

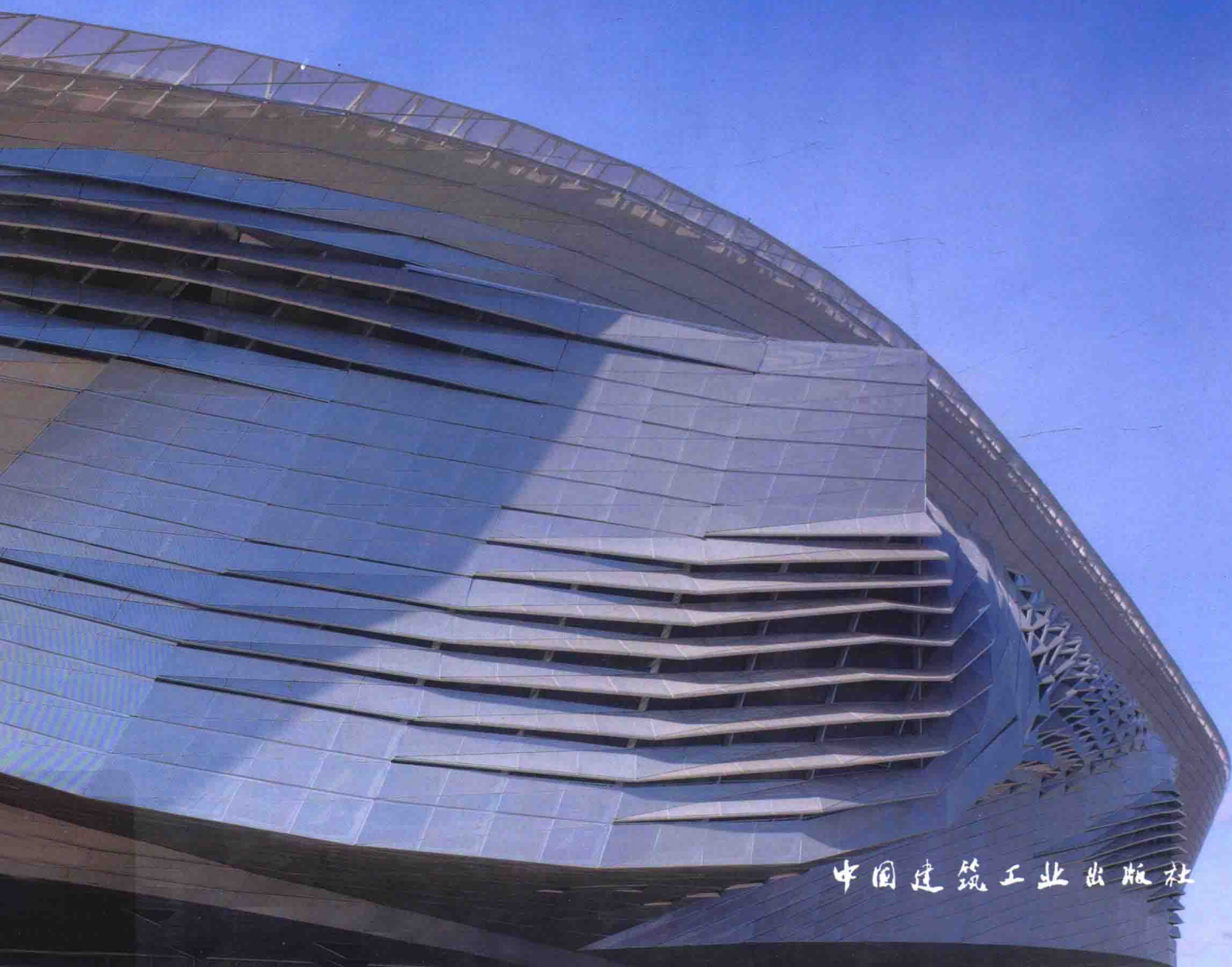
国家重大建筑工程结构设计丛书

大连国际会议中心

结构设计

Structural Design of
Dalian International Conference Center

王立长 等 著



中国建筑工业出版社

2015年12月15日 星期三

大连国际会议中心

建筑方案

2015年12月15日 星期三

2015年12月15日 星期三

2015年12月15日 星期三



2015年12月15日 星期三

国家重大建筑工程结构设计丛书

大连

国际会议中心
结构设计

Structural Design of
Dalian International
Conference Center

王立长 等著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大连国际会议中心结构设计 / 王立长等著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2014.3

