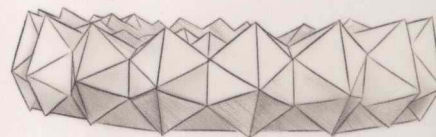
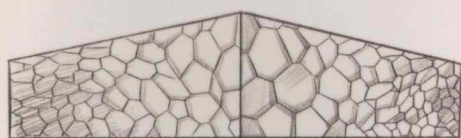
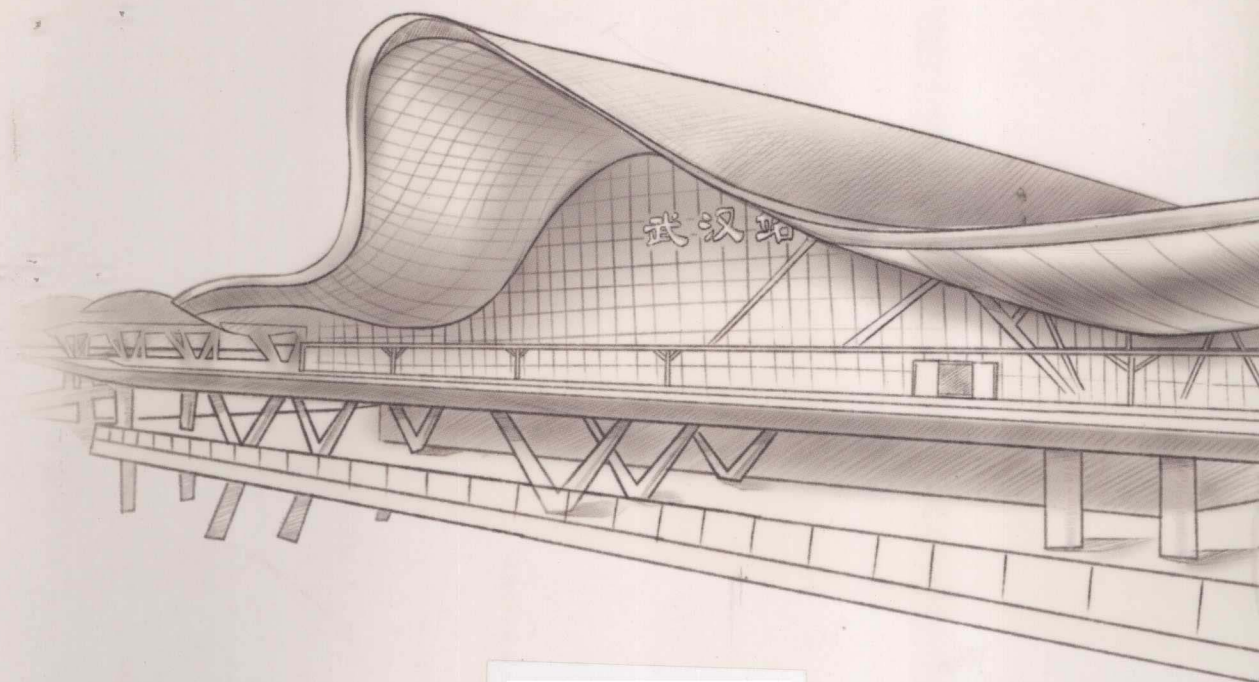




大跨度 钢结构施工技术

LONGSPAN
STEEL STRUCTURE
CONSTRUCTION

王宏 主编



中国建筑工业出版社

大跨度钢结构施工技术

王宏 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大跨度钢结构施工技术 / 王宏主编. — 北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-112-17647-2

I. ①大… II. ①王… III. ①大跨度结构—钢结构—建筑物—工程施工 IV. ①TU745.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 002954 号

全书共分为三部分: 第一部分 2 章, 包括大跨度钢结构的发展、大跨度钢结构体系; 第二部分 6 章, 包括深化设计、加工制作准备、焊接技术、制作全过程质量管理、典型构件加工制作和制作案例; 第三部分 8 章, 包括施工组织及设备选型、高空原位安装技术、提(顶)升施工技术、滑移施工技术、卸载施工技术、预应力钢结构施工技术、施工测量技术和安全防护技术。

