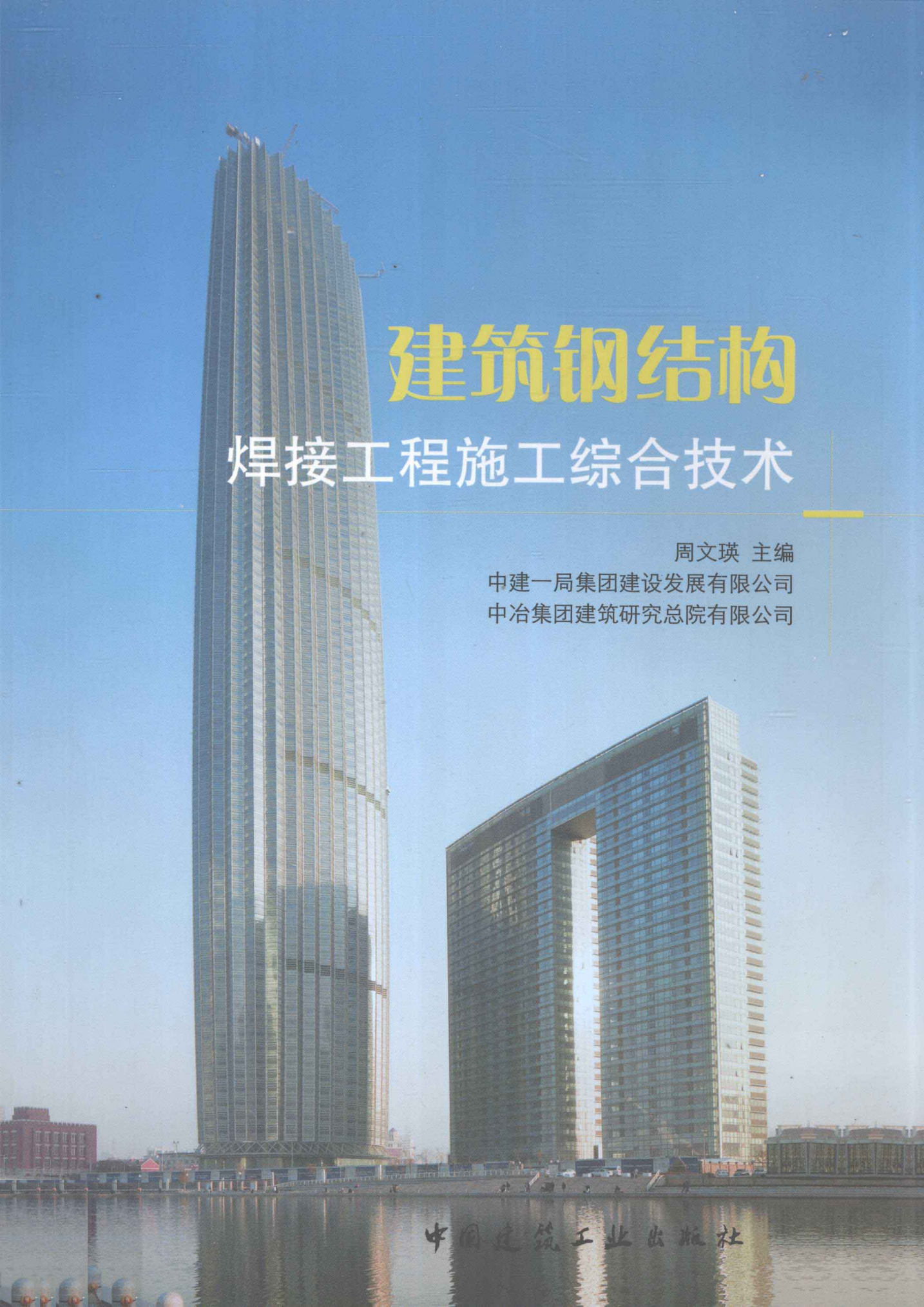




建筑钢结构

焊接工程施工综合技术

周文瑛 主编

中建一局集团建设发展有限公司

中冶集团建筑研究总院有限公司

中国建筑工业出版社

建筑钢结构焊接工程施工综合技术

周文瑛 主编

中建一局集团建设发展有限公司

中冶集团建筑研究总院有限公司

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑钢结构焊接工程施工综合技术 / 周文瑛主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2011. 9
ISBN 978-7-112-13476-2

