

大型公共建筑系列丛书

STRUCTURE

大跨度建筑钢屋盖结构选型与设计

Structural Form Selection and Design of Large-Span Steel Roof

丁洁民 张峥 著

 同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内容提要

作者通过回顾大空间建筑的发展历程,梳理大跨度空间结构体系选型与结构布置中的关键点,介绍各种结构设计与分析方法,探索当前的结构设计新趋向,并按照建筑类型如体育建筑、交通建筑、文化建筑等为读者展示了近年来的优秀设计工程,阐明结构选型、结构布置、结构分析和细部设计中的各种思考,解读不同造型和空间的钢结构屋盖设计要求与设计特色,希望为结构工程师提供借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

大跨度建筑钢屋盖结构选型与设计 / 丁洁民, 张峥著. -- 上海: 同济大学出版社, 2013.5
(大型公共建筑系列丛书)
ISBN 978-7-5608-5105-1

I. ①大… II. ①丁… ②张… III. ①大跨度结构-钢结构-屋盖结构-选型②大跨度结构-钢结构-屋盖结构-结构设计 IV. ①TU231

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 048927 号

大跨度建筑钢屋盖结构选型与设计

Structural Form Selection and Design of Large-Span Steel Roof

丁洁民 张峥 著

出品人 支文军

责任编辑 江岱 责任校对 徐春莲 装帧设计 张微

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址: 上海四平路 1239 号 邮编: 200092 电话: 021-65985622)

