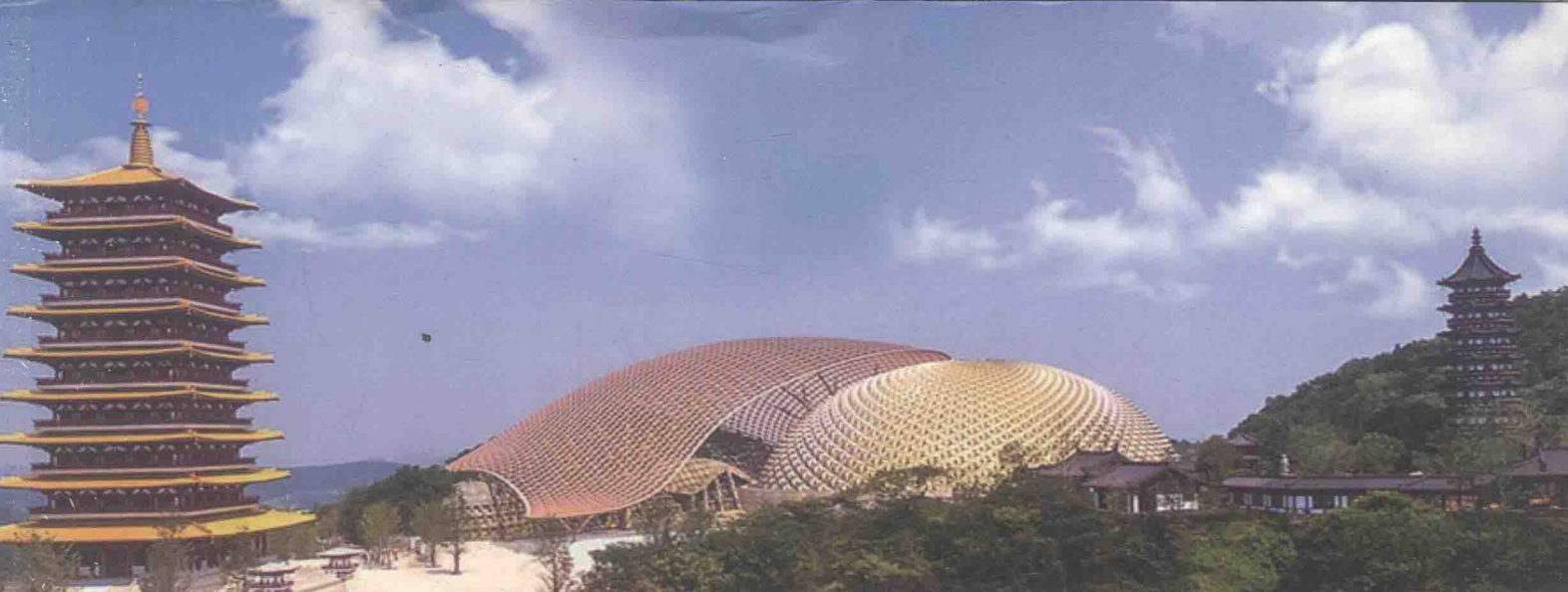




COLLECTION OF AWARDED ACHIEVEMENTS
FOR SCIENCE & TECHNOLOGY PRIZE OF CHINA
STATE CONSTRUCTION ENGINEERING CORP.

中建总公司科学技术奖 获奖成果集锦 2016年度

中国建筑工程总公司 编
CHINA STATE CONSTRUCTION
ENGINEERING CORP.

