

根据《建筑设计防火规范》
(GB50016—2014)编写

建筑消防工程设计与施工 系列丛书

建筑钢结构 **防****火** 细节详解

关大巍 主编

最新规范 + 细节明晰 = 消除知识盲点, 防隐患于未然, 消防知识记心间
理论阐述 + 图文并茂 = 消除问题疑点, 灭灾害于摇篮, 消防操作手上练




- 1 根据实际工作需求分类, 细节详解消防知识
- 2 严格遵循最新防火规范, 提升人身安全保障
- 3 精选经典消防事件实例, 解析实战技能经验
- 4 归纳消防工作重点难点, 全面提升从业技能

建筑消防工程设计与施工系列丛书

建筑钢结构防火细节详解

关大巍 主编

 江苏凤凰科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑钢结构防火细节详解 / 关大巍主编. —南京:
江苏凤凰科学技术出版社, 2015. 9

(建筑消防工程设计与施工系列丛书 / 白雅君主编)

ISBN 978-7-5537-4519-0

I. ①建… II. ①关… III. ①建筑结构—钢结构—防火系统 IV. ①TU892

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 100537 号

建筑消防工程设计与施工系列丛书 建筑钢结构防火细节详解

主 编 关大巍
项目策划 凤凰空间/翟永梅
责任编辑 刘屹立
特约编辑 陈丽新

出版发行 凤凰出版传媒股份有限公司
江苏凤凰科学技术出版社
出版社地址 南京市湖南路 1 号 A 楼, 邮编: 210009
出版社网址 <http://www.pspress.cn>
总 经 销 天津凤凰空间文化传媒有限公司
总经销网址 <http://www.ifengspace.cn>
经 销 全国新华书店
印 刷 天津泰宇印务有限公司

开 本 710 mm×1 000 mm 1/16
印 张 14.75
字 数 323 000
版 次 2015 年 9 月第 1 版
印 次 2015 年 9 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5537-4519-0
定 价 33.00 元

图书如有印装质量问题, 可随时向销售部调换 (电话: 022—87893668)。

本书编委会

主 参	编 编	关大巍			
		赵 慧	远程飞	吴 宁	董 慧
		姜 媛	成育芳	李香香	刁银霞
		金 莲	林悦先	齐洪月	孙莉媛
		李 凌	李思琪	王 红	徐书婧
		马可佳	李春娜		

内容提要

本书介绍了建筑钢结构防火知识,采用细节体例对内容进行编排与组织,使读者更容易理解和掌握。全书共分七章,主要内容包括钢结构防火概述、火灾下钢结构构件的升温、高温下钢结构材料特性、钢结构构件抗火设计计算、钢结构防火涂料保护措施、钢结构防火板材保护措施、钢结构防火实例等。

本书可供从事建筑钢结构设计、施工及安全管理技术人员参考,也可供企事业单位的消防安全管理人员及高等院校建筑、消防专业师生阅读参考。

前 言

火灾高温对结构钢的材料性能特别是力学性能有显著影响,当温度超过 550 ℃ 时,普通结构钢将丧失大部分强度和刚度。火灾时,建筑室内的温度半小时内可达到 800~1200 ℃,因此钢结构在火灾中极易受到损害。2001 年美国“9·11 事件”中纽约世贸中心两座 110 层 411 m 高的钢结构大楼因飞机撞击后发生的火灾而倒塌,造成 2830 人死亡,引起了世界各国对钢结构抗火问题的高度重视,钢结构抗火理论及其工程应用技术越来越受到学术界和工程界的关注。

2000 年以后,我国钢结构的应用越来越多,而火灾造成钢结构破坏的事故也开始明显,近几年,每年因火灾造成钢结构建筑遭受破坏甚至倒塌的事故均有数起。提高有关主管部门和工程技术人员对钢结构和组合钢结构抗火的认识,推动结构抗火设计理论的发展与工程实施,确保钢结构抗火安全与防火措施的经济性,已成为当务之急。针对以上需求,我们编写了本书,系统地介绍了建筑钢结构防火知识。