I. ①建… II. ①周… III. ①建筑结构: 钢结构—焊接
工艺 IV. ①TG457. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 167945 号

本书总结并展示中建一局集团建设发展有限公司和中冶集团建筑研究总院有限公司近几年来在钢结构焊接工程施工领域的优秀创新技术成果。内容包括超高层钢结构工程施工总承包管理、施工技术及应用、特大跨度钢结构施工焊接变形及结构形位控制技术、低合金结构钢材焊接性试验研究及评估应用、复杂节点焊接裂纹防止技术、焊接工程无损检验技术及工程质量管理与控制、国内外相关规范标准评述、《钢结构焊接规范》编制说明及相关技术资讯。本书可供建筑钢结构专业技术人员、研究人员参考使用。

* * *

责任编辑: 岳建光 张 磊

责任设计: 张 虹

责任校对: 张 颖 姜小莲

建筑钢结构焊接工程施工综合技术

周文瑛 主编

中建一局集团建设发展有限公司

中冶集团建筑研究总院有限公司

*

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

华鲁印联 (北京) 科贸有限公司制版

北京盈盛恒通印刷有限公司印制

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 21½ 插页: 6 字数: 530 千字

2011 年 10 月第一版 2011 年 10 月第一次印刷

定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-13476-2
(21257)

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)

本书编委会

主 编：周文瑛

副主编：马 昕 刘景凤 杨耀辉 苏 平
葛冬云 段 斌 马德志

编 委：刘 春 张建锋 赵 晖 李业绩

前 言

作为钢结构的一种主要连接方法,焊接在建筑钢结构中发挥了重要的作用。到目前为止,我国已建成百余幢要求抗震性能好,主要以焊接连接的高层钢结构建筑,钢结构住宅楼也已进入一个新的发展阶段;大跨度空间全焊钢结构已在各种体育馆、展览中心、大剧院、候机楼、飞机库和一些工业厂房中广泛应用;在 20 世纪 90 年代以后已建和在建桥梁中一半以上是钢桥,随着国内高速铁路、公路的发展,其沿线的跨街、跨河桥梁也大量使用钢结构,由于其承受动载,对焊接技术的要求更高。

与 20 世纪相比,被称为钢铁裁缝的焊接技术在当代建筑钢结构工程中的重要性更为突现,已成为工程建设中举足轻重的关键技术而受到各方重视,从而促进了焊接技术在建筑钢结构领域的发展。

中建一局集团建设发展有限公司和中冶集团建筑研究总院有限公司紧密合作,在国内重大钢结构工程项目建设中针对施工和质量控制的难点,开展了相应的科研、试验,施工中严格执行相关国家规程、规范,顺利、优质地建成了一批重大钢结构工程,并形成了系统的焊接技术软件,同时为企业树立了品牌。本书总结并展示双方近几年来在钢结构焊接工程施工领域的优秀创新技术成果。论文主题范围包括超高层钢结构工程施工总承包管理、施工技术及应用、特大跨度钢结构施工焊接变形及结构形位控制技术、低合金结构钢材焊接性试验研究及评估应用、复杂节点焊接裂纹防止技术、焊接工程无损检验技术及工程质量管理与控制、国内外相关规范标准评述、《钢结构焊接规范》编制说明及相关技术资讯。论文以试验数据为基础,以工程实践经验的总结为主,注重归纳、分析、论述,反映现时代钢结构焊接工程施工领域中综合创新技术与先进水平。

希望本书对相关钢结构施工有一定的借鉴作用。

周文瑛

2011 年 7 月

目 录

钢结构施工总承包管理

- 1 超高层钢结构工程施工总承包管理 (北京国贸三期/天津津塔)
..... 马 昕 杨耀辉 葛冬云 张谨孝 3
- 2 钢结构驻厂监造管理与控制
..... 崔 基 陈大牛 于有为 47