经销 全国各地新华书店

印刷 上海雅昌彩色印刷有限公司

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 22.5

印数 1—3 100

字数 561 000

版次 2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5608-5105-1

定价 186.00 元

本书若有印装问题, 请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

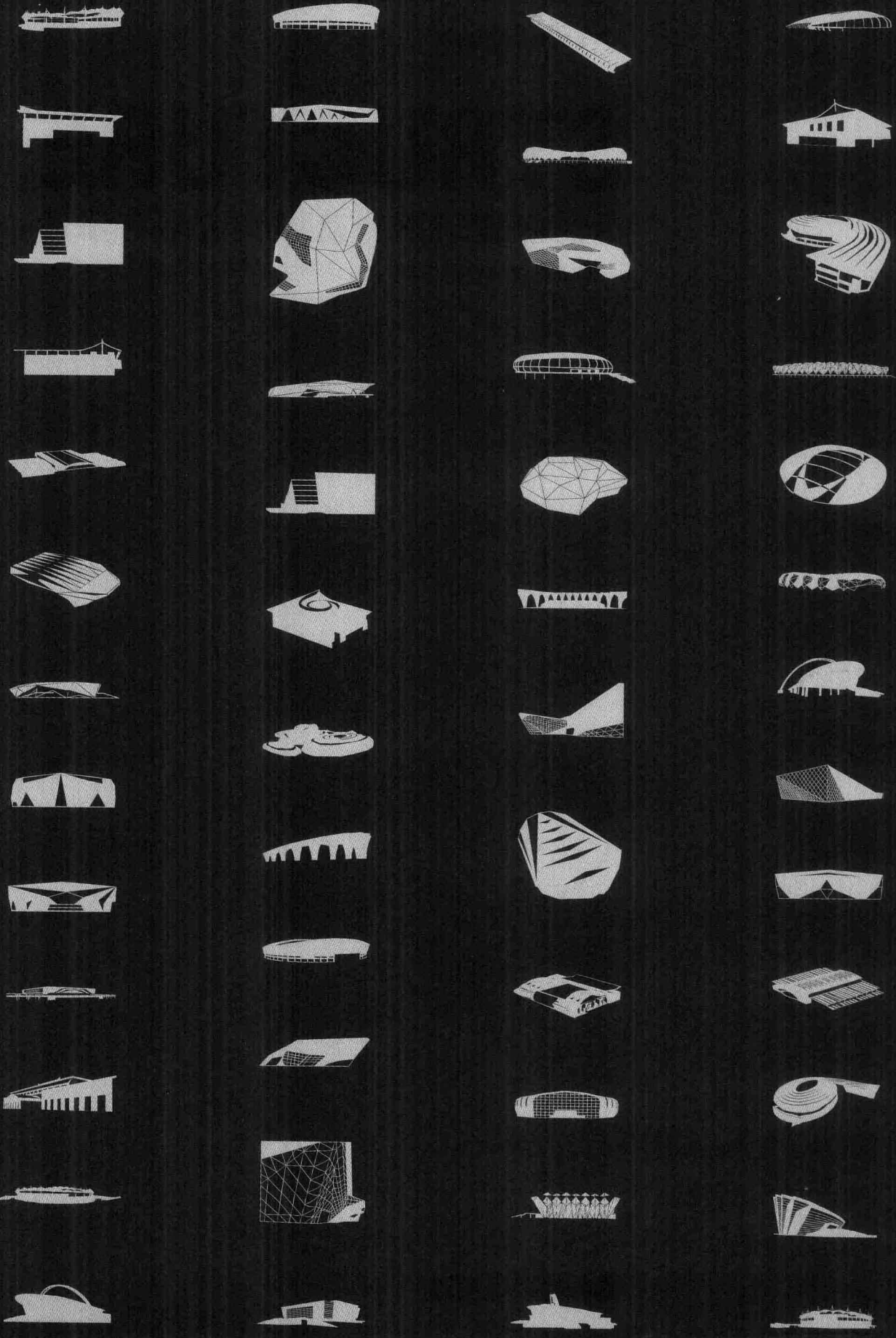
大型公共建筑系列丛书

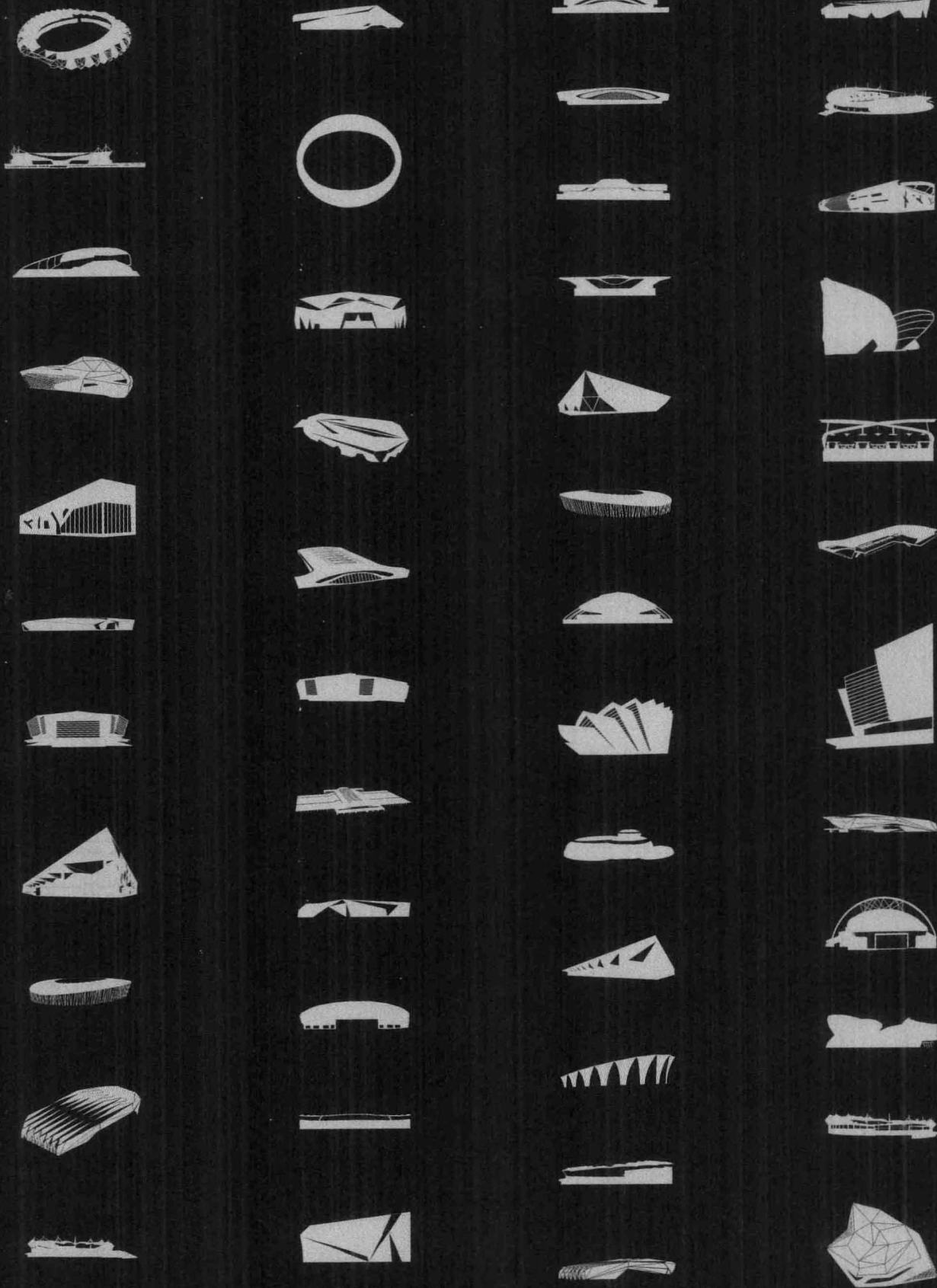
STRUCTURE

大跨度建筑钢屋盖结构选型与设计

Structural Form Selection and Design of Large-Span Steel Roof

丁洁民 张峥 著





序

Preface

中国工程院院士
沈祖炎

近三十年来,随着国民经济的快速发展,中国钢产量的增长突飞猛进,举世瞩目。自1996年达到1亿吨之后,已连续16年位居世界首位,2011年更是达到近7亿吨,成为名副其实的钢铁大国,在满足国家基础设施建设、推动国民经济发展方面起到举足轻重的作用。

