

“十二五”
国家重点图书

MODERN
WELDING
ENGINEERING
HANDBOOK

现代

焊接工程手册



结构卷

戴为志 段斌 主编
马德志 谢琦 副主编



化学工业出版社

“十二五”
国家重点图书

MODERN
WELDING
ENGINEERING
HANDBOOK

现代 焊接工程手册



结构卷

戴为志 段 斌 主 编
马德志 谢 琦 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是《现代焊接工程手册 结构卷》，主要是以焊接工艺为核心，结合工程应用实践，介绍了各种典型钢结构焊接工程的具体施工技术。包括钢结构焊接技术现状，建筑钢结构单层门式刚架、框-排架结构焊接技术，建筑钢结构多层、高层钢结构焊接技术，空间管桁架焊接技术，空间网架结构焊接技术，张弦梁结构焊接技术，弦支穹顶结构焊接技术，箱型（BOX）桁架钢结构焊接技术，桥梁结构焊接技术，高炉、热风炉炉壳焊接技术，炼钢转炉焊接技术，熔融还原炉炉壳焊接技术，干熄焦工程焊接技术，回转窑现场组焊技术，船体结构焊接技术等内容。各部分均提供了典型工程案例，对相关领域的焊接技术人员具有很高的参考价值。

本书适合焊接技术人员了解焊接结构的相关知识和具体应用时阅读，也可供大专院校、科研单位的相关教学和科研人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

现代焊接工程手册·结构卷/戴为志，段斌主编. —北京：化学工业出版社，2015.11

“十二五”国家重点图书

ISBN 978-7-122-25009-4

I. ①现… II. ①戴…②段… III. ①焊接结构-技术手册 IV. ①TG44-62②TG404-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 200411 号

责任编辑：周红 周国庆

文字编辑：项激

责任校对：蒋宇

装帧设计：王晓宇

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：三河市胜利装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张42 $\frac{3}{4}$ 字数1149千字 2016年1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：168.00 元

版权所有 违者必究

《现代焊接工程手册》编委会、审委会、秘书组

顾 问 潘际桢

编写委员会

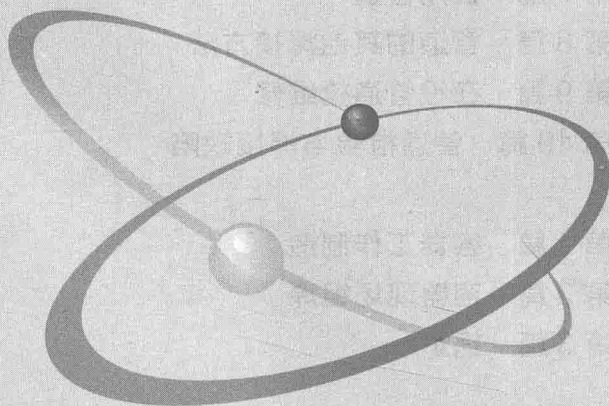
主 任	刘景凤						
委 员	戴为志	段 斌	唐伯钢	马德志	张建勋	陈裕川	殷树言
	李颂宏	李建军	李文华	张英奎	李 涛	周武强	张亚军
	董安霞	郁东健	任永宁	汤志强	张友权		

审稿委员会

主 任	陈裕川					
委 员	唐伯钢	杜则裕	赵 军	胡富申	朱清梅	王茂威
	王香云	袁 飞	李颂宏	李建军	王阿鬲	

秘书组

秘书长	王阿鬲					
秘 书	谢 琦	范绍林	刘 春	赵 驰	王慧智	侯 敏 周云芳



鸣 谢

在编写过程中，得到以下单位的支持和协作，使《现代焊接工程手册》得以顺利编撰完成。在此，《现代焊接工程手册》编委会代表全体编审人员表示衷心感谢！

中国工程建设焊接协会

中冶建筑研究总院有限公司

天津大学

西安交通大学

北京石油化工学院

中国石油管道学院

中冶天工集团有限公司

宝山钢铁股份有限公司

上海宝冶集团有限公司

五冶集团上海有限公司

浙江精工钢结构（集团）有限公司

安徽鸿路钢结构（集团）股份有限公司

珠海瑞凌焊接自动化有限公司

发思特软件（上海）有限公司

中铁山桥集团有限公司

沪东中华（造船）集团有限公司

水利部水工金属结构质量检验测试中心

中国葛洲坝集团股份有限公司

中国水利水电第七工程局有限公司

中国水利电力对外公司

中化二建集团有限公司

中国化学工程重型机械化公司

中国化学工程第三建设有限公司
中国化学工程第七建设有限公司
中国化学工程第十一建设有限公司
中国石化集团南京化学工业有限公司化工机械厂
中石化第四建设有限公司
南京南化建设有限公司
中国能源建设集团
中国能源建设集团北京电力建设公司
中国能源建设集团浙江火电建设公司
中国能源建设集团安徽电力建设第二工程公司
中油吉林化建工程有限公司
中国石油天然气管道局机械厂
中国石油天然气管道第二工程公司
四川石油天然气建设工程有限责任公司
北京城建安装工程有限责任公司

