

超高层

STEEL STRUCTURE
CONSTRUCTION

钢结构施工技术

王 宏◎主编

中国建筑工业出版社

超高层钢结构施工技术

王宏 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

超高层钢结构施工技术 / 王宏主编. — 北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 10

ISBN 978-7-112-15950-5

I. ①超… II. ①王… III. ①超高层建筑—钢结构—工程施工
IV. ①TU974

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 235921 号

本书共分三部分: 第一部分 2 章, 主要介绍超高层钢结构的发展历程、结构体系、常用构件及材料选用; 第二部分 5 章, 主要介绍超高层钢结构制造技术, 包括深化设计、加工制作准备、典型构件的加工制作要点、焊接技术等, 并以天津高银 117 大厦、广州东塔等国内典型超高层钢结构工程为例介绍了诸如巨型柱、钢板剪力墙等复杂构件的制作技术; 第三部分 8 章, 主要介绍超高层钢结构安装, 包括吊装设备应用技术, 各类钢构件吊装, 施工测量, 螺栓连接, 结构临时加固, 逆作法施工, 钢柱无缆风施工等关键技术, 以及超高层施工过程中安全防护的技术要点。

本书可供建筑钢结构设计、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: 郇锁林 朱晓瑜

责任校对: 姜小莲 刘梦然

超高层钢结构施工技术

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

北京京点设计公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19½ 插页: 1 字数: 340 千字

2013 年 11 月第一版 2013 年 11 月第一次印刷

定价: 138.00 元

ISBN 978-7-112-15950-5

(24741)

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)

《超高层钢结构施工技术》编委会

主 编: 王 宏

副 主 编: 戴立先

主 审: 李海旺

编 委: 王 宏 叶国新 左旭平 周发榜 徐重良
戴立先 欧阳超 徐 坤

编写人员: 陈华周 陈振明 郅国雄 沈洪宇 陆建新
刘家华 陈 韬 吕黄兵 蒋官业 高勇刚
周 明 李春田 刘 曙 苏君岩 邵 鹏
陈 治 何 洪 常永强 许 航 张 阳
罗 哲 甘超勇 孔维拯 陈天和 范道红
石承龙 徐 丹

序言一

PREFACE

当今世界,科技创新日益成为经济社会发展的主要驱动力,科技发展水平更加深刻地反映出一个国家的综合国力和核心竞争力。企业是自主创新的主体,央企要做创新发展的典范。

中国建筑工程总公司(下称“中国建筑”)是在完全竞争的市场环境中成长壮大的央企。历经 31 年的发展,在 2013 年跃居世界 500 强企业第 80 位,在建筑行业中保持世界第一的地位。回顾跨越奋进的风雨历程,我们不难发现,敢为人先、不断创新是我们不断完成自我超越的法宝。我们始终坚定不移地实施“科技兴企”战略,始终坚持“科技服务经营、科技支撑发展、科技引领进步”。正是通过强大的技术创新,中国建筑才得以在世界各地不断拓展市场,不断刷新纪录。

20 世纪 80 年代,中国建筑第一次将滑模技术应用于超高层,在华夏第一高楼深圳国贸工程中创造了三天一层楼的“深圳速度”;21 世纪前 10 年,我们再次凭借国内领先的超高复杂巨型钢结构安装等技术,建造了世界结构高度第一高楼——上海环球金融中心等巨型工程。在中央电视台新址工程中,我们创造了世界一次浇筑混凝土最大方量(3.9 万 m^3)、世界最长斜立焊(13.9m)现场焊接、世界最大悬挑钢结构(78m)悬空安装、首次使用 M1280D 塔吊(系当时房屋建筑领域最大运力塔吊)等多项世界纪录,开启了中国建筑业挑战极限、破解世界性技术难题的新时代。目前,中国建筑在国内 300m 以上的超高层建筑中已占据了 95% 的市场份额。在国际市场上,中国建筑也在不断扩大竞争优势。

