

曲面中自然生长的结构——成都未来科技城科学艺术交流中心

在成都东部新区的未来科技城，一座以“智慧水晶”为灵感的建筑正悄然绽放——成都未来科技城科学艺术交流中心。展示馆由加州大学伯克利分校建筑系主任 Lisa Iwamoto 与加州艺术学院建筑系教授 Craig Scott 领衔设计。这座建筑不仅是科学艺术交流的载体，更是数字化建造技术与场地精神深度融合的典范。



设计师以螺旋形态为笔，将城市与自然的风景“写”进建筑，打造出内游廊式的动态空间，让每一步行走都成为与未来的对话。

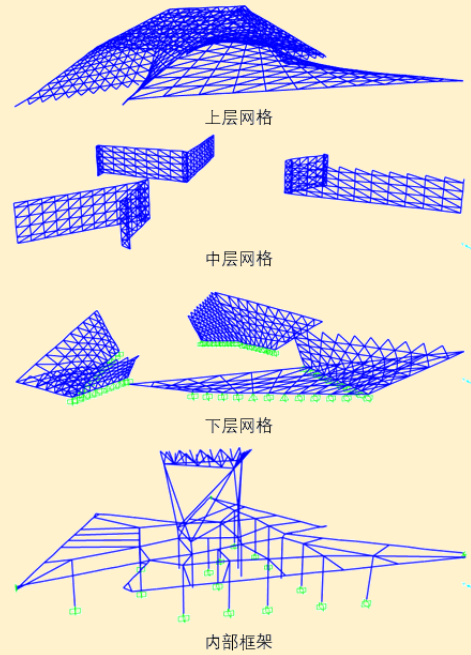


建筑整体呈现“上大下小”的轻盈姿态，18 个不规则曲面围合出独特的外立面：一层曲面大角度外倾，在各入口处形成开阔的挑空空间，迎接访客到来；二层曲面为直立面；屋面曲面则旋转向上收拢，最终在顶部汇聚成三角形观景平台，站在这里，科技城的全景尽收眼底。

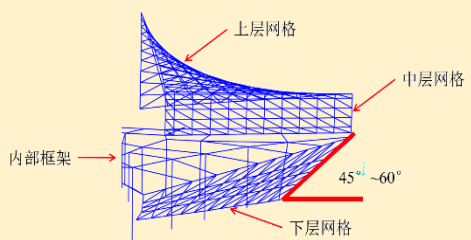


从设计图纸到落地建成，这座建筑的背后，是结构与建筑、结构与艺术的精密协作。

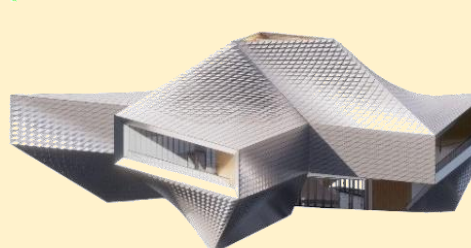
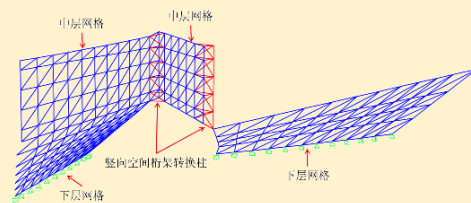
展示馆采用大倾角异形曲面网格结构，网格划分与幕墙契合形成结构曲面；二层展厅采用框架结构，与下层网络连接，中间局部框架向上延伸至屋顶与上层网络连接。



屋面采用玻璃+铝板的双层幕墙系统，要求上层网格的变形控制在 1/400，而上层网格对应的阳台跨度为 51.2m，且阳台玻璃立面区域不能设置竖向构件。为满足建筑立面效果、幕墙变形的要求，利用玻璃幕墙与上层网格之间的空间设置倒三角形桁架，桁架下弦沿玻璃幕墙顶设置，桁架高度 0.8m~1.8m；在金属幕墙后设置一颗落地柱与桁架相接，将最大跨度减小到 37.9m。桁架的设置有效增大了上层网格的刚度，有利于控制屋面变形。