应用研究

- 3 钢结构常用低合金结构钢焊接性评定
..... 马德志 周文瑛 段 斌 67
- 4 ASTM A913 Gr60、Gr65 (QST) 高强钢在建筑钢结构工程应用的焊接性试验研究
..... 申献辉 马德志 徐贝尔 宋晓峰 74
- 5 高性能耐候建筑用钢 BRA520C 焊接性应用研究
..... 谢 琦 付彦清 刘景凤 段 斌 周新建 101
- 6 T、K、Y 管节点相贯焊缝超声波探伤工艺的研究
..... 马德志 申献辉 段 斌 108
- 7 钢结构 T 形贴角焊缝超声波探伤方法的研究
..... 宋晓峰 朱爱希 徐敬岗 李业绩 段 斌 115

焊接施工技术

- 8 奥运场馆特大跨度钢结构工程焊接施工技术综述
..... 周文瑛 123
- 9 天津津塔超高层钢板剪力墙、钢管混凝土柱复杂节点优化设计
..... 任常保 周文瑛 葛冬云 马平阳 何云昌 160
- 10 天津津塔钢结构压缩变形计算及监测
..... 葛冬云 高元仕 韦疆宇 李 鹏 王 忠 182
- 11 超高层钢结构复杂异形构件安装焊接工法
..... 葛冬云 张 斌 韦疆宇 王维迎 周文瑛 190
- 12 天津津塔超高层钢结构钢板剪力墙荷载下焊接技术
..... 韦疆宇 葛冬云 周文瑛 王维迎 路 兰 203

13	国家游泳中心钢结构施工技术	庞京辉 高俊峰 尹敏达 周文瑛 路克宽	217
14	几何封闭体钢结构整体焊接变形控制	张 斌 周文瑛 庞京辉 尹敏达	229
15	中国石油大厦工程现场焊接技术及新工艺应用	葛冬云 王 忠 韦疆宇	238
16	陶瓷衬垫在焊接中的应用	马德志 马志新 申献辉 段 斌 王庆鹏	245

质 量 控 制

17	焊接层状撕裂工程实例、主因及对策评述——T形、十字形及角接接头	周文瑛 田启良 方 军	253
18	国内建筑钢结构工程焊接质量控制现状评述	段 斌 谢 琦	269

国家规范、标准

19	国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的编制	马德志	277
20	焊接冷裂纹的预防及国内外规范最低预热温度规定	周文瑛 马德志 苏 平 费新华 申献辉	282
21	钢结构工程冬季焊接施工的难点、技术与安全——国内外各行业施工规范对最低施焊温度的规定	周文瑛	295
22	国内外相关钢焊缝超声波检验标准的对比探讨	朱爱希 段 斌 徐敬岗 傅彦青	300
23	欧洲焊接技术规范在建筑钢结构中的应用	马德志 申献辉 王庆鹏	310

焊接工艺评定与焊工培训考试

24	特殊焊缝位置焊接工艺及焊工培训	葛冬云 张 斌 韦疆宇 刘贤才	319
25	Q390GJD 钢板负温度焊接工艺评定试验	葛冬云 韦疆宇	325
26	ASTM A572 Gr50 级热轧 H 型钢及 Q345C 钢低温焊接工艺评定	葛冬云 王 忠	329

钢结构施工总承包管理

超高层钢结构工程施工总承包管理 (北京国贸三期/天津津塔)

马 昕 杨耀辉 葛冬云 张谨孝
(中建一局集团建设发展有限公司)

摘 要:从钢结构工程施工总承包的核心技术,总承包管理形式、团队组成,全面论述总承包管理模式的特点、优势。以北京国贸三期、天津津塔工程为例,重点并全面阐述总承包管理工作内容,说明总承包管理模式是工程质量、工期、成本控制目标的有力保证。

关键词:总承包管理 深化设计 构件加工制作 现场安装 焊接

0 序言

20 世纪 80 年代,内地有代表性的钢结构工程施工都是由境外钢结构企业承包,国内企业参与劳务,例如北京京广中心,北京国贸一期,深圳发展中心,深圳国贸等。

20 世纪 90 年代,内地有代表性的钢结构工程施工均采取境外企业总包,内地企业分包模式,例如上海金茂大厦、深圳地王大厦、大连森茂大厦、上海中银大厦、北京国贸二期等。

