

剖析与推演

——南昌国际体育中心体育场设计

Parsing & Inference:

Restoration of Nanchang International Sports Center Stadium

撰文 孟可 CCDI中建国际设计

1 规划和项目概况

南昌国际体育中心位于南昌市红谷滩新区，东临赣江，北靠生米大桥。规划用地约62.767ha。中心由体育场、综合体育馆、网球中心、游泳跳水训练馆及综合训练馆（全民健身中心）等5个单项建筑物组成，将于2011年10月举办全国第七届城市运动会，并可承办其他全国性和单项国际比赛（图1）。

体育场位于用地北侧，在规划中起到统领全局的作用。建筑面积82 742m²，座席数为57 195座，除常规体育功能外，还包含一座166间客房的宾馆。

主体育场总体轮廓为圆形。北侧有33m宽的疏散楼梯，南侧通过97.2m宽的平台与体育中心的观众平台和坡道相连。体育场看台外轮廓为近椭圆形，南北长约266m，东西宽约244m，为三层连续看台，其上覆盖与看台平面形状相似的钢结构罩篷，罩篷外边缘南北向长约286m，东西向最宽处约275m。在二层观众平台的罩篷外沿周围设宽约19m的平台。平台轮廓为半径146.9m的圆形，既作为赛时观众疏散平台，又可在赛后作为体育中心广场的一部分。看台下布置了与赛事密切相关的各类房间和观众服务用房，罩篷下的空间为疏散楼梯、电梯、观众休息平台、公共服务设施、赛后运营空间等，热身场为一块标准田径场地。



图1 南昌国际体育中心鸟瞰图

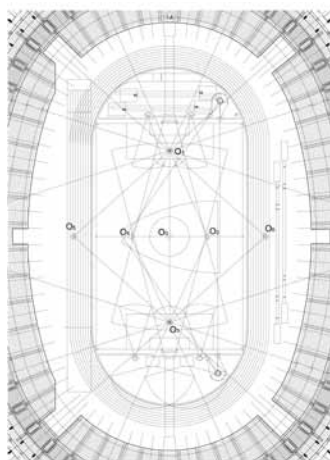


图2 六圆心场地

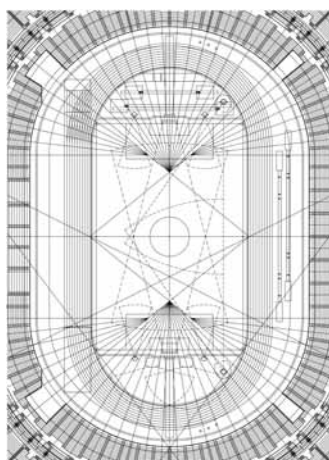


图3 四圆心场地

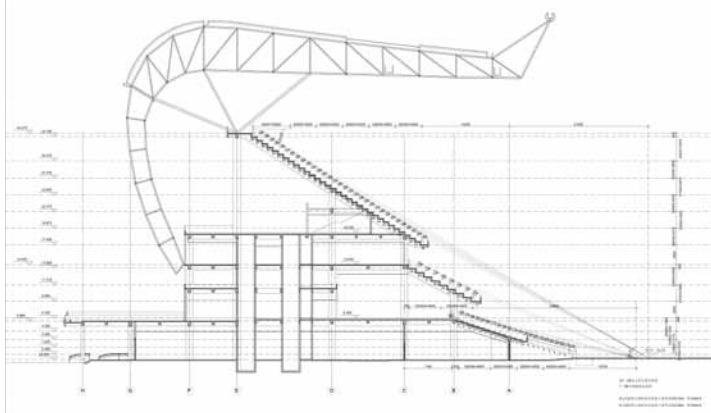


图4 视线分析图

2 轴网和场地类型

在体育场的设计过程中，规划布局明确后，首先要确定的是体育场的轴网类型，不同的轴网类型适用不同的场地条件和建筑布置。当前常用的轴网类型主要有两种：六圆心体育场、四圆心体育场。