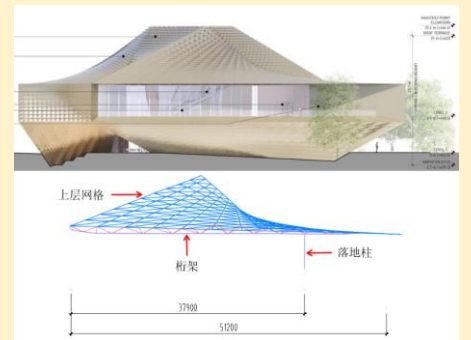


下层网格大角度外倾，在竖向荷载作用下，外倾的下层网格会使二层水平构件受到较大的拉力。为防止二层楼板拉裂，要求二层混凝土在下层网格的临时支撑拆除后方能浇筑，保证竖向荷载作用下的拉力全部由二层钢梁承担。二层钢梁的布置以垂直于下层网格为主，将水平拉力有效传至内部框架。



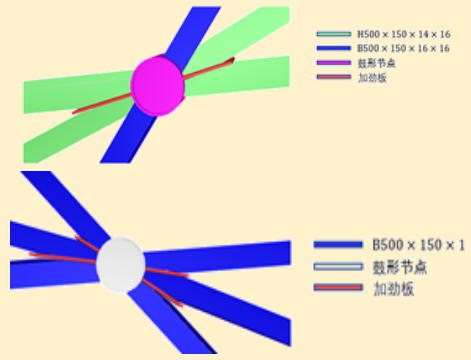
为验证结构的可靠性，进行了考虑初始几何缺陷及材料弹塑性的结构稳定性计算，并采用 NIDA 进行直接分析法的补充验算，解决了局部构件出现的应力比超限情况。

针对网格结构的节点需要满足结构受力、施工便利、建筑美观等多方面要求，本工程采用圆筒节点加插板的方式与网格杆件相贯，节点形式避免了杆件之间的焊缝重叠，统一的圆筒直径简化了节点的加工制作。选取受力较大的下层网格中的两种典型节点，采用混尺度技术进行节点分析。



结构团队从结构传力路径出发，将中央“水晶”与曲面造型有机结合，让结构的生成完全依附于建筑曲面，实现了“融于建筑、隐于建筑”的效果。

四川省建筑设计研究院有限公司复杂结构设计研究中心 赵仕兴等



四川未来科技城科学艺术交流中心

四川省建筑设计研究院有限公司复杂结构设计研究中心 赵仕兴等



空间结构

2025 年第 4 期 总 206 期 2025. 12

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

学术 活动

第二十一届中国空间结构学术会议将在兰州召开

本期内容

第二十一届中国空间结构学术会议将在兰州召开

花江峡谷大桥：建在“地球裂缝”上的世界级高桥

黄河体育中心专业足球场屋盖钢结构介绍

曲面中自然生长的结构——成都未来科技城科学艺术交流中心

第二十一届中国空间结构学术会议将在兰州召开

由中国建筑科学研究院有限公司、中建研科技股份有限公司等主办，兰州理工大学、中国工程建设标准化协会空间结构专业委员会承办的，第二十一届中国空间结构学术会议将于 2026 年 8 月在兰州隆重召开。本次会议是时隔三十六载再次来到兰州。会议主题：传承经典 焕新未来——空间结构高质量发展新征程

会议议题包括：
★发展与探索：空间结构理论、体系、分析及施工技术的创新与可持续发展。
★概念、形式与工程设计：新概念、新体系及重大工程设计案例与实践。
★分析、计算与试验：新的分析理论、设计方法、抗震抗风稳定计算；模型与节点试验。
★计算机信息技术：CAD/CAM、BIM 技术、参数化设计与信息化应用。
★试制、生产与施工：新材料、新体系与节点试制，及施工新工艺、新技术。
★健康监测和检测：监测理论、新方法与新技术，及工程应用成果。
★管理、维护与加固：全过程质量管理、事故分析及既有空间结构工程的改造、维护与加固。
★防灾与减灾：抗震、抗风、防火，防连续