中国建筑工业出版社



中建总公司科学技术奖获奖成果

集 锦

(2016 年度)

中国建筑工程总公司 编



中国建筑工业出版社

中建总公司科学技术奖获奖成果 **集锦**

2016 年度

中国建筑工程总公司 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京海淀三里河路9号）

各地新华书店、建筑书店经销

北京佳捷真科技发展有限公司制版

北京画中画印刷有限公司印刷

*

开本：880×1230 毫米 1/16 印张：26 插页：4 字数：846 千字

2017 年 3 月第一版 2017 年 3 月第一次印刷

定价：70.00 元

统一书号：15112·29009

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>

中建总公司科学技术奖获奖成果集锦(2016 年度)
编辑委员会名单

主 编：毛志兵

副 主 编：蒋立红 周文连 宋中南 张晶波

编 辑：何 瑞 郭海山 于震平 欧亚明

单彩杰 吴克辛 关 军 孙 盈

目 录

国家奖

大跨空间钢结构关键技术研究与应用	3
------------------------	---

一等奖

基于深大废弃矿坑生态利用的大型宗教建筑关键技术研究与应用	13
深圳平安金融中心结构施工关键技术研究与应用	29
装配式环筋扣合锚接混凝土剪力墙结构体系开发与应用	36
中国建筑千米级摩天大楼建筑及结构研究	46

二等奖

3300t 单箱五室箱梁上行式移动模架施工关键技术	61
科威特中央银行新总部大楼项目施工综合技术	77
可组装式多功能盾构管片力学性能试验系统及技术	85
超高层高适应性绿色混凝土的研发与应用	90
钢结构全生命期信息化管理平台研究与应用	98
5 万吨/年合成橡胶技术	108
海绵园博园建造与场地生态修复及织补关键技术	115
复杂地质环境条件下盾构超小曲率半径隧道关键施工技术研究及应用	123
节材型模架体系开发研究与示范	130
大跨度大悬挑复杂空间结构关键施工技术研究与应用	141
东北高寒山区大跨径刚构-连续梁组合桥施工关键技术	150
大型建筑企业管理信息集成平台研发与应用	160
武汉绿地中心临江超大超深基坑及地下结构建造关键技术	167
生物质直燃发电核心技术研究	178
张家界大峡谷玻璃桥面空间索面悬索桥关键技术研究与应用	190
国家会展中心（上海）项目综合施工技术	201

三等奖

超大跨度复杂空间钢结构绿色施工技术研究与应用	213
------------------------------	-----

桥梁特种施工技术研究	223
超高层结构复杂截面钢管混凝土巨型柱设计与建造技术	233
临江复杂条件下深大基坑围护止水结构共同作用机理与环境安全控制关键技术	240
刚-柔性桩复合地基处理自重湿陷性黄土作用机理及工程参数研究	246
中国博览会会展综合体机电施工成套技术	250
50MW 风力发电工程机电系统施工与测试综合技术	258
波形钢腹板矮塔斜拉桥关键建造技术	266
复杂环境下市政道路工程施工技术研究	276
蓟汕高速海河特大桥综合施工技术研究与应用	285
基于沈丹客专的关键技术研究	295
超高层建筑 30~160MPa 大流态高匀质泵送混凝土关键技术	303
超长超重屈曲约束支撑安装技术	311
整体隔震大型博物馆施工关键技术	316
超高层建筑“上挂下承”结构逐级成型的主动控制技术	323
古遗址保护与重建关键技术研究与应用	337
千米级摩天大楼建筑环境与节能设计关键技术研究	347
航天器测试及试验中心工程关键施工技术研究与应用	356
巨型双层钢板剪力墙施工技术研究与应用	366
既有热水供暖循环动力系统节能改造研究	377
建筑工程优质高效建造技术的研究与应用	385
建筑工业化混凝土预制构件生产线创新研究与应用	393
80m 陡峭崖壁深坑内酒店工程垂直运输系统研究与应用	400

国家奖

大跨空间钢结构关键技术研究与应用

获奖等级：2016 年度国家科技进步二等奖

完成单位：哈尔滨工业大学、中国建筑股份有限公司、中建钢构有限公司、中国建筑第八工程局有限公司、中国建筑第三工程局有限公司、中国建筑设计院有限公司、中国建筑第七工程局有限公司