六圆心体育场内场面积较大，用地较多，适用于用地不太紧张的地段。南北两侧3段圆弧可使曲线收势比较平缓，特别是与场地直道的切角较缓。但轴网的变换却相对比较剧烈，圆心、轴线定位复杂（图2）。东西直道部分布置房间比较简单，装修容易，同时各个场馆内网平面变化不大。近期国内体育场采用六圆心轴网的有南京奥体中心体育场和济南奥体中心体育场等。

四圆心体育场内场面积较小，用地较少，适用于用地紧张的地段。南北两侧仅一段圆弧，收势较快，特别是与场地直道的切角比较尖锐，但轴网的变换却相对较缓，整套轴网结构比较简单清晰（图3）。房间若沿轴网布置则均有弧墙，为以后装修和使用带来一定的麻烦。四圆心体育场也有一定的变换，当东西两侧的圆弧圆心向内收拢时，弧度增大，内场面积增加，整体向一个整圆靠近，可以满足不同的平面布置。近期国内体育场采用四圆心轴网类型的有国家体育场、天津奥体中心体育场、呼和浩特体育场等。

通过研究分析，本案在规划布局中平面为圆形，方案中整体造型为马鞍形，为保证看台及罩篷的马鞍形转换曲线流畅自然，需要4个角部的轴网变化相对平缓，因此四圆心轴网比六圆心轴网更符合本案的要求，最终确定采用四圆心场地及轴网类型。

3 看台

在明确了轴网类型后，下一步需要研究的就是看台，其中包含视线、轮廓、分层、观众入口等。

（1）视线：首先根据体育建筑设计规范选择基本视点，在看台剖面沿平面轮廓旋转生成看台的三维模型的过程中，所选定的视点也会跟着旋转，从而生成一条与看台内边界平行的线，称之为视点轨迹线（图4）。根据不同场地和看台轮廓，调整视点轨迹线与看台边界的关系，以求既能让视点轨迹线包含尽量多的比赛区域（可以认为只要是视点轨迹线包含的区域就是观众可以看到的区域），又可以控制看台的升起幅度，使看台最后几排升起高度可控，避免俯视角度过大。

（2）轮廓：依据规划，体育场平面为圆形，由于轴网类型为四圆心椭圆，为创造出一个完整紧凑的内场空间，对看台的要求是既要形成明显流畅的马鞍形，又要确保看台形成连续的内立面。经过反复比较，将看台外轮廓设计为近椭圆形，南北长约266m，东西宽约244m，在外轮廓造型和内场空间效果之间找到一个平衡点。

（3）分层：对于一个6万人体育场的看台设计，既要考虑观众的观赛体验，也要考虑运动员的比赛体验以及与观众的互动，这就要求看台尽量紧凑并形成完整的环抱空间。基于以上考虑，本案采用3层看台的

