

建筑工程新技术丛书

6

钢结构工程

主 编 林寿 杨嗣信

副主编 余志成 侯君伟 高玉亭 吴琰

中国建筑工业出版社



建筑工程新技术丛书

6

钢结构工程

主 编 林 寿 杨嗣信

副主编 余志成 侯君伟 高玉亭 吴 璠

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构工程/林寿, 杨嗣信主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2009

(建筑工程新技术丛书 6)

ISBN 978-7-112-11153-4

I. 钢… II. ①林…②杨… III. 钢结构-建筑工程-新技术应用 IV. TU391-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 122905 号

建筑工程新技术丛书

6

钢结构工程

主 编 林 寿 杨嗣信

副主编 余志成 侯君伟 高玉亭 吴 珏

*

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

北京红光制版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 26 字数: 748 千字

2009 年 11 月第一版 2009 年 11 月第一次印刷

定价: 55.00 元

ISBN 978-7-112-11153-4

(18402)

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)

本书是《建筑工程新技术丛书》之六，以钢结构工程为专题，详细介绍了近些年，在建筑工程施工领域所采用的新技术、新工艺和新材料。旨在为新技术的推广应用起到促进作用。

* * *

责任编辑：周世明

责任设计：赵明霞

责任校对：王金珠 兰曼利

《建筑工程新技术丛书》 编写委员会

组织编写单位：

北京市城建科技促进会

北京双圆工程咨询监理有限公司

主 编：林 寿 杨嗣信

副主编：余志成 侯君伟 高玉亭 吴 璉

编 委（按姓氏笔划） 王广鼎 王庆生 王建民

毛凤林 安 民 孙競立 杨嗣信 余志成

肖景贵 吴 璉 张玉明 林 寿 周与诚

侯君伟 赵玉章 高玉亭 陶利兵 程 峰

路克宽 薛 发

本册编写人员：路克宽 赵德礼 廖功华 尹敏达

高树栋 邓 飞

前

言

建设部于 1994 年首次颁发了《关于建筑业 1994、1995 年和“九五”期间重点推广应用 10 项新技术的通知》，对促进我国建筑技术的发展起到了积极的作用。随后，于 1998 年根据我国建筑技术的发展新情况，又颁发了《关于建筑业进一步推广应用 10 项新技术的通知》，进一步推动了我国建筑新技术的发展。为此，我们于 2003 年在系统总结经验的基础上，组织编写了《建筑业重点推广新技术应用手册》，供广大读者阅读参考。

随着我国建筑技术水平的不断提高，建设部于 2004 年对 10 项新技术进一步进行了修订，并于 2005 年又颁发了《关于进一步做好建筑业 10 项新技术推广应用的通知》，将 10 项新技术的范围扩大到铁路、交通、水利等土木工程。为此，我们根据 21 世纪以来新颁布的标准和建筑技术发展的新成果，以房屋建筑为主，突出施工新技术以及有关建筑节能技术，组织摘选编写了本系列丛书。

本书共分 6 册，第一册地基基础工程和基坑支护工程；第二册新型模板、高效钢筋、钢筋连接及高性能混凝土应用技术；第三册预应力技术；第四册安装工程应用技术；第五册围护结构节能技术及新型空调和采暖技术；第六册钢结构工程。

本丛书仅摘选了有关房屋建筑施工中一些新技术内容，在编写中难免存在挂一漏万和错误之处，恳请批评指正。

编 者

目

录

1. 多层及高层钢结构	1
1.1 多层及高层钢结构制作	1
1.1.1 钢结构深化设计	1
1.1.2 钢构件加工制作工艺流程	7
1.1.3 H 形钢梁加工制作	8
1.1.4 某工程 600mm×600mm×80mm 厚板箱形柱制作 难点与对策	13
1.1.5 H 形钢柱加工制作	25
1.1.6 箱形梁制作细则工艺	32
1.1.7 大口径钢管弯制难点与对策	35
1.1.8 钢管柱制作难点与对策	43
1.1.9 梭形钢管柱制作难点与对策	50
1.1.10 双向弯曲箱形梁制作难点与对策	55
1.1.11 树状柱制作难点与对策	58
1.1.12 变截面圆弧拱制作难点与对策	61
1.1.13 钢管柱转变为箱形截面制作难点与对策	66
1.1.14 目字形多向柱制作难点与对策	69
1.1.15 碟形节点制作难点与对策	73
1.1.16 钢管 X 节点制作难点与对策	76
1.1.17 大型空间箱形截面扭曲构件制作难点及对策	82
1.1.18 巨型钢桁架制作难点与对策	89
1.1.19 带铸钢节点的带状桁架制作难点与对策	96
1.1.20 铸钢节点制作难点与对策	102

