

高楼钢结构体系 与工程实例

曾凡生 王 敏 编著
杨翠如 刘大海

全钢结构
钢-混凝土混合结构
型钢混凝土结构
钢管混凝土结构



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高楼钢结构体系 与 工程实例

曾凡生 王 敏 编著
杨翠如 刘大海



机械工业出版社

本书系统阐述了全钢结构高楼、钢-混凝土混合结构高楼、型钢混凝土结构高楼、钢管混凝土结构高楼的特征、设计要点、构造要求等内容；收集了国内外 119 个钢结构高楼的工程实例，按照抗侧力构件的属性，归纳为 18 种结构体系；对每一种结构体系，均逐一阐述了其构件组成、受力特点、侧移形态、抗风能力、耐震性能、设计要点。本书配有三百余幅工程实例的结构平面布置图、剖面图、节点细部图等，供工程设计人员和相关专业的大中专院校师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高楼钢结构体系与工程实例/曾凡生等编著. —北京:
机械工业出版社, 2014. 6
ISBN 978 - 7 - 111 - 46739 - 7

I. ①高… II. ①曾… III. ①高层建筑 - 钢结构 - 结构设计 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 100989 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 马 宏 责任编辑: 马 宏

版式设计: 霍永明 责任校对: 张莉娟 任秀丽

责任印制: 刘 岚

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 30.25 印张 · 2 插页 · 743 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 46739 - 7

定价: 89.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前言

随着我国经济建设和社会城市化的快速发展,城市人口密度持续增加,城市地面交通出现拥堵,迫使城市建筑向高空发展,高层建筑日益增多,建筑结构类型也从砌体结构、钢筋混凝土结构向钢结构延伸。尽管目前钢筋混凝土结构由于造价较低仍是高层建筑的主要结构类型,但随着钢结构设计和制造技术的进步,在高层建筑领域,二者在造价上的差距日渐缩小。

钢结构具有承载力高、截面尺寸小、建筑总重轻、基础费用低和耐久性高等优点,最适宜建造高层建筑。与钢筋混凝土结构相比较,钢结构具有更大的韧性、延性、变形能力和耗能容量,是地震区高层建筑的首选结构类型。随着建筑技术的发展和工程实践经验的积累,钢结构高楼也从单一的全钢结构,拓展为钢-混凝土混合结构、型钢混凝土结构和钢管混凝土结构,进一步增强了高楼的抗风和抗震能力。

为了使工程设计人员在设计钢结构高楼时有所借鉴,本书广泛收集国内外钢结构高楼的工程实例,并按结构受力特点和侧向变形属性进行划分,归纳为 18 种结构体系,并逐一阐述结构体系的构件组成、受力特点、侧移形态、抗风能力、耐震性能、设计要点,以及相应的上百个工程实例。工程设计人员可以在这些工程实例的基础上,取长补短,使高楼结构设计实现更经济、更合理的方案,将高楼钢结构设计水平推向更高层次。