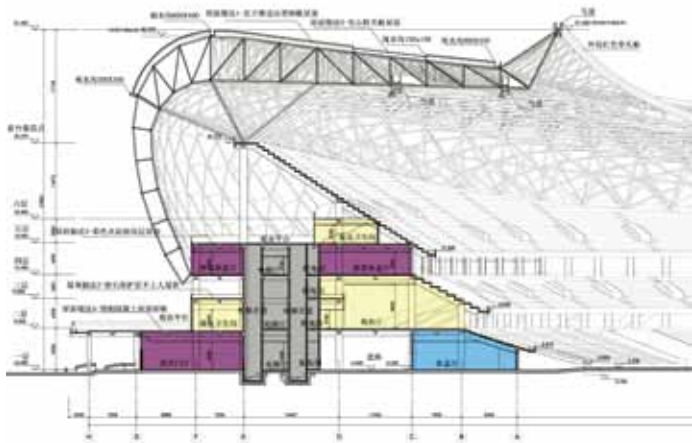


图5 看台剖面图



图6 看台轮廓模型

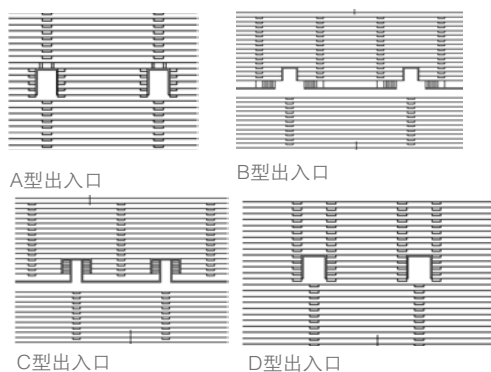


图7 不同形式的出入口方式



图8 A型观众出口案例

布置方式。其一，3层看台形成两次悬挑，形成看台投影面的重叠，拉近了上层观众与场地间的距离，其二，3层看台抬高了整体看台的高度，形成碗状空间，更好地实现了上述目的（图5，6）。

（4）观众入口：观众入口有多种类型，各具特点（图7），举例如下。

A型：不设横走道，疏散路线清晰，看台紧凑、观众分区明确（减少球迷冲突几率），看台整体视觉效果好；但疏散口较多，当纵向排数较多时，会使出口疏散压力过大。案例：鸟巢、安联体育场。

B型：设横走道，场内观众联系便捷，出入口宽度可加大以减少总的出入口数量；看台不连续，影响看台的整体视觉效果，横向走道需有一定的宽度。案例：济南奥体中心体育场、韩国釜山体育中心体育场。

C型：设横走道，场内观众联系便捷，出入口宽度可加大以减少总的出入口数量，因将梯段布置在口部，观众分区流线明确，横向走道完整，看台整体视觉效果较B型改善；看台不连续，横向走道需有一定的宽度，上层看台的首排仍需留出横向交通空间，损失部分座席数。案例：日本丰田城市体育场、国家网球中心。

D型：不设横走道，疏散路线清晰，且较A型更为直接，看台紧凑，观众分区明确（减少球迷冲突几率），看台整体视觉效果好；但疏散口较多，当纵向排数较多时，会使出口疏散压力过大，出口上部竖向走道增多，损失部分座席数。案例：慕尼黑奥林匹克公园体育场、土耳其电信体育场。

根据本案3层看台的具体特点，可较好地控制每层看台的连续排数，同时可缩短观众在场内的横向交通。综合考虑疏散和看台整体效果，看台出入口选用A型观众入口（图8），整个内场的效果如图9所示。

4 形体

本案整体造型概念为马鞍形，马鞍形的具体形式如起伏幅度、高低落差、马鞍状的俯仰关系、罩篷与看台的造型呼应等就成为决定最终效果的关键因素。经过反复比较，为实现整体造型的飘逸灵动，采取了以下几个措施：1）增大罩篷最高点与最低点的高差，突显马鞍的起伏效果；2）调整不同区域看台罩篷的

悬挑长度，增加起伏变化；3）悬挑的罩篷在东西看台区域设计为下俯，在南北看台区域设计为上仰，丰富内场和场外观赏效果；4）在上述看台轮廓的基础上，将罩篷与看台外轮廓间的距离设为等距，将罩篷的造型与看台的造型融为一体（图10）。

这里需要强调一下本案的马道设计。由于照明设计中对灯光的入射角有明确的规定，东西看台区域罩篷下俯造成罩篷东西向最外沿（常规的马道/灯具安装位置）的高度降低，影响了灯光的入射角，为这个问题，在内场罩篷边缘设计了一道起伏跌宕的“红环”（图11）。“红环”的东西侧高于罩篷边缘，南北侧低于罩篷边缘，将马道布置与“红环”巧妙地合为一体（图12），既抬高了马道位置，使灯具安装高度抬高，从而解决了灯光入射角的问题；又创造了一个活跃的视觉因素，丰富了形体，起到了画龙点睛的作用，避免了常规全罩篷体育场内场罩篷边缘设计略显单调的问题。