以上为作者供职单位及施工案例提供单位，排名不分先后。



《现代焊接工程手册 结构卷》

撰稿和审稿人员

主 编 戴为志 段 斌
副主编 马德志 谢 琦

篇名	篇主编		篇副主编		撰稿	审稿
	姓名	单位	姓名	单位		
第1篇 钢结构焊接 工程概论	段斌	中冶建筑研究 总院有限公司	谢琦	中冶建筑研究 总院有限公司	段斌 谢琦 马德志 周云芳	戴为志
			马德志	中冶建筑研究 总院有限公司		
第2篇 建筑、桥梁 钢结构焊接	戴为志	中国工程建设 焊接协会	徐向军	中铁山桥集团 有限公司	戴为志 徐向军 范军旗 贝玉成 田智杰	段斌
第3篇 冶金钢结构 焊接	卢立香	上海宝冶集团 有限公司	任江	五冶集团上海 有限公司	卢立香 许立新 任江 冉隆 唐盛国 匡礼毅 宋明江	谢琦
第4篇 回转窑和船 体结构焊接	施可扬	沪东中华造船 (集团)有限 公司	刘昌	中化二建集团 有限公司	胡永强 施可扬 岑越 王欢 许志祥 刘昌 芦平荣 周武强	马德志
			周武强	中化二建集团 有限公司		

工程建设中的焊接，通常是指将同种或异种材料永久地连接在一起的工艺方法，是影响工程建设质量、施工周期和成本的重要工序。在当前生产的各种钢材中，大约有一半以上需要通过焊接方能制造成可资应用各类设施、设备和产品。今天的焊接，已经发展成为既是一门融合了物理、化学、冶金、材料、电力电子、计算机和自动控制等多种学科的复合学科，同时又是一类关乎国民经济健康发展和社会生产、生活安全运行的十分重要的制造技术。

在我国，各类焊接结构产品得到了日益广泛的使用，尤其是改革开放以来，油气长输管线及储运装置，超大型桥梁，超高压压力容器，超大型远洋运输船舶和港口设备，各类装载运输装备，以及如雨后春笋般矗立在祖国各地形态各异的大型、超大型公共建筑，无一不是通过焊接工艺方法制作与构建。如今，我国钢铁年产量已达到8亿吨左右，毫无悬念地成为全世界最大的产钢国、用钢国和焊接制造生产国。

在如火如荼的工程建设实践中，来自各行业的广大焊接工作者攻关夺隘、建树颇丰，很多应用成果达到国际先进甚至领先水平。但从总体上看，我国尚有很多以焊接为主要加工制造手段的企业在其施工过程中，焊接技术的正确应用和严谨的过程控制仍然是制约性的瓶颈。而这在焊接生产活动中又恰恰是最为重要的。作为焊接学科，我们鼓励并关注创新；作为制造工艺，我们则更为主张“遵规守矩，熔接永固”。

因此，编写并出版一部以工程建设焊接技术为主要内容，以国内外相关标准和技术要求为主线，能够以典型的工程应用案例来指导焊接生产实践的专业手册，已经成为广大焊接工作者的迫切愿望。中国工程建设焊接协会顺应这一要求，组织本协会十余个行业分会中的焊接专家，共同编写了这部《现代焊接工程手册》。

本手册以突出实用性为编写宗旨，在内容上力求理论与实践结合，先进性与实用性兼顾。手册以焊接工程实践为对象，精简了相关的理论阐述，增加了国内外焊接标准要求，汇集了国内工程建设焊接领域的成功实践和技术，使读者能从中得到启发，甚至稍做调整即可拿来直接应用。因此，本手册以其新颖性和实用性有别于当前国内其他的相关工具书。

《现代焊接工程手册》共四卷，包括基础卷、结构卷、管道卷和容器锅炉卷。每卷各自成书，读者可按需要选用。

《现代焊接工程手册 基础卷》根据新一代钢材的发展变化，以金属焊接性试验研究数据为第一手资料，结合焊接工程实际，详细地阐述了焊接的基础理论，补充了新的焊接理论和知识，内容涵盖焊接冶金理论、常用钢铁材料及其焊接性、焊接方法以及焊接全过程质量管理等方面。