大会组织委员会
主任：韩建平 殷占忠 王秀丽 冯远 罗尧治 宋涛 武岳
委员：赵炜 周凤玺 王亚军 薛素铎 杨庆山 张其林 朱忠义
王永胜 王宝成 樊新建 王秀丽
吴长 李晓东 陈明
梁亚雄 冉永红 罗斌
周锟 冯竹君 靳立佳
王宗彬 吴征 王仁红
易瑾然 李瑜 马明
张强 林祥 薛雯
秘书长：吴长 冉永红 罗斌

学术委员会
董石麟 沈世钊 马克俭 王俊
甘明 刘锡良 罗永峰 钱若军
单建 严慧 杨联萍 姚念亮
张毅刚 赵基达 赵希平 朱丹
主任委员 刘枫

副主任委员
冯远 罗尧治 宋涛 武岳
薛素铎 杨庆山 张其林 朱忠义
王秀丽
蔡建国 曹正罡 陈波 陈昕
陈伟刚 陈务军 陈志华 程欣
崔家春 杜文凤 樊钦鑫 范峰
范重 冯若强 高颖 葛家琪
顾磊 郭静 郭小农 郭彦林
郝际平 纪晗 贾水钟 姜绍飞
李霆 李海旺 李丽娟 李雄彦
李中立 刘敏 刘红波 刘彦生
刘宜丰 芦燕 罗斌 骆治安
孟亚丹 牟在根 聂桂波 欧阳元文
潘国华 裴永忠 钱基宏 秦杰
秦凯 区彤 任俊超 伞冰冰
孙海林 孙文波 唐虎 完海鹰
王启文 王文渊 王元清 王泽强

魏德敏 温四清 吴金志 吴耀华
向新岸 许贤 闫翔宇 阳升
姚亚雄 叶继红 尹越 张峥
张耀康 张一舟 赵伯友 赵鹏飞
赵仕兴 支旭东 周岱 周健
周观根 周忠发

空间结构学术会议秘书处
地址：[100013] 北京市北三环东路 30 号中国建筑科学研究院结构所
电话：010-84280389
投稿邮箱：spast@cabrtech.com

承办单位会务组
地址：兰州市七里河区兰工坪 287 号兰州理工大学兰工坪校区
电话：13919035354（吴长）
13919374832（冉永红）
13919216853（罗斌）

花江峡谷大桥：建在“地球裂缝”上的世界级高桥

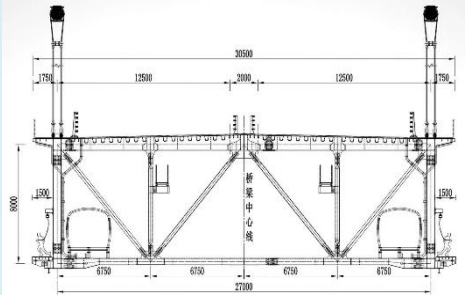
花江峡谷大桥位于贵州省六枝至安龙高速公路 K61~K64 路段，横跨花江大峡谷。花江是北盘江的一段，花江大峡谷深切近千米，长 80km，是北盘江上典型的峡谷地貌。桥址位于花江大峡谷的核心，两岸峭壁如门对峙，气势磅礴，展现“青山相对出”的恢弘意境。大桥的选址巧妙融入这一独特地貌，使桥梁不仅成为交通纽带，更化身壮丽景观的一部分。



桥面至水面距离为 625m，为世界最高桥。主桥采用 1420m 双塔单跨钢桁梁悬索桥，桥面宽度 25.5m，缆跨布置为 245m+1420m+495m，主缆中心距 27m，垂跨比 1/10。