本书具有很强的针对性和适用性,结构体系上重点突出、详略得当,注重知识的融贯性。

由于编者的经验和学识有限,加之当今我国建筑业施工机具种类的增多、机具性能的飞速发展,尽管编写人员尽心尽力,但错误及不当之处在所难免,敬请广大读者批评指正,以便及时修订与完善。

编者

2015 年 8 月

目 录

1 钢结构防火概述	(1)
1.1 钢结构建筑	(1)
细节一:钢结构建筑的优点	(1)
细节二:高层钢结构建筑	(2)
细节三:轻型钢结构和民用住宅钢结构	(3)
细节四:空间网格结构	(3)
细节五:张拉结构	(5)
1.2 钢结构的连接形式	(5)
细节一:焊接	(6)
细节二:高强度螺栓连接	(6)
细节三:梁-柱的连接	(7)
细节四:支撑和桁架的连接	(7)
细节五:钢结构的组成	(7)
1.3 建筑火灾	(8)
细节一:火灾发生的条件	(8)
细节二:可燃物	(8)
细节三:建筑室内火灾的类型	(10)
细节四:一般室内火灾的发展	(11)
细节五:火灾燃烧模型	(12)
细节六:火灾轰燃条件	(13)
细节七:轰燃后火灾释热率估计	(14)
细节八:火灾严重性	(16)
1.4 建筑物耐火等级	(17)
细节一:民用建筑的耐火等级	(17)
细节二:厂房建筑的耐火等级	(18)
细节三:仓库建筑的耐火等级	(20)
1.5 建筑结构构件耐火极限要求	(23)
细节一:建筑结构构件耐火极限	(23)
细节二:影响建筑结构构件耐火极限的其他主要因素	(23)
细节三:建筑整体结构耐火极限	(25)
1.6 提高钢结构抗火性能的主要方法	(25)

细节一:水冷却法	(25)
细节二:单面屏蔽法	(26)
细节三:浇筑混凝土或砌筑耐火砖	(26)
细节四:采用耐火轻质板材	(27)
细节五:涂抹防火涂料	(27)
2 火灾下钢结构构件的升温	(28)
2.1 传热学基本原理	(28)
细节一:导热	(28)
细节二:热对流	(28)
细节三:热辐射	(29)
细节四:火灾环境与构件表面间的热量交换	(30)
细节五:钢构件内部的热传导	(31)
细节六:热空气与构件间的传热	(31)
2.2 火灾下钢构件升温计算方法	(32)
细节一:钢构件升温计算模型	(32)
细节二:截面温度均匀分布钢构件升温计算	(34)
细节三:截面温度非均匀分布的钢构件升温计算	(43)
2.3 大空间建筑火灾中火焰辐射对无防火保护钢构件升温的影响	(45)
细节一:概述	(45)
细节二:火焰辐射对无保护钢构件升温的影响	(46)
细节三:参数分析	(53)
细节四:火焰辐射影响的限值	(55)
细节五:结论	(60)
3 高温下钢结构材料特性	(61)
3.1 高温下结构钢的物理特性	(61)
细节一:热膨胀系数	(61)
细节二:热传导系数	(62)
细节三:比热容	(62)
细节四:密度	(62)
3.2 高温下结构钢的力学性能	(63)
细节一:应力-应变关系	(63)
细节二:屈服强度	(65)
细节三:弹性模量	(65)
细节四:泊松比	(66)
细节五:高温蠕变与松弛	(66)
3.3 高温过火冷却后结构钢的力学性能	(68)

