

成都露天音乐公园位于成都市三环路和城北进出城干道北星大道的重要城市交通节点——凤凰立交东北侧，整个场地为公园用地，形成向北、向东逐渐高起的浅丘。作为处在城市重要交通节点处的大型露天观演建筑，项目希望打造服务于音乐艺术的顶级主题公园，同时，提供一个成都市民文化音乐交流的“开放式”公共空间，展现成都的城市张力，打造城市音乐符号，体现音乐的“力量与呐喊”。2023年8月8日，成都大运会闭幕式在成都露天音乐公园成功举行。

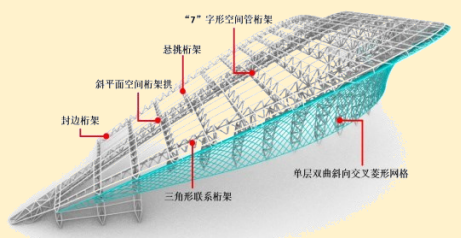


从方案设计开始，建筑和结构即进行了深度配合，对“形与力”、“功能和体块”进行了不断地推敲和演绎，结合整体公园场地浅丘特点，结合现代建筑技术，打造具有高度辨识性、极大灵活性和较强功能适应性的高品质建筑。建筑师希望在实现180m大跨度的结构体系上，既要体现力量感，又要轻盈通透；既要实现天幕的观演效果，又要满足声学要求。作为结构工程师，需要考虑创新结构体系，服务建筑功能及外观设计，尤其对大跨空间结构要充分体现结构美，使结构构件及节点成为具有强烈建筑美感表达的元素，让每个人都能看见结构的工作原理，实现建筑与结构的完美统一。另外也要考虑如何节约造价，如何降低建造难度。



项目主舞台由独立罩棚和看台及其罩棚两部分构成，独立罩棚与看台及其罩棚在结构体系上相对独立，在建筑形体上则相互搭接，紧密结合。主舞台紧靠凤凰立交，弧形的平面沿三环路向东、沿北星大道往北延伸，声学

上最大程度地减小了过往交通与演出的相互干扰。舞台开口朝向东北，利用向东北方向的缓慢抬升的自然地貌作为四万人观演模式的观众坐席。无论是声学效果还是观演体验，主舞台既以优美的姿态卓然而立，又完美地融入了周边的自然环境和地貌。

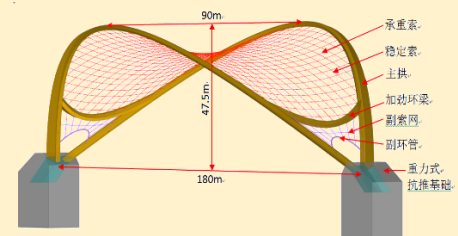


看台采用钢筋混凝土框架——剪力墙结构，其上的钢结构罩棚由21榀“7”字形桁架和落地桁架拱组成，“7”字形桁架有围绕柱底铰支座向外旋转的趋势，它与斜平面落地桁架拱互为支座，形成空间稳定体系，桁架拱既承受整体向外的拉力，同时承担重力荷载产生的压力，二者巧妙地融合在一起。落地拱也大幅减小了“7”字形桁架肩部的弯矩，外露的结构尺度更小，使观众的注意力更多地投射到这个独特的建筑空间而不是结构构件上，在这个意义上结构得以更接近“不可见”；同时落地拱也使得桁架支座及基础的设计更为容易和经济。



立面结合菱形灯箱骨架，采用单层斜向交叉菱形网格，幕墙龙骨与菱形网格合二为一，大幅简化了建筑构造层次，增强了建筑美感，同时节省了材料，降低了施工难度。看台罩棚屋顶由3300余块矩形铝板组成，立面由

1700余块四棱锥铝板组成，采用参数化设计，按建筑完成面进行了精准拼合。从城市干道看过去，看台及罩棚整体形似凤冠，铝板肌理像是凤凰的羽毛，形成曲线流畅、肌理光影丰富的立面效果