主缆采用预制平行钢丝索股，每股由 91 根直径 5.7mm 镀锌铝镁合金高强钢丝组成，标准抗拉强度为 1960MPa。全桥设温度湿度智慧索股 2 根，应力应变智慧索股 1 根，通过对主缆温度、湿度和应力应变的在线监测，实现了千米级桥梁通长索缆全长在线实时监测。吊索采用钢丝绳，每一吊点设 2 根吊索，与索夹为骑跨式连接，与加劲梁为销铰式连接。

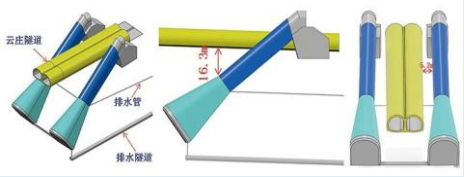


加劲梁采用板桁结合钢桁梁，由主桁、横梁、桥面板、下平联组成。主桁架为带竖腹杆的华伦式结构，主桁桁高 8m，桁宽 27m，标准节段长度 15.4m。

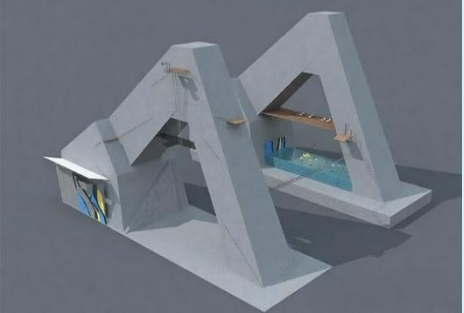
锚碇

六枝岸采用隧道锚。山区峡谷桥

梁的主要特点之一就是桥隧相连，隧道锚与隧道的布设往往受到空间限制，需要合理控制二者之间的空间关系。经多方案比选，在考虑了地质条件因素后，最终确定采用主缆外偏 2°、隧道从隧道锚中间穿过的方案。既让道路线形流畅，提高行车舒适性，又降低了隧道工程规模。隧道锚前碇面至隧道内路面顶面的距离为 16.3m，隧道至隧道锚的水平最小距离为 5.2m。隧道锚下方设置了一条排水隧道（长 230m），以排出隧道锚洞内的积水。

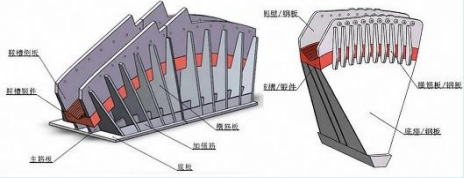


安龙岸采用重力锚，最大高度为 70.85m，在外侧设计成攀岩的活动场地，同时利用施工临时场地，设置为户外研学基地，占地 22 亩，以超级工程、户外运动和山地资源为特色吸引世界各地的学生来此探索求知和运动的乐趣。



索鞍

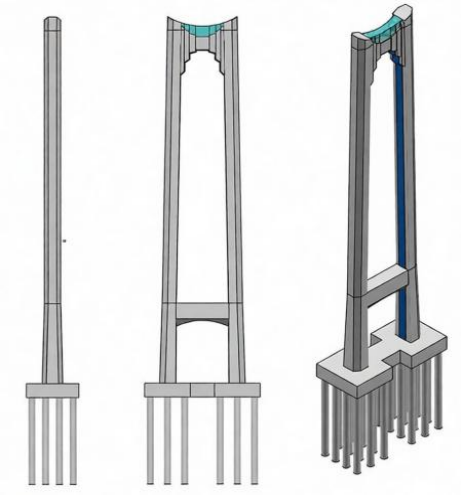
随着桥梁跨径和荷载的不断增大，传统的铸焊式索鞍在重量、轮廓尺寸上逐渐增大，其在运输安装、铸造过程中质量控制、力学性、能耗和环保等方面均存在较大问题。因此，该工程研发了具有高强度、更轻量化结构的锻焊式索鞍，能够更好地适应超大跨度带来的更高承载能力的需求。



锻焊式索鞍的鞍槽底板 30CrMo 锻钢锻造，侧壁及底座由 Q420qE 钢板焊成，相比铸焊式索鞍而言，主索鞍降低质量 25.6%，散索鞍降低质量 30.5%，实现了结构轻型化。

