

建筑“面纱”的工程设计艺术

——天津团泊国际网球中心幕墙设计

Art of Engineering Design behind Architecture Curtain: Curtain Design of Tianjin Tuanbo-lake International Tennis Center

撰文 吕强 CCDI中建国际设计

1 细节设计的重要性

作为重要的城市建筑节点，体育建筑具有许多非常清晰的特点。在这里仅从建筑外立面造型设计的细节处理方面进行一些探讨。

体育建筑体量宏大、结构复杂。作为大型活动的人员集散场所，体育建筑内外均具有超大规模空间，其造型设计受其结构、空间特点影响，与常见其他类型公共建筑有明显的不同。为满足超大空间的需求，体育场馆大量应用钢结构和多种幕墙体系（包括玻璃、聚碳酸酯板、石材、预制混凝土板、金属板等）构成其外立面及屋面系统。

幕墙系统犹如罩在建筑外面的一层“面纱”，这层“面纱”与钢结构系统的组合设计是决定建筑成败的关键之一。钢结构不同于混凝土结构，几乎可以在其完成面上进行任意的安装、固定施工。钢结构由非常精确的杆件组成，所有的幕墙系统均需要进行精确的效果设计、造型设计、尺寸设计、构造设计、定位和安装设计，还要充分考虑原材料的生产、加工、切割工艺，研究材料的力学特性、声学特性、保温性能、加工表现力、耐久性、抗老化、喷涂工艺等多方面的性能。这涉及到整个系统的大量细节设计，所有的细节组合在一起，才能够创造出富于表现力的整体建筑形象。

2 天津团泊湖国际网球中心概况

天津团泊湖国际网球中心坐落于天津市静海县团泊新城西区，是现代化的专用网球比赛场地，同时也是2013年东亚运动会的主场馆之一（图1，2）。项目包括一座可开启屋盖的10 000人决赛场、一座4 000座覆盖罩篷的半决赛场、一座多功能体育会以及一些室外比赛及练习场地。



图1 总平面图



图2 鸟瞰图



图3 透视图



图4 体育会所室内



图5 中心赛场室内

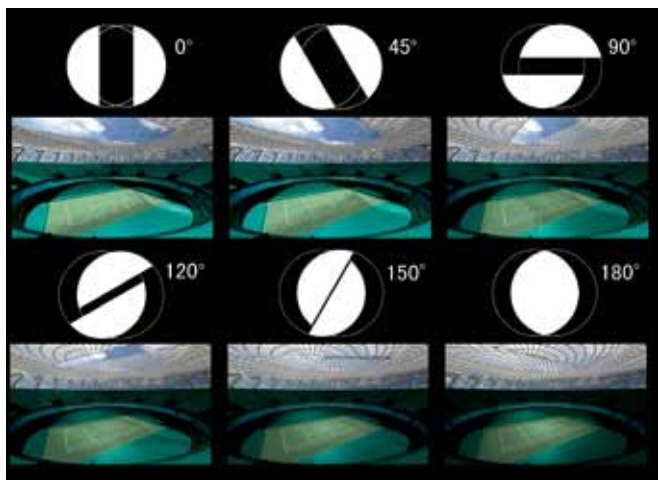


图6 可开启屋盖示意图

3栋建筑的外立面设计均采用整体设计的手法。在混凝土结构外，通过钢结构来支撑屋面和罩篷，采用略微倾斜的造型，增强建筑的趣味性（图3）。钢结构外部的半透明阳光板百叶将观众大厅界定为一个半室外空间，在为观众遮光挡雨的同时，引入了自然通风，加强了主体建筑与室外空间之间的过渡，充分体现了现代建筑结构与建筑造型设计的有机结合（图4，5）。

3 网球中心幕墙系统设计

3.1 结构设计逻辑

中心赛场是一座具备可开启屋盖的现代化多功能场馆。屋面的开启方式如图6所示。两片半叶形的屋面各自沿着一个圆形轨道运动，运行180°后完全开启，同向再运行180°后关闭。

建筑钢结构设计全部以“开启屋盖”为核心，通过重复两个圆形轨道得到屋面钢结构的上下弦连接杆件系统，并采取类似逻辑将钢柱体系进行分解，得到内外两套倾斜钢柱系统，用螺旋上升的桁架进行连接，最终形成整体外部的钢结构系统（图7）。

