

国家网球馆技术设计

Technical Design Solutions for the National Tennis Stadium

撰文 安澎 丁利群 高庆磊 李磊 中国建筑设计研究院

业主 北京世奥森林公园开发经营有限公司

设计单位 中国建筑设计研究院



图1 国家网球馆效果图

摘要 结合国家网球馆项目的部分技术设计内容,针对遇到的一些技术难点,探讨解决体育建筑技术设计问题的一些方法和手段。

关键词 体育建筑 技术设计 开启屋面 消防 节能 声学

体育建筑作为肩负体育比赛、社会活动等多功能的城市标志性公共建筑,使用功能的综合化、建筑造型的个性化以及体育比赛的专业化等方面的技术要求,使得体育建筑的技术设计内容与一般民用建筑有着较大的差别,除了通常的建筑、结构、机电等专业内容外,一般还包括场地设计、场地照明、场地扩声、大屏幕、计时计分、建筑声学、消防性能化、节能、预制看台等专项设计内容。结合国家网球馆项目技术设计过程中碰到的一些关键技术难题及解决途径,对体育建筑的技术设计手段进行一些探讨(图1)。

1 工程概况

国家网球馆位于北京市朝阳区奥林匹克公园北区场馆群网球中心2号场地南侧,北临北五环,西临林萃路,是以专业网球比赛为主、兼顾多功能需求的体育场馆。建成后将成为北京地区最大、具有国际先进水平的网球比赛场馆,也是承办“中国网球公开赛”的专用比赛场馆。赛后作为以网球比赛、训练为主的多功能体育及文化活动中心场馆,并可提供运动、休闲、健身和商业等综合性服务(图2)。