(国家重大建筑工程结构设计丛书)

ISBN 978-7-112-16228-4

I. ①大… II. ①王… III. ①会议展览中心-建
筑设计-大连市 IV. ①TU242.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 315242 号

国家重大建筑工程结构设计丛书

大连国际会议中心结构设计

Structural Design of Dalian International Conference Center

王立长 等著

*

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

北京科地亚盟排版公司制版

北京画中画印刷有限公司印刷

*

开本: 880 × 1230 毫米 1/16 印张: 25 $\frac{3}{4}$ 字数: 760 千字

2014 年 4 月第一版 2014 年 4 月第一次印刷

定价: 88.00 元

ISBN 978-7-112-16228-4

(25002)

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)

大连国际会议中心是北京奥运会后我国又一重大建筑工程。本书以结构设计为主题,对该工程进行介绍,旨在汇集工程设计、研究过程中重点科技成果,促进我国结构设计及科研领域发展,提升行业的整体水平。本书以介绍结构计算和设计经验及成果为主,突出创新点和难点,包括疑难问题解析、专项技术、科研成果等,同时兼顾工程中大量的试验研究,以及施工过程中的结构分析。

大连国际会议中心是集会议、演出、展览等功能于一身的大型综合性建筑,同时也是大连举办夏季达沃斯会议场所,建筑造型独特,形如流水,气势恢宏,是大连市新地标。

本书详细阐述了大连国际会议中心结构设计的全过程,内容丰富、系统完整。全书共分18章,第1章主要介绍工程基本情况;第2,3章主要介绍结构设计方案和结构设计计算原则与结果、施工全过程模拟分析、防止连续倒塌分析等;第4~10章主要介绍结构各主要部分的设计,其中包括中空转换钢平台体系,内藏钢框架筒体、曲面折板框架外围护结构体系、中心剧场等;第11~18章介绍工程设计关键技术的研究和试验成果,其中包括整体内藏钢框架筒体、开洞钢板墙结构试验研究、相容性专利节点试验研究、大型钢管柱抗拔试验研究、宽翼缘K形节点试验研究、大悬挑楼盖减振设计和测试、风洞试验等。

本书可供建筑结构设计人员、建筑科研院所研究人员及高等院校土木工程专业师生参考使用。

责任编辑:刘瑞霞 刘婷婷 李天虹

责任设计:董建平

责任校对:姜小莲 刘 钰

序

大连国际会议中心是目前国内最为复杂的建筑项目之一，它面向大海，背依城市核心，行云流水般的建筑形态和尺度恢宏的室内共享空间充分体现建筑师“城市当中的建筑，建筑当中的城市”这一设计理念。该会议中心是今后举办夏季达沃斯会议等大型会议的场所，肩负了展示大连现代化城市形象的责任，已成为大连市的标志性建筑。

大连国际会议中心的复杂建筑方案对结构设计提出了重大挑战。整个结构设计过程同时也是反复研究不断创新的过程，最终形成的结构方案不仅受力合理，也相对地比较经济和便于施工：整个结构体系由多个内藏钢桁架钢筋混凝土竖向筒体作为主要承重构件，承托由变截面钢桁架组成的巨型转换平台，平台上构建会议厅等主要功能设施，并与呈复杂曲面形状的外围护框架结构和屋盖网格结构通过特定连接方式连成一体，协同受力。建筑中部的中心剧场 1600 座观众厅则由于受力复杂，通过单独的转换箱梁坐落在独立巨柱上。

