

❶ 高职高专规划教材

MOVIE ARTS CENTER
yangjieyou
Shigong jishu
yu Shixun

钢结构施工技术与实训

► 胡建琴 常自昌 主编



化学工业出版社

高职高专规划教材

钢结构施工技术与实训

胡建琴 常自昌 主 编
黄 燕 张小红 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要依据现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)和《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)编写。内容分上下两篇,上篇阐述了钢结构基本结构形式、钢结构识图、建筑钢结构钢材的选用、钢结构螺栓连接和铆接、钢结构焊缝连接、钢结构加工制作、钢结构涂装工程、钢结构安装施工、压型金属板工程和大跨度钢结构安装等内容。下篇设有职业活动训练实践环节,有典型工程案例、工程实践等内容。本书具有内容充实、突出实用、体例新颖、集教材与资料于一体的特点。

本书可作为高职高专院校土木施工类各专业教材,也可作为高校、岗位培训和相关专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构施工技术与实训/胡建琴,常自昌主编. —北京:化学工业出版社,2010.3
高职高专规划教材
ISBN 978-7-122-07319-8

I. 钢… II. ①胡…②常… III. 钢结构-建筑工程-施工技术-高等学校:技术学院-教材 IV. TU758.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 010589 号

责任编辑:李仙华 卓 丽 王文峡
责任校对:宋 夏

装帧设计:周 遥

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张19 插页7 字数517千字 2010年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:32.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书主要依据现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)和《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)编写。分上下两篇,上篇以钢结构施工和质量控制为主线,分12章介绍了钢结构基本结构形式、钢结构识图、建筑钢结构钢材的选用、钢结构螺栓连接和铆接、钢结构焊缝连接、钢结构加工制作、钢结构涂装工程、钢结构安装施工、压型金属板工程和大跨度钢结构安装等内容。下篇为增强学生在钢结构课程学习中,对钢结构的材料、节点构造、施工方法、质量验收等有进一步的认识,根据入职体验要求设计了职业活动训练实践教学环节,从而提高学习钢结构施工技术的学习效果。

本书编写过程中,在沿用同类教材类似内容的基础上,力求使内容与钢结构施工、监理岗位的需要紧密结合,与现行规范内容一致,努力体现目前钢结构施工技术工作的操作性、资料性、规范性。为了便于教学组织和学生自学,本书在上篇的章前设有知识目标和学习目标,下篇设有钢结构施工技术课程教学标准和相关职业活动训练实训内容,穿插有典型工程案例、工程实践等内容。本书具有内容充实、突出实用、体例新颖、集教材与资料于一体的特点。

本书由胡建琴、常自昌主编,黄燕、张小红副主编。参加编写的人员及分工如下:兰州石化职业技术学院黄燕、袁维红编写第1、2、5章和13章的13.5节,胡建琴、张小红编写第3、8、10~12和13章的13.1~13.4、13.6、13.8、13.9节,宋学平、王帆编写第6、7章和13章的13.7节;感谢甘肃省长城建筑总公司总工程师常自昌(一级注册建造师、注册造价工程师)编写第4、9章。

本书在编写过程中,参阅了有关文献资料以及张鸿提供的钢结构设计施工图及钢结构加工图,在此一并致以诚挚的感谢。本书提供有电子教案,可发信到 cipedu@163.com 邮箱免费获取。

限于编者的水平和时间所限,本书难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2010年1月

目 录

上 篇

第 1 章 绪论	1	2.5 钢结构工程施工图实例	23
1.1 钢结构的发展趋势	1	2.5.1 工程概况	23
1.2 钢结构的特点	2	2.5.2 建筑施工图	24
1.2.1 钢结构的优点	2	2.5.3 钢结构施工图	24
1.2.2 钢结构的缺点	3	2.5.4 结构平面图	25
1.3 钢结构形式	4	2.5.5 钢框架、门式刚架施工图及其他 详图	25
1.3.1 建筑钢结构形式	4	能力训练题	35
1.3.2 安装钢结构形式	8	第 3 章 钢结构材料	36
1.4 钢结构的法规性文件	8	3.1 基础知识	36
1.4.1 规范体系	8	3.1.1 黑色金属、钢和有色金属的基本 概念	36
1.4.2 钢结构的规范标准	9	3.1.2 常用钢材的分类	36
1.5 课程的内容和学习方法	11	3.1.3 钢材缺陷术语	37
1.5.1 课程的主要内容	11	3.1.4 钢材常用的标准术语	39
1.5.2 课程的学习方法	11	3.1.5 钢材的交货状态	41
能力训练题	11	3.1.6 钢材的分类	41
第 2 章 钢结构识图	12	3.1.7 钢铁牌号	42
2.1 钢结构工程施工图基本概念	12	3.2 钢材的化学成分	42
2.1.1 建筑施工图与结构施工图的设计	12	3.2.1 常用钢材的化学成分	43
2.1.2 建筑施工图	12	3.2.2 各化学成分对钢材性能的影响	44
2.1.3 钢结构施工图	13	3.3 钢材的性能及检验方法	45
2.1.4 设备施工图	14	3.3.1 钢材性能的分类	45
2.1.5 施工图的编排顺序	14	3.3.2 钢材的力学性能检验方法	45
2.1.6 看图的方法和步骤	14	3.3.3 钢铁材料的工艺性能和耐腐 蚀性	48
2.2 钢结构图形表示方法	15	3.4 钢材的选择	49
2.2.1 图纸的幅面和比例	15	3.4.1 选择钢材牌号和材性时应综合 考虑的因素	49
2.2.2 常用的符号	16	3.4.2 钢材的选用	50
2.3 焊缝及螺栓的表示方法	18	3.4.3 选用钢材规格时注意事项	52
2.3.1 螺栓、孔、电焊铆钉的表示 方法	18	3.5 建筑常用钢材	52
2.3.2 焊缝的表示方法	18	3.5.1 碳素结构钢	52
2.3.3 常用焊缝的标注方法	20	3.5.2 低合金结构钢	53
2.3.4 尺寸标注	20	3.6 常用型材	55
2.4 钢结构节点详图的识读	22	3.6.1 型材的分类	55
2.4.1 梁柱节点连接详图	22	3.6.2 常用型钢	55
2.4.2 梁拼接详图	22		
2.4.3 柱拼接详图	22		