这是一种以科技促市场、以工程出成果良性循环的技术创新模式、发展模式。科学技术在帮助中国建筑开拓高端市场的同时,自身也不断得到磨砺。在获得高等



级科技奖励、编写国家标准、承担国家课题、拥有国家专利及工法等衡量企业科技进步的指标上，中国建筑始终保持了行业领先地位。

中建钢构有限公司是中国建筑旗下的专业公司，长期致力于科技创新，在钢结构领域拥有行业领先的系列核心技术，为自身发展提供了有力保障，为中国建筑高端工程施工提供了有力的专业支撑，是中国建筑科技创新的杰出代表。他们对科技创新经验进行了认真的归纳总结，编纂出版超高层钢结构施工技术，是我国超高层钢结构前沿施工技术的全景展现。中国建筑工程总公司支持和鼓励这种做法，这不仅因为我们自信，而且因为我们负有央企的责任和义务。我们相信，此书将是中建钢构自身进步的阶梯，对于今后钢结构施工有着极大的参考和指导意义，充分体现了中建钢构作为国内钢结构行业领军企业的重要地位，很好践行了中央企业在自主创新上发挥骨干带头作用的责任和义务。

科技强则企业强，企业强则国家强。去年召开的国家科技创新大会明确提出：要强化企业技术创新主体地位，促进科技与经济紧密结合，建立企业主导产业技术研发创新的体制机制，使企业成为技术创新决策、研发投入、科研组织和成果转化应用的主体。中国建筑作为建筑行业的领军者，在科技进步和自主创新上要有更大作为。在中国建筑“十二五”科技规划中，提出了“绿色中建、数字中建”以及建筑工业化的建设目标，可以说是中国建筑准确把握产业方向，对未来发展所做出的承诺。为实现这个目标，中国建筑将重点推进两个方面的工作：一是研究以 BIM 技术为核心的信息技术，改造提升传统产业；二是研究部署绿色建筑和建筑工业化。通过发展绿色建造技术和信息技术，推动中国建筑实现从“建造”到“制造 + 建造”的转变，并不断培育新的经济增长点，使科技创新成为企业升级发展的内生动力。

我们将站在全局高度，加大战略投入，着力解决制约科技创新的突出问题，充分发挥科技在企业发展中的支撑引领作用，全力推动创新驱动发展，为建设具有国际竞争力的世界一流企业而努力奋斗！

中国建筑工程总公司董事长、党组书记

中国建筑股份有限公司董事长

序言二

PREFACE

随着国民经济的快速发展,我国进行了大规模的土木工程建设,取得了举世瞩目的成就。在各类大型土木工程建设项目中,最引人注目的当属超高层钢结构建筑。钢结构具有强度高、自重轻、抗震性能好、工业化加工制作方便、易安装、施工周期短、可循环利用等优点,既符合超高层建筑结构的力学性能要求和建造施工要求,也符合我国绿色环保和可持续发展战略要求,是超高层建筑结构的必然选择。由于我国城市规模正进一步扩大,城市人口持续增加,城市用地稀缺的矛盾越来越突出,再加上现代城市对地标性建筑的憧憬,而且我国钢铁工业产能巨大,建筑用钢材供应充足,这些因素催生了超高层钢结构建筑如雨后春笋般发展。随着超高层钢结构建筑的发展,其结构体系、计算理论和设计方法的研究日臻完善,建筑施工技术水平也跻身于国际先进水平,甚至有些关键技术达到了国际领先水平。但到目前为止,用来有效指导超高层钢结构施工的参考资料却很少见,不利于我国超高层钢结构建筑的进一步发展。因此,对超高层钢结构建筑的施工技术进行系统地梳理和总结,并编撰出版是十分必要的。

为了顺应我国超高层钢结构发展的趋势,中建钢构充分发挥龙头企业的技术优势,组织专业团队,精心撰写了这本专著。本专著从一线施工方的角度出发,全面系统地介绍了超高层钢结构工程施工的全过程,包括前期钢结构深化设计、构件和节点的加工制作、设备选型及应用、现场吊装及安装方案、测量技术等各个工序;还对超高层钢结构的发展及其常用结构体系和构件进行了综述,对超高层钢结构逆作法施工和无缆风施工等创新性施工工艺和要求进行了全过程解析。本书是我国超高层钢结构施工领域的第一部专业著作,系统地总结了中建钢构近年来在超高层钢



