

高层钢结构 设计计算实例

金 波◎编著

非
外
借

中国建筑工业出版社

高层钢结构设计计算实例

金 波 编著

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高层钢结构设计计算实例/金波编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 4
ISBN 978-7-112-21357-3

I. ①高… II. ①金… III. ①高层建筑-钢结构-结构设计②高层建筑-钢结构-结构计算 IV. ①TU973. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 252305 号

本书共分为六章, 分别是概论、高层钢结构的结构选型、高层钢结构计算分析、高层钢结构构件计算与设计、高层钢结构的构造、高层钢结构 PKPM 计算实例, 以《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99—2015 内容为主线, 结合《钢结构设计规范》GB 50017—2003 和《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 等相关规范, 详细讲解了规范的具体内容, 对规范计算公式配以算例, 对规范不够详细的地方做了解释, 对规范不尽合理的地方提出了自己的建议。

本书实用性强, 适用于钢结构设计人员参考使用, 也可作为高等院校结构工程专业师生的教学参考书。

责任编辑: 万 李

责任设计: 李志立

责任校对: 李欣慰 刘梦然

高层钢结构设计计算实例

金 波 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京京华铭诚工贸有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22½ 字数: 558 千字

2018 年 4 月第一版 2018 年 4 月第一次印刷

定价: 55.00 元

ISBN 978-7-112-21357-3

(31083)

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

随着我国经济建设的快速发展,各大、中城市高层建筑的兴建日益增多。尽管钢筋混凝土结构仍然是高层建筑的主要结构类型,但是由于钢结构自重轻、竖向构件所占的面积小、施工周期短、抗震性能好等优点,高层建筑中采用钢结构建造的房屋也越来越多。尤其是钢结构构件加工都是在工厂进行,在工地仅需要进行焊接、螺栓连接等拼装工作,因此需要的工人很少。在我国人工成本越来越高这一现实状况下,钢结构的房屋会越来越多。

目前我国高层建筑钢结构设计遵循的规范主要有三本:《钢结构设计规范》GB 50017—2003、《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010(第8章多层和高层钢结构房屋)、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99—2015。《钢结构设计规范》仅适用于非抗震设计,没有对地震地区钢结构设计作出规定,且参编单位大都为高校、研究院以及工业设计院的专家,没有高层建筑钢结构设计的主体-民用建筑设计院的专家。《建筑抗震设计规范》中多层和高层钢结构房屋的规定内容很少,对高层建筑钢结构设计指导不够全面。最新发布的《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99—2015对高层民用建筑钢结构的结构体系、材料、荷载、计算分析、构件及节点设计、制作与涂装、安装、抗火设计做了详细的规定,对高层建筑钢结构设计具有较强的实用指导。目前市场上高层建筑钢结构设计的书大多倾向于理论知识的讲解,设计内容较少。本书以《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99—2015内容为主线,详细讲解了规范的具体内容,对规范计算公式配以算例,对规范不够详细的地方做了解释,对规范不尽合理的地方提出了自己的建议。

本书共分为六章。第一章为概论,主要内容为钢结构的优点及高层钢结构设计研究现状。第二章为高层钢结构的结构选型,主要内容包括高层钢结构的结构体系,并给出了笔者设计的中国石油乌鲁木齐大厦高层钢结构、混凝土结构、混合结构方案比选实例。第三章为高层钢结构计算分析,主要内容包括小震地震作用计算、风荷载计算、静力弹塑性分析及工程算例、动力弹塑性分析及工程算例,最后对高层钢结构计算分析中常见的13个问题做了详细的论述。第四章主要内容为钢结构构件计算与构造,并对高层钢结构楼板舒适度设计进行了介绍,并给出了工程算例。第五章为高层钢结构的构造,涉及结构钢、钢结构连接材料、钢结构防腐防火设计。第六章通过一个具体的高层钢结构工程实例,介绍PKPM2010软件进行高层钢结构计算分析及构件、节点设计的全过程。