目 录

前言

第1章 高楼钢结构类型、特征

和设计要点 1

1.1 全钢结构 1

1.1.1 钢构件的构造要求 1

1.1.1.1 杆件截面形状 1

1.1.1.2 抗风设计 1

1.1.1.3 抗震设计 4

1.1.2 结构性能 6

1.1.3 结构用钢量 7

1.1.4 结构造价与综合经济效益 7

1.1.5 国内外全钢结构高楼工程概况 8

1.2 钢-混凝土混合结构 9

1.2.1 混合结构体系的组成 9

1.2.2 混合结构的特点 11

1.2.3 混合结构的性能 12

1.2.4 混合结构抗震设计 12

1.2.5 混合结构高楼工程概况 14

1.3 型钢混凝土结构 18

1.3.1 型钢混凝土结构的组成 18

1.3.2 型钢混凝土结构的性能和特点 18

1.3.3 型钢混凝土结构的工程应用和适用范围 20

1.3.4 型钢混凝土结构设计要点 20

1.3.5 型钢混凝土结构构造要求 23

1.3.5.1 一般构造要求 23

1.3.5.2 梁、柱构造要求 26

1.3.6 型钢混凝土结构高楼工程概况 29

1.4 钢管混凝土结构 30

1.4.1 钢管混凝土结构特征 30

1.4.2 钢管混凝土杆件材料 31

1.4.3 钢管混凝土结构的应用与发展 32

1.4.4 钢管混凝土杆件的性能 32

1.4.5 钢管混凝土结构的特点 37

1.4.6 钢管混凝土结构设计要点 39

1.4.7 钢管混凝土结构高层建筑工程概况 42

第2章 高楼结构方案与构件布置 44

2.1 房屋体型 44

2.1.1 建筑平面形状 44

2.1.2 建筑立面形状 46

2.2 承重构件的布置 47

2.2.1 竖向承重构件 47

2.2.2 楼盖承重构件 49

2.3 抗侧力构件的类型 53

2.3.1 高楼结构设计特点 53

2.3.2 抗侧力构件的基本形式 54

2.3.3 抗侧力构件的分类 54

2.3.4 侧力作用下几种构件的变形状态 55

2.3.5 抗侧力结构的优化 57

2.3.6 承重构件和抗侧力构件的用钢量 61

2.4 房屋高度和高宽比 61

2.4.1 基本概念 61

2.4.2 全钢结构 62

2.4.3 钢-混凝土混合结构 64

2.5 高楼结构发展趋势 65

2.5.1 材料高性能化 65

2.5.2 建筑轻量化 66

2.5.3 构件立体化 66

2.5.4 巨柱周边化 66

2.5.5 支撑大型化 67

2.5.6 体形圆锥化 68

2.5.7 结构混合化 71

2.5.8 动力反应智能化 72

第3章 结构材料 74

3.1 结构钢 74

3.1.1 钢材性能	74	7 第一银行塔楼	139
3.1.2 国产钢材	75	8 标准石油公司大楼	139
3.1.3 国外钢材	83	9 世界贸易中心	140
3.2 焊接材料	89	10 波士顿办公大楼	142
3.3 螺栓与栓钉	95	11 城市协会大厦	142
3.3.1 高强度螺栓	95	12 加利弗尼亚广场大厦	143
3.3.2 圆柱头栓钉	100	4.2.7 型钢混凝土框筒体系工程实例	144
3.3.3 锚栓	101	13 德克萨斯商业大厦	144
3.4 钢筋混凝土材料	102	14 休斯敦美洲大厦	145
第4章 单一结构体系	103	4.2.8 钢管混凝土框筒体系工程实例	146
4.1 框架体系	103	15 爱尔莎塔楼	146
4.1.1 结构体系的组成	103	4.2.9 钢框架-混凝土框筒体系	149
4.1.2 结构特征	104	4.2.9.1 结构体系的组成	149
4.1.3 框架设计要点	106	4.2.9.2 抗震构造措施	149
4.1.4 框架结构杆件长细比和板件 宽厚比的要求	108	4.2.9.3 工程实例	150
4.1.5 框架梁-柱节点设计	111	16 贝壳广场大厦	150
4.1.6 框架体系适用房屋高度	119	17 国民广场大厦	151
4.1.7 工程实例	120	4.3 支撑框筒体系	151
1 北京长富宫中心—— 钢框架体系	120	4.3.1 支撑框筒的产生	151
2 印第安纳广场大厦—— 钢框架体系	121	4.3.2 支撑框筒结构体系的构成	152
3 台北荣民医院大楼—— 钢框架体系	122	4.3.3 支撑框筒结构的受力特点	152
4 福克斯广场大厦—— 钢框架体系	123	4.3.4 支撑框筒束体系	153
5 达拉斯中枢大厦—— 型钢混凝土框架体系	124	4.3.5 支撑框筒的设计要点	154
6 大阪奇艾思大厦—— 钢管混凝土框架体系	125	4.3.6 工程实例	154
4.2 框筒体系	127	18 第一国际广场大厦—— 全钢结构支撑框筒体系	154
4.2.1 框筒结构的特征	127	19 约翰·汉考克大厦—— 全钢结构支撑框筒体系	156
4.2.2 框筒受力特点	129	20 Shimizu 大厦—— 钢管混凝土柱支撑框筒 体系	158
4.2.3 圆形框筒与矩形框筒的比较	131	4.4 抗剪幕墙框筒体系	158
4.2.4 框筒设计要点	135		
4.2.5 框筒底层扩大柱距的对策	137		
4.2.6 全钢结构框筒体系工程实例	139		