完成人：范 峰、沈世钊、武 岳、戴立先、支旭东、马荣全、曹正罡、钱宏亮、黄晨光、孙 瑛

一、立项背景

20 世纪 90 年代以来，我国的大跨空间钢结构进入高速发展阶段，所建造的大型体育场馆、交通枢纽、会展中心等大跨度建筑工程数量已超过其他国家同期的总和，而且呈现出跨度越来越大、形体日益复杂多样的发展趋势，对相关的分析、设计、施工技术提出了更高要求。这是我国大跨空间钢结构领域面临的巨大机遇和挑战。项目组历时 17 载，对大跨空间钢结构关键设计理论、新型结构体系及绿色智能施工技术开展了系统研究，取得系列创新成果。

二、详细科学技术内容

1. 提出了大跨空间钢结构非线性稳定性、抗震与抗风设计理论与方法

(1) 大跨空间钢结构静、动力稳定性及其设计方法

结构稳定性是大跨空间网格结构设计中最为关键的问题。提出了考虑网壳节点偏差和杆件初弯曲的“一致缺陷模态法”，揭示了空间结构弹塑性失稳全过程及其失效机理，建立了相应的结构失效判别准则，提出了考虑双重非线性的空间网格结构稳定性设计方法。提出了基于全荷载域时程分析的动力稳定性分析方法，建立了基于位移响应的动力稳定性判别准则，解决了复杂结构体系的动力失稳判定问题。

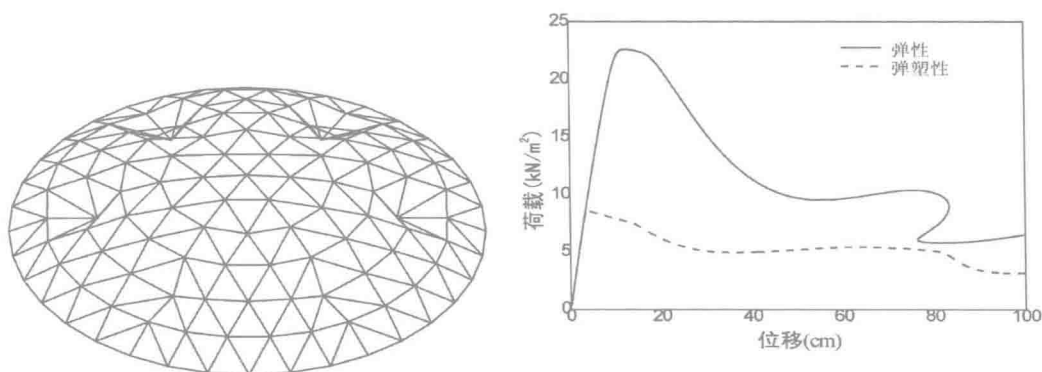


图 1 网壳失稳模态及全过程曲线

相关成果作为核心内容被收录于国家行业标准《空间网格结构技术规程》及 IASS 国际标准《Guide to Buckling Load Evaluation of Metal Reticulated Roof Structures》。基于该成果撰写的该领域第一本专著《网壳结构稳定性》已成为稳定性研究的经典著作。

(2) 大跨空间钢结构强震失效机理与抗震设计方法

提出了基于多重响应的全荷载域动力时程分析方法，揭示了大跨度空间钢结构在强震作用下的两种

失效模式,建立了相应的地震损伤模型及失效判定准则;提出大跨空间钢结构基于性能的抗震设计方法及基于概率的地震风险评估方法。在此基础上,提出了考虑空间相关性效应、钢材损伤累积效应、上下部结构协同效应的精细化抗震分析方法。

为优化强震作用下的结构失效路径,控制其失效模式,分别从结构杆件、支座、下部支承结构三个部位进行隔震减震研究,提出了新型阻尼杆件减震设计方法、新型摩擦摆支座隔震设计方法以及基于下部支承结构耗能技术的减震设计方法。