《现代焊接工程手册 结构卷》主要是以焊接工艺为核心，结合工程应用实践，介绍了各种典型钢结构焊接工程的具体施工技术。包括钢结构焊接技术现状，建筑

钢结构单层门式刚架、框-排架结构焊接技术，建筑钢结构多层、高层钢结构焊接技术，空间管桁架焊接技术，空间网架结构焊接技术，张弦梁结构焊接技术，弦支穹顶结构焊接技术，箱型（BOX）桁架钢结构焊接技术，桥梁结构焊接技术，高炉、热风炉炉壳焊接技术，炼钢转炉焊接技术，熔融还原炉炉壳焊接技术，干熄焦工程焊接技术，回转窑现场组焊技术，船体结构焊接技术等内容。各部分均提供了典型工程案例，对相关领域的焊接技术人员具有很高的参考价值。

《现代焊接工程手册 管道卷》主要介绍了管子和管件的制造工艺，长输管道、电站管道、化工管道、油气田集输管道、海洋管道和公用管道的特点、施工工艺、焊接方法、焊接设备、焊接材料、焊接管理、焊接工艺评定等，一些先进的焊接方法包括激光焊接、等离子弧焊、电阻焊和摩擦焊等在管道焊接中的应用，在役管道的抢维修，管道检验与焊接缺陷，管道工程常用施工标准等内容，第一次将不同领域的管道工程焊接技术、工程焊接要求、施焊经验综合在一起，是管道工程施工焊接方面的综合性工具书。

《现代焊接工程手册 容器锅炉卷》主要涉及的工程产品为容器和锅炉，各部分均包含产品结构特点、原材料焊接性、焊接工艺技术、焊接接头质量检验方法及要求、焊接接头热处理工艺技术等，考虑了容器锅炉常见的对接接头、角接接头和搭接接头等焊接接头形式，及其对接焊缝、角焊缝和组合焊缝等焊缝形式，并分析了不同产品形式和同产品不同零部件使用的各种原材料焊接工艺等，给出了相匹配的焊工资格、焊接材料、焊接工艺技术参数、技术措施等。各章还列举了典型产品焊接案例，并在附录中列出了本卷所引用的国内外现行标准规范。

《现代焊接工程手册》是由中国工程建设焊接协会组织编写的一部大型工具书，参加组织、编写和审核的人员多达上百人。他们都是在各自专业领域具有丰富学识和实践经验的专家，他们认真负责的态度、严谨科学的作风以及忘我的工作精神，正是高质量地完成这部手册编审工作的坚实基础。在本手册的编写过程中，我们也得到了国内众多工程建设领域和高校院所的专家、学者以及相关单位的大力支持，在此谨向所有参与支持者表示衷心的感谢！

由于本手册涉及内容广泛复杂，参加编审工作的人员众多，编制时间短促，以及必然受到的学识与经验限制，因此难免存有不足之处，敬请广大读者批评指正！

希望本手册的问世能够为广大工程建设焊接工作者提供一定指导和参考，这也是本手册编写委员会和所有编审人员的最大心愿！

《现代焊接工程手册》编委会主任

中国工程建设焊接协会 副理事长兼秘书长



2016年1月

FOREWORD 前言

焊接结构作为焊接技术的重要载体，具有极其重要的理论和实际应用价值，被广泛应用于工业民用建筑、冶金工程、水利水电工程、桥梁、船舶等方面，并发挥了极其重要的作用。

近些年来，焊接结构理论的研究与应用都有了新的进展，技术资料也日趋丰富。《现代焊接工程手册 结构卷》在阐述“新发展”的基础上，重点介绍了各类焊接结构工程实际应用，并从实用角度对各类结构的焊接进行了较系统全面的分类和总结。

本卷分为4篇。第1篇是钢结构焊接工程概论，该篇对钢结构的定义、优缺点、应用、分类乃至一般的制作过程进行了介绍，同时对国内钢结构使用的钢材、焊材、焊接方法、焊接力学的相关问题进行了综述。第2篇是建筑、桥梁钢结构焊接，该篇对各类工业建筑、民用建筑、桥梁钢结构，从定义、结构特点、节点形式、材料及焊接技术等方面进行了介绍。第3篇是冶金钢结构焊接，该篇对冶金炉类及干熄焦装置，从结构特点、节点形式、材料及焊接技术等方面进行了介绍。第4篇是回转窑和船体结构焊接，该篇对回转窑和船体结构从结构特点、节点形式、材料及焊接技术等方面进行了介绍。此外，本卷各章均精选了典型的工程案例，以期丰富实际应用内容，供相关领域的焊接技术人员参考借鉴。

