

技术与艺术的完美结合 ——广州塔幕墙设计

Integration of Technology and Art: Facade Design of Guangzhou Tower

撰文 陈卫群 吴树甜 梁隼 广州市设计院
摄影 陈中

摘要 结合广州塔的工程实例，通过对幕墙形式、板块分割、节点设计、材料选择等方面的研究，完成了一个具有很高技术难度的幕墙工程，使之既符合幕墙的技术要求，又与建筑艺术形式相协调。

关键词 广州塔 幕墙 分割 光伏幕墙 节能

广州塔的独特造型是综合考虑了美学造型、结构性能和规划要求等多项因素的结果。它以偏心核心筒作为竖向交通枢纽，由上下两个大小不同的椭圆体扭转而成，塔体中部形成细腰，“扭腰”的造型使游客从不同的方向看，都不会发现有重复的形态。镂空、开放的结构形式，可减少塔身的体量感和承受的风荷载，使得塔体更纤秀、挺拔，也创造出更加丰富、有趣的空间体验和光影效果。钢结构外筒与大面积玻璃幕墙的结合使之具有强烈的技术感和时代感（图1）。



图15 外立面

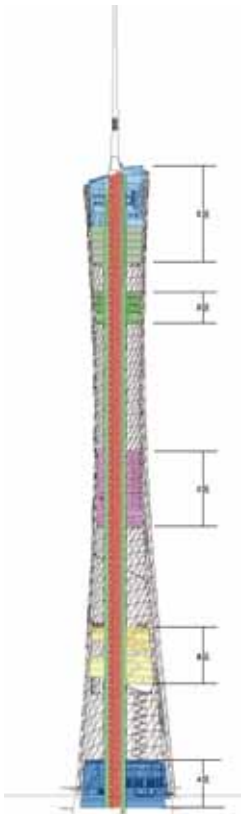


图2 剖面图

广州塔的塔身外围为空间钢结构体系，内部沿高度方向不等距地布置了A~E共5个封闭的功能区（图2）。文中主要介绍这5个功能区的外围护和装饰结构幕墙系统设计。

1 广州塔的形体构成及其对幕墙设计的影响

广州塔的外围空间钢结构由立柱、环梁、斜撑3组构件“编织”而成，而这3组构件的定位则是一个复杂而又有规律的体系。首先是斜立柱的定位：塔体底部为60m×80m的椭圆，长轴指向西北45°方向，塔体顶部为40.5m×54m的椭圆，长轴指向正北方向，上下两椭圆呈45°旋转。这两个椭圆均以形心为分割点，按面积分割成24等份，分割线与椭圆的交点即为立柱的定位点，在塔底1轴落在西北端的长轴点上，在塔顶1轴则转到了正东向的短轴点上，依此类推按顺时针方向定位24根轴线点，上下轴线点呈135°旋转，连接塔底和塔顶的相应轴点则为24根斜立柱的定位线，塔体中部的细腰也自然形成；立柱定位后环梁和斜撑的定位就相对简单了：环梁是南高北低、与水平面呈15.5°的斜面与塔体相切的圆环，在垂直方向上按平均10.4m的高差分布（上下两端间距稍宽，中间腰部间距稍窄），共设46道环梁，斜撑则是连接立柱与环梁交点的对角线（图3）。

由上述的构成法则可知，广州塔的外形是一个不规则的多曲面体，包含在其中的5个功能段的幕墙设计面临着以下几个难点：1）幕墙块材如何进行分割设计才能减少板块之间的“剪刀”接缝误差，并与塔体的设计特点相协调；2）由于几乎没有一块玻璃板块是垂直安装的，且最高的安装高度超过了450m，如何提高玻璃板块的安全性；3）此钢塔的形体特点决定了它在各种作用力下的形变位移较大，如何避免幕墙节点的过度变形和破坏；4）幕墙是安装在外围空间钢结构内的“内幕墙”，且外表面不平直，安装条件差，如何解决幕墙安装的可行性和维护的