本书从工程实践出发, 以大量工程为案例, 系统总结提炼了大跨度钢结构的深化设计、加工制作工艺、焊接技术、典型构件加工、施工新技术、施工测量及质量管理经验, 非常适合建筑钢结构设计、钢结构制作施工安装技术人员及相关专业高校师生参考使用。

责任编辑: 郦锁林 朱晓瑜

责任校对: 张颖 赵颖

大跨度钢结构施工技术

王宏 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京京点图文设计有限公司制版
北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 27¼ 字数: 471 千字
2015 年 1 月第一版 2015 年 1 月第一次印刷

定价: 168.00 元

ISBN 978-7-112-17647-2

(26865)

版权所有 翻印必究
如有印装质量问题, 可寄本社退换
(邮政编码 100037)

《大跨度钢结构施工技术》编委会

主 编: 王 宏

副 主 编: 李海旺 戴立先

编 委: 王 宏 马义俊 左旭平 叶国新 周发榜 张泗杰
徐重良 戴立先 欧阳超 申屠辉宏 徐 坤

编写人员: 郅国雄 陈华周 陈振明 陆建新 陈 韬 吕黄兵
高勇刚 钟红春 蒋官业 朱邵辉 李春田 许 航
周 明 徐 聪 陈 治 沈洪宇 陈 刚 刘 奔
何鲁清 张耀林 章少君 孟祥冲 彭 湃 黄 敏
郭金池 刘俊超 薛飞飞 刘欢云 范道红 李朝兵
李宏伟 强 彬 徐 丹 祁 霜 周焱平 樊 林
巩少兵 唐楚发 苏君岩 冯玩豪 冷瀚宇 杨高阳
李鹏宇 李龙飞 李凌峰 于 轩

序言一

PREFACE

科学技术是第一生产力，是指引时代进步的风向标，是衡量国家综合国力的试金石。实现创新驱动发展，最根本的是依靠科技的力量，提高自主创新能力。

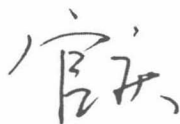
中国建筑工程总公司（下称“中国建筑”）肩负央企的社会责任，秉承“科技兴企”的发展战略，致力于推动建筑行业的科技进步。通过原始创新、集成创新，建立了企业科技领先优势，在超高层建筑施工技术、大跨度机场工程综合施工技术及现代化体育场馆施工技术、高耸塔类构筑物施工技术等方面取得了举世瞩目的成绩。从环球金融中心创造中国建筑高度纪录，到央视工程 78m 大跨悬挑施工挑战结构极限，再到 08 奥运水立方工程获国家科技进步一等奖，完成中国第一大跨度索支穹顶项目——武汉体育馆建设，中国建筑以科技进步铸造了承建“高、大、新、特、重”工程的高端品牌形象。

中建钢构有限公司作为中国建筑旗下的专业公司，长期致力于科技创新工作，其研发、创新的诸多成果在行业内部处于领先水平，为各类高端工程的顺利建设提供了有效保障。我们欣喜的看到，中建钢构在积极创新的同时，还积极总结已有的科技成果，致力于推动行业的共同进步。他们于去年编撰出版《超高层钢结构施工技术》一书，全景展现了超高层钢结构施工中的前沿技术，对现场作业起到了良好的参考和指导作用。今年他们再次编撰《大跨度钢结构施工技术》，相信，这两本专著将相互辉映，对超高层、大跨度两种普遍应用的建筑结构施工起到有效的指导作用，为促进行业的发展做出贡献。

企业是科技创新的主体，央企担当着重要的责任。目前，中国建筑正在国家“新常态”发展的大环境下，不断推动自身的创新发展和转型升级，践行“绿色中建、

数字中建”承诺,推进绿色建筑、绿色施工以及建筑工业化的发展。我们将坚持“自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来”,以提高科技创新能力为核心,以促进科技与企业发展紧密结合为重点,进一步深化科技体制改革,加快建设企业创新体系,积极探索符合科技发展规律的新体制,为中国建筑成为行业领先者,打造最具国际竞争力的建筑地产综合企业集团而努力奋斗!