细节一:表观特征及力学性能影响机理	(68)
细节二:屈服强度与应力-应变关系	(69)
细节三:弹性模量	(72)
3.4 高温下新型结构钢的性能	(73)
细节一:耐火钢	(73)
细节二:不锈钢	(74)
4 钢结构构件抗火设计计算	(76)
4.1 结构抗火设计的一般原则与方法	(76)
细节一:火灾下结构的极限状态	(76)
细节二:结构抗火计算模型	(77)
细节三:结构抗火设计要求	(78)
细节四:结构抗火设计方法	(79)
细节五:基于概率可靠度的极限状态设计法	(80)
细节六:结构抗火设计的抗力取值	(81)
细节七:结构抗火设计的荷载效应组合	(81)
细节八:局部火灾下由外荷载产生的结构构件内力计算	(82)
细节九:局部火灾下结构构件温度内力计算	(82)
4.2 轴心受力钢构件的抗火设计计算	(83)
细节一:高温下轴心受拉钢构件的承载力计算	(84)
细节二:高温下轴心受压钢构件的受力性能	(86)
细节三:高温下轴心受压钢构件的稳定系数	(88)
细节四:高温下轴心受压构件的承载力计算	(89)
4.3 受弯构件的抗火设计计算	(90)
细节一:高温下受弯钢构件临界弯矩计算	(91)
细节二:高温下受弯钢构件的整体稳定系数	(91)
细节三:高温下受弯钢构件的承载力计算	(92)
4.4 拉弯构件和压弯构件的抗火设计计算	(94)
细节一:高温下拉弯或压弯钢构件的强度	(94)
细节二:高温下压弯构件的稳定性	(94)
细节三:拉弯构件和压弯构件的承载力计算	(96)
4.5 钢框架梁柱的抗火设计计算	(98)
细节一:高温钢框架梁的承载力计算	(98)
细节二:高温钢框架柱的承载力计算	(99)
4.6 耐火钢构件抗火设计计算	(100)
细节一:耐火钢构件高温材性的基本要求	(100)
细节二:轴心受压耐火钢构件抗火验算	(101)

细节三:受弯耐火钢构件抗火验算	(102)
细节四:压弯耐火钢构件抗火验算	(102)
细节五:耐火钢框架梁抗火验算	(103)
细节六:耐火钢框架柱抗火验算	(103)
4.7 组合构件抗火设计计算	(103)
细节一:带压型钢板的组合楼板	(103)
细节二:组合梁	(107)
细节三:轴压构件的屈曲承载力	(108)
细节四:型钢混凝土组合柱	(109)
细节五:钢管混凝土柱	(112)
4.8 钢结构抗火设计计算实例	(115)
细节一:钢结构抗火设计计算实例一	(115)
细节二:钢结构抗火设计计算实例二	(116)
5 钢结构防火涂料保护措施	(120)
5.1 钢结构防火涂料基础知识	(120)
细节一:钢结构防火涂料类型	(120)
细节二:钢结构防火涂料的防火机理	(121)
细节三:钢结构防火涂料的组成	(122)
5.2 钢结构防火涂料的技术指标	(126)
细节一:一般要求	(126)
细节二:钢结构防火涂料的物理化学指标	(127)
5.3 钢结构防火涂料的生产、施工、验收及选用	(129)
细节一:钢结构防火涂料的生产工艺	(129)
细节二:钢结构防火涂料的施工要点	(130)
细节三:钢结构防火涂料的施工验收	(132)
细节四:钢结构防火涂料的选用原则	(133)
5.4 钢结构防火涂料涂刷构造	(134)
细节一:超薄型钢结构防火涂料涂刷构造	(134)
细节二:薄型钢结构防火涂料涂刷构造	(135)
细节三:厚型钢结构防火涂料涂刷构造	(136)
5.5 钢结构防火涂料的发展方向	(140)
细节一:厚型钢结构防火涂料	(140)
细节二:超薄型钢结构防火涂料	(140)
细节三:住宅钢结构防火涂料	(140)
6 钢结构防火板材保护措施	(144)
6.1 钢结构防火板材	(144)