由大连市建筑设计研究院有限公司联合北京工业大学、上海交通大学、大连理工大学组成的设计研究团队对这一复杂结构体系进行了系统的理论、试验和设计方法研究，形成了成套设计理论与技术。他们系统研发了“变厚度中空钢桁架承重大跨长悬挑转换平台水平受力体系”、“多重组合竖向抗侧力体系”、“稀疏支座复杂曲面大跨长悬挑屋架受力体系”和“异型曲面外围护框架结构体系”，并研发了“相容性节点”，使四种体系相互支撑，有机组合，构成了受力合理、性能优良、满足工程设计要求的整体空间结构；研发了内藏竖向钢桁架与钢板混凝土组合筒体、多腔体钢管斜扁柱、强化型 K 形钢桁架节点、软钢耗能节点、相容性球铰节点等构造合理的新型抗震和消能减震构件和节点，并进行了系统的试验和理论研究，给出了设计方法与构造措施；针对该大型复杂结构体系提出了包括抗震、抗风、抗温度作用、抗火、抗腐蚀、抗连续倒塌以及使用舒适度等内容的性能化设计的思想和要求，并进行了全面、系统的理论分析，有效地解决了整体结构服役期间安全使用中的各项关键问题；基于施工全过程的仿真分析，对施工方案进行了优化，为精确施工提供了重要技术支撑。这些创新成果为顺利完成大连国际会议中心这一工程难度极大的结构设计任务提供了理论和技术支撑。

大连国际会议中心结构设计从方案到施工图均由国内设计人员自主完成，是具有自主知识产权的结构设计优秀作品，充分展示了我国工程设计人员的能力和水平，在国内外产生很大影响。设计研究团队对有关设计和研究成果进行了全面总结，写成这本专著，内容丰富、系统、完整，且图文并茂，可读性极强，是我国工程科技领域一本有价值的著作。

我认为，这本专著的出版有助于广大工程设计人员对该重大工程的深入了解，该



工程项目中所研发的结构形式、创新节点构造和有关理论及试验成果对类似工程具有重要的借鉴意义；因而从宏观上说对于我国大跨复杂空间结构的应用和发展具有重要的促进作用。我由衷祝贺该书出版，并为之序。

沈世钊

于哈尔滨工业大学

2013 年 11 月 25 日

前 言

大连国际会议中心是集会议、演出、展览等功能于一身的大型综合性建筑，同时也是大连举办夏季达沃斯会议场所。会议中心设大小会议厅七个，最小容纳 300 人，最大 2000 人，小会议室 30 余个；中心剧院 1600 余座位。国际会议中心建筑面积 14.500 万 m^2 ，建筑长轴 220m，短轴 200m，高度 59.00m。会议中心建筑造型独特，形如流水，气势恢宏，成为大连市新地标。

大连国际会议中心 2008 年由市政府组织进行建筑方案国际招标，奥地利蓝天组中标。大连市建筑设计研究院有限公司 2008 年 8 月中标建筑专业施工图设计；结构、设备专业方案、初步设计和施工图设计。

大连国际会议中心建筑方案极其复杂，不但外形奇特，内部结构需要大量转换和悬挑，并与复杂外部结构连接，设计难度和复杂程度不低于或超越国内奥运工程，需要采取若干新技术和设计手段。大连市建筑设计研究院有限公司组织强大设计团队接受挑战，经过两年多努力，按时完成全部设计工作，将大连国际会议中心这颗璀璨明珠呈现给大连和全国人民，同时也展现出中国工程师的智慧和气魄。

大连国际会议中心设计过程中，大连市建筑设计研究院有限公司工程师与奥地利蓝天组建筑师进行密切合作，对方案进行多次讨论和修改，这些工作不但增加结构合理性，同时也大大降低工程造价和建造速度，为工程圆满竣工打下良好基础。

大连市建筑设计研究院有限公司联合北京工业大学、上海交通大学、大连理工大学组成的设计研究团队对项目设计进行了系统的理论、试验和设计方法研究，形成了成套结构关键设计理论与技术，成功解决了项目设计难题。

大连国际会议中心结构设计充分利用了建筑方案特点，创新采用多筒稀柱、大跨度、长悬挑转换平台复杂空间组合结构，使内部结构与外部结构协同受力，共同抵抗地震、强风、温度作用。在结构设计中提出详细、可实施、针对该特殊复杂结构的抗震设计性能化目标。研发了变厚度中空钢桁架承重大跨长悬挑转换平台水平受力体系，为转换平台上多个功能不同建筑空间结构提供了受力支承，解决了复杂受力问题。发明了多重组合竖向抗侧力体系，采用钢框架钢筋混凝土、钢板混凝土组合筒体，将不同抗震体系和不同特性材料优化组合，形成多道抗震防线。创新了可限位转动式大型整体球铰支座系统，解决了稀疏支座支承超大复杂曲面屋架复杂受力与变形关键技术问题。创新采用异型曲面外围护框架结构体系，发明了相容性节点技术，使大型复杂异形折板外围护结构在复杂受力下与转换平台、屋架连接的关键技术难题得以化解。针对中心剧场自身和对整体结构多种不利的影响，采取多种转换技术，若干强化和弱化相区别的设计方法，有效保证工程安全。基于 BIM 技术的复杂结构找形与建模、多维地震下的结构动力分析、复杂结构分块建模优化整合技术等集成技术和方法，形成了该大型复杂结构的成套设计理论与技术。