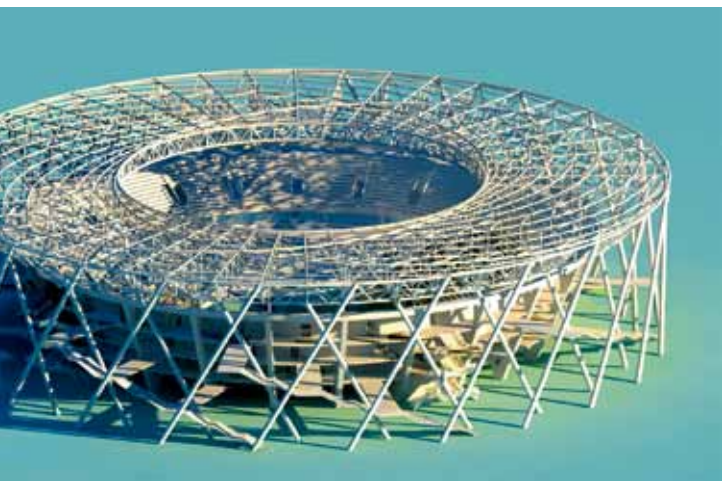


图7 钢结构示意模型

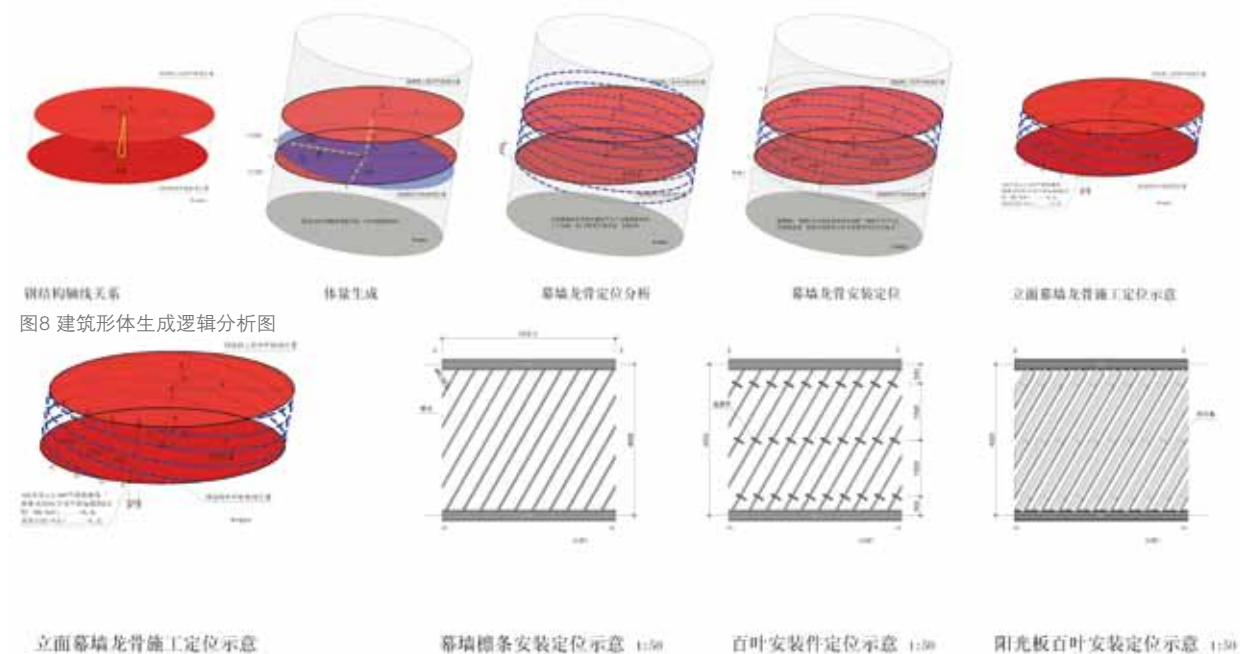


图8 建筑形体生成逻辑分析图

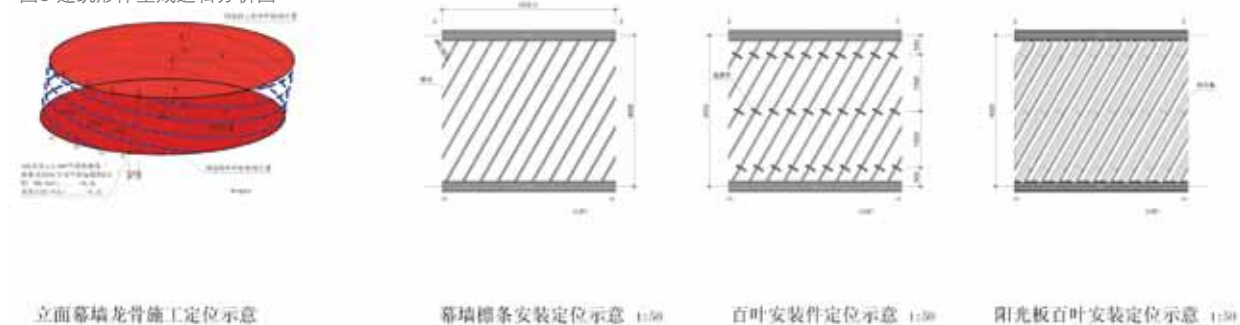


图9 幕墙系统分析图

3.2 结构与幕墙系统体量生成分析

钢结构系统的生成除了遵循“可开启屋盖”的设计原则之外，仍然需要一套可以数据化控制的系统来描述其生成逻辑，以帮助所有的构件进行定位，并将外表面的幕墙系统模数化、系统化，保证所有幕墙构件的生产、加工以及安装，最终实现设计意图。

如图8所示的一系列分析图详细描述了建筑造型的生成过程。首先，量化设计结果。建筑的上、下表面均为一个标准的圆形，它们的圆心在平面上相差5m，然后将两个圆形的边缘连接成面，得到建筑的立面。单纯从这一结果来看，显然无法对系统的其他构件进行精确定位和描述。第二，寻找体量。