3.6.3 常用钢板	58	6.2.3 施工准备	102
3.6.4 冷弯型钢	60	6.2.4 高强度螺栓孔加工	103
3.6.5 常用钢管	60	6.2.5 高强度螺栓的确定	104
能力训练题	61	6.2.6 高强度螺栓连接施工	105
第4章 钢结构制作工艺	62	6.2.7 高强度螺栓施工质量检验	109
4.1 基本概念	62	6.3 铆钉连接	111
4.1.1 基本概念	62	6.3.1 常用铆钉的种类	112
4.1.2 工艺规程的作用、分类与形式	63	6.3.2 铆接参数的确定	113
4.2 钢结构制作工艺要点	63	6.3.3 铆接施工	114
4.2.1 审阅施工图纸	64	能力训练题	115
4.2.2 编制施工工艺规程	64	第7章 钢结构焊缝连接	116
4.2.3 工艺试验	66	7.1 概述	116
4.2.4 组织技术交底	66	7.1.1 焊接的定义和焊接结构的特点	116
4.2.5 施工工艺准备	67	7.1.2 焊接结构生产工艺过程	116
能力训练题	68	7.2 焊接材料	117
第5章 钢结构构件制作与预拼装	69	7.2.1 焊条	117
5.1 钢结构的制作	69	7.2.2 焊剂	120
5.1.1 钢结构制作的特点及流程	69	7.2.3 焊丝	123
5.1.2 钢材的准备	70	7.2.4 焊接材料的正确使用和保管	123
5.2 放样和下料	71	7.3 常用焊接方法介绍	125
5.2.1 放样	71	7.3.1 焊条电弧焊	125
5.2.2 下料	72	7.3.2 二氧化碳气体保护焊	127
5.2.3 钢材下料质量预控项目及防治措施	73	7.3.3 埋弧焊	130
5.3 切割	74	7.3.4 常用焊接方法的选择	132
5.3.1 切割	74	7.4 焊接接头	132
5.3.2 钢材切割质量预控项目及防治措施	78	7.4.1 焊接接头的组成	132
5.4 矫正和成型	79	7.4.2 焊缝的基本形式	133
5.4.1 矫正和成型	79	7.4.3 焊接接头的基本形式	134
5.4.2 质量验收要求	83	7.4.4 焊缝符号	136
5.5 边缘加工和制孔	84	7.5 焊接缺陷	138
5.5.1 边缘加工	84	7.5.1 焊接缺陷的定义及分类	138
5.5.2 制孔	85	7.5.2 焊接缺陷对质量的影响	142
5.6 钢构件预拼装	86	7.6 钢结构焊接质量检验	143
5.6.1 钢构件预拼装	86	7.6.1 钢结构焊接常用的检验方法	143
5.6.2 预拼装施工	87	7.6.2 焊缝外观检查	144
5.6.3 预拼装检查	92	7.6.3 焊缝内部缺陷检验	146
能力训练题	92	7.6.4 焊缝破坏性检验	147
第6章 钢结构螺栓连接和铆接	94	7.6.5 焊接检验对不合格焊缝的处理	148
6.1 普通螺栓连接	94	能力训练题	148
6.1.1 普通螺栓连接材料	95	第8章 钢结构涂装工程	149
6.1.2 普通螺栓的选用	96	8.1 钢结构除锈	149
6.1.3 普通螺栓连接施工	98	8.1.1 钢结构的锈蚀原理	149
6.2 高强度螺栓连接	100	8.1.2 钢结构构件防锈方法的种类和特点	149
6.2.1 高强度螺栓分类	100	8.1.3 钢结构除锈方法	150
6.2.2 高强度螺栓的性能	101	8.2 钢结构涂装施工	152
		8.2.1 基础知识	152

8.2.2 钢结构涂装方法	155
8.2.3 防腐涂装的施工	157
8.3 钢结构防火涂料	161
8.3.1 防火涂料的分类	161
8.3.2 钢结构防火涂料的选用	161
8.3.3 薄涂型钢结构防火涂料施工	163
8.3.4 厚涂型防火涂料施工	164
8.3.5 钢结构防火施工验收	165
能力训练题	166
第9章 建筑钢结构安装	167
9.1 建筑钢结构安装基础知识	167
9.1.1 吊装准备	167
9.1.2 钢结构安装工程程序	169
9.1.3 吊装方法选择	169
9.1.4 吊装起重机的选择	170
9.2 钢结构安装施工	174
9.2.1 钢柱基础	174
9.2.2 单层钢柱安装	180
9.2.3 多层与高层钢柱安装	183
9.2.4 钢结构中柱梁安装的质量检验	190
9.2.5 屋架的吊装	192
9.2.6 吊车梁安装	195
9.2.7 屋面构件安装	200
9.3 平台、钢梯和防护栏安装	201
9.3.1 钢直梯安装	201
9.3.2 固定钢斜梯安装	201
9.3.3 平台、栏杆安装	202
9.4 安全措施	202
能力训练题	204
第10章 压型金属板工程	205
10.1 压型钢板	205
10.1.1 压型钢板分类	205
10.1.2 压型钢板的物理性能	206
10.1.3 彩色涂层钢板的使用寿命	206
10.1.4 压型钢板的材性要求与引用 标准	206

10.1.5 压型金属板的选用	207
10.2 夹芯板	208
10.2.1 夹芯板分类	208
10.2.2 夹芯板物理性能	208
10.2.3 夹芯板板材	208
10.3 彩色钢板配件	209
10.4 压型金属板安装	210
10.4.1 压型金属板连接构造	210
10.4.2 压型金属板的安装质量验收	214
10.4.3 单层彩钢板安装	216
10.4.4 双层彩钢板安装	217
能力训练题	219
第11章 大跨结构安装施工	220
11.1 钢网架与网壳结构安装施工	220
11.1.1 网架与网壳的节点	220
11.1.2 网架与网壳的安装	222
11.2 悬索结构施工	234
11.2.1 钢索	234
11.2.2 索的节点	235
11.2.3 悬索结构施工	238
11.3 膜结构施工	239
11.3.1 膜材	239
11.3.2 膜的连接	241
11.3.3 膜的安裝	243
11.3.4 膜结构施工质量控制	245
能力训练题	245
第12章 钢结构质量验收	246
12.1 钢结构验收项目	246
12.1.1 钢结构验收项目的层次	246
12.1.2 钢结构质量验收等级	246
12.2 钢结构质量验收	247
12.2.1 钢结构工程质量验收记录	247
12.2.2 钢结构工程观感质量验收	248
12.2.3 钢结构验收标准	251
能力训练题	255

