

轻型GRC幕墙板 在南京青奥会议中心工程中的应用

Application on GRC in Nanjing Youth Olympic Conference Center

撰文 高鸣 南京倍立达新材料系统工程股份有限公司

南京青奥会议中心位于建邺区江山大街北侧，建成后将作为2014年第二届世界青年奥林匹克运动会会议中心投入使用。青奥会议中心建筑面积约40万 m^2 ，主体由46.9m高的6层会议中心、314m高的68层五星级酒店和249.5m高的58层会议型酒店构成。两栋高层塔楼与会议中心之间的距离分别为15m和21.12m，并通过空中走廊连通。

方案设计出自著名建筑师扎哈·哈迪德之手，建筑的雕塑感很强，从高空俯瞰就好像一艘外太空的帆船，寓意青年人扬帆远航、乘风破浪的拼搏精神（图1）。

1 幕墙设计

1.1 幕墙方案设计

南京青奥会议中心是一座空间结构复杂的全钢结构建筑。其中会议中心建筑部分采用了下部分开、上部合拢，21~27m整层转换，形成四条腿板凳的纯钢结构，实现整个建筑功能的转换和体型的完整性（图2）。

设计方案确定后，面对外立面多视角造型结构，幕墙材料的选择成为深化设计的关键问题。为最大限度实现建筑外观的要求，满足紧迫的施工周期，经过多种幕墙材料专家的论证后，轻型GRC幕墙板因具有轻质、高强、生产周期快、施工便捷及可实现复杂建筑形体要求等优点，被最终确定为项目的幕墙材料。南京倍立达新材料系统工程股份有限公

司作为全球专业的GRC幕墙板研发制造厂家，也因为具有雄厚的技术实力和丰富的复杂大型项目经验以及优秀的幕墙设计团队，得以进行相关内容的实施。在与扎哈·哈迪德建筑设计事务所、中国建筑设计研究院及深圳华森幕墙顾问公司经过深入探讨和论证后，通过三维犀牛模型图和建筑结构图分解，最终确定将会议中心外立面及双子塔楼76m处异形结构以下，全部使用轻型GRC挂板，合计面积约13万 m^2 ，这在超大规模的异形建筑结构中是史无前例的。要完成数字构建和GRC幕墙板的完美结合，深化设计的工作主要由生产厂家的设计团队完成。在收到华森提供的建筑结构图以及三维犀牛模型图后，设计团队就按照专业分工展开了安装方案设计、板块分割及板型设计、二次结构设计、节点支撑牛腿定位设计、背负钢结构设计、产品设计和力学计算等工作。

1.2 外观效果设计

为了表现建筑设计师想要达到的视觉效果和文化内涵，前期的外观效果打样工作至关重要。一方面建筑师并没有一个实实在在的实物作为参照，需要不断地根据建筑师和南京河西指挥部领导的要求进行试验和调整；另一方面，也要考虑GRC制品自身在颜色和质感表现力上的范围和局限。通过同建筑师和业主进行充分沟通，使打样人员增强对外观效果的理解度，一步步达到或接近建筑师的要求，并在此基础上获得最佳的视觉效果（图3）。