中国建筑工程总公司总经理、党组成员
中国建筑股份有限公司总裁



序言二

PREFACE

大跨度空间结构往往是衡量一个国家建筑科技水平的重要标志之一，也是一个国家文明发展程度的象征。我国空间结构的发展历史并不长，大致是 60 年，但发展速度快、应用范围广、形式种类多，且不断有所创新。20 世纪 50 年代末较多地采用薄壳结构、悬索结构，20 世纪 60 年代采用网架结构，20 世纪 80 年代较多地采用组合网架、网壳结构，到 20 世纪 90 年代后开始采用索膜结构、张弦梁结构、索桁结构、弦支穹顶、索穹顶结构等一些轻质高效的现代空间结构。进入 21 世纪，我国成功举办了 2008 年北京奥运会、2010 年上海世博会和广州亚运会、2011 年深圳大运会、2014 年南京青奥会等国际大型体育盛会，大跨空间结构得到了千载难逢的发展机遇，进入了一个崭新阶段，一个重要的特点是应用范围不断扩大、结构跨度骤增，跨度已达 300m 左右，除在体育场馆、航站楼与飞机库、影剧院、展览馆等大跨度公共建筑中大量采用外，在新建大、中型铁路客站候车大厅、无站台柱雨篷、桥梁结构工程和高层建筑结构中也获得了创新应用，并且具有我国自己的特色，不少空间结构工程和项目成为国家和城市的标志性建筑。

在我国空间结构半个世纪，特别是近三十年的快速发展进程中，随着我国钢产量的年年攀升，以钢材为主要建筑材料的大跨度钢结构更是日新月异地得到迅猛的发展，钢结构在大跨结构中最为广泛地采用。与此同时，我国已发展起来近百家相当规模的钢结构施工企业，其中有 30 多家特级钢结构制造厂，已形成一个新的空间结构制造行业，且部分出口国外，这个规模在国外是没有的，我国是全球之最。

中建钢构有限公司是我国钢结构施工行业的领军国有企业，现已发展成为中国最大，并谋求成为全球最具竞争力钢结构产业集团，承建了国内外一大批“高、大、新、

尖、特、重”工程,为推动中国钢结构发展做出了巨大的贡献。在取得这些成就的同时,他们还特别注重科技创新,在超高层钢结构、大跨度钢结构、复杂空间钢结构、高耸塔桅钢结构等领域积累了独特、领先的技术优势。获悉中建钢构正组织力量将他们的施工经验和科技成果进行全面系统地总结提炼,编撰出版钢结构施工专著,我感到非常欣喜。这项工作表现出中建钢构技术成果慷慨共享、致力于推动行业技术进步的社会担当,必将极大地促进我国钢结构施工技术的发展和进步。

这本专著是继 2013 年出版的《超高层钢结构施工技术》后的第二部,是钢结构应用的另一个重要领域,综观本书有如下特点:

(1) 源于工程,高于工程。专著是施工一线技术工作者对工程实践的总结和提炼,技术要点均配合中建钢构承担的实际工程项目予以诠释,源于工程实践。同时,基于工程问题进行了富有成效的理论研究、技术开发及新兴技术的探索应用,比如:砂箱卸载技术在房建领域的应用,计算机液压同步控制系统, GPS 测控技术,贯穿设计出图、制作管理、材料和构件物联管控的全寿命建筑信息模型(BIM)等。

(2) 内容丰富,系统全面。全书内容紧扣钢结构施工的全过程,依次详细阐述了大跨度钢结构深化设计,工厂加工制作及质量管理,安装部署及设备选型,高空提(顶)升、滑移等安装技术,支承卸载技术,预应力施工技术,一直到施工测量和安全防护。各章节编写均围绕工序流程和技术要点,并配以相关材料、设备、工艺参数和技术管理要求等关键资料,逻辑性好,易于阅读和参考。