钢材用途广泛,涉及土木建筑、机械、汽车、船舶等众多行业。在土木建筑领域,经历了从新中国成立之初的节约用钢国策到1985年的鼓励用钢和1998年的推广建筑用钢,再到如今节能减排、可持续发展理念深入人心的演变。这给钢结构在建筑领域的运用提出了明确的政策导向,建筑钢结构的应用范围得以不断扩大。与目前广泛应用的混凝土结构相比,建筑钢结构体系的最大优势在于其具有轻、快、好、省的固有特性,能更好地符合国家提倡的节能、节材、节水、节地、保护环境和建立节约型社会的宗旨。

钢结构在建筑领域的运用主要包括办公、宾馆等高层与超高层建筑;体育、会展、文化等大跨度和超大跨度建筑;住宅、医院、学校、商业等低层多层建筑;工业建筑、铁路站房以及各类城市景观建筑等。本书所关注的即是其中一个重要领域——大跨度建筑屋盖钢结构的体系选型和结构设计。

进入21世纪以来,随着人们对体育、文化、休闲、展览、交通等生活需求的逐步提升,一大批体育场馆、会展中心、美术馆、大剧院、机场、火车站相继建成。这些大型公共建筑的一个重要共性即是需要大跨度无柱空间来实现建筑功能,需要新颖的结构造型来塑造建筑立意。于是,大跨度屋盖结构往往成为建筑师发挥想象来展现其艺术品位的载体,而结构工程师在这类项目中所面临的制约和挑战也更为严峻。

本书作者丁洁民教授及其团队长期从事一线的工程设计实践工作,一直致力于持续创新以实现卓越设计。其结构设计作品在保持深入明晰的理性思考的同时,融入了丰富而简练的感性元素,努力追求建筑与结构的和谐统一。本书是丁教授及其团队近十年来在大跨度钢结构领域实践和探索的成果汇总,同时也收录了少量国内外优秀作品,希望能在一定程度上反映我国近年来在该专项工程领域的发展概况,同时也介绍作者在大跨度建筑中的结构设计思想,以期与同行进行交流。

