

刘新 时虎 编著

钢结构 防腐蚀和防火涂装



Chemical Industry Press



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

钢结构防腐蚀和防火涂装

刘 新 时 虎 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构防腐和防火涂装/刘新, 时虎编著. —北京:
化学工业出版社, 2004. 11

ISBN 7-5025-6352-0

I. 钢… II. ①刘… ②时… III. ①钢结构-防腐-
涂漆②钢结构-防火-涂漆 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 123588 号

钢结构防腐和防火涂装

刘新 时虎 编著

责任编辑: 段志兵

责任校对: 李 林 靳 荣

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京红光印刷厂印刷

北京红光印刷厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15¼ 字数 382 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6352-0/TU·73

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

防腐蚀涂装和防火涂装是钢结构耐久和安全的重要保障措施。本书详细介绍钢结构防腐蚀涂料和防火涂料的类型和品种、涂料涂装前钢结构表面处理、涂装系统设计和施工，列举了各种类型钢结构涂装实例。

本书将防腐蚀涂料涂装与防火涂料涂装结合起来介绍，以便读者能形成完整的涂装体系；本书在编写中，非常注意把工程实际与理论结合起来，非常注意把工程实际与国际通用标准结合起来。

本书可供钢结构设计、施工的科技及管理人员参考，可供涂料涂装和涂料研究开发专业人员参考；也可供安全管理技术人员参考。

目 录

第 1 章 钢结构概述	1
1.1 钢结构建筑	3
1.1.1 钢结构建筑的优点	3
1.1.2 高层钢结构建筑	4
1.1.3 轻型钢结构和民用住宅钢结构	5
1.1.4 空间网格结构	5
1.1.5 张拉结构	7
1.2 认识钢材	8
1.2.1 建筑用钢材种类	8
1.2.2 钢材的品种	10
1.2.3 钢材的原始状态	12
1.3 钢结构的连接形式	14
1.3.1 焊接	14
1.3.2 高强度螺栓连接	15
1.3.3 梁-柱的连接	15
1.3.4 支撑和桁架的连接	16
1.3.5 钢结构的组成	16
1.4 高强度螺栓摩擦面滑移系数	17
1.5 钢结构的加工制作	18
第 2 章 钢结构的腐蚀和火灾危险	20
2.1 钢铁的电化学腐蚀	20
2.1.1 钢铁腐蚀的原电池	20
2.1.2 钢铁腐蚀的微电池	20
2.2 钢铁及其他金属的耐腐蚀性	21
2.2.1 钢铁耐腐蚀性的评定	21
2.2.2 碳素钢的耐蚀性	22
2.2.3 低合金钢的耐蚀性	22
2.2.4 耐候钢的耐蚀性	23
2.2.5 铸铁的耐蚀性	23
2.2.6 镀锌钢材	23
2.2.7 其他金属的耐腐蚀性	24
2.3 钢结构的大气腐蚀	25
2.3.1 大气腐蚀的机理	25
2.3.2 影响大气腐蚀的因素	25

2.3.3	大气腐蚀环境的分类	26
2.3.4	大气腐蚀的破坏形式	27
2.4	建筑结构的防腐蚀方法	30
2.4.1	钢结构防腐蚀设计构造要求	30
2.4.2	铝合金、不锈钢等建筑材料	31
2.4.3	热浸镀锌和金属热喷涂	31
2.4.4	涂料防护	32
2.5	钢结构的火灾危险	33
2.5.1	什么是燃烧	33
2.5.2	标准火和烃类火	34
2.5.3	钢结构燃烧中的行为特点	35
2.5.4	钢结构的火灾事故	37
2.6	钢结构的火灾防治	38
2.6.1	截流法	39
2.6.2	疏导法	40
2.6.3	防火涂料的防火作用	40
第3章	钢结构防腐蚀涂料	42
3.1	涂料的组成	42
3.1.1	基料	43
3.1.2	颜料	44
3.1.3	助剂	46
3.1.4	挥发性组分	47
3.1.5	挥发性有机化合物的规定	47
3.2	涂料产品的分类、命名和型号	49
3.2.1	GB/T 2705—2003《涂料产品分类和命名》	50
3.2.2	GB/T 2705—1992《涂料产品的分类、命名和型号》	53
3.2.3	海虹老人牌涂料 (HEMPEL PAINTS) 产品命名	54
3.2.4	国际油漆产品命名	56
3.3	常用涂料品种	57
3.3.1	沥青涂料	57
3.3.2	醇酸树脂涂料	57
3.3.3	酚醛树脂涂料	59
3.3.4	环氧树脂涂料	59
3.3.5	氯磺化聚乙烯涂料	60
3.3.6	高氯化聚乙烯涂料	61
3.3.7	氯化橡胶涂料	62
3.3.8	聚氨酯涂料	63
3.4	钢结构重防腐涂料	64
3.4.1	改性醇酸重防腐蚀涂料	65
3.4.2	环氧重防腐蚀涂料	66