所撰写的《网壳结构强震失效机理》是该领域的第一部专著。研究成果指导了大连市体育中心、海口会展中心、沈阳桃仙机场等 30 余项大跨空间钢结构抗震设计,并在我国大跨建筑抗震超限专项审查中普遍应用。

(3) 大跨空间钢结构风荷载、风效应及抗风设计方法

针对空间结构形体多样、绕流特性复杂的特点,提出了综合考虑来流和特征湍流的风荷载功率谱模型,和考虑极值风压非高斯特性的概率分布模型;结合大规模风洞试验和大数据理论,开发了基于网络平台的大跨度建筑风荷载数据库系统。

针对刚性空间结构振型密集、多振型参振的特点,提出了高效的 Ritz-POD 风振响应分析方法,及考虑多目标等效的等效风荷载确定方法;建立了基于风敏感度的空间结构抗风设计分级方法。针对柔性空间结构几何非线性明显、风致流固耦合效应不可忽略的特点,提出了基于多场耦合理论的简化气弹模型方法和 CFD 数值模拟方法,结合系列气弹模型风洞试验揭示了结构气弹失稳机理,建立了考虑流固耦合效应的柔性空间结构抗风设计方法。



图2 建筑风荷载数据库系统



图3 膜结构气弹模型试验

相关成果作为核心内容被收录于国家行业标准《膜结构技术规程》、《索结构技术规程》和《拱形钢结构技术规程》;还应用于 2008 北京奥运会主场馆“鸟巢”、深圳大运会体育场等 50 余项重大工程结构的抗风设计,并获中国建筑总公司科技进步奖一等奖。

2. 提出了半刚性节点网壳结构、自由形态空间结构和实时变位巨型索网结构等系列大跨空间钢结构新体系

(1) 装配式半刚性节点网壳结构

装配式节点网壳施工速度快、定位精度高,符合建筑工业化的趋势。该项目率先研发了半刚性节点单层网壳结构体系,对现有的螺栓球节点和碗式节点的刚度开展系统研究,提出了两种节点在复杂受力状态下的转动刚度模型,建立了半刚性节点空间网格结构的设计方法。结合沈阳沈北新区市民健身中心工程,设计建造了直径为 80m 的我国首例大跨度螺栓球节点单层球面网壳,突破了国家现行规程限制,起到了工程示范作用。

在此基础上,提出了结构性能更优的、采用矩形和工字形截面构件的装配式单层网壳结构体系,并研发了两种具有自主知识产权的、更为高效的新型装配式节点,拓宽了单层装配式网壳的工程应用范围。相关研究成果成为 IASS 国际标准《Guide to Buckling Load Evaluation of Metal Reticulated Roof Structures》中半刚性节点网壳设计的主要依据。

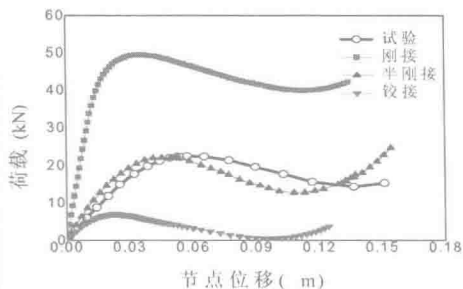
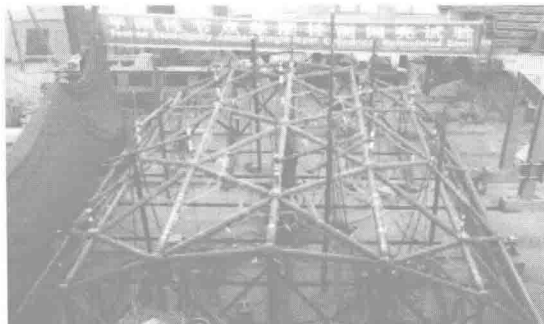


