

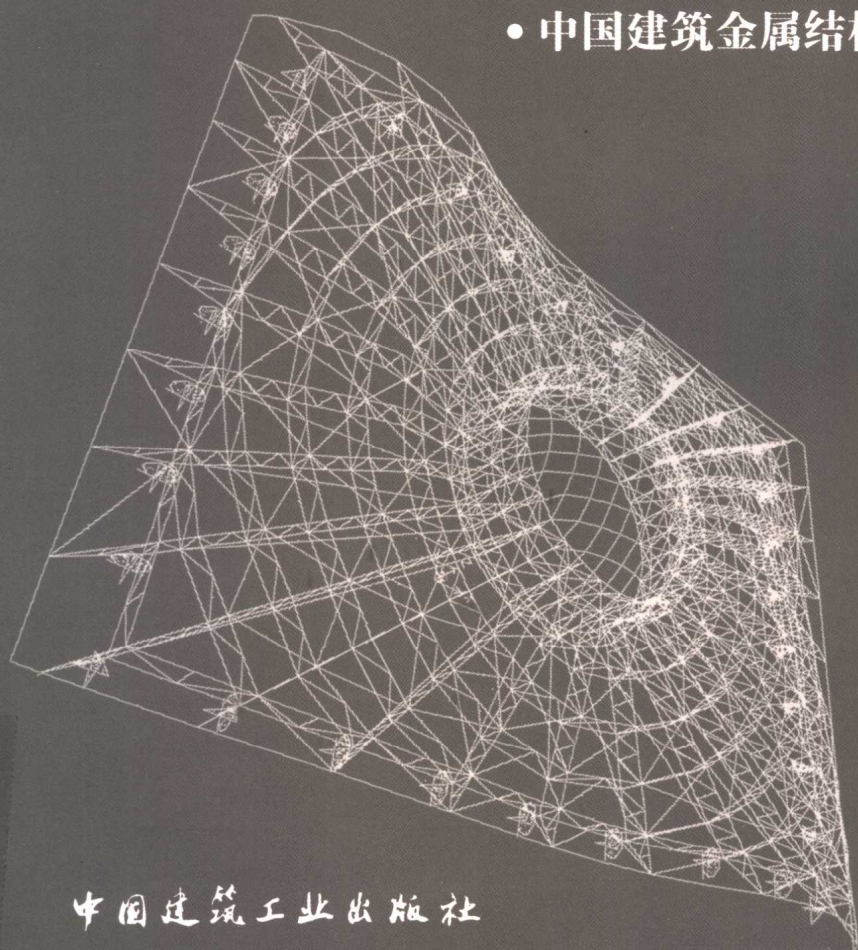
中国大型建筑钢结构工程

ZHONGGUODAXINGJIANZHUGANGJIEGOU GONGCHENG

设计与施工

SHEJIYUSHIGONG

• 中国建筑金属结构协会建筑钢结构委员会专家组



中国建筑工业出版社

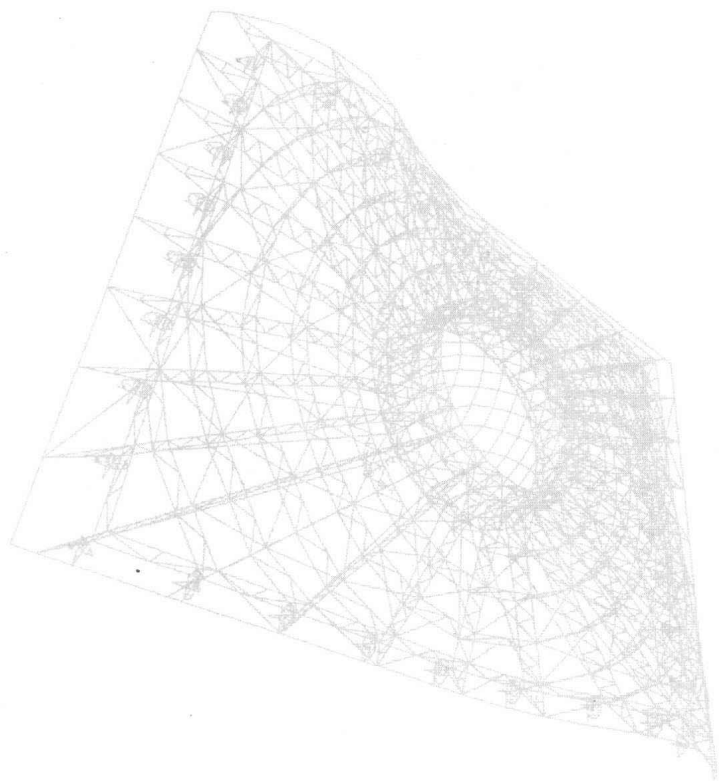
Z 中国大型建筑钢结构工程

ZHONGGUODAXINGJIANZHUGANGJIEGOU GONGCHENG

设计与施工

SHEJIYUSHIGONG

• 中国建筑金属结构协会建筑钢结构委员会专家组



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国大型建筑钢结构工程设计与施工/中国建筑金属结构协会建筑
钢结构委员会专家组. —北京: 中国建筑工业出版社, 2007
ISBN 978-7-112-09229-1