细节一:防火板分类	(144)
细节二:防火板材应符合的要求	(144)
细节三:防火厚板包覆的构造要求	(145)
细节四:防火薄板包覆的构造要求	(145)
细节五:板材辅助安装件及连接方式说明	(146)
细节六:防火板材安装流程图	(148)
细节七:板材包覆工程的注意事项	(148)
6.2 钢结构单层包覆构造	(149)
细节一:独立工字形钢柱单层包覆构造	(149)
细节二:靠墙工字形钢柱单层包覆构造	(150)
细节三:工字形钢柱角钢龙骨固定单层构造	(151)
细节四:工字形钢柱单层圆形包覆构造	(152)
细节五:工字形钢柱与混凝土连接部分防火构造	(154)
细节六:独立方钢管柱单层包覆构造	(155)
细节七:靠墙方钢管柱单层包覆构造	(156)
细节八:方钢管柱单层圆形包覆构造	(157)
细节九:方、圆钢管柱单层紧贴包覆构造	(158)
细节十:独立圆钢管柱单层包覆构造	(159)
细节十一:靠墙圆钢管柱单层包覆构造	(160)
细节十二:圆钢管柱单层方形包覆构造	(161)
细节十三:工字形钢梁单层包覆构造	(163)
细节十四:靠墙工字形钢梁单层包覆构造	(164)
细节十五:工字形钢梁角钢龙骨固定单层构造	(165)
细节十六:方钢管梁单层包覆构造	(166)
细节十七:靠墙方钢管梁单层包覆构造	(168)
细节十八:工字形钢构件矩形钢管龙骨固定构造	(169)
6.3 钢结构双层包覆构造	(171)
细节一:独立工字形钢柱双层包覆构造	(171)
细节二:靠墙工字形钢柱双层包覆构造	(172)
细节三:工字形钢柱双层包覆构造	(175)
细节四:独立方钢管柱双层包覆构造	(176)
细节五:靠墙方钢管柱双层包覆构造	(178)
细节六:方钢管柱双层包覆构造	(181)
细节七:独立圆钢管柱双层包覆构造	(182)
细节八:靠墙圆钢管柱双层包覆构造	(184)
细节九:工字形钢梁双层包覆构造	(186)

细节十:方钢管梁双层包覆构造	(188)
6.4 钢构件节点防火构造	(189)
细节一:工字形钢梁-钢柱节点防火包覆构造	(189)
细节二:工字形钢主梁-次梁节点防火包覆构造	(192)
细节三:工字形钢柱脚防火包覆构造	(193)
6.5 钢支撑防火构造	(194)
细节一:槽形钢支撑防火包覆构造	(194)
细节二:角钢支撑防火包覆构造	(196)
细节三:钢-混凝土组合楼板防火包覆构造	(197)
细节四:钢-混凝土组合楼板防火吊顶构造	(198)
6.6 防火板材的施工	(199)
细节一:薄板用作隔墙和吊顶的罩面板	(199)
细节二:薄板用作钢结构上厚质防火涂料的护面板	(200)
细节三:厚板用作钢构件的防火材料	(200)
细节四:厚板用于钢结构保护施工方法	(200)
细节五:各种防火板表面的装修	(201)
7 钢结构防火实例	(202)
7.1 无防火保护措施钢结构火灾案例	(202)
7.2 美国纽约世贸中心双塔	(202)
7.3 英国千禧穹顶	(206)
7.4 北京金宸公寓	(207)
附录 1 常用消防基本术语	(208)
附录 2 ISO834 标准升温条件下有保护层钢构件的升温	(217)
参考文献	(224)