3.4.3	富锌涂料	67
3.4.4	玻璃鳞片涂料	69
3.4.5	超耐候性防腐蚀面漆	70
3.4.6	金属质感面漆	74
3.4.7	涂料的配套性	76
3.5	钢结构防腐蚀涂装设计	77
3.5.1	大气腐蚀环境	78
3.5.2	ISO 12944 涂装设计指导	79
第4章	防火涂料	84
4.1	防火涂料的发展	84
4.2	防火涂料分类	86
4.2.1	防火涂料的分类方法	86
4.2.2	超薄型钢结构防火涂料	88
4.2.3	薄型钢结构防火涂料	88
4.2.4	厚型钢结构防火涂料	88
4.2.5	电缆防火涂料	88
4.2.6	混凝土结构和隧道防火涂料	89
4.3	防火涂料的防火机理	89
4.3.1	防火涂料的基本防火机理	89
4.3.2	膨胀型防火涂料的膨胀发泡	90
4.3.3	非膨胀型防火涂料的黏稠熔融保护层	91
4.3.4	吸热降低基材温度	91
4.3.5	燃烧连锁反应的抑制和中止	91
4.3.6	惰性气体的覆盖和稀释作用	91
4.3.7	协同作用	91
4.4	钢结构防火涂料的组成	92
4.4.1	无机物基料	92
4.4.2	有机物基料	93
4.4.3	无机阻燃剂	95
4.4.4	有机阻燃剂	96
4.4.5	膨胀型阻燃体系	97
4.4.6	无机颜填料	99
4.5	钢结构防火涂料的研制	101
4.5.1	厚涂型钢结构防火涂料	101
4.5.2	薄型钢结构防火涂料	106
4.5.3	超薄型防火涂料	107
4.5.4	膨胀型环氧树脂防火涂料	115
4.6	防火涂料性能检测	116
4.6.1	国家标准 GB 14907—2002	116
4.6.2	国外检测方法概述	119

4.7	防火涂料的产品型式认可	121
4.7.1	消防产品型式认可实施规则	121
4.7.2	消防类产品型式认可工厂基本条件	122
4.7.3	防火涂料产品型式认可补充细则	123
4.7.4	钢结构防火涂料产品型式认可检验	126
4.8	防火涂层的厚度确定	126
4.9	防火涂料保护面积和涂料用量的计算	129
4.9.1	轻型钢结构建筑物	129
4.9.2	网架工程涂刷钢结构涂料面积计算	130
4.9.3	防火涂料工程的造价计算	130
4.10	防火涂料涂装设计	130
4.10.1	钢结构的防火设计与构造	130
4.10.2	钢结构防火涂料的选用	131
4.10.3	建筑设计防火规范	132
4.10.4	石油化工企业设计防火规范	133
4.10.5	其他规范	133
4.10.6	性能化防火设计简介	134
4.11	防火涂料涂装系统	135
4.11.1	防火涂料系统	135
4.11.2	防锈底漆	135
4.11.3	封闭面漆	136
第5章	钢结构表面处理	138
5.1	表面处理概述	138
5.1.1	表面处理的重要性	138
5.1.2	表面处理的对象	138
5.2	表面处理的标准	139
5.2.1	国际标准 ISO 8501-1: 1988 (瑞典标准 SIS 05 5900; 1967)	139
5.2.2	SSPC 标准和 NACE 标准	141
5.2.3	表面处理标准的对应	143
5.3	表面处理的方法	143
5.3.1	手动工具清理	143
5.3.2	动力工具打磨	144
5.3.3	抛丸处理	145
5.3.4	开放式喷砂处理	147
5.3.5	水喷射清理	152
5.4	磨料选用和表面粗糙度	153
5.4.1	磨料的类型	153
5.4.2	钢砂、钢丸和铜矿渣	155
5.4.3	磨料的检查	158
5.4.4	表面粗糙度	159

