

杭州奥体博览城主体育场罩篷设计 回顾与技术策略

The Review and Technical Strategy of the Stadium Roof in Hangzhou Sports Park

撰文 胡志亮 CCDI中建国际设计

杭州奥体博览城主体育场位于钱塘江与七甲河交汇处的南侧，属于特级特大型体育建筑。主体育场看台和附属用房为钢筋混凝土框架剪力墙结构，罩篷为空间管桁架+弦支单层网壳钢结构体系，结构设计使用年限为100年。

1 罩篷形式的由来

主体育场罩篷的设计理念基于城市元素，表达的是有机生长的概念。在建筑设计中，设计师将丝绸、西湖、钱塘江和自然等概念抽象为几个重要的要素：编织、水、绿和基于上述三个要素而产生的有机生长（图1）。体育场就是绽放在这个充满编织、水和绿的“城市绿洲”上美丽的“盛世莲花”，形式有机，边界柔和而充满张力（图2，3）。

2 罩篷形体的优化

罩篷形体优化的重要任务是使罩篷的设计具有较强的可实施性，并尽可能实现标准化和模数化，以利于造价和施工进度的控制。设计师从两个方面进行了罩篷形体的优化设计。

2.1 单元化研究

合理的罩篷形式从落实到可实施阶段，单元化是重要的一步。杭州体育场罩篷是由若干个“花瓣”单元构成的，单元化研究的目的是在保证设计形体优美的基础上，减少罩篷“花瓣”的种类，同时“花瓣”结构单元在看台最高处和二层平台的落脚点处与混凝土看台及平台结构发生连接，实现了结构与表皮的有机结合。此外，还要兼顾表皮与内部混凝土柱网的结合。