1 钢结构防火概述

1.1 钢结构建筑

细节一:钢结构建筑的优点

钢结构建筑是在钢筋混凝土建筑之后最具革命性的建筑新发现和新应用。它具有如下优点。

(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、质量轻,可以减少运输和吊装费用,基础的负载也相应减少。通常情况下,高层钢筋混凝土建筑物的自重 $1.5\sim 2.0\text{ t/m}^2$,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且抗震性能好,尤其是在高烈度地震区,使用钢结构就相对有利。在高烈度地震区,有抗震设防要求的高层建筑,如果自重减轻一半,相当于降低抗震设防烈度1度。以北京8度抗震设防烈度为例,中等高度建筑使用钢结构,结构自重减轻约 $1/3$,地震作用可降低 $30\%\sim 40\%$,地基上单位面积的负荷面积也可减小 25% 以上。

(3)结构占有面积较小,实际上是增大了使用面积。高层建筑钢结构的结构占有面积仅为同类钢筋混凝土结构面积的 28% 。采用钢结构可以增大使用面积 4% 左右,这实际上是增加建筑物的使用价值,提升经济效益。

(4)施工速度快。采用钢结构可为施工提供较大的空间以及宽敞的施工作业面,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以及组合楼盖等的平行立体交叉作业。在上部安装柱、框架的同时,下部还可以进行内部装饰装修工程。随着施工作业整体管理水平的提升,钢结构建筑的施工速度应当有很大的提升空间。

(5)钢结构的质量容易保证。钢结构构件通常是在工厂里制造、加工,精度高。在工地只是安装就位,用工省,现场施工比较简单。减少了沙、石、水泥的堆放场地,还减少了模板储运、现场构件预制和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,施工优点明显。

(6)钢结构建筑在使用过程中容易改造,如加固、接高、扩大楼面等,变换比较容易、灵活。发达国家的钢结构建筑是环保型建筑,可以重复利用以及减少矿产资源的开采。

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

(8) 在钢结构的结构空间中,有许多空洞和空腔,钢梁的腹板也允许穿越低于一定直径的管线,这样使管线的设置方便,也增加了建筑净高度,而且管线的更换、修理都比较方便。

细节二:高层钢结构建筑

世界第一幢高层钢结构房屋是美国芝加哥于 1885 年建造的一幢高 55 m 的 10 层公司大楼。接着 1889 年在法国巴黎建成了高 320.75 m 的埃菲尔铁塔,促进了高层钢结构技术的快速发展。

阿拉伯塔酒店高 321 m,是世界上第一座七星级酒店,位于芝加哥海滩圣地,是阿拉伯海湾海滩上最重要的组成部分。它建在离海岸 300 m 的人工岛上,外形酷似一艘扬帆远航的阿拉伯单桅帆船。该建筑物在建筑与结构上高度集成,外墙框架在建筑上表现为帆船的绳索,在结构上实为结构稳定体系的主要部分,而正立面的帆布效果则通过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以及一个旋转餐厅,它由高度为 1.7 m 的变截面箱梁支撑,利用大型钢预埋件锚固在混凝土上,钢箱梁重达 40 t。此外,一个椭圆形钢管状结构作为船桅从外管架上悬挑出 60 m。

高层钢结构建筑是一个国家经济实力与科技水平的反映,又常常被看作一个城市的标志性建筑,尽管高层钢结构建筑在中国的应用较晚,但是,随着我国的改革开放,大量的高层钢结构建筑开始耸立在北京、上海、深圳、大连等重要城市,这标志着中国的高层钢结构建筑已经达到了世界先进水平。

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

1999 年建成的上海金茂大厦高度为 420.5 m。该建筑的特色就是其环境荷载设计取值比其他超高层建筑要大很多,细长的塔楼除提供商务需要外,还应满足抵御台风、中强地震以及适应恶劣的场地条件等设计要求。上海金茂大厦与阿拉伯塔酒店被评为 2000 年度工程师协会结构特别奖。上海金茂大厦钢结构防火保护面积高达 10 000 m²,共用防火涂料 Interbond FP 12 000 L,由国际油漆公司提供。