5 结构

本案在钢结构的设计过程中，面临的最大问题是两种结构形式的选择，即双向平面交叉桁架形式与径向悬挑桁架形式。结构设计工作是表皮设计工作息息相关的，从工程设计角度出发，理想的状态是建筑语言与结构形式一致，为实现这一目的，我们进行了大量的分析工作。首先，需要分析投标阶段的体育场方案。方案中最醒目的造型语言是罩篷表皮不透明的金属板和透明的阳光板间隔形成的盘旋向上的趋势（图13）。为了与这一建筑语言相一致，就需要罩篷结构避免出现垂直和水平的杆件，因此建筑师先在罩篷形体上设计出一套逻辑网格（图14），并规定这一逻辑网格。图15为这一网格与建筑表皮语言的关系。

在这一逻辑网格的基础上，经过与结构设计师的共同努力，首先确定了双向平面交叉桁架+环桁架+V型支撑的结构形式（图16）。这种结构悬挑桁架相互交织为一个整体，有较大的抗扭刚度，最大杆件仅为



图9 体育场内场透视效果图

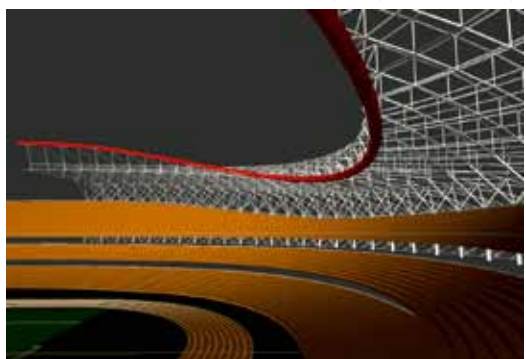


图11 “红环”研究模型

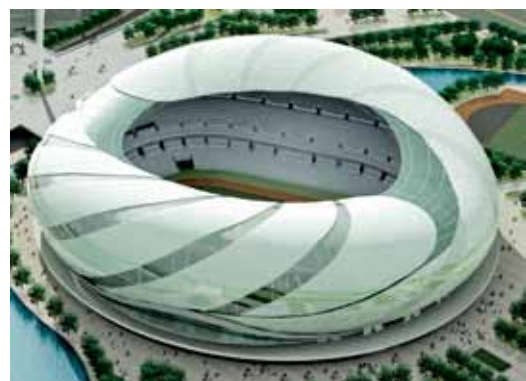


图13 投标阶段方案



图10 形体研究模型

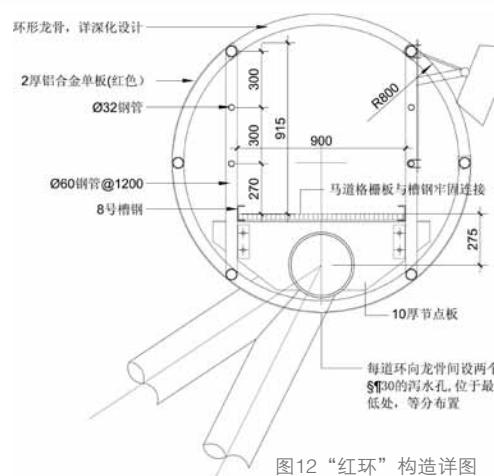


图12 “红环”构造详图

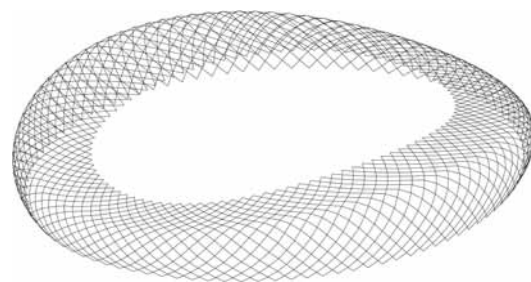


图14 逻辑网格

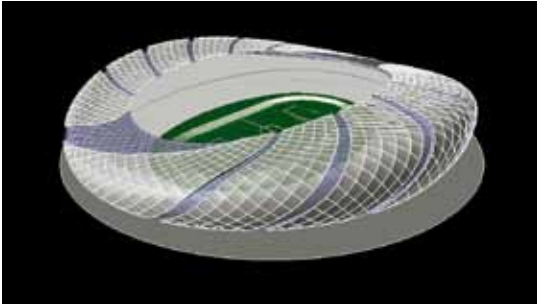


