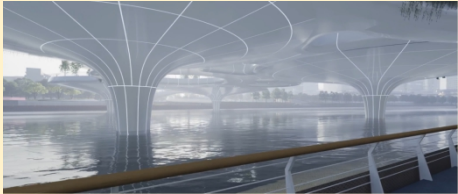


江上“莲叶”初显，交子人行桥即将绝美亮相

6月25日，随着第186个节段钢箱梁的吊装就位，交子人行桥顺利实现了主体钢箱梁的合龙。这座由多个大小不一的圆形拼接而成、外形酷似漂浮在水上的“莲叶桥”已雏形初显。



交子人行桥坐落于成都交子公园金融商务区核心区，串联了交子公园东、西区及锦江绿道，共同构建出成都唯一蓝绿交织的十字型生态骨架，是四川省首个高密商圈中开放、绿色、共享的多场景公园式慢行桥。



仿生设计是功能与形式的完美结合。该桥梁的设计灵感来源于荷塘莲叶，从单一的板式桥梁转变为灵动的组合式桥梁。桥墩模仿单片莲叶的茎

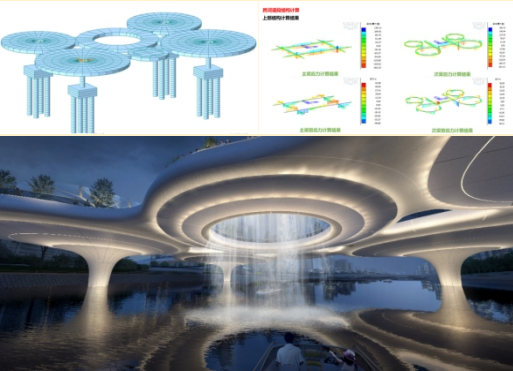
秆造型，桥面由一片片“莲叶”覆盖水面而成。同时，阳光、视线、风和雨可以穿过莲叶之间的间隙，从而和河流产生“对话”。运用同形异构的设计手法，形成一幅中国意境与水韵交融的绿色画卷。



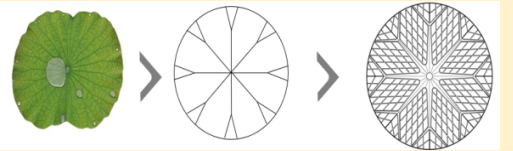
桥梁总长约496m，跨径为116m，桥面宽49.42m至83.5m，全桥钢结构超8000t，桥面投影面积超1万m²。纵横梁结构体系采用异形钢结构，由多个大小不一的圆形拼接而成。主桥钢箱梁共186个节段，总重约6800t，其中，最长节段为21.9m，最重节段约90t。

通过有限元软件建模计算，桥梁结构创新且安全，23m大悬臂异型结构配合连续刚构形成70m排架，跨河段6700m²桥面由4根墩柱支承。同形

异构的桥梁结构组合，实现了中央瀑布倾流在锦江之中。



桥上莲廊由9个300m²至1600m²的空间组成多样化活动空间，共同构建“漂浮公园”。廊架架顶使用钢材搭建，勾勒出荷叶的脉络，模拟最自然的纹路，配以棱镜嵌体折射出彩虹光。莲叶状的组合结构不仅增加了整体结构的美观性，结构之间自然产生的大小孔隙，在保证稳定性的同时大大降低了结构的整体重量。