图1 南京青奥中心建筑效果图

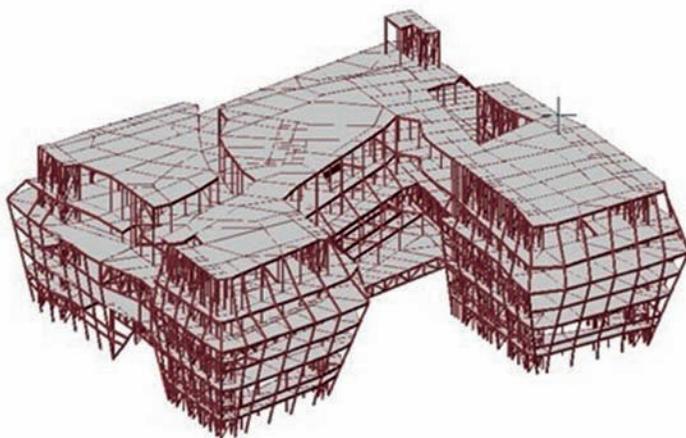


图2 群楼整体结构示意图



图3 鱼鳞状建筑外观

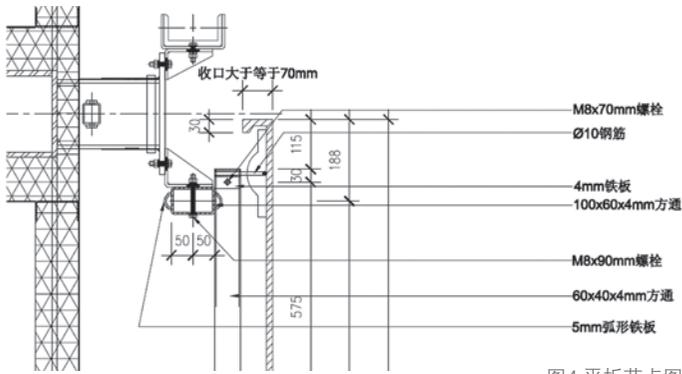


图4 平板节点图

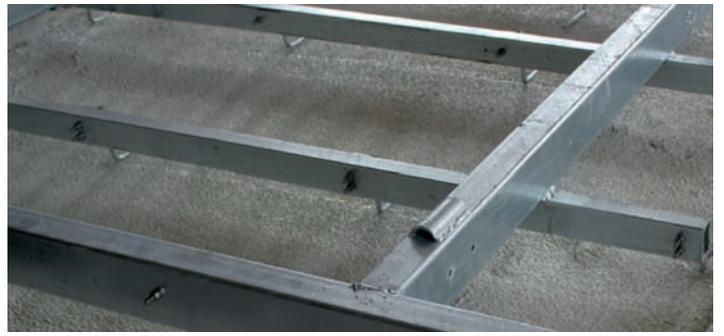


图6 背负钢架与GRC板面连接方式

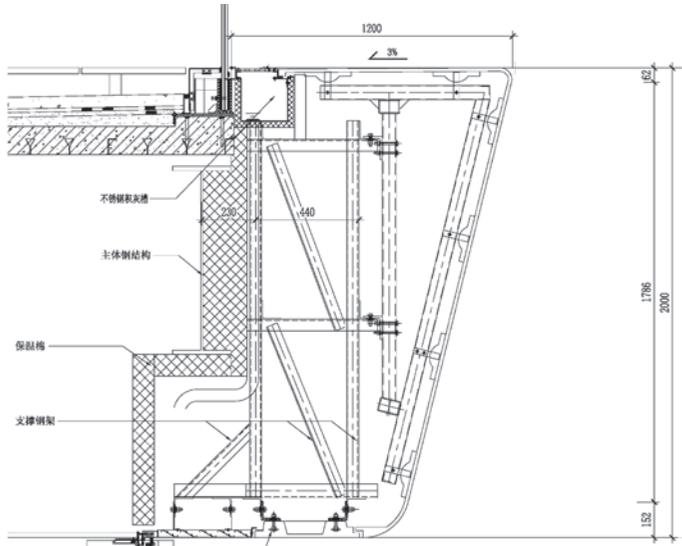


图5 折板节点图

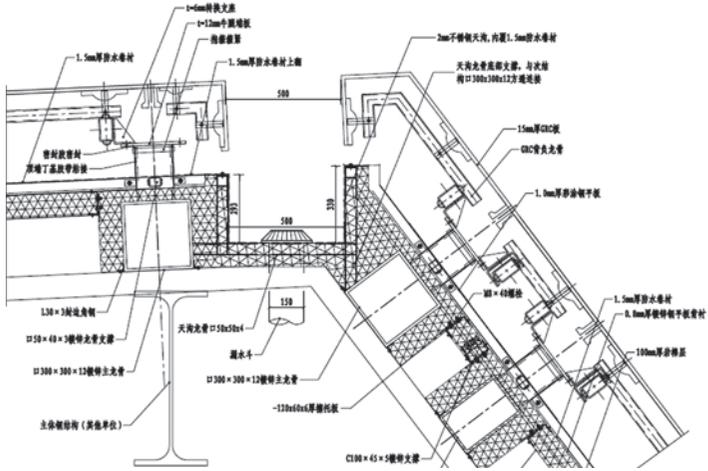


图7 屋面防水导水槽和天沟导水槽示意图

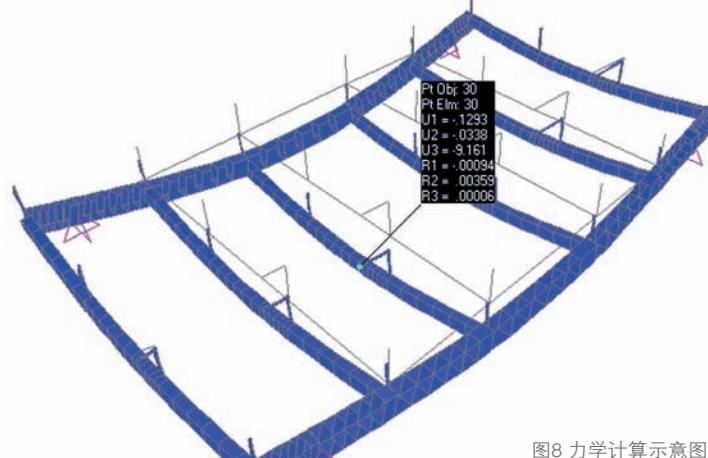


图8 力学计算示意图

1.3 GRC 幕墙板设计

1.3.1 板型设计

该项目建筑外观造型复杂,在深化设计时发现结构冲突和碰撞特别多,为了充分体现建筑的灵动性和整体感,经过深化设计后将 GRC 板型分为四类: 1) 平板: 4.5 万 m^2 , 板块规格为 $3m \times 2m$, 最大板块 $6m \times 3m$; 2) 折板: 4.2 万 m^2 , 板块规格为 $(2+2)m \times 2m$, 最大板块 $(5+2)m \times 3m$; 3) 双曲面板: 3 万 m^2 , 板块规格为 $3m \times 2m$, 最大板块 $6m \times 4m$; 4) 单曲板: 1.8 万 m^2 , 板块规格为 $3m \times 2m$, 最大板块 $6m \times 3m$ 。