(3) 实例典型,操作性强。书中提供的弯扭构件、焊接球、铸钢件等典型构件的加工实例,以及十余个典型大跨钢结构工程项目的深化设计、制作安装、卸载监测的实例,方便钢结构施工企业借鉴参考,可操作性很强。

(4) 图文并茂,可读性好。本书各章节精选了中建钢构施工项目的技术图纸、表格以及一手的加工厂和项目现场照片,图文并茂,使读者身临其境,可读性好。本书不仅可为钢结构施工企业提供借鉴,也可供大跨度钢结构设计、建筑科研院所研究人员和高等院校土木工程专业师生阅读参考。

(5) 脚踏实地,畅想未来。值得一提的是,本书开篇精要地对大跨度钢结构的发展历程、结构体系、材料和典型工程进行了概述,特别是较为完整地收集了我国近年来兴建的大跨度钢结构的工程资料,有利于广大读者领略我国大跨空间结构的大国风采。本书对未来大跨结构在建筑功能、防灾减灾、绿色节能和超大跨城市穹

顶等方面的乐观畅想，也昭示着大跨钢结构的美好发展前景。

本书是我国系统介绍大跨度钢结构施工技术的专著，不仅是中建钢构施工经验的总结，也集中展现了我国大跨钢结构施工的技术发展水平。相信这部专著的出版有助于广大技术人员了解和掌握大跨度钢结构的施工知识，为钢结构施工以及设计和研究提供参考和借鉴，促进我国钢结构施工行业的技术进步，也促进我国大跨空间结构的应用和发展。

以中建钢构为代表的一批中国钢结构施工企业凭借几十年来凝练的核心竞争力已开始走向世界，在海外承接了大量钢结构工程，同时带领着国内钢结构设计和研究单位参与到国际工程的竞争。我希望中建钢构在编辑出版施工技术专著的中文版后，能继续努力出版一本英文版的中国钢结构施工著作，向全世界展现中国施工企业的风采。最后，我热切期盼我国大跨度空间结构的施工技术不断发展、创新，出版更多的专著问世，早日实现我国大跨度空间结构从大国迈向强国的梦想。

中国工程院院士
浙江大学教授



序言三

PREFACE

自改革开放以来，尤其是从新世纪的 2000 年起，大跨度建筑工程在我国获得了前所未有的发展。新型建筑材料的创新应用、计算技术的迅速发展和结构形式的多样化，使大跨度空间钢结构从满足各种建筑功能的造型到跨度的跃升一一被突破。

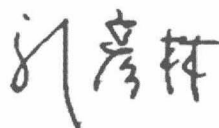
该书主编王宏所在的中建钢构，是我国集钢结构制作与安装为一体的现代化大型企业，先后承建了国内外许多大型钢结构工程项目。如新白云机场与深圳机场航站楼、深圳大运会体育中心等，这些建筑在我国大跨度空间钢结构发展中具有里程碑意义。在建设过程中，攻克了复杂钢结构制作与安装过程中的许多难题；特别在大跨度空间钢结构领域，取得了一系列重大建筑工程建造技术的创新成果，积累了一整套建造大跨度钢结构建筑的经验。该书正是在这个基础上，将系统性和务实性相结合，图文并茂，深入浅出，并针对不同类型的大跨度钢结构体系，从结构的深化设计，加工制作，现场安装等方面进行了翔实的阐述。

大型复杂建筑钢结构工程的发展，催生出一大批高大精尖的钢结构工程项目。由于建筑钢结构形式的复杂化，对传统的钢结构制作加工工艺与施工技术提出了巨大的挑战：在钢结构制作方面，如空间弯扭构件的制作，复杂铸钢节点的制作及复杂厚钢板节点的焊接，以及各种复杂形状的钢构件的制作等；在安装方面，提出了诸如整体提升（顶升）、屋盖整体滑移、结构整体卸载及预应力张拉等施工新技术；在施工过程中，建立了信息化管理平台、测量控制及计算机预拼装技术等。这些新的制作工艺与安装技术，源于工程实践，又服务于工程本身，所积累的创新技术为本书的成稿奠定了很好的基础。