第 6 章 钢结构的涂装施工	162
6.1 涂料的施工方法	162
6.1.1 刷涂	162
6.1.2 辊涂	163
6.1.3 空气喷涂	163
6.1.4 高压无气喷涂	165
6.2 车间和现场涂装施工	170
6.2.1 钢结构涂装程序	170
6.2.2 车间内涂装施工	171
6.2.3 现场涂装施工	173
6.3 不同涂料品种的施工要求	176
6.3.1 单组分涂料	176
6.3.2 双组分涂料	177
6.3.3 丙烯酸聚氨酯面漆	177
6.3.4 无机硅酸锌底漆	177
6.4 涂料用量计算和控制	180
6.4.1 涂料的体积固体分	181
6.4.2 涂料的理论涂布率	182
6.4.3 涂料的损耗系数与实际用量	182
6.5 涂装施工气候条件控制	183
6.5.1 温度	183
6.5.2 相对湿度和露点	184
6.6 防腐蚀涂料施工质量控制	185
6.6.1 表面清洁	185
6.6.2 表面清理	186
6.6.3 漆膜附着力	187
6.6.4 漆膜厚度的检查	188
6.7 防腐蚀涂料漆膜缺陷的处理	191
6.7.1 施工中的问题	192
6.7.2 干燥和固化过程发生的问题	195
6.7.3 涂层在使用过程中发生的问题	195
6.8 钢结构防火涂料施工组织	198
6.8.1 工程概况和编制说明	198
6.8.2 施工准备	199
6.8.3 施工进度计划	199
6.8.4 质量保证措施	200
6.8.5 材料管理	200
6.8.6 安全技术措施	201
6.8.7 施工组织机构图	201
6.9 防火涂料施工及其质量控制	202

6.9.1 现场和场外施工	202
6.9.2 超薄型丙烯酸膨胀型防火涂料	203
6.9.3 厚涂型无机隔热防火涂料	208
6.10 防火涂料的施工质量控制	211
第7章 钢结构的防护应用实例	213
7.1 体育场馆	213
7.1.1 悉尼奥运会体育场馆	213
7.1.2 雅典奥运会体育场馆	216
7.1.3 曼彻斯特曼联体育场	217
7.1.4 广东奥林匹克体育中心	217
7.2 会展中心	218
7.2.1 深圳会展中心	218
7.2.2 厦门国际会展中心	219
7.2.3 英国千禧穹顶	219
7.3 机场	220
7.3.1 上海浦东国际机场	220
7.3.2 广州新白云机场	220
7.3.3 中国西南航空公司“886”机库	221
7.4 电视塔和铁塔	222
7.4.1 上海东方明珠电视塔	222
7.4.2 黑龙江广播电视塔	223
7.4.3 法国巴黎埃菲尔铁塔	223
7.5 高层建筑和钢结构住宅	224
7.5.1 七星级酒店——阿拉伯大厦	224
7.5.2 美国纽约世贸双塔	224
7.5.3 钢结构住宅——北京金宸公寓	227
7.6 国家大剧院	228
7.7 石化行业钢结构的防火保护	228
附录	230
参考文献	234

第 1 章 钢结构概述

现代建筑结构所用的主要材料仍是钢铁、混凝土和玻璃。钢铁强度高，性能稳定，韧性好而且适合于批量生产，使得钢铁成了最佳建筑用结构材料。从钢结构建筑的历史上看，早在 19 世纪钢结构在建筑上应用就已经有了相当高的成就。随着结构力学理论和实验结合而成的静力学体系的确立，以及轧制锻铁和钢材的普及，钢结构建筑也开始了新的时代。从笨重的铸钢形态过渡到了由标准化的小型构件铆接组装的轻型轧钢构件形态。进入 19 世纪 80 年代起，建筑结构就开始使用轧制钢材了。这时候涌现了大批的车站、库房和展览馆等钢结构建筑，这些建筑直到今天还在充分发挥着各自的功能。其中最为显赫的成果就是 1889 年为法国巴黎博览会建造的三铰拱机械馆和埃菲尔铁塔。埃菲尔铁塔高 312.27m，使用了 18038 个锻铁构件，用 2.5 万个铆钉固定，重 7300t。埃菲尔铁塔尽管在建造的当时受到了太多的非难，可是在其竣工后却成了巴黎的象征性建筑。

进入 20 世纪以来，钢结构建筑在理论和实践上又有了新发展，其中的代表作，如 1977 年完成的巴黎蓬皮杜中心，1986 年的伦敦洛依兹大厦等。到了 20 世纪末，钢结构建筑的规模和功能已经不是决定性因素了，所有建筑需要的是设计和结构技术的完美融合。