1.1.21	巨型钢框架复杂构件制作工艺	105
1.2	多层及高层钢结构安装	116
1.2.1	安装工艺	116
1.2.2	钢柱安装	119
1.2.3	钢梁安装	124
1.2.4	箱形梁方格预拼装难点与对策	126
1.2.5	弯曲构件现场拼装难点与对策	131
1.2.6	CCTV 斜塔楼安装难点及对策	135
1.2.7	CCTV 斜塔楼悬臂合龙难点及对策	144
1.2.8	巨型桁架预拼装难点与对策	155
1.2.9	超载钢柱安装难点及对策	160
1.2.10	超高层钢结构测量技术难点与对策	166
1.2.11	大型工程钢结构冬期施工技术难点及对策	173
1.2.12	国家图书馆钢结构工程逆作法施工难点及对策	178
1.2.13	超高层钢结构安装技术	186
1.2.14	钢结构施工安全综合技术	200
1.2.15	法门寺合十舍利塔倾斜钢结构安装技术	213
1.2.16	超高层钢结构柱脚预埋的难点与对策	229
2.	空间钢结构技术	238
2.1	我国空间结构的发展与技术进步	238
2.2	薄膜结构	251
2.2.1	薄膜结构分类	251
2.2.2	国内外典型工程	253
2.2.3	ETFE 膜结构技术在水立方中的应用实例	257
2.2.4	ETFE 膜与 PTFE 膜比较及应用技术实例	265
2.3	空间结构应用技术	285
2.3.1	大型开合屋盖系统设计与施工的难点及对策	285
2.3.2	穹顶网壳结构提升方案难点与对策	296
2.3.3	壳体预拼装难点及对策	300
2.3.4	特大型焊接空心球制作难点与对策	302

2.3.5	奥运场馆钢结构工程综合安装技术	307
2.3.6	北京大学体育馆弦支网壳预应力设计与施工技术 ...	315
2.3.7	大吨位铸钢节点及抗震支座施工技术	325
2.3.8	雨篷大跨度悬垂梁及斜拉索施工技术	331
2.3.9	特殊钢结构空间测量定位技术	339
3.	预应力钢结构施工技术	345
3.1	预应力钢结构分类	345
3.1.1	张弦梁结构	345
3.1.2	弦支穹顶结构	347
3.1.3	索穹顶结构	351
3.1.4	吊挂结构	353
3.1.5	拉索拱结构	355
3.1.6	悬索结构	356
3.2	预应力钢结构设计计算原则	359
3.3	节点与连接构造	361
3.3.1	一般设计规定	361
3.3.2	张拉节点	362
3.3.3	锚固节点	364
3.3.4	转折节点	367
3.3.5	索杆连接节点	367
3.3.6	拉索交叉节点	369
3.4	材料及施工机具	373
3.4.1	材料	373
3.4.2	施工机具设备	383
3.5	预应力钢结构施工工艺、技术与质量控制	385
3.5.1	工艺原理	385
3.5.2	工艺流程	385
3.5.3	操作要点	385
3.5.4	安全措施	393
3.5.5	质量标准	393

3.5.6	使用期监测	397
3.6	应用技术	397
3.6.1	典型大跨度钢结构预应力施工难点及对策	397
3.6.2	奥运场馆建设中的大跨度钢结构预应力施工技术	413
4.	钢-混凝土组合结构施工技术	448
4.1	钢-混凝土组合梁	448
4.2	压型金属板(楼承板)施工技术	449
4.3	超高层劲性钢骨柱安装难点及对策	458
4.4	超高层钢管柱内灌混凝土施工的难点与对策	467
4.5	北京南站钢-混凝土组合高架桥综合施工技术	480
4.6	小直径钢管混凝土浇筑技术	487
5.	高强螺栓连接技术	492
	高强度螺栓在钢结构连接施工中重要问题与解答	492
6.	焊接施工应用技术	499
6.1	Q460E 厚板焊接难点与对策	499
6.2	Q420C 钢材焊接难点与对策	504
6.3	高强度钢材厚板焊接技术难点与对策	511
6.4	箱形钢柱焊接工艺要领	519
6.5	三丝埋弧厚板焊接技术难点及对策	522
6.6	CO ₂ 气体半自动保护焊立焊、斜立焊技术 难点与对策	524
6.7	机器人焊接技术在建筑钢结构中的应用	527
6.8	厚板焊接产生层状撕裂原因及对策	532
6.9	建筑钢结构低温焊接施工难点及对策	536
6.10	建筑钢结构焊接新技术应用	543
7.	钢结构涂装工程	558
	国家体育场(鸟巢)工程钢结构长效防腐施工技术研究	558
8.	大型构件和设备安装技术	572
8.1	液压穿心式千斤顶同步整体提升技术	572
8.1.1	液压提升器分类	572