I. 中... II. 中... III. ①钢结构-结构设计-文集②钢结构-
工程施工-文集 IV. TU391.04-53 TU758.11-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 051465 号

本书集中编辑收录了我国大型建筑钢结构工程设计与施工方面的一些论文, 其中大型建筑钢结构工程的制作和安装技术 64 篇, 建筑新材料和焊接工艺 5 篇, 滑移技术 4 篇, 围护结构 3 篇, 软件介绍 1 篇, 共 77 篇。这些论文记录了我国建筑钢结构当前的发展, 介绍了若干新技术、新工艺, 对促进钢结构行业的进一步发展, 技术提高和创新等方面将起到积极作用。

本书适合从事建筑钢结构设计、制作、安装、科研、教学等工作的专业人士阅读, 也可供大中专院校相关专业教学参考。

* * *

责任编辑: 咸大庆 武晓涛
责任设计: 肖广慧 张政纲
责任校对: 汤小平

中国大型建筑钢结构工程设计与施工

中国建筑金属结构协会建筑钢结构委员会专家组

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
新华书店经销
北京嘉泰利德公司制版
北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 889×1194 毫米 1/16 印张: 36 字数: 872 千字
2007 年 5 月第一版 2007 年 5 月第一次印刷
印数: 1—3,000 册 定价: 78.00 元
ISBN 978-7-112-09229-1

(15893)

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)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

《中国大型建筑钢结构工程设计与施工》

编辑委员会

主 编：张爱兰

副主编：蔡益燕 郭彦林

编 委：（按姓氏笔画排序）

丁芸孙 弓晓芸 刘树屯 刘贤才 范 重

柯长华 贺贤娟 郭彦林 路克宽 鲍广鑑

蔡益燕 薛 发

秘书处：顾文婕 申凤琴

鋼結構技術人才輩出
姚兵

中国建筑钢结构专家委员会高级顾问 姚兵题词

鋼構建築節能省
地保護環境

杜宗翰

中国建筑金属结构协会会长 杜宗翰题词

序 言

本论文集反映了我国近年建成的和在建的部分大型钢结构工程的研究、设计、制作和安装技术，侧重制作和安装方面。施工中包含的设计计算工作往往具有更大的难度，突出地表现在奥体大型工程与其配套的相关工程上，如国家体育场、中央电视台新台址主楼、国家游泳中心、沈阳奥运体育馆、国家体育馆等。国家体育场规模庞大，主体结构由很多大断面弯扭构件组成，箱形截面扭曲构件的几何关系给构件放样加工带来很大困难，构件纵横交错也给结构安装带来很大困难。中央电视台主楼的两座塔楼双向倾斜 6° ，很难描述构件定位的实际尺寸和在平面图上表达空间点的具体位置，采用的三箱形大截面柱是以前从未用过的，采用 Q460 等高强度钢材；另外，顶部 14 层高的楼层外伸六七十米，其安装和合拢的难度可以想像。再如，沈阳奥运体育馆，结构跨度 360m，规模庞大，采用大直径钢管作罩棚；最大钢管直径超过 1.2m，为此研究开发了新的加工工艺和技术，为今后大直径圆管加工创造了有利条件。其他工程在制作安装中遇到的挑战和创新也不少，在此不一一列举。这些工程都已高质量顺利完成制作和安装，我们对承建单位取得的丰硕成果感到由衷的钦佩。超大型结构的制作安装过程和要求，十分复杂和严格，不深入了解其实际情况是难以想像的，这些论文将引导我们进入这些工程的实践中学习、体验。论文集从各个方面和不同角度，充分反映了我国钢结构建设者们面临的困难和问题，以及这些问题是如何解决的，对于了解我国建设新成就的取得，以及今后类似问题的解决，都有重要参考价值。

本论文集包括大型建筑钢结构工程的设计、制作和安装技术 64 篇，建筑新材料和焊接工艺 5 篇，滑移技术 4 篇，围护结构 3 篇，软件介绍 1 篇，共 77 篇。但限于篇幅，仍有不少文章没有收录进来，专家组将在适当的时机，根据我国钢结构行业发展的状况，继续以这种形式与中国建筑工业出版社合作，选择收录一些能反映我国钢结构行业新面貌、新水平的文章编辑出版。

当前，我国建筑钢结构行业十分兴旺，处于高速发展时期，一大批新的钢结构高层建筑、机场候机楼、会展中心、体育场馆、工业厂房等钢结构建筑已在祖国各地耸立起来。这里介绍的大型工程都是近年完成的，在制作安装方面各具特色。这些工程，虽然只能代表我国近年钢结构工程的局部，但在一定程度上反映了我国钢结构行业在 2007 年的新面貌、新水平。这些论文记录了我国建筑钢结构当前的发展，介绍了若干新技术、新工艺，对促进钢结构行业的进一步发展，技术提高和创新等方面将起到积极作用。