下 篇

第13章 钢结构职业活动训练	256
13.1 课程标准	256
13.1.1 课程目标	256
13.1.2 课程思路	256
13.1.3 学习目标	257
13.1.4 教学内容与学时	258
13.1.5 教学方法与建议	258
13.1.6 教学评价	259

13.2 钢结构认知职业活动训练	260
13.3 钢结构识图职业活动训练	261
13.3.1 钢结构中的节点连接	261
13.3.2 实训项目 某工业车间钢结 构工程施工图实例	265
13.4 钢结构材料职业活动训练	268
13.4.1 职业活动实训	268
13.4.2 实训项目一 认知钢材种类、	

规格	269	使用	276
13.4.3 实训项目二 识读施工图纸	269	13.7.3 实训项目二 典型埋弧焊工	
13.5 钢结构加工制作职业活动训练	270	艺技术实例	278
13.5.1 职业活动实训	270	13.8 钢结构防腐涂装工程职业活动	
13.5.2 实训项目一 学习钢结构制作		训练	279
工艺	271	13.8.1 职业活动实训	279
13.5.3 实训项目二 工程应用实例	271	13.8.2 涂装工程除锈作业工艺规程	281
13.6 钢结构螺栓连接职业活动训练	272	13.9 钢结构安装工程职业活动训练	283
13.6.1 职业活动实训	272	13.9.1 职业活动实训	283
13.6.2 实训项目一 普通受剪螺栓连		13.9.2 实训项目一 一般单层钢结构	
接施工	273	安装	284
13.6.3 实训项目二 受剪摩擦型		13.9.3 实训项目二 高层及超高层钢	
高强度螺栓施工	274	结构安装	284
13.7 钢结构焊接工程职业活动训练	275	13.9.4 实训项目三 大跨度空间网架	
13.7.1 职业活动实训	275	结构的安装	284
13.7.2 实训项目一 焊接检验尺及		13.9.5 单层钢结构安装作业指导书	285
附录 钢结构工程施工图实例		292	
参考文献		293	

上 篇

第 1 章 绪 论

【知识目标】

- 了解钢结构的特点和发展趋势
- 熟悉钢结构的结构形式与钢结构的法规性文件

【学习目标】

通过理论教学和实地观察钢结构，学生能够了解钢结构的特点、所用材料；熟悉钢结构的结构形式和目前所使用的钢结构法规性文件

1.1 钢结构的发展趋势

西方的工业革命和科技进步，使得钢铁在建筑中的应用和发展发生了重要的变革。材料的发展由生铁发展到熟铁乃至碳素钢以及合金钢，材料的性能大大提高。材料力学、结构力学和弹性力学的理论发展以及计算技术的不断提高和试验手段的不断进步，使得钢结构设计水平突飞猛进。现代钢结构建筑已经成为建筑结构中的一个重要分支，在高层超高层建筑、大跨度公共建筑、工业建筑、桥梁建筑等得到广泛的应用。

我国建筑钢结构应用得也算较早，如 1889 年唐山水泥厂和 1927 年皇姑电机车厂厂房都采用了钢结构；1931 年广州建成了中山纪念堂——我国自行设计的钢穹顶；1934 年上海建造的 24 层钢结构国际饭店，是那个年代的标志性建筑。新中国成立后到改革开放之前，由于受到经济发展的限制，我国的建筑设计方针是以降低用钢量为重要考核指标，因此，钢结构建筑应用不多，只有一些重型工业厂房和大跨度的标志性建筑采用钢结构，其结构形式基本上是钢筋混凝土下部支承结构与大跨度桁架、网架或者悬索组成的混合结构体系。

改革开放之后，我国的经济迅猛发展，钢铁工业也得到突飞猛进的发展，建筑钢结构的应用也越来越广泛，相应的技术也得到了比较大的进步，如今我国钢结构无论是设计水平，还是制作安装技术，完全可以满足我国经济发展和基本建设的需要。

我国钢铁产业的发展经历了一个由小到大，由弱到强的过程，钢铁的产量由原来的每年几百万吨到现在的每年几亿吨，其中，可用于建筑钢结构的钢材在钢总产量所占的比重也越来越大，为钢结构的快速发展提供了坚实的物质基础。新中国成立后很长一段时间内，我国可用于建筑钢结构的钢材牌号和品种比较简单，牌号只有 A3 钢（相当于 Q235）和 16Mn 钢（相当于 Q345），品种只限于钢板、角钢、槽钢和工字钢和钢管。近二十多年，钢铁工业在生产规模、产量、品种和质量等方面均明显提高，许多重要品种及技术含量高的产品已经达到国际先进水平。

随着经济的发展和工业化进程的加速，我国每年完成的门式刚架轻钢结构厂房超过 1000 万平方米。轻钢厂房主要以采用焊接组合变截面 H 型钢和热轧 H 型钢作为梁柱受力构件，冷弯 C、Z 型钢作为檩条，彩色涂层钢板经过压型后作为屋面和墙面的围护系统。门式刚架受力合理、造价经济、施工方便快捷，已经由厂房、仓库推广到超市、展馆等建筑。门式刚架结构

的推广和发展反过来又刺激了材料的发展。用于轻型钢结构的中板和热轧 H 型钢的产量逐步增长,由大量进口转为自给自足并且大量出口。彩色涂层钢板这个品种最开始全部是进口澳洲、中国台湾、韩国的产品,随着使用量的不断提高,宝钢、马钢、鞍钢等国内大型钢铁联合企业大量生产、外资企业也纷纷在国内设厂,彩涂钢板的国内产量不断上升,不仅满足市场需求、而且价格也下降到合理水平,使得门式刚架轻型钢结构的造价也得到相应下降。高强度螺栓、自攻螺丝等轻钢结构常用的连接材料、超薄型防火涂料、玻璃隔热棉等配套附属材料的国产化也为门式刚架轻型钢结构的大规模发展推波助澜。