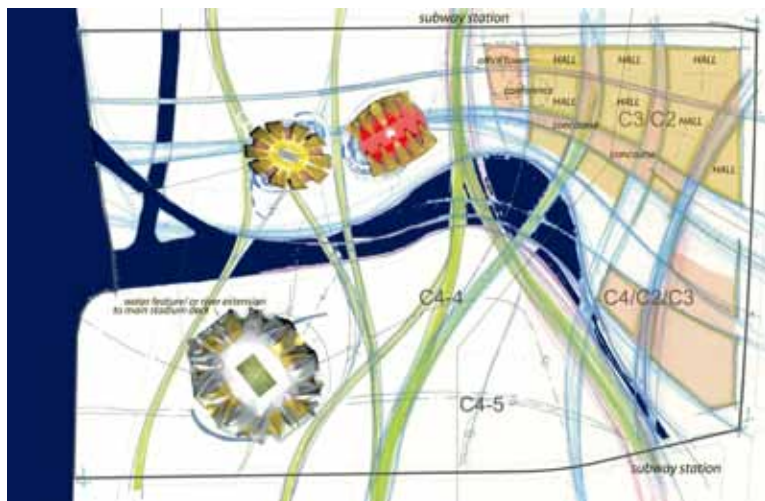


图1

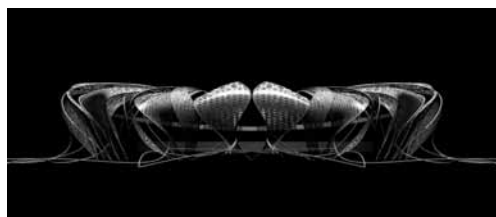


图2

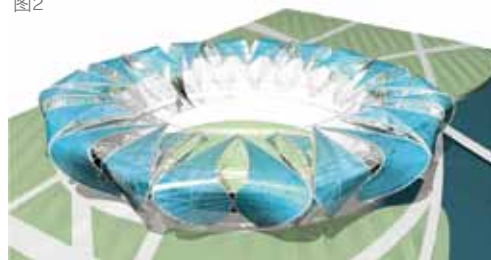


图3

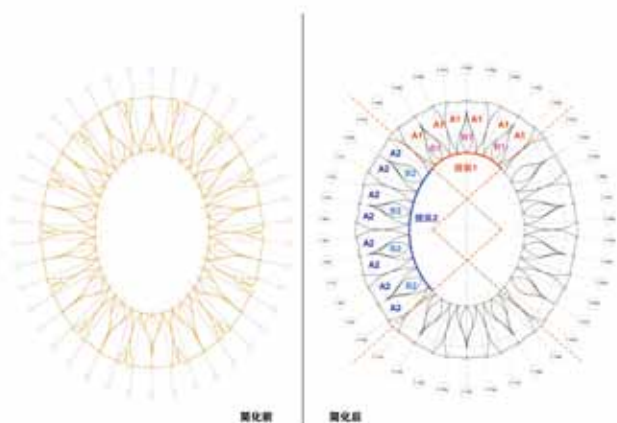


图4

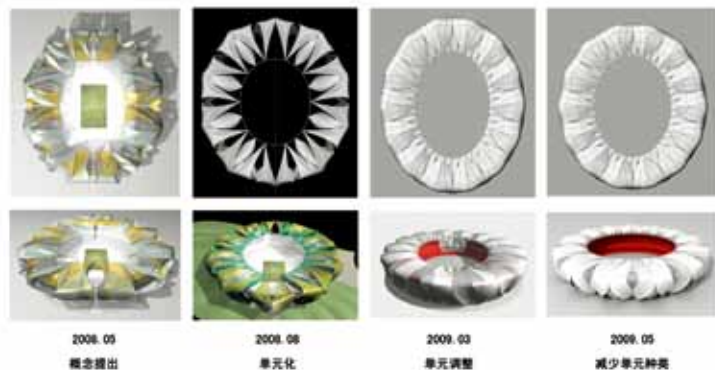


图5

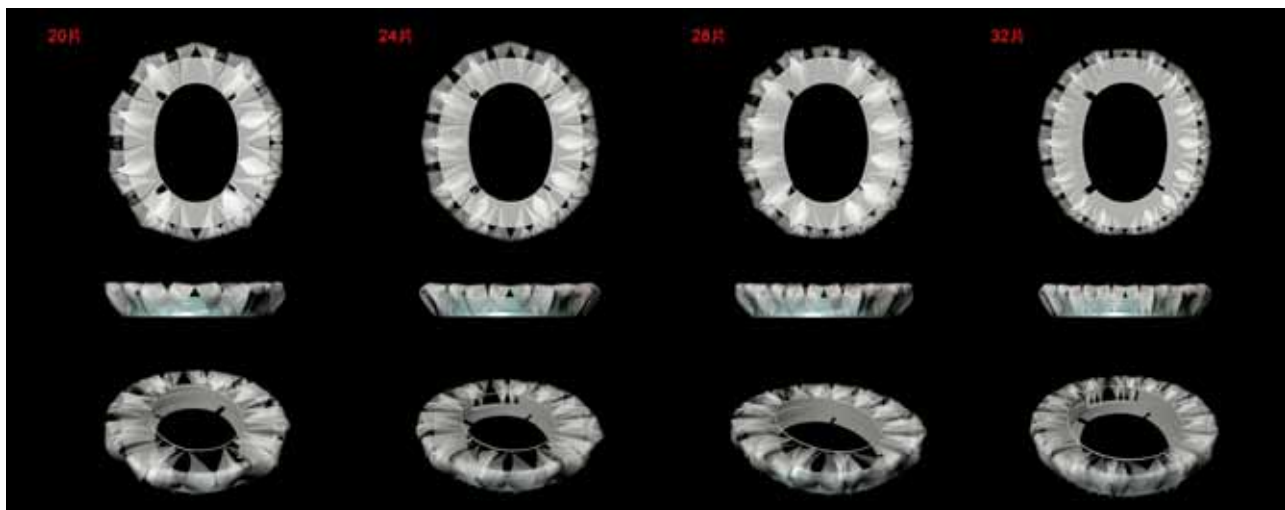


图6

结合上述要点考虑的体育场罩篷由4种不同的花瓣单元组成：大花瓣A1，A2，小花瓣B1，B2（图4）。两种大花瓣及两种小花瓣分属于不同的圆弧，形状相似但不相同。经优化后的罩篷，更具逻辑性和秩序性，同时也为结构构件及表皮的标准化的设计提供了良好的设计基础（图5）。

2.2 花瓣尺度的研究

花瓣数量的多少是影响花瓣尺度的关键因素。设计师借助BIM模型的参数化设计进行了大量的研究，在原有方案20片的基础上，通过缩小单一花瓣尺度的手法分别调整出24片、28片、32片花瓣组成的体育场造型（图6）。