8.1.2	液压提升器的组成	573
8.1.3	液压提升基本原理	574
8.1.4	液压提升器应用及优点	576
8.1.5	液压提升器维护	577
8.1.6	提升器常见故障检查	578
8.1.7	液压爬（爬行机器人）行系统组成	580
8.1.8	采用液压设备进行钢结构施工的关键技术及力学 分析方法	581
8.1.9	广州环城高速公路丫髻沙大桥竖转工程施工技术 ..	588
8.1.10	上海大剧院钢屋盖整体提升施工技术	597
8.1.11	首都机场四机位库钢屋架分块电控液压千斤 顶群同步提升、爬升技术	605
8.1.12	首都机场 A380 机库钢屋盖整体提升技术难点 及对策	617
8.1.13	二百米钢桁架多点提升难点与对策	625
8.1.14	斜拉索桥倾斜钢索塔整体竖转技术难点及对策	631
8.1.15	中国石油大厦主中庭钢结构索桁架整体提升施工 技术	643
8.1.16	钢连廊液压千斤顶整体提升难点及对策	649
8.1.17	计算机控制整体提升技术	666
8.2	土法整体起扳和提升技术	678
8.3	拔杆安装技术	681
8.3.1	海南千年塔大型龙门拔杆安装技术	681
8.3.2	马鞍形网壳结构采用拔杆提升技术难点及对策 ..	695
8.4	双机及多机抬吊技术	706
8.4.1	南京国际展览中心主桁架整体吊装技术	706
8.4.2	上海浦东国际机场航站楼钢结构吊装技术	711
8.5	其他应用技术	714
8.5.1	桁架结构曲面屋面千斤顶累积滑移法	714
8.5.2	导梁拖拉法安装大桥梁难点与对策	721

8.5.3	两万吨桥式吊机安装施工难点及对策	730
8.5.4	扁箱形钢桥梁支架拼装时竖向线形控制难点及 对策	737
8.5.5	超高层建筑高耸桅杆倒装法施工技术	743
8.5.6	高层施工内附着爬升塔吊施工技术	748
8.5.7	现浇混凝土楼面塔吊行走难点与对策	754
8.5.8	大型履带吊车上楼面加固难点及对策	760
8.5.9	大型履带吊车在地下室顶板上作业与加固技术 ...	768
8.5.10	钢管混凝土柱预埋件施工难点与对策	775
8.5.11	特大型推拉式机库大门吊装技术	780
8.5.12	塔桅钢结构正装及倒装法施工技术	785
8.5.13	主体育场大跨度屋盖钢结构施工技术	793
8.5.14	国家体育馆双向张弦桁架高空滑移难点及 对策	802
8.5.15	国家体育场钢结构合龙难点及对策	816

1. 多层及高层钢结构

1.1 多层及高层钢结构制作

1.1.1 钢结构深化设计

1. 钢结构深化设计必要性

(1) 现代化的项目管理体系对专业化分工提出更高的要求

近年来,我国钢结构建筑得到飞速发展,项目管理水平得到极大的提高。项目管理者制定网络计划时对材料控制、施工工序控制、工期控制等要求越来越高,工厂化的生产和大规模的现场安装,也需要条理清晰的安装加工图纸。在大中型钢结构项目中,聘请专业的设计深化公司已逐渐成为主流。

(2) 钢结构施工图节点深化设计的必要性

随着钢结构专业设计深化公司出现,以及设计院校中钢结构设计人才的紧缺,多数项目钢结构设计施工图只能达到构件设计和典型节点设计的深度。大量的节点需要深化设计单位进行简单计算并制图,交由设计单位确认。事实上,越来越短的设计周期,也意味着必须有专业的深化公司配合才能顺利实施。