桥塔

桥塔以受力合理的“门”形结构为基础，将峡谷岩层地貌融入设计，以竖向线条构筑刚直、层叠的构造，呈现出简洁而现代的美学风格。塔身如山门对开守望，两侧塔柱高耸如石壁，上横梁勾勒出“山峦重叠入云端，千峰万仞皆相连”的廓形，远观犹如石林跃出天际，与周围自然和谐交融。



桥塔的层叠横梁不仅展现岩层堆叠的自然壮丽，更象征深厚的人文底蕴。设计融合山水文化的精神内核，彰显贵州山水意象与乡土情怀，同时承载“绿水青山就是金山银山”的生态理念，展现对自然环境的敬意与对可持续发展的追求。

桥旅融合

花江峡谷大桥在设计过程中着力技术创新、强调景观与自然环境协调、突出桥梁与体育、旅游的“动静结合”，拓展旅游观光功能。作为贵州桥梁文旅融合的标志性工程，花江峡谷大桥自设计之初便确立了打造国家 5A 级旅游景区、世界级旅游地标和全国“桥旅融合”新典范的总体目标。这一定位不仅延续了贵州“桥旅融合”可持续发展的探索成果，还在升级迭代中融入了更丰富的功能与文化内涵。



转自《桥梁视界》公众号

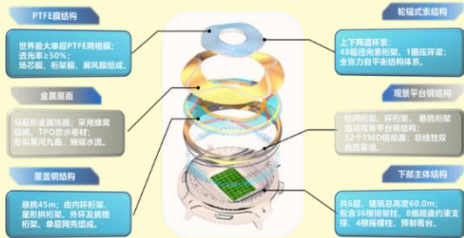
黄河体育中心专业足球场屋盖钢结构介绍

黄河体育中心专业足球场，是山东省首个六万座专业足球场，采用国际足联 FIFA 最新标准，总建筑面积 19.7 万 m²。项目由 HPP 团队进行概念设计，设计理念源自于黄河九曲，取意“九曲黄河万里沙，浪淘风簸自天涯”，打造“一轴三环”的空间结构，整体形体如同明珠般镶嵌在黄河边上，圆润的体量包裹矩形的球场，造型设计上下呼应，左右对称，将黄河雄伟的气势吞纳其中。



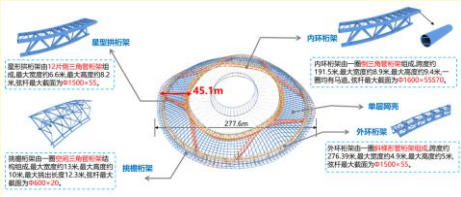
项目平面投影为中央开孔的直径约 280m 的圆形，总高度 60m。屋顶沿环向呈波浪起伏状，立面呈马鞍形。建筑共六层，包括 FIFA 标准天然草坪足球场(105×68m)、观众席、运动员级赛事用房、贵宾用房、媒体席以及商业设施等各类体育专项设施。

项目结构形式复杂，主要涵盖六大部分，自下而上包括混凝土主体结构、观景平台钢结构、屋盖钢结构、金属屋面结构、轮辐式索桁架结构以及 PTFE 网格膜结构。

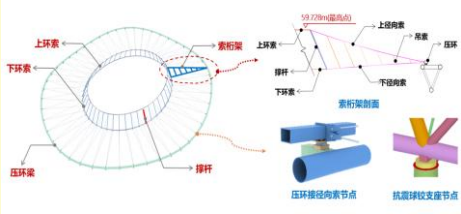


钢结构由下部钢结构及屋盖钢结构两部分组成，下部钢结构由钢骨柱、圆管柱、框架梁，以及最大悬挑约 18m 的观景平台钢桁架组成。屋盖钢结构采用桁架和单层网壳组成刚性结构体系，由内、外环桁架、星形拱桁架、单层网壳、挑檐桁架组成，大量使用 Q420GJ、Q460GJ 等高强钢材料。屋盖钢结构外环桁架下弦杆通过 36 个抗震球铰支座与底部的排架柱连接，并设置 8 组柱间屈曲约束支撑和 4 根摇摆柱。柱间屈曲约束支撑与排架柱和外