大尺寸热轧 H 型钢、Z 向性能厚钢板、耐火耐候钢、无缝钢管和焊接结构用钢管等材料的快速的发展带动了高层重型钢结构的发展。在上海建成的金茂大厦高 421m、上海环球金融中心高 490m、中央电视台大厦、广州珠江新城南塔、广州电视塔、国家体育馆鸟巢、国家游泳中心“水立方”等,一些已建或正在筹建的钢结构工程,以其创新的概念、新颖的造型和独特的结构形式成为标志性建筑。

20 多年来,以网架和网壳为代表的空间钢结构大量发展,成为钢结构领域发展最快的领域,不仅大量应用于候机楼、机库、体育馆、展览馆、汽车站、火车站等民用建筑,也广泛应用于工业厂房中。采用圆钢管、矩形钢管、H 型钢、钢索等材料制作成的网架、空间桁架、张弦梁等结构组合成的各种造型,成为各地的富有现代特色的标志建筑。

近几年来,住宅钢结构的发展也成了业内的热点话题。日本和欧美国家的土木工程、民用住宅,钢结构的比例已达到 50% 左右,而我国 90% 以上还是钢筋混凝土结构。

钢结构建筑、构筑物、工程装备以其大跨、高耸、重载、轻型、施工周期短、抗震性能好、韧性好,充分体现了钢结构的优越性,更适合人居环境、环保节能,已被公认为绿色环保型产品,符合可持续发展的政策。一幢幢标志性建筑、一片片现代化工业厂房、一座座航空港、桥梁及符合人居环境、环保节能的住宅无不体现钢结构的雄壮之美,现代理念与自然环境的和谐,缤纷异彩的建筑特点,以及具有时代发展特征,整个行业呈现出蒸蒸日上,蓬勃发展的形势。

目前,我国钢结构的科研工作主要围绕以下几个方面:新结构体系的研究和工程应用,新的设计理论和计算方法研究,节点构造和连接,新型材料的应用,新型制作工艺和安装工艺研究等,我国许多科研院所、高等院校和设计施工单位参与到钢结构建筑的科研工作中,并且大量的成果很快在设计和施工实践中得到应用。钢结构的设计方面,我国的高层和大跨度钢结构建筑设计已经形成了比较成熟的体系,目前我国大部分重点工程的钢结构施工图设计是自己完成的。

我国是世界钢铁大国,为钢结构行业的发展奠定了良好的物质基础。我国钢结构制造业年产量达到 600 万~700 万吨,建筑钢结构只占整个钢产量的 3% 左右,而发达国家占 10%。随着我国经济的高速发展,钢结构涉及越来越多的主要产业。我国在国民经济发展规划中明确指出:2015 年建筑钢结构发展目标是争取全国每年建筑钢结构用钢量达到钢材总量的 6%,即每年钢结构在建筑中用钢量要达到 1200 万~2000 万吨。这意味着我国的钢铁工业已步入了新的阶段,钢结构的广泛应用是必然的发展趋势。

1.2 钢结构的特点

钢结构在工程中得到广泛的应用和迅速发展,是由于钢结构与其他结构相比具有很多优点。

1.2.1 钢结构的优点

(1) 钢材强度高、质量轻,塑性、韧性好,抗震性能优越 钢材与混凝土等材料相比较,

具有较高的强度，适合于建造跨度大、高度高、承载重的结构，也更适用于抗震、可移动、易装拆的结构。钢材容重与屈服点的比值最小，例如，在相同的荷载条件下，钢屋架重量只有同等跨度钢筋混凝土屋架的 $1/4 \sim 1/3$ ，如果采用薄壁型钢屋架则更轻，只有 $1/10$ 。因此，钢结构比钢筋混凝土结构能承受更大的荷载，跨越更大的跨度。同时，由于强度高，一般受力构件的截面小而壁薄，在受压时容易失稳和产生较大的变形，因而常常为稳定计算和刚度计算所控制，强度难以得到充分的利用。

塑性是指构件破坏时发生变形的能力。韧性是指结构抵抗冲击荷载的能力。钢材质地均匀，各向同性，弹性模量大，有良好的塑性和韧性，为理想的弹性-塑性体。因此，钢结构不会因偶然超载或局部超载而突然断裂破坏，钢材韧性好，使钢结构较能适应振动荷载，地震区的钢结构比其他材料的工程结构更耐震，钢结构是一般地震中损坏最少的结构。

(2) 钢结构工业化程度高、施工速度快 钢结构所用的材料单纯，且多是成品或半成品材料，加工比较简单，并能够使用机械操作，易于定型化、标准化，工业化生产程度高。因此，钢构件一般在专业化的金属结构加工厂制作完成，精度高、质量稳定、劳动强度低。

钢构件在工地拼装时，多采用简单方便的焊缝连接或螺栓连接，钢构件与其他材料构件的连接也比较方便。有时钢构件还可以在地面拼装成较大的单元，甚至拼装成整体后再进行吊装，可以显著降低高空作业量，缩短施工工期，使整个建筑更早地投入使用，不但可以缩短资金流动周期，而且提前收到投资回报，综合效益高。

(3) 钢结构的密封性好 钢材组织非常密实，采用焊缝连接可做到完全密封，一些要求气密性和水密性好的高压容器、大型油库、煤气罐、输送管道等板壳结构，最适宜采用钢结构。

(4) 构件截面小，有效空间大 由于钢材的强度高，构件截面小，所占空间也就小。以相同受力条件的简支梁为例，混凝土梁的高度通常是跨度的 $1/10 \sim 1/8$ ，而钢梁约是 $1/16 \sim 1/12$ ，如果钢梁有足够的侧向支承，甚至可以达到 $1/20$ ，有效增加了房屋的层间净高。在梁高相同的条件下，钢结构的开间可以比混凝土结构的开间大约 50%，能更好地满足建筑上大开间、灵活分割的要求。柱的截面尺寸也类似，避免了“粗柱笨梁”现象，室内视觉开阔，美观方便。