借本书出版之机,我要感谢对我从事钢结构设计与研究工作有重要帮助的人。感谢家人、朋友对我的默默支持,他们的支持和照顾是我写作的动力。感谢我的导师、武汉大学郭耀杰教授,是他带我进入钢结构研究的大门。中国石油乌鲁木齐大厦超高层钢结构是我设计的第一个钢结构项目,感谢中信建筑设计研究总院有限公司温四清总工程师、王新副总工程师,对此项目进行认真的校对、审核,是他们带我进入钢结构设计的大门。感谢中国建筑标准设计研究院蔡益燕教授级高工、郁银泉设计大师,浙江大学童根树教授,向他们请教钢结构设计中的一些问题都能得到耐心、细致的解答。感谢中信建筑设计研究总院

有限公司刘文璐副院长、李治总工程师、董卫国副总工程师对我工作上的支持和帮助。感谢我的同事，中信建筑设计研究总院有限公司魏丽、周波、郭金纯、方鸣、吴珊、何小辉、艾磊等，正是他们为我分担一些设计工作，才让我有更多时间写作此书。本书成稿后，中国建筑工业出版社编辑万李以高效的工作，为本书正式出版做了细致的校审，在此一并感谢。感谢中信建筑设计研究总院有限公司吴凌院长、肖伟副院长、熊火清副总工程师对出版本书提供的帮助。

笔者希望通过本书，对结构工程师进行高层钢结构设计具有实用指导性。由于设计工作繁重、写书时间紧迫，限于作者的理论水平和工程实际经验，书中难免存在缺点和错误，恳请广大读者批评指正。作者电子邮箱：aub0314@126.com。

金波

于中信建筑设计研究总院有限公司

2017年9月

目 录

第一章 概论	1
第一节 钢结构的优点	1
一、自重轻	1
二、结构竖向构件所占的面积小	1
三、施工周期短	1
四、降低层高	2
五、抗震性能优于钢筋混凝土结构	2
六、钢结构柱网大	2
第二节 高层钢结构设计及研究现状	3
一、国内高层钢结构工程实例代表	3
二、国内高层钢结构设计规范	3
三、高层钢结构的应用前景	3
本章参考文献	4
第二章 高层钢结构的结构选型	5
第一节 高层钢结构的各类结构体系	5
一、各类结构体系的适用高度及高宽比限值	5
二、框架结构工程实例	5
三、框架-支撑结构工程实例	9
四、筒中筒结构工程实例	14
五、悬挂结构工程实例	19
第二节 高层钢结构、混凝土结构、混合结构方案比选	22
一、钢筋混凝土束筒结构(方案1)	24
二、矩形钢管混凝土框架-钢支撑结构(方案2)	24
三、钢框架-钢支撑结构(方案3)	25
第三节 高层钢结构填充墙材料的选择	26
第四节 楼盖形式的选择	28
一、高层民用建筑钢结构常用的楼板形式	28
二、高层民用建筑钢结构几种楼板形式优缺点	29
三、高层钢结构楼板选用工程实例	30
第五节 支撑形式的选择	32
一、中心支撑	32
二、偏心支撑	34

三、屈曲约束支撑	40
四、支撑比选算例	44
本章参考文献	49
第三章 高层钢结构计算分析	51
第一节 小震地震作用计算	51
一、地震与抗震	51
二、小震地震作用计算的方法	58
三、弹性时程分析	64
第二节 高层钢结构抗风计算	70
一、风荷载标准值计算	70
二、横风向及扭转风振的计算	74
三、高层钢结构顺风向和横风向风振加速度计算	77
第三节 高层钢结构静力弹塑性分析	80
一、静力弹塑性分析方法 (Pushover) 的基本原理	80
二、静力弹塑性分析实例	87
第四节 高层钢结构动力弹塑性分析	101
一、动力弹塑性分析方法的基本原理	101
二、动力弹塑性分析实例	107
第五节 高层钢结构计算分析若干问题讨论	119
一、高层钢结构 $P-\Delta$ 效应计算	119
二、高层钢结构整体稳定验算	126
三、高层钢结构地震作用计算是否需要满足振型质量参与系数 90%	136
四、高层钢结构的位移比	137
五、高层钢结构的刚度比	140
六、高层钢结构的受剪承载力	142
七、高层钢结构的基底零应力区计算	145
八、高层钢结构的周期比	147
九、高层钢结构的地震作用计算	149
十、高层钢结构的剪重比	151
十一、高层钢结构的梁柱节点域剪切变形	158
十二、钢梁刚度放大系数讨论	162
十三、钢框架-支撑结构框架剪力调整	166
本章参考文献	167
第四章 高层钢结构构件计算与设计	170
第一节 梁的计算与设计	170
一、钢框架梁	170
二、钢次梁	172