全部使用国产钢材的高层钢结构建筑是大连世贸中心和大连远洋大厦,且是由国内设计、制造并施工。这一点标志着中国高层钢结构建筑的起步,并取得了可喜的成绩。

细节三:轻型钢结构和民用住宅钢结构

轻型钢结构近十年来发展迅猛,它具有抗震、施工工期短、可增大使用面积、空间分割自由、避免钢筋混凝土作业造成的环境污染以及噪声污染、材料可重复利用等特点,属于绿色建筑材料,符合环保节能与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。

在美国使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要建筑。

中国轻型钢结构建筑在近几年的发展也非常迅速,主要用于轻型的工业厂房,棉花与粮食仓库,码头及保税区仓库,农产品、建材、家具等各类交易市场,体育场馆,展览厅和活动房屋,加层建筑等。轻型钢结构相对于重型钢结构而言,其类型包括门式钢架、拱形波纹钢屋盖结构等。轻型钢结构用钢量通常在 30 kg/m^2 左右(不含钢筋用量),在我国发展迅速,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)钢结构住宅建筑的设计、施工和开发建设(12层以下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 2 1/2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。

细节四:空间网格结构

在大跨度空间钢结构方面,以网架与网壳为代表的空间网格结构得到大力发展,经常应用于工业厂房、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处。许多城市的飞机航站楼、会展中心、体育场馆、大剧院、音乐厅等,选用圆钢管、矩形钢管,制作空间桁架、拱架以及斜拉网架结构,加上波浪形屋面,成为各地新颖且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,建筑方面平常应用的梁、杆架、拱等,都属于平面结构,它所承受的载荷以及由此产生的内力与变形都被考虑为一个平面内的二维。空间结构的荷载、内力与变形则是三维的,其作用在空间内。因为其结构受力合理、刚度大、质量轻、杆件单一、制作安装便捷的空间结构体系,在近二十年来获得蓬勃发展,并在大跨度、大柱网的公共及工业建筑中得到广泛应用。它不

但可用于屋盖结构,还可用于楼层结构、墙体结构和特种结构。

网壳工程以球面和柱面较为常见,还有双曲抛物面、双曲扁壳等形式。它比网架具有更多的优点,特别是在超大跨度时,悬索及斜托结构、膜与索膜结构在国内应用也较多,主要见于体育馆、车站等大空间公共建筑中。

首都体育馆,平面尺寸 $99\text{ m}\times 112.2\text{ m}$,是国内矩形平面屋盖中跨度最大的网架。上海大舞台,平面为圆形,直径 110 m ,挑檐 7.5 m ,是目前国内跨度最大的网架结构。1994年竣工的天津体育馆,是当今国内跨度最大、覆盖建筑面积最广的网壳结构,平面为圆形,直径 108 m ,挑檐 13.5 m ,总直径达 135 m ,曾经是圆形平面跨度最大的球面网壳。1998年竣工的长春五环体育馆,平面为 $120\text{ m}\times 166\text{ m}$ 枣形,连同支架平面为 $146\text{ m}\times 192\text{ m}$ 。

网壳结构在大型体育场挑篷方面也有诸多的应用,典型建筑有1993年竣工的深圳体育场(挑篷宽度 31 m ,悬挑 25.5 m),以及为了昆明99世博会开幕而建造的昆明拓东体育场挑篷(挑篷宽度 34 m ,悬挑 26 m)。

国内很多大型机场的机库应用了大跨度网架结构。1996年竣工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飞跃。四机位机库采用了环氧底漆与中间漆进行防腐蚀,随后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,平面尺寸为 $(155+157)\text{ m}\times 70\text{ m}$ 。著名的机库网架结构,还有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使用。云南玉溪卷烟厂的连片网架厂房达 $120\,000\text{ m}^2$ 。上海江南造船厂的工业厂房网架中,跨度最大的为 60 m 。

深圳市市民文化中心大屋顶应用了平面尺寸为 $(120\sim 154)\text{ m}\times 486\text{ m}$ 的大鹏展翅形双曲率网壳结构,在纵向分成三段,两翼支承在18个树枝形(双向W形)柱帽上,中部支承在 36 m 大圆筒与 $36\text{ m}\times 48\text{ m}$ 大方筒的侧壁上。