全书共分上下篇。上篇介绍大空间建筑的发展历史和应用领域并对大跨度结构的体系选型、结构构思、结构分析方法和设计手段革新等做了梳理和归纳。下篇按体育建筑、交通建筑、文化建筑三个重要应用领域,介绍了三十个工程案例,重点阐述体系选型和布置、结构分析关键点及设计创新。这些案例绝大多数是由作者本人主持或参与设计的,因此描述比较详细,从最初的方案构思与比选到过程中结构布置的反复思考与优化,再到详尽的结构分析和细节的节点设计,力求呈现这类特殊结构在设计全过程中的思维方式和处理策略。从众多的案例中,可以清晰地体会到丁洁民教授在大跨度建筑结构设计中的理念:

“只有真正坚持建筑与结构相协调、美学和力学相结合、艺术与技术相统一,才能最终达到结构成就建筑之美、建筑展现结构之妙的美妙境界。”也介绍了丁教授及其团队是怎样进行结构设计使钢结构能全面展现其“轻、快、好、省”的固有特性的,对于结构设计技术人员具有良好的参考价值,并能起到一定的引导作用。

本书是结构设计界的一本优秀著作,谨此为序,以为共勉。

沈祖炎

2013年3月

前言

Foreword

一直以来,大空间建筑的发展代表了人类在建筑审美与结构技术领域的不懈追求。它既作为功能载体在大型公共事件中扮演重要角色,又站在建筑科技的最前沿,为新材料、新技术应用提供展示平台,并成为工程理性与美学感性的联系桥梁。结构体系的演变始终引领着大空间建筑适应公共生活的进化过程。细数其发展历史,古罗马的拱券、穹隆可谓是大空间建筑舞台上的开创性表演;钢筋混凝土技术的进步促成了薄壳结构的诞生,使自由形状的混凝土壳体成为设计师争相追逐的宠儿;随着钢材的广泛运用,网架、网壳、桁架、悬索结构相继出现,在建筑外形更趋于多元化的同时,内部结构也更加先进、稳定。20世纪中期,“轻远”成为结构设计的新主题,人们试图用更少的材料来建造更坚固的结构,以充分发挥材料自身的潜质。近代张拉结构的出现更使大跨度空间结构实现了质的飞跃,索膜结构、张弦梁、张弦桁架、弦支穹顶、索桁架、索穹顶以其卓越的承载性能与造型优势成为工程师们不懈努力追求的至高境界。

如火如荼的实践中,“创新”始终是结构设计的永恒主题。体系创新分为颠覆式创新、组合式创新和增量式创新。颠覆式创新实现了从无到有的过程,其中具有划时代意义的是富勒提出的张拉整体概念。盖格尔进一步推进,发明了索穹顶体系,将张拉整体概念首次应用于大空间建筑。此后,斋藤公男教授和川口卫教授相继提出了张弦梁和弦支穹顶结构。这一系列新型体系的出现,丰富了工程师的创造力,各种结构形式由此衍生,谓之组合式创新。如将张弦结构与桁架组合形成张弦桁架,将弦支概念引入筒壳形成弦支筒壳等。此外,工程师们还尝试变化已有结构体系中构件的形式或形状,拓展其应用范围,谋求增量式创新。如变化传统张弦结构中的单根拉索为双索、三索,增加结构承载冗余度,以适应更大跨度;将弦支穹顶推广用于三角形、四边形、六边形等非正圆形平面,以适应建筑造型的多样性。结构工程师们正努力地在整体、局部甚至细节上不断尝试新的突破,由此涌现出的建筑作品既可实现结构轻量化、合理化,更能与功能、环境、文化完美结合,堪称佳作。

奥韦·艾拉普说“结构设计是一门艺术,在解决方案问题时是根本无法用公式来构思的,只有不断地探索直至找到理想的答案。结构设计没有唯一解,探索就是为了寻求最优——但没有绝对的最优——只是相对而言”。本书试图向读者展示结构工程师们如何在结构设计中追求相对