总体来说，《现代焊接工程手册 结构卷》的内容设置可以使焊接技术人员了解焊接结构的相关知识和具体应用，也可供大专院校、科研单位的相关教学和科研人员参考。

需要特别说明的是，本卷涉及的碳当量、抗拉强度、屈服强度等符号引用自多种文献、标准，为忠于原文，又不引起歧义，未做统一规定。

本卷在编写过程中，得到了国内有关专家、学者的热情帮助和悉心指导，在此特致谢意。此外，也向关心本手册出版的焊接界同行及所引用文献的作者表示诚挚的谢意。

由于编写时间短促、编写水平有限，手册中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者



第 1 篇 钢结构焊接工程概论

第 1 章 钢结构综述	2	第 2 章 钢结构焊接技术的现状	8
1.1 钢结构定义、优缺点、应用范围及分类	2	2.1 钢结构用钢	8
1.2 钢结构相关标准	3	2.2 钢结构焊接方法与焊接材料	11
1.3 钢结构制作主要过程	4	2.3 钢结构焊接力学	13

第 2 篇 建筑、桥梁钢结构焊接

第 1 章 建筑钢结构单层门式刚架、框-排架结构焊接技术	24	3.1 空间管桁架定义及特点	140
1.1 建筑钢结构单层门式刚架、框-排架的定义及结构特点	24	3.2 空间管桁架典型节点	143
1.2 建筑钢结构单层门式刚架典型节点、单层门式刚架、框-排架结构材料拼接	25	3.3 空间管桁架制作焊接技术	148
1.3 建筑钢结构门式刚架、框-排架结构型钢的对焊连接	28	3.4 空间管桁架现场焊接技术	155
1.4 建筑钢结构门式刚架、框-排架结构的 H 型钢(BH)制作	29	3.5 工程案例 I——伊金霍洛旗全民健身体育活动中心钢结构工程现场焊接技术	156
1.5 工程案例 I——重型联合厂房工程制作焊接技术	41	3.6 工程案例 II——成都海洋馆管桁架屋面钢结构焊接关键技术	171
1.6 工程案例 II——核电站 15.2m 标高组合梁的制作焊接技术	61	第 4 章 空间网架结构焊接技术	178
第 2 章 建筑钢结构多层、高层钢结构焊接技术	78	4.1 空间网架定义、分类及特点	178
2.1 建筑钢结构多层、高层钢结构定义及特点	78	4.2 空间网架结构的典型节点	180
2.2 建筑钢结构多层、高层钢结构的典型结构体系	78	4.3 空间网架结构制作焊接技术	181
2.3 建筑钢结构多层、高层钢结构加工制作中的难点	82	4.4 空间网架结构体系现场焊接技术	188
2.4 建筑钢结构多层、高层钢结构现场安装中的难点	83	4.5 工程案例 I——首都机场 3B 号航站楼空间网壳工程焊接技术	189
2.5 典型结构件焊接技术	83	4.6 工程案例 II——杭州湾跨海大桥海中平台钢结构工程焊接关键技术	195
2.6 电弧栓钉焊接技术	86	4.7 工程案例 III——某国际机场第三跑道和东航站区建设工程新建	201
2.7 工程案例 I——上海环球金融中心结构工程加工制作、焊接技术	91	第 5 章 张弦梁结构焊接技术	218
2.8 工程案例 II——诺德英蓝国际金融中心主楼核心筒钢板剪力墙焊接关键技术	132	5.1 张弦梁结构定义及特点	218
第 3 章 空间管桁架焊接技术	140	5.2 张弦梁结构的典型节点	220
3.1 空间管桁架定义及特点	140	5.3 张弦梁结构的焊接技术	220
3.2 空间管桁架典型节点	143	5.4 工程案例——国家体育馆钢结构屋盖焊接工程施工技术	221
3.3 空间管桁架制作焊接技术	148	第 6 章 弦支穹顶结构焊接技术	245
3.4 空间管桁架现场焊接技术	155	6.1 弦支穹顶结构的定义、组成及特点	245
3.5 工程案例 I——伊金霍洛旗全民健身体育活动中心钢结构工程现场焊接技术	156	6.2 弦支穹顶结构的典型节点构造	246
3.6 工程案例 II——成都海洋馆管桁架屋面钢结构焊接关键技术	171	6.3 弦支穹顶结构的施工	247
第 4 章 空间网架结构焊接技术	178	6.4 弦支穹顶结构的焊接技术	247
4.1 空间网架定义、分类及特点	178	6.5 工程案例——某体育中心体育馆弦支	247
4.2 空间网架结构的典型节点	180		
4.3 空间网架结构制作焊接技术	181		
4.4 空间网架结构体系现场焊接技术	188		
4.5 工程案例 I——首都机场 3B 号航站楼空间网壳工程焊接技术	189		
4.6 工程案例 II——杭州湾跨海大桥海中平台钢结构工程焊接关键技术	195		
4.7 工程案例 III——某国际机场第三跑道和东航站区建设工程新建	201		
第 5 章 张弦梁结构焊接技术	218		
5.1 张弦梁结构定义及特点	218		
5.2 张弦梁结构的典型节点	220		
5.3 张弦梁结构的焊接技术	220		
5.4 工程案例——国家体育馆钢结构屋盖焊接工程施工技术	221		
第 6 章 弦支穹顶结构焊接技术	245		
6.1 弦支穹顶结构的定义、组成及特点	245		
6.2 弦支穹顶结构的典型节点构造	246		
6.3 弦支穹顶结构的施工	247		
6.4 弦支穹顶结构的焊接技术	247		
6.5 工程案例——某体育中心体育馆弦支	247		