研究中选择了6个重要视点，对20片、24片、28片、32片方案进行渲染和对比。通过不同角度的渲染，模拟建成后从远景、中景、近景观察体育场的不同状态。同时经进一步分析得出：体育场是钱塘江东岸的地标性建筑，作为大尺度的公共建筑，远观的效果要重于近看的效果，因此比较合适的处理方式是：花瓣的尺度和比例应首先满足远观的需求，但花瓣的细部处理应照顾到人在近处观察时的感受。经过多次比较，最终选择花瓣数量为28片，单片花瓣的尺度和比例也是比较合适的——如果数量减少则尺度过大，数量增加则会显得过于细密单薄（图7~12）。

3 罩篷材料的选择

罩篷材料由实体材料和透明材料组成。为突出表现花瓣并限定优美的花瓣边界，花瓣部分为实体材料，花瓣之间的填充区域为透明材料（图13）。

3.1 实体部分材料性能及效果要求

实体部分材料性能及效果要求：1）屋面与立面浑然一体；2）通透、轻盈并可在白天和夜晚有不同的表情；3）可以实现复杂的曲面；4）满足性能化消防对外立面穿孔率的要求。

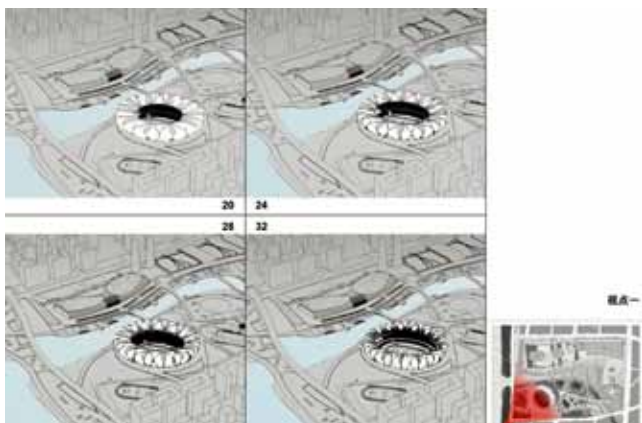


图7

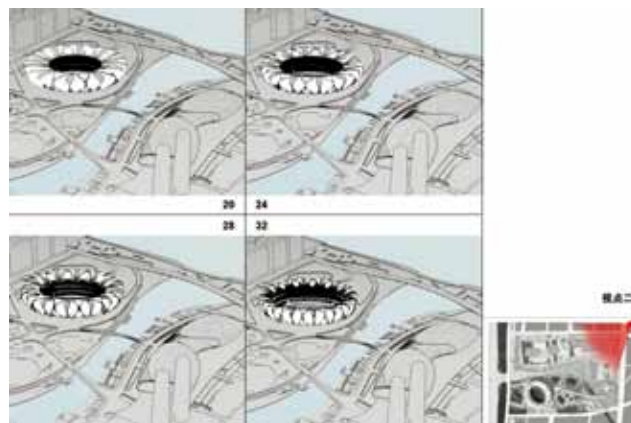


图8

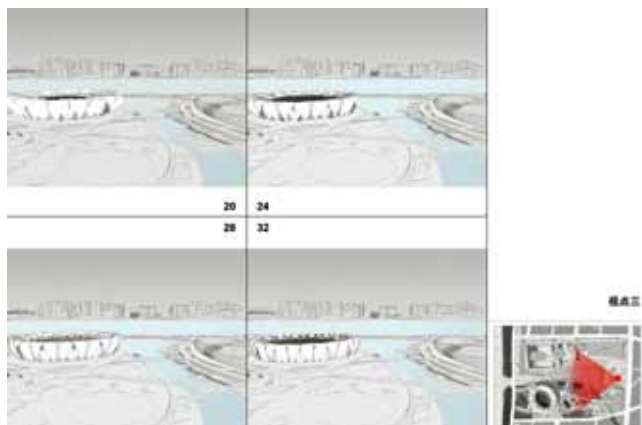


图9

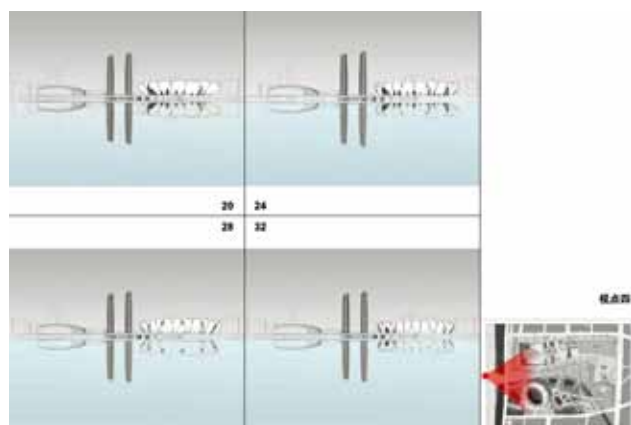


图10

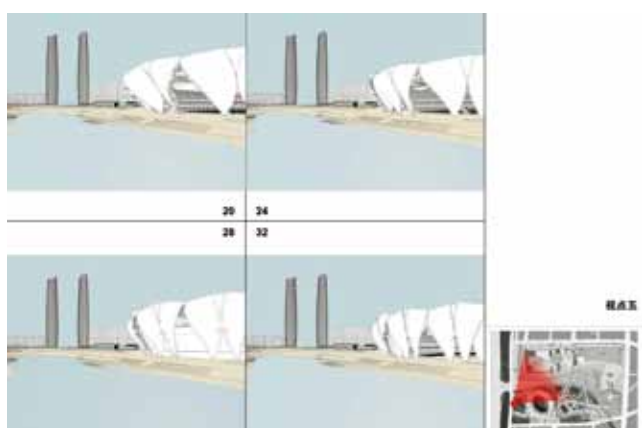


图11

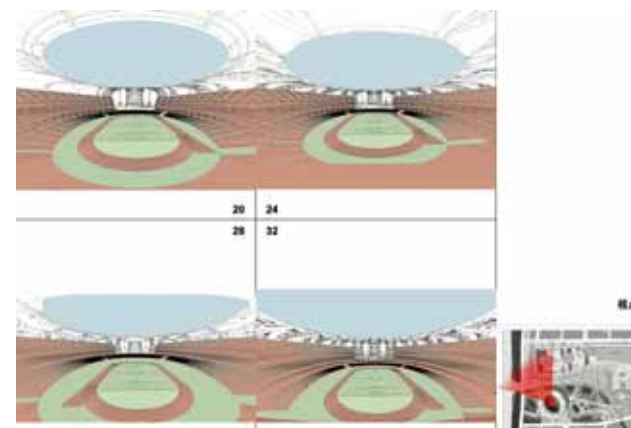


图12



图13

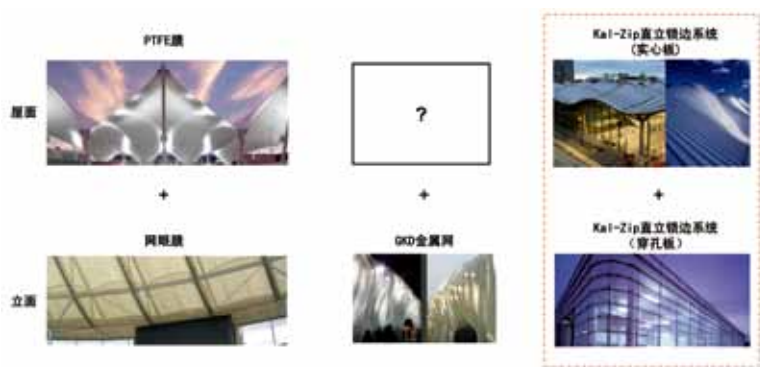
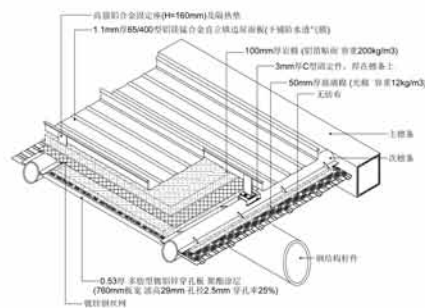
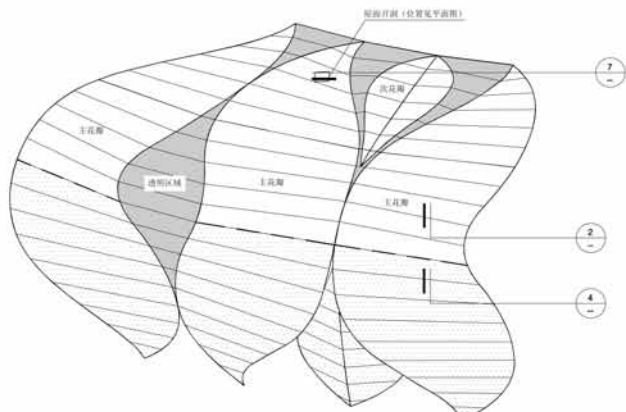
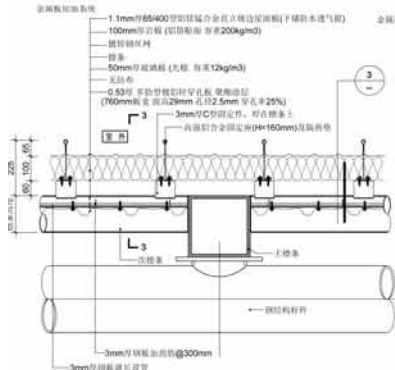