最优,最终实现建筑立意与结构设计完美融合的过程。鉴于此,本书分为上篇和下篇。上篇回顾了大空间建筑的发展历程,阐述其在各个领域的运用;梳理大跨度空间结构体系选型与结构布置中的关键点;介绍各种结构设计与分析方法,也探索了当前的结构设计新趋向。下篇为读者展示了同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司(以下简称同济院)近年来的设计作品以及国内外同行的部分优秀作品,阐明结构选型、结构布置和结构分析中的各种思考。不同于一般的设计作品集或传统的期刊论文集,本书是一本理论与实际工程相辅相成的专业书籍,读者既可悉心领略建筑设计的灵感和立意,也可深刻体会结构设计的精巧与用心。

作者希望借此书为结构工程师提供设计借鉴,积累结构布置和优化设计的专业经验;为建筑师提供结构启发,使之理解大空间建筑结构体系及传力途径,为创新提供支撑,使学生了解大跨度钢结构的类型及基本设计流程,激发学习与探索的兴趣;为业主提供大量技术先进的典型案例,供决策参考。

书中大多数工程案例由同济院丁洁民教授及其团队完成,也有部分案例凝聚了其他专家与教授的劳动成果,如深圳宝安体育场由德国GMP及华南理工大学设计院完成,广州歌剧院由Zaha Hadid事务所及广州市珠江外资设计院完成,南通体育场由同济大学陈以一教授领衔完成,寿光体育场由同济院巢斯总工程师领衔完成。本书的完成也离不开相关领域专家学者的大力支持与协助,同济大学土木工程学院沈祖炎院士与张其林教授提供关键技术咨询,建筑与城市规划学院钱锋、汤朔宁教授提供了宝贵的工程资料。此外,我的许多同事与研究生也为本书的出版承担了大量工作,技术发展部的董欣博士、周旋硕士、张月强博士、王松林硕士、江帆硕士、李璐硕士及建筑系余中奇博士协助完成书稿整理及插图绘制等工作。本书的顺利出版也凝聚了同济大学出版社各位同仁的不懈努力。

