

高职高专“十三五”规划教材

钢结构施工技术

第二版

胡建琴 温鸿武 主编



化学工业出版社

高职高专“十三五”规划教材

钢结构施工技术

第二版

胡建琴 温鸿武 主 编
黄 艳 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)、《钢结构工程施工规范》(GB 50755)、《钢结构焊接规范》(GB 50661)和《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205)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、钢结构加工制作、钢结构连接方式、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、施工图纸、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。

本书可作为应用型本科、高职高专院校土建施工类各专业教材,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/胡建琴,温鸿武主编. —2版. —北京:
化学工业出版社, 2016.5
高职高专“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-26614-9

I. ①钢… II. ①胡… ②温… III. ①钢结构-工程施工-
高等职业教育-教材 IV. ①TU758.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第061012号

责任编辑:李仙华
责任校对:王素芹

装帧设计:张 辉

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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张21¼ 字数581千字 插页7 2016年8月北京第2版第1次印刷

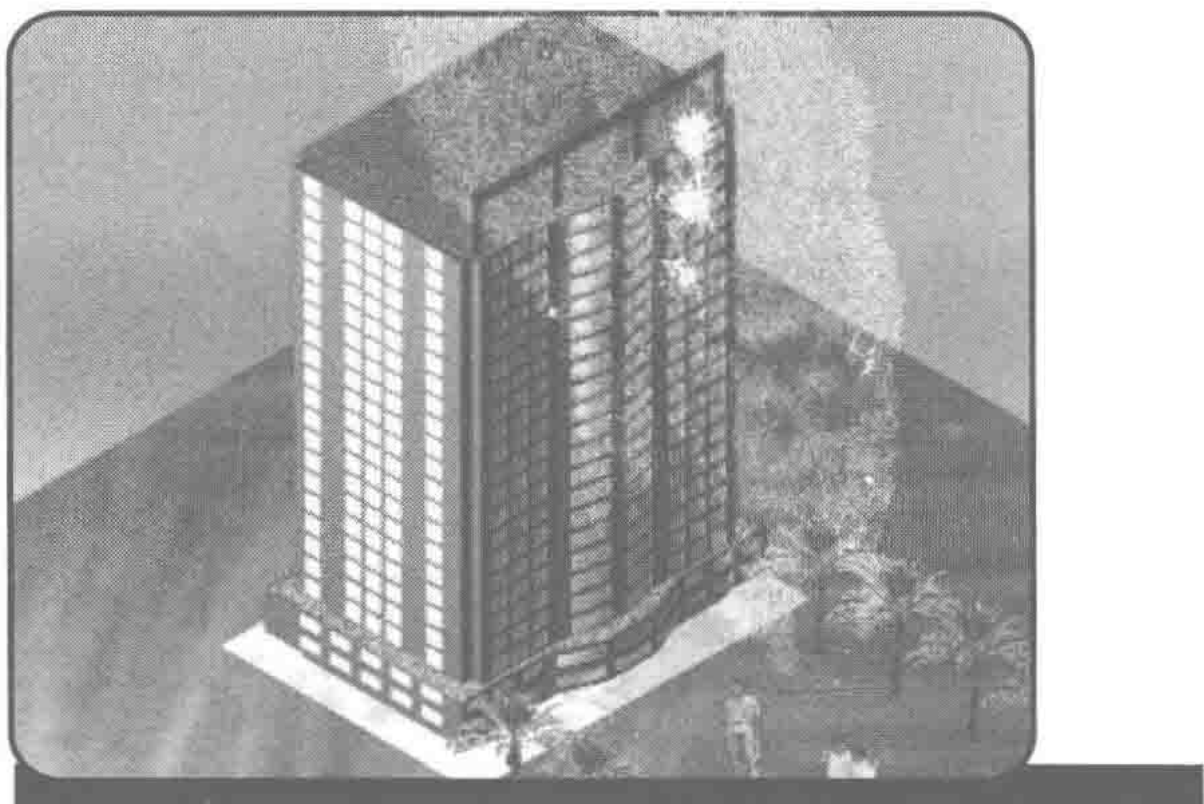
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