4.4.1	结构体系的组成	158			
4.4.2	结构特征	159			
4.4.3	构件受力状态	159			
4.4.4	工程实例	160			
21	梅隆银行大厦	160			
4.5	框筒束体系	161			
4.5.1	结构体系的组成	161			
4.5.2	框筒束的适用范围	162			
4.5.3	框筒束的受力特点	163			
4.5.4	框筒束的设计要点	164			
4.5.5	工程实例	165			
22	西尔斯塔楼—— 方形框筒束	165			
23	艾伦大厦—— 长矩形框筒束	167			
24	新宿 I-LAND 塔楼—— 长矩形框筒束	168			
25	联合银行大楼—— 异形框筒束	170			
4.6	大型立体支撑体系	171			
4.6.1	结构体系的组成	171			
4.6.2	结构的受力状态	172			
4.6.3	构件的受力特点	172			
4.6.4	并联大型立体支撑体系	173			
4.6.5	大型立体支撑设计要点	174			
4.6.6	全钢结构大型立体支撑体系 工程实例	174			
26	联邦银行大厦	174			
27	花旗银行大厦	175			
28	上海 21 世纪大厦	176			
29	亚洲企业中心大厦	179			
30	旧金山铝业公司总部 大厦	179			
4.6.7	混合结构支撑筒体系工程 实例	182			
31	香港中国银行大楼	182			
32	依依中心大厦	184			
4.7	周边大型支撑体系	185			
4.7.1	结构体系的组成	185			
4.7.2	工程实例	186			
33	西南银行大楼	186			
4.8	巨型框架体系	187			
4.8.1	建筑的功能要求	187			
4.8.2	结构体系的组成	187			
4.8.3	构件受力特点	188			
4.8.4	钢结构巨型框架体系工程 实例	188			
34	东京市政厅大厦	188			
35	神户 TC 大厦	189			
36	日本电器总社塔楼	191			
37	信用银行大楼	193			
38	四川航空大楼	195			
39	东日本国铁大厦	197			
40	日本动力智能大厦	199			
4.8.5	钢管混凝土巨型框架体系工程 实例	201			
41	高雄国际广场大楼	201			
4.9	悬挂结构体系	204			
4.9.1	结构概况	204			
4.9.2	芯筒悬挂体系	206			
4.9.2.1	结构体系的组成	206			
4.9.2.2	结构变形特性	207			
4.9.2.3	耐震性能	207			
4.9.2.4	结构设计要点	207			
4.9.2.5	工程实例	208			
42	BMW 办公大楼	208			
43	标准银行大楼	209			
44	新加坡国库大楼	209			

4.9.3 多筒悬挂体系	210	框架-跨层轴交支撑体系	248
4.9.3.1 结构体系的组成	210	56 第一中心银行大厦——	
4.9.3.2 结构受力特点	211	框架-支撑体系	248
4.9.3.3 工程实例	211	57 日本 ACT 大厦——	
45 联邦储备银行	211	框架-跨层轴交支撑体系	250
46 沈阳国税局大厦	212	5.2 框架-墙板体系	251
4.9.4 钢构架悬挂体系	213	5.2.1 结构特征	251
4.9.4.1 结构体系的组成	213	5.2.2 钢板剪力墙	252
4.9.4.2 结构受力特点	214	5.2.3 内藏钢板支撑剪力墙	254
4.9.4.3 工程实例	214	5.2.4 带竖缝混凝土墙板	258
47 香港汇丰银行大楼	214	5.2.5 工程实例	260
4.10 多筒-钢梁结构体系	215	58 京城大厦——	
4.10.1 结构特征	215	钢框架-墙板体系	260
4.10.2 工程实例	215	59 京王广场饭店——	
48 保险公司大楼	215	钢框架-墙板体系	262
49 中保大厦	216	60 京广中心大厦——	
第5章 双重结构体系	218	钢框架-墙板体系	264
5.1 框架-支撑体系	218	61 代官山高层公寓——	
5.1.1 结构特征	218	型钢混凝土框-墙体系	266
5.1.2 竖向支撑的力学特性	220	62 新达城广场大厦——	
5.1.3 轴交支撑	222	钢管混凝土框-墙体系	268
5.1.4 偏交支撑	225	63 沈阳专网局大楼——	
5.1.5 防屈曲支撑	233	钢管混凝土框-墙体系	271
5.1.6 工程实例	241	5.3 框架-支撑芯筒体系	271
50 费加罗大厦——		5.3.1 结构体系的组成	271
框架-轴交支撑体系	241	5.3.2 结构的受力特点	272
51 霖园大饭店——		5.3.3 适用的房屋高度	272
框架-偏交支撑体系	242	5.3.4 钢管混凝土框架-支撑芯筒体 系工程实例	272
52 京唐饭店——		64 太平洋第一中心大厦	272
框架-偏交支撑体系	244	65 联盟广场大厦	273
53 宏总亚太财经广场——		66 西雅图进口塔楼	274
框架-偏交支撑体系	246	5.3.5 全钢结构框架-支撑芯筒体系 工程实例	274
54 加拿大国家银行大楼——			
框架-跨层偏交支撑体系	247		
55 拜耳大西洋塔楼——			