由于本书内容较广泛,编著时间相对仓促,加之作者水平有限,疏漏之处在所难免,希望广大读者批评指正。

值此书稿完成之际,由衷感谢各参与人员的辛勤工作,谨以此书与满怀设计梦想与创意热情的工程师们共勉。

丁洁民
2013年3月

案例分布

Map of Projects

邹城市体育中心体育场
Stadium of Zoucheng Sports Center

寿光市市民健身中心体育场
Stadium of Shouguang Fitness Center

济宁市文体中心游泳馆
Natatorium of Jining Sports Center

济宁市文体中心体育馆
Gymnasium of Jining Sports Center

济宁市文体中心体育场
Stadium of Jining Sports Center

上海东方体育中心室外游泳池
Diving Pool of Shanghai Oriental Sports Center

复旦大学正大体育馆
Fudan Zhengda Gymnasium

同济大学游泳馆
Tongji University Natatorium

上海科技大学体育馆
Gymnasium of Shanghai University of Science and Technology

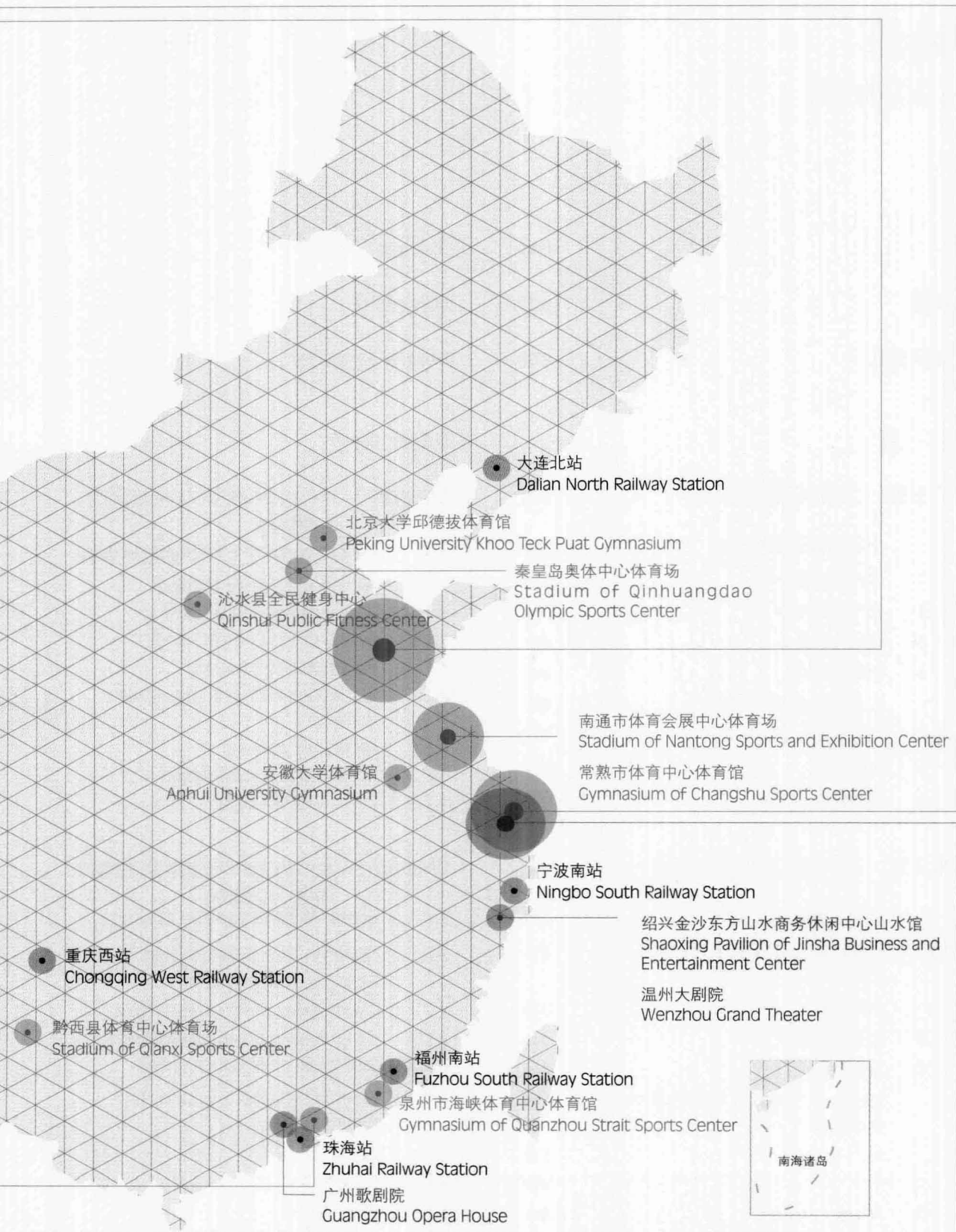
兰州西站
Lanzhou West Railway Station

中国 2010 年上海世博会主题馆
Theme Pavilion of the 2010 Shanghai World Expo

中国 2010 年上海世博会西班牙国家馆
Spain Pavilion of the 2010 Shanghai World Expo

上海汽车会展中心
Shanghai Automobile Exhibition Center

深圳宝安体育场
Shenzhen Bao'an Stadium



目录

Contents

序	005
前言	007
案例分布	008

上 篇

第 1 章 大空间建筑概述	017
1.1 大空间建筑发展历程	018
1.1.1 古代空间结构	019
1.1.2 近代空间结构	021
1.1.3 现代空间结构	022
1.1.4 发展趋势探索	025
1.2 大空间建筑应用领域	031
1.2.1 体育建筑	031
1.2.2 交通建筑	031
1.2.3 文化建筑	034
第 2 章 大跨度空间结构选型	041
2.1 体系选型与结构构思	042
2.2 体系——结构体系的合理选型与布置	046
2.2.1 体系分类	046
2.2.2 选型考虑因素	046
2.2.3 选型评价	048
2.3 构件——空间尺度与构件形式的优化	049
2.3.1 梁	049
2.3.2 柱	050
2.3.3 拱	051