钢结构建筑的蓬勃发展，极大地推动了钢铁工业的发展，出现了诸多新型钢材品种，比如，H 型钢、T 型钢、耐火钢和耐候钢等。

钢结构建筑的用钢量是相当大的，从数千吨到几万吨。就以湖南国际会展中心为例（图 1-1），来具体说明一下用钢的情况。作为中南地区的标志性建筑，湖南国际会展中心占地面积 28196m²，总建筑面积为 95638m²。东西方向长 242.8m，南北方向宽 141m。檐口最低处 30m，最高处 39m，屋面拱架呈巨龙腾飞之势。工程总用钢量 18000 余吨。结构用材种类及总用钢量见表 1-1，表 1-2。

表 1-1 主要结构用材种类及用钢量（湖南会展中心）

序 号	主 材 种 类	用钢量/t	占总用钢量比例/%
1	管材	2000	11.1
2	板材	12000	66.7
3	轧制 H 型钢(RH)	4000	22.2

表 1-2 主材的应用（湖南会展中心）

序 号	主 材 种 类	应 用
1	管材	屋面桁架梁
2	板材	卷管、焊制钢梁
3	RH 钢	平台结构梁、格构式梁柱、蜂窝梁檩条等

由上表可以看出，管结构用于表现建筑造型；板材结构用于大型梁、柱；一般受力结构件和组合结构件，使用比重最大的是 RH 钢。

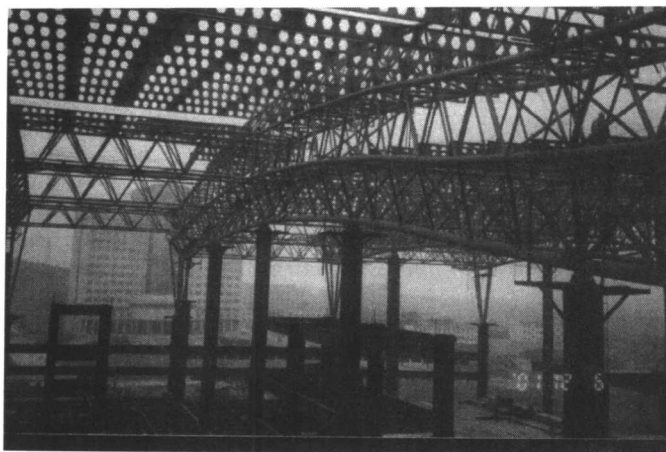


图 1-1 湖南国际会展中心的 RH 型钢蜂窝梁

据《钢结构》杂志 2002 年第 2 期介绍, 首钢集团、中国钢铁工业协会、中国钢结构协会对广州、上海、北京等地体育馆和会展中心进行了调研, 国内部分的体育场馆和会展中心的用钢量情况见表 1-3。

表 1-3 我国部分体育场馆和会展中心用钢量统计

序号	工程名称	设计单位	施工单位	钢结构量	主要品种、钢号	钢材来源
1	广东奥林匹克体育场 62000m ²	美国 NEB 设计集团方案设计; 华理工大学建筑设计院施工图设计	广东省建工集团总承包; 广东省工业设备安装公司钢结构施工	10300t 166kg/m ²	钢板、H 型钢、钢索、锚具、螺栓 Q235、Q345	英国: 5630t 韩国: 3700t 日本: 1070t
2	广州新体育馆 24000m ²	法国戴高乐机场设计事务所安德鲁方案设计; 广州建筑设计院施工图设计	中建三局总承包; 钢结构由东南网架厂制作; 广州五羊建设机械有限公司吊装施工	2120t 90kg/m ²	方钢管、无缝钢管、工字钢、槽钢、H 型钢、钢索 Q345	国产
3	广州会议展览中心 100000m ²	日本方案设计; 华南理工大学建筑设计院施工图设计	上海机械施工公司总承包	15000t 150kg/m ²	钢板、钢管、工字钢、槽钢、H 型钢、钢索 Q235、Q345	国产
4	深圳游泳跳水馆 9600m ²	澳大利亚 COX 建筑设计公司与深圳华森设计公司联合设计	中建一局四公司总承包; 上海宝冶公司钢结构施工	1500t 156kg/m ²	圆钢管、方钢管、钢板、铸钢件、钢索 Q345	国产
5	上海新国际博览中心 45000m ²	美国建筑设计; 德国结构设计; 上海市建筑设计研究院施工图设计	上海建工集团总承包; 上海宝冶公司和冠达尔参与部分钢结构制作安装; 铸钢件苏州阀门厂和上海船厂制造	8400t 187kg/m ²	钢管、型钢铸钢连接件、钢板、预应力拉杆膜结构 Q345	国产
6	上海 8 万人体育馆	上海建筑设计研究院设计	上海机械化施工公司	3300t	钢管、膜结构、彩板	英国进口
7	上海虹口体育场	上海建筑设计研究院设计	上海机械化施工公司	2000t	焊接钢管、膜结构、彩板	英国进口