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:42.00元

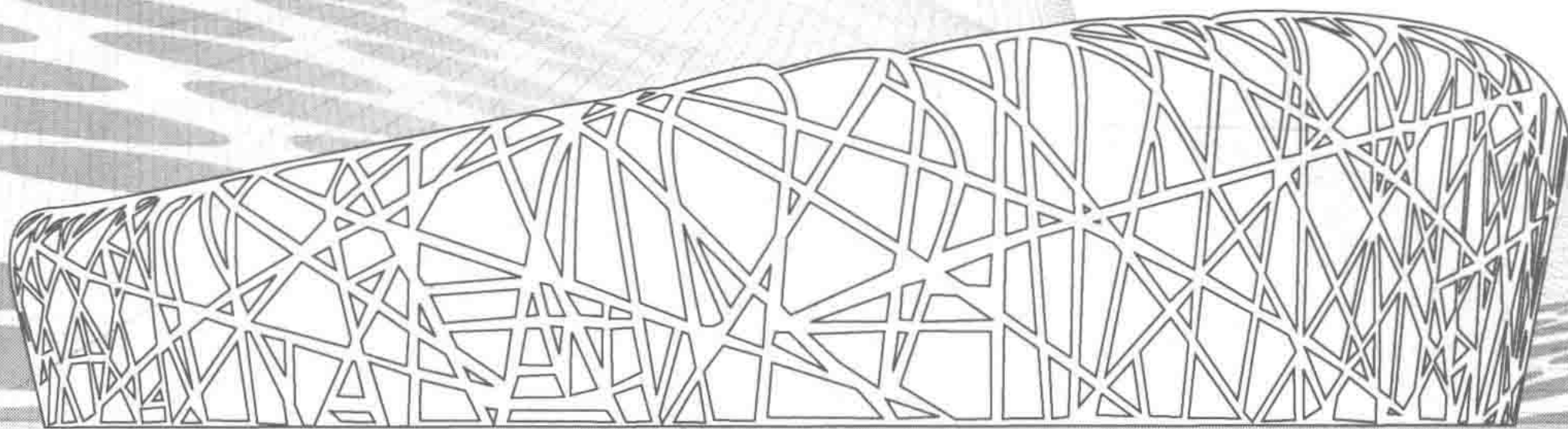
版权所有 违者必究



高职高专土建类专业教材编审委员会

主任委员		陈安生	毛桂平			
副主任委员		汪 绯	蒋红焰	陈东佐	李 达	金 文
委 员		(按姓名汉语拼音排序)				
		蔡红新	常保光	陈安生	陈东佐	窦嘉纲
		冯 斌	冯秀军	龚小兰	顾期斌	何慧荣
		洪军明	胡建琴	黄利涛	黄敏敏	蒋红焰
		金 文	李春燕	李 达	李棕京	李 伟
		李小敏	李白林	刘昌云	刘冬梅	刘国华
		刘玉清	刘志红	毛桂平	孟胜国	潘炳玉
		邵英秀	石云志	史 华	宋小壮	汤玉文
		唐 新	汪 绯	汪 葵	汪 洋	王 斌
		王 波	王崇革	王 刚	王庆春	吴继锋
		夏占国	肖凯成	谢延友	徐广舒	徐秀香
		杨国立	杨建华	余 斌	曾学礼	张苏俊
		张宪江	张小平	张宜松	张轶群	赵建军
		赵 磊	赵中极	郑惠虹	郑建华	钟汉华

前言



光阴似箭，转眼之间，本教材第一版出版已有五年之久。随着建筑钢结构技术在建筑工程中的应用和《钢结构工程施工规范》（GB 50755—2012）和《钢结构焊接规范》（GB 50661—2011）的出台，笔者感到有必要更新内容，再版此书，以飨读者。

再版教材对原来的主要章节作了内容上的更新、修改和补充。在修订过程努力做到：

（1）基础性与实用性相统一。本书在编写过程中，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，使其与现行规范内容一致，努力体现当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，本书每章设有知识目标和学习目标，下篇设有钢结构施工技术课程的教学标准和相关职业活动训练内容，并穿插有典型工程案例、工程实践等内容。

（2）科学性和职业性相统一。本书以先进、科学的观点和行业现行规范为依据，组织策划教材，突出重点和难点，精选基础和核心内容。按照建筑工程职业岗位实际工作任务需要的知识、能力素质要求，选取内容，体现了内容充实、重点突出、图文并茂、体例新颖、集教材与资料于一体的特点。

本书结合当前建筑行业钢结构的发展，依据国家现行的新标准和新规范编写、修订内容。上篇以钢结构施工和质量控制为主线，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、钢结构加工制作、钢结构连接方式、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。下篇根据入职体验要求设计了职业活动训练实践教学环节，有职业活动实训项目，工程应用综合案例、图纸，适用于项目化教学，体现了“工学结合”的教育特色。

参与本书编写的人员及分工如下：兰州石化职业技术学院胡建琴、张小红编写第3、6、8~10、12章、13.1~13.4节、13.6节、13.8节、13.10节，黄艳编写第1、2、5章、13.5节，宋学平编写第6、7章、13.7节，甘肃建设钢结构有限公司高级工程师温鸿武（一级注册建造师）编写第4、11章、13.9节。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）担任主审，感谢金兆鑫对全书进行校核。