三、组合梁计算例题	176
第二节 钢柱的计算与设计	182
一、钢柱的构造要求	182
二、钢柱的计算	186
三、钢柱的计算长度系数	188
第三节 钢支撑的计算与设计	199
一、钢支撑的构造要求	199
二、钢支撑的计算	200
第四节 钢结构节点设计	200
一、梁柱节点	200
二、中心支撑与框架连接节点	225
三、节点域验算	225
四、钢柱脚	227
第五节 高层钢结构楼板设计	231
一、压型钢板（闭口型）现浇钢筋混凝土组合楼板	231
二、现浇钢筋桁架混凝土楼板	235
三、现浇钢筋混凝土楼板	237
第六节 高层钢结构楼板舒适度设计	239
一、规范中楼板舒适度的规定	239
二、楼板结构舒适度设计的简化算法	241
三、楼板结构舒适度设计的有限元分析法	244
四、楼板舒适度分析算例	245
本章参考文献	251

第五章 高层钢结构的构造	252
第一节 结构钢	252
一、选用钢材的基本原则	252
二、钢材的延性要求	253
三、钢材质量等级 A、B、C、D、E 如何选用	254
四、钢材 Z 向性能选用	257
五、钢材的设计指标	259
六、常用的型钢	260
第二节 钢结构的连接材料	268
一、钢结构的焊接材料	268
二、钢结构用螺栓	273
第三节 钢结构防锈和防腐蚀材料	279
一、钢材除锈等级	280
二、钢材防锈和防腐蚀材料选用	281
第四节 钢结构防火材料	285

一、建筑分类和耐火等级	286
二、常用钢结构防火材料选用	288
第五节 高层钢结构设计中常见构造问题解析	291
一、焊缝质量等级的确定	291
二、顶层钢柱与框架梁连接构造	295
三、箱形截面梁与柱刚接构造	295
四、隅撑设置	297
五、柱脚锚栓构造	298
本章参考文献	298
 第六章 高层钢结构 PKPM 计算实例	300
第一节 工程概况及结构方案	300
一、工程概况	300
二、结构方案	300
第二节 PKPM 振型分解反应谱分析	302
一、SATWE 计算参数	302
二、SATWE 输出整体信息计算结果	317
第三节 PKPM 构件计算	331
一、框架柱计算	331
二、框架梁计算	334
三、支撑计算	336
第四节 PKPM 节点计算	338
一、框架梁、柱连接节点	339
二、中心支撑节点	343
三、主次梁连接节点	344
四、柱脚	346
本章参考文献	350

第一章 概 论

第一节 钢结构的优点

近年来，高层钢结构的工程越来越多，尤其是超高层钢结构工程，而纯钢筋混凝土结构超高层建筑很少。分析其原因，钢结构相比于混凝土，具有以下比较好的综合经济效益。

一、自重轻

钢结构高楼的自重约为 $8\sim 11\text{kN/m}^2$ ，钢筋混凝土高楼的自重约为 $15\sim 18\text{kN/m}^2$ ，前者比后者减轻自重 40% 以上^[1,1]。上海希尔顿酒店结构设计时，对钢筋混凝土结构、钢结构、钢-混凝土结构三种结构类型方案进行了对比，比较结果见表 1-1。

43 层上海希尔顿酒店三种结构类型方案的比较 表 1-1

结构类型	建筑总重 (kN)	单位面积自重 (kN/ m ²)	基底压力 (kN/ m ²)	结构竖向构件 所占面积 (m ²)	结构竖向构件 面积/建筑面积
钢筋混凝土结构	941000	18. 0	770	4700	9%
钢结构	546000	10. 5	450	1320	2. 5%
钢-混凝土结构	664000	12. 8	550	1730	3. 3%