工程设计过程中进行了大量创新结构构件、节点的结构试验研究：内藏钢桁架混凝土组合筒体抗震试验研究；钢管混凝土叠合柱边框柱与基础抗拉锚固性能试验研究；钢管混凝土叠合柱边框组合不规则开洞剪力墙抗震性能试验研究；核心筒内藏钢框架与钢平台弦杆连接性能试验研究；幕墙钢管混凝土斜折柱抗震性能试验研究；外围护曲面框架柱与大型平台连接新型发明节点工作性能试验研究；型钢桁架结构强化型K形节点技术研发等。

以上理论和试验研究成果经国内知名专家组成的鉴定委员会鉴定，达到国际先进水平，其中复杂结构节点连接技术达到国际领先水平。大连国际会议中心创新技术填补多项国内空白，发表学术论文48篇，获得24项专利，其中发明专利14项。会议中心系统研究成果有力保证工程设计和施工建设顺利、安全进行，同时对今后类似大型复杂工程有重要借鉴参考价值。

工程建设过程中，会议中心建设指挥部强有力的领导，总承包单位中建八局与浙江东南网架公司，中船大连重工、鞍山东方钢构公司、大连泛华公司监理公司等单位和大连市建筑设计研究院有限公司精诚合作，密切配合，终于在较短时间内高质量完成工程建设。

大连国际会议中心获得大连市2012年科技进步一等奖。

大连国际会议中心结构设计过程中，大连市建委、市规划局、工程建设指挥部给予了大力支持和科研资助，先后得到徐培福、戴国莹、汪大绥、傅学怡、柯长华、董石麟、刘树屯、王亚勇、程懋堃、林立岩、窦南华等国内许多专家的指导和帮助；沈士钊院士在百忙中主持会议中心研究成果鉴定；大连市建筑设计研究院有限公司的领导和同事给予真诚的支持和关心，在此谨表示诚挚的感谢。

本书编写筹备时间自2011年，全书由王立长组稿、定稿，各章节编写人如下：

第1、2章，王立长；第3章，王立长，李东方，韩光翔；第4章，曲鑫蕃，姜拥军，王立长；第5章，王国雷，刘楠，王立长；第6章，曲鑫蕃，姜拥军，王立长；第7章，龚景海，王立长，李东方；第8章，王国雷，王立长，刘楠，韩光翔；第9章，纪大海，王金来，王立长；第10章，姜拥军，刘楠；王立长。第11章，曹万林，王立长，王国雷；第12章，王立长，曹万林，王国雷；第13章，王立长，曹万林，王国雷，曲鑫蕃；第14章，刘楠，王国雷，王立长；第15章，王立长，曹乐，温海林；第16章，王立长，曲鑫蕃，姜拥军；第17章，曹乐，郭杏林，李凡璘，左清林；第18章，李宏男，王立长，龚景海。

李凡璘，曲鑫蕃等校阅了书稿。

参加本书编写工作还有李志会，高放，马芳芳，水金峰，王汉伟，杨海洋，腾云等。

大连国际会议中心工程设计和试验研究中，北京工业大学曹万林团队参加结构试验研究；上海交通大学龚景海团队参加屋盖结构设计研究；大连理工大学郭杏林团队参加楼盖振动测试；李宏男团队参加多维地震和风洞试验；辽宁省住房和城乡建设厅设计处安平，大连市规划局时家瑞等组织、参加项目科研立项、审查和部分研究工作。