图4 半刚性节点网壳试验结果

(2) 自由形态空间结构

针对大跨度建筑造型日益丰富的发展需求,研发了系列以自由曲面和自由拓扑为特征的新型空间结构体系,并根据结构优美形体与合理受力相统一的原则,提出了相应的形态创建方法。研发了曲面拟合型自由曲面和曲线变换型自由曲面空间结构,提出了结合 NURBS 曲面造型技术和梯度优化算法的形态创建方法;研发了零弯矩型自由拓扑结构,提出了基于结构自主构形原理的结构形态创建方法;研发了多级分支树状结构,提出逆吊递推找形法,实现了对结构合理形态的高效确定。成果应用于海南国际会展中心、黑龙江省新博物馆、中国木雕艺术馆等 20 余项工程中,率先实现了基于形态创建理论的自由形态结构在国内大跨度建筑中的应用。



图5 海南国际会展中心内景



图6 中国木雕艺术馆

(3) 实时变位巨型索网结构

500m 口径主动反射面球面射电望远镜 FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical Radio Telescope) 是世界最大单口径望远镜,为“十一五”国家大科学工程。按照其功能要求,反射面支承结构必须是一个轻型的、形状可调、超高精度的巨型结构系统。针对上述需求,提出了“整体短程线索网+法向控制索+分离式背架结构”的实时变位巨型索网体系,并解决了索网结构优化及变位控制、日照非均匀温度场及其效应分析、现场风环境模拟及风振响应分析以及索网疲劳寿命预测等关键技术难题,实现了主动反射面面型精度的有效控制,圆满完成了巨型望远镜超高精度的功能需求。研究成果为 FAST 项目的“十一五”国家大科学工程立项和工程实施提供了重要技术支撑。

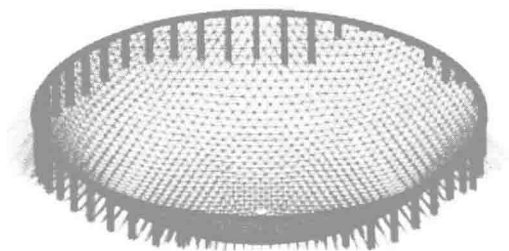


图7 FAST 实时变位巨型索网体系

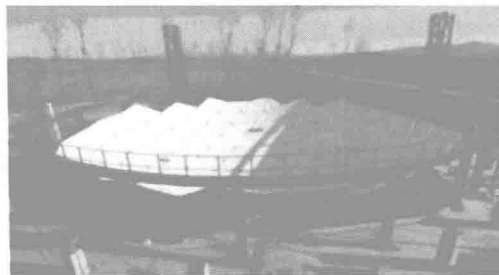


图8 FAST30m 模型试验

(4) 新型张力结构

以索膜结构和张弦结构为代表的张力结构是现代空间结构的主流形式之一,体现了空间结构轻型化、高效化的发展趋势。该项目在传统张力结构形式基础上不断开拓,结合重大工程研发了摇摆支承大跨度张弦桁架结构、椭圆平面巨型网格弦支网壳结构、全张拉式多联体索膜结构等系列张力结构新体系,并通过系统研究解决了大跨度空间钢结构设计中普遍存在的结构形态优化、支座位移/推力控制等关键技术难题。

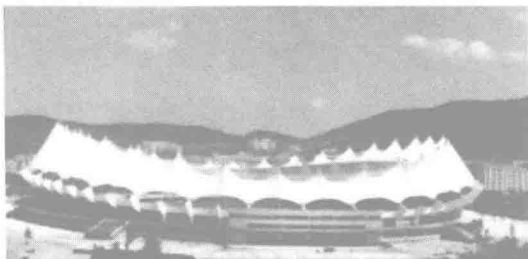


图9 威海市体育场



图10 大连市体育馆模型加载试验

相关成果应用于哈尔滨国际会展体育中心(128m跨,张弦桁架结构,当时国内外最大跨度)、大连市体育馆(140m×114m,椭圆平面巨型网格弦支网壳,同类型国内外最大跨度)、威海体育场(237m×209m,全张拉式多联体索膜结构,国内首例)等10余项工程中,先后获得中建总公司科技进步一等奖、全国优秀建筑结构设计金奖、詹天佑土木工程大奖等奖励7项。

