UHPC 花砖景观墙优化设计与工程实践分析

高荣丽　林朝东　陈志华

中铁建安工程设计院有限公司 河北 石家庄 050043

【摘　要】：超高性能混凝土（UHPC）凭借超高力学性能、优异耐久性与造型可塑性，在景观建筑领域得到广泛应用。UHPC 花砖景观墙作为新型景观围护结构，兼具装饰性与功能性，可实现复杂曲面、镂空纹样与轻薄化造型，成为城市景观、公共建筑、商业空间立面设计的重要表达载体。本文围绕 UHPC 花砖景观墙的材料特性、设计优化、工程实践展开系统分析，结合 UHPC 材料力学性能与景观建筑设计要求，从花砖单元造型优化、拼接节点设计、结构受力计算、表面肌理处理四个维度探讨优化设计方法；以实际工程案例为基础，剖析 UHPC 花砖景观墙在生产制作、现场安装、效果呈现中的关键技术要点；针对工程实践中出现的色差、拼接缝不均、空鼓脱落、局部开裂等常见问题，提出材料配比、模具工艺、安装节点、成品保护等方面的优化对策。研究表明，通过精细化设计与施工管控，UHPC 花砖景观墙可实现轻质高强、造型自由、耐久美观的综合效果，为景观建筑立面创新提供技术支撑。

【关键词】：UHPC；超高性能混凝土；花砖；景观墙；优化设计；工程实践

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.003

1 引言

随着我国城市建设从规模扩张转向品质提升，景观建筑在城市空间营造中的作用日益凸显。景观墙作为景观空间的重要界面元素，承担着空间分隔、视线引导、文化表达、视觉装饰等多重功能，其材料选择与造型设计直接影响景观品质与城市风貌。传统景观墙多采用砖砌、石材、GRC（玻璃纤维增强混凝土）等材料，存在自重大、造型受限、耐久性不足、表面易开裂脱落等问题，难以满足现代景观设计对轻薄化、艺术化、耐久化的综合要求。

超高性能混凝土（Ultra-High Performance Concrete，UHPC）是一种基于最大密实度理论制备的新型水泥基复合材料，抗压强度可达 120~200MPa，抗折强度可达 20~40MPa，具有极低渗透性与优异耐久性。与普通混凝土和 GRC 相比，UHPC 具有显著的薄型化优势——同等受力条件下构件厚度可减少 50%以上，同时凭借良好的工作性可实现复杂造型、镂空纹样、曲面过渡等艺术化表达。近年来，UHPC 在建筑外立面、景观小品、城市家具、桥梁装饰等领域的应用快速增长，UHPC 花砖景观墙作为其中的典型应用形式，在公园景观、商业综合体、文化场馆、住宅示范区等项目中大量出现。

然而，UHPC 花砖景观墙在实际工程应用中仍面临诸多技术挑战：一是花砖单元造型复杂，模具设计与生产工艺直接影响成品精度与表面质量；二是花砖拼接节点设计不合理，易出现拼接缝不均、色差明显、渗水泛碱等问题；三是结构受力计算不充分，大尺寸花砖面板在风荷载、自重、温度应力作用下存在开裂脱落风险；四是现场安装精度控制难度大，花砖定位、调平、固定工序直接影响最终景观效果。

当前国内关于 UHPC 在景观建筑领域的研究多集中在材料性能与单点工程应用方面，针对花砖景观墙系统设计优化、施工工艺、质量控制的系统性研究相对不足。本文结合 UHPC 材料特性与景观建筑设计要求，探讨 UHPC 花砖景观墙的优化设计方法，结合实际工程案例分析关键技术要点与常见问题，提出针对性优化对策，为 UHPC 景观建筑的推广应用提供技术参考。

2 UHPC 材料特性与花砖景观墙应用现状

2.1 UHPC 材料基本特性

UHPC 由水泥、硅灰、超细矿渣等胶凝材料，石英砂等细骨料，高效减水剂及钢纤维（或合成纤维）组成，其材料特性与花砖景观墙应用密切相关的主要有以下几个方面：

第一，超高力学性能与薄型化优势。UHPC 抗压强度通常 120~180MPa，抗折强度 20~40MPa，抗拉强度 7~15MPa，得益于乱向分布钢纤维的桥接增韧作用，材料表现出应变硬化与高韧性特征。这一力学性能使花砖面板厚度可控制在 30~60mm，相比传统石材（80~100mm）与 GRC（60~80mm）显著减薄，大幅减轻墙体自重，降低基础与结构荷载。

第二，优异工作性与造型可塑性。UHPC 新拌浆体具有良好流动性，可自流平成型，配合精细模具可实现复杂纹样、镂空图案、曲面过渡、纹理肌理等艺术化造型。钢纤维在基体中乱向分布，即使在镂空、薄壁部位也能保持结构完整性，避免普通混凝土花砖易脆断、边角易缺损的问题。