蔡益燕
2007 年 3 月

目 录

第一篇 大型建筑钢结构工程的设计、制作与安装

奥体工程大跨度钢结构设计施工若干问题的建议	刘树屯 (3)
2008 年北京奥运会场馆屋盖结构设计与施工科技创新	刘锡良 (11)
钢结构住宅近年的发展概况	薛发 (20)
国家体育场大型空间箱形截面扭曲构件的加工技术	周永明等 (25)
国家体育场钢结构施工关键技术	李久林等 (31)
国家体育场(鸟巢)钢结构工程加工与安装关键技术	黄明鑫等 (45)
国家体育场(鸟巢)工程钢结构空间巨型桁架安装工艺	封叶剑等 (52)
国家体育场(鸟巢)钢结构安装工程重型桁架柱单机立直安装工艺	魏义进等 (59)
国家体育场(鸟巢)钢结构安装工程焊接质量控制的有效途径	戴为志等 (66)
国家体育场钢结构焊接技术	胡晓辉 (76)
无线温度测试系统在“鸟巢”钢结构合拢和卸载施工中的应用	张玉玲等 (84)
国家体育场(鸟巢)工程钢结构支撑塔架设计	封叶剑等 (89)
国家体育场钢结构支撑卸载分析	邱德隆等 (99)
国家体育场大跨度钢结构设计	范重等 (108)
国家游泳中心钢结构安装技术	庞京辉等 (126)
国家游泳中心钢结构施工技术	周观根等 (136)
国家游泳中心钢结构焊接技术	周观根等 (143)
首都博物馆新馆大跨度结构设计中的创新技术	范重等 (148)
中央电视台新台址主楼钢结构节点设计及详图设计中三维模型应用探讨	孙全宏等 (173)
中央电视台新台址主楼抗震性能研究	郭彦林等 (182)
中央电视台新台址主楼倾斜钢结构安装技术	王宏等 (199)
中央电视台新台址主楼施工技术及变形预调值研究	郭彦林等 (206)
国家体育馆双向张弦钢屋架施工技术	杨郡 (222)
国家体育馆型钢骨架的制作工艺	战学文等 (228)
国家体育馆工程中滑移胎架的计算分析	娄卫校等 (232)
国家体育馆滑移过程支撑点转换方案	徐建设等 (237)
国家体育馆钢屋盖工程支承架设计	黄明鑫等 (242)
沈阳奥林匹克体育中心体育场罩棚钢结构工程加工、制作及安装技术	高继领等 (248)
沈阳奥体中心体育场大口径厚壁钢管的弧形冷弯曲工艺技术方案总结	赵明祥等 (256)
保利国际广场钢结构安装施工技术	周伟麟等 (264)
中央电视台新台址钢结构工程外框柱的制作	宗友发等 (268)
北京老山自行车馆铸钢支座预埋件施工	苏建成等 (274)
北京老山自行车馆双层球面网壳安装	张艳明等 (278)
北京老山自行车馆网壳结构设计与施工	刘锡良等 (285)
大跨度弦支穹顶结构预应力施工技术研究	周观根等 (292)

北京理工大学体育馆钢屋盖结构设计	张英等 (299)
北京奥运五棵松体育馆大截面异型薄壁钢柱制造技术	李新武等 (306)
拔杆群接力提升法在大跨度网壳施工中的应用	张艳明 (310)
205m 跨钢结构施工关键技术	张玉兰等 (314)
昆明国际会展中心展馆钢结构施工技术	沈家文等 (322)
电厂 1000MW 超超临界燃煤机组主厂房钢结构制造	肖瑾等 (325)
液晶电子厂房钢结构制造技术	肖瑾等 (330)
高耸桅杆倒装法安装技术	范永辉等 (336)
大跨度干燥棚网壳结构设计探讨	刘金荣等 (339)
复旦大学正大集团体育馆钢结构制作与安装	顾拥军等 (343)
浙江省电力生产调度大楼巨型转换桁架的吊装施工	何永泉等 (350)
南宁国际会展中心 (Ⅱ期) 钢结构工程高速制作安装方案的剖析	夏克俭 (357)
滨州国际会展中心结构设计	孙彤等 (362)
山东荣成体育馆施工技术	王煦等 (369)
成达大厦钢结构设计	景亭等 (376)
山东广电中心综合业务楼裙房 C 钢结构安装施工技术	周伟麟等 (384)
金鼎大厦钢构件制作质量控制	朱岳军等 (388)
首都机场 T3A 航站楼超大型网架结构施工技术	周观根等 (395)
钢结构超重构件施工技术	余建国等 (402)
天津无缝钢管有限责任公司中试基地炼钢工程主厂房大型钢吊车梁制作工艺	汤飞等 (408)
北京首都国际机场地面交通中心 (GTC) 大跨度厚板变截面圆弧拱的加工制作工艺	刘涛等 (413)
北京七星摩根广场写字楼 A 座钢结构施工测量技术	杨德洪等 (417)
昌平体育馆空间巨型厚板桁架制作工艺	胡冲等 (424)
天津博物馆	陈志华 (428)
空间大悬挑预应力索桁钢结构制作安装技术	夏克俭 (431)
劲性钢结构施工技术	胡凤琴等 (445)
天津蚌埠桥钢箱梁安装工艺	孙先锋等 (450)
谈谈高强度螺栓连接的设计	蔡益燕 (457)
高强度螺栓在钢结构连接工程中的质量控制	朱岳军等 (461)