近几年电厂干煤棚工程网壳结构的发展也非常快,电厂干煤棚采用网壳结构的平均用钢量是 $50\sim 70\text{ kg/m}^2$,比既往采用门式钢架或拱结构的平均用钢量 $80\sim 125\text{ kg/m}^2$,减少了40%以上。

网架和网壳还可以应用在其他建筑形式上,如大连友谊广场中心直径为 25 m 镶嵌镜面的水晶球网壳;直径为 21 m 单层联方型的全球网壳徐州电视塔塔楼;上海东方明珠电视塔用来装饰的单层联方型全球网壳;杭州满陇桂雨公园寒宫直径为 29 m 的整球面螺栓球节点双层球面网壳;大连电视塔塔身的双层圆柱面正放四角锥网关塔筒结构等。

网架结构还适用于人行天桥结构。上海闵行区的新梅路人行天桥,桥长 110 m 、宽 4.0 m ,是由上、中、下三层螺栓球节点网架结构组合构成,此座网架桥梁的用钢

量为 64 t,而钢箱梁方案的用钢量高达 202 t,相比之下节省的幅度很大。

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得到广泛应用。温州市府广场的地标结构采用总高度 40.8 m、跨度 30 m 的螺栓球节点网架结构,说明网架结构可以成为某一地区、某一城市富有特征的建筑形式。

网架结构使用的是薄壁钢管,防腐蚀是其关键。在结构上,要求管式杆件两端封闭,内部就不会锈蚀;钢管表面很难积灰积水,提高了防腐蚀性能;在拼装过程中对节点和杆件上设置的拼装螺栓孔要进行填补;网架支座节点和下部支承柱应有合理的连接等。在防腐蚀设计的时候,不宜考虑由于锈蚀而加大网架网壳的杆件截面与厚度的方法。

细节五:张拉结构

和网格结构一样,张拉结构也是大跨度的建筑形式。例如,为了给每年去麦加朝圣的上百万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面积为 425 000 m²,使用了柱距为 45 m 的大型柱网悬挂膜结构。

1992 年在美国建成了世界上最大的索穹顶体育馆——乔治亚穹顶,它是 1996 年亚特兰大奥运会的主场馆,这个尺寸为 235 m×186 m 的拟椭圆形索膜结构是目前世界上最大的室内体育馆,穹顶上索网为三角形网格,膜采用了菱形单元以形成具有一定刚度的双曲抛物面。整体索穹顶的耗钢量少得令人难以置信,还不足 30 kg/m²。

1997 年上海召开八运会,能够容纳 8 万人的主体育馆的挑篷采用了悬挑钢桁架,用膜结构覆盖,面积达 36 100 m²,最大悬挑长度为 73.5 m,马鞍形的屋盖平面投影尺寸为 288.4 m×274.4 m。

在张拉结构中广泛使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与玻璃纤维材料,涂层材料主要采用聚酯乙烯和聚四氟乙烯。常用膜材料是聚酯纤维覆盖聚氯乙烯(PVC)与玻璃纤维覆盖聚四氟乙烯。PVC 材料的主要特点为强度低、弹性大、易老化、徐变大、自洁性差,但是价格便宜,容易加工制作,色彩丰富,抗折叠性能好。为完善其性能,可在其表面涂一层聚四氟乙烯涂层,提高其抗老化及自洁能力,其寿命可达到 15 年左右。聚四氟乙烯材料主要特点是强度高、弹性模量大、自洁、耐久耐火等性能好,但是它价格较贵,不能折叠,对裁剪制作精度要求较高,寿命通常在 30 年以上,适用于永久建筑。

1.2 钢结构的连接形式

钢结构的连接形式主要包括焊接、高强度螺栓连接以及传统使用的铆钉法。这些连接方式对于涂装保护有着一定的影响。