钢结构最令人担心之处就是钢铁的锈蚀和不耐高温, 除了钢材本身进行改良使用耐候型钢板、耐火钢等之外, 还需要加强钢结构的防腐蚀和防火措施。况且, 就是使用了耐候钢,

如果不加涂饰进行保护就放在室外，它与普通钢材一样，还是会生锈的。使用涂料进行防腐和防火是最为方便简单而又经济有效的方法。

在具体阐述钢结构的防腐和防火保护前，首先要了解一些有关钢结构和钢材的简单知识，这对于主要从事防腐和防火的工程技术人员是很有必要的。下面列举了世界上和国内一些重要钢结构建筑的防腐和防火涂装技术，并将陆续在有关章节中进行详细介绍。

1.1 钢结构建筑

1.1.1 钢结构建筑的优点

钢结构建筑是继钢筋混凝土建筑之后的最具革命性的建筑新发展和新应用。它具有以下优点。

(1) 钢材的抗拉、抗压、抗剪强度相对来说比较高，钢结构构件结构断面小、自重小，可以减少运输和吊装费用，基础的负载也相应减少。一般情况下，高层钢筋混凝土建筑物的自重为 $1.5 \sim 2.0 \text{ t/m}^2$ ，而高层建筑钢结构自重大多在 1.0 t/m^2 以下。

(2) 钢结构具有良好的延性和抗震性能好，尤其是在高烈度地震区，使用钢结构就更为有利。在高烈度地震区，有设防震要求的高层建筑，若自重减轻一半，相当于降低抗震设防烈度一度。以北京 8° 抗震设防烈度为例，中等高度建筑采用钢结构，结构自重减轻约 $1/3$ ，地震作用可减少 $30\% \sim 40\%$ ，地基上单位面积的负荷面积也可减少 25% 以上。

(3) 结构占有面积较小，实际上是增加了使用面积。高层建筑钢结构的结构占有面积只是同类钢筋混凝土结构面积的 28% 。采用钢结构可以增加使用面积 4% 左右，这实际上是增加建筑物的使用价值，增加经济效益。

(4) 施工速度快，采用钢结构可为施工提供较大的空间和较为宽敞的施工作业面。可以实现钢柱的吊装、钢框架的安装、钢筋混凝土核心筒的浇筑、组合楼盖等的平行立体交叉作业。有时在上部安装柱、框架的同时，下部可以进行内部装饰、装修工程。随着施工作业的整体管理水平提高，对于钢结构建筑的施工速度应该有着很大的提升空间。

(5) 钢结构的质量容易保证，钢结构构件一般都在工厂里制造、加工，精度高。在工地只是安装就位，用工省，现场施工比较文明。减少了沙、石、水泥堆放场地，还减少了模板储运、现场构件预制及钢筋混凝土结构现浇时的湿作业，在闹市区或密集的居民区内，具有很大的施工优点。

(6) 钢结构建筑在使用过程中易于改造，如加固、接高、扩大楼面等内部分割，变动比较容易、灵活。发达国家的经验是钢结构建筑为环保型建筑，可以重复利用以及减少矿产资源的开采。

(7) 钢结构可以做成大跨度、大空间，形成较宽敞的无柱空间，敞式的大平面办公室，工业厂房和仓库等是最常见的空间形式。利用网架和网壳结构还可以实现跨度达几十米的机场机库，以及跨度达 200m 以上的体育场馆等。

(8) 在钢结构的结构空间中,有许多孔洞与空腔,钢梁的腹板也允许穿越小于一定直径的管线,这样使管线的布置较为方便,也增加了建筑净高度,而且管线的更换、修理都较方便。

1.1.2 高层钢结构建筑

世界第一幢高层钢结构房屋始建于 1885 年的美国芝加哥,这是一幢高 55m 的 10 层家庭保险公司大楼。接着 1889 年在法国巴黎建成了一座高 320.75m 的埃菲尔铁塔,促进高层钢结构技术得到迅速发展。

阿拉伯大厦(图 1-2)是一个 321m 高的世界上第一座七星级酒店,它是芝加哥海滩胜地(Chicago Beach Resort)在阿拉伯海湾海滩上最重要的组成部分。它建造于离海岸 300m 的人工岛上,外形酷似一艘扬帆远航的阿拉伯单桅船。该建筑物在建筑和结构上的高度集成,外墙框架在建筑上表现为帆船的绳索,在结构上充当结构稳定体系的主要部分,而正立面的帆布效果则由聚四氟乙烯覆膜的玻璃纤维张力膜结构来实现。在其塔楼顶部有一个直升机停机坪和旋转餐厅,它由高度为 1.7m 的变截面箱梁支承,通过大型钢预埋件锚固在混凝土上,钢箱梁重达 40t。此外,一个椭圆形钢管状结构作为船桅从外管架上悬挑出 60m。