穹顶施工焊接技术	247
第 7 章 箱型(BOX)桁架钢结构焊接技术	270
7.1 箱型(BOX)桁架钢结构的定义、特点	270
7.2 箱型(BOX)桁架钢结构的典型节点	270
7.3 箱型(BOX)构件制作概述	271
7.4 箱型(BOX)结构焊接技术	275
7.5 弯扭构件制作技术	286
7.6 工程案例 I——国家体育场“鸟巢” 钢结构中的焊接技术	292
7.7 工程案例 II——珠海歌剧院双曲立面 箱形构件制作工艺	317

第 8 章 桥梁结构焊接技术	327
8.1 我国桥梁结构的发展	327
8.2 钢桥结构形式	330
8.3 钢桥节点形式	343
8.4 桥梁用钢及焊接材料	350
8.5 焊接工艺	358
8.6 焊接检验	361
8.7 工程案例 I——苏通长江公路大桥钢 结构焊接	364
8.8 工程案例 II——哈尔滨松浦大桥钢结 构的焊接	391
8.9 工程案例 III——京沪高速铁路南京大 胜关长江大桥钢结构的焊接	404

第 3 篇 冶金钢结构焊接

第 1 章 高炉、热风炉炉壳焊接技术 ..	420
1.1 高炉、热风炉概述	420
1.2 高炉、热风炉的构成及构造要求	422
1.3 材料	426
1.4 焊接工艺	430
1.5 焊接质量检验	448
1.6 工程案例——太钢三号高炉易地大修 工程(4350m ³ 高炉)	453
第 2 章 炼钢转炉焊接技术	473
2.1 转炉炼钢概述	473
2.2 转炉构成及构造要求	473
2.3 材料	475
2.4 焊接工艺	477
2.5 焊接检验	481
2.6 工程案例——宝钢二炼钢挖潜改造 工程 250t 转炉炉壳焊接	482

第 3 章 熔融还原炉炉壳焊接技术 ..	488
3.1 熔融还原炉炼铁概述	488
3.2 COREX 炉构成及构造要求	489
3.3 材料	491
3.4 焊接工艺	495
3.5 焊接质量检验	504
3.6 工程案例——宝钢集团浦钢公司搬迁 罗泾工程 COREX-C3000 炼铁工程	509
第 4 章 干熄焦工程焊接技术	527
4.1 干熄焦装置概述	527
4.2 干熄焦装置结构特点、节点形式	527
4.3 干熄焦装置常用材料	534
4.4 干熄焦装置焊接	535
4.5 工程案例——干熄焦工程焊接实例	561

第 4 篇 回转窑和船体结构焊接

第 1 章 回转窑现场组焊技术	570
1.1 回转窑概述	570
1.2 回转窑用钢及焊接特点	570
1.3 回转窑的现场组装	571
1.4 回转窑的现场焊接	578
1.5 回转窑的焊接检验	584
1.6 工程案例——回转窑 $\phi 5.3\text{m}/4.8\text{m} \times 165\text{m}$ 现场组焊案例	585

第 2 章 船体结构焊接技术	597
2.1 船体的结构形式	597
2.2 材料	608
2.3 船体焊接工艺	618
2.4 船体检验	640
2.5 工程案例——8530TEU 集装箱船焊接 工艺	648