进入 21 世纪,中国的钢结构工程施工走上了内地企业独立总承包道路,其中如北京 LG 大厦、国家游泳中心(水立方)、北京国贸三期、天津津塔等是一局集团的代表工程(见图 1)。一局集团投入了最优秀的管理团队,形成了一局集团独有的钢结构总承包管理模式。把十几年累积的钢结构管理经验和施工技术全面应用在实践中,实现了北京国贸三期 480d 完成主楼全部 5.8 万 t 钢结构施工的中国速度。充分说明总承包管理模式是工程质量、工期、成本控制目标的有力保证。

超高层钢结构总承包管理具有技术含量高、自主性强、协作面广、专业环节多、团队人员素质要求高的特点,分别简述如下:

1 钢结构工程施工总承包的核心技术

- (1) 节点深化设计及计算,要求满足强节点的抗震安全原则;
- (2) 钢构件加工详图设计,细化装配焊接工艺以确定复杂节点构造设计;
- (3) 优质钢板、热轧型钢定尺定量采购,严防因钢材质量问题或供货不及时延误工程;
- (4) 3~5 个加工厂质量及进度全程管控,尤其是加工厂分工接口的同步衔接;
- (5) 钢结构现场安装及焊接技术优化,是总包方管理与施工作业的重点所在;

(6) 施工计算:内外筒结构压缩变形差异分析计算,以确定钢柱实际加工长度,保证楼面水平度;典型层钢梁施工验算,以确定各个过程中楼面梁的稳定性以及钢梁的预起拱值;钢板墙焊接过程应力监测,据此优选焊接顺序。

	
中国国际贸易中心三期	天津环球金融中心·津塔
总高度 330m，地上 74 层，地下 4 层，钢结构总重 5.8 万 t，现在是北京最高的建筑。 我公司承担该工程总包和钢结构总包	总高度为 336.9m，地上 75 层，地下 4 层，钢结构总重 6.8 万 t，目前是天津最高的建筑。我公司承担工程总包，包括钢结构

图 1 一局集团·超高层钢结构总承包代表工程

作为总包方通过全面掌控钢结构节点深化设计、钢构件加工详图设计、钢材采购订货、工厂加工制作、现场安装测量焊接等过程的每一个细节，才能达到全过程质量、进度控制，有效降低经济成本、缩短时间成本。

2 钢结构工程施工总承包管理形式

(1) 自主完成深化节点设计计算——对接业主设计顾问，保证信息的及时沟通，使节点设计以及与机电、装饰、幕墙工程之间协调关系等各种建议方案符合并完善设计意图，指导加工详图的设计；

(2) 自主完成构件加工详图设计——加工详图是构件制作的基本依据，总包方自主完成加工详图设计为强化加工厂管理创造了必要条件；

(3) 直接与钢铁企业签订采购合同——减少中间环节，保证钢材质量及供货；

(4) 钢材和加工图纸直接发给工厂——避免钢材供货及图纸的延误；

(5) 自行组织钢结构吊装、测量、焊接等——避免层层分包，有效控制施工质量及进度。

一局集团通过以上管理形式实现全方位的总承包管理模式，并形成了企业独有的品牌风格。

3 钢结构工程施工总承包管理的优势

(1) 以现场施工需求为核心，深化设计、加工详图、钢材采购、构件制作各环节紧密围绕配合，实现钢结构总体进度计划可控；

(2) 钢结构吊装与土建施工密切配合，现场统一协调管理；

(3) 解决组合结构施工复杂的难题，在深化设计阶段创造与钢筋混凝土工程衔接的良好条件；

(4) 尽可能降低现场焊接难度，落实工厂制作焊接工艺的优化。桁架层复杂结构全面实施工厂预拼装，提高现场吊装效率。

4 钢结构工程施工总承包管理团队组成

总承包管理团队人员要求专业齐全，经验丰富。一局集团在国贸三期、天津津塔两工程总包管理团队人员组成如表 1 所示。

总包管理团队人员组成			表 1
工程名称	国贸三期	天津津塔	说 明
顾问团队	10	4	国贸三期配备了台北 101 大厦设计顾问、施工顾问，随着施工管理经验加强，顾问团队人员减少
深化设计人员	51	32	
设计协调管理	12	9	设计人员技术水平提高，单个项目人员减少
预算采购人员	9	9	保持稳定
加工监造人员	6	9	天津津塔比国贸三期时增加了一个大型加工厂（曹妃甸）
现场安装人员	18	18	保持稳定
总包人员配备合计	106	81	因管理团队业务水平稳定提高，天津津塔比国贸三期管理人员减少 25 人