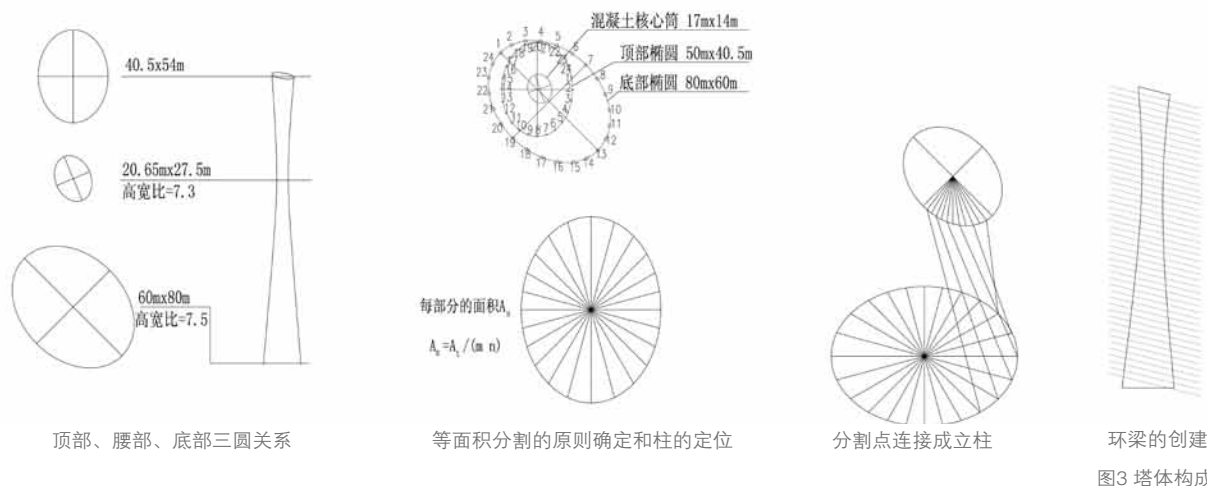


图3 塔体构成

方便性。此外，幕墙的热工节能设计、视觉通透性等也是设计中所要关注的。

2 幕墙的板块分割设计

B、C、D、E功能段外形为不规则的扭转多曲面体，不可能采用弧形玻璃，经多方案研究对比，决定玻璃单元部分采用正置与倒置三角形交错的三角形分割。从几何学的角度看，三点是组成一个面的充分必要条件，因此三角形的分割可以最大限度地减少多曲面体带来的拼接缝误差。三角形的造型又与外围钢结构形成的三角形网格相协调，站在室内向外看，两组三角形网格相映成趣，形成独特的景观效果和空间效果（图4~7）。

三角形分割的方案确定后，进一步研究确定了：1）每层平面的幕墙分割数基本一致，即大椭圆的板块就大，小椭圆的板块就小，使幕墙立面有一种放射状外观效果，也与外围钢结构网格的疏密收放相一致；2）同层的分割块也有大小变化，短轴部位曲率大板块就大，长轴部位曲率小板块就小，与外围钢立柱的排列方法相一致，也使幕墙与塔的形体更贴合；3）为了减少三角形板块的采用对玻璃的损耗，在玻璃板材的切割上采用了对角线切割，且三角形玻璃板块底边×高度的最大尺寸不宜超过2.12m×3.4m（图8）。由于标准层高为5.2m，因此玻璃幕墙高度定为3.4m，铝板幕墙高度定为1.8m。

A功能段由于每层空间较大，又有入口大厅层，因此幕墙与外围钢结构之间作了一定的退让，使得A功能段的外形可设计为规则的椭圆锥体。其中7.2m入口大厅层采用点式玻璃幕墙，这样可以使入口大厅层采用更大块的玻璃板块，也使空间的比例和视觉通透性都更好（图9）。

层间铝板幕墙部分由于从室内、室外两个方向都不容易看见，且铝板的分割高度较小，造成的“剪刀”接缝也较小，因此不再采用三角形分割，而采用梯形分割，也使得整体的幕墙龙骨系统更牢靠、合理。当然，在板块分割上始终与玻璃板块保持模数关系，并比玻璃板块面积小很多，把拼接缝误差控制在一个合理的范围内。



图4 B段外立面局部

图5 E段幕墙局部

3 幕墙的主要材料选择

（1）玻璃幕墙单元部分采用8（HS）+1.52SGP+8Low-e（HS）+12A+8（FT）+1.52SGP+8（FT）中空夹胶玻璃（HS指半钢化处理，FT指全钢化处理），夹胶胶片采用SGP胶片。塔体玻璃幕墙高达450m以上，如果在外层采用钢化夹胶玻璃，由于其破碎时颗粒小，胶片粘结作用下易形成“孤岛效应”而散落到地面，因此本项目采用半钢化夹胶玻璃，这样在玻璃万一发生破裂时仍是较大块，由于边框的约束和胶片粘结作用，不易脱落造成伤害。而内外层均采用夹胶玻璃正是考虑到既有向内倾斜的幕墙、又有向外倾斜的幕墙，充分保证了玻璃幕墙的安全性。双层夹胶中空Low-e玻璃的玻璃幕墙组合，也提供了最好的隔热节能性能。另外，由于广州塔的幕墙是一个安装在外围空间钢结构内的“内幕墙”系统（幕墙表面退进钢结构外表面平均有3m），且钢结构构件较密，能起到很好的外遮阳作用（三维模拟计算可覆盖幕墙表面积的70%以上），经节能计算可选用透光率较高的玻璃，从而保证在塔内有良好的视觉通透性。