Preface

Foreword

Map of Projects

PART ONE

Chapter 1 Summarize of Large-Span Building	
1.1 Development of Large-Span Building	
1.1.1 Ancient Large-Span Building	
1.1.2 Recent Large-Span Building	
1.1.3 Modern Large-Span Building	
1.1.4 Development Tendency	
1.2 Application Fields of Large-Span Building	
1.2.1 Sports Architecture	
1.2.2 Transportation Architecture	
1.2.3 Culture Architecture	

Chapter 2 Structural Design of Large-Span Building	
2.1 Structural Selection and Conceive	
2.2 System—Type Selection and Structural Arrangement	
2.2.1 Classification of structural system	
2.2.2 Consideration of structural design	
2.2.3 Evaluation of structural design	
2.3 Member—Spatial Size and Form Optimization	
2.3.1 Beam	
2.3.2 Column	
2.3.3 Arch	

2.3.4	索	053
2.4	节点——精细化处理与建筑表达	053
2.4.1	常规节点	054
2.4.2	铸钢节点	054
2.4.3	拉索节点	054
2.4.4	支座节点	057

2.3.4	Cable	
2.4	Joint—Detail Treatment and Architecture Expression	
2.4.1	Normal joint	
2.4.2	Cast steel joint	
2.4.3	Cable joint	
2.4.4	Support joint	

第 3 章 分析方法与设计手段 059

Chapter 3 Analytical Methods and Design Tools

3.1	分析方法的演进	060
3.1.1	软件应用	060
3.1.2	静力分析	061
3.1.3	抗震分析	061
3.1.4	稳定性分析	062
3.1.5	弹塑性极限承载力分析	062
3.1.6	温度作用分析	063
3.1.7	抗连续倒塌分析	064
3.1.8	节点分析	065
3.2	设计手段的革新	065
3.2.1	传统设计手段	065
3.2.2	BIM 信息技术的应用	065
3.2.3	3D 打印技术的应用	068

3.1	Evolution of Analysis Methods	
3.1.1	Application of Software	
3.1.2	Statical Analysis	
3.1.3	Seismic Analysis	
3.1.4	Stability Analysis	
3.1.5	Analysis of Elastic-plastic Ultimate Bearing Capacity	
3.1.6	Analysis of Temperature Effect	
3.1.7	Analysis of Collapse-Resisting Capacity	
3.1.8	Joint Analysis	
3.2	Innovation of Design Tools	
3.2.1	Traditional Design tools	
3.2.2	Application of BIM	
3.2.3	Application of 3D Printing	

下 篇

PART TWO

第 4 章 体育建筑 075

Chapter 4 Sports Architecture

4.1	体育建筑综述	076
4.1.1	悬臂式结构	076
4.1.2	拱式结构	077
4.1.3	斜拉式结构	087
4.1.4	轮辐式张拉整体结构	091
4.2	体育场案例	103
4.2.1	上海东方体育中心室外跳水池	103
4.2.2	黔西县体育中心体育场	110
4.2.3	南通市体育会展中心体育场	121
4.2.4	秦皇岛奥体中心体育场	129

4.1	Review of Sports Architecture	
4.1.1	Cantilevered Structure	
4.1.2	Arched Structure	
4.1.3	Stayed Structure	
4.1.4	Wheel-Spoke Tensegrity Structure	
4.2	Stadium	
4.2.1	Diving Pool of Shanghai Oriental Sports Center	
4.2.2	Stadium of Qianxi Sports Centre	
4.2.3	Stadium of Nantong Sports and Exhibition Center	
4.2.4	Stadium of Qinhuangdao Olympic Sports Centre	