(3) 施工过程仿真分析的重要性

工程的施工过程往往需要一些计算工作,大型项目的施工顺序、卸载方案等甚至成为施工中的关键因素,这些计算分析工作在民用建筑设计领域,习惯上不在施工图设计范围,而且往往需要贯穿施工过程的始终。选择对工程加工安装熟悉并可以全程服务的专业深化公司非常重要。

(4) 钢结构构件详图设计的必要性

虽然施工图纸给出了构件截面和节点连接等信息,但施工过程中工厂内的构件加工制作和现场的安装连接是完全分开的。构件详图作为工厂的生产工艺图,是产品出厂的依据。随着生产自

1. 多层及高层钢结构

动化的发展,由三维深化技术直接与机器接口,“无纸化生产”正在逐渐走上舞台。

2. 深化设计的组织工作

(1) 深化设计的组织工作特点

深化设计的组织工作与设计工作有很大的相似之处,又具备自身的特点。相似之处是制图、设计、审核等管理流程相同。不同的特点体现在以下3个方面:

1) 深化设计工作自主性较弱:深化设计工作需要在理解图纸的基础上,进行建模和制图工作,核心内容是“转化”。深化设计组织工作要以上下游的沟通为重点。

2) 深化设计工作劳动强度大:深化图纸的突出重点是“详”,需要精确到每个细微的零件和焊缝,出图量非常大。大中型项目需要大量的人力资源,任务的分配、人员的管理和图纸的文档管理的矛盾相对突出。

3) 深化设计人力资源相对匮乏:因为深化设计是设计与施工的中间纽带,所以高质量的深化工作必须有既了解设计又有实际工程经验的人才。而我国目前的高等教育在这方面恰恰是个空缺,深化设计人员教育背景复杂,良莠不齐,往往给项目的组织带来较大的困难。

(2) 项目的内部组织管理

项目的内部组织依据项目的类型和工期要求而定,模块化的组织架构是比较好的办法。按进度、按区域、按结构类型甚至按构件形成不同的工作模块,相互配合,协同运转。

项目的前期工作,需要组织综合能力较强的技术人员,从设计图纸、加工次序和安装方法等方面进行通盘考虑,找到深化工作的重点和难点,制定统一技术措施,确定各工作模块及其相互关联方式,并制定网络计划图。

随着项目的展开,重点转移到具体的技术细节和各模块的配合协调上。

在所有疑难都解决后,方能进行大规模的拆图、出图工作。

这几方面的工作，可能是相对独立，更多情况是掺杂在一起。但只要模块清晰、人员配备适当，完全可以做到繁而不乱。

(3) 项目的外部组织协调

1) 与项目管理部的沟通工作：沟通工作主要是了解施工计划、加工周期、运输方法和安装方法等与深化工作密切相关的指导性因素，由此确定深化设计的周期和组织方式。

2) 与施工图设计单位的沟通协调工作：正确理解施工图纸后，必须澄清图纸中不够明确的信息，并与设计确认需要深化的部位和深化方法，如果作施工仿真分析还需要与设计交流建模和支座约束等细节。与此同时，应根据实际施工安装方案，对节点连接的合理性进行梳理，避免图纸深化过程中由于对图纸理解不足而造成返工。

3) 与安装部门的配合工作：与安装部门的配合是深化设计的重要工作，构件的运输单元的划分、安装误差、安装顺序和安装方法等内容，是深化详图的指导性文件。

4) 与加工厂的协调配合工作：深化详图的尺寸表达、连接面、焊接间隙、剖口形式等是深化详图的重要内容。如何与加工厂协调配合，根据加工厂的加工设备、加工水平和加工习惯，绘制出既能满足设计的要求又能满足加工需要的图纸，是深化详图的基本要求。而在加工过程中，与加工厂的工程洽商及工作联系单更必不可少。

(4) 深化设计的质量控制

分为内部控制流程和外部控制流程。

内部控制流程一般由三级校审构成：建模或设计人，校核人，审核人。

外部控制流程通常有设计审核、项目部审核和加工厂复核三道程序。

每一级审核一定要达到留有痕迹、可以追溯的基本要求。

3. 深化设计的方法及通用的深化软件介绍

(1) 施工过程仿真分析介绍

施工过程仿真分析，就是根据实际的施工顺序、施工周期、

1. 多层及高层钢结构

施工方法和施工荷载等要素，对施工全过程进行模拟，以达到发现问题解决问题的目的。对复杂工程的施工过程仿真分析非常重要，不仅可以指导施工顺序、保证施工安全，还可以对竣工验收起到很大的帮助作用。