（2）SGP胶片是一种新型的、更先进的玻璃夹胶胶片，比PVB胶片具有更好的强度、延展性、抗老化性，其撕裂强度和硬度分别是普通PVB胶片的5倍和100倍。在外片玻璃破碎时，其残余强度仍可维持一定水平，半小时负载蠕变控制在100mm以内，



图6 观景大厅室内幕墙局部



图7 旋转餐厅室内幕墙局部

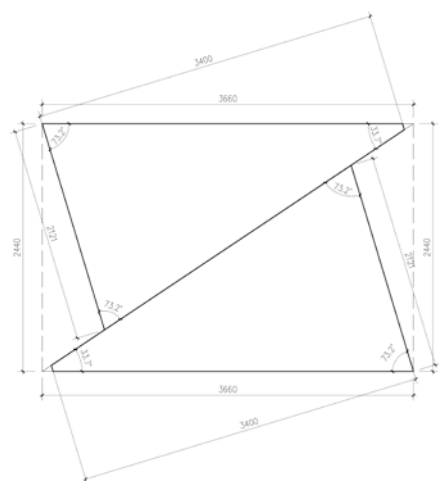


图8 三角形玻璃切割



图9 7.2m层大厅幕墙局部

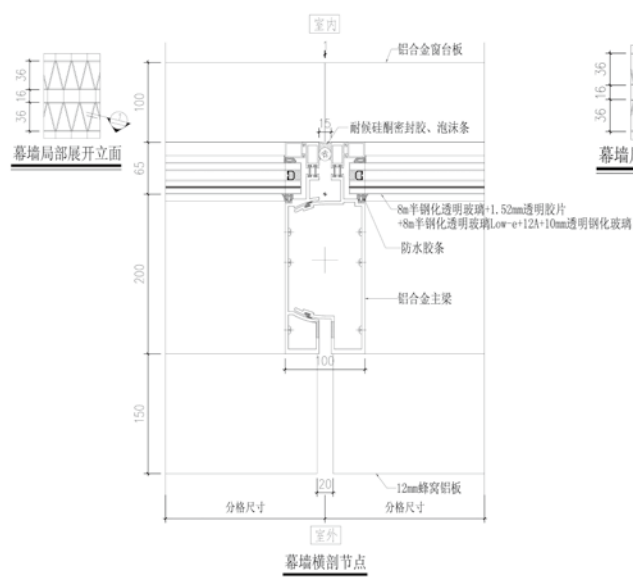


图10 幕墙节点1

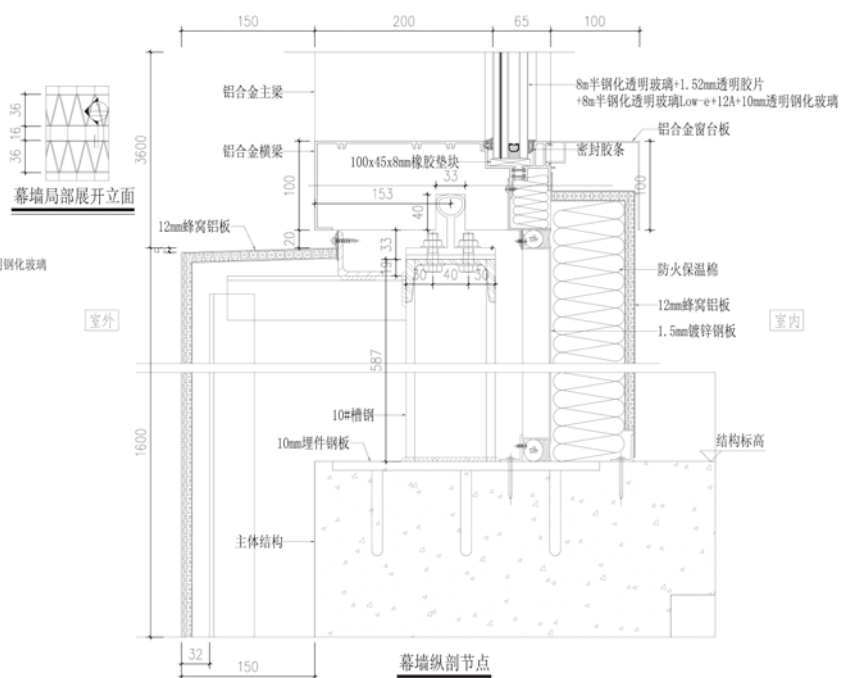


图11 幕墙节点2.