钢结构建筑自重减轻，地震作用变小，使构件内力进一步减小。此外对于软弱地基，上部结构减轻 40%，还可使基础造价出现较大幅度的降低。

二、结构竖向构件所占的面积小

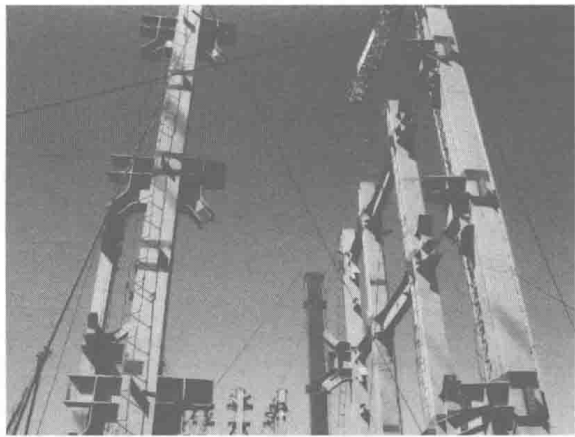
由于钢结构强度高，钢柱截面的外轮廓面积仅为钢筋混凝土柱的 1/3（见表 1-1）。据统计，钢柱和钢筋混凝土柱的结构面积分别约占建筑面积的 3% 和 7%。现以 8 万 m² 的楼房为例，若采用钢结构，可增加有效使用面积 3200m²。

三、施工周期短

钢结构由于工厂化程度高，在现场的主要工作是吊装、焊接，需要的工人也少，施工速度比钢筋混凝土结构约快 1.5 倍。一幢钢结构高楼，每 4 天完成一层；钢筋混凝土高楼，则需要 6 天才能完成一层。一幢 60 层的楼房，若采用钢结构，工期可缩短 4 个月。图 1-1 为中国石油乌鲁木齐大厦钢结构安装过程。



(a)



(b)

图 1-1 中国石油乌鲁木齐大厦钢结构吊装

四、降低层高

高层建筑内部管道较多，混凝土梁一般不能开洞，管道只好从梁下通过。而钢梁允许在腹板开洞，用以穿越管道，层高得以降低。在建筑总高度相同的情况下，采用钢结构，可以多出两、三层建筑面积。图 1-2 和图 1-3 为中国石油乌鲁木齐大厦钢梁穿孔走消防水管的图片。



图 1-2 中国石油乌鲁木齐大厦钢梁开洞

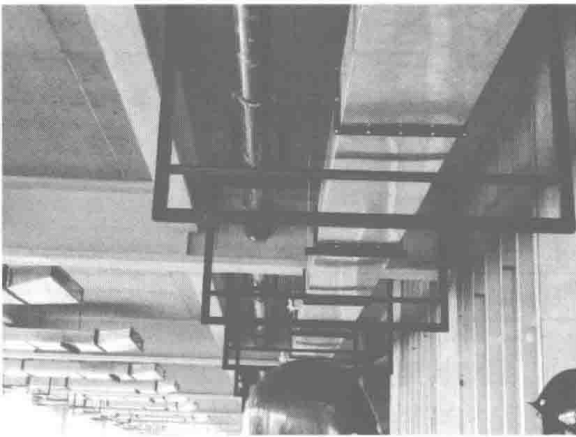


图 1-3 中国石油乌鲁木齐大厦消防管道安装照片

五、抗震性能优于钢筋混凝土结构

与钢筋混凝土结构相比较，钢结构的延性大，耐震性能好，特别适合于地震区的高层建筑。

1976 年我国唐山地震、1994 年美国北岭地震、1995 年日本阪神地震和 2008 年我国汶川地震，钢结构房屋的破坏率和破坏程度均远低于钢筋混凝土结构房屋。

六、钢结构柱网大

钢结构的承载能力大，梁截面高度相同的情况下，钢结构的柱网尺寸可以比钢筋混凝土结构加大 50% 左右，提高了建筑布置的灵活性。

第二节 高层钢结构设计及研究现状

一、国内高层钢结构工程实例代表

高层钢结构在我国的发展经历了国外设计、我国参与设计到国内自主设计的过程。1984年,国内第一栋高层钢结构北京长富宫中心饭店由中国和日本合作设计,1988年完工,采用纯框架结构^[1,2]。1990年建成的北京京广中心,地上52层,地下3层,房高196m,采用框架-支撑结构。1996年建成的深圳地王大厦,地上69层,地下3层,高325m,采用钢框架-钢筋混凝土核心筒结构。1997年建成的大连远洋大厦,地上51层,地下4层,高200.8m,是我国首幢设计、钢材、加工制作、安装、施工及监理全部实现国产化的高层钢结构工程。1998年建成的上海金茂大厦,地上88层,地下3层,结构高度420.5m,采用巨型伸臂桁架、巨型柱和核心筒组成的混合结构体系。2008年建成的上海环球金融中心,地上101层,地下3层,总高492m,采用巨型框架+钢筋混凝土核心筒+伸臂桁架的结构。目前国内在建的第一高楼上海中心大厦共127层,总高632m^[1,3]。