本书在编写过程中，参阅和借鉴了有关文献资料，张鸿为本书提供了钢结构设计施工图和钢结构加工图纸，在此一并致以诚挚的感谢！

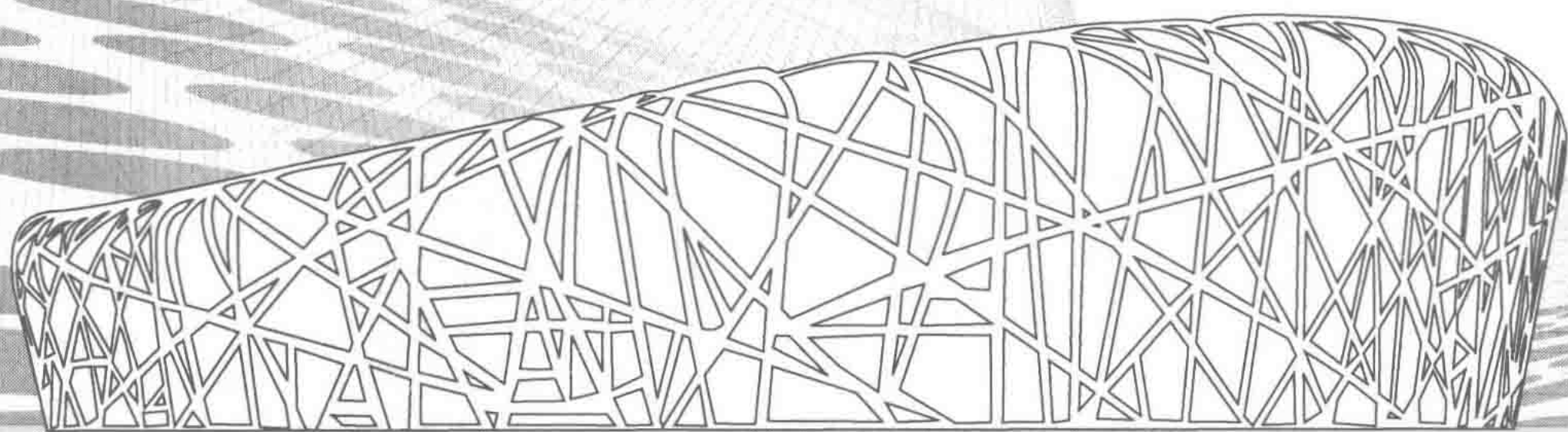
由于水平和时间所限，本书难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

本书提供有电子教案，可登录网站 www.cipedu.com.cn 免费获取。

编者

2016年2月

第一版前言



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。

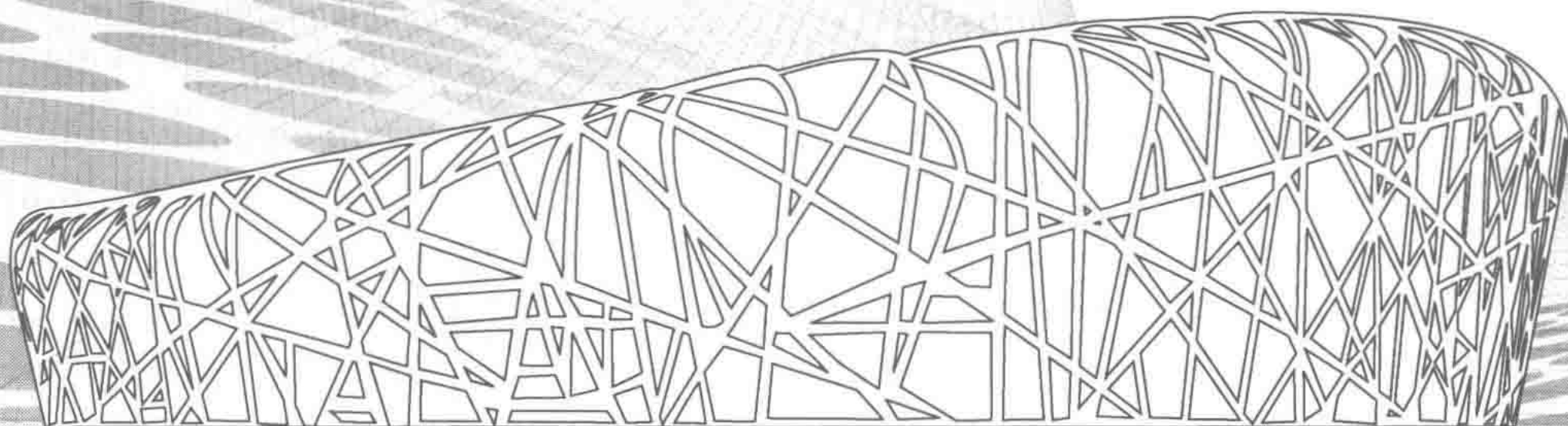
本书在编写过程中,参阅了有关文献资料以及张鸿提供的钢结构设计施工图及钢结构加工图,在此一并致以诚挚的感谢。本书提供有电子教案,可发信到 cipedu@163.com 邮箱免费获取。

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

1.1 钢结构的发展趋势	2	1.4 钢结构的法规性文件	9
1.2 钢结构的特点	3	1.4.1 规范体系	9
1.2.1 钢结构的优点	3	1.4.2 钢结构的规范标准	10
1.2.2 钢结构的缺点	4	1.5 课程的内容和学习方法	12
1.3 钢结构形式	5	1.5.1 课程的主要内容	12
1.3.1 建筑钢结构形式	5	1.5.2 课程的学习方法	12
1.3.2 安装钢结构形式	9	能力训练题	12

第2章 钢结构识图

2.1 钢结构工程施工图基本概念	13	2.3.3 常用焊缝的标注方法	21
2.1.1 建筑施工图与结构施工图的设计	13	2.3.4 尺寸标注	22
2.1.2 建筑施工图	13	2.4 钢结构节点详图的识读	23
2.1.3 钢结构施工图	14	2.4.1 梁柱节点连接详图	23
2.1.4 设备施工图	15	2.4.2 梁拼接详图	24
2.1.5 施工图的编排顺序	15	2.4.3 柱与柱连接详图	24
2.1.6 看图的方法和步骤	15	2.5 钢结构工程施工图实例	24
2.2 钢结构制图标准	16	2.5.1 工程概况	24
2.2.1 图纸的幅面和比例	16	2.5.2 建筑施工图	24
2.2.2 常用的符号	17	2.5.3 钢结构施工图	24
2.3 焊缝及螺栓的表示方法	19	2.5.4 结构平面图	27
2.3.1 螺栓、孔、电焊铆钉的表示方法	19	2.5.5 钢框架、门式刚架施工图及其他详图	35
2.3.2 焊缝的表示方法	19	能力训练题	35