工程总建筑面积 5.1万m^2 ,赛时观众总数为1.4万人。主体建筑地下1层,地上1层,附属用房8层,建筑高度为46m。

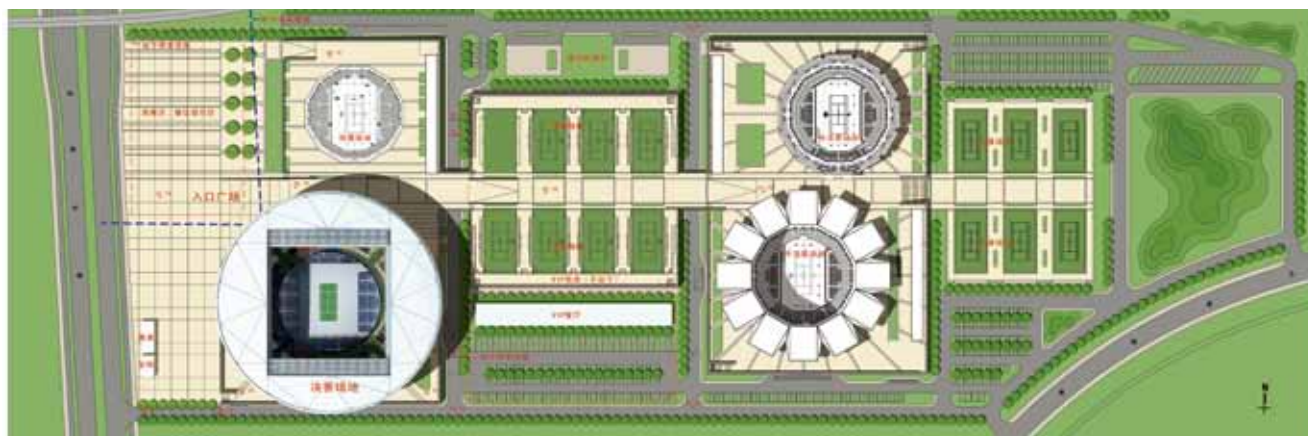


图2 总平面



图3 鸟瞰图

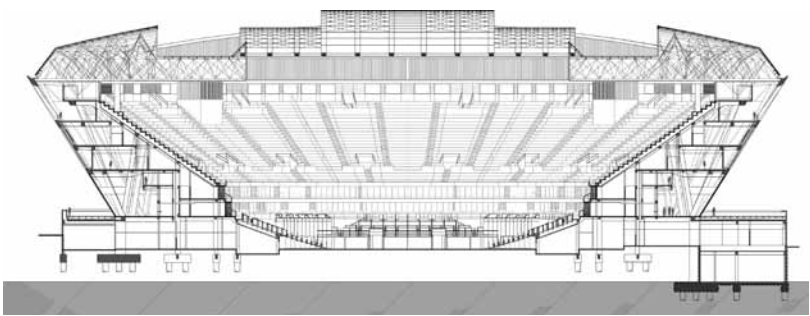


图4 简化剖面图

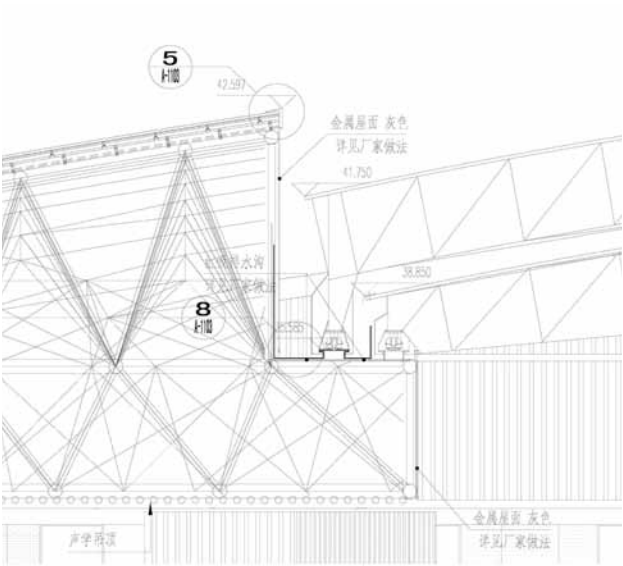


图5 屋顶活动部分剖面局部

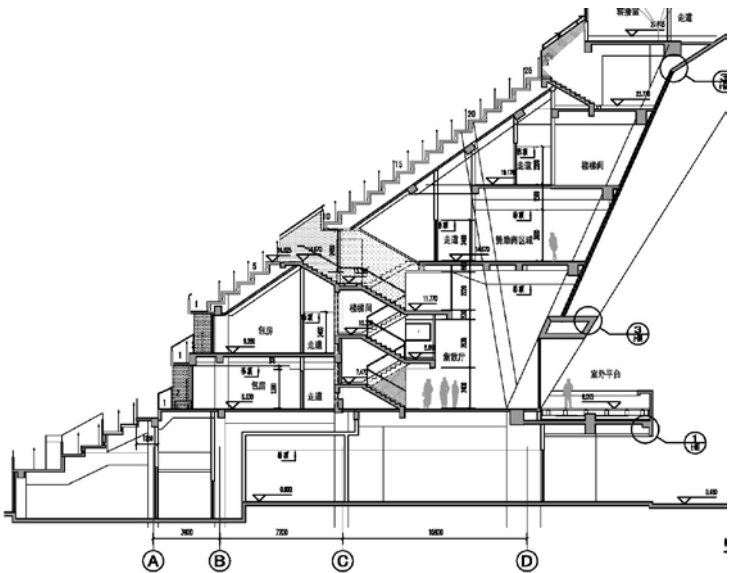


图6 错位楼梯局部剖面

2 技术设计要点及难点

为了满足中网赛事主办方尽可能多设置包房的要求，在上层看台和下层看台之间设置了双层包房，成为本项目的特色。同时由于场地局限、上层视线、碗状看台等多方面的限制条件，最终形成本项目倒圆台的建筑形体（图3，4）。

根据中网比赛在室外环境下进行的使用要求，建筑采用了平开推拉式开启屋盖。开启范围为圆形屋面，中央60m×70m的区域，约为屋盖面积的50%左右，由2组4个独立的开启单元组成，东西方向开启，开启时间8min。在东西两侧固定屋盖的范围内设置活动屋盖储存仓（图5）。