67	洛杉矶第一州际世界中心	274	81	海口金融大厦	305
5.4	支撑芯筒+刚臂体系	276	5.6	芯筒-框架体系	308
5.4.1	结构体系的组成	276	5.6.1	结构体系的组成	308
5.4.2	结构有刚臂、无刚臂的比较	277	5.6.2	结构体系抗风抗震性能	309
5.4.3	增设刚臂的效果	279	5.6.3	结构设计要点	311
5.4.4	全钢结构支撑芯筒+刚臂体系工程实例	280	5.6.4	混凝土芯筒-钢框架体系工程实例	312
68	威斯康星大厦	280	82	蒙帕纳斯大厦	312
69	锦江饭店(分馆)	280	83	阿拉空达塔楼	313
70	天津国际贸易中心大厦	282	84	纽约49号塔楼	314
71	匹兹堡美国钢铁公司总部大厦	284	85	上海静安希尔顿饭店	314
5.5	筒中筒体系	286	86	大连世界贸易大厦	317
5.5.1	结构体系的组成	286	87	大连远洋大厦	319
5.5.2	构件变形属性	286	88	台中市乡林摩天大楼	323
5.5.3	结构体系的受力特点	287	89	日本碳素横滨工厂办公楼	325
5.5.4	钢结构筒中筒体系工程实例	287	90	日本海老名塔楼	328
72	上海国际贸易中心大厦	287	91	上海证券大厦	330
73	北京国贸中心大厦(一期)	289	92	新金桥大厦	332
5.5.5	带墙板的钢结构筒中筒体系工程实例	291	93	北京国贸中心大厦(二期)	334
74	新宿三井大厦	291	94	深圳发展中心大厦——混凝土偏筒-钢框架体系	335
75	东京阳光大厦	292	5.6.5	型钢混凝土结构“芯筒-框架”体系工程实例	339
76	新宿行政大楼	294	95	香格里拉饭店	339
5.5.6	支撑内筒工程实例	296	96	上海瑞金大厦	340
77	台湾远东世界中心	296	97	休斯敦第一城市塔楼	341
5.5.7	“混凝土内筒-钢外筒”筒中筒体系	298	98	深圳八一大厦	343
5.5.8	型钢混凝土筒中筒体系工程实例	300	99	浦东国际金融大厦	344
78	陕西信息大厦	300			
79	上海环球金融中心大厦	301			
80	南宁宝都大厦	304			

100	富林广场大厦	347	组成	396
101	上海世界金融大厦	348	5.8.3 工程实例	396
102	广州汽车大厦	350	119	哈利法塔楼
5.6.6	钢管混凝土结构“芯筒-框架” 体系工程实例	352	附录	401
103	合银广场大厦	352	附录 A 国产型钢的规格及截面特性	401
104	广州新中国大厦	356	A.1 圆钢管	401
105	广州南航大厦	360	A.1.1 结构用无缝钢管	401
106	深圳信息中心大厦	361	A.1.2 直缝电焊钢管	406
107	厦门金源大厦	363	A.1.3 螺旋焊钢管	409
108	天津今晚报大厦	364	A.2 热轧 H 型钢和剖分 T 型钢	412
109	深圳赛格广场大厦	365	A.2.1 热轧轻型 H 型钢	412
110	墨尔本联邦中心大厦	371	A.2.2 热轧 H 型钢	413
111	深圳地王大厦	371	A.2.3 热轧窄翼缘 (HN 类) H 型钢	417
112	香港长江中心大厦	378	A.2.4 超厚超重 H 型钢	417
5.7	芯筒-翼柱体系	380	A.2.5 热轧桩用 H 型钢	420
5.7.1	结构体系的组成	380	A.2.6 热轧剖分 T 型钢	421
5.7.2	结构受力特点	381	A.3 焊接 H 型钢	424
5.7.3	工程实例	381	A.3.1 普通焊接 H 型钢	424
113	国家银行广场大厦	381	A.3.2 轻型焊接 H 型钢	428
114	香港中环东北大楼	383	A.3.3 结构用普通高频焊接薄壁 H 型钢	429
115	金茂大厦	384	A.3.4 结构用卷边高频焊接薄壁 H 型钢	431
116	台北市国际金融中心大厦	388	A.4 国内厂家已生产的 H 型钢	431
117	北京冠城园 A 楼	392	A.4.1 马鞍山钢铁股份有限公司 H 型钢产品	431
118	米格林-拜特勒大厦	394	A.4.2 马鞍山钢铁股份有限公司 H 型钢桩产品	434
5.8	叠置式混合结构体系	395	A.4.3 鞍山第一轧钢厂热轧 H 型 钢产品	434
5.8.1	高楼结构设计概念的演化	395	A.4.4 莱芜钢铁股份有限公司 H 型钢产品	436
5.8.2	叠置式混合结构体系的		A.5 热轧型钢	436
			A.5.1 工字钢	436
			A.5.2 槽钢	438
			A.5.3 等边角钢	439
			A.5.4 不等边角钢	439
			A.5.5 L 型钢	449
			附录 B 国外 H 型钢的规格及截面 特性	449
			B.1 日本轧制 H 型钢	449

B. 1. 1	日本轧制普通 H 型钢	449	B. 2. 3	英国轧制“柱用” H 型钢	456
B. 1. 2	日本产桩用 H 型钢	451	B. 3	美国轧制 H 型钢	456
B. 2	英国轧制 H 型钢	452	B. 3. 1	美国轧制 W 系列 H 型钢	456
B. 2. 1	英国轧制“通用梁型” H 型钢	452	B. 3. 2	美国轧制 M 系列 H 型钢	456
B. 2. 2	英国轧制“通用柱型” H 型钢	455	B. 3. 3	美国轧制 HP 系列 H 型钢	456
			参考文献		470