第二篇 建筑新材料和焊接工艺

Q460E 钢材在中央电视台新台址主楼钢结构工程中的焊接应用	高国兵等 (469)
层状撕裂防止措施的研究	赵东球 (478)
国家体育场钢结构工程低温焊接技术应用研究	李久林等 (481)
奥运“鸟巢”工程机器人自动焊探索	戴为志等 (487)
Q460E 钢成功应用在国家重点工程	曹晓春等 (493)

第三篇 滑移技术

钢结构整体液压同步累积滑移施工	刘建普等 (503)
顶推式滑移施工中的移动支撑设计	李瑞锋 (514)
整体提升及高空滑移综合技术在高层建筑施工中的应用	王煦等 (520)

广东省博物馆新馆钢结构工程施工技术	王煦等 (531)
-------------------------	-----------

第四篇 维护结构

浅谈体育场馆屋面工程	弓晓芸 (543)
北京恩布拉科雪花压缩机迁扩建工程超长金属压型板屋面施工技术 & 防水处理	朱晓东 (547)
严寒地区围护设计应注意的问题	张先进 (552)

第五篇 软件介绍

三维深化设计及详图绘制软件 Tekla Structures (Xsteel) 在奥运工程中的应用	孙晓彦等 (559)
---	------------

第一篇

大型建筑钢结构工程 的设计、制作与安装

奥体工程大跨度钢结构设计施工若干问题的建议

刘树屯

(中国航空工业规划设计研究院, 北京 100088)

摘 要: 本文对大跨钢结构设计方案、推广应用高性能钢材、结构安全等级的掌握、焊缝等级的选用及施工因素对设计承载能力的影响进行了论述。

关键词: 设计方案 高性能钢材 承载能力 残余应力

一、体育场屋盖设计方案应采用轻型结构、应考虑将看台结构作为传力的支承体系

近些年来,我国陆续建成了几个大跨度奥运体育场。南京奥体中心主体育场屋盖结构是由与水平面成 45° 倾斜的、跨度为361.58m的三角形桁架拱和有箱形钢梁形成的马鞍形空间网壳结构,用钢量约12153t。整个屋盖结构由主拱和箱形梁外端“V”形支承将荷载传至下部看台(图1), 45° 倾斜主拱宛如飘带,结构体系造型新颖美观。重庆奥体中心主体育场屋盖结构也是由跨度314m的三角形桁架拱和空间网壳组成,网壳一端支承在看台上,将荷载传至下部看台结构(图2)。



图1 南京奥体中心主体育场

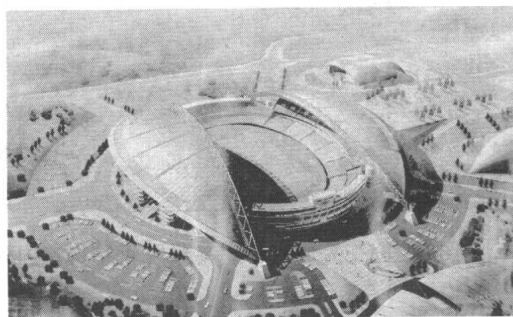


图2 重庆奥体中心体育场

沈阳奥林匹克体育中心体育场(图3)为容纳60000人的大型体育场,罩棚钢结构屋面为以橄榄叶的王冠为设计概念所设计成的跨度360m的大型屋顶,屋面罩棚结构采用单层网壳结构体系,南北罩棚内侧悬挑处各设置一空间加劲三角桁架,屋面网壳采用单根大口径钢管,一端支撑在地面,另一端直接与悬挑端的空间加劲桁架相贯连接。本罩棚钢结构总重量约12000t,工程建筑面积 103992m^2 。这些工程的共同特点是屋盖钢结构充分利用下部看台作为传力结构,屋盖方案采用轻型网壳和钢管桁架落地拱,造型新颖,用钢量只有“鸟巢”的 $1/4$ 。