王立长

2013 年 11 月 25 日



目 录

第 1 章	工程概况	1
1.1	工程概况	1
1.2	建筑方案与建筑师的结构概念	9
1.3	结构概念设计方案	19
1.4	大连国际会议中心结构设计创新成果评价	21
1.5	发明、专利及学术论文	22
第 2 章	结构方案	23
2.1	基础方案	23
2.2	上部结构方案	24
第 3 章	结构设计分析	32
3.1	设计荷载与工况组合	32
3.2	结构计算分析要点	35
3.3	整体结构分析	36
3.4	弹性动力时程分析方法计算结果	49
3.5	温度作用分析计算	68
3.6	屋架非线性稳定计算	73
3.7	连续倒塌计算分析	83
3.8	风洞试验	90
3.9	大连国际会议中心施工模拟计算分析	91
3.10	结构分析结论	100
第 4 章	基础与地下结构设计	102
4.1	地下室及首层建筑功能	102
4.2	地基及基础	102
4.3	地下室顶板设计	112
第 5 章	中心支撑筒体设计	118
5.1	筒体分布及特点	118

5.2	筒体结构计算分析	119
5.3	筒体结构设计	126
第 6 章	中空转换钢平台设计	140
6.1	钢平台结构布置及计算分析	140
6.2	钢平台构造设计	151
6.3	复杂节点设计及优化	158
6.4	楼面钢筋混凝土楼板构造以及与平台桁架的受力和变形协调	161
6.5	钢平台施工模拟与楼面振动分析	163
第 7 章	屋盖设计	164
7.1	概况	164
7.2	屋盖结构设计	165
7.3	屋盖支座设计	170
7.4	屋盖结构内加劲环相贯节点	174
第 8 章	复杂曲面外围护框架结构设计	179
8.1	外围护结构形式	179
8.2	外围护结构整体计算	182
8.3	外围护曲面框架结构的设计	185
8.4	相容性节点设计	191
8.5	斜折幕墙柱设计	199
8.6	羽翅结构的设计	201
第 9 章	中心剧场结构设计	205
9.1	结构方案	205
9.2	结构设计中的主要问题	208
9.3	结构计算	208
9.4	结构设计	217
第 10 章	特殊结构设计	224
10.1	人行天桥结构设计	224
10.2	变直径 540° 螺旋钢楼梯的结构设计	235
10.3	三斜柱支撑空间钢楼梯结构设计	240
第 11 章	交通支撑筒体试验研究	245



11.1	筒体结构设计	245
11.2	试验结果及分析	251
11.3	筒体变形能力分析	262
11.4	结论	262
第 12 章	钢管柱边框、钢板组合开洞剪力墙抗震性能试验研究	264
12.1	试验概况	264
12.2	试验模型设计及加载装置	264
12.3	试验结果及分析	271
12.4	结论与建议	284
第 13 章	能同时满足各方向不同约束要求的专利节点设计与试验研究	286
13.1	专利节点设计	286
13.2	专利节点模型试验	287
13.3	试验结果及分析	290
13.4	结论	298
第 14 章	钢管混凝土斜折柱试验研究	299
14.1	有限元分析	300
14.2	试验研究	307
14.3	试验结果及分析	309
14.4	结论	318
第 15 章	宽翼缘 H 型钢 K 形节点设计试验研究	320
15.1	结构概况	320
15.2	设计节点有限元分析计算	320
15.3	模型设计	321
15.4	加载方式	325
15.5	试件有限元计算结果	326
15.6	试验结果和分析	327
15.7	结论	331
第 16 章	筒角钢管柱抗拔锚固与转换桁架弦杆抗拉节点锚固试验研究	332
16.1	试验概述	332
16.2	筒体角柱柱脚锚固试验	332
16.3	试件承载力与变形能力分析	340

16.4	筒体与桁架节点抗拉锚固试验	342
第 17 章	大连国际会议中心楼盖减振设计与检测	351
17.1	振动舒适度标准	351
17.2	各荷载曲线介绍	351
17.3	各区平台介绍	353
17.4	人行激励测试的布置原则	354
17.5	各分区人行激励测试区域简介	358
17.6	振动计算结果与分析	360
17.7	随机振动的计算与比较	364
17.8	随机振动计算结果与引入 ISO 标准非一致协调系数计算结果的对比 ...	365
17.9	计算值与实测值对比	365
17.10	TMD 减振分析	368
17.11	各分区实测加速度响应	368
17.12	结论	374
第 18 章	风洞试验研究	375
18.1	试验概况	375
18.2	模型制作与测点布置	375
18.3	试验方法与试验工况	379
18.4	风场模拟	380
18.5	风洞试验参数计算	381
18.6	行人高度风环境试验	384
18.7	风洞试验结果	387
	参考文献	397