4.2.5	邹城市体育中心体育场	136	4.2.5	Stadium of Zoucheng Sports Center
4.2.6	寿光市市民健身中心体育场	145	4.2.6	Stadium of Shouguang Fitness Center
4.2.7	济宁市文体中心体育场	153	4.2.7	Stadium of Jining Sports Center
4.2.8	深圳宝安体育场	161	4.2.8	Shenzhen Bao'an Stadium
4.3	体育馆案例	168	4.3	Gymnasium
4.3.1	复旦大学正大体育馆	168	4.3.1	Fudan Zhengda Gymnasium
4.3.2	北京大学邱德拔体育馆	178	4.3.2	Peking University Khoo Teck Puat Gymnasium
4.3.3	泉州市海峡体育中心体育馆	188	4.3.3	Gymnasium of Quanzhou Strait Sports Center
4.3.4	沁水县全民健身中心	196	4.3.4	Qinshui Public Fitness Center
4.3.5	同济大学游泳馆	202	4.3.5	Tongji University Natatorium
4.3.6	济宁市文体中心游泳馆	206	4.3.6	Natatorium of Jining Sports Center
4.3.7	安徽大学体育馆	212	4.3.7	Anhui University Gymnasium
4.3.8	常熟市体育中心体育馆	220	4.3.8	Gymnasium of Changshu Sports Center
4.3.9	济宁市文体中心体育馆	228	4.3.9	Gymnasium of Jining Sports Center
4.3.10	上海科技大学体育馆	236	4.3.10	Gymnasium of Shanghai University of Science and Technology

第 5 章 交通建筑	241	Chapter 5 Transportation Architecture
------------	-----	---------------------------------------

5.1	交通建筑综述	242	5.1	Review of Transportation Architecture
5.1.1	绪论	242	5.1.1	Introduction
5.1.2	大跨度铁路客站发展	243	5.1.2	Development of Railway Station
5.1.3	铁路客站屋盖钢结构体系选型	244	5.1.3	Structural Selection for Steel Roof of Railway Station
5.1.4	铁路客站屋盖钢结构设计关键	252	5.1.4	Critical Issue for Design of Railway Station Roof
5.2	客站站房屋盖案例	260	5.2	Railway Station Building
5.2.1	大连北站	260	5.2.1	Dalian North Railway Station
5.2.2	重庆西站	267	5.2.2	Chongqing West Railway Station
5.2.3	兰州西站	272	5.2.3	Lanzhou West Railway Station
5.3	无站台柱雨棚案例	283	5.3	Non-Platform-Column Canopy
5.3.1	福州南站	283	5.3.1	Fuzhou South Railway Station
5.3.2	珠海站	290	5.3.2	Zhuhai Railway Station
5.3.3	宁波南站	295	5.3.3	Ningbo South Railway Station

第 6 章 文化建筑	297	Chapter 6 Culture Architecture
6.1 文化建筑综述	298	6.1 Review of Culture Architecture
6.1.1 发展脉络	298	6.1.1 Development of Culture Architecture
6.1.2 会展建筑	298	6.1.2 Exhibition Architecture
6.1.3 观演建筑	300	6.1.3 Theatrical Architecture
6.1.4 博物建筑	302	6.1.4 Museum Architecture
6.2 会展中心案例	308	6.2 Exhibition Center
6.2.1 中国 2010 年上海世博会主题馆	308	6.2.1 Theme Pavilion of the 2010 Shanghai World Expo
6.2.2 中国 2010 年上海世博会西班牙国家馆	321	6.2.2 Spain Pavilion of the 2010 Shanghai World Expo
6.2.3 上海汽车会展中心	327	6.2.3 Shanghai Automobile Exhibition Center
6.2.4 绍兴金沙东方山水商务休闲中心山水馆	331	6.2.4 Shaoxing Pavilion of Jinsha Business and Entertainment Center
6.3 大剧院案例	341	6.3 Theater
6.3.1 温州大剧院	341	6.3.1 Wenzhou Grand Theater
6.3.2 广州歌剧院	349	6.3.2 Guangzhou Opera House
工程案例索引	350	Index of Projects
图片索引	352	Index of Figures
表格索引	356	Index of Tables
参考文献	358	References

上篇 PART ONE