二、国内高层钢结构设计规范

1974年我国第一本钢结构设计规范面世,1988年、2003年进行了两次修订。但是《钢结构设计规范》均没有对地震地区钢结构设计作出规定,仍需要参照《建筑抗震设计规范》中钢结构部分的规定。《钢结构设计规范》的参编单位大都为高校、研究院以及工业设计院。最新的《钢结构设计规范》修订工作于2008年启动,大量的民用建筑设计院加入到了参编队伍,同时也加入了结构体系、钢结构抗震设计等内容^[1,4]。

1987年国家建设部下达编制《高层民用建筑钢结构技术规程》的通知,《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99-98编制组由部分高校、设计院和施工企业中的有关人员组成,当时除了两位早年曾在外国留学过的学者外,其余参加者对高层钢结构都较陌生,编制工作是以边学边干的方式进行的。该规程的编制,在结构规则性、抗震设计、构件计算等方面,主要参考了美国加州规范,日本的高层建筑计算指南也提供了重要参考。连接和构造主要参考日本的设计规定。当时引进的国外工程正在施工,这些房屋结构形式多样,有的位于强震区,有的位于低烈度区,为我国的钢结构设计提供了丰富的实物教材。有些具体规定,如层高和高宽比限值、层间位移限值、柱脚设计等,分别参考了美国和日本等文献。《高层民用建筑钢结构技术规程》在1991年初步完成后,因为没有经验,按主管部门要求经过多次修改,1998年才公布施行。1994年和1995年在美国和日本相继发生的北岭大地震和阪神大地震,对钢结构抗震设计影响很大,相关的文献和新标准较多,对修订工作帮助很大。

三、高层钢结构的应用前景

我国是世界上最大混凝土建筑和砌体建筑国家之一,每年均需要生产大量的混凝土和砌体,每年均需要毁坏大量的农田、消耗大量的标准煤以及排放大量的温室气体和废水。

此外,由于混凝土无法回收,因此也就堆积了大量的建筑垃圾且难以处理,这一点完全不符合可持续发展的理念和要求。而且近些年来,人工成本越来越高,混凝土结构的施工需要大量的工人。因此高层建筑中,钢结构替代一部分混凝土结构的趋势越来越明显。

我国高层钢结构研究相比于发达国家较少,大多高层钢结构设计规范也都摘录国外规范。因而十分有必要对高层钢结构设计进行研究。本书的目的和意义在于:

(1) 力求为高层钢结构抗震设计的概念设计提供规律,使得结构设计人员更好的把握超高层钢结构抗震设计思想;

(2) 通过具体实例分析,为类似高层钢结构设计提供借鉴。

本章参考文献

- [1.1] 沈恭等. 上海八十年代高层建筑结构设计 [M]. 上海: 上海科学普及出版社, 1994.
- [1.2] 崔鸿超, 胡庆昌. 高层钢抗弯框架抗震性能研究 [J]. 建筑结构. 2013, 43 (16).
- [1.3] 沈祖炎, 温东辉, 李元齐. 中国建筑钢结构技术发展现状及展望 [J]. 建筑结构. 2009, 39 (9).
- [1.4] 王立军. 《钢结构设计规范》(GB 50017—2003) 修订工作简介 [J]. 建筑钢结构进展. 2009, 39 (9).