第3章 钢结构材料

3.1 基础知识	36	耐腐蚀性	48
3.1.1 黑色金属、钢和有色金属的基本概念	36	3.4 钢材的选择	49
3.1.2 常用钢材的分类	36	3.4.1 选择钢材牌号和材性时应综合考虑的因素	49
3.1.3 钢材缺陷术语	37	3.4.2 钢材的选用	50
3.1.4 钢材常用的标准术语	39	3.4.3 选用钢材规格时注意事项	51
3.1.5 钢材的交货状态	41	3.5 建筑常用钢材	52
3.1.6 钢材的分类	42	3.5.1 碳素结构钢	52
3.1.7 钢材牌号	42	3.5.2 低合金结构钢	53
3.2 钢材的化学成分	42	3.6 常用型材	54
3.2.1 常用钢材的化学成分	43	3.6.1 型材的分类	54
3.2.2 各化学成分对钢材性能的影响	44	3.6.2 常用型钢	55
3.3 钢材的性能及检验方法	45	3.6.3 常用钢板	58
3.3.1 钢材性能的分类	45	3.6.4 冷弯型钢	59
3.3.2 钢材的力学性能检验方法	45	3.6.5 常用钢管	60
3.3.3 钢铁材料的工艺性能		能力训练题	61

第4章 钢结构制作工艺

4.1 基本概念	62	4.2.2 编制施工工艺规程	65
4.1.1 基本概念	62	4.2.3 工艺试验	66
4.1.2 工艺规程的作用、分类与形式	62	4.2.4 组织技术交底	66
4.2 钢结构制作工艺要点	63	4.2.5 施工工艺准备	67
4.2.1 审阅施工图纸	64	能力训练题	68

第5章 钢结构构件制作与预拼装

5.1 钢结构的制作	69	5.4 矫正和成型	79
5.1.1 钢结构制作的特点及流程	69	5.4.1 矫正和成型	79
5.1.2 钢材的准备	70	5.4.2 质量验收要求	83
5.2 放样和下料	71	5.5 边缘加工和制孔	84
5.2.1 放样	71	5.5.1 边缘加工	84
5.2.2 下料	72	5.5.2 制孔	85
5.2.3 钢材下料质量预控项目及防治措施	73	5.6 钢构件预拼装	86
5.3 切割	74	5.6.1 钢构件预拼装	86
5.3.1 切割	74	5.6.2 预拼装施工	87
5.3.2 钢材切割质量预控项目及防治措施	78	5.6.3 预拼装检查	92
		能力训练题	92

第6章 钢结构螺栓连接和铆接

6.1 普通螺栓连接	93	6.1.2 普通螺栓的选用	95
6.1.1 普通螺栓连接材料	94	6.1.3 普通螺栓连接施工	97

6.2 高强度螺栓连接	99	6.2.7 高强度螺栓施工质量检验	109
6.2.1 高强度螺栓分类	99	6.3 铆钉连接	111
6.2.2 高强度螺栓的性能	99	6.3.1 常用铆钉的种类	111
6.2.3 施工准备	101	6.3.2 铆接参数的确定	112
6.2.4 高强度螺栓孔加工	102	6.3.3 铆接施工	113
6.2.5 高强度螺栓的确定	103	能力训练题	114
6.2.6 高强度螺栓连接施工	104		

第7章 钢结构焊缝连接

7.1 概述	115	7.4.1 焊接接头的组成	131
7.1.1 焊接的定义和焊接结构的特点	115	7.4.2 焊缝的基本形式	132
7.1.2 焊接结构生产工艺过程	115	7.4.3 焊接接头的基本形式	133
7.2 焊接材料	116	7.4.4 焊缝符号	135
7.2.1 焊条	116	7.5 焊接缺陷	138
7.2.2 焊剂	120	7.5.1 焊接缺陷的定义及分类	138
7.2.3 焊丝	122	7.5.2 焊接缺陷对质量的影响	141
7.2.4 焊接材料的正确使用和保管	123	7.6 钢结构焊接质量检验	142
7.3 常用焊接方法介绍	125	7.6.1 钢结构焊接常用的检验方法	143
7.3.1 焊条电弧焊	125	7.6.2 焊缝外观检查	144
7.3.2 二氧化碳气体保护焊	127	7.6.3 焊缝内部缺陷检验	146
7.3.3 埋弧焊	130	7.6.4 焊缝破坏性检验	147
7.3.4 常用焊接方法的选择	131	7.6.5 焊接检验对不合格焊缝的处理	148
7.4 焊接接头	131	能力训练题	148

第8章 钢结构涂装工程

8.1 钢结构除锈	149	8.2.3 防腐涂装的施工	157
8.1.1 钢结构的锈蚀原理	149	8.3 钢结构防火涂料	161
8.1.2 钢结构构件防锈方法的种类和特点	149	8.3.1 防火涂料的分类	161
8.1.3 钢结构除锈方法	150	8.3.2 钢结构防火涂料的选用	162
8.2 钢结构涂装施工	152	8.3.3 薄涂型钢结构防火涂料施工	163
8.2.1 基础知识	152	8.3.4 厚涂型防火涂料施工	164
8.2.2 钢结构涂装方法	155	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