结构施工领域的宝贵经验和创新性成果，并以典型超高层钢结构工程为案例，为广大读者展示了现代钢结构的最新施工技术。书中介绍的新技术、新工艺、新方法具有可操作性、实用性和指导性，可供同类工程借鉴。本书的内容全面翔实，案例清晰深入，图文并茂，通俗易懂，不但值得钢结构施工技术人员和管理人员参考，对钢结构设计工程师和科研工作者也具有很好的参考价值；设计师和科研人员只有理解了施工要求和过程，才能有效地解决设计与施工不匹配的问题，才不会纸上谈兵。由此可见，本书的出版对加快我国超高层钢结构施工技术创新具有重要作用，对推动建筑行业的技术进步具有重要意义。

中建钢构从小到大、从弱到强，现在已发展成为集研发、设计、制造、安装和检测于一体的钢结构施工的龙头企业，承建了一大批体量大、难度高、工期紧的标志性钢结构工程，创造了国内乃至世界钢结构建造史上骄人的业绩。中建钢构以其领先的技术优势，代表着我国未来钢结构施工技术的发展方向，其宝贵的工程经验值得同行分享。我衷心地期待中建钢构继续组织力量，将大跨度钢结构、复杂空间钢结构、高耸塔桅钢结构和桥梁钢结构等领域的的施工技术和经验进行系统地总结，奉献行业、以飨读者。

中国工程院院士
重庆大学校长

周绪红

序言三

PREFACE

超高层钢结构施工技术书籍的编撰出版，是中国钢结构建筑发展史上的一件大事。我代表中国建筑金属结构协会表示热烈祝贺！

钢结构有自重轻、延展性好、工业化程度高、可再生利用等天然优势，钢结构产业是绿色低碳循环型建筑工业化产业。随着经济的快速增长，一座座融合了现代设计理念和高新科技成果的钢结构建筑正在世界各地拔地而起。可以说，就建筑结构来讲，21 世纪就是钢结构的世纪。

我国建筑钢结构的发展面临着市场机遇。据统计，2012 年中国钢产量已经超过 7 亿吨，逾全球钢铁产量的一半，但用于建筑钢结构的钢材，仅占 5% 左右，而在发达国家，这一比例达 30%。中国的钢结构建筑在全部建筑中所占比重不到 5%，而发达国家则超过 50%。发达国家在工业建筑、商业建筑、公共建筑到低层建筑等领域，都大量采用了钢结构，其中芬兰、瑞典的钢结构建筑占建筑数量的比例达 70% ~ 80%。差距就是潜力，意味着我国建筑钢结构发展空间巨大。

我国建筑钢结构的发展面临着政策机遇。一是绿色行动的机遇。国家发展和改革委员会、住房和城乡建设部《绿色建筑行动方案》和住房和城乡建设部《“十二五”绿色建筑和绿色生态城区发展规划》均提出，要积极推广适合工业化生产的钢结构等建筑体系。二是“新四化”的机遇。“新四化”就是要走中国特色新型工业化、信息化、城镇化和农业现代化的道路，而新型建筑工业化又是新型工业化一个重要内容，作为钢结构更是新型建筑工业化的核心。三是新经济增长的机遇。党的十八大提出了新的经济增长目标。新的经济增长特点是，要提高发展质量，打造中国经济