第二章 高层钢结构的结构选型

第一节 高层钢结构的各类结构体系

一、各类结构体系的适用高度及高宽比限值

综合《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99—2015^[2.1]和《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010^[2.2]的规定，钢结构民用房屋的结构类型和最大高度应符合表 2-1 的规定。平面和竖向均不规则的钢结构，适用的最大高度宜适当降低。钢结构民用房屋的最大高宽比不宜超过表 2-2 的规定。

钢结构房屋适用的最大高度 (m) 表 2-1

结构类型	6 度、 7 度(0.10g)	7 度 (0.15g)	8 度		9 度 (0.40g)
			(0.20g)	(0.30g)	
框架	110	90	90	70	50
框架-中心支撑	220	200	180	150	120
框架-偏心支撑、框架-屈曲约束支撑、 框架-延性墙板	240	220	200	180	160
筒体(框筒、筒中筒、桁架筒、束筒)、 巨型框架	300	280	260	240	180

注：1. 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；
2. 超过表内高度的房屋，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施；
3. 表内的筒体不包括混凝土筒。

钢结构民用房屋适用的最大高宽比 表 2-2

烈度	6、7	8	9
最大高宽比	6.5	6.0	5.5

注：塔形建筑的底部有大底盘时，计算高宽比的高度可按大底盘顶部算起。

二、框架结构工程实例

北京长富宫中心饭店钢结构是我国最早一批建造的现代高层钢结构。于 1984 年开始设计，1988 年完工，由中国和日本合作设计。由于是国内第一栋高层钢结构，为使结构简捷、易于施工，经中日双方研究，选择了纯钢框架结构，设计中除地震作用的取值外均采用日本设计规范（当时中国尚无相应的规范规程）。《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 规定 8 度 0.20g 地区，钢框架房屋适用的最大高度为 90m，至今在 8 度抗震设防地

区，对于 26 层总高 91m 的高层建筑采用纯钢框架结构也属罕见^[2.3]。

(一) 工程概况

北京长富宫中心饭店地上共 26 层，地下共 3 层，其中地下 3 层为钢筋混凝土结构，地下 2 层～地上 2 层为钢筋混凝土结构，3～26 层为钢结构，总建筑面积 50516m²，标准层层高 3.3m，总高 91m。该工程采用纯钢框架结构体系。其标准层结构平面布置如图 2-1 所示。

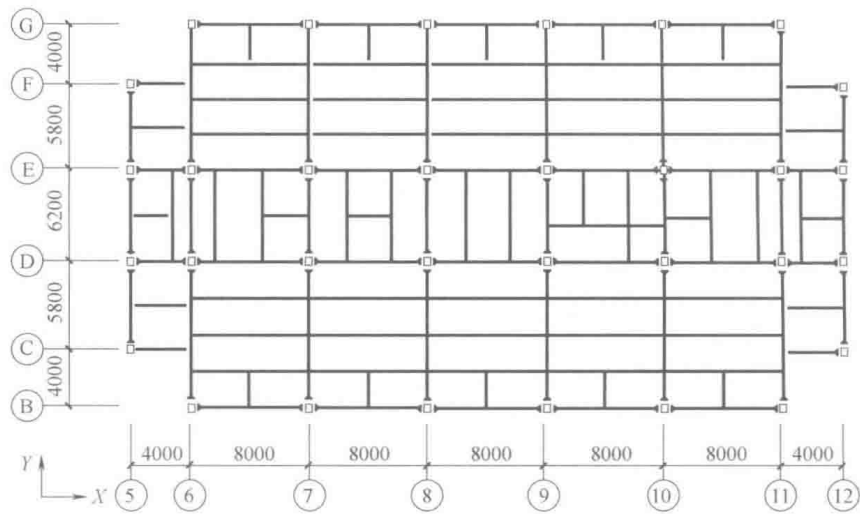


图 2-1 北京长富宫中心饭店标准层结构平面布置图

(二) 结构方案比较^[2.4]

- 1. 框架结构。基本周期 3.6s，多遇地震作用下层间位移角 1/337。结构刚度小，变形较大。但地震作用小，含钢量较低，没有设置支撑，易于施工。实际工程采用这种结构形式。
- 2. 框架-支撑结构。基本周期 2.37s，多遇地震作用下层间位移角 1/1398。结构刚度大，变形较小。对非结构部件、建筑装修及设备管线有利；缺点是构造比较复杂，施工较复杂。

(三) 构件截面尺寸^[2.5]