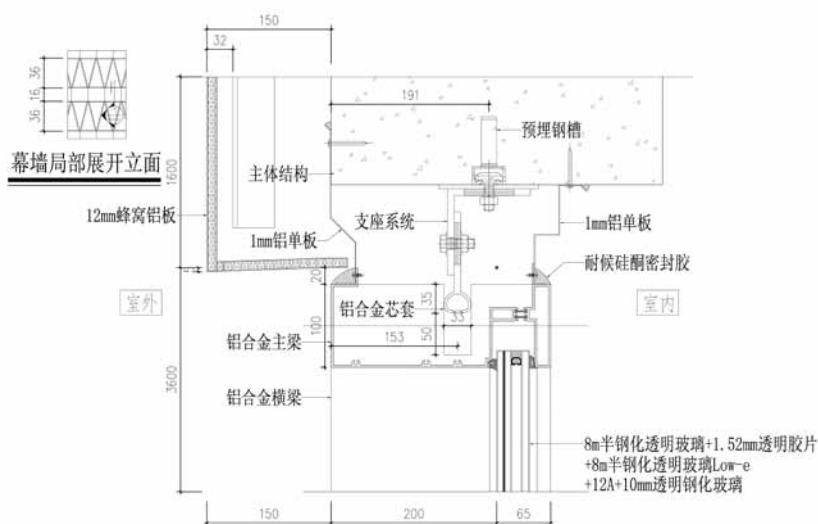


图12 幕墙节点3



图14 E段玻璃观景台

从而为维修更换玻璃板块争取必要的时间，充分保障塔内外人员的安全。

(3) 铝板幕墙单元部分采用由内外层铝皮及蜂窝芯材复合而成的盒式蜂窝铝板，总厚度为25mm，其中外层铝皮为1.0mm厚，内层铝皮为0.5mm厚，蜂窝芯材为0.076mm厚。采用蜂窝铝板可保证铝板幕墙的强度和平整度，又能减轻幕墙的重量。蜂窝铝板背衬80mm防火保温棉，以满足防火、保温、节能的要求。

(4) 在结构胶、断热密封材料的选择上也十分谨慎，以适应广州塔的技术特点，保证幕墙在防渗、保温、抗变形等性能上的长期有效性。

由于在材料的选择上充分考虑了节能设计的要求，广州塔幕墙系统提供了一个较高的节能计算指标和较好的节能效果。

4 幕墙的主要结构系统及节点设计

(1) 7.2m入口大厅层空间较高大，周边视线开阔，景观较好。幕墙结构体系采用点式玻璃幕墙，可以使结构体系看起来更轻巧，也使空间的比例和视觉通透性更好，满足大量人员集散的要求。

(2) 其它功能层幕墙结构体系采用单元式幕墙，可以最大限度地实现工厂化生产，减少现场的安装工作量，也使幕墙的安

装、维护和更换更方便。

(3) 幕墙的安装支座采用三维可调支座，无需与预埋件焊接，适应广州塔在各种作用力下位移较大的特性，避免了支座节点的破坏(图10~12)。

5 光伏幕墙及其它特色设计

在438.4~443.6m阻尼器层，还安装了两层光伏玻璃幕墙。由于幕墙能接受到的直射阳光不多，因此采用了非晶硅的光伏玻璃，起到了节能示范工程的作用(图13)。在428.0m和433.2m观光层分别设置了1个伸出幕墙的玻璃观景台，为人们提供了具有良好视觉通透性的观景点(图14)。

6 结语

正是建筑师在设计上做了一系列细致、全面的工作，才成就了广州塔技术与艺术完美结合的幕墙作品。

幕墙设计是建筑深化设计中一个非常重要的环节。建筑师必须认真地投入其中，关注全过程的每一个细节，并与施工、材料、结构等各方充分沟通、密切配合，不断研究、深入探索，才能做出一个符合建筑艺术和功能需求的成功作品，使其成为一件剪裁得体、彰显个性的建筑外衣。



第一作者简介

陈卫群，广州市设计院建筑师。国家一级注册建筑师、高级建筑师。2006年入选建设部“中国青年建筑师188名录”。主持过的主要项目有：广州市海洋馆、广州大鹏国际广场、广州市黄埔区体育中心体育场、广州市体育馆、广州市从化碧水湾温泉度假村、广州汇景新城一期、广州发展中心大厦、广州大学城中山大学生活区、广州市新中轴线电视塔(广州塔)、白天鹅宾馆改造扩建工程、南越王宫博物馆等。1991年毕业于同济大学建筑系。