总之，该书从工程实践出发，以大量工程为案例系统总结提炼了大跨度钢结构

的深化设计、加工制作工艺、焊接技术、典型构件加工、施工新技术、施工测量及质量管理经验等。我们很高兴看到这本能反映我国大跨度钢结构建造技术的书问世，为从事同类工程制作、安装及管理的工程技术人员提供了一本非常实用的工具书。在此，衷心地向同行及所有关心大跨度钢结构建筑事业发展的人士推荐，值得一读。

清华大学 土木系



前 言

FOREWORD

大跨度建筑贯穿于人类社会的文明与进步。从古罗马人发明的混凝土建材到建筑钢材，再到膜材的研发与应用；从拱券式穹顶到网格结构，再到张弦梁、索穹顶等杂交结构的创新，均可在大跨度建筑结构上找到相应的印记。可以说，大跨度建筑是新型建筑材料研发和结构形式创新最直接的展现。

我国改革开放 35 年来，钢产量从 1978 年 3000 万吨发展到 2013 年超过 10 亿吨，占到全球钢产量的一半以上。随着钢铁工业的发展，国家由建国初限制建筑钢结构的发展逐渐转变为积极的鼓励政策，钢结构已成为建筑领域的主流结构之一。同时，北京奥林匹克运动会、深圳世界大学生运动会等国际赛事会议的举办，全国交通枢纽的建设与升级，进一步促进了大跨度钢结构建筑的建设，如北京“鸟巢”、国家大剧院、深圳宝安国际机场、武汉火车站等，这些闻名于世的标志性大跨度钢结构建筑，代表了新时期我国建筑领域取得的新成就。

书中基于已建、在建且具有代表性的大跨度建筑施工实例，结合国内大跨度钢结构施工的最新成果和现行有关规范规程。分三个部分阐述了大跨度钢结构施工技术。

第一部分共 2 章，主要介绍大跨度钢结构建筑的发展历程、结构特点、常用构件及材料材质，主要参编人员为中建钢构有限公司陈振明、周明、苏君岩、冷瀚宇、杨高阳、李鹏宇等人；第二部分共 6 章，主要介绍大跨度钢结构制造技术，包括深化设计、加工制作准备、焊接技术、制作全过程质量管理、典型构件加工制作等，并以重庆国博、深圳机场 T3 航站楼、贵阳奥体等国内典型大跨度钢结构工程为例介绍了诸如空间桁架、弯扭构件等复杂构件的制作技术，主要参编人员为中建钢构

有限公司陈振明、陈韬、沈洪宇、张耀林、章少君、黄敏、郭金池、刘俊超、陈刚，刘欢云、范道红、李朝兵、李宏伟、强彬、徐丹、祁霜、周焱平、樊林、巩少兵、唐楚发等人；第三部分共8章，主要介绍大跨度钢结构安装技术，包括施工部署及设备选型，高空原位安装技术，提（顶）升施工技术、滑移施工技术、卸载施工技术、预应力钢结构施工技术、施工测量技术，安全防护技术等关键技术，主要参编人员为中建钢构有限公司郜国雄、陈华周、陆建新、吕黄兵、高勇刚、钟红春、蒋官业、朱邵辉、李春田、许航、周明、徐聪、陈治、彭湃、孟祥冲、刘奔、何鲁清、薛飞飞、冯玩豪、李龙飞、李凌峰、于轩等人。

本书在编制过程中，得到了太原理工大学李海旺教授、北京市建筑设计研究院主任工程师张相勇博士、原建设部总工程师许溶烈（瑞典皇家工程科学院外籍院士）、中建总公司专家委员会施工技术主任委员张希黔教授以及哈尔滨工业大学顾磊教授等人的大力支持，在此表示衷心的感谢。同时还要感谢中建钢构有限公司副总经理周发榜、综合办公室副主任周爱文对本书内容的审阅。书中引用了一些建筑施工图片，可以给读者更加清晰、直观的印象，在此对这些图片的所有者表示感谢。