3. 研发了异形复杂构件精益制造、精确定位与4D动态测控、自动化焊接与集群卸载等大跨空间钢结构绿色智能施工成套技术

(1) 大跨空间钢结构异形复杂构件精益制造技术

研发了大跨空间钢结构异形复杂构件的系列深化设计软件,形成了适用于双向弯扭构件、样条曲线弯管、重型多分枝节点的计算机辅助三维一体化建模深化设计新技术,解决了常规深化设计方法效率低、错误率高等问题,实现了复杂空间钢结构的精确建模与智能化出图,设计效率提高40%~60%。

首次提出了“工序模拟+力学模拟”双控法优化制作工序,研发形成了“多维复杂相贯线编程控制、空间三维构件关键节点定位、异形构件制作尺寸精度自动检测”等全过程制造控制新技术,解决了复杂异形构件成型与加工余量控制难题。

(2) 大跨空间钢结构精确定位与4D动态测控技术

研发了数字化三维坐标智能拟合验收和预拼装技术。通过自动化测量采集复杂构件关键坐标,生成高精度实体数字模型,与设计模型对比拟合,精确检查构件及预拼装外形尺寸偏差,解决了大型复杂钢构件尺寸验收难、工作量大等难题。验收结果准确率达99.5%以上,与传统检测方法相比效率提高50%~60%。

大跨度复杂空间钢结构安装精度受焊接、温度、风载、初始缺陷等不利因素影响显著。通过将构件动态位移作为定位线性目标,利用正交分解动态位移误差矢量,实现空间坐标预调,形成了多因素影响下复杂空间钢结构4D动态定位技术;研发了无线应力数据采集与传输的动态监测技术,实现了复杂空间钢结构安装、卸载等施工全过程智能同步控制,解决了传统复杂空间钢结构安装精度偏差大、应力及变形数据不直观同步的难题。

(3) 复杂空间钢结构绿色智能化施工技术

首次在复杂空间钢结构施工中提出了焊接内力定量分析方法,为空间钢结构现场焊接顺序确定提供了理论依据;开发了与坡口角度自适应的激光同步跟踪现场自动埋弧横焊技术,实现了绿色施工,解决了大型空间钢结构超厚、异材、高强钢焊接作业量大,焊接效率低等难题。

率先将砂箱卸载技术应用于大型空间钢结构,提出卸载分级量的精确确定方法及卸载控制工艺,形

成了复杂空间异型钢结构卸载系列关键技术。研发了计算机控制集群大吨位同步分级卸载技术，解决了大跨复杂空间结构卸载行程大、卸载同步要求精度高等难题。相关成果已应用于深圳大运会、重庆国博等 30 余项工程，涉及体育场馆、交通枢纽等多个领域，获省部级科技进步奖 3 项，建设工程鲁班奖 4 项。