国家网球馆项目这些独特的设计形式给消防设计、声学设计、节能设计、立面施工等均带来挑战。

2.1 消防设计

技术设计过程中，针对消防设计难点，借助于消防性能化设计手段，对本建筑物的火灾风险、火灾发展状况以及主动和被动防火措施的实际效果进行分析评估，确定必要的消防措施，同时依据性能化意见，对建筑方案进行优化调整，达到建筑设计与消防安全有机结合的目的。

开启屋面在中网比赛期间基本处于开启状态，成为“场”；赛后利用基本处于闭合状态，成为“馆”。综合考虑使用的实际情况中“馆”的状态多于“场”的状态，消防设计按照“馆”进行设计。建筑周围附属建筑自然层8层，总高度超过24m，考虑到主体结构为单层大空间，结合国内现有体育场馆的消防设计情况，确定按照《建筑防火设计规范》进行设计。

2.1.1 防火分区

由于网球馆工程所需的特殊使用功能，导致高大空间的观众厅（从首层至地上8层）与地上2~8层的其他部位之间在防火分区无法严格地分开；同时由于建筑形体的原因，疏散楼梯不能实现从2层竖向直达8

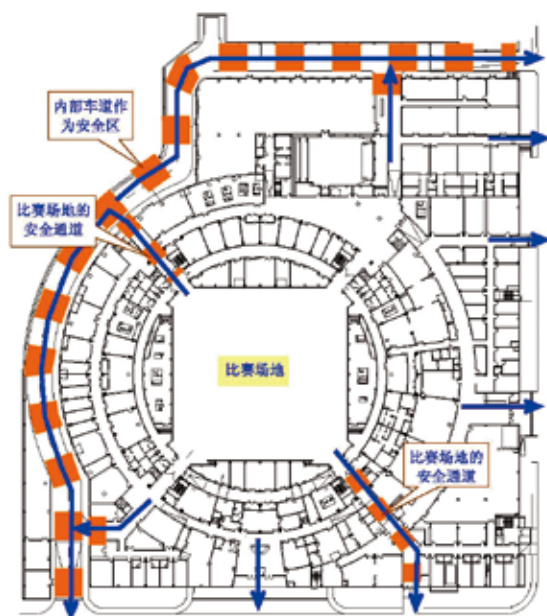


图7 首层疏散平面图

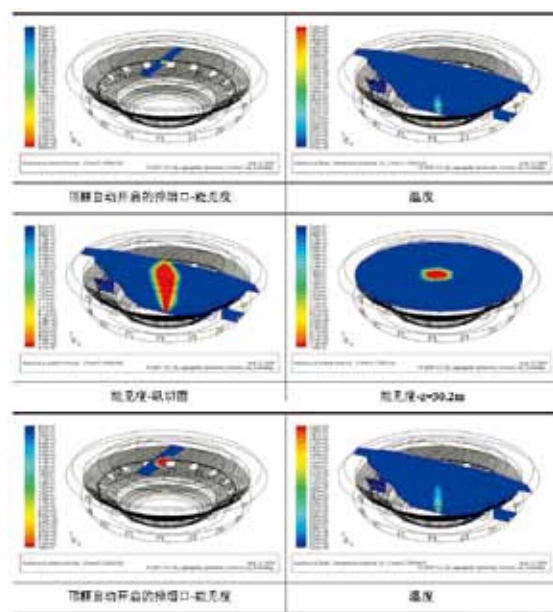


图8 观众厅烟气扩散示意图

层，在5层出现同层错位。种种制约因素，最后确定将本建筑首层场地及地上2~8层按照一个防火分区进行设计，但在各层平面与观众厅之间尽可能采用防火分隔划分为若干独立的防火单元（图6）。