另外，民用建筑中的管道很多，如果采用钢结构，可在梁腹板上开洞以穿越管道，如果采用混凝土结构，则不宜开洞，管道一般从梁下通过，要占用一定的空间。在楼层净高相同的条件下，钢结构的楼层高度要比混凝土的小，可以减小墙体高度，节约室内空调所需的能源，减小房屋维护和使用费用。

(5) 节能、环保 与传统的砌体结构和混凝土结构相比，钢结构属于绿色建筑结构体系。钢结构房屋的墙体多采用新型轻质复合墙板或轻质砌块，如高性能 NALC 板（配筋加气混凝土板）、复合夹心墙板、幕墙等；楼（屋）面多采用复合楼板，例如压型钢板-混凝土组合板、轻钢龙骨楼盖等，符合建筑节能和环保的要求。

钢结构的施工方式为干式施工，可避免混凝土湿式施工所造成的环境污染。钢结构材料还可利用夜间交通流畅期间运送，不影响城市闹市区建筑物周围的日间交通，噪声也小。另外，对于已建成的钢结构也比较容易进行加固和改造，用螺栓连接的钢结构还可以根据需要进行拆迁，也有利于保护环境和节约资源。

1.2.2 钢结构的缺点

(1) 结构构件刚度小，稳定问题突出 由于钢材轻质高强，构件不但截面尺寸小，而且都是由型钢或钢板组成开口或闭口截面。在相同边界条件和荷载条件下，与传统混凝土构件相比，钢构件的长细比大，抗侧刚度、抗扭刚度都比混凝土构件小，容易丧失整体稳定；板件的宽厚比大，容易丧失局部稳定；大跨度空间钢结构的整体稳定问题也比较突出，这些都是钢结构设计中最容易出现问题的环节。另外，构件刚度小，变形就大，在动力荷载作用下也容易

振动。

(2) 钢材耐热性好,但耐火性差 钢材随着温度的升高,性能逐渐发生变化。温度在 250°C 以内时,钢材的力学性能变化很小,达到 250°C 时钢材有脆性转向(称为蓝脆),在 $260\sim 320^{\circ}\text{C}$ 之间有徐变现象,随后强度逐渐下降,在 $450\sim 540^{\circ}\text{C}$ 之间时强度急剧下降,达到 650°C 时,强度几乎降为零。因此,钢结构具有一定的耐热性,但耐火性差。

《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)规定,当钢构件表面长期受辐射热达到 150°C 以上或在短时间内可能受到火焰作用时,应采取有效的防护措施(如加隔热层等);有特殊防火要求的建筑,钢结构更需要用耐火材料围护。对于钢结构住宅或高层建筑钢结构,应根据建筑物的重要性等级和防火规范加以特别处理。例如,采用蛭石板、蛭石喷涂层、石膏板或NALC板等加以防护。防火处理使钢结构的造价有所提高。

(3) 钢材耐腐蚀性差,应采取防护措施 钢材易于锈蚀,处于潮湿或有侵蚀性介质的环境中更容易因化学反应或电化学作用而锈蚀,因此,钢结构必须进行防腐处理。一般钢构件在除锈后涂刷防腐涂料即可,但这种防护措施并非一劳永逸,需间隔一段时间重新维修,因而其维护费用较高。

对处于较强腐蚀性介质内的建筑物不宜采用钢结构。钢结构在涂油漆以前应彻底除锈,油漆质量和涂层厚度均应符合要求。在设计中应避免使结构受潮、漏雨,构造上应尽量避免受潮、漏雨,且应尽量避免存在难以检查、维修的死角。对于有强烈侵蚀性介质、沿海建筑以及构件壁厚非常薄的钢构件,应进行特别处理,如镀锌、镀铝锌复合层等,这些措施都会相应提高钢结构的工程造价。

目前国内外正发展不易锈蚀的耐候钢。实践证明,含磷、铜的稀土钢,其强度、耐蚀性均优于常用的Q235钢。此外,长效油漆的研究也取得进展,使用这种防护措施可延长钢结构寿命,节省维护费用。

(4) 低温冷脆等 钢结构在低温条件下,塑性、韧性逐渐降低,达到某一温度时韧性会突然急剧下降,称为低温冷脆,对应温度称为临界脆性温度。低温冷脆也是国内外一些钢结构工程在冬季发生事故的主要原因之一,可能发生脆性断裂,这点必须引起设计者的注意。

另外,钢材在反复荷载、复杂应力、突然加载、冷作及时效硬化、焊接缺陷等条件下也容易脆断。

1.3 钢结构形式

钢结构的应用范围极其广泛,为了更好地发挥钢材的性能,有效地承担荷载,不同的工程结构也将采用不同的结构形式。

1.3.1 建筑钢结构形式

1.3.1.1 大跨度钢结构

大跨度结构减轻横梁自重会有明显的经济效果,轻质高强的钢结构能达到此目的。其结构体系主要有框架结构、拱式结构、网架结构、网壳结构、悬索结构、预应力钢结构和索膜结构等。

(1) 网架结构 构成网架的基本单元有三角锥、三棱体、正方体、截头四角锥等,由这些基本单元可组合成平面形状的三角形、四边形、六边形、圆形或其他任何形体,如图1.1所示。

网架结构广泛用于体育馆、展览馆、俱乐部、影剧院、食堂、会议室、候车厅、飞机库、车间等的屋盖结构。具有工业化程度高、自重轻、受力合理、刚度大、稳定性好、杆件单一、制作安装方便、外形美观的特点。可满足跨度大、空间高、建筑形式多样的要求。如1968年建成的上海文化广场屋盖结构为三向平板网架,平面形状为扇形,这是我国第一座采用空心球节点和钢管杆件的大跨度网架结构,如图1.2所示。