在项目经理的统一领导下，结构施工分为土建和钢结构两部分有机结合体。在项目内部形成土建、钢结构、机电、装修、幕墙为一体的组织系统。以某个钢结构为主体的项目为例，钢结构总包管理团队组织形式如图 2 所示。

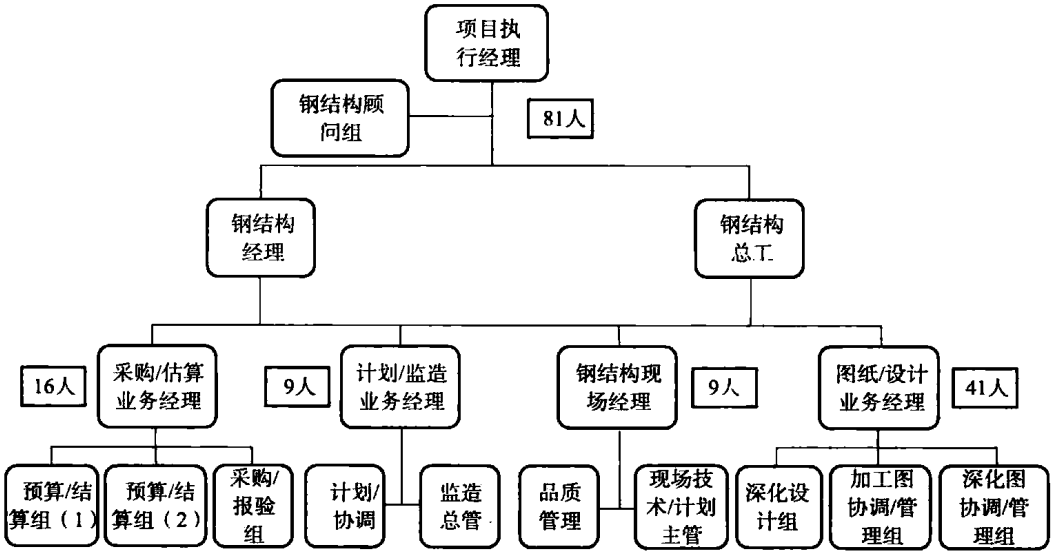


图 2 钢结构总包管理团队组织形式

5 钢结构工程施工总承包管理工作内容

节点深化设计、预算/采购、加工、安装各环节程序如图 3 所示。

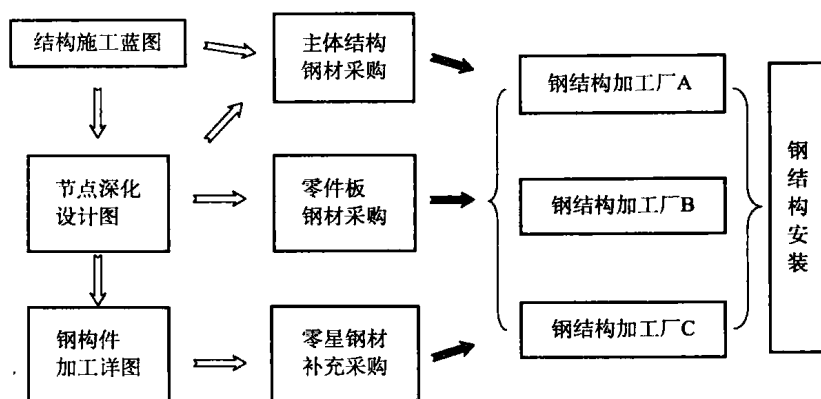


图 3 钢结构工程施工总承包工作各环节程序

5.1 钢结构深化设计及加工图设计

5.1.1 设计图模式及技术要求

依据业主提供的结构和建筑施工图，深化设计人员进行节点构造设计及连接节点计算，同时绘制详细的构件平、立面布置图、标准节点图、特殊节点图等；再以深化图为依据绘制每个构件加工详图，在图中明确每个零件放样图、装配图及焊缝要求。一般工程的深化设计图纸是用 Xsteel 完成，但工艺坡口、焊缝表达用程序是无法完成的，因而对复杂节点构件采用的是全部手工画图。