2.1.2 建筑材料

开启屋面部分，考虑到减轻自重、方便开启等原因，采用阳光板作为屋面板；另外，根据建筑声学设计要求，将观众厅屋顶部分钢结构承重构件用吸声材料包裹，同时在其钢结构间悬挂吸声体。依据《建筑内部装修设计防火规范》3.2.1规定，>3000座的体育馆，墙面、顶棚材料燃烧性能等级应为A级。依据国内检测标准，阳光板材、吸声材料及吸声体的防火性能只能达到B1级，在消防性能化设计过程中，通过燃烧试验等手段，对其防火性能进行验证，由于上述材料主要应用在网球场屋盖结构中，距离观众较近的吸音材料在受火后不会产生融滴。产生融滴的阳光板距离观众较远，即使在有外来火源影响时，产生的融滴也会在下落过程中迅速冷却。试验结果表明采用上述材料是相对安全的。

2.1.3 首层安全疏散距离

首层平面为了避免本建筑内部人流与观众人流的交叉，结合原有地形高差等因素，在首层西、北两面设置带顶盖的地下环路（只在西南、东北连接到室外），供平时使用。但首层西北侧区域的疏散如果通过该地下环路到达室外，则导致疏散距离超长。为解决该问题，采取在地下环路的中间部位设置通风百叶、加设紧急疏散口等措施，既避免与上部的观众人流产生交叉，又确保了该环路的安全性，使之成为安全区，供首层西北区域的疏散使用（图7）。

2.1.4 消防排烟

对于观众大厅，充分利用开启屋盖，采用自然排烟。屋盖本身分为4个独立的单元，在运行上均可单独控制打开，而互不影响，也确保了屋盖开启的可靠性。屋盖开启与消防控制进行联动，保证消防排烟的安全。消防性能化设计中，通过相关火灾场景的烟气计算及烟气控制模拟，得出比赛场地采用的可开启屋盖可作为本建筑的消防排烟系统，该系统应与火灾自动报警系统联动打开，打开时间不应大于8min（图8）。

2.2 声学设计

依据《体育馆建筑设计规范》9.0.13条规定,国家网球馆观众厅混响时间中频（500Hz）控制在满场小于2.5s。观众厅内声学设计的主要部位包括顶棚、墙面与地面。结合本建筑的实际情况，顶部由于开启屋盖及阳光板的使用，而成为本建筑声学设计须重点考虑的部位。

开启屋盖部分高度距离地面约45m，正下方是比赛场地，也是演出的最佳位置，同时主席台也位于正下方。根据声学计算的结果，该部分位置平均自由程长超过27.6m，容易产生长延时的回声，语音清晰度差，