交子人行桥预计2024年建成使用，将给人们带来美景如诗、步步生莲、盛世繁华的美妙“过桥”体验。

整理自中建西南院、CSWADI筑品等

热烈祝贺第五届全国索结构技术交流会胜利召开

2023年5月19-21日，第五届全国索结构技术交流会在四川乐山成功召开，来自全国各地130余名代表参加了本次会议。



开幕式由空间结构分会秘书长吴金志主持，前理事长张毅刚、索结构主任委员陈志华、承办单位代表王立维先后致辞！

本次会议共邀请董石麟院士等6位知名专家、学者做索结构技术交流大会特邀报告。报告的内容包括：

《新颖五边形多撑杆型索穹顶结构创新研究及预应力态分析》——浙江大学教授/中国工程院院士 董石麟

《张弦（弦支）结构体系研究及应用进展》——天津大学教授/天津城建大学副校长 陈志华

《大跨度体育场屋盖索结构设计》——全国工程勘察设计大师/北京市建筑设计研究院有限公司总工程师 朱忠义（梁宸宇代）

《索筑未来-霞田文体园体育场单层索网结构设计》——中国建科集团副总工程师/中国建筑设计研究院有限公司总工程师 霍文营

《<索结构技术规程>JGJ257修订要点解析》——中建研科技股份有限公司副总工 赵鹏飞

《大跨度索结构在体育场馆中的应用》——上海建筑设计研究院有限公司结构总工程师 徐晓明

此外，本次会议针对乐山奥体中心体育场和成都凤凰山足球场两个工程的设计、施工、制作等关键技术，

11位来自高校、设计院、施工及制作等单位的学者进行了深入交流。

最后由索结构副主任委员刘枫做总结发言。希望索结构技术交流会继续发挥平台优势，结合当期重大有特色的索结构工程进行交流。相信大家一起携手努力，共同奋斗，一定会为我国索结构的发展、空间结构的发展乃至土木工程学科的发展做出新的更大的贡献！

会后组织各代表对乐山奥体中心体育场和成都凤凰山体育中心进行了观摩。

本次会议特别感谢北京工业大学、东南大学、中国建筑西南设计研究院有限公司、中建三局集团有限公司、中国建筑第八工程局有限公司、南京东大现代预应力工程有限责任公司、巨力索具股份有限公司、贵州钢绳股份有限公司、瑞士法策钢丝绳公司、深圳市三鑫膜结构有限公司、深圳烨兴膜结构工程有限公司的大力支持。期待索结构建筑迈向新的征程！



空间结构

简讯

2023年第2期 总196期 2023.06

SPATIAL STRUCTURES

通讯地址：【100013】北京 北三环东路30号 中国建筑科学研究院建筑结构研究所 投稿邮箱：spast@cabrtech.com

本期内容

热烈祝贺
第十九届空间结构
学术会议暨第十届
结构工程新进展论坛
在杭州顺利召开

热烈祝贺
第五届全国索结构
技术交流会胜利召开

空间网格结构
发展百廿年回顾



江上“莲叶”初显
交子人行桥
即将绝美亮相



热烈祝贺第十九届空间结构学术会议暨 第十届结构工程新进展论坛在杭州顺利召开



2023年4月21日至4月23日，由中国建筑科学研究院有限公司、中国工程建设标准化协会空间结构专业委员会等主办，浙江大学承办的，第十九届空间结构学术会议暨第十届结构工程新进展论坛（庆祝空间结构学术会议四十周年大会）在杭州顺利召开，大会主题为“空间结构的创新与发展”。全国各地参会代表逾500人，是迄今为止参会人数最多的一届空间结构学术会议。

大会开幕式由浙江大学建筑工程学院院长罗尧治主持。浙江大学党委常委、副校长王立忠代表本次会议承办单位致辞，浙江省住房和城乡建设厅总工程师宋炳坚代表浙江省住建厅致辞，中国建筑科学研究院董事长、中国工程建设标准化协会理事长王俊、中国建筑工业出版社社长咸大庆代表主办单位致辞，对我国空间结构学科发展及其技术进步给予充分肯定，并预祝大会圆满成功。

空间结构学术会议始于1982年，至今已逾四十载。四十载砥砺前行，四十载风雨兼程。空间结构学术会议四十周年纪念活动由中建研科技总裁、专委会主任委员刘枫主持。中国工程院院士董石麟和沈世钊院士首先发言，讲述了空间结构学术会议从筹备成立之初到如今四十载十九届的辉煌历程。北工大教授张毅刚，建研院研究员赵基达，全国工程勘察设计大师朱忠义也先后上台发言，分享了和空间结构学术会议一同成长的感人故事。纪念视频和五代空间人的奋斗故事将活动推上了高潮，老一辈空间人的先进事迹，一直激励着新一代人空间人砥砺奋进。