仿真的计算工具通常采用目前具有施工阶段验算模块的 SAP2000 和 MIDAS 等设计软件，或 ANSYS 等分析软件来进行。

(2) 各种结构体系深化工作常用思路与方法

1) 多高层钢结构：多高层钢结构的深化重点是结构布置和连接节点。以层为单位表达水平构件（梁、桁架、水平支撑等）和竖向构件（柱、垂直支撑、钢板墙等）是通常的思路。以柱的运输或安装分段内包含的水平和竖向构件，划分为相对清晰的工作模块，是比较有效率的组织方式。此外，型钢混凝土等劲性构件还需要额外考虑栓钉、穿筋孔的布置和大量的埋件连接。

2) 门式刚架：门式刚架结构相对简单，刚架梁、刚架柱的设计通常按平面结构进行计算。深化详图也常常按榀来划分工作范围。除此之外，吊车梁系统和托架系统是深化工作需要重点关注的。

3) 空间桁架：空间桁架常常用于大面积的屋盖，如果处理好桁架的运输单元划分、桁架之间的连接或拼接节点，深化工作就事半功倍了。因为美观的需要，越来越多的空间桁架采用管桁架、索桁架或弦支杂交结构形式。这些桁架加工图本身并不复杂，如管桁架，甚至只需要给出三维 CAD 单线模型，给出相贯顺序就可以自动加工切割。确定复杂节点的相贯次序或拉索的张拉过程是深化工作的难点所在。

4) 空间结构：这里的空间结构代表性的是空间网格结构。这些结构中的螺栓球、焊接球、杆件和零配件等已有比较智能的设计深化一体软件。深化工作一般着重与杆件、支座等与其他结构的碰撞校核、螺栓球非主结构的工艺孔的定位等方面。

5) 特殊结构：工业建筑中有很多异型构件，如气罐、油罐等压力容器和储仓海洋平台等专业化很强的建筑物。这些构件往往由专业加工厂生产，因而深化时必须注意先和加工厂配合，了

解冲压、旋压设备的基本要求，切忌想当然。

随着建筑技术的发展，民用建筑也有向非常规化发展的趋势，如著名的奥运工程鸟巢和水立方。这些项目没有相对固定的深化思路，必须就工程特点，与加工安装单位密切配合，同时必须具备良好的软件二次开发能力，如 AutoCAD 的 3D 建模技术的运用、弯扭构件的曲面展开、复杂相贯曲线数学模型推算等内容。

(3) 深化软件介绍

1) Auto CAD: 这是目前在工程中应用最为广泛的计算机辅助制图软件。友好的工作界面和强大的功能使得该软件在制图方面几乎“无所不能”。在深化详图行业，对 AutoCAD 的熟练掌握，也是对入门者最基本的要求。工程中特别复杂的结构构件，往往可以通过 Auto CAD 的 3D 建模技术迎刃而解。

2) Tekla (Xsteel): Tekla 公司是芬兰最古老的软件公司之一，TeklaXsteel 是该公司旗下的钢结构 3D 实体模型专业软件，在国际工程中有广泛的应用。软件直观性和可操作性很强，可以自动生成和修编 2D 图纸，提供完整的组合干涉检查功能，减少人为的错误及校核的时间，并可以自主开发常用或特殊节点，是目前国内市场占有率很高的专业详图软件。

该软件的附属功能也极为强大，可提供多种格式的材料统计报表，并可以向自动排版、切割、组拼等数控生产设备直接提交生产指令。

该软件还具有强大的项目管理模块，可以拓展至集中式数据库、工程历史记录、任务管理、工程进度跟踪和过程控制等多方面的管理控制。

3) StruCAD: StruCad 是由英国 AceCad 公司开发的三维钢结构详图设计软件。它包括 CAD、CAM、CAE 等一系列模块，能满足钢结构工程建设中从设计到施工制造全过程的要求。StruCad 模型的建立过程类似于 AutoCad 的建模过程，它提供了许多专门的三维建模辅助工具，可以随时生成二维施工图纸，对设计进行检查。系统自动成图、自动生成材料表。