图 1-2 世界上第一座
七星级酒店——阿拉伯大厦

高层钢结构建筑是一个国家经济实力和科技水平的反映,又往往当作一个城市标志性建筑。尽管高层建筑钢结构应用在中国起步较晚,但是,随着中国的改革开放,一大批高层钢结构建筑开始耸立在北京、上海、深圳、大连等主要城市,标志着中国的高层钢结构建筑现在已经达到了世界先进水平。

最早起步纯钢框架结构建筑是 26 层北京长富宫中心工程,从 1983 年开始策划与设计,由中日合作设计,因为当时国内还缺乏制作与安装的经验。中国第一座高度超过 100m 的钢结构高层建筑是于 1987 年在深圳建成的发展中心大厦,高 165m。1996 年建成的深圳地王大厦,是中国第一幢高度超过 300m 的高层钢结构建筑,主楼高 325m,连同天线杆总高 384m,地上 81 层,地下 3 层。

1999 年建成的上海金茂大厦高度达 420.5m,其高度位列世界第三。该建筑的特色是在于其环境荷载设计取值比其他超高层建筑要大得多,细长的塔楼除提供商务的需要外,还需满足抵御台风、中强地震和适应恶劣的场地条件等设计要求。上海金茂大厦和阿拉伯大厦被评为 2000 年度的结构工程师协会(IStructE)结构特别奖。上海金茂大厦钢结构防火保护面积达 10000m²,共用防火涂料 Interbond FP 12400L,由国际油漆公司提供。

全部采用国产钢材的高层钢结构建筑的是大连世贸中心和大连远洋大厦,并且由国内设

计、制造及施工，标志着中国高层钢结构建筑的起步，并取得了可喜的成绩。

1.1.3 轻型钢结构和民用住宅钢结构

轻钢结构是近 10 年来发展最快的领域，它具有抗震、施工工期短、可增加使用面积、空间分割自由、避免钢筋混凝土作业造成的环境污染和噪声污染、材料可重复利用等特点，属于绿色建筑，符合环保节能和可持续发展的总体要求。这种结构工业化、商品化程度高，施工快，综合效益高。

在美国采用轻型钢结构占非住宅建筑投资的 50% 以上。钢结构住宅在欧美发达国家已经成为主流建筑。

中国轻型钢结构建筑在近年来的发展也非常快，主要用于轻型的工业厂房棉花和粮食仓库、码头和保税区仓库、农产品、建材、家具等各类交易市场、体育场馆、展览厅及活动房屋、加层建筑等。轻钢结构是相对于重钢结构而言，其类型有门式刚架、拱型波纹钢屋盖结构等。轻钢结构用钢量一般 $30\text{kg}/\text{m}^2$ 左右（不含钢筋用量），因此，在我国发展很快、应用广泛。

建设部印发的《钢结构住宅建筑产业化技术导则》（建科 [2001] 254 号）中，12 层以下（含 12 层）的钢结构住宅建筑的设计、施工及开发建设（12 层以上钢结构住宅可参照执行）有关钢结构防护的要求在第 5 节：

(5.1) 钢结构的防火应根据设计要求采用喷涂防火涂料或其他有效外包覆防火措施。

(5.2) 采用钢管混凝土构件和耐火耐候钢应进行钢结构的抗火设计，并满足国家有关消防规范的要求。

(5.3) 防腐蚀设计应根据环境和使用要求做好涂装设计。应综合考虑钢构件的基材种类、表面除锈等级、涂层结构、涂层厚度、涂装工艺、使用状况和预期耐腐蚀寿命等，提出合理的除锈方法和涂装方法，且除锈等级宜为 Sa 2½ 级，轻钢龙骨（冷弯薄壁型钢）体系的构件应采用热浸镀锌钢板制作。

1.1.4 空间网格结构

在大跨度空间钢结构方面，以网架和网壳为代表的空间网格结构得到大力发展，广泛应用于工业厂房、机库、候机楼、体育馆、展览中心、大剧院、博物馆以及大型商场等方面。很多城市的飞机航站楼、会展中心、体育场馆、大剧院、音乐厅等，采用圆钢管、矩型钢管制作空间桁架、拱架及斜拉网架结构，加上波浪形屋面，成为各地新颖和富有现代特色的标志性建筑物。