9.1 建筑钢结构安装基础知识	167	9.2.3 多层与高层钢柱安装	183
9.1.1 吊装准备	167	9.2.4 钢结构中柱梁安装的质量检验	190
9.1.2 钢结构安装工程程序	169	9.2.5 屋架的吊装	191
9.1.3 吊装方法选择	169	9.2.6 吊车梁安装	195
9.1.4 吊装起重机的选择	169	9.2.7 屋面构件安装	199
9.2 钢结构安装施工	174	9.3 平台、钢梯和防护栏安装	200
9.2.1 钢柱基础	174	9.3.1 钢直梯安装	200
9.2.2 单层钢柱安装	179		

9.3.2	固定钢斜梯安装	201
9.3.3	平台、栏杆安装	201

9.4	安全措施	202
	能力训练题	202

第10章 压型金属板工程

10.1	压型钢板	203
10.1.1	压型钢板分类	203
10.1.2	压型钢板的物理性能	204
10.1.3	彩色涂层钢板的使用寿命	204
10.1.4	压型钢板的材性要求与引用 标准	204
10.1.5	压型金属板的选用	205
10.2	夹芯板	206
10.2.1	夹芯板分类	206

10.2.2	夹芯板物理性能	206
10.2.3	夹芯板板材	206
10.3	彩色钢板配件	207
10.4	压型金属板安装	208
10.4.1	压型金属板连接构造	208
10.4.2	压型金属板的安装质量验收	212
10.4.3	单层彩钢板安装	214
10.4.4	双层彩钢板安装	215
	能力训练题	217

第11章 大跨结构安装施工

11.1	钢网架结构安装施工	218
11.1.1	网架的节点	218
11.1.2	钢网架结构的安装	220
11.2	悬索结构施工	232
11.2.1	钢索	232
11.2.2	索的节点	233
11.2.3	悬索结构施工	236

11.3	膜结构施工	238
11.3.1	膜材	238
11.3.2	膜的连接	240
11.3.3	膜的安装	242
11.3.4	膜结构施工质量控制	243
	能力训练题	244

第12章 钢结构质量验收与质量保证措施

12.1	钢结构验收项目	245
12.1.1	钢结构验收项目的层次	245
12.1.2	钢结构质量验收等级	245
12.2	钢结构质量验收	246
12.2.1	钢结构工程质量验收记录	246
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	250
12.3	质量保证体系	254
12.3.1	质量管理体系	254
12.3.2	质量管理职责	254
12.3.3	质量管理制度	254
12.4	质量控制流程	255

12.4.1	深化设计质量控制流程	255
12.4.2	原材料采购质量控制流程	255
12.4.3	钢结构制作质量控制流程	255
12.4.4	钢结构安装质量控制流程	255
12.4.5	焊接工程质量控制流程	255
12.5	质量检测方案	255
12.5.1	材料检测方案	255
12.5.2	钢构件检测方案	255
12.5.3	焊接检测方案	259
12.5.4	施工现场检测方案	260
	能力训练题	261

下 篇

第13章 钢结构职业活动训练

13.1	课程标准	263
13.1.1	课程目标	263
13.1.2	课程设计思路	263
13.1.3	学习目标	264

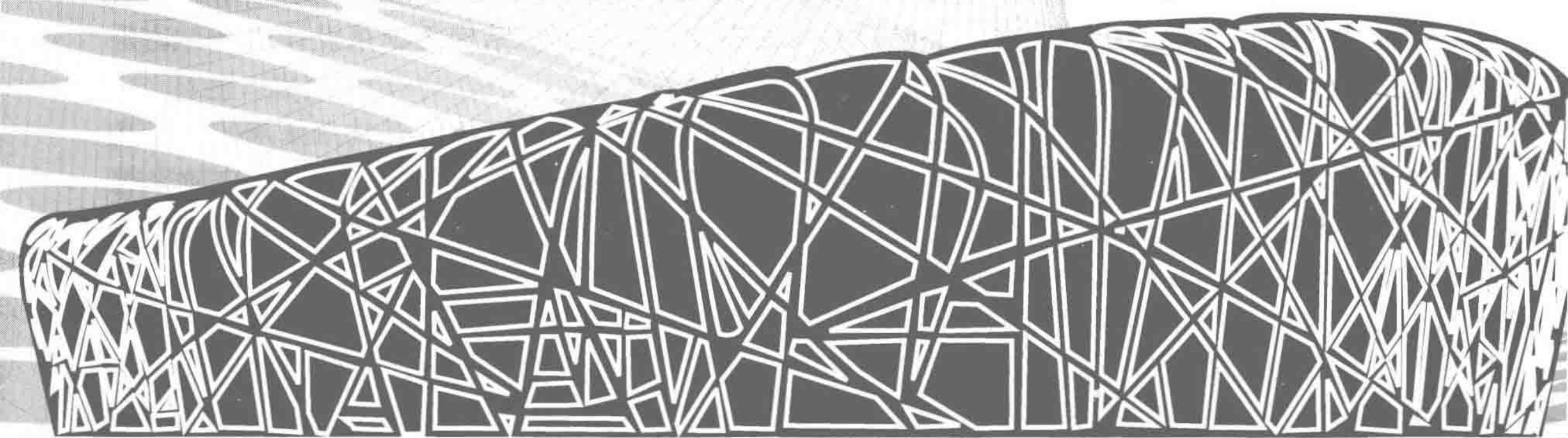
13.1.4	教学内容与学时	265
13.1.5	教学方法与建议	266
13.1.6	教学评价	267
13.2	钢结构认知职业活动训练	267