索引	664
参考文献	667

第 1 篇

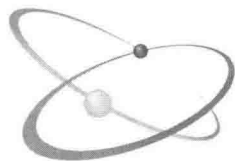
钢结构焊接工程概论

篇 主 编 段 斌

篇 副 主 编 谢 琦 马德志

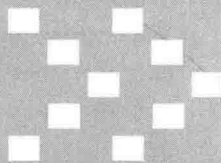
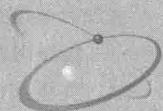
撰 稿 段 斌 谢 琦 马德志 周云芳

审 稿 戴为志



第1章

钢结构综述



1.1 钢结构定义、优缺点、应用范围及分类

1.1.1 钢结构定义

狭义地讲,针对工业与民用房屋和一般构筑物,《钢结构设计规范》GB 50017 拟将钢结构定义为“钢材制造的受拉、受压、受拉弯、受压弯和受剪等构件用焊缝、螺栓或铆接连接组成的结构或结构的独立部分”。然而实际中人们所说的钢结构涵盖的内容更为广泛,例如包括不属于压力容器的壳体结构(如高炉、回转窑等)以及船体等。所以广义地讲,钢结构是指用人们普遍接受的,除钢制压力容器、压力管道等以外,以钢材为主要材料制造的结构或者结构的独立部分。

1.1.2 钢结构的优缺点

(1) 钢结构的优点 与钢筋混凝土和砌体结构等相比,钢结构具有材质均匀、可靠性高、强度高、自重轻、塑性韧性好、抗震性能好、可焊接和实现密闭以及便于工业化生产、施工安装工期短等优点。此外,材料生产及再生处理方面与其他建筑材料相比,钢结构用材具有碳排放低、环境破坏小、可再生率高等特点,因此,钢结构属于典型的节能环保结构类型,符合循环经济和可持续发展的要求。

(2) 钢结构的缺点 众所周知,随着温度升高,钢材强度和弹性模量下降,超过 600°C 时,钢材基本丧失了承载能力,而且在潮湿和腐蚀介质中,钢材容易发生各种类型的腐蚀。因此与钢筋混凝土和砌体结构等相比,钢结构耐火性、耐蚀性差。

1.1.3 钢结构的应用领域

目前,鉴于钢结构的优点以及近些年国内钢产量大幅度提高,钢结构在国民经济各部门得到广泛的发展和应用,其主要应用领域如下。

(1) 大跨度结构 主要包括大跨度空间结构和大跨度桥梁,结构形式有空间桁架、网架、网壳、悬索、张悬梁、实腹或格构式拱架和框架等。

(2) 工业厂房 重型装备制造、冶金等行业的厂房主要承重骨架多采用钢结构,另外有强烈辐射或承受动力载荷(如内部有重型锻锤或大型动力设备)的厂房也常采用钢结构。近些年,随着压型钢板等轻型屋面材料的推广,轻钢结构工业厂房也得到了迅速的发展,主要结构形式是实腹式变截面门式刚架。

(3) 多、高层建筑 近些年,多、高层民用建筑中普遍使用钢结构,主要结构形式有多层框架、框架-支撑、框筒、悬挂、巨型框架等。

(4) 高耸结构 主要包括塔架和桅杆结构,如高压输电塔架、电视发射塔等。

(5) 可拆卸移动结构 主要有流动展览馆、活动房屋、建筑机械等,这些结构采用钢结构最适宜拆卸搬迁。

(6) 容器及其他构筑物 石油化工、冶金、船舶、水利等行业用油罐、高炉、热风炉、水工阀门、钻井平台以及海上采油平台等构筑物常常采用钢结构。

1.1.4 钢结构的分类

钢结构有多种分类方法,分类依据不同,类型划分也不同。按使用目的不同,可划分为工业、民用两类钢结构;按与人的活动关系不同,划分为建筑钢结构和一般构筑物钢结构,其中建筑是指供人们进行生产、生活或其他活动的房屋或场所,如工业建筑、民用建筑等,而构筑物是不具备、不包含或不提供人类居住功能的人工建造物,如广播电视发射塔、桥梁等;按结构体系不同,可划分为单层钢结构、多、高层钢结构、大跨度钢结构以及其他类钢结构;按载荷性质不同,分为静载荷钢结构和动载荷钢结构;按工作特征和结构连接、设计不同,划分为梁、柱钢结构、桁架钢结构、壳体钢结构等。

实际中,综合考虑上述分类方法,按应用场合进行分类,钢结构可分为建筑、桥梁钢结构,冶金钢结构,回转窑和船体钢结构,其他类型钢结构,本书的后续篇章也是基本遵循该分类原则展开和论述的。