第1章 工程概况

1.1 工程概况

1.1.1 场基地的背景

大连位于辽东半岛的南端，是中国北方一个重要的港口、工业、商贸和旅游中心。目前，这个城市正在经历着对沿海工业地带搬迁、再开发和兴建的变革，在未来的十年里，将完全改变城市的格局。在以往的日伪殖民统治时期，大连海岸沿线遍布港口和工厂，以便殖民者尽可能地掠夺和运输中国东北和华北资源。由于过去殖民历史对城市格局带来的影响，大连市民在很长时间里都难以直接享受海洋带来的乐趣。现在，大连市政府正一点点地搬迁海岸线周围的工厂，不但减少对城市的污染，把大海还给市民，同时为城市发展添加新的空间。

大连国际会议中心位于主城区的东港新区西端，坐落于人民路与东港区的交汇处（图 1.1-1）。这里曾经是大连港东部的油罐区和仓储区，将它们迁走后，在原有场地的基础上，通过填海造地增加了 4km^2 土地面积，形成了 6.36km^2 城市用地。未来，这里将被建设成大连新的金融和商务中心，将禁锢的海岸线还给市民，真正形成国际化开放的城市空间。大连国际会议中心就是东部港区开发启动的首批项目之一。大连市政府希望在这片城市未来发展地段的主轴线起始端创造一个特别的地标。最终，大连国际会议中心承担了这一角色，它既是大连今后举办夏季达沃斯会议等大型会议的场所，又肩负了展示大连现代化水平和城市形象的责任。它是东部港区未来轴线的起点，也是城市历史轴线——人民路的端点，它是历史与未来、城市与海的交汇点，静静地诠释这座城市的气质与魅力。



图 1.1-1 项目位置地图

1.1.2 项目概况

(1) 大连国际会议中心由大连市政府投资兴建, 由奥地利蓝天组 (COOP HIMMELB(L)AU) 在大连市政府国际招标中方案中标, 并与大连市建筑设计研究院联合完成设计。奥地利蓝天组负责建筑方案, 并与大连市建筑设计研究院共同完成建筑初步设计和部分内装设计; 大连市建筑设计研究院负责结构和机电设计方案、初步设计和施工图设计。建设工程由中国建设工程总公司第八工程局总包, 大连泛华公司监理。

(2) 项目建设历程

2008 年初, 市政府面向全球设计招标;

2008 年 8 月 8 日, 蓝天组中标;

2008 年, 大连市建筑设计研究院有限公司结构、机电、建筑施工图设计中标;

2008 年 11 月 17 日, 奠基仪式;

2009 年 1 月, 大连国际会议中心第 1 次国家抗震超限结构专家预审会;

2009 年 3 月 7 日, 大连国际会议中心结构试验立项专家论证会;

2009 年 4 月 28 日, 核心筒等结构试验开始进行;

2009 年 6 月, 大连国际会议中心第 2 次国家抗震超限结构专家预审会;

2009 年 7 月, 大连国际会议中心国家抗震超限结构专家审查会^[32];

2010 年 3 月 5 日, 国际会议中心初步设计审查会;

2010 年 8 月 28 日, 大连国际会议中心主体结构封顶;

2012 年 12 月 1 日, 大连国际会议中心工程竣工典礼。

(3) 大连国际会议中心是目前国内最为复杂的建筑项目之一。整个建筑占地 4.3hm^2 , 总建筑面积 14.68万 m^2 , 高 59m , 长轴 220m , 短轴 200m 。地下一层, 地上七层。建筑的设计使用年限为 100 年, 抗震设防烈度 7 度, 抗震设防分类乙类。如图 1.1-2 ~ 图 1.1-5。