板块分格设计从屋面到层间都必须统一斜向线上, 同时还需严格对应凹形洞口玻璃窗板块的分缝。为了保证产品耐久性和力学安全性能的要求, 板型设计还包含了产品厚度设计, 通过力学计算最终确定的产品厚度为 15mm, 连同产品的背负钢架, GRC 板的平均重量约为 $50kg/m^2$, 完全符合薄壳、高强的 GRC 特性。

1.3.2 节点设计

对于安装节点的设计, 平板通过主桁架檩条与 GRC 板背负钢架采用螺栓进行柔性连接(图 4)。对于折板安装节点的设计, 则是采用将产品背负钢架与次结构安装龙骨螺栓连接的方式。图 5 为典型的折板安装节点大样, 主钢结构上先安装支撑次龙骨, 次龙骨上对应 GRC 背负钢架的安装点预装连接角码, GRC 板就位后再用螺栓进行固定。

1.3.3 背负钢架设计

根据不同板面形状进行每一块背负钢架的选材、结构定位设计。折板的背负钢架采用三角支撑形设计, GRC 板面与背负钢架采用 L 形柔性连接, 有效化解了局部应力集中可能造成板面破坏的不良后果。平板及曲面板的背负钢架则采用平面结构设计, 纵向主梁安装、板面与背负钢架的连接方式与折形板一致(图 6)。

1.3.4 防水设计

该工程屋面防水设计采取的方案是 GRC 板边缝下檐安装不锈钢导水槽, 绝大部分的雨水将通过导水槽引入天沟集中排放。在 GRC 板下方另做一层屋面防水体系, 确保万无一失。层间板的防水则是采用结构防水和内部防水相结合的方案, 连接缝位置设计成企口槽, 背面打胶, 墙面部位再另外制作一层防水体系, 保证了层间和檐口结构的整体防水效果(图 7)。