升级版，钢结构行业在保持经济增长中将担当重要角色。

市场机遇和政策机遇的叠加，必将促进钢结构的大发展。应该认识到我国钢结构的发展对企业来说，有差距更有潜力，是需求更是市场，是机遇更是挑战。钢结构的大发展，是以科技创新为前提的，钢结构的技术、工艺、材料、设备、管理，都要不断满足产业发展的需要。可喜的是，我们的一些优秀企业已经依靠科技引领走出了一条成功之路。中建钢构有限公司作为行业领军企业之一，他们不仅以科技为支撑，建设了一大批高、大、新、尖、特、重工程，成就了“中建钢构”金字招牌，还注重超高层、大跨度等钢结构技术的总结和积累。该公司将自身实践积累的领先技术，编纂成钢结构施工技术专著并公诸于世。这反映了他们在自主创新上的强大实力，也反映了他们作为骨干企业在推动行业技术进步方面的担当意识，对此，我深感欣慰与敬佩。

钢结构是建筑业中最具技术含量的专业之一。希望有更多的钢结构企业家、钢结构技术和管理专家像中建钢构一样，像本书的作者一样，结合国内外工程实践，切实开展原始创新、集成创新、引进消化吸收再创新，系统总结钢结构研发、施工最新技术成果，促进行业整体技术水平的提升，赢取社会对钢结构的更多青睐，使钢结构产品获得更为广泛的应用，为实现“美丽中国”这一共同愿景做出特有的贡献。

原建设部总工程师
中国建筑金属结构协会会长

姚兵

前 言

FOREWORD

从世界第一座超高层摩天大楼建筑——芝加哥家庭保险大厦（1885 年建成，55m 高），到当今世界第一高楼——迪拜塔（2010 年建成，828m 高），超高层建筑在短短的 130 年里取得了质的飞跃，使人类与天空的距离越来越近。随着超高层建筑在世界各地的建造，钢结构以其优越的自身性能，成为超高层建筑结构中主流结构之一。同时，世界钢材产量及质量的不断提升，也为钢结构建筑的应用提供了必要条件。

我国改革开放 30 年来，钢产量从 1978 年 3000 万吨发展到 2012 年 7.16 亿吨，占到全球钢产量的 46.3%。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。1987 年，中国第一幢超高层钢结构建筑——深圳发展中心大厦诞生，此后钢结构建筑如雨后春笋般在神州大地上遍地开花。2007 年中国第一高楼——上海环球金融中心落成，高度 492m，标志着中国超高层钢结构建筑又上了一个台阶。目前在建的深圳平安金融中心（660m），上海中心（632m），天津高银 117 大厦（597m）即将成为城市天际线的新高度。

本书基于已建、在建且具有代表性的超高层建筑施工实例，结合国内超高层钢结构施工的最新成果和现行有关规范规程，分三个部分阐述了超高层钢结构施工技术。

第一部分共 2 章，主要介绍超高层钢结构的发展历程、结构体系、常用构件及材料选用，主要参编人员为中建钢构有限公司陈振明、周明、苏君岩、邵鹏、刘曙等人；第二部分共 5 章，主要介绍超高层钢结构制造技术，包括深化设计、加工制作准备、



典型构件的加工制作要点、焊接技术等，并以天津高银 117 大厦、广州东塔等国内典型超高层钢结构工程为例介绍了诸如巨型柱、钢板剪力墙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华东大区陈韬、甘超勇、张阳、陈天和、范道红、石承龙、徐丹等人；第三部分共 8 章，主要介绍超高层钢结构安装技术，包括吊装设备应用，各类钢构件吊装，施工测量，螺栓连接，吊装平台临时加固，逆作法施工，无缆风施工等关键技术，以及超高层施工过程中安全防护的技术要点，主要参编人员为中建钢构有限公司陈华周、邹国雄、陆建新、吕黄兵、蒋官业、高勇刚，刘家华、李春田、沈洪宇、何洪、许航、陈治、罗哲、常永强、孔维拯等人。书中第 10 章上海环球 GPS 测量的相关数据，由武汉大学测绘学院黄声享教授及其团队提供，书中所选工程案例，由中建钢构有限公司提供。