钢柱：450×450 箱形截面，钢板厚度 19～40mm。
钢梁：650mm 高焊接 H 型钢，翼缘宽 200～250mm，钢板厚度 16～32mm；腹板厚 12mm。钢梁多为变截面梁，靠近支座处翼缘加宽加厚。柱梁钢板厚度变化见表 2-3。
型钢混凝土柱：1200×1200、850×850 内置 450×450 箱形型钢。
型钢混凝土梁：500×950 内置 650 高 H 型钢梁、500×1100 内置 850 高 H 型钢梁。
钢结构的全部建筑面积为 33772m²，钢结构用量 108.6kg/m²。

北京长富宫中心饭店柱梁钢板厚度变化表 表 2-3

位置	钢板厚度(mm)						
柱	40	36	32	28	25	22	19
梁	32	28	25	22	19	16	12

(四) 主要节点连接做法

框架梁与框架柱采用常用的栓焊法。主次梁之间采用高强度螺栓的铰接连接法。

钢筋混凝土梁与型钢混凝土柱的连接是在型钢混凝土柱上焊一段长 2m 的工字形截面短梁段，该梁段焊栓钉，然后将钢筋混凝土梁的纵向钢筋锚入型钢混凝土柱内。

(五) 钢框架、钢框架-支撑、钢框架-混凝土剪力墙三种结构形式对比^[2,3]

北京长富宫中心饭店结构设计负责人崔鸿超在时隔 29 年后，对北京长富宫中心饭店的结构进行了三种结构形式的对比分析，即钢框架结构、钢框架-支撑结构、钢框架-混凝土剪力墙结构。

1. 钢框架结构。构件截面详前文。

2. 钢框架-支撑结构。原钢框架结构改为钢框架-支撑结构进行计算分析，由长细比控制的支撑截面为 H250×250×10×16、H300×300×10×16 及 H350×350×10×16。开始计算时梁柱截面均与原钢框架结构的梁柱截面相同，经计算分析后对梁、柱截面均做了调整。钢框架-支撑结构的结构布置形式如图 2-2 所示。由于采用了支撑，地震作用增大，尤其与支撑相连的柱截面需调大，箱形柱截面由 450×450 增加到 500×500，主梁截面也相应加大，用钢量增加到 121kg /m²。

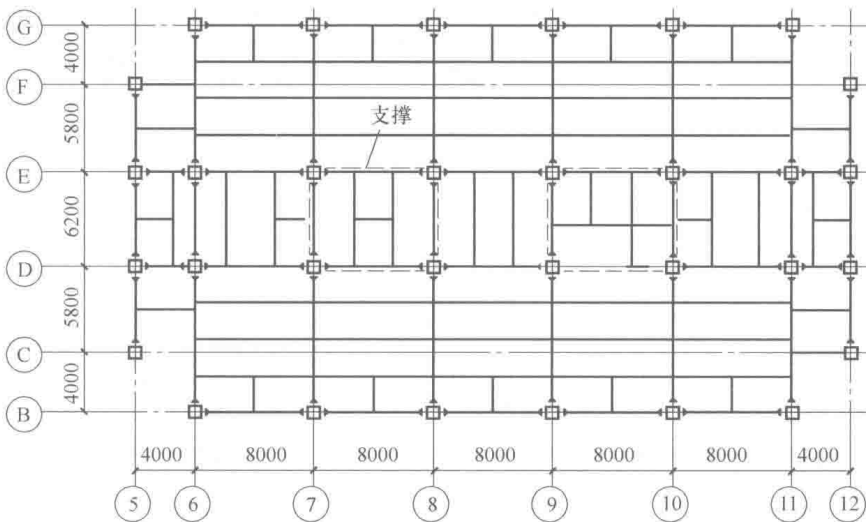


图 2-2 北京长富宫中心饭店钢框架-支撑结构标准层平面布置图

3. 钢框架-混凝土剪力墙结构。将原钢框架结构改为钢框架-混凝土剪力墙混合结构进行计算分析，其中，墙体厚度由上至下采用 350~600mm，混凝土强度等级由上至下采用 C35~C55。开始计算时，梁柱截面均与原钢框架结构的梁柱截面相同。在混合结构中，外围框架的梁与柱为刚接，楼面梁与钢筋混凝土筒体采用铰接，与外围框架柱采用刚接连接。混合结构的结构布置形式如图 2-3 所示。由于设置混凝土剪力墙，地震作用增加，框架部分考虑规范对二道防线的具体要求，根据《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010 的规定，钢-混凝土剪力墙混合结构各层框架柱所承担的地震剪力不应小于结构底部总剪力的 25% 和框架部分地震剪力最大值的 1.8 倍两者的较小者。混合结构中外框架承担的地震剪力调整系数较大，Y 向调整系数为 1.0~3.325，X 向调整系数为 1.248~8.711。钢柱及梁的截面均需增大，底层箱形柱截面增加到 550×550，梁翼缘加厚，总用钢量为 90kg /m²。