连接上下圆心得到某个体量的轴线，并通过向其做垂线得到一个半径，加上圆形的半径，可以清晰地得到设计所需的体量，它实际上是椭圆形柱体的一部分。通过精细的计算，可以将切面控制为一个设计需要的圆形。最后，按照一定的间距提取椭圆形柱体上的一系列椭圆线（这些椭圆都是可以描述的且完全相同）得到幕墙系统的龙骨系统，并在此基础上得到幕墙阳光板的标准单元。

3.3 幕墙设计分析

在推理出建筑的体量之后，大量的分析和推敲工作就集中在这个环节。设计需要对幕墙系统的尺度、效果等进行反复的推敲和测试，来获得最好的效果。这包括幕墙单元的长度、宽度、颜色、透明度、安装角度、安装间距、组合方式等多维度的评价和视觉测试，以及电脑模型和手工模型的组合运用等。

3.4 幕墙系统构件设计

幕墙系统的构件设计是最容易被忽视的“细节”。很多建筑师在初次接触幕墙系统工程时认为整体效果得到认可了，整套幕墙系统的设计就可以告一段落了。恰恰相反，真正出色的幕墙系统设计最重要的正是它的安装构造设计。只有真正关注到构件的尺度、材质、安装方式，才能控制最后的成品效果。在这里设计需要关注但不限于如下要点：