1.2 钢结构相关标准

我国钢结构标准、规范、规程从总体上划分为5个层次,第一层次是规范制定原则;第二层次是荷载规范;第三层次是各种钢结构的设计规范;第四层次是与设计规范配套的施工规范;第五层次是与设计、施工相配套的材料、连接方面的规程规范,具体如下。

第一层次:《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068、《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153、《建筑钢结构设计术语和符号标准》GB/T 50083、《建筑结构制图标准》GB/T 50105。

第二层次:《建筑结构荷载规范》GB 50009。

第三层次:《钢结构设计规范》GBJ 50017、《高耸结构设计规范》GB 50135、《冷弯薄壁型钢结构技术规程》GB 50018、《门式钢架轻型房屋钢结构技术规程》CECS 102、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99、《空间网格结构技术规程》JGJ 7、《钢管混凝土结构设计规范》YB 9082、《型钢混凝土组合结构技术规程》JGJ 138、《钢管混凝土结构设计与施工规范》CECS 28、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《构筑物抗震设计规范》GB 50191、《建筑设计防火规范》GB 50016、《建筑防腐蚀工程施工及验收规范》GB 50212;《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046—2008、《高炉炼铁工艺设计规范》GB 50427、《路桥涵钢结构及木结构设计规范》JTJ 025、《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10002.2、《水利水电钢闸门设计规范》DLT 5039等。

第四层次:《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构焊接规范》GB 50661等。

第五层次:《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352、《合金结构钢》GB/T 3077、《优质碳素结构钢》GB/T 699、《建筑用压型钢板》GB/T 12755、《气焊、焊条、电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 985、《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB 5117等。

第一层次《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068是最高层次的标准,它是《建筑结构荷载规范》GB 50009等各种规范应遵守的准则,不仅适用于结构的设计阶段,而且还适用于使用阶段以及结构构件的制作、运输与安装等施工阶段。第二层次规范《建筑结构荷载规范》GB 50009是按《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068规定的原则制定的,施行时必须和《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068配套使用。第三、第四层次的规范、规程是在第一层次标准的指导下,采用或参考第二层次规范规定的荷载代表值及其组合方式。第五层次规范中所规定的材料是为不同类型钢结构的设计与施工而制定的规范、规程,它既是各类钢结构规范的依据,也是施工现场材料检验的标准。

1.3 钢结构制作主要过程

钢结构主要制作过程包括：钢结构设计；钢结构施工阶段的设计；钢材复验；焊材复检；焊接工艺评定（PQR）；焊接工艺规程（WPS）的编制；零件及部件的放样、号料、下料；构件组装；构件焊接及检验；一次涂装；钢结构预拼装；钢结构安装；钢结构安装焊接及检验；钢结构二次涂装。从钢结构设计开始，焊接与上述大部分环节相关（涂装除外）。

1.3.1 钢结构设计

钢结构设计是在钢结构制造施工前，设计单位根据设计基本信息资料、参考设计规范、设计手册，依次进行结构形式选择、结构和构件尺寸布置、确定结构计算简图、荷载组合和内力计算、构件截面设计、节点设计和基础设计，最后根据计算结果确定构件尺寸绘制钢结构施工图的过程。

1.3.2 钢结构施工阶段设计

钢结构施工阶段的设计主要包括施工阶段结构分析和验算、临时支撑结构和施工措施的设计、结构预变形设计以及施工详图的设计。施工阶段的设计一般由钢结构制造单位根据设计文件编制。

（1）施工阶段结构分析与验算 施工阶段结构分析与验算是指在钢结构制作、运输和安装过程中，为满足相关功能要求进行的结构分析和计算。

当钢结构工程施工方法或施工顺序对结构的应力和变形产生较大影响或设计文件有特殊要求时，应对施工阶段结构进行分析，并对施工阶段结构的强度、稳定性和刚度进行验算，验算结果必须满足 GB 50017 等的有关规定。

（2）临时支撑结构和施工措施的设计 临时支撑结构是指在施工期间存在的、施工结束后需要拆除的结构。临时施工措施是指在施工期间为了满足施工需求和保证工程安全而设置的一些必要的构造或临时零部件和杆件，如吊装孔、连接板、辅助构件等。

钢结构施工临时支撑结构和施工措施的设计应按施工状况的载荷作用，对构件进行强度、稳定性和刚度验算，对连接节点进行强度和稳定性验算。当临时支撑结构作为设备承载结构时，应进行专项设计；当临时支撑结构或措施对结构产生较大影响时，应提交原设计单位确认。临时结构的拆除步骤和顺序应通过分析和计算确定，并编制专项的方案，必要时应经过专家论证。