主舞台独立罩棚作为公园中最大体量的建筑，它的建筑形象，必然是公园游客、观众、演职人员视觉的中心。从建筑功能上，既需要遮阳避雨，又需要有露天的效果；既要满足数万人的观演，又要有良好的声学效果。同时要能满足各种演出的舞台、灯光、音像设备的搭建安装。从建筑形态上，在180m的大跨空间尺度上，要求美观、轻盈、有力，充分展现结构之美，实现建筑形态与结构体系完美的和谐统一。

为此，结构选择了拱与索网互承的形式，拱跨度180m，承重索跨度90m，稳定索跨度136m，主舞台独立罩棚拱矢跨比约1/4。经过计算分析比较，实腹拱比桁架拱能给索网更大的边界刚度，有利于索网找形和形态确定，有利于控制索网变形和受力，也有利于施工控制。通过形态比较分析，采用了五边宝石形横截面实腹拱，金属质感强烈，视觉冲击力强。通过优化斜拱的各边比例及夹角大小、截面定位轴线与拱斜平面的夹角关系，找出了兼具建筑美感与结构受力性能的空间斜拱形态，宝石形截面的锐角指向观众的视线方向，视觉上使结构既充满力量又显得轻盈；通过分析拱的弯矩分布与应力分布，拱截面从拱脚到拱顶逐渐由大变小，拱脚截面最大尺寸约5m，拱顶最大尺寸约3.2m，壁厚也逐渐由80mm减薄至40mm，以减轻自重、节约材料。

顶部的外膜采用拱式骨架竹节型拱膜，造型丰富且方便屋面排水。结合建筑造型和排水模拟结果，最终确定竹节型拱膜采用拱高600mm和900mm的交错布置。

中建西南院 廖理安



本期内容

中国钢结构协会空间
结构分会七届四次
常务理事会议
顺利召开第八届空间结构分会
全国全员代表大会
暨第十八届全国空间
结构技术交流会召开
通知结构与建筑的融合
共筑——东安湖
体育场结构设计公园城市中的体育与
生活——凤凰山体育
公园设计刚柔并济，守正用奇
——成都露天音乐
公园主舞台形与力
的探索

学术 活动

中国钢结构协会空间结构分会
七届四次常务理事会议顺利召开

2023年8月27-28日，中国钢结构协会空间结构分会七届四次常务理事会议在西安召开。本次会议由陕西建工机械施工集团有限公司和陕西省建筑科学研究院有限公司承办。共40余位常务理事参加了会议。



本次会议由分会理事长薛素铎教授主持，会议审批吸收了6个新会员单位，并对主动提出或长期不交会费且不参加活动的单位进行了退会处理；会议讨论了第八届理事会的组成，确定了第八

学术 活动

第八届空间结构分会全国会员代表大会
暨第十八届全国空间结构技术交流会召开通知

过去三十年，我国空间结构事业蓬勃发展，为进一步促进空间结构行业的发展，兹定于2023年10月13-16日在上海召开第八届空间结构分会全国会员代表大会暨第十八届全国空间结构技术交流会，期间将召开空间结构分会成立三十周年庆典，全面回顾三十年来，我国空间结构的发展历程。

本次大会将邀请院士大师等做大会报告，并组织分组交流，针对空间结构领域的科研、设计、施工以及管理等方面的发展及最新成果进行广泛的交流，望全体会员单位和从事空间结构行业的相关单位届时派代表参会。

现将具体事宜通知如下：

会议时间：2023年10月13-16日

会议地点：上海富悦大酒店（上海市松江区茸悦路208弄）

届理事会理事、常务理事、正副理事长及秘书长候选人名单。对分会成立30周年大会筹备情况进行了深入讨论，会议研究确定分会成立30周年大会将于10月13-16日在上海富悦大酒店召开，会议包括分会成立三十周年庆典、工作会议（第八届会员代表大会、八届一次理事会、八届一次常务理事会议）、特邀报告、分组交流、“技术创新奖”和“创新人才奖”颁奖、工程参观、羽毛球比赛等内容。最后，讨论了分会下一步工作计划。