三、发现、发明及创新点

主要科技创新一：提出了大跨空间钢结构非线性稳定性、抗震与抗风设计理论与方法。

主要科技创新二：提出了半刚性节点网壳结构、自由形态空间结构和实时变位巨型索网结构等系列大跨空间钢结构新体系。

主要科技创新三：研发了异形复杂构件精益制造、精确定位与 4D 动态测控、自动化焊接与集群卸载等大跨空间钢结构绿色智能施工成套技术。

四、与当前国内外同类研究、同类技术的综合比较

3 项主要创新科技成果与国内外同类研究、同类技术的综合比较如下表所示。

主要创新科技成果		与国内外相关技术比较
科技创新一	1. 大跨空间钢结构静、动力稳定性及其设计方法	研究成果国际领先；被国内行业规程及国际壳体与空间结构协会(IASS)设计指南相关条文采纳
	2. 大跨空间钢结构强震失效机理与抗震设计方法	研究成果国际领先；仅日本、伊朗学者有少量关于网壳结构强震失效极限荷载的研究
	3. 大跨空间结构风荷载、风效应及抗风设计方法	所提出风荷载功率谱模型、Ritz-POD 方法以及考虑流固耦合效应的柔性空间结构抗风设计方法均属国际领先
科技创新二	1. 装配式半刚性节点网壳	国内率先开展系统研究，实现自主知识产权与工程应用
	2. 自由形态空间结构	国内率先提出结构形态创建理论与方法，实现工程应用
	3. 实时变位巨型索网结构	体系国际首创，在世界上独一无二，是“十一五”国家大科学工程 FAST 结构技术基础
	4. 新型张力结构	是对传统张弦桁架、弦支穹顶、索膜结构的创新性发展，解决大型工程关键难题，为国内首创
科技创新三	1. 大跨空间钢结构异形复杂构件精益制造技术	研发了“计算机辅助三维一体化建模”技术及基于双控法工序的全过程制造控制新技术，实现了自主知识产权
	2. 大跨空间钢结构精确定位与 4D 动态测控技术	创新研发“三维坐标智能拟合验收和预拼装”、“4D 动态测量定位”等技术，研究成果为国际领先
	3. 复杂空间钢结构绿色智能化施工技术	研发原位现场自动埋弧横焊技术、计算机控制集群大吨位分级卸载技术，实现自主知识产权，研究成果为国际领先

五、第三方评价、应用推广情况

1. 第三方评价

项目中的 4 项成果进行了科技鉴定，其中：

(1) 对于《大跨空间结构新体系研究与应用》成果，鉴定委员会一致认为该成果总体达到国际先进水平，其中在巨型网格弦支穹顶结构体系、装配式单层网壳结构、自由形态空间结构创建方法、柔性空间结构抗风设计理论等方面的成果达到国际领先水平。

(2) 对于《深圳大运中心主体育场单层折面空间网格钢结构施工综合技术研究与应用》成果，鉴定委员会一致认为成果填补了国内外空白，社会效益和经济效益显著，具有广泛的应用和推广前景，该成

果总体达到国际领先水平。

(3) 对于《大跨度重心偏移组合结构低位整体提升及可视化监控技术》成果, 鉴定委员会一致认为该项目研发的综合技术先进, 成果突出, 实用性强, 总体上达到国际先进水平, 其中“低位提升控制技术”和“可视化数字监控技术”等成果达到国际领先水平。

(4) 对于《空间多管交汇异型节点制作与安装技术》成果, 鉴定委员会一致认为该课题研究的系列关键技术安全可靠、实用性强、技术先进, 具有较强的创新性, 达到国际先进水平。

行业协会、国外权威专家也对项目组的工作及本项目的成果给予了较高的评价:

(1) 中国土木工程学会桥梁及结构工程分会: “... 为我国大跨度空间结构的丰富和发展做出了重要贡献。... 由沈世钊院士和范峰教授领导的哈工大空间结构研究团队在我国大跨度空间钢结构的技术进步方面做出了卓越贡献, 其成果达到了国际领先水平, 是我国大跨度空间钢结构领域的杰出代表。”

(2) 中国钢结构协会: “大跨空间钢结构关键技术研究与应用”的研究成果, 完善了大跨空间钢结构核心理论体系, 丰富和发展了大跨空间钢结构体系, 提升了我国空间钢结构的施工水平, 整体成果达到了国际领先水平, 部分成果填补国内外空白, 赢得了社会各界的认可, 为推动我国大跨空间钢结构的发展做出了创造性贡献。