（1）材料的加工、运输尺寸。涉及到在幕墙单元中材料是否需要被切割，是否会出现不可预料的安装缝以及如何处理安装缝等问题。

（2）材料的各方面特性。涉及到材料能否满足造型要求，是否需要二次加工，是否满足设计的颜色要求，是否满足最后的质量要求等。

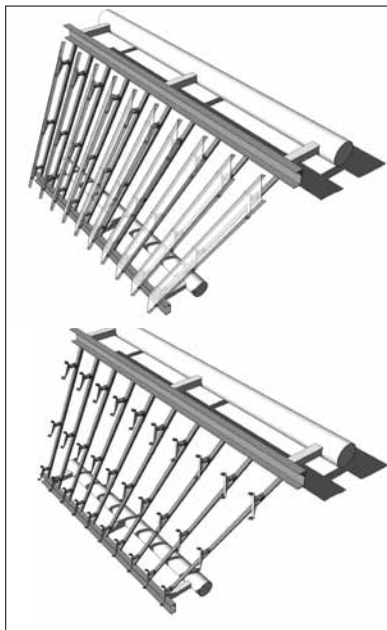


图10 幕墙单元示意图

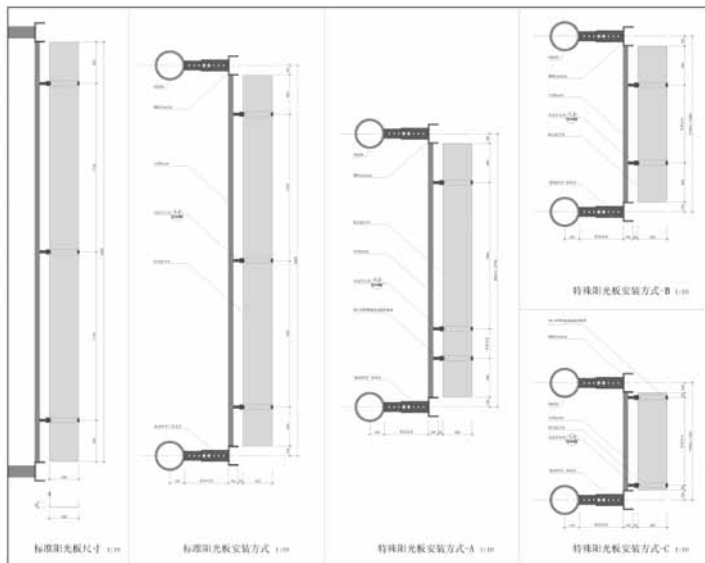


图11 阳光板幕墙尺度推敲控制

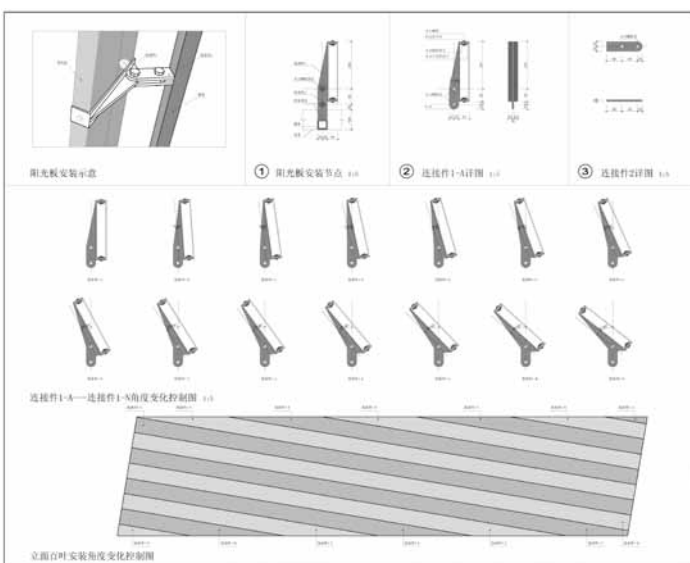


图12 阳光板幕墙安装构造

(3) 安装的复杂性。在一个大型项目的施工现场，不可能要求所有的施工人员都能够理解设计图纸，很多人只是某一方面的精通者，无法了解建筑师对于全局的控制目标。所以，应该尽可能将所有的安装构造都通过最简单的逻辑表述清楚，并采取最有效的设计来降低出现误差的几率。

天津团泊湖国际网球中心采用了标准的龙骨、檩条、安装件、幕墙单元的构造层次（图9），并通过前面提到的结构及幕墙生成分析，对幕墙系统安装所需的龙骨系统进行了精确定位，这就意味着檩条系统也可以被精确地安装到位（图10）。如图11所示，主钢结构杆件与槽钢龙骨之间的可调节连接件非常重要，对于保证所有的龙骨都能够被控制在设计要求的体量上，同时消解钢结构施工所产生的误差，起到了关键的作用。

为了有效地控制造价，并满足抵抗当地风压的要求，设计将阳光板单元进行了折边处理。这一简单的构造处理达到了有效增加板材的抗风压性能、降低板材厚度、控制造价、保证设计效果的目的。

由于立面上的各层阳光板从设计效果上要求被扭转成不同的角度，因此设计了14种不同角度的连接件。施工人员无需关注到底需要将幕墙单元扭转多少，他们只需按照立面图纸所示的分区，将不同的连接件安装至檩条上，然后将每一块幕墙单元与连接件连接即可达到设计要求（图12）。

4 结语

通过天津团泊湖国际网球中心的设计，笔者对于大型体育建筑的幕墙设计有以下几点心得：

- (1) 尽可能地将建筑体量通过设计手段进行逻辑化、数据化处理，为后续设计工作提供一个良好的基础，毕竟类似“鸟巢”的工程是不具备可复制性的；
- (2) 深入了解选用材料的特性，挖掘其内在潜力，并尝试进行创新应用，在控制造价的前提下，创造新的设计效果；
- (3) 充分了解施工工艺，尽可能将复杂的设计图纸转变为简单而便于控制的施工手段，避免不可预测的结果出现，以保证项目的最终完成度。



作者简介

吕强，CCDI中建国际设计副总经理、设计总监。主要作品：国家游泳中心、北京奥林匹克公园网球中心、老挝万象2009年第25届东南亚运动会主场馆群、天津团泊新城国际网球中心、天津团泊新城多功能体育馆、福州海峡奥林匹克体育中心、天津西青区体育中心、唐山曹妃甸体育休闲公园、天津西青张家窝小学等。