第 1 章

高楼钢结构的类型、特征 和设计要点

据统计, 1991 年以前建成的全世界最高的 100 幢建筑中, 采用全钢结构的为 58 幢, 采用钢-混凝土混合结构或型钢混凝土结构的为 28 幢, 采用钢筋混凝土结构的仅为 14 幢。

前一时期, 我国建造的高楼数量不多, 加之钢结构的用钢量较大, 造价较高, 设计、施工技术比较复杂, 配套轻质材料不全等原因, 我国建造的高楼均采用钢筋混凝土结构。20 世纪 80 年代末, 特别是近十年来, 情况有所改变, 北京、上海、深圳等地, 相继兴建了全钢 (S) 结构、钢-混凝土 (S-RC) 混合结构、型钢混凝土 (SRC) 结构和钢管混凝土 (CFT) 结构高楼 60 余幢, 在钢结构高楼的设计和施工方面积累了一定的经验, 为钢结构高楼在我国的发展奠定了基础。

随着经济的发展和技术的进步, 钢结构高楼的优点日益显露出来。从用钢量、面积利用系数、基础费用、工期等多方面的综合经济效益来看, 在高层这一领域, 钢结构与钢筋混凝土结构的差距正在缩小, 即使在我国当前的经济和技术条件下, 钢结构高楼也存在着较大、较快发展的可能。

1.1 全 钢 结 构

1.1.1 钢构件的构造要求

1.1.1.1 杆件截面形状

高楼钢结构所采用的框架体系、框架-支撑体系、框架-墙板体系和筒中筒体系中, 用作承重构件和抗侧力构件的有框架、桁架、水平支撑、竖向支撑和带肋钢板, 其中的梁、柱、桁架腹杆、支撑斜杆等受力杆件, 一般均采用热轧或焊接的工字钢、H 型钢、圆钢管、方钢管或矩形钢管, 或由 H 型钢与剖分 T 型钢拼焊成的十字形截面 (图 1-1a ~ e)。

1.1.1.2 抗风设计

1. 杆件长细比

(1) 框架柱 钢框架柱的长细比 λ 不应大于 $120 \sqrt{235/f_{ay}}$, 其中, f_{ay} 为钢材的屈服强度。

(2) 框架梁

1) 为充分发挥钢梁的最大承载力, 通常是通过刚性楼板或侧向支撑系统来保证梁的整体稳定性。

2) 钢框架梁的端部以及梁的集中荷载作用点等可能出现塑性铰的部位, 梁的受压翼缘应设置侧向支承。

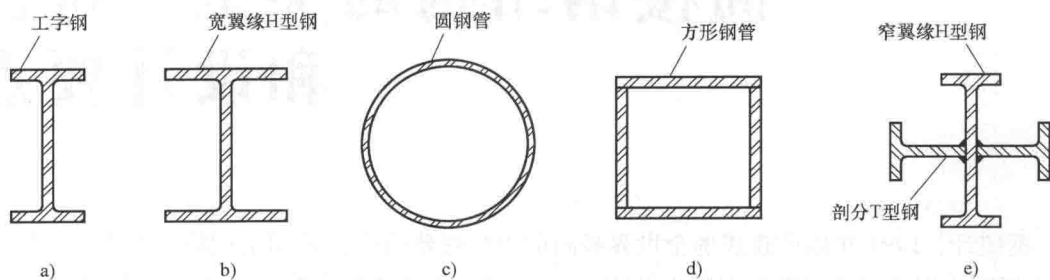


图 1-1 钢构件的杆件截面

a) 工字钢 b) H 型钢 c) 圆钢管 d) 矩形钢管 e) 十字形截面

3) 钢框架梁在相邻两个侧向支承点之间的杆件侧向长细比 λ_y 应符合 GB 50017—2003《钢结构设计规范》第 9 章关于塑性设计的有关规定, 且应符合表 1-1 的要求。

表 1-1 钢梁的容许侧向长细比 λ_y

应力比值	侧向支承点间的构件长细比 λ_y	应力比值	侧向支承点间的构件长细比 λ_y
$-1.0 \leq \frac{M_1}{W_{px}f} \leq 0.5$	$\lambda_y \leq \left(60 - 40 \frac{M_1}{W_{px}f} \right) \sqrt{\frac{235}{f_{ay}}}$	$0.5 \leq \frac{M_1}{W_{px}f} \leq 1.0$ 时	$\lambda_y \leq \left(45 - 10 \frac{M_1}{W_{px}f} \right) \sqrt{\frac{235}{f_{ay}}}$