会后，陕西建工机械施工集团有限公司总工程师刘小光带领与会人员参观了陕西建工机械施工集团有限公司展览馆，对企业的历史发展过程及不断创新发展的经验进行了介绍。

28日，与会人员参观了在建的某张弦铝合金梁结构。陕西省建筑科学研究院有限公司钢结构与焊接技术研究所所长柳明亮和九冶设计院院长陈军武对本项目背景、设计施工的重难点和主要技术创新进行了详细介绍。

会议日程安排：

10月13日上午	报到
10月13日下午	报到，网格、索、膜委员工作会议
10月14日上午	开幕式，空间结构分会成立30周年庆典，第十八届全国会员代表大会，八届一次理事会，院士大师报告
10月14日中午	八届一次常务理事会议
10月14日下午	院士大师报告
10月15日上午	分组技术交流
10月15日下午	院士大师报告，“技术创新奖”及“创新人才奖”颁奖，闭幕式
10月16日上午	工程参观，羽毛球比赛

会务组联系方式：张秀华 13552811737

结构与建筑的融合共筑——东安湖体育场结构设计

2023年7月28日至8月8日，第31届世界大学生夏季运动会在成都召开，位于成都世界大运公园内的东安湖体育场承担着举办开幕式的任务，不仅要满足赛事功能要求和后期运营需求，同时也将承载着向世界展示成都这座悠久历史文化名城的使命。建筑方案以“飞碟”造型表达具有科技感和运动感的成都大运形象，象征着希望、光明和团结。屋顶和内场呈现太阳神鸟图案，表达巴蜀文化遗产和世界大运精神跨越时空结合。龙泉山脉绵亘远方，东安湖水荡漾眼底，体育场馆巍峨半空，在屋盖上设置了超长高空观景平台，人们可以在此将龙泉山和东安湖的美景尽收眼底。



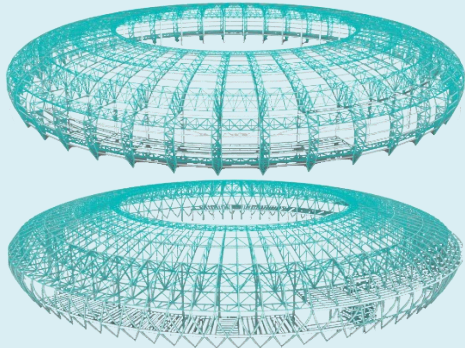
东安湖体育场是一座4万座甲级体育场，总建筑面积约12万m²，地上局部5层，建筑高度49.8m，混凝土看台最高点22.4m。与室外楼梯脱开后，7m大平台结构平面尺寸为311.5m×318.7m，7m标高以上主体结构呈类圆形，结构平面尺寸为252.3m×245.9m，屋盖直径295m，罩棚悬挑长度45m。屋盖采用大跨度平面悬挑桁架结构体系。



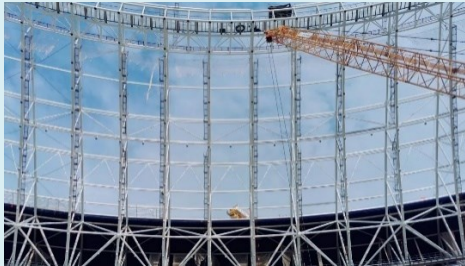
项目从建筑方案到竣工总历时两年左右，为适应项目快速建造的需要，同时在体育场屋盖上呈现太阳神鸟图案，将圆形体育场屋盖划分为88个标准单元，实现结构系统（平面悬挑桁架、外立面单层交叉网格等）和幕墙系统（屋面玻璃系统、内场吸声膜系统、立面格栅系统等）的标准化和模块化。



体育场屋盖上表面和下表面同时呈现了太阳神鸟图案，上、下两个图案正投影完全重叠，无论是在场外，还是在场内，都能感受到悠久而灿烂的巴蜀文化。太阳神鸟图案需要印在屋面覆盖材料上，设计时对各种屋面材料进行了比较，最终采用了玻璃屋面。彩釉玻璃可以更好地表现图案，材料耐久性和自洁性好。屋面玻璃总面积约27000m²，由12540块彩釉玻璃拼装而成。下表面的太阳神鸟图案是通过聚酯纤维网格膜材来完成，将印有图案的膜材挂在钢结构屋架下弦上，作为场内吊顶。