深化设计过程中，充分与土建、机电、幕墙、电梯等专业协调配筋、洞口、埋件、二次结构等在结构构件上的预留条件。

5.1.2 设计管理

(1) 建立深化设计管理台账：深化设计进度台账，原设计院变更台账，原设计院图纸会审洽商台账，深化设计变更台账；

(2) 建立加工详图管理台账：加工详图设计进度台账，详图设计变更台账，详图会审记录台账，变更签证管理台账；

(3) 工作目标：快速、准确、无遗漏、低损失。

5.1.3 设计能力配备

北京国贸三期深化设计图共 635 张，加工图共 29920 张，共组织 51 人，自 2005 年 5 月至 2006 年 6 月将所有图纸设计完成。

天津津塔深化设计图共 905 张，加工图共 17736 张，共组织 32 人，自 2008 年 3 月至

2009 年 5 月将所有图纸设计完成。

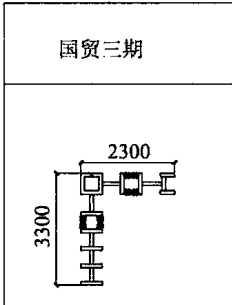
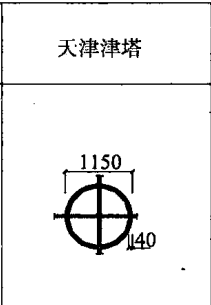
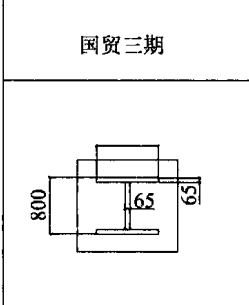
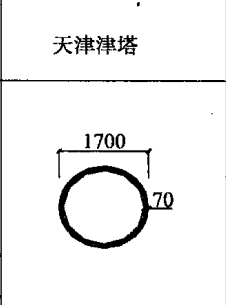
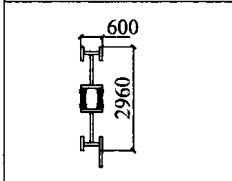
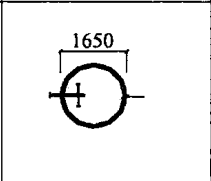
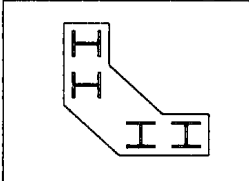
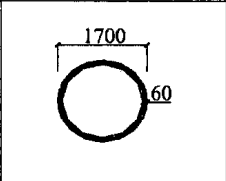
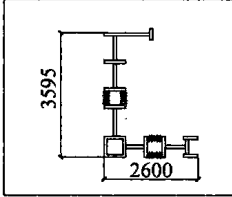
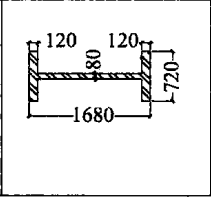
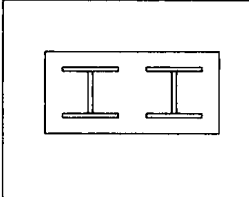
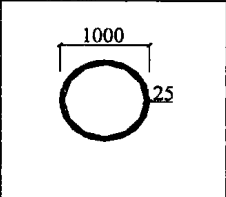
5.1.4 设计阶段工作内容

(1) 在深化设计阶段可以根据工程具体特点，深入完成柱脚节点、不同类型柱与梁连接节点、梁与梁、柱与支撑、梁与支撑、钢板墙连接等节点设计，同时根据各专业的需要，完善配合工作，如钢筋与钢结构的连接，电梯结构与主结构的连接等。例如：国贸三期钢板墙连接，经过深化设计及施工实际的配合计算，通过与结构设计的协调，最终采用高强螺栓连接方式，尚属国内首例。