1.3.5 力学计算

由于 GRC 单板面积远远超出了常规设计的板面尺寸, 为了确保板面系统的安全性和生产制作的可操作性, GRC 板安装体系的力学计算工作尤为重要和谨慎。力学设计人员依据相关国内外的设计规范对照工程风荷载、雪荷载及抗震烈度等级的要求进行了反复测算, 对不同部位、不同板形都逐一进行验证, 安全系数均达到 1.5 以上, 相关力学设计指标都超过其他幕墙材料(图 8)。

2 GRC 幕墙板的生产制造

2.1 材料

GRC 具有轻质、高强、可塑性好的优点。该工程 GRC 板的原材料和生产制作过程执行国标与欧标中较高的标准。水泥采用了进口优质白水泥，白度在 90% 以上，强度等级达到了 42.5 级，骨料则是全部采用 SiO₂>96% 的优质石英砂，纤维采用了 ZrO₂ 含量大于 16% 的耐碱玻璃纤维。此外，为了能满足 GRC 板长期耐久性和力学性能的要求，还参加了罗门哈斯、巴斯夫和西卡等公司生产的优质添加材料，各种原材料都符合美国预制混凝土协会 (PCI) GFRC 推荐性规范对原材料的性能参数要求。在材料配比上经过反复试验，灰砂比控制在 1: 1，水灰比控制在 0.38，纤维含量控制在 5%，产品在符合表面颜色效果要求的基础上达到了欧标优质品的指标。背负钢架全部采用符合国标要求的优质方矩管，按焊接规范要求焊接组装后，再进行整体热浸镀锌，保证内外镀锌层的厚度达到 70um 以上，确保 50 年以上的防腐性能要求。

2.2 模具制造

对于大型双曲面幕墙板均采用大地模制作工艺，最大程度地保证相衔接曲面板块拼接的准确度，将模具制作误差控制在可控范围内。同时，对于复杂造型的双曲面部位，采用 CNC 数码雕刻工艺保证造型的精确度 (图 9~11)。

2.3 生产工艺

对于 GRC 产品而言，一般的生产工艺流程是先制作好模具，再进行配料搅拌，通过专用的喷射机械将混合好的水泥砂浆连同切断的耐碱玻璃纤维 (长度一般为 30mm) 一起均匀地喷到模具表面，在层层均匀喷射过程中不断辊压密实，直至达到设计的厚度，最后经养护硬化后脱模。在南京青奥中心项目的产品制作过程中，由于建筑构造的特殊性，设计成功地将数字三维技术引入到生产控制过程中，解决了模具制作、产品尺寸控制、接缝控制等难题，将复杂面的三维定点误差控制在 3mm 以内，背负钢架安装点误差也能较好地控制在连接角码的误差调节范围内。同时通过技术创新和装备改进成功解决了产品脱模、翻转以及转运、吊装等技术难题 (图 12)。

2.4 质量控制

生产中，工厂按照 ISO9001 质量管理体系并对照美国预制混凝土协会 PCI-130 的规范要求进行质量管理和控制。同时设立品质部，由十余名品质控制员对原材料、模具、过程、产品进行质量跟踪和控制，并建立标准的实验室，对每天每个班次的产品抽样进行性能测试。并建立了详细的质量档案，每块 GRC 板都有特定的数码识别身份，主要工序质量都具有可追溯性。表 1 列举了该项目产品的主要物理力学性能参数值。

表1 GRC板物理力学性能指标

项目	指标要求	实测值
抗弯比例极限强度 (MPa)	≥7.0	9.2
抗弯极限强度 (MPa)	≥18.0	22.6
抗冲击强度 (kJ/m ²)	≥8.0	15.6
体积密度 (干燥状态) (g/m ³)	≥1.8	2.0
吸水率 (%)	≤14.0	7.5
抗冻性	经25次冻融循环, 无起层、剥落等破坏现象	50次
抗弯极限强度保留率 (80℃, 90%, 14d) (%)	≥70	81