13.3	钢结构识图职业活动训练.....	268	13.7.1	职业活动实训	281
13.3.1	钢结构中的节点连接	268	13.7.2	实训项目一 焊接检验尺及其 使用	282
13.3.2	实训项目 某工业车间钢结构 工程施工图实例	273	13.7.3	实训项目二 典型埋弧焊工艺 技术实例	284
13.4	钢结构材料职业活动训练.....	275	13.8	钢结构防腐涂装工程职业活动 训练.....	286
13.4.1	职业活动实训	275	13.8.1	职业活动实训	286
13.4.2	实训项目一 认知钢材种类、 规格	275	13.8.2	涂装工程除锈作业工艺规程 ...	287
13.4.3	实训项目二 识读施工图纸 ...	276	13.9	钢结构安装工程职业活动 训练.....	289
13.5	钢结构加工制作职业活动 训练.....	276	13.9.1	职业活动实训	289
13.5.1	职业活动实训	276	13.9.2	实训项目一 一般单层钢结构 安装	290
13.5.2	实训项目一 学习钢结构制作 工艺	277	13.9.3	实训项目二 高层及超高层钢 结构安装	290
13.5.3	实训项目二 工程应用实例 ...	277	13.9.4	实训项目三 大跨度空间网架 结构的安装	290
13.6	钢结构螺栓连接职业活动 训练.....	279	13.10	案例	291
13.6.1	职业活动实训	279	13.10.1	轻型钢结构加工作业 指导书	291
13.6.2	实训项目一 普通受剪螺栓 连接施工	279	13.10.2	单层钢结构安装作业 指导书	312
13.6.3	实训项目二 受剪摩擦型高 强度螺栓施工	280	13.10.3	钢结构安全生产管理	317
13.7	钢结构焊接工程职业活动 训练.....	281			

参考文献

附录 钢结构工程施工图实例

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

我国建筑钢结构应用得也算较早，如 1889 年唐山水泥厂和 1927 年皇姑屯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撑结构与大跨度桁架、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。

二十多年来，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。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。

我国钢结构建筑和住宅正在持续发展，据初步统计，北京、天津、上海、浙江、湖北、内蒙古等省市已经开发或建成的钢结构住宅超过 1000 万平方米。上海的金茂大厦、上海环球金融中心、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”、苏州东方之门等，这些钢结构工程，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，成为我国采用钢结构为建筑主体结构的应用典范工程。

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、节能环保，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,我国建筑产业的发展还只是停留在传统落后的粗放型生产方式上,只有加紧淘汰落后的传统混凝土建筑模式,大力推广“节能环保”的绿色建筑,才能从根源上破解“建筑垃圾围城”的困局。钢结构住宅本身具有“轻、快、好、省”的特点,是极具代表性的绿色建筑、抗震建筑。未来绿色钢结构住宅无疑将成为国内商品住宅建设的发展方向。

目前数据显示,国内住宅小区建设中的最高标准是“四节一环保”,即:节能、节地、节水、节材和环境保护。国际上,在发展绿色建筑方面有一个广为流传的“3R原则”,即:reduce(减少)、reuse(再用)和recycle(再回收)。这些都应该成为中国发展住宅产业恪守的信条。应该看到,近年来作为一种新的循环型建筑工业化产业体系——钢结构绿色建筑体系在我国正在快速形成,为钢结构用钢营造巨大市场。同时,对钢结构用钢提出新的更高要求。目前我国钢结构用钢存在品种少、质量差的问题,亟待改变。当今,我国建筑钢结构产业已经形成一个巨大的产业,仅主体钢结构制造业的产值就超过600亿元,已经形成了以钢材生产、钢结构设计、构件加工及制作、构件安装以及相关产业的一个产业链。建筑钢结构产业的发展同时,也带动了相关配套产业的发展,同样拉动了钢结构用钢的需求。

钢结构领域很大,尤其是钢结构绿色建筑体系,它将打破房地产、建筑、机械装备制造、绿色建筑、新型建材、防灾减灾、家电厨卫装修等产业之间的界线,集合成为一个新的循环型建筑工业化产业体系;还可将房地产业的资金重新回流到现代制造业等实体经济中来,实现经济的转型升级。从长远来看,它是一种国家战略资源储备的新兴产业,可以藏钢于建筑,造福子孙万代。

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:2020年,全国钢结构用量比2014年翻一番,达到800万~1亿吨,占钢产量的比例超过10%。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、重量轻,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撑,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,噪音也小。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边形、四边形、六边形、圆形或其他任何形体，如图 1.1 所示。