本书在编制过程中，得到了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委员会主任张希黔教授、同济大学刘玉姝老师以及哈尔滨工业大学顾磊教授等人的大力支持，特别是得到太原理工大学建设与土木工程学院李海旺教授对本书每一章节的审查和指导，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，中建钢构有限公司综合办公室副主任温军、业务经理邓明等人对本书封面、全书风格的设计与把关。书中引用了一些建筑图片，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。

塔

2013 年 10 月

目 录

Contents

第一部分 超高层钢结构综述

第 1 章 超高层钢结构的发展 << 3

- 1.1 发展历程 << 3
- 1.2 国内在建超高层 << 12
- 1.3 发展趋势 << 18

第 2 章 超高层钢结构体系 << 21

- 2.1 结构类型 << 21
- 2.2 常用钢构件 << 26
- 2.3 钢材的分类与应用 << 37

第二部分 超高层钢结构制造技术

第 3 章 深化设计 << 47

- 3.1 深化设计概述 << 47
- 3.2 深化设计常用软件 << 49
- 3.3 深化设计流程与步骤 << 51
- 3.4 典型节点深化设计 << 58
- 3.5 工程案例 << 66

第 4 章 加工制作准备 << 73

- 4.1 常用钢构件截面形式 << 73



4.2	材料采购计划编制	<<	75
4.3	材料的储存	<<	76
4.4	制作工艺设计	<<	78
第5章	钢结构焊接技术	<<	88
5.1	焊接方法与特点	<<	88
5.2	焊接工艺评定	<<	90
5.3	焊工资质要求	<<	94
5.4	钢构件焊接工艺	<<	95
5.5	工厂典型焊接方法	<<	120
5.6	现场厚板焊接	<<	121
第6章	典型构件制作	<<	128
6.1	焊接H型钢、十字柱制作工序	<<	128
6.2	箱型构件制作工序	<<	135
6.3	圆管柱制作工序	<<	141
6.4	焊接锥管柱制作工序	<<	146
6.5	H形、箱型桁架制作工序	<<	149
第7章	典型复杂构件及节点制作案例	<<	151
7.1	天津高银117大厦典型构件制作	<<	151
7.2	广州周大福中心典型构件制作	<<	165

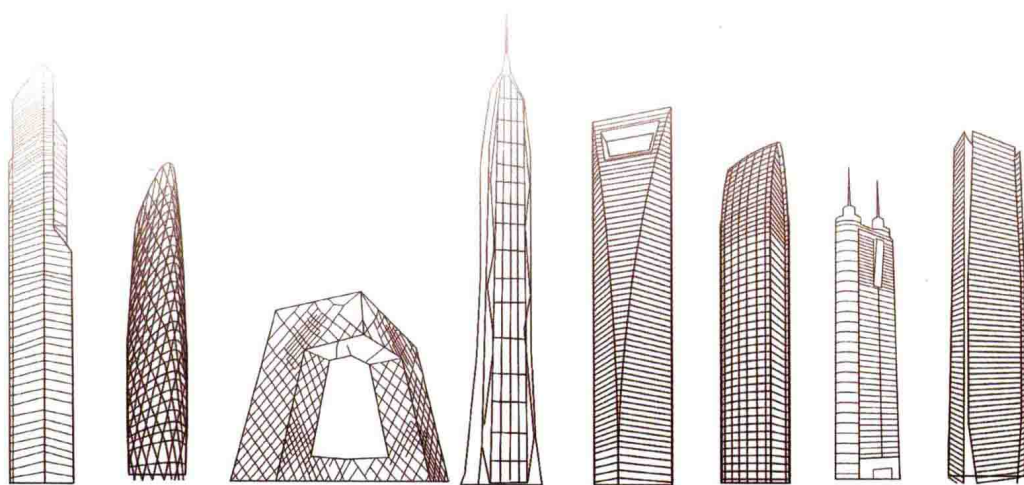
第三部分 超高层钢结构安装技术

第8章	吊装设备应用技术	<<	177
8.1	垂直运输任务与设备配备原则	<<	177
8.2	常用起重设备分类	<<	178
8.3	起重设备选型	<<	184
8.4	塔吊的安装、爬升与拆除	<<	186
8.5	群塔施工	<<	192
第9章	钢构件吊装	<<	196
9.1	吊装前准备	<<	196