图9 CNC数码雕刻设备



图10 GRC喷射生产线

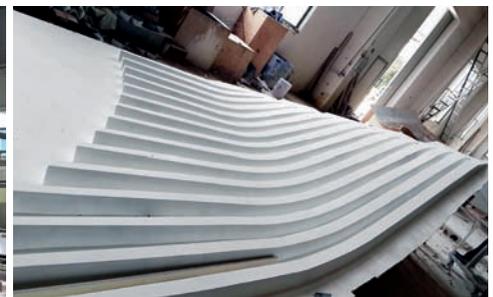


图11 GRC模具制作



图12 产品表面精细化喷射与大型航吊对产品进行运转



图13 屋面板安装



图14 层间板安装



图15 安装接缝

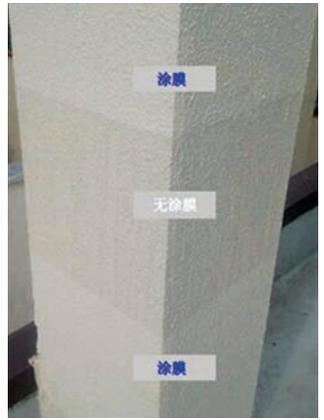


图16 防护剂测试对比



图17 建设中的南京青奥中心

3 GRC 幕墙板的安装

3.1 支撑钢结构安装

支撑钢结构是指主体结构同 GRC 板背负钢架连接的部位。支撑钢结构体系也是由 GRC 板生产工厂根据主体结构图进行深化设计的。屋面板支撑钢结构包括桁架上的所有檩条及支架，由安装公司根据设计图纸先进行檩条及支架的加工，再安装至屋面主梁的桁架上。层间板支撑钢架则是直接设计成一定长度的箱体框架，再焊接到外檐主钢结构上。

3.2 产品安装

3.2.1 屋面的安装

对照设计图纸先进行屋面支撑檩条系统的安装，再按顺序从屋脊和檐口部位自上而下或自下而上吊装 GRC 屋面大板，按分仓纵列线先固定所有板块与檩条系统的主要安装连接件，最后借助测量器具进行定位调节和拼缝处理，背面安装导水槽（图 13）。

3.2.2 层间板的安装

先完成支撑钢架和主钢结构的焊接，并保证安装点的位置准确。再吊装产品并连接安装角马，待一定区域全部完成后再进行局部的定位调节，保证产品接缝的均匀一致（图 14）。

3.2.3 误差调节和质量控制

从生成到建成的设计工作是对应三维犀牛模型进行的，理论上可

以确保安装的精度，但施工过程具有不确定性，需要进行必要的误差调节以保证建筑外形和接缝的顺畅和一致（图 15）。倍立达公司与中建三局对施工过程的控制和协调都很到位，从而使这个难度巨大、时间紧迫的项目顺利实施。

4 GRC 幕墙板的表面防护

对于 GRC 板表面的防护，一直以来都是 GRC 材料专家最为关注的问题。防护不仅是要在产品表面形成较好的防水效果，同时要保持产品色彩及亚光颗粒质感，并且要具有很好的自洁性能与耐久性。经过慎重考察与多次实验，南京青奥中心项目中 GRC 板表面采用了国际先进的无机杂化硅丙乳液，此种防护剂是在其固化过程中，由挥发剂引发无机类化学物迁移至防护剂表面，在防护涂层表面形成一层无机材料，既能实现一定的亲水性，又能抵制光触媒、光腐蚀（图 16）。

5 结语

轻型 GRC 幕墙板在南京青奥中心项目的应用，是 GRC 幕墙板首次大规模应用于现代公建场馆，标志着中国 GRC 行业观念创新、技术发展和工程应用达到了国际领先水平（图 17）。随着现代建筑设计个性化和数字化发展趋势，以及国家级产品执行标准和施工规范的出台，相信 GRC 板这一功能型、智慧型、环保型的新型墙体材料，在未来的建筑领域中会发挥更加出色的作用。▲