图15 网格与形体对应模型

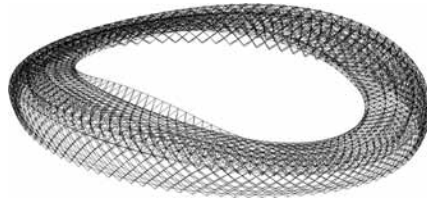


图16 双向平面交叉桁架结构模型

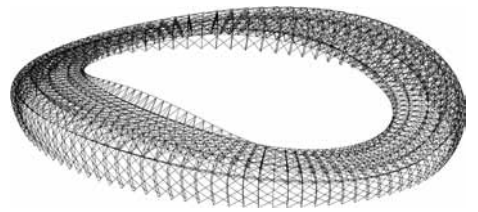


图17 径向悬挑桁架结构模型

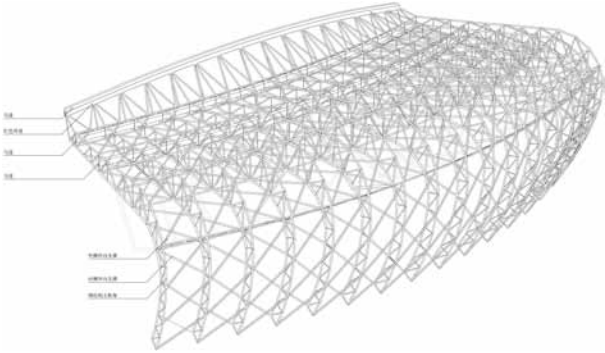


图18 钢结构示意图

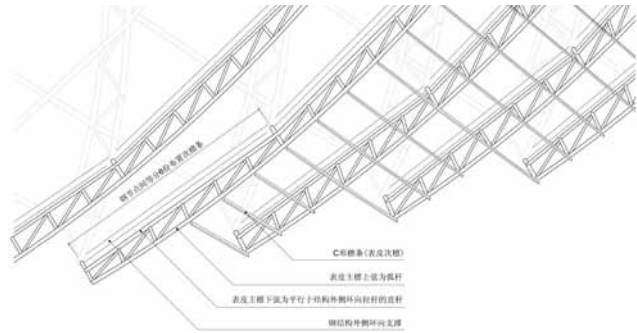


图19 檩条系统放大图

ø299x16（同等跨度弦杆常用规格为ø402x16~450x16），轻盈且便于加工。因避免了垂直方向的杆件，并尽可能减少了水平方向的杆件，建筑表皮的安装和定位都变得相对简单，更为重要的是这种结构形式很好地表达出了建筑语言。

6万人体育场的规模决定了它应具备的特色，即标志性和精美技术。建筑需要具有可识别性和别具特色的形式，这里不仅是指外表皮的形式；技术的精美不仅体现在结构设计的经济上，更体现在建筑与结构的结合上，同时结构形式需要具有一定的创新性和独特性。但比较遗憾的是，由于必须满足第七届城运会的开赛时间要求，业主非常关注施工周期的问题，对于上述双向平面交叉桁架结构形式，业主最为担心的问题是：相对于常规的单榀桁架结构，双向交叉桁架结构带来的在同一节点相贯的杆件数量较常规的单向桁架多、加工难度大、桁架分块吊装重量较大、杆件高空散装焊接量较大，以及由此产生的施工周期的风险。业主要求重新设计一种常规的径向悬挑桁架的结构形式。