(2) 完善伸臂桁架等复杂节点设计，根据工程特点及安装加工焊接工艺等条件，对施工图节点构造提出合理建议，并根据核心筒与外筒不均匀沉降、压缩、徐变计算和监测结果，对伸臂桁架连接形式和封闭时间提出合理建议。例如：国贸三期、天津津塔的结构体系中都设置了伸臂桁架和带状桁架，我们根据内外筒沉降、压缩、徐变计算结果，对伸臂桁架与内外筒柱连接，在施工阶段设计斜腹杆采用销轴连接，待结构封顶后再焊接固定。

5.1.5 深化设计图表达的信息与技术要求

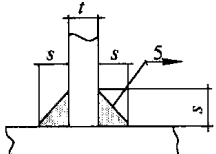
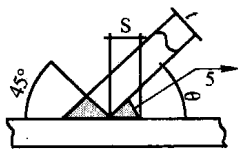
(1) 钢柱、钢梁及桁架截面形式（钢柱截面实例见表 2）

钢柱截面实例				表 2
核心筒内钢柱截面		外筒内钢柱截面		
国贸三期	天津津塔	国贸三期	天津津塔	
				
				
				

(2) 深化设计说明文件包含焊接工艺要求（部分实例见表 3～表 6）

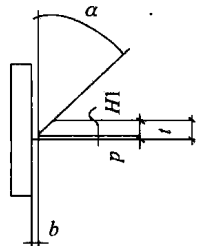
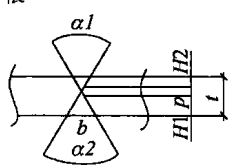
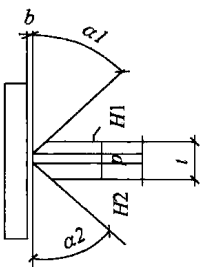
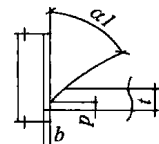
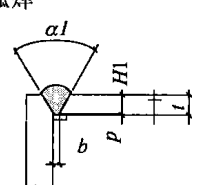
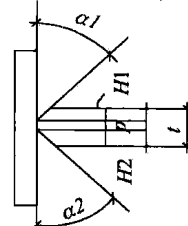
贴角焊接列表

表 3

形式		尺寸		
贴角焊接图一 	贴角焊接图二 	t	s	焊接方法
		6~8	6	焊条电弧焊 埋弧焊 CO ₂ 气体保护焊
		10	8	
		12	10	
		14~16	12	
		20	16	

工厂自动焊接列表

表 4

编号	形式	尺寸	编号	形式	尺寸
GA	熔透焊 SC-TL-2 F 埋弧焊 清根 	$t \leq 20$ $b=0$ $p=10$ $H1=t-p$ $\alpha=60^\circ$	GG	埋弧焊 SC-BK-2 F 清根 	$t \geq 20$ $\alpha1=55^\circ$ $\alpha2=60^\circ$ $b=0$ $p=5$ $H1=2/3(t-p)$ $H2=1/3(t-p)$
GB	熔透焊 SC-TK-2 F 埋弧焊 清根 	$t > 20$ $\alpha1=55^\circ$ $\alpha2=60^\circ$ $b=0$ $p=5$ $H1=2/3(t-p)$ $H2=1/3(t-p)$	GH	熔透焊 SC-TL-B1 埋弧焊 不清根 	$t > 10$ $b=6$ $p=0 \sim 2$ $\alpha1=45^\circ$
GC	箱形截面熔透焊焊接 SC-CV-B1 埋弧焊 	$\alpha1=30^\circ$ $b=8$ $p=2$ $H1=t-p$	GJ	部分熔透焊 埋弧焊 	$t > 16$ $\alpha1=55^\circ$ $\alpha2=55^\circ$ $p=6$ $H1=1/2(t-p)$ $H2=1/2(t-p)$