此外，会议特邀中国工程院外籍院士田村幸雄、全国工程勘察设计大师肖从真、哈尔滨工业大学副校长范峰、中国矿业大学副校长叶继红、天津城建大学副校长陈志华、同济大学教授、结构工程

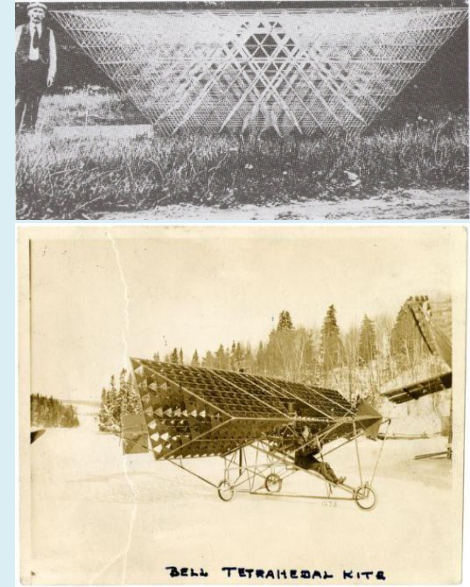
新进展论坛指导委员会主任李国强、西安建筑科技大学教授郝际平、中建研科技副总工宋涛、北京工业大学教授薛素铎、同济大学教授张其林等嘉宾出席开幕式。

学术报告阶段，董石麟院士、王俊董事长和全国工程勘察设计大师傅学怡、冯远、范重、朱忠义等14位空间结构行业专家应邀作主旨报告，为空间结构的高质量发展提供了路径指引。本次空间结构学术盛会涉及体育场馆、会展中心、航站楼、火车站、摩天轮和大型钢冷塔等领域，内容包括理论分析、工程设计、索膜结构、网格网壳结构、形态创构及优化、工程施工、特种设备及其它和空间结构的发展与应用等多个主题，共奉献学术报告100余场，学术沙龙1场。专家们所作的精彩报告令与会代表受益匪浅，大家共同探讨技术创新、展望未来发展趋势。

闭幕式由专委会秘书长马明主持。浙江大学罗尧治教授代表承办单位致辞发言，表示这是一场感动的、继往开来的、难得的空间结构会议。专委会主任委员刘枫代表主办单位赠送“求是创新 启真厚德”牌匾，表达对承办单位的衷心感谢。专委会副主任委员宋涛为大会致闭幕词，此次大会圆满结束。此外，会议还组织参观杭州奥体中心体育游泳馆，该亚运工程为超大异形空间结构，在结构的设计、加工、安装等方面为类似空间结构提供了参考和借鉴。

本次会议自始至终都充满了浓厚的学术氛围，为我国空间结构的发展搭建了一个高水平、高层次的学术交流平台，为推动空间结构领域进步做出积极贡献。在未来的漫漫长河中，空间结构领域必将不断汇聚新生力量，让空间结构事业薪火相传，创新发展。

空间网格结构受力合理、制作安装方便，是空间结构领域最常用结构形式。空间网格结构的百廿年发展史最早能追溯到 1903 年，美国著名发明家 A. G. Bell（1847-1922）采用三角锥单元装配空间网格，并将其应用于飞行器等结构的设计。



1943 年，德国工程师提出了 MERO 体系，开启了平板网架的商品化应用；随后，英国的 Space Deck、美国的 Octe、加拿大的 Triodetic 等产品相继上市，进一步推动了空间网格结构的应用。1950 年以来，R. B. Fuller（1895-1983）发展了多面体网格穹顶结构，在 1967 年美国蒙特利尔世博会中建造了直径为 67 m 的球形穹顶结构。