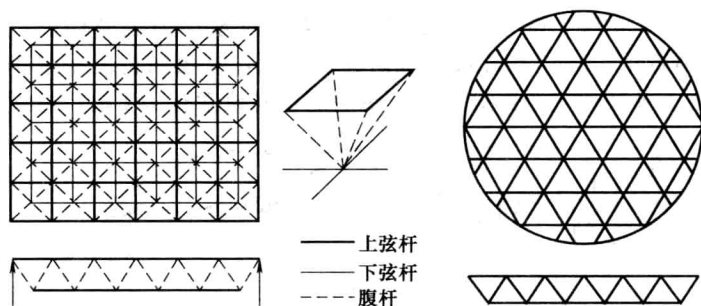


图 1.1 平板网架

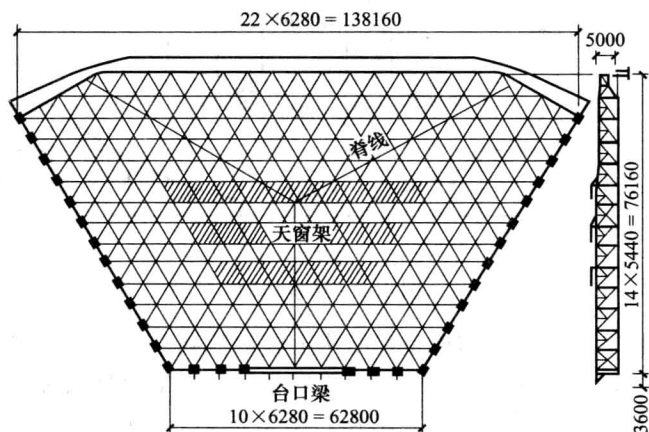


图 1.2 上海文化广场

(2) 网壳结构 同网架结构一样，网壳也是由许多杆件按一定规律布置，通过节点连接成空间杆系结构，但网架的外形呈平板状，而网壳的外形呈曲面状，如图 1.3 所示。

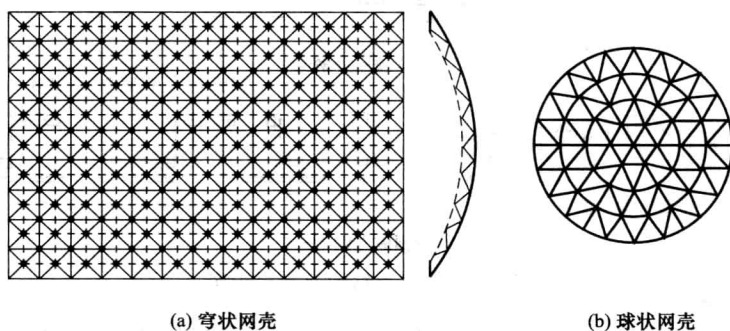


图 1.3 网壳

网壳一般为单层或双层，按其外形为单曲面或双曲面而构成网状穹顶、网状筒壳以及双曲抛物面网壳等多种形式。网壳结构具有外形美观、通透感好，建筑空间大、用材省，设计施工较复杂的特点。宜春体育场的飞蝶形网壳、威海体育馆的贝壳形网壳以及海南大佛的多层多跨网架都属网壳结构。

(3) 悬索结构 悬索结构是以一系列拉索为主要承重构件，这些索按一定的规律组成各种不同的形式，悬挂在边缘构件或支承结构上而形成的一种空间结构，外形美观、设计施工较复杂，适合于大跨度屋顶。钢索的材料是由高强度钢丝组成的钢绞线、钢丝绳或钢丝束等，可以充分地利用钢索的抗拉强度，减轻结构自重。边缘构件或支承结构用于锚固钢索，并承受悬索的

拉力，可采用圈梁、拱、桁架、框架等，也可采用柔性拉索作为边缘构件，如图 1.4 所示。图 1.4(b) 为北京工人体育馆，1961 年建成，该馆圆形平面，屋盖结构由平置车轮形双层索、中心钢环和周边钢筋混凝土外环梁三个部分组成，每层的径向拉索有 144 根，悬索屋盖直径 96m。

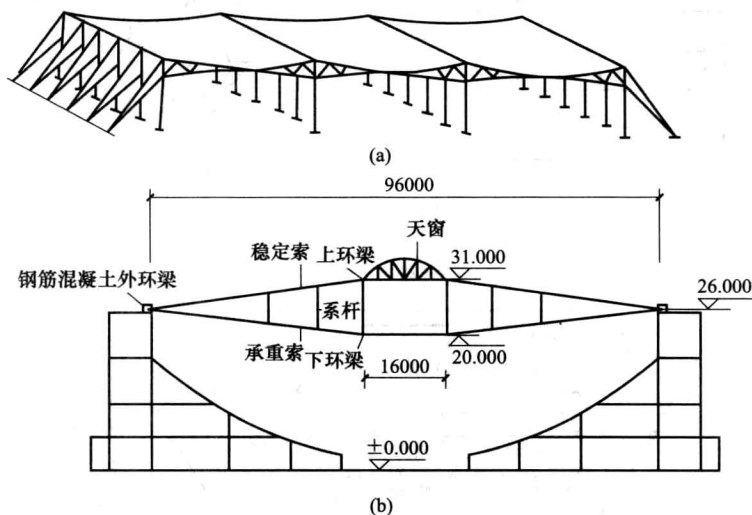


图 1.4 悬索结构

(4) 预应力钢结构 预应力钢结构是在结构上施加荷载以前，对钢结构或构件用特定的方法预加初应力，其应力符号与荷载引起的应力符号相反；当施加荷载时，结构或构件先抵消初应力，然后再按照一般受力情况工作的钢结构。图 1.5(a)、(b) 分别为预应力钢梁和预应力钢桁架的示意图。