空间结构是相对于平面结构来说的，建筑方面平常所用的梁、杆架、拱……，都属于平面结构，它所承受的载荷以及由此产生的内力和变形都被考虑为一个平面内的二维。空间结构的荷载与内力、变形则是三维的，其作用在空间内。因其结构受力合理、刚度大、质量轻、杆件单一、制作安装方便的空间结构体系，在近一二十年来获得蓬勃发展，并在大跨度、大柱网的公共和工业建筑中得到广泛应用。它不仅可用于屋盖结构，而且可用于楼层结构、墙体结构和特种结构。

网壳工程以球面和柱面较多，还有双曲抛物面、双曲扁壳等形式。它比网架又有许多优点，特别是在超大跨度时，悬索及斜拉结构、膜和索膜结构在国内应用也较多，主要用于体育馆、车站等大空间公共建筑中。

首都体育馆，平面尺寸 $99\text{m} \times 112.2\text{m}$ ，为国内矩形平面屋盖中跨度最大的网架。上海体育馆，平面为圆形，直径 110m ，挑檐 7.5m ，是目前国内跨度最大的网架结构。1994 年建成的天津新体育馆，是当今国内跨度最大、覆盖建筑面积最大的网壳结构，平面为圆形，直径 108m ，挑檐 13.5m ，总直径达 135m ，曾是国内圆形平面跨度最大的球面网壳。1998 年初建成的长春体育馆，平面为 $120\text{m} \times 166\text{m}$ 枣型，连同支架的平面为 $146\text{m} \times 192\text{m}$ 。

网壳结构在大型体育场挑篷方面也有很多的应用，典型建筑有 1992 年建成的深圳体育场（挑篷宽度 31m ，悬挑 25.5m ），为昆明 99 世博会开幕用的昆明拓东体育场挑篷（挑篷宽度 34m ，悬挑 26m ）。

国内很多大型机场的机库采用了大跨度网架结构。1996 年建成的首都机场四机位机库，平面尺寸 $(153+153)\text{m} \times 90\text{m}$ ，是当时机库方面网架结构应用的突破。四位机库采用了环氧底漆和中间漆进行防腐蚀，再涂覆了防火涂料进行防火保护。1999 年新建成的厦门机场太古机库，平面尺寸 $(155+157)\text{m} \times 70\text{m}$ ，成为国内当前建筑覆盖面积最大的单体网架结构，也是目前世界上最大的机库。著名的机库网架结构还包括前几年建成的成都双流机场机库（平面尺寸 $87\text{m} \times 140\text{m}$ ）、上海虹桥机场机库（平面尺寸 $95\text{m} \times 150\text{m}$ ）以及广州新白云

机场机库等。

网架结构在国内工业厂房屋盖中也得到了大面积的推广应用。云南玉溪卷烟厂的连片网架厂房达 12 万平方米。上海江南造船厂新建厂房的工业厂房网架中跨度最大的达到 60m 。

深圳市市民文化中心大屋顶采用了平面尺寸为 $(154 \sim 120)\text{m} \times 486\text{m}$ 大鹏展翅型双曲率网壳结构，在纵向分为三段，两翼支承在 18 个树枝形（双向 W 形）柱帽上，中部支承在 36m 大圆筒及 $36\text{m} \times 48\text{m}$ 大方筒的侧壁上（图 1-3）。

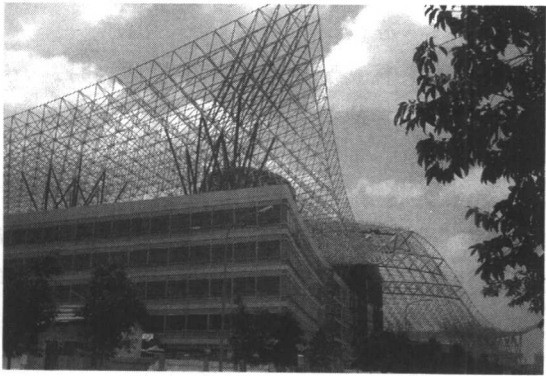


图 1-3 深圳市市民文化中心

近几年电厂煤棚工程网壳结构的发展也很快，电厂干煤棚采用网壳结构的平均用钢量为 $50 \sim 70\text{kg}/\text{m}^2$ ，比以往采用门式刚架或拱结构的平均用钢量 $80 \sim 125\text{kg}/\text{m}^2$ ，降低了 40% 以上。有特色的电厂煤棚网架工程见表 1-4 和图 1-4。