即便如此，设计师还是希望坚持既定的逻辑网格，尽可能使结构形式与建筑语言发生关联，并确定了径向悬挑桁架+环桁架+斜撑+V型柱的结构形式，其中斜撑分上弦支撑和下弦支撑，分别沿两个方向遵循上述逻辑网格（图17）。此结构方案的特点是：技术成熟，构件加工难度低，施工便捷；主次关系较明显，在重力荷载作用下，传力较直接；抗扭刚度及整体性较差（图18）。最大的问题是：因结构逻辑与表皮形式不一致，表皮安装依附于另一层次结构，带来次结构的安装和定位比较复杂，工期增加，在节约主结构用钢量的同时大大增加了次结构的用钢量（图19）。

另外还牵扯到这两种结构体系中都存在的V型支座以及其它钢结构节点，这些要素与整个结构体系一样，不仅承担结构支撑的角色，同时也是一处重要的造型因素。处理得当会产生远看与整体和谐、近看又具有自身特色的效果，处理不当就会造成视觉遗憾。本案在设计时反复推敲揣摩，调整支座的方向、角度、数量，同时实现了罩篷与看台外轮廓等距的预期效果（图20）。

6 表皮

表皮设计与结构设计息息相关，这部分工作与结构形式设计是同时进行的，并且相互作用。首先需要强调的是本案的设计原则：统一结构形式与建筑语言，以逻辑网格为依据，表皮肌理真实、朴素。在此结合不同的结构形式来分析不同的表皮语言。

双向交叉平面桁架结构形式：这种结构体系的结构杆件与逻辑网格完全重合，因此表皮语言的处理方式非常灵活。设计师兼顾了表皮内外的视觉效果、当地的气候条件等多项因素进行了多种尝试（图21，22）。最后一种相对大胆的手法得到了大家的认可，就是在屋面部分保留投标方案的造型特征，但在立面将结构暴露，并把结构桁架在进深方向用金属板包覆（图23，24），其优点如下：