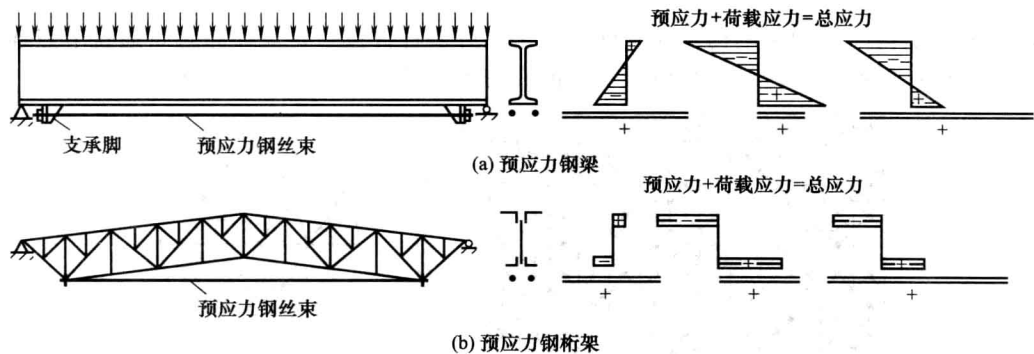


图 1.5 预应力结构及其应力图

大跨度预应力钢结构是由高强度、抗腐蚀、抗疲劳钢索与各种形式空间钢结构组合而成的一种新型结构形式，将柔性的钢索与刚性的钢结构完美地融合到一起，既实用又经济的大空间结构。北京国家体育馆、羽毛球馆、乒乓球馆等 7 个奥运会场馆采用了这种结构。大跨度房屋建筑结构、吊车梁、桥跨结构、大直径贮液库、压力管道和压力容器等都可采用预应力钢结构。靠张紧钢丝绳、钢丝束等柔索维持平衡的钢塔桅结构（如塔式结构、桅式结构）和悬索结构，实际上也是预应力钢结构。

(5) 索膜结构 索膜结构由索和膜组成，具有自重轻、体型灵活多样的特点，适应于大跨度公共建筑。图 1.6 为 104m×67m 的溜冰馆结构。

1.3.1.2 高层建筑钢结构

旅馆、饭店、公寓、办公大楼等多层及高层建筑采用钢结构也越来越多，如北京京伦饭

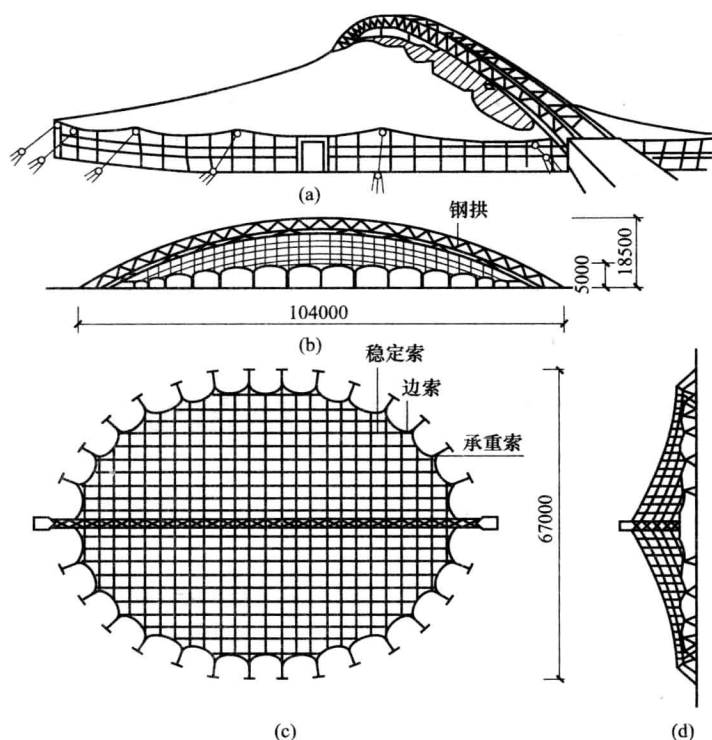


图 1.6 索膜结构

店、上海锦江宾馆、深圳地王大厦、上海金茂大厦（高为 420.5m、88 层）等都是著名的高层钢结构建筑。

1.3.1.3 高耸钢结构

高耸结构包括电视塔、微波塔、通信塔、输电线路塔、石油化工塔、大气监测塔、火箭发射塔、钻井塔、排气塔、水塔、烟囱等，大多数高耸结构采用钢结构。如 1994 年建成的 260m 高上海东方明珠广播电视塔球形钢结构工程；336m 高的黑龙江电视塔是我国目前最高的钢结构多功能电视塔，同一类型 200~300m 的钢塔还有很多。量大而面广的高耸结构是通信塔和输电塔，随着信息和电力开发，这种钢塔将遍布神州大地。

1.3.1.4 钢结构房屋

不仅高层、超高层建筑采用钢结构，甚至 12~16 层小高层建筑，6~10 层多层建筑，也有采用钢结构或薄壁钢管混凝土结构的趋势，钢结构房屋建筑也是发展的方向。

钢结构房屋是指以钢作为建筑承重梁柱的住宅建筑体系，钢结构房屋是以等截面或变截面 H 型钢为承重主体，以 C 形、Z 形檩条及柱间支撑为辅助连接件，通过螺栓或焊接等方式固定，屋面和墙面以彩色压型钢板围护而形成的新型建筑体系，在发达国家已基本取代传统的钢筋混凝土建筑。

钢结构房屋是第三代建筑，它具有总量轻、跨度大、用料少、造价低、节省基础、施工周期短、安全可靠、造型美观等优点。钢结构房屋广泛应用于单层工业厂房、仓库、商业建筑、办公大楼、多层停车场及住宅等建筑物。

1.3.1.5 工业厂房钢结构

重型车间的承重骨架，例如冶金工厂的平炉车间、初轧车间、混铁炉车间，重机厂的铸钢车间、锻压车间，造船厂的船台车间，飞机制造厂的装配车间，以及其他车间的屋架、柱、吊车梁都是钢结构。我国几个著名的钢厂，如首钢、鞍钢、武钢、包钢以及上海的宝钢都有各种

规模的钢结构厂房。

中小型房屋建筑、体育场看台雨篷、小型仓库等多采用轻型钢结构,构件有弯曲薄壁型钢结构、圆钢结构、钢管结构,还有薄钢板做成的折板结构和拱形波纹屋盖结构,这种把屋面结构和屋盖承重结构合二为一的钢结构体系,成为一种新型的轻钢屋盖结构体系。

1.3.2 安装钢结构形式

1.3.2.1 桥梁钢结构

桥梁钢结构越来越多,特别是中等跨度和大跨度的斜拉桥,例如,上海两座著名的大桥——南浦大桥、杨浦大桥(主跨 602 m);1994 年建成的铁路公路两用双层九江大桥,主联跨(180+216+180) m,采用柔性拱加劲;1999 年建成的长江下游的江阴大桥,主跨采用悬索桥,跨长 1 385m 等。图 1.7 为桥梁的主要结构形式。