环桁架下弦均采用销轴节点连接。

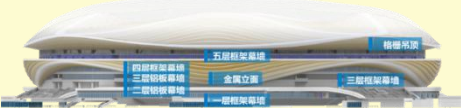


轮辐式索桁架(157×177m)由上下 2 道环索、48 根径向索桁架和压环梁组成，属于全张力自平衡结构体系，索桁架周边支承在压环梁(Q460GJC)上，压环梁通过抗震球铰支座与外圈钢结构连接。



体育场场芯、吊顶、立面均采用 PTFE 膜结构，膜总用量约 4.4 万 m²，其中场芯膜为高透光率 PTFE 网格覆膜，吊顶、立面膜均为网格膜。场芯 PTFE 膜结构位于索结构上部，膜材为以玻璃纤维为基布的 PTFE 涂层网格防水膜，共 48 片膜材，膜面长度约为 43m。是目前世界最大单层 PTFE 网格覆膜结构工程，也是世界上首个平面单层膜的轮辐式索膜结构体系。

金属屋面覆盖于屋盖钢结构上部，由 30mm 厚蜂窝铝板、TPO 防水卷材、50mm 厚吸音棉、0.8mm 厚镀锌压型钢板、以及 C 型钢檩条、镀锌钢管组成。幕墙系统主要由玻璃幕墙、铝板幕墙、框架幕墙、铝合金格栅幕墙、金属立面等系统组成。



黄河体育场创新融合了屋盖刚性体系、异型索膜柔性体系等诸多大跨空间元素，是目前国内施工最为复杂的足球场之一。项目涉及钢-索-膜-幕墙-机电多专业协同深化、前后工序安装误差累积、工序穿插繁琐等因素相互叠加，整体质量控制和一次成优难度大。

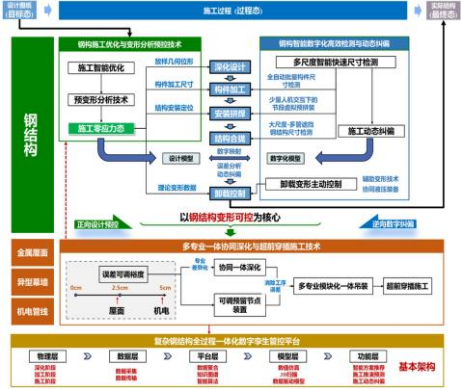
1、大跨度钢结构精益建造

结合以往的大型体育场馆施工经验，钢结构、尤其是大跨复杂钢结构的变形可控是关键核心，现有的仿真技

术无法准确模拟施工中温度效应、变形预调等因素影响。为此，项目创新提出了“正向设计与逆向扫描结合、数值模拟与动态纠偏并举”的管理方针。在算法层、设备层、工艺层、平台层等多个维度开展了系统性研发。在分析阶



段，优化并提出了新的、精度更高的钢结构施工分析算法，同时强调施工过程中的快速检测与动态纠偏，通过借助 3D 扫描仪等技术，快速获取施工阶段的钢结构形态，进而与理论模型进行快速对比，提出施工过程的实时纠偏措施，形成针对复杂钢结构系统的闭环管控。



2、高透光 PTFE 网格膜应用

膜材透光率对足球场场芯的草坪生长会产生重要的影响。基于 BIM+Grasshopper 参数化系统，开发了 PTFE 膜材透光性能分析系统，进而开展了不同膜材透光率影响下场芯草坪的太阳辐射强度分析，依据分析数据进行膜材料参数优化、编制不同区域草坪的养护方案。通过多参数优化确定了最优的膜材透光率范围。综合对比发现，采用最优膜材透光率，每年可降低 80 万 m² 的人工补光，节约 400 万补光费用。



中建八局 刘秀明