注: 表中 λ_y ——钢梁在弯矩作用平面外的长细比, $\lambda_y = l_1 / i_y$;

l_1 ——钢梁相邻侧向支承点之间的距离;

i_y ——钢梁截面对 y - y 轴的回转半径;

M_1 ——与塑性铰相距为 l_1 的侧向支承点处的弯矩; 当长度 l_1 范围内为同向曲率时, $M_1 / (W_{px}f)$ 为正; 当为反向曲率时, $M_1 / (W_{px}f)$ 为负;

W_{px} ——钢梁对 x 轴的塑性截面模量 (抵抗矩);

f_{ay} 、 f ——钢材的屈服强度和抗拉强度设计值。

2. 板件宽厚比

(1) 框架柱 为防止压弯构件的局部失稳, 板件的宽厚比应满足下列要求。

1) 圆管截面 (图 1-2a) 圆管截面的受压构件, 其外径与壁厚之比不应超过 $100 \cdot (235 / f_{ay})$ 。

2) H 形截面 (图 1-2b)

① 框架柱的翼缘板, 自由外伸宽度 b_1 与其厚度 t_f (图 1-2b) 之比, 应满足下列要求:

$$\text{一般情况} \quad \frac{b_1}{t_f} \leq 13 \sqrt{\frac{235}{f_{ay}}} \quad (1-1)$$

当强度和稳定计算中取 $\gamma_x = 1.0$ 时

$$\frac{b_1}{t_f} \leq 15 \sqrt{\frac{235}{f_{ay}}} \quad (1-2)$$

上式中, 翼缘板自由外伸宽度 b_1 的取值, 对焊接构件, 取腹板边至翼缘板边缘的距离; 对轧制构件, 取内圆弧起点至翼缘板边缘的距离。

②H 形截面压弯构件的腹板, 依其应力差值 α_0 的大小, 腹板计算高度 h_0 与其厚度 t_w (图 1-2b) 之比, 应符合下列公式要求:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (1-3)$$

$$\text{当 } 0 \leq \alpha_0 \leq 1.6 \text{ 时, } \frac{h_0}{t_w} \leq (16\alpha_0 + 0.5\lambda + 25) \sqrt{\frac{235}{f_{ay}}} \quad (1-4)$$

$$\text{当 } 1.6 \leq \alpha_0 \leq 2.0 \text{ 时, } \frac{h_0}{t_w} \leq (48\alpha_0 + 0.5\lambda + 26.2) \sqrt{\frac{235}{f_{ay}}} \quad (1-5)$$

式中 $\sigma_{\max}$ ——腹板计算高度边缘的最大压应力, 计算时不考虑构件的稳定系数和截面塑性发展系数;

$\sigma_{\min}$ ——腹板计算高度另一边缘相应的应力, 压应力取正值, 拉应力取负值;

λ ——构件在弯矩作用平面内的长细比, 当 $\lambda < 30$ 时, 取 $\lambda = 30$; 当 $\lambda > 100$ 时, 取 $\lambda = 100$ 。

3) 方管截面 (图 1-2c)

①在方形或矩形钢管截面的压弯构件中, 受压翼缘的宽厚比 b_0/t_f (图 1-2c) 应不大于 $36 \sqrt{235/f_{ay}}$, 式中, f_{ay} 为钢材的屈服强度。

②方形或矩形钢管截面压弯构件的腹板计算高度 h_0 与其厚度 t_w (图 1-2c) 之比, 不应超过式 (1-4) 或式 (1-5) 右侧乘以 0.8 之后的限值。当此值小于 $40 \sqrt{235/f_{ay}}$ 时, 应采用 $40 \sqrt{235/f_{ay}}$ 。

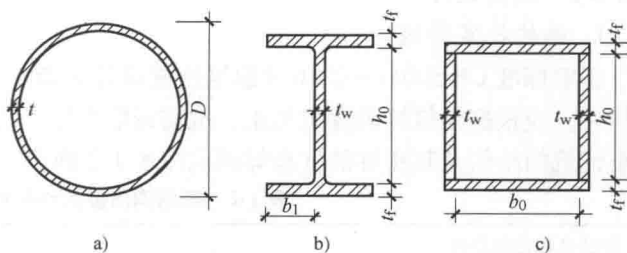


图 1-2 钢柱的截面形状

a) 圆形钢管 b) H 型钢 c) 矩形钢管

③大型实腹式柱, 在受有较大水平力处及运送单元的端部, 应设置横隔板, 横隔板的间距不得大于柱截面较大宽度的 9 倍, 且不应大于 8m。

(2) 框架梁 钢框架梁的板件宽厚比, 随截面塑性变形发展程度的不同, 而需满足不同的要求。

翼缘板自由外伸宽度 b_1 的取值, 对焊接工字钢, 取腹板边至翼缘板边缘的距离; 对轧制 H 型钢, 取腹板顶端圆弧起点至翼缘板边缘的距离。

1) 工字形和箱形截面钢梁, 受压翼缘的自由外伸宽度 b_1 与其厚度 t_f (图 1-3a、b) 的

比值 b_1/t_f 不应大于 $11\sqrt{235/f_{ay}}$ 。

2) 工字形和箱形截面钢梁, 腹板截面高度 h_0 与其厚度 t_w 的比值 h_0/t_w 应符合式 (1-6) 的要求。

$$\frac{h_0}{t_w} \leq \left(85 - 120 \frac{N_b}{A_f} \right) \sqrt{\frac{235}{f_{ay}}} \quad (1-6)$$