图14

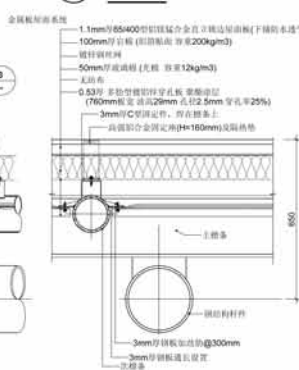


6 1:10

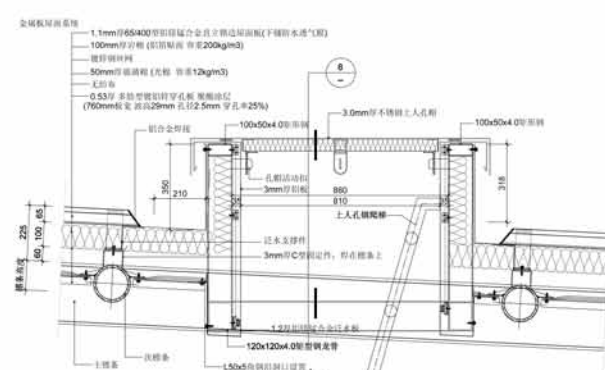
索引图



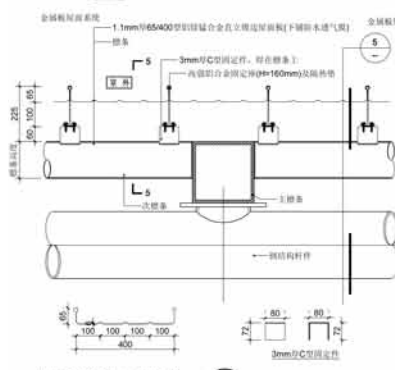
2 1:10



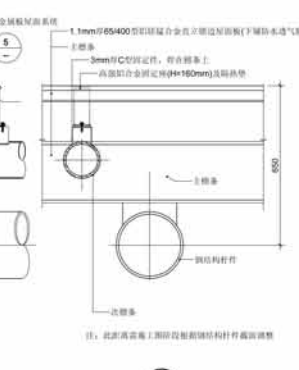
3 1:10



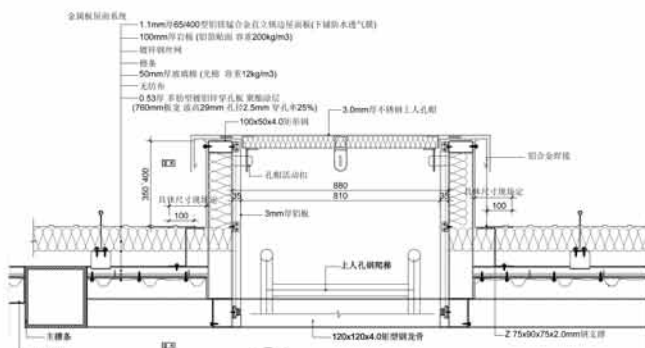
7 1:10



4 1:10



5 1:10



8 1:10

图15

PERFORATED ALUMINUM CONCEPT

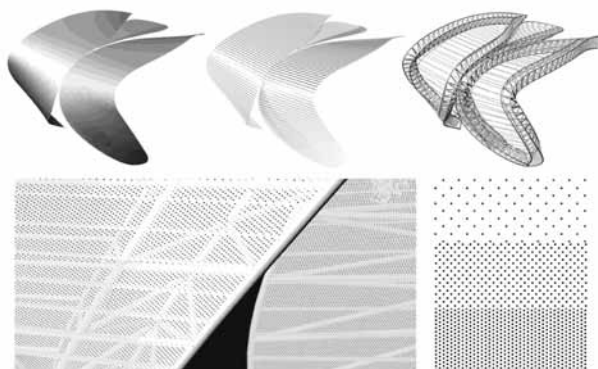


图16

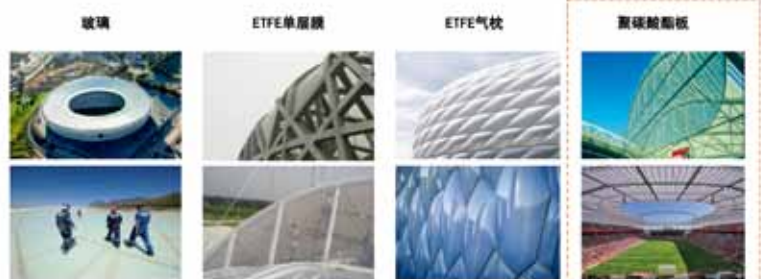


图17

143

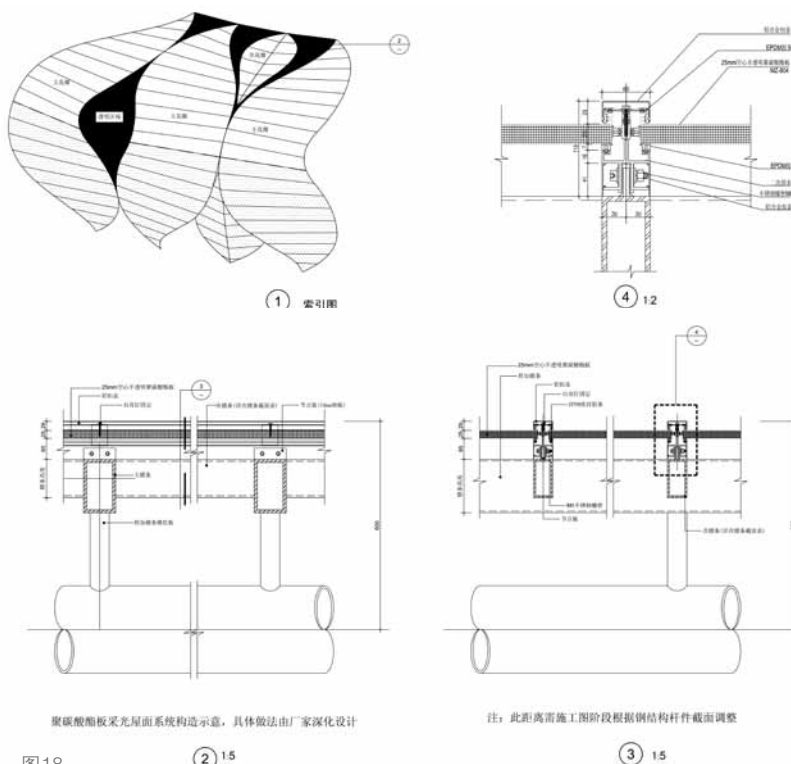


图18



图19

主要经济技术指标
 座席数：80 011席
 占地面积：82 904m²
 建筑层数：地上6层，地下1层
 总建筑面积：210 110 m²，
 其中群文中心的建筑面积61 185m²
 地上建筑面积：150 927 m²，
 其中含群文中心面积：35 376m²
 地下建筑面积：59 183 m²，
 其中含群文中心面积：25 809m²
 建筑高度：罩篷最高点结构标高为59.4m（结构中心线）
 看台高度为36.445~42.463m

实体部分可选择材料有PTFE膜、直立锁边板、金属板及金属丝网等。综合考虑设计效果要求，最终选择直立锁边系统的实心板和穿孔板材料（图14），金属屋面的构造设计如图15所示。在罩篷立面金属板上进行了穿孔处理，一方面满足立面通风要求，另一方面保证内部空间的消防安全性。按照消防论证结果，外立面总体透空率需大于25%，设计中将金属板立面穿孔率由下至上从30%过渡到5%形成渐变效果（图16）。