(3) 中国钢结构协会空间结构分会: “由沈世钊院士领导的哈尔滨工业大学空间结构研究中心, 是国内首屈一指的大跨空间结构研究团队, 并在国际上具有重要影响。... 该项目团队为我国大跨度空间钢结构的跨越式发展, 并跃居国际领先地位做出了重要贡献, 代表了我国大跨度空间钢结构领域的最高水平。”

(4) 国际壳体与空间结构协会 IASS-WG8 主席 Shiro Kato 教授对本项目成果的评价: “空间网格结构稳定性研究成果, 为国际壳体与空间结构技术规程编制提供了重要依据”, “为推动空间结构稳定性方面的发展, 在世界范围内做出了杰出贡献”。

2. 推广应用情况

(1) 总结核心理论研究成果, 形成可推广应用的规范、标准、知识产权

本项目部分研究成果已被《空间网格结构技术规程》JGJ 7—2010、《钢结构工程施工规范》GB 50755—2012、《膜结构技术规程》CECS 158: 2004、《膜结构用涂层织物》FZ/T 64014—2009、《拱形钢结构技术规程》JGJ/T 249—2011、《索结构技术规程》JGJ 257—2012、《网壳结构技术规程》JGJ 61—2003、《钢结构焊接规范》GB 50661—2011 共 8 项国家行业标准条文采纳; 项目组凝练多项大跨空间钢结构设计、施工及新体系研发的关键技术, 获得国家发明专利授权 7 项, 软件著作权 5 项; 以上成果可为大跨空间钢结构在我国的推广应用提供翔实的理论依据。

(2) 实现 87 项创新工程的推广应用, 形成行业引领作用

项目研究成果应用到 87 项大跨空间钢结构体系创新、分析设计及施工安装中, 其中包括体育场馆 50 项、交通枢纽工程 12 项、会展建筑 15 项, 为我国大跨空间钢结构的发展提供技术引领与工程示范作用。结构体系的创新及合理设计达到省材节能的效果; 施工新技术的应用, 在保证工程建造质量的同时节约大量建造成本。

六、经济效益

结合项目成果在 87 项大跨空间钢结构系统中的应用, 产生了可观的经济效益。项目完成单位近三年新增销售额近 112 亿元, 实现新增利润 9.2 亿元。

七、社会效益

1. 项目成果提升了我国大跨空间钢结构绿色节能和工业化的总体水平

所研发的大跨空间结构的关键设计理论、新型高效结构体系及绿色智能施工技术, 在总体上都起到了节省钢材用量、降低施工造价、提高工程安全性和耐久性的作用, 为我国大跨空间钢结构的绿色节能

和工业化发展起到了引领和示范作用，为提升我国建筑绿色节能和工业化的总体水平做出贡献。

2. 项目成果为我国大跨空间钢结构工程实践提供重要理论技术支持

成果包含多项大跨空间钢结构设计、施工关键技术，通过总结凝练，出版专著 4 部、获得国家发明专利授权 7 项、软件著作权 5 项，发表高水平论文 139 篇，成果被 8 部国家现行标准的条文采纳，为我国空间结构的设计与施工提供了重要的理论和技术支撑。

3. 项目成果为我国大跨空间钢结构体系创新起到示范和引领作用

提出系列大跨空间结构新体系并实现工程应用，既丰富了大跨空间结构的形式，又为相关新体系的设计与应用提供切实有效的分析设计方法，起到了工程示范作用。成果获中建总公司科技一等奖、土木工程詹天佑大奖、中国建设工程鲁班奖等 16 项，从整体上促进了全行业的技术进步。

4. 项目成果提升了我国大跨空间钢结构的国际影响力

多项理论成果达到国际领先水平，在国内外具有重要影响，为我国的空间结构实现从跟踪到同步再到局部超越的发展做出重要贡献。第一完成人范峰教授 2013 年获得韩国钢结构协会颁发的“KSSC-POSCO”奖，第二完成人沈世钊教授 2012 年被国际空间结构协会（IASS）授予 Honorary Membership 称号。

一等奖