（1）虽与投标方案相比改变较大，但整体造型在层次感、韵律感、光影效果、逻辑性上有质的改进，视觉效果良好，标志性强。

（2）用金属板包覆结构，逻辑清晰，彻底解决了自然通风排烟问题，并给场内贵宾用房和酒店（临江）的通风、采光、观景带来了质的变化。

（3）结构形式即建筑形式，一目了然，且罩篷内部视觉效果整齐，有韵律，光影丰富，建筑与结构达到完美的统一。

（4）因结构逻辑与表皮形式一致，表皮的安装和定位变得非常简单，周期也相应缩短，同时对材质和施工的要求也相应降低。

（5）次钢结构数量减少，断面也减小，表皮的施工及材料费用相应减少。



图20 钢结构支座



图21 表皮方案研究模型

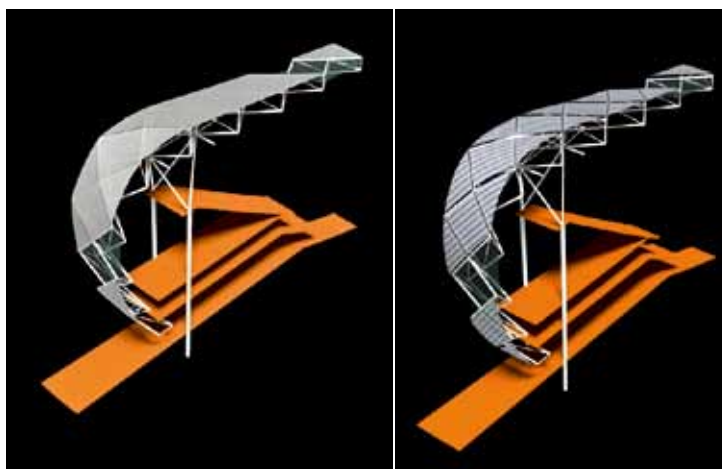


图22 表皮方案构造及肌理研究模型

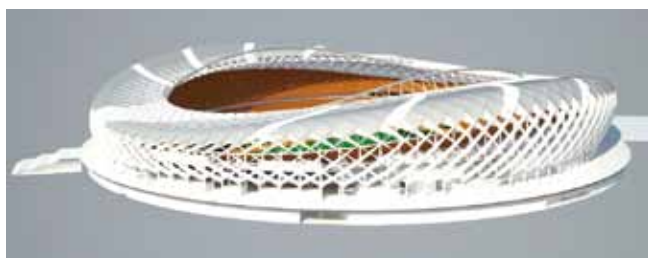


图23 表皮研究成果模型



图24 罩篷内部效果

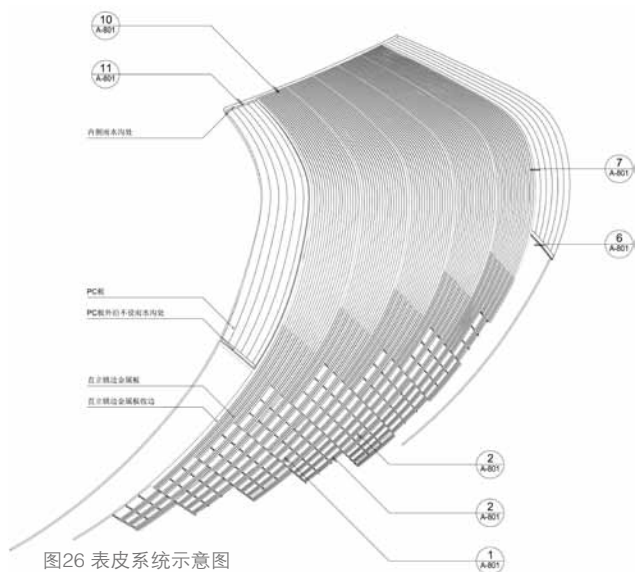


图26 表皮系统示意图



图25 中期效果图

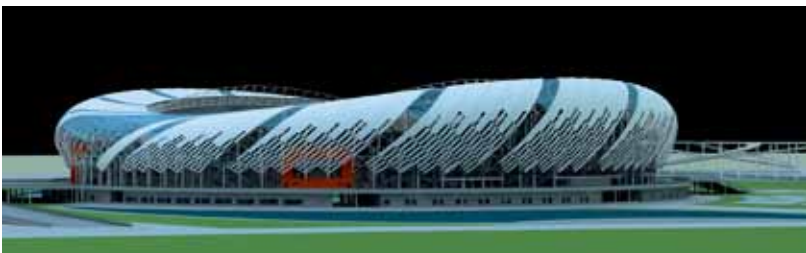


图28 表皮实施方案模型



图29 最终实施方案效果图

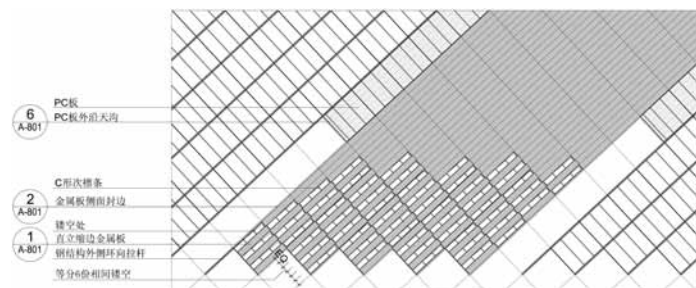


图27 表皮铺板示意图

通过此轮分析，体育场的效果如图25所示。最后是有有关径向悬挑桁架结构形式的探讨，同时业主也不希望对投标方案做较大的改变。径向悬挑桁架结构体系的上下弦斜向支撑杆件与逻辑网格重合，但垂直方向的主桁架与盘旋向上的表皮语言有冲突，同时在表皮处理上既要避免对投标方案调整过大，又要考虑当地的气候条件、建筑的采光通风需求、表皮内外的视觉效果等因素。在综合以上因素之后，建筑师做出了如下的分析研究：