工厂手工焊接列表

表 5

编号	形式及尺寸	焊接方法	编号	形式及尺寸	焊接方法
GD	熔透焊 清根 CO ₂ 气体保护焊 	GC-TK-2 $t \geq 16$ $\alpha_2 = 60^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $p = 0 \sim 3$ $H1 = 2/3(t-p)$ $H2 = 1/3(t-p)$	GK	熔透焊 清根 CO ₂ 气体保护焊 FHVO 	GC-BX-2 $t \geq 16$ $b = 0 \sim 3$ $p = 0 \sim 3$ $\alpha_1 = 60^\circ$ $\alpha_2 = 60^\circ$ $H1 = 2/3(t-p)$ $H2 = 1/3(t-p)$
GE	熔透焊 清根 CO ₂ 气体保护焊 	GC-TL-2 FHVO $t \geq 6$ $p = 0 \sim 3$ $\alpha_1 = 45^\circ$ $b = 0 \sim 3$	GL	部分熔透焊 CO ₂ 气体保护焊 	$t \geq 20$ $b = 0 \quad p = 0 \sim 6$ $H1 = 1/4t$ $\alpha = 50^\circ$

工地焊接列表 (焊接方法: 全部采用手工 CO₂ 焊接)

表 6

编号	形式及尺寸	焊接位置	编号	形式及尺寸	焊接位置
XA		钢柱腹板对焊	XB		钢柱腹板对焊
XD		钢梁翼板焊接	XP	清根 	钢梁腹板焊接

节点大样图和加工图应严格按以上图示方式标注。

(3) 信息完整的钢梁端头列表

一根钢梁的两端头同时给出节点索引号和节点大样编号, 另外还有截面尺寸/材质/端头焊接/栓接/螺栓数量/连接板厚度等丰富的信息 (见表 7)。

(4) 设计说明、平面布置索引图、钢梁列表与节点图的关系示例 (图 4)

(5) 节点图焊缝标注与总说明保持一致 (图 5)

构件一览表

表 7

序号	构件编号	截面尺寸		截面 类型	材质	与外框架连接端					
		$D \times B \times t \times T$ (mm)				连接形式图案 引编号/图号	连接大样图案索引 号/图号	螺栓规格	螺栓 数量	连接板厚 (mm)	连接板 块数
1	B2GL04 - 20	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ5 (SS33 - 01)	WK001a (SS31 - 003)	M24 (10.9S)	4	6	2
2	B2GL04 - 21	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ2 (SS33 - 01)	WJ85 (SS34 - 06)	M24 (10.9S)	4	10	1
3	B2GL04 - 22	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ5 (SS33 - 01)	WK001a (SS31 - 003)	M24 (10.9S)	4	6	2
4	B2GL04 - 23	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ2 (SS33 - 01)	WJ86 (SS34 - 06)	M24 (10.9S)	4	10	1
5	B2GL04 - 24	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ5 (SS33 - 01)	WK002a (SS31 - 003)	M24 (10.9S)	4	6	2
6	B2GL04 - 25	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ2 (SS33 - 01)	WJ87 (SS34 - 06)	M24 (10.9S)	4	10	1
7	B2GL04 - 26	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ5 (SS33 - 01)	WK003a (SS31 - 003)	M24 (10.9S)	4	6	2
8	B2GL04 - 27	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ2 (SS33 - 01)	WJ23 (SS34 - 01)	M24 (10.9S)	4	10	1
9	B2GL04 - 28	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ5 (SS33 - 01)	WK006a (SS31 - 004)	M24 (10.9S)	4	6	2
10	B2GL04 - 29	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ2 (SS33 - 01)	WK006a (SS31 - 004)	M24 (10.9S)	4	10	1
11	B2GL04 - 30	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ5 (SS33 - 01)	WJ23 (SS34 - 01)	M24 (10.9S)	4	6	2
12	B2GL04 - 31	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ2 (SS33 - 01)	WK007a (SS31 - 004)	M24 (10.9S)	4	10	1
13	B2GL04 - 32	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ5 (SS33 - 01)	WJ23 (SS34 - 01)	M24 (10.9S)	4	6	2
14	B2GL04 - 33	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ2 (SS33 - 01)	WK007a (SS31 - 004)	M24 (10.9S)	4	10	1
15	B2GL04 - 34	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ5 (SS33 - 01)	WJ25 (SS34 - 02)	M24 (10.9S)	4	6	2
16	B2GL04 - 35	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ2 (SS33 - 01)	WK008a (SS31 - 004)	M24 (10.9S)	4	10	1
17	B2GL04 - 36	HN400×800×8×13		A	Q345C	WJ5 (SS33 - 01)	WJ25 (SS34 - 02)	M24 (10.9S)	4	6	2