（3）结构的预变形设计 预变形是指为了使施工完成后的结构或构件达到设计几何定位的控制目标，预先进行的初始变形设置。

当在正常使用或施工阶段因自重及其他载荷作用，发生超过设计或国家现行有关标准规定的变形限值，或设计文件对主体结构提出预变形要求时，应在施工阶段对结构采取预变形，结构预变形应结合施工工艺，通过结构分析计算，由施工单位和原设计单位共同确定。

（4）施工详图设计 施工详图是指依据钢结构施工图和施工工艺技术要求绘制的用于直接指导钢结构制造和安装的细化技术图纸。

钢结构施工详图设计是在钢结构施工图设计之后的施工阶段进行的，由施工详图设计人员根据施工图提供的构件布置、构件截面与内力、主要节点构造、焊接坡口形式、典型节点及各种有关数据和技术要求，严格遵守《钢结构设计规范》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 及相关图纸和规范的规定，对构件的构造予以完善，并根据制造厂的生产条件和现场施工条件，考虑运输要求、吊装能力和安装条件，确定构件的分段，最后运用钢结构制图软件，将构件的整体形式、构件中各零件的尺寸和要求以及零件间的连接方法等内容进行详细描述的结构施工图纸。施工详图应经过

原设计单位确认。钢结构施工详图应包括图纸目录、设计总说明、构件布置图、构件详图和安装节点详图等内容,构件重量应在钢结构施工详图中计算列出。

1.3.3 钢材、焊材的复检

钢材、焊材的质量直接影响建筑钢结构的安全运营,钢材和焊材除了应符合国家现行标准或技术文件要求外,对钢材、焊材的复验有具体要求。

钢材、焊材的复验是指按照国家现行的标准或技术文件的要求,对钢材、焊材的力学性能和化学成分等项目进行复验,以确定其是符合性。

(1) 钢材复验 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 规定,对下列情况之一的钢材,应进行抽样复验:

- ① 国外进口钢材;
- ② 钢材混批;
- ③ 板厚等于或大于 40mm,且设计有 Z 向性能要求的厚板;
- ④ 建筑结构安全等级为一级,大跨度钢结构中主要受力构件所采用的钢材;
- ⑤ 设计有复验要求的钢材;
- ⑥ 对质量有疑义的钢材。

(2) 焊材复验 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 规定,用于重要焊缝的焊接材料或对质量合格证明文件有疑问的焊接材料,应进行抽样复验。“重要焊缝”一般是指:

- ① 建筑结构安全等级为一级钢结构中的一、二级焊缝;
- ② 建筑结构安全等级为二级钢结构中的一级焊缝;
- ③ 大跨度(60m 以上)钢结构中一级焊缝;
- ④ 吊车工作制 A6 级以上的吊车梁结构中一级焊缝;
- ⑤ 设计有复验要求。

《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 规定,建筑结构设计时,应根据结构破坏可能产生后果的严重性,采用不同的安全等级。建筑结构安全等级划分为三个等级(一级为重要的建筑物;二级为一般的建筑物;三级为次要的建筑物)。

《钢结构设计规范》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661 中根据钢结构的重要性、载荷性质、焊缝形式、工作环境以及应力状态等情况,对焊缝进行了质量等级划分,划分为一级、二级、三级三个质量等级。

1.3.4 焊接工艺评定(PQR)和焊接工艺规程(WPS)的编制

焊接工艺评定是产品焊接前为了验证所拟定焊接工艺的正确性而进行的试验过程及结果评价。记载验证性试验及其检验结果,对拟定的焊接工艺进行评价的报告即是焊接工艺评定报告(PQR)。

焊接工艺规程(WPS)是根据评定合格的焊接工艺评定报告(PQR)编写的,用于产品焊接工艺文件。

《钢结构焊接规范》GB 50661 规定,焊接工艺评定应由施工单位根据承担钢结构的设计节点的形式、钢材类型、规格、采用的焊接方法、焊接位置,制定焊接工艺评定方案,拟定相应的焊接工艺评定指导书(PQR),并按拟定的焊接工艺指导书焊接试件,然后按规范要求切取试样并由国家技术质量监督部门认证资质的检测单位进行检测试验,测定焊接接头是否满足要求的使用性能,由该企业或国家认证的检查单位提出焊接工艺评定报告,在焊接工艺评定合格的基础上,编写用于钢结构焊接的焊接工艺指导规程(WPS)。这里要区别检测与检查这一对概念。检测是按照规定程序,由确定给定产品的一种或多种特性进行检验、测