表 1-4 煤棚网架工程

项 目 名 称	尺 寸	备 注
嘉兴电厂干煤棚	跨度 103.5m ，长度 80m	矩形平面最大跨度的两幢三心圆柱面网壳
扬州第二发电厂干煤棚	跨度 103.6m ，长度 120m	
台州电厂干煤棚	跨度 80.1m ，长度 82.2m	纵向带折线形的圆柱面网壳
漳州后石电厂干煤棚	直径 125m	国内跨度最大的球面网壳

网架和网壳还可以用于其他建筑形式，如大连友谊广场中心直径为 25m 镶嵌镜面的水晶球网壳，直径 21m 单层联方型全球网壳徐州电视塔塔楼，上海东方明珠电视塔用于装饰的单层联方型全球网壳；直径 29m 整球面螺栓球节点双层球面网壳的杭州满陇桂雨公园寒

宫，双层圆柱面正放四角锥网壳塔筒结构的大连电视塔塔身，等等。

网架结构还可用于人行天桥结构，笔者在合肥市街头见过多座网架结构形式的人行天桥。位于上海闵行区新梅人行天桥，桥长110m、宽4.0m，由上、中、下三层螺栓球节点网架组合而成，此座网架桥梁的用钢量为64t，而钢箱梁方案的用钢量达到202t，相比之下节省的幅度很大。

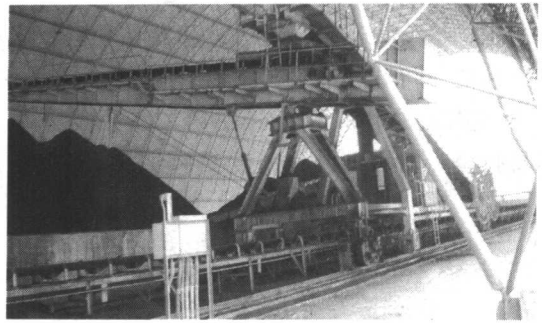


图 1-4 煤棚网架结构

装饰用的各种网架小品在亭、廊、天井、门厅等形态各异的采光或非采光屋盖结构中广泛采用。温州市府广场的地标结构采用总高度40.8m，跨度30m的螺栓球节点网架结构，证明网架结构可以成为可作为某一地区、某一城市的表征的建筑形式。

网架结构采用的是薄壁钢管，防腐蚀是其重要内容。在结构上，要求管式杆件两端封闭，内部就不会锈蚀；钢管表面难以积灰积水，提高了防腐蚀性能；在拼装过程中节点与杆件上设置的拼装螺栓孔要进行填补；网架支座节点与下部支承柱应有合理的连接等。在防腐蚀设计的时候，不宜考虑因锈蚀而加大网架和网壳的杆件截面和厚度的方法。

1.1.5 张拉结构

与网格结构一样，张拉结构也是大跨度的建筑形式。比如，为了给上百万每年去麦加朝圣的伊斯兰教信徒提供足够大的休息中转场所，沙特阿拉伯的国际机场候机大厅达到了42.5万平方米，采用了柱距为45m的大型柱网悬挂膜结构。

1992年在美国建造了世界上最大的索穹顶体育馆——乔治亚穹顶（Georgia Dome），它是1996年的亚特兰大奥运会主馆，这个尺寸为235m×186m的拟椭圆形索膜结构是目前世界上最大的室内体育馆，穹顶上索网采用三角形网格，膜采用了菱形单元以形成具有足够刚度的双曲抛物面。整体索穹顶的耗钢量少得令人难以置信，还不到30kg/m²。

1997年上海召开八运会，可以容纳8万人的主体育馆的挑篷采用了悬挑钢桁架，覆盖以膜结构，面积达36100m²，最大悬挑长度达73.5m，马鞍形的屋盖平面投影尺寸为288.4m×274.4m。

英国的千禧穹顶（Millennium Dome），是为2000新年的千禧庆典而建造的，该工程位于泰晤士河三面围绕的格林尼治半岛。它的创新之处在于采用了直线形张力索和平面膜结构，而不通常采用的双曲面造型。屋面结构由一个辐射状主索网络构成，并依靠12根100m高的桅杆上引出的一组悬索来承载。屋面蒙以双层PTFE覆膜的玻璃纤维布。整个空间占地面积为80000m²，中心高度48m，外墙直径320m，高10m。辐射状主索结点间距为25m，由一对张拉至200kN的32mm钢索组成。屋面索结构的张力集成至边索链，再传递至竖向地锚和周长达1000m的受压环梁。千禧穹顶被IStructE评为2000年度的结构特别奖。

在张拉结构中广泛采用的膜材料由基布和涂层两部分组成。基布主要采用聚酯纤维和玻璃纤维材料；涂层材料主要聚氯乙烯和聚四氟乙烯。常用膜材为聚酯纤维覆盖聚氯乙烯