图9 声学材料三聚氰胺吸声体

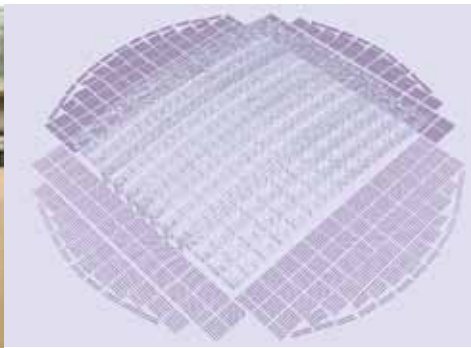


图10 屋盖吸声体悬挂示意

方案设计：徐磊、丁利群、高庆磊、刘恒、安澎
施工图设计：徐磊、安澎、高庆磊、丁利群、李磊、
刘恒、朱吟、金鼎

审核：李燕云

审定：熊承新

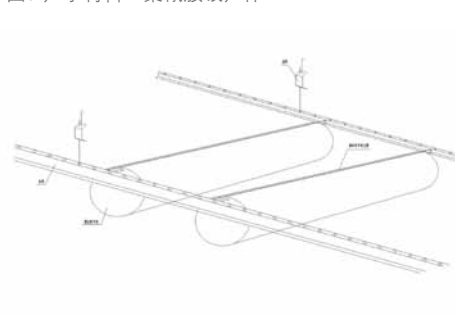


图11 吸声体声学测试与节点图

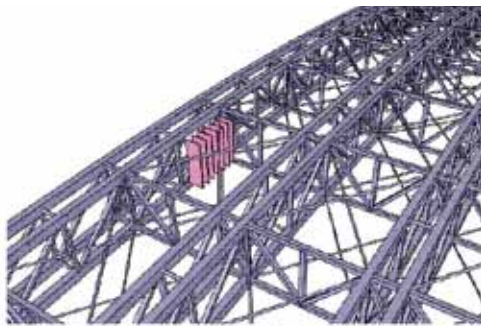


图12 侧面吸声体悬挂示意图

开启屋盖维护结构采用阳光板材料，无法采取固定屋盖的分层构造隔音措施来达到降低雨噪声的效果。而在开启单元的周边，由于节能设计的需要，设置了一定数量的通风百叶，以解决开启屋盖下方热量聚集、局部温度升高的问题。最终通过声学实验，确定在开启屋盖部分增加吸声措施，确保体育馆正下方的赛场和座席区域获得良好的语音清晰度，该部分声学材料需满足在能降低雨噪声的同时改善馆内的音质清晰度。声学设计提出几种选择方案：三聚氰胺吸声体、安装微穿孔聚碳酸酯吸声薄膜、透声铝格栅（图9）。

考虑到开启屋盖部分室内装饰效果、采光、通风、荷载等要求，吸声薄膜虽然可以满足吸声、采光的需要，但不利于通风、室内装饰效果的需要；透声铝格栅虽然可以满足吸声的需要，但不能满足采光、自重轻以及室内装饰效果的需要，影响到开启屋盖的正常使用效果。根据比较的结果，最终确定采用三聚氰胺吸声体。

开启屋盖部分网架包覆25mm厚度的三聚氰胺吸声体，并且桁架之间悬挂三聚氰胺吸声体。考虑热工的需要，开启屋盖侧面设置导气孔，将观众厅内上升的热气流排出室外。由于屋面间空隙会大大降低屋面的空气声隔声，声学设计结合导气孔布置消声吸声体，外界噪声进入室内前首先要通过消声叶片降噪，该部分选用面密度较小的海绵吸声体，采用铁丝将其固定安装于网架之间，消声叶片则布置在通气部分附近，间距300mm，达到同时满足节能及声学的设计要求（图10~12）。

2.3 节能设计

国家网球馆节能设计的重点部位为观众厅，其他部位均采用常规的节能构造措施。观众厅采用了开启屋盖及阳光板，同时根据业主要求，观众厅设置只送新风式空调。这些客观条件使得观众厅的使用状态存在多种可能，其温度环境控制面临较大的难题；同时由于在夏季，开启屋面关闭状态下，其贴临的下方温度升高比较明显，对开启屋盖的钢结构桁架影响较明显，甚至有可能超过钢结构容许的变形计算温度65℃。由于不设置空调，无法主动干预观众厅内的环境温度，只有尽可能通过控制通风口的设置，对环境温度进行控制，但控制的效果是有局限的，特殊的天气条件下正常使用将受到一定的限制。

结合对开启屋盖侧面百叶封口的布置、7层16个2 000mm×2 200mm洞口开启状态、1层通往比赛场地的4个通道的开启状态、2层通往室外平台的大门开启状态、看台楼梯的开敞状态等构造措施的组合控制，以及对观众厅周边的建筑构造措施控制，节能专项设计单位对各使用条件下环境温度进行综合分析，得出相应的数据。将各个使用工况对应的室外温度条件汇总，确定了观众厅在全年内的使用条件及时间（图13）。

