包括以下几点。

（一）要适应地震区和非地震区建筑的不同要求

地震区与非地震区高层建筑钢结构在设计概念上，有相同之处，但也有较大的差异。地震区建筑结构设计应符合“三水准”的抗震设防要求，并为符合裂而不倒的要求在选择结构体系时应做如下的考虑：

（1）形成多道抗震防线的结构体系。在这些体系中，宜采用偏心支撑和设置赘余杆，使大震时，通过第一道结构防线出现塑性铰，以及赘余杆和耗能梁段等的屈服，耗散地震能量；

（2）结构体系宜具有适应支撑→梁→柱的屈服顺序机制，或耗能梁段→支撑→梁→柱的屈服顺序机制。相应地要避免使竖向支撑既承担水平剪力又传递重力荷载，更应避免使其成为传递重力荷载的主要杆件；而使支撑、梁和柱形成的支撑框架对杆件的承载力能够匹配，以使大震时支撑先行压曲，推迟在柱内产生塑性铰；

（3）结构体系的侧向刚度要连续化，避免刚度突变，以减少结构薄弱部分和应