结构设计对场内部分采用平面桁架和三角形空间桁架两种形式进行了分析比较，三角形空间桁架结构整体稳定性好，但由于杆件较多，在日光下，会印射在内吊顶膜材上，影响太阳神鸟图案，平面桁架相对三角形桁架，投影面的杆件较少，因此选择了平面悬挑桁架结构，立面采用单层交叉网格体系。

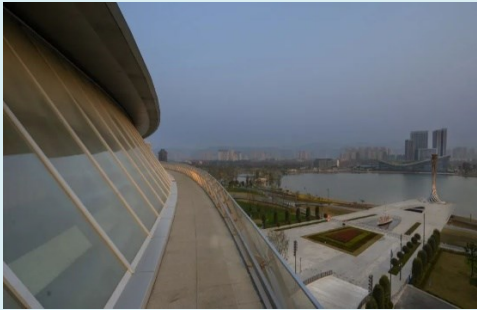


由于平面桁架悬挑45m，尺度较大，为解决平面桁架的面外稳定问题，除在内环设封边桁架外，在悬挑区域设置了两道环形桁架，其中一道环形桁架的位置设置于太阳和神鸟的分界处，另一道桁架抽空下弦，用腹杆提供面外支

承，按拉杆设计。同时力求实现玻璃单元与杆件的对位关系，减小屋面多余线条影响，结合玻璃分板参数（1.2m~2.0m尺度范围，玻璃单元面积2.5m²），通过调整桁架上弦弧度与玻璃分板尺寸，实时调整桁架腹杆布置，最后以腹杆所成角度评判结构合理性，并结合下弦膜的曲率确定悬挑桁架的形状。这样的布置方式和设计方法可以最大程度减小结构杆件对太阳神鸟图案的影响。



东安湖公园一湖一环七岛十二景，将传统文化、历史文化与艺术美学融进每一处景观。为了将龙泉山和东安湖的山水美景尽收眼底，在建筑南区29m标高处，利用桁架高度空间打造300m长、25m宽的高空观景平台，楼盖采用钢筋桁架楼承板，设置环向次梁，支承于桁架下弦。在大跨度轻型屋盖上设置超长重型楼盖，并预留观光、展览、健身、休闲、娱乐、餐饮等多种建筑功能荷载，桁架杆件布置也充分考虑了功能空间的使用要求。



为了能从地面直达29m观景平台，同时满足观景平台疏散需求，需设计四个竖向交通筒用于布置楼梯和电梯，每个竖向交通筒需布置两部楼梯、两部电梯以及设备管井。交通筒尺寸较大，无法避开径向平面桁架，这就导致桁架下弦要穿过竖向交通筒，钢屋盖无法和交通筒设缝脱开。为了让次桁架传力路径更短，选择将次桁架下弦与竖向交通筒连接在一起，较好地解决了筒体、楼盖及桁架三者间变形协调和连接构造。

中建西南院 向新岸

公园城市中的体育与生活——凤凰山体育公园设计

成都凤凰山体育公园坐落于金牛区北部新城杜家碾片区，是北星大道主轴上的重要节点。项目总共包含一座60,000座的专业足球场、一座18,000座的综合体育馆、可提供展览餐饮服务的天府俱乐部，以及多功能训练馆以及商业、酒店等配套服务设施。凤凰山体育公园承办了第31届世界大学生运动会篮球比赛。



项目从整体规划、建筑设计、运营管理着手，以赛事建设为基础，将赛事文化逐步植入片区发展，持续推动片区建设。赛事是暂时的，城市是永恒的，以赛谋城的思路将为城市北部片区的发展提供强劲而持续的动力，从而实现全年无休持续盈利的体育综合体，结合周边城市公园，打造全民健身聚集地，使凤凰山体育公园成为成都真正意义上休闲娱乐、氛围活跃的城市会客厅。