1964 年，西班牙结构工程师 Emilio Pérez Pinero（1936-1972）提出了折叠展开网格结构的设计思想，结构在运输时处于折叠状态以提高运输效率，在工作时处于展开状态以实现建筑功能。1970 年，日本大阪世博会中采用了空间网格结构，并实现了 292 m×108 m 的结构尺寸，展示了这类结构优秀的空间跨越能力。

空间网格结构发展百廿年回顾

1993 年，国际《空间结构》杂志主编 Z.S. Makowski（1922-2005）在 IASS 会议上指出：“在 1966 年空间结构还被认为是一种有趣但仍属陌生的非传统结构，然而现在已被全世界所接受。”伴随着技术的发展和成熟，空间网格结构被大量应用于世博会、奥运会等重大国际活动的场馆建设中，如 1992 巴塞罗那奥运会主场馆东京国立竞技场和 2020 年东京奥运会主场馆东京国立竞技场和 2020 年迪拜世博会阿尔瓦斯尔穹顶等。

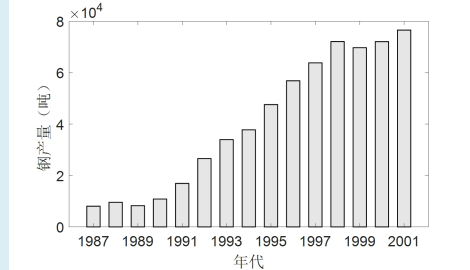


空间网格结构在我国起步较晚。1964 年建成的上海师范大学球类馆是我国第一个平板网架结构，尺寸为 32 m×41 m。1968 年建成的首都体育馆是我国首个有影响力的大跨度空间网格结构，其平面尺寸为 99 m×112 m。



上世纪 90 年代，中国空间网格结构

进入了快速发展期。一方面，改革开放带来了中国经济腾飞，为空间网格结构的发展提供了经济基础；另一方面，结构计算理论逐渐成熟，网格结构设计、施工、验收、节点构造等各类规范相继问世，MSTCAD 等辅助设计软件推广应用，为空间网格结构的发展提供了技术基础。文献指出，1992 年前，我国已有超过 50 家专门或部分生产网架结构的企业，在 1987 年之后的十年里，我国空间网架结构的年用钢量提高了近十倍，1992 年亚运会场的 13 个新建大型场馆中有 11 个都采用了空间网格结构。



发展至今，空间网格结构在我国得到了广泛的应用，应用场景包括但不限于：工业厂房、储煤结构、机库、机场航站楼、高铁站房和大型体育场馆。

(1) 工业厂房

制造业、冶金工业、造船业等行业的发展推动了工业厂房的快速建设。空间网格结构在工业厂房中的应用形式大多为柱网支承的中小跨度、大面积网架屋盖。早期的代表工程有建成于 1992 年的天津无缝钢管加工车间，文献指出，这是网架结构首次用于有重级工作制吊车的冶金工厂单层工业厂房，其面积约 6.2 万 m²，与传统的平面钢桁架结构方案相比，节省了约 43% 的用钢量。建成于 2021 年的上海特斯拉超级工厂采用了正放四角锥网架结构，面积达到 15.7 万 m²。



(2) 储煤结构

煤是工业的主要动力来源之一，为避免室外堆放造成的损耗和环境污染，我国建造了大量的储煤结构。为保证储

煤结构中长臂堆煤、挖煤机械的正常工作，储煤结构通常体现出大跨度、大面积、大空间的特点。《大跨度储煤结构—设计与施工》一书中统计了 2006 年以前的国内储煤结构，绝大多数都采用了空间网格结构，如建成于 2006 年的河南鸭口干煤棚，采用柱面网壳结构，尺寸达到 108 m×150 m。近年来，储煤结构的尺寸和跨度不断增加，如建成于 2021 年的国电宁夏方家庄电厂跨度达到了 229 m。