“鸟巢”钢结构采用了与看台完全脱开的方案(图4、图5),水平荷载通过桁架由钢结构柱传至柱底,而巨大的柱底水平力由与看台基础脱开的巨型柱脚传递,结果造成钢结构杆件太大、钢板太厚,总用钢量超过42000t。如果在屋盖门架柱顶处、看台顶部给门架增设支点,利用下部看台作为传力结构,将极大减少整体钢结构的内力、减少钢材用量。而且这样做并不影响“鸟巢”的建筑外形效果,也不影响室内观众视线。计算简图见图6。表1给出了在静荷载作用下增设支点后的柱脚内力计算结果,其中 F_z (支撑)、 F_x (支撑)分别表示增设支点后的24个柱脚处的竖向力、水平力; F_z 、 F_x 分别表示不增设支点、按照原设计计算简图计算的24个柱脚处的竖向力、水平力。计算结果表明, F_z/F_z (支撑)=

1.57~1.97, $F_x/F_x(\text{支撑})=2.39\sim3.64$, 即增设支点后柱脚竖向力、水平力仅为原设计计算简图的57%、33%。

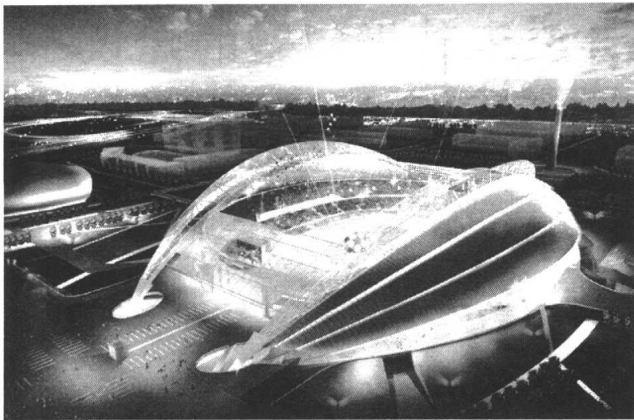


图3 沈阳奥林匹克体育中心体育场

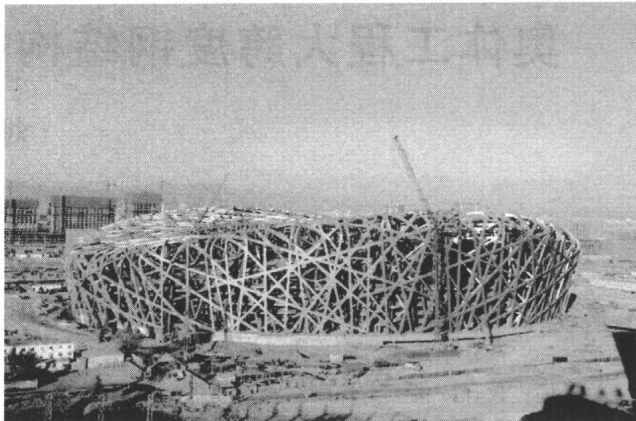


图4 施工完成后的“鸟巢”（钢结构与看台完全脱开）

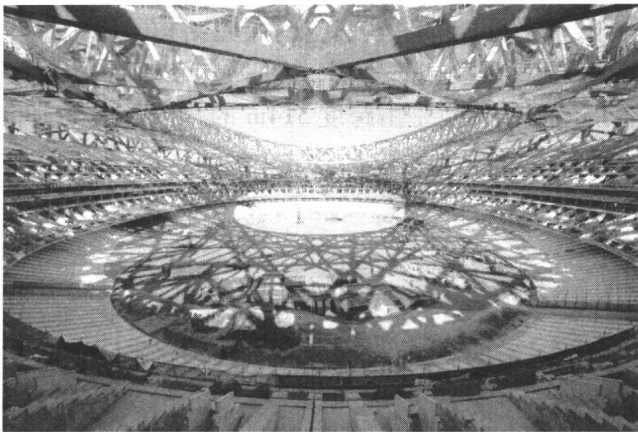


图5 施工完成后的“鸟巢”钢结构室内效果图

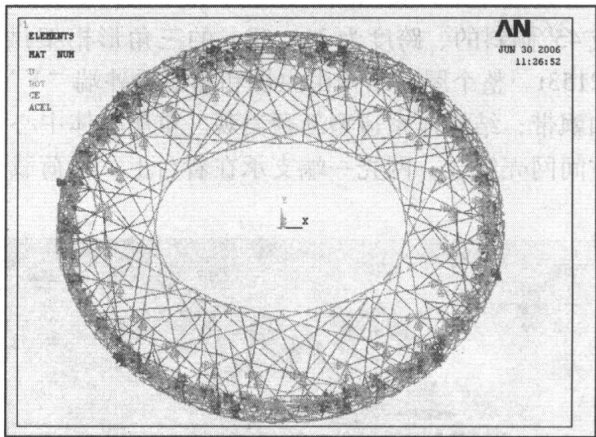


图6 看台作支点计算简图

看台作支点方案与原设计方案柱底内力比较

表 1

NODE	$F_z(\text{支撑})$	F_z	$F_z/F_z(\text{支撑})$	$F_x(\text{支撑})$	F_x	$F_x/F_x(\text{支撑})$
1	7066.7	12483	1.766454	-1341.9	-3887	2.896639
3	8852	15398	1.739494	-1758.5	-4219.2	2.399318
5	6634.6	10742	1.619088	-333.04	-1211.7	3.638302
7	6894.6	11156	1.618078	-576.97	-1422.1	2.464773
9	6990.7	10988	1.571803	100.63	291.36	2.895359
11	7108.2	11721	1.648941	347.01	1081	3.115184
13	6637.6	10922	1.645474	247.39	900.53	3.640123
15	8576.9	15128	1.763807	1633.4	4121.7	2.523387
17	7665.2	14173	1.849006	1229.5	3690.5	3.001627
19	8025.4	14745	1.837292	2244.2	6329.6	2.820426
21	9572.8	17794	1.858808	2742.5	7797	2.843026
23	8922.3	17596	1.972137	2070.3	6001.8	2.899

续表

NODE	F_z (支撑)	F_z	F_z/F_z (支撑)	F_x (支撑)	F_x	F_x/F_x (支撑)
25	6624.3	11974	1.807587	1412.4	4034	2.856131
27	8843.3	15382	1.739396	1653.6	3987.4	2.411345
29	6642.3	10762	1.620222	322.59	1188.1	3.683003
31	6892.8	11136	1.615599	489.31	1203.1	2.458768
35	7114.7	11726	1.648137	-379.81	-1175.9	3.096022