（1）投标方案中全封闭的罩篷不利于自然通风和排烟，影响观众的舒适度及场内贵宾用房和东侧临江酒店的通风、采光和景观。

（2）罩篷表皮既要解决自然通风和采光，又要解决表皮肌理与建筑手法的协调（垂直排板与旋转排板的取舍）。

（3）通过对罩篷下部进行抽板及镂空处理，形成半通透的立面效果，部分解决了自然通风和排烟的问题，改善了观众的舒适度及场内贵宾用房和酒店的通风采光条件。

（4）表皮肌理应与建筑概念一致，保持盘旋向上的趋势并以逻辑网格为依据，同时这种肌理不应通过装饰板的构造方法来实现，应遵循表皮真实、朴素的设计原则（图26）。

（5）表皮采用直立锁边金属板自防水屋面，铺板方向与逻辑网格线的方向保持一致（图27），并保持盘旋向上，通过直立锁边金属板的板肋形成的自然肌理来实现构造措施与建筑语言的统一。通过以上分析，建筑师得出最终实施方案（图28，29）。

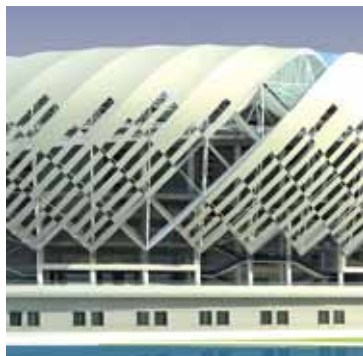


图30 罩篷细部效果模型



图31 表皮施工照片



图32 直立锁边金属板样品模型



图33 直立锁边金属板案例

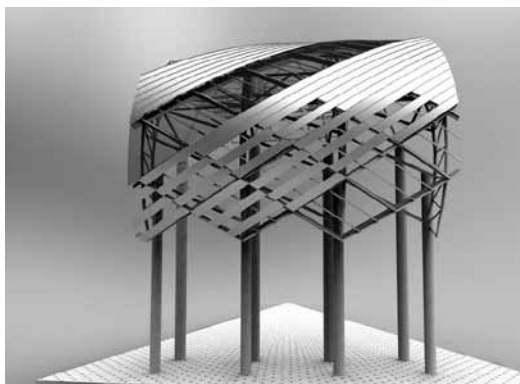


图34 表皮构造研究模型A



图35 表皮构造研究模型B

方案虽已付诸实施，但仍存在些许瑕疵：

（1）主结构方向与外表皮肌理不一致，未能完全实现设计原则中提到的结构形式与建筑语言的统一，如图30为效果模型，图31为施工照片。

（2）因结构逻辑与表皮形式不一致，表皮安装依附于另一层次结构，且次结构跨度较大，主檩甚至形成一榀桁架，安装和定位比较复杂，次结构用钢量较大（图32~35）。

（3）由于增加了一层较为复杂的次结构，造成罩篷内部效果较凌乱（相比较于双向平面交叉桁架方案而言）。

（4）屋面板安装复杂，施工难度大。所有屋面板均为扇形板，且需要压成弯弧后拼接，对施工质量是一个考验。

7 结语

最终实施方案虽然不是设计师心中的理想方案，但设计工作往往如此，得以实施的结果必然有其自身的合理性，同样是设计师、业主、施工方共同关爱的一个作品，大家共同为它付出了心血，因此无论如何，我们都期待它在2011年10月第七届城运会上的华丽呈现！



作者简介

孟可，CCDI中建国际设计体育事业部副总建筑师、设计总监。主要作品：斐济多功能体育馆、长春经济技术开发区体育场、天津泰达时尚健身广场、天津奥林匹克水上中心、南昌国际体育中心。