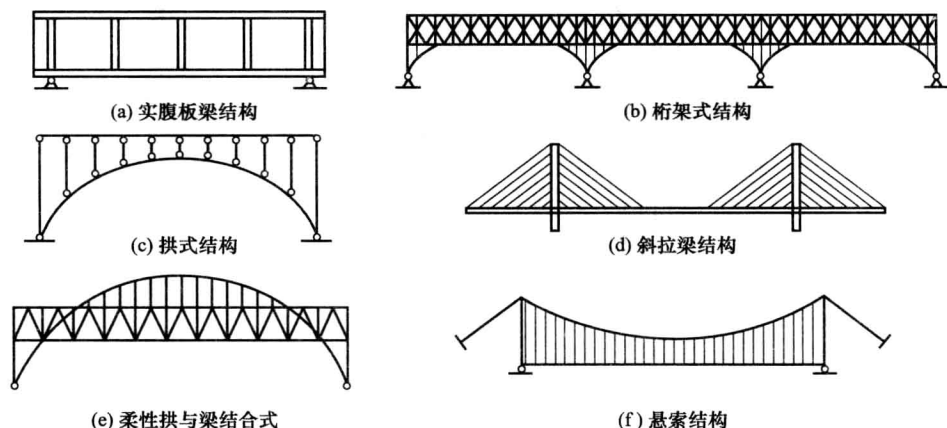


图 1.7 桥梁的主要结构形式

1.3.2.2 板壳钢结构

要求密闭的容器,如大型贮油库、煤气库、炉壳等要求能承受很大内力并有温度急剧变化的高炉结构、大直径高压输油管道都是板壳钢结构。还有一些大型水工结构的船闸闸门也是一种板壳结构。

1.3.2.3 移动钢结构

由于钢结构强度高,相对较轻,装配式房屋、水工闸门、升船机、桥式吊车和各种塔式起重机、龙门起重机、缆索起重机等都是钢结构。

1.4 钢结构的法规性文件

钢结构设计、施工规范规程同其他材料的结构规范规程一样是技术性法律文件,是广大设计、施工工程技术人员必须共同遵守的原则。因此,对从事钢结构设计与施工的技术人员来说,学习和掌握钢结构设计与施工规范就显得十分必要。只有充分理解和掌握规范,方能准确地执行和贯彻规范。

1.4.1 规范体系

任何国家的结构规范都有一套完整的规范体系。在具体讲述钢结构设计与施工规范的应用之前,本节先介绍我国钢结构设计与施工规范在整个规范体系中的地位,从全局上把握规范。

我国钢结构工程所涉及的标准规范从总体上可划分为 5 个层次。

第一个层次为规范制定的原则。属于第一层次的规范有《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001),《建筑结构设计术语和符号标准》(GB/T 50083—1997),《建筑结构制图

标准》(GB/T 50105—2001)等。

第二个层次为荷载代表值的取用。属于第二个层次的规范为《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)。

第三个层次为各种结构设计规范。属于第三个层次的规范为与钢结构设计有关的规范、规程。如《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)。

第四个层次为与设计规范配套的施工规范。属于第四个层次的规范为与钢结构施工及验收有关的规范、标准、规程。如《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)。

第五个层次为与设计、施工相配套的各种材料、连接方面的规范及标准等。属于第五个层次的规范、标准为材料标准、紧固件标准及焊接接头形式与尺寸标准等。各层次规范的相互关系如图 1.8 所示。

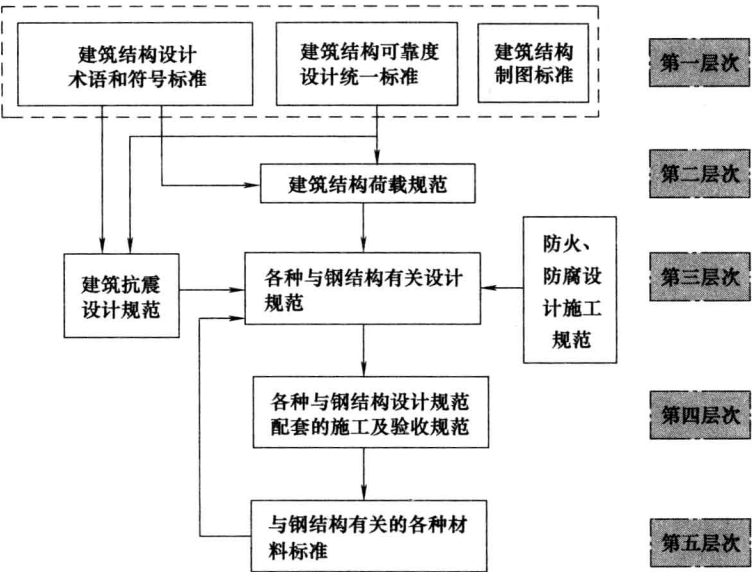


图 1.8 各种规范之间的相互关系

另外，根据工程所处的环境条件，还将涉及防火、防腐、防震等方面的有关规范、规程、标准等。

对有抗震设防要求的钢结构建筑，其设计和施工应符合《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)。《建筑抗震设计规范》是根据《建筑结构可靠度设计统一标准》修订的，可以与钢结构设计与施工方面的规范、规程配套使用，该规范是各类建筑抗震设防的依据。网架结构的地震作用及其内力应按《网架结构设计与施工规程》(JGJ 7—91)中的有关规定进行计算。

对有防火要求的建筑，应符合《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)和《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—1995)等防火规范中对钢结构构件的要求，规范对房屋的耐火等级及钢构件的耐火极限作了规定，它是我国建筑钢结构防火设计的依据。

建筑防腐设计在《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)中均有相应的规定。在防腐方面应满足《建筑防腐蚀工程施工及验收规范》(GB 50212—2002)、《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB/T 50046—1995)的要求。

1.4.2 钢结构的规范标准

随着我国基本建设事业的蓬勃发展和钢结构理论研究的不断深入，以及应用技术的不断进步，国家有关部委组织全国部分设计单位、施工单位、高等院校等的专家陆续制定、修订了一批钢结构设计、施工规范、规程及与其配套的材料、配件标准。这些规范、规程的制定对贯彻执行国家的技术经济政策、节约钢材、确保钢结构工程的质量和安