式中 N_b ——梁的轴向力;

A ——梁的截面面积;

f ——钢材的抗压强度设计值;

f_{ay} ——钢材的屈服强度。

3) 箱形截面钢梁 (图 1-3b) 受压翼缘在两腹板之间的宽度 b_0 与其厚度 t_f 的比值 b_0/t_f 应不大于 $36\sqrt{235/f_{ay}}$ 。

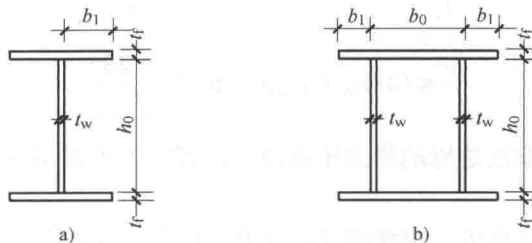


图 1-3 钢梁的截面形状

a) 工字形截面 b) 箱形截面

1.1.1.3 抗震设计

1. 结构抗震等级

国家标准 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》第 8.1.3 条规定: 钢结构高楼的结构和构件, 应根据建筑抗震设防类别、抗震设防烈度、房屋高度, 采用不同抗震等级。乙类和丙类建筑的结构及其构件的抗震等级应按表 1-2 确定。

表 1-2 钢结构房屋的结构抗震等级

建筑抗震设防类别		乙 类				丙 类			
抗震设防烈度		6 度	7 度	8 度	9 度	6 度	7 度	8 度	9 度
房屋高度	≤50m	四级	三级	二级	一级	—	四级	三级	二级
	>50m	三级	二级	一级	一级	四级	三级	二级	一级

注: 1. 高度接近或等于高度分界时, 应允许结合房屋不规则程度和场地、地基条件确定抗震等级。

2. 一般情况, 构件的抗震等级应与结构相同; 当某个部位各构件的承载力均满足 2 倍地震作用组合下的内力要求时, 7~9 度的构件抗震等级应允许按降低一度确定。

2. 适用的结构体系

国家标准 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》第 8.1.1 条和第 8.1.5 条规定:

(1) 钢结构房屋依其房屋高度和抗震设防烈度, 按照第 2 章表 2-3 的规定, 分别采用框架、框架-支撑、框架-墙板、各类筒体或巨型框架等结构体系。

(2) 结构抗震等级为一级和二级的钢结构房屋, 宜采用含有偏交支撑 (偏心支撑)、带

竖缝钢筋混凝土抗震墙板、内藏钢支撑钢筋混凝土墙板或防屈曲支撑（屈曲约束支撑）等消能支撑的框架-支撑结构或各类筒体结构。

(3) 采用框架结构时，建筑抗震设防类别为甲、乙类的建筑以及高层的丙类建筑，不应采用单跨框架，多层的丙类建筑不宜采用单跨框架。

3. 钢构件的杆件长细比

(1) 框架柱的长细比 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》第 8.3.1 条规定：一级钢框架柱的长细比不应大于 $60 \sqrt{235/f_{ay}}$ ；二级，不应大于 $80 \sqrt{235/f_{ay}}$ ；三级，不应大于 $100 \sqrt{235/f_{ay}}$ ；四级，不应大于 $120 \sqrt{235/f_{ay}}$ 。式中， f_{ay} 为钢材的屈服强度设计值。

(2) 框架梁的长细比 GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》第 8.3.3 条及其条文说明规定：

1) 钢框架梁的受压翼缘应根据需要设置侧向支承。当梁上翼缘与楼板有可靠连接时，简支梁可不设置侧向支承，固端梁下翼缘在梁端 0.15 倍梁跨附近宜设置隅撑。梁端采用骨形连接、梁端扩大或加盖板时，应在塑性区外设置竖向加劲肋，隅撑与偏置的竖向加劲肋相连。梁端翼缘宽度较大，对梁下翼缘侧向约束较大时，也可不设置隅撑。

2) 钢框架梁在地震作用下出现塑性铰的截面，上、下翼缘均应设置侧向支承。

3) 钢框架梁在相邻两个侧向支承点之间的杆件侧向长细比 λ_y ，应符合国家标准 GB 50017《钢结构设计规范》第 9 章关于塑性设计的有关规定，且应符合表 1-1 的要求。