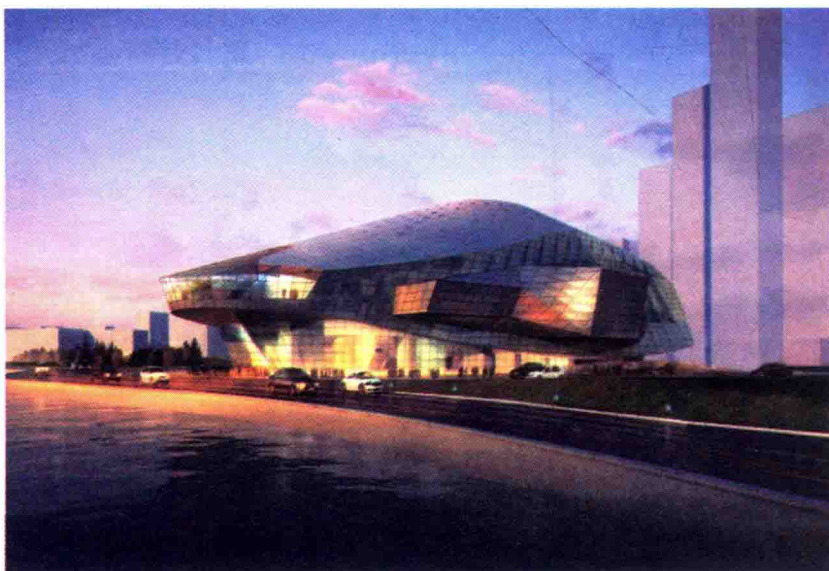


图 1.1-2 效果图

(4) 工程项目建筑、结构概况

大连国际会议中心基址面向大海, 背依城市核心, 行云流水般的建筑形态回应着海的召唤, 尺度恢宏的室内共享空间展示了开放包容的城市性格, 建筑设计核心理念为“城市当中的建筑, 建筑当中的



图 1.1-3 施工照片

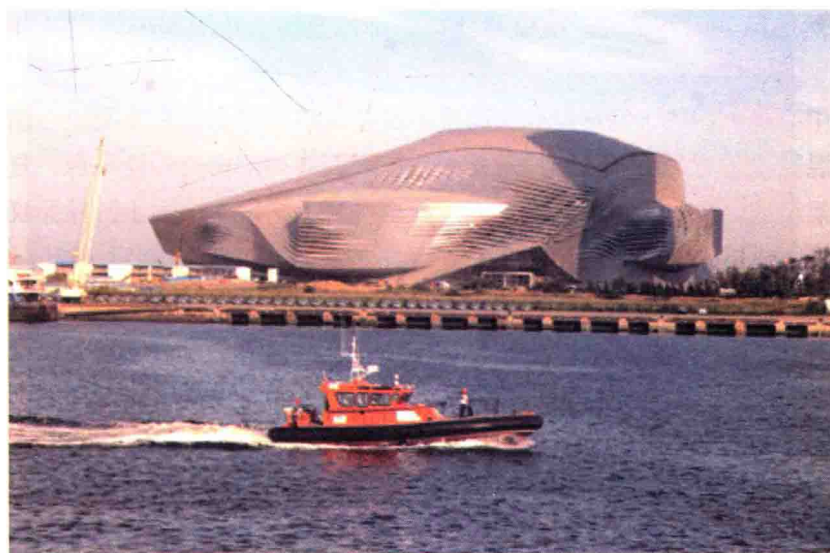


图 1.1-4 海上全景照片

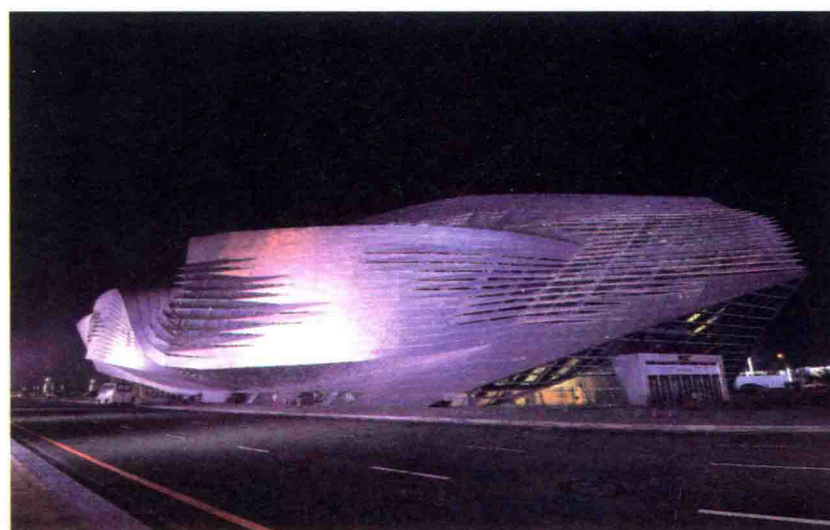


图 1.1-5 夜景照片