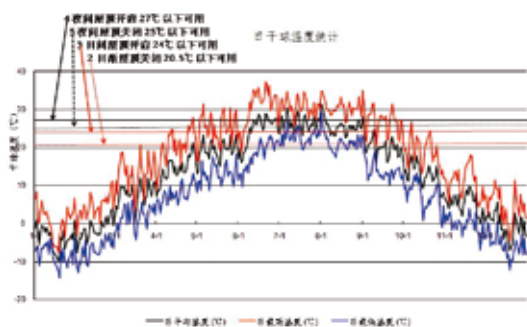


图13 使用工况对应的室外温度条件示意图

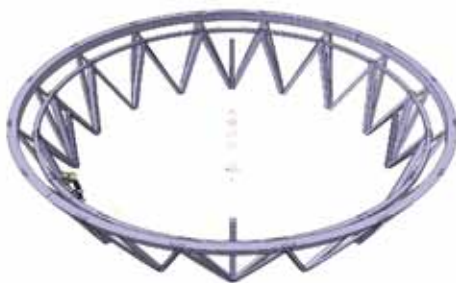


图14 V型结构示意图



图15 外V柱施工示意图

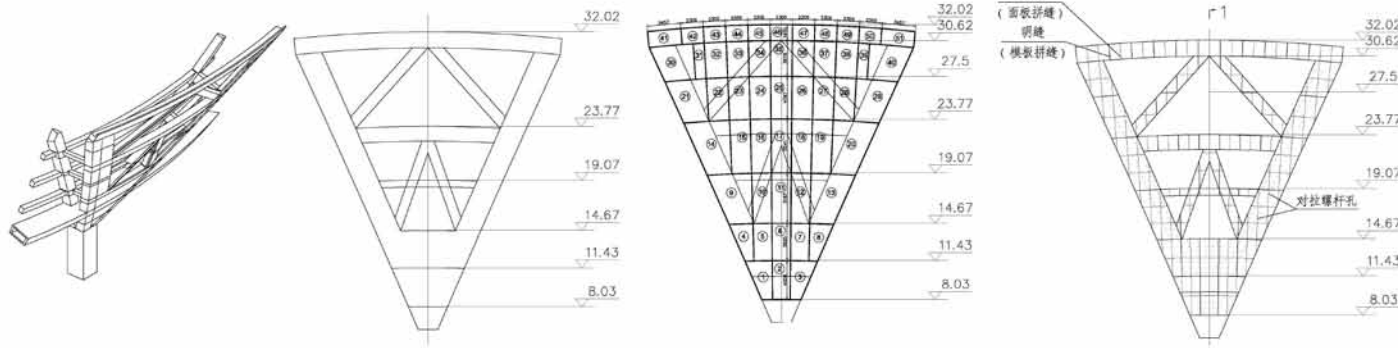


图16 模板布置图

2.4 立面施工

工程进入施工阶段，面临的一个重要课题就是立面V型柱的施工。国家网球馆项目倒圆台形式的建筑形体在立面设计上采用了富有动感的、连续的内外双层V型柱的结构形式，支撑看台、屋面及外立面，并通过顶部的环梁将V型柱连接起来，结合碗状看台的结构成为一个完整的结构体系。严格来说，作为外立面的V型柱在纵向上实际是曲线的形态，如果严格按照曲线的形态进行模板的设计施工，将面临很大的困难，也直接影响到工程造价与施工周期；如果调整为直线的形态进行施工，虽然可以大大降低施工难度，但对立面倒圆台形态的完整性会产生很大的破坏。经过反复讨论，最后确定将倒圆台的形式转化为倒圆棱台的形式，这样就解决了两者的矛盾。下一步的工作就是确定棱台的分格大小及施工缝间距，结合工地模板的尺寸规格，经过多种分格的比较，最后确定了单品V柱的模板布置方式，取得了较好的效果（图14~16）。

3 结语

体育建筑的技术设计需要多个专项设计配合单位的协同工作。在设计过程中，种种因素的制约，使得在技术设计阶段的设计也充满了困难和挑战。技术设计阶段不仅仅是解决具体技术问题的过程，同样也是方案完善的过程，在维持方案构思精髓的同时，应立足全局，对方案的合理性、各专业的协调配合进行全方位的思考。广开思路，把握重点，有所取舍，尽可能圆满解决各种技术困难，达到完美的设计效果。



第一作者简介

安澎，中国建筑设计研究院拾壹建筑工作室，国家一级注册建筑师。

主要项目：国家网球中心新馆、国家体育场、北京沙河高教园区配套公建等。