4. 钢杆件的板件宽厚比

GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》第 8.3.2 条规定，钢框架梁和柱的板件宽厚比，应符合表 1-3 的规定：

表 1-3 钢框架梁、柱的板件宽厚比限值

杆件名称和板件部位		构件抗震等级			
		一级	二级	三级	四级
柱	工字形截面翼缘外伸部分	10	11	12	13
	工字形截面腹板	43	45	48	52
	管形截面壁板	33	36	38	40
梁	工字形截面和箱形截面翼缘外伸部分	9	9	10	11
	箱形截面翼缘在两腹板之间部分	30	30	32	36
	工字形截面和箱形截面腹板	$72 - 120 \frac{N_b}{Af}$ ≤ 60	$72 - 100 \frac{N_b}{Af}$ ≤ 65	$80 - 110 \frac{N_b}{Af}$ ≤ 70	$85 - 120 \frac{N_b}{Af}$ ≤ 75

注：1. 表列数值适用于 Q235 钢，采用其他牌号钢材时，应乘以 $\sqrt{235/f_{ay}}$ ；

2. $N_b/(Af)$ 为框架梁的轴压比。

5. 框架梁与柱的连接

GB 50011—2010《建筑抗震设计规范》第 8.3.4 条至第 8.3.7 条规定，钢框架的梁与柱的连接构造应符合下列要求：

(1) 梁与柱的连接宜采用柱贯通型。

(2) 柱在两个互相垂直的方向都与梁刚接时宜采用方形或矩形管截面，并在梁翼缘连

接处设置隔板。隔板采用电渣焊时, 壁板厚度不应小于 16mm; 小于 16mm 时可改用 H 形柱或采用贯通式隔板。当柱仅在一个方向与梁刚接时, 宜采用 H 形截面, 并将柱腹板置于刚接框架平面内。

(3) H 形柱 (绕强轴) 和管形柱与梁刚接时, 应符合下列要求:

1) 梁翼缘与柱翼缘间应采用全熔透坡口焊缝; 构件抗震等级一、二级时, 应检验焊缝的 V 型切口冲击韧性, 其夏比冲击韧性在 -20°C 时不低于 27J。

2) 柱在梁翼缘对应位置设置横向加劲肋 (隔板), 加劲肋 (隔板) 厚度不应小于梁翼缘厚度, 强度与梁翼缘相同。

3) 梁腹板宜采用摩擦型高强度螺栓与柱连接板连接 (经工艺试验合格能确保现场焊接质量时, 可用气体保护焊进行焊接); 腹板角部应设置焊接孔, 孔形应使其端部与梁翼缘和柱翼缘间的全熔透坡口焊缝完全隔开。

4) 腹板连接板与柱的焊接, 当板厚不小于 16mm 时应采用双面角焊缝, 焊缝有效厚度应满足等强度要求, 且不小于 5mm; 板厚大于 16mm 时采用 K 形坡口对接焊缝。该焊缝宜采用气体保护焊, 且板端应绕焊。

5) 构件抗震等级一级和二级时, 宜采用能将塑性铰自梁端外移的端部扩大形连接、梁端加盖板或骨形连接。

(4) 框架梁采用悬臂梁段与柱刚性连接时, 悬臂梁段与柱应采用全焊接连接, 此时上、下翼缘焊接孔的形式宜相同; 梁的现场拼接可采用翼缘焊接、腹板螺栓连接或全部螺栓连接。

(5) 管形柱在与梁翼缘对应位置设置的隔板, 应采用全熔透对接焊缝与壁板相连。H 形柱的横向加劲肋, 与柱翼缘间应采用全熔透对接焊缝连接, 与腹板间可采用角焊缝连接。

(6) 梁与柱刚性连接时, 柱在梁翼缘上下各 500mm 的范围内, 柱翼缘与柱腹板间或管形柱壁板间的连接焊缝应采用坡口全熔透焊缝。

(7) 框架柱的接头宜位于框架梁上方 1.3m 附近, 或柱净高的一半, 取二者的较小值。

(8) 上、下柱的对接接头应采用全熔透焊缝, 柱拼接接头上下各 100mm 范围内, H 形柱翼缘与腹板间及管形柱角部壁板间的焊缝, 应采用全熔透焊缝。

1.1.2 结构性能

(1) 延性大——与钢筋混凝土结构相比较, 钢结构的延性大, 抗震性能好, 特别适用于地震区的高层建筑。

1976 年我国唐山地震、1985 年墨西哥地震和 1995 年日本阪神地震, 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。

(2) 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。

(3) 自重轻——钢结构高楼的自重约为钢筋混凝土结构的 60%, 由于自重较轻, 更易于采用调频质量阻尼器等消能装置, 以减弱地震时的结构振动, 提高楼房的抗震可靠度。此外, 建筑自重轻还可降低基础费用。