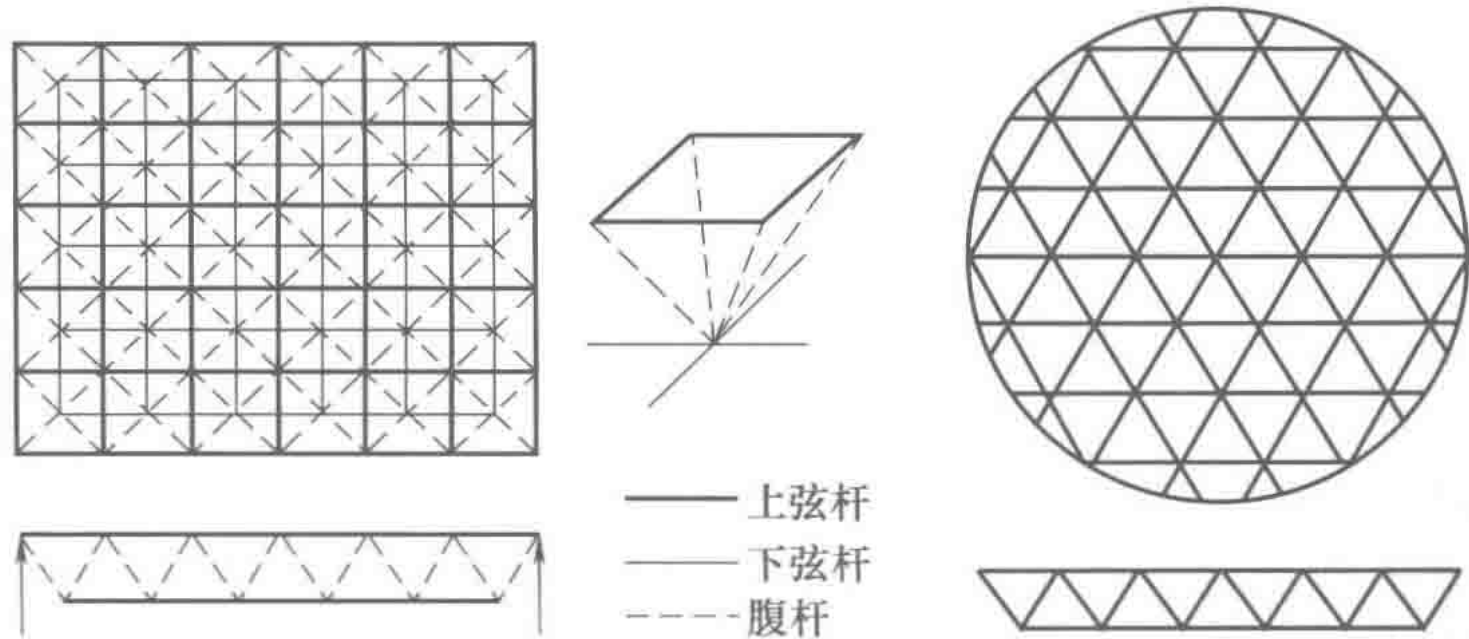


图 1.1 平板网架

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。

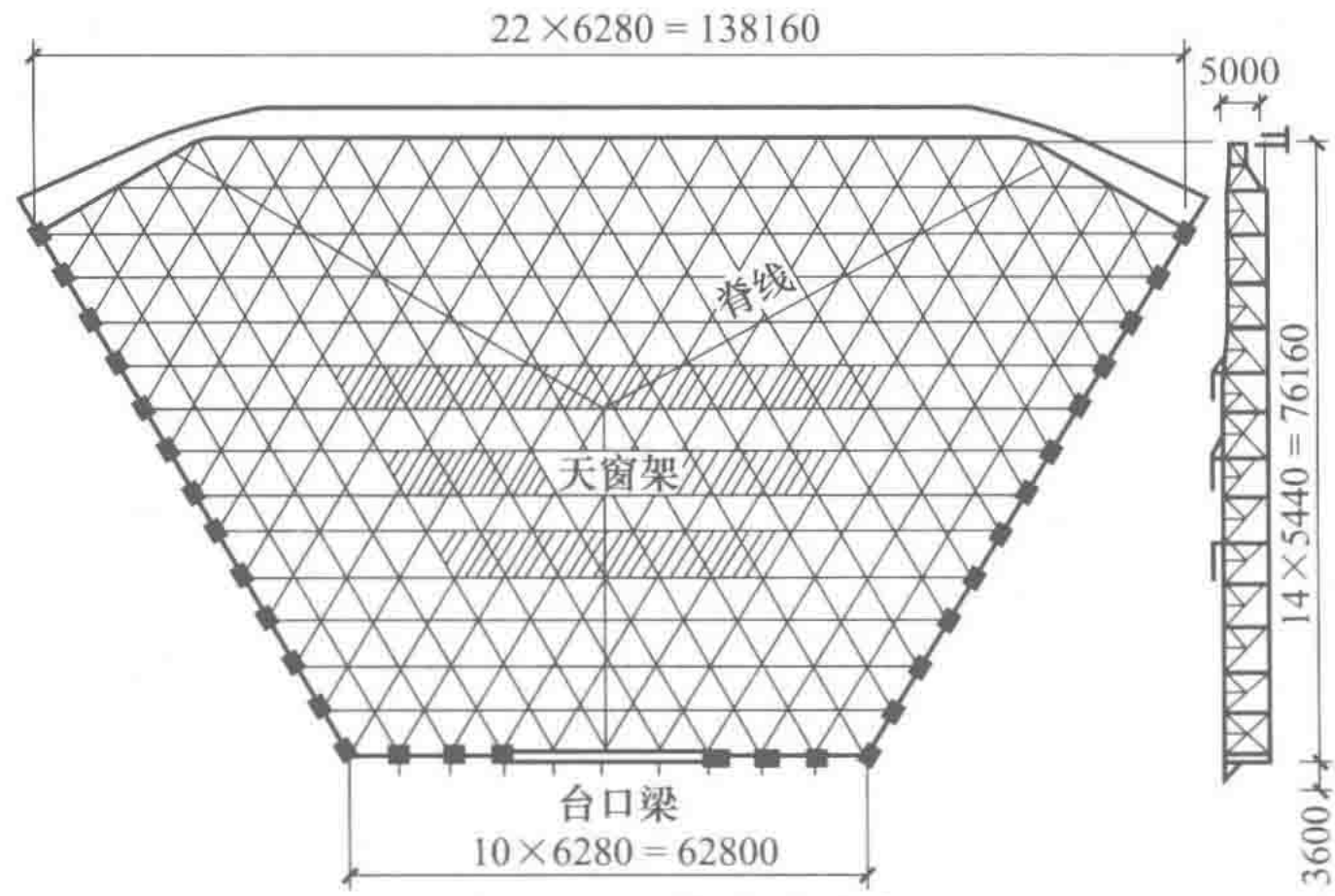


图 1.2 上海文化广场

(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。

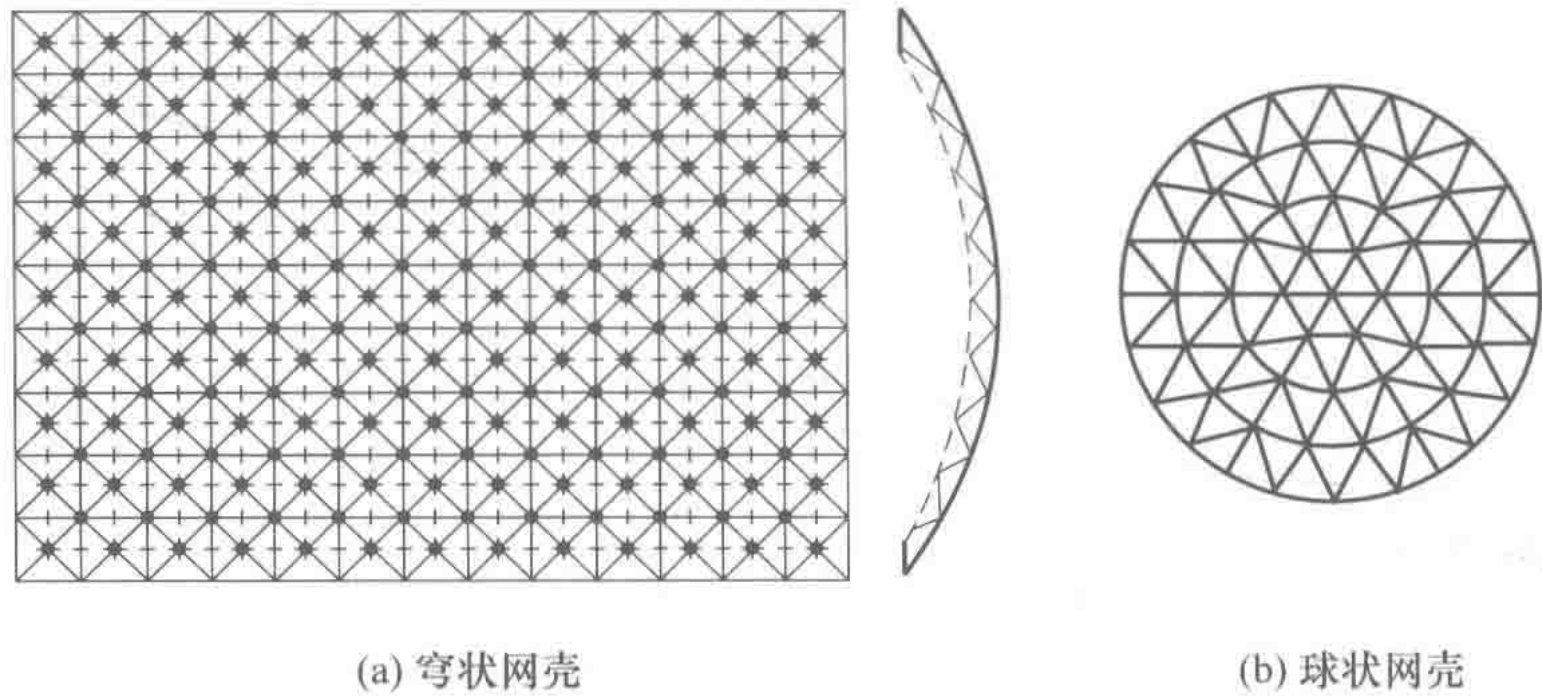


图 1.3 网壳结构

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撑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，可以最充分地利用钢索的抗拉强度，减轻结构自重。边缘构件或支撑结构用于锚固钢索，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。

(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