三种结构形式反应谱分析层间位移角及周期见表 2-4。

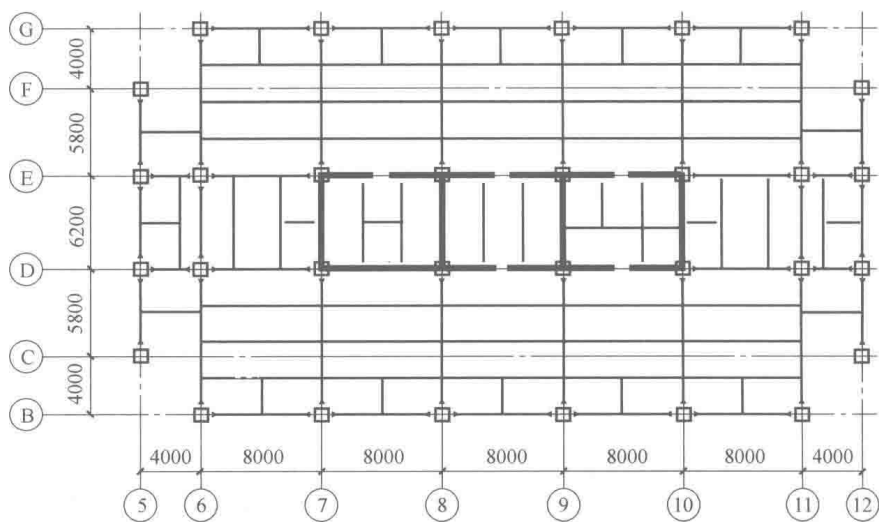


图 2-3 北京长富宫中心饭店钢框架-混凝土剪力墙结构标准层平面布置图

北京长富宫中心饭店反应谱分析层间位移角及周期 表 2-4

结构形式			钢框架结构	钢框架-支撑结构	钢框架-混凝土剪力墙结构
最大层间 位移角	地震作用	X 向	1/326	1/540	1/3520
		Y 向	1/306	1/416	1/808
	风荷载 作用	X 向	1/825	1/1640	1/9999
		Y 向	1/425	1/631	1/1588
周期(s)		T_1	3. 7281	3. 1457	2. 2788
		T_2	3. 6664	2. 7431	0. 9776
		T_3	3. 0423	2. 7022	0. 7072

北京长富宫中心饭店纯钢框架结构的平均层荷重为 9.2kN/m²，钢框架-混凝土剪力墙结构为 15kN/m²，仅剪力墙 5100m³的混凝土重就达 127500kN，平均为 3.68kN/m²。由于纯钢框架结构自重轻，地震作用较混凝土结构小约 2.2 倍，而混合结构的剪力墙和其框架均要承受更大的地震作用，不仅柱及梁截面均要比纯钢框架结构大，而且在罕遇地震作用时，结构产生的塑性铰要多于纯钢框架结构。

各种结构形式的材料用量见表 2-5，按表中材料用量，并根据市场施工单价，三种结构造价比较如下：纯钢框架比钢框架-支撑结构少 312 万元；纯钢框架比钢框架-剪力墙结构少 270 万元。三种结构施工条件对比见表 2-6，构件吊装次数见表 2-7。钢框架-剪力墙的钢构件吊装次数少，但竖向构件剪力墙的 5100m³钢筋混凝土浇灌工程量很大，而且与钢结构吊装在工序、设备及时间上需要密切协调。纯钢框架结构在构造简单和施工速度快方面有很大优势，是北京长富宫中心饭店在选择结构形式时主要的考虑因素。

北京长富宫中心饭店三种结构形式材料用量 表 2-5

结构形式	钢框架结构	钢框架-支撑结构	钢框架-混凝土剪力墙结构
总用钢量(t)	3674	4021	3119
单位面积含钢量(kg/m ²)	108	121	90