37	6632.3	10917	1.646035	-255.53	-915.01	3.580832
39	8658.3	15201	1.755656	-1657.8	-4199.9	2.533418
41	8140	14667	1.801843	-1163.5	-3530.9	3.034723
43	8041.9	14773	1.837004	-2270	-6384.2	2.812423
45	9618.2	17820	1.852738	-2789.5	-7908.4	2.83506
47	9428	18042	1.913661	-1896.4	-5604.4	2.955284

通过上述分析, 300m 以上大跨度体育场采用轻型空间钢结构、利用下部看台作为传力结构, 不但造型轻盈美观, 而且可以大量节省钢材。

二、大跨度体育场广泛应用国产高性能钢材, 钢材性能已优于国外

我国建筑钢结构应用的迅速发展, 尤其是奥体大跨度体育场馆的建设极大地推动了钢结构应用技术水平。随着高层与大跨度钢结构项目的增多, 对结构用材的品种、质量及性能的要求也更高, 现工程所需优质厚钢材 (厚度 50 ~ 100mm) 的供需矛盾仍较为突出, 以致国内已建的大跨及高层钢结构中, 绝大多数采用了进口厚钢材。为改变这一局面, 钢铁行业研制开发了专为高层钢结构用的优质中厚板材, 可大批量供应工程应用, 并于 2000 年颁布了行业标准《高层建筑结构用钢板》(YB 4104—2000) (见表 2)。这种牌号为 Q235GJ、Q345GJ 的优质厚钢板有着良好的综合性能, 如低厚度效应 (板厚 50 ~ 100mm 时屈服强度仅降低 6%, 而普通 Q345 钢要降低 20%), 良好的延性与冲击韧性 (保证 -40℃ 冲击功) 及焊接性能 (碳当量保证), 以及抗撕裂性能 (Z 向性能保证) 等。它还可以正火状态交货, 以消除内应力, 细化晶粒, 可以说能满足按抗震设计的钢结构用厚板材料的各种性能要求, 其质量

钢材性能对照表

表 2

标 准	牌号	质量等级	屈服点 σ_s (MPa)				抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率 σ_s (%)	冲击功 A_{kv} 纵向		180°弯曲试验		屈强比 σ_s/σ_b
			钢板厚 (mm)								钢板厚度 (mm)		
			6 ~ 16	>16 ~ 35	>35 ~ 50	>50 ~ 100	不小于	不小于	温度	不小于	≤16	>16	不大于
GB/T 1591—94	Q345	C	≥345	≥325	≥295	≥275	470 ~ 630	22	0		2a	3a	无要求
		- 20											
		- 40											
YB 4104—2000	Q345GJ	C	≥345	345 ~ 455	335 ~ 445	325 ~ 435	490 ~ 610	22	0	34	2a	3a	0.80
		- 20											
		- 40											
GB/T 19879—2005	Q345GJ	B	≥345	345 ~ 465	335 ~ 455	325 ~ 445	490 ~ 610	22	20	34	2a	3a	0.83
		C							0				
		D							- 20				
		E							- 40				
JISG 3136 (日本)	SN490	B	325 ~ 445	325 ~ 445	325 ~ 445	295 ~ 415	490 ~ 610	17 ~ 23	0	27	无要求	无要求	≤0.80
		C											
ASTM (美国)	A572-50		345				450	21	协议		协议		—