9.2	吊装方式	<<	202
9.3	构件吊装	<<	204
第 10 章	施工测量技术	<<	219
10.1	常用测量仪器	<<	219
10.2	施工测量原则及内容	<<	220
10.3	施工测量控制网建立及引测	<<	221
10.4	施工过程控制测量	<<	226
10.5	GPS 测控技术	<<	232
第 11 章	高强螺栓施工技术	<<	240
11.1	高强螺栓简介	<<	240
11.2	施工准备	<<	241
11.3	高强度螺栓安装工艺	<<	246
11.4	安装质量检查	<<	248
11.5	施工质量保证措施	<<	248
第 12 章	结构临时加固技术	<<	250
12.1	加固设计内容	<<	250
12.2	常用加固方法	<<	251
12.3	计算案例	<<	253
第 13 章	钢柱逆作法施工技术	<<	261
13.1	施工技术要点	<<	261
13.2	工程案例	<<	264
第 14 章	钢柱无缆风施工技术	<<	271
14.1	施工原理	<<	271
14.2	工程案例	<<	271
第 15 章	安全防护要点	<<	281
15.1	管理措施	<<	283
15.2	技术措施	<<	284
15.3	季节性施工安全措施	<<	292
参考文献		<<	296
后 记		<<	297

第一部分

超高层钢结构综述



超高层建筑又名摩天大楼，是社会经济和科学技术发展的产物，对于超高层建筑，不同机构、国家有不同的定义。联合国将9层及9层以上的建筑定义为高层建筑，并按层数和高度将其分为4类：第一类高层建筑为9～16层（最高到50m）；第二类高层建筑为17～25层（最高到75m）；第三类高层建筑为26～40层（最高到100m）；第四类高层建筑（即超高层建筑）为40层以上（高度在100m以上）。美国将高度大于500英尺（152m）的建筑定义为超高层建筑。中国《民用建筑设计通则》GB 50352—2005将建筑高度大于100m的民用建筑定义为超高层建筑。

人类第一次超越100m的超高层建筑为1894年在美国纽约建成的曼哈顿人寿保险大厦，该建筑地上18层，高度106m。在随后的120年里，超高层建筑高度不断被刷新。1909年建成的美国纽约大都会人寿保险大厦，地上50层，高度213m，成为建筑史上首次突破200m的超高层建筑。1931年建成的美国纽约克莱斯勒大厦，地上77层，高度319m，标志着人类超高层建筑高度突破了300m。1973年建成的美国纽约世界贸易中心，地上110层，建筑高度417m，宣告了高度超过400m超高层建筑的诞生。2004年建成的中国台北环球金融中心，地上101层，建筑高度508m，将超高层建筑高度的纪录刷新为500m以上。2010年建成的阿联酋迪拜哈利法塔，地上169层，建筑高度828m，创造了人类超高层建筑高度的新纪录。

中国的超高层建筑的建设，随同改革开放的步伐，率先在深圳、上海、广州等经济发展迅速的沿海地区展开，1985年建成的深圳发展中心大厦，高度165.3m，是中国首座超高层钢结构建筑；1996年建成的深圳地王大厦，高度383.95m，成为当时亚洲第一高楼；2008年建成的上海环球金融中心，高度492m，是当时世界结构高度最高的建筑。当前，正在建设中的广州周大福中心（530m）、天津高银117大厦（597m）、武汉绿地中心（606m）、上海中心（632m）、深圳平安金融中心（660m）等，将再次刷新中国超高层建筑的新纪录。

超高层建筑根据建筑材料使用的不同，通常可分为钢筋混凝土结构、钢结构和钢与混凝土组合结构。由于钢结构具有强度高，自重轻，抗震性能好，可循环利用等优点，近年来被广泛应用于超高层建筑中。本部分将重点介绍超高层建筑钢结构和钢与混凝土组合结构的发展历程、结构形式及材质特点。