(3) 机库

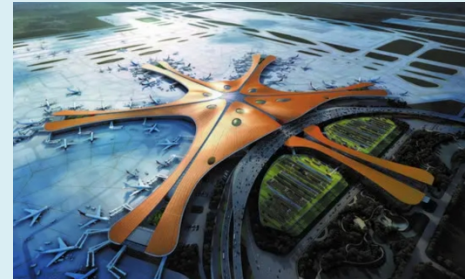
机库需要足够飞机停放的大跨度、大空间，也需要一定的承载能力来承受飞机维修过程中设备带来的荷载。网格结构是机库中最常用的结构形式，为提高承载能力，机库结构的建设也伴随着对传统双层网架结构的改进和创新。如建成于 1996 年的北京首都机场四机位机库采用三层网架结构，尺寸为 (153+153) m × 90 m。建成于 2019 年的北京大兴国际机场南航机库，采用 W 型桁架+网格结构体系，大门开口边跨度达到 222 m。



(4) 航站楼

航站楼是重要的交通枢纽，也通常是城市的地标性建筑 and 对外交流的窗口，在满足大跨度、大面域的建筑功能的同时，还常通过自由曲面构造丰富的建筑造型。我国首个采用空间网格结构的机场航站楼是建成于 1991 年的深圳 T1 航站楼，采用正放四角锥网架结构，建筑面积约为 4000 m²。建成于 2019 年的北京大兴国际机场航站楼，是当前世界上规模最大、单体建筑尺寸最大的航站楼之一，最大跨度为 125 m，总建筑面积达到 143 万 m²。

空间网格结构发展百廿年回顾



(5) 铁路站房

为满足铁路站房的大量人员流动功能需求，铁路站房通常呈现出大跨度、大面积的特点。建成于 2009 年的武汉站是我国第一个高铁站房，采用正交正放式网壳结构构造自由曲面，最大主拱跨度为 116 m。建成于 2020 年的雄安高铁站屋盖采用单层正交网格结构，平面尺寸为 355.5 m×450 m，最大跨度为 78 m，是亚洲已建成的建筑规模最大的车站之一。



(6) 体育场馆

自 1990 年北京亚运会以来，我国举办了大量有影响力的体育赛事和大型活动，对大型场馆的建设提出了需求。大型体育场馆除了大跨度、大空间的建筑功能需求外，还以富有寓意的建筑造型、创新的结构体系为主要特征。有代表性的空间网格结构体育场馆包括广东省人民体育馆、国家体育场“鸟巢”、国家游泳中心“水立方”、杭州奥体中心体育场等。可开启空间网格结构在体育场馆中也得到了一定的应用，以实现“晴天室外、雨天室内”的功能，我国最早的大跨度开启屋盖结构是建成于 2005 年的杭州黄龙中心网球馆，发展至今，典型工程包括建成于 2008 年的鄂尔多斯东胜体育场、建成于 2011 年的国家网球中心和建成于 2017 年的杭州奥体中心网球馆等。



总之，空间网格结构经过了百廿年的发展，在空间结构领域展现出强大的生命力，已经得到“广为认可，广泛应用”。中国空间网格结构经历了三十年的快速发展，形成了比较完整的科研、设计、施工和应用和人才培养体系，成为了名副其实的空间网格结构大国。

空间网格结构技术已经相对成熟，也仍有可以进一步思考的方向。结构设计方面，可以考虑以多尺度精细化模拟、逆向工程、人工智能等技术为基础的设计理念；体系创新方面，可以发展基于新材料、新工艺的新型空间网格结构；生产和施工方面，可以进一步推进网格结构各产品标准的统一化、产品加工的自动化和智能化；应用场景方面，可以融合绿色和低碳的发展理念，结合结构设计和能源设计，形成大面域、大空间的区域小环境，构建舒适、生态的人类生活空间。

浙江大学 罗尧治、薛宇
(摘自《第十届结构工程新进展论坛》
特邀报告文集)