性能已优于日本 SN50 钢与美国 A572-50 级钢。近两年来,在北京中关村金融中心、上海文献中心、北京电视中心、北京银泰大厦等工程中采用舞阳钢铁有限责任公司生产的 Q345GJZ 厚板都取得较好的效果。其突出的优点是可比普通 Q345 钢提高强度设计值 18%,可降低相关用钢量及造价 10% 以上。2006 年以来国家体育场(鸟巢)、五棵松文化体育中心等奥运场馆及 CBD 区中央电视台新址、国贸大厦(三期)等重点工程(要求厚度达 100~130mm 用钢量超过 10 万 t),都以此高层建筑钢结构板材为厚板订货的首选材料。

YB 4104—2000 是非等效采用 JISG 3136 建筑结构用钢标准体系制定的,其屈服强度级别最高为 345MPa(抗拉强度 490MPa),而国际上已开发出抗拉强度 590MPa 和 780MPa 的高强度的建筑用钢,为适应建筑结构向高层化和大跨度发展,建筑结构必须使用高强度钢材,如“鸟巢”就在国内首次采用了 Q460E—Z35 厚度为 100mm、110mm 高强度钢约 700t,试验结果证明,各项指标均满足国标的要求。碳、硫、磷的含量分别为 $C \leq 0.17\%$ 、 $P \leq 0.015\%$ 、 $S \leq 0.015\%$,碳当量 $\leq 0.48\%$ 、屈服强度 $\geq 425\text{MPa}$ 、抗拉强度 $\geq 575\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 20\%$ 、强屈比 ≥ 1.2 、 -40°C 时 $A_{kv} \geq 34\text{J}$,抗层状撕裂性能满足 Z35 的相应要求。新的国家标准 GB/T 19879—2005 新增加了 390MPa、420MPa、460MPa 三个强度级别,此标准是我国近年来高强钢板研制开发的最新成果,按此标准生产的钢板其技术性能已达到国际先进水平,表 2 列出了国家标准 GB/T 19879—2005 钢材性能表。

当前我国重大工程采用了 Q345GJ、Q460GJ 等钢板,但《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)和《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99—98)都一直未对上述钢材新标准的变化作出积极的反应,也未提出任何修改补充应用的局部条款,致使设计与钢材新产品标准间的矛盾日益突出,为此建议立即着手修订有关规范以满足设计急需。

厚板的 Z 向抗撕裂性能属于钢材的纯净度要求,有 Z 向要求的钢板会增加造价 20% 以上,故应慎重采用。

(1) 仅在施工中因接头构造与焊接约束力较大,可以引起层状撕裂的部位,并在使用中该处也受到层裂方向拉力作用时,才对该部位的厚板考虑 Z 向要求。

(2) 对重要框架箱形厚板柱构件(节点区采用内隔板构造),当板厚 t 为 40~60mm 时可要求 Z15 性能、当 $t > 60\text{mm}$ 时可要求 Z25 性能,一般不宜要求 Z35 性能(Z15、Z25、Z35 相应为厚度方向断面收缩率应 $\geq 15\%$ 、 25% 及 35%),此时钢材相应的含硫(S)量应严格控制(分别 $\leq 0.01\%$ 、 0.007% 、 0.005%)。

(3) 对类似上述条件的厚翼缘 H 型钢柱,由于节点区约束条件的不同,对厚翼缘钢材有 Z 向性能要求时,可仅要求 Z15 性能的保证。

(4) 当重要的承重框架梁柱节点采用梁贯通(梁上、下翼缘处对应的柱横隔板贯通并与梁翼缘熔透对焊)构造,并当隔板厚度 $t > 40\text{mm}$ 时,可仅对厚隔板材料附加 Z 性能要求。

三、对结构各类构件的安全等级应区别对待,不要过分提高或降低安全等级

建筑结构可靠度设计统一标准中明确规定,建筑物中各类构件的安全等级可以进行调整,如果某些构件的破坏后果很严重,引起次生灾害或整个结构的倒塌,其安全等级应适当提高;反之,结构的某些次要构件破坏后其后果不严重,不影响整体结构的安全,其安全等级应降低。结构不分主次,安全等级一律提高一级(其重要性系数 1.1),强度设计值一律降低到 0.8 倍,致使结构的安全度在原有设计安全度(1.55)的基础上,又增加了 $1.1/0.8 = 1.378$ 倍,总的安全度达到 $1.55 \times 1.378 = 2.136$ 。主要构件安全度适当提高是可以的,但对于只起传力作用的次要构件,其破坏并不影响整体结构的安全,安全度可适当降低。从抗震耗能的观点出发,大震时希望次要构件出现塑性,这样可以吸收地震能量,减少地震力作用,对整体结构的抗震也是非常有利的。

由于结构安全度不适当提高,致使当前一些大跨度工程用钢量太大。当前要特别注意的是,在结构设计中,在保证安全可靠的前提下,不要过分加大结构的安全度,造成钢材的大量浪费。