3.2 透明部分材料性能及效果要求

透明部分材料性能及效果要求：1）安全性好；2）透明度高且防水可靠；3）次结构尽量少；4）质量轻。透明部分可选择材料有玻璃、ETFE单层膜、ETFE气枕、聚碳酸酯板。综合考虑台风及上述因素影响，最后材料选择为聚碳酸酯板（图17），聚碳酸酯板屋面的构造设计如图18所示。通过对实体部分和透明部分材料的比较选择及对材料自身肌理的控制，以及两部分材料的构造设计，最终实现了细腻的、具有层次感和韵律感的建筑外立面效果（图19）。

4 罩篷结构体系

结构形式与花瓣造型的有机结合是结构造型的出发点（图20）。主体育场的结构体系为空间管桁架+弦支单层网壳钢结构体系（图21）。对于罩篷的结构体系，设计中对大、小花瓣的结构构成进行了各自的考虑，最终将二者叠加并有机地结合在一起形成了科学合理的结构体系，其用钢量也得到了控制。



图20

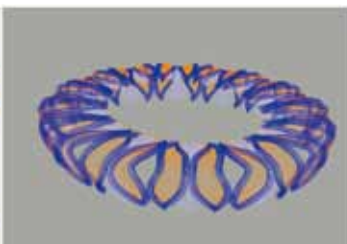


图21

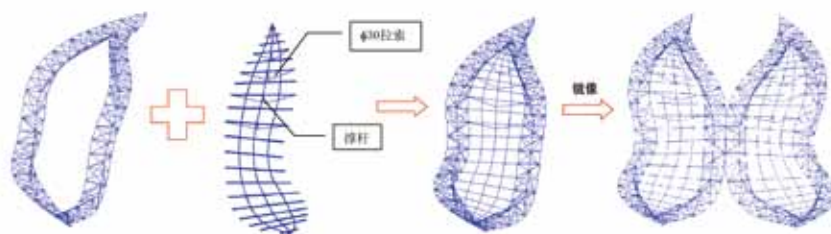


图22

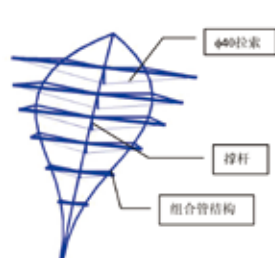


图23

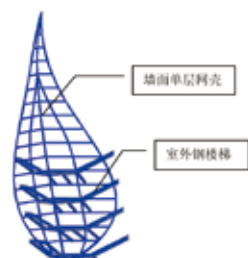


图24

大花瓣结构构成：大花瓣由径向主桁架和弦支单层网壳构成，径向主桁架悬挑长度约52.5m，采用组合三角形空间圆管桁架，桁架根部最大高度5m，悬臂端4m；两榀径向主桁架形成一个花瓣；径向主桁架之间的空间采用弦支单层网壳支承于径向主桁架上弦，拉索沿单层网壳横杆隔一布置，索两端铰接于径向主桁架的上弦，索中间设置一道撑杆。该弦支单层网壳延伸至墙面时演变为单层网壳结构（图22）。

小花瓣结构构成：屋面小花瓣采用弦支组合结构，结合建筑造型，沿环向为组合三角形圆管结构，径向为单管布置，支承于大花瓣径向桁架上弦；拉索沿环向布置，两端铰接于大花瓣径向桁架上弦，支承拉索沿环向布置，索中间设一道撑杆（图23）。大小花瓣叠加之后的结构单元如图24所示。

钢材理论用量：罩篷钢结构用钢量约12 000t，拉索总用量23t（不含型钢及钢梯），按罩篷展开面积计约126kg/m²，与同类型的特大型体育场用钢量相比较为适中。

5 结语

回顾体育场罩篷的设计，从结合当地文化创意的诞生到借助参数化手段的设计优化，从形的控制处理到结构的选型和实现，从表皮材料的研究到细部节点的控制，整个项目团队经过不断努力，一步一步让充满创意的设想转变成了可操作的现实。我们有理由期待，通过后期施工过程中加强配合和设计控制，体育场罩篷必将呈现令人满意的效果！



作者简介

胡志亮，CCDI中建国际设计副总监。主要作品：杭州奥体博览城主体育场、济南奥体中心游泳跳水馆、南昌国际体育中心体育场、天津奥林匹克水上中心、福州海峡体育中心、唐山玉田中学体育馆。