2014年11月

目 录

Contents

第一部分 大跨度钢结构综述

- 第 1 章 大跨度钢结构的发展 << 3
 - 1.1 发展概述 << 3
 - 1.2 国内发展 << 11
 - 1.3 发展展望 << 26
- 第 2 章 大跨度钢结构体系 << 32
 - 2.1 平面结构体系 << 32
 - 2.2 空间结构体系 << 34
 - 2.3 大跨度结构用材料简介 << 47

第二部分 大跨度钢结构制造技术

- 第 3 章 深化设计 << 59
 - 3.1 概述 << 59
 - 3.2 常用软件 << 62
 - 3.3 设计流程与步骤 << 64
 - 3.4 典型节点、构件深化设计 << 76
 - 3.5 工程案例 << 85
 - 3.6 BIM 技术 << 90

- 第4章 加工制作准备 << 95
 - 4.1 典型复杂钢构件介绍 << 95
 - 4.2 制作准备 << 98
- 第5章 焊接技术 << 110
 - 5.1 大跨度钢结构焊接特点及焊接方法 << 110
 - 5.2 焊接人员资质 << 115
 - 5.3 焊接工艺评定 << 117
 - 5.4 焊接流程与工艺要点 << 119
 - 5.5 大跨度钢结构典型焊接技术 << 141
- 第6章 制作全过程质量管理 << 156
 - 6.1 原材管控 << 156
 - 6.2 工序质量检查 << 156
 - 6.3 预拼装管控 << 172
 - 6.4 质量通病防治 << 173
- 第7章 典型构件加工制作 << 175
 - 7.1 箱形弯扭构件制作技术 << 175
 - 7.2 圆管弯扭构件制作技术 << 181
 - 7.3 焊接空心球制作技术 << 189
 - 7.4 螺栓球制作技术 << 194
 - 7.5 铸钢件制作技术 << 198
- 第8章 制作案例 << 208
 - 8.1 重庆国际博览中心典型构件制作 << 208
 - 8.2 深圳机场 T3 航站楼典型构件制作 << 220
 - 8.3 贵阳奥体中心典型构件制作 << 239

第三部分 大跨度钢结构安装技术

- 第9章 施工组织及设备选型 << 249
 - 9.1 施工组织 << 249
 - 9.2 设备选型 << 252

第 10 章	高空原位安装技术	《《	261
10.1	高空原位散件安装技术	《《	261
10.2	高空原位单元安装技术	《《	263
10.3	构件吊装	《《	269
10.4	工程实例	《《	273
第 11 章	提(顶)升施工技术	《《	285
11.1	提升施工技术	《《	285
11.2	顶升施工技术	《《	313
第 12 章	滑移施工技术	《《	319
12.1	概述	《《	319
12.2	滑移方法	《《	321
12.3	滑移轨道	《《	324
12.4	顶推器布置及工作原理	《《	326
12.5	结构滑移案例	《《	328
12.6	施工支承滑移案例	《《	337
第 13 章	卸载施工技术	《《	342
13.1	卸载原理与方法	《《	342
13.2	卸载准备	《《	348
13.3	卸载过程控制	《《	349
13.4	卸载监测	《《	350
13.5	工程案例	《《	352
第 14 章	预应力钢结构施工技术	《《	363
14.1	预应力施加方法	《《	363
14.2	预应力张拉技术	《《	364
14.3	工程案例	《《	369
第 15 章	施工测量技术	《《	382
15.1	施工测量原则及内容	《《	382
15.2	常用测量仪器	《《	382
15.3	施工控制网建立	《《	384
15.4	施工过程定位测量与变形监测	《《	392

15.5	GPS 测控技术	<<	399
第 16 章	安全防护技术	<<	402
16.1	安全风险分析	<<	402
16.2	管理措施	<<	403
16.3	技术措施	<<	406
16.4	季节性施工安全措施	<<	413