足球场、天府俱乐部与体育馆三个单体，通过流畅优美的线条织为一体，形成极具标志性的城市建筑群体效果。建筑外形由七个折面构成，其倾斜的角度、肌理的疏密，随建筑形体自然的渐变过渡。通过银白色与银灰色两种不同穿孔率的铝板，形成编织有序波光粼粼的肌理，利用材料在透明度、反射度上的差异，在不同的气候条件下呈现出风格多变的立面效果，整个建筑仿佛是一幅在城北的光影下，跟随自然的律动而变幻着的“蜀锦画卷”。

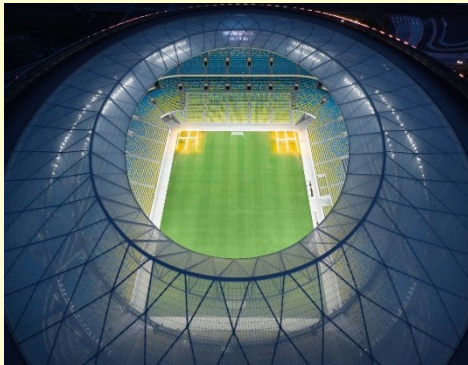
专业足球场的平面投影形状为椭圆形，南北向长轴直径279m，东西向



短轴直径234m。屋盖的建筑造型是一个单轴对称曲面，北高南低，最高点建筑标高64.000m，最大高差约10m。主体结构地上6层，地下1层。屋盖罩棚最大悬挑长度64m，最小悬挑长度55m，是集大跨和高层为一体的民用建筑。

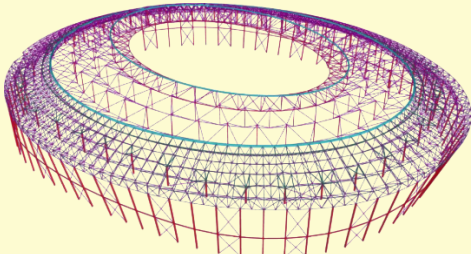


凤凰山体育公园足球场屋面设计，充分考虑了成都本土的日照、降雨、通风等气候条件，通过性能化模拟推演，设计将足球场北偏西转10°以接受更多日照。有别于传统体育场馆大量采用金属屋面的做法，设计选用了大面积的镀点ETFE膜材料，在兼顾内场观众的舒适性的同时增加自然光线透射，为草坪养护助力，减少日常运维成本。这一建筑设计思维上的变化带来了结构体系的创新，实现了少有的柔性结构与ETFE材料的完美结合，营造出轻盈通透的屋面效果。



结构设计根据建筑功能要求和屋面材料选型，开创性的提出了大开口内环刚性索穹顶结构，用482根高强度拉索撑起了25000m²的ETFE屋面。屋盖大开口索穹顶结构体系由三部分组成：

第一部分为外环双层网架，第二部分为中部葵花形索穹顶，第三部分为内环立体桁架。外环网架平均宽度27m，用来实现结构整体竖向支承要求，并满足大开口索穹顶结构外压力环的边界条件。中部的索穹顶结构是由连续拉索和不连续压杆组成的空间整体张拉结构，共设置2圈环索，每圈环索设40道撑杆，撑杆最大高度约14m。内环的立体桁架则可以吸收索穹顶中心部位上脊索和下斜索产生的拉力，维持大开口索穹顶结构的整体造型。三者协同工作，可以充分发挥拉索的高强特性，轻盈高效地跨越大空间。



通过充分释放拉索的受拉特性，使得屋面整体结构轻盈、安全、简洁、高效，最终仅用不到1/5的用钢量完成了大跨度技术需求，实现建筑、结构、气候、功能和谐统一的自然营造。



在投入使用后，凤凰山体育公园已成为这座城市幸福生活中的一道靓丽风景。在这里人们可以感受到体育和生活的完美结合，享受堪比欧洲的职业足球观赛氛围，聆听阔别多年的万人欢唱盛宴，探索科技感十足的新品发布会，体育与生活的无界融合在此地得到了完美的诠释。



中建西南院 向新岸