另外，也要特别注意的另外一种倾向是：在某些工程的招标过程中，为中标压价，尽量减少用钢量，致使构件安全度太低，受压构件的长细比太大，致使在安装过程中造成杆件弯曲。由于安装误差太大，造成数百杆件超过设计应力，最后不得不采取现场加固处理措施。

四、慎重选用全熔透焊缝，焊接残余应力只能减少不能消除

《钢结构设计规范》第 7.1.18 条对全熔透焊缝的采用作了明确规定，只有在下列情况下才能选用全熔透焊缝。

(1) 在需要进行疲劳计算的构件中，凡对接连接焊缝均应焊透，受拉时为一级，受压时为二级。

(2) 不需要计算疲劳的构件中，凡要求与母材等强的对接焊缝，应予焊透。受拉时为一级，受压时为二级。

重级工作制和起重量大于 50t 的中级工作制吊车梁的腹板与上翼缘的连接焊缝要求焊透。质量等级不应低于二级。《高层民用建筑钢结构技术规程》第 8.4.2 条规定，箱形焊接柱其角部的组装焊缝应为部分熔透的 V 形或 U 形焊缝（图 7）。焊缝厚度不应小于板厚的三分之一，抗震时不小于板厚的二分之一，当梁与柱刚接连接时，在框架梁的上下 600mm 范围内，应采用全熔透焊缝。设计者一定要区分受力情况、重要程度，明确哪些部位采用一级全熔透焊缝。对于以静载为主的结构，构件为轴心拉压杆件，箱形构件的四条连接焊缝不受力，也不传递剪力。许多桥梁和大跨度钢结构工程都采用了格构式构件，就是这个道理。

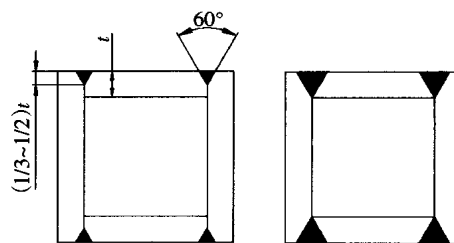


图 7 部分熔透和全熔透焊缝

采用部分熔透焊缝，可以省掉预热、保温等特殊的厚板焊接工艺，省掉熔敷金属约三分之二，工作量仅为全熔透焊缝工作量的三分之一，如以每吨节省 1000 元计算，可以节省大量资金，同时又缩短工期。大量采用全熔透焊缝的结果，由于焊道数量的大量增加，造成焊接热量的大量堆积，热影响区加大，致使焊接变形及焊接应力加大。

关于焊接残余应力问题，在某些工程中设计规定施工中要消除焊接残余应力。这项规定给制造和安装造成极大困难，最终未能实现。残余应力是加工制造过程中必然产生的，焊接时产生的不均匀温度场，必然导致焊接残余应力的产生，当焊缝及其附近金属被加热并发生膨胀时，远离焊缝的冷金属对其该部分金属产生约束，当恢复到室温时，焊接被加热的金属就会产生拉应力，而约束部分则产生相应的压应力来平衡。图 8 画出了 H 形截面常用残余应力分布形式。

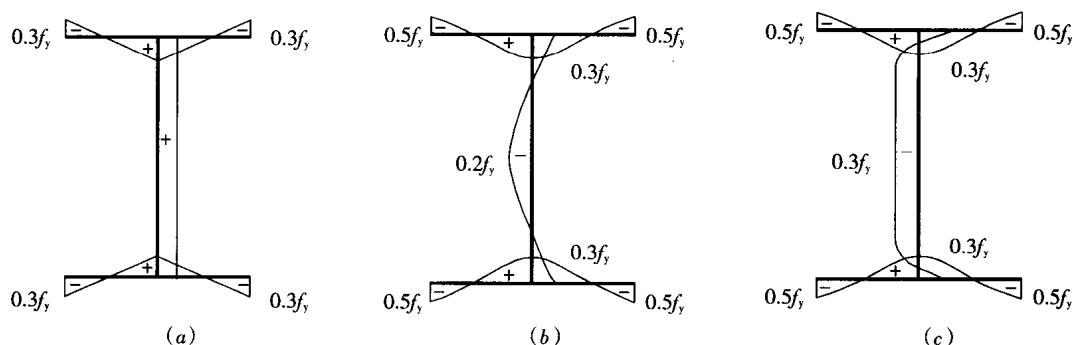


图 8 常用残余应力分布形式

残余应力的存在，可能会减低截面抗侧向刚度和构件平面内整体抗弯刚度，对构件的稳定性有一定影响，现以翼缘为轧制边的焊接工字形截面为例（图 9），它沿构件长度方向残余应力的分布如图所示，假定翼缘边缘最大残余应力为 $\sigma_{re} = 0.45f_y$ ，将构件截取一段作短柱试验，当外力产生应力 $\sigma = N/A =$