第三，优异耐久性与低渗透性。UHPC 水胶比极低（0.16~0.22），基体高度致密，抗渗等级可达 P40 以上，氯

离子扩散系数远低于普通混凝土，抗冻融循环次数可达数千次。在户外景观环境中，UHPC 花砖耐雨水侵蚀、耐冻融循环、耐紫外线老化，长期使用不褪色、不粉化、不开裂，维护成本远低于 GRC 与涂料类景观墙面。

第四，表面质感与色彩可调性。UHPC 基体表面细腻致密，可通过表面处理形成清水混凝土质感、磨砂质感、木纹质感、石材纹理等多种表面效果；也可掺入无机颜料，实现灰色、白色、米色、红色、黑色等多种色彩，色彩均匀持久，不易褪色。

2.2 UHPC 花砖景观墙应用现状

近年来，UHPC 花砖景观墙在国内景观工程中应用快速增长。上海、深圳、成都、杭州等城市在公园景观、商业街区、文化场馆、住宅示范区等项目中大量采用 UHPC 花砖作为景观墙饰面材料。产品形式主要包括：镂空花砖景观墙（传统纹样、几何图案、植物纹样等）、肌理面板景观墙（竖向条纹、水波纹、点阵纹理等）、曲面造型景观墙（弧形墙面、波浪形立面）、复合材质景观墙（UHPC 面板与金属、木材、玻璃等组合）。从应用效果来看，UHPC 花砖景观墙在造型表现力、耐久性、轻薄化方面表现突出，成为景观设计中体现现代感与艺术性的重要材料选择。但工程实践中也暴露出一些共性问题：一是不同批次花砖存在色差，影响整体立面效果；二是拼接缝宽度不均，平整度偏差较大；三是部分花砖面板出现空鼓、脱落风险；四是镂空部位边角缺损率较高；五是安装完成后局部出现泛碱、水痕等外观缺陷。这些问题的出现，既与材料生产工艺有关，也与设计节点处理、现场安装精度密切相关。

目前国内 UHPC 花砖景观墙尚无专门的产品标准与施工验收规范，设计与施工多参照 GRC、石材幕墙等相关标准执行，UHPC 材料特有的性能优势与工艺特点未能在标准层面得到充分体现，导致工程质量参差不齐。

3 UHPC 花砖景观墙优化设计

3.1 花砖单元造型优化

花砖单元是景观墙的基本构成模块，其造型设计直接影响景观效果、生产难度与结构安全。优化设计应遵循以下原则：

（1）模数化与标准化设计花砖单元尺寸宜采用模数化设计，标准单元宽度与高度以 300mm、400mm、600mm 为基本模数，减少异形单元数量，提高模具利用率与生产效率。同时，模数化设计有利于现场排版，减少切割加工，保证拼接缝均匀一致。对于需要特殊造型的部位，可在标准模数基础上局部调整，兼顾艺术效果与施工便利性。（2）镂空纹样优化镂空花砖的纹样设计需兼顾装饰性与结构安全性。镂空孔洞不宜过于密集，镂空率控制在 30%~50%为宜，镂空率过高会显著削弱面板截面，增加开裂风险。孔洞边缘应设置圆弧过渡，避免直角应力集中导致边角缺损。纹样线条宽度不小于 15mm，保证 UHPC 基体在薄壁部位的结构完整性。对于传统纹样、植物纹样等复杂图案，应在设计阶段进行结构受力验算，确保最薄弱截面满足承载要求。（3）面板厚度优化花砖面板厚度根据单元尺寸、安装方式、风荷载条件综合确定。常规景观墙面板厚度 30~40mm 即可满足要求；大尺寸面板（单块面积大于 0.5m²）或高空安装部位，厚度宜取 40~60mm。面板背面可设置加强肋，肋间距 300~400mm，肋高 20~30mm，在不显著增加自重的前提下提高面板抗弯刚度。（4）表面肌理设计表面肌理应与 UHPC 材料特性相匹配。细腻肌理（磨砂面、水波纹、点阵纹）适合采用模具直接成型，表面质量可控；粗糙肌理（荔枝面、斩假面）适合后期喷砂、凿毛处理。设计时应考虑不同表面处理方式对色差的影响——粗糙表面更容易出现色差不均，设计阶段应预留色差调整余量。

3.2 拼接节点设计优化

拼接节点是花砖景观墙设计的关键环节，直接影响墙面平整度、防水性能与耐久性。

（1）干挂节点体系 UHPC 花砖景观墙宜采用干挂体系，通过不锈钢挂件将花砖面板固定在龙骨骨架上。龙骨采用热镀锌型钢或铝合金型材，根据墙体高度与风荷载计算确定截面尺寸。挂件采用 304 或 316 不锈钢材质，挂件与面板连接采用背栓式或开槽式连接。背栓式连接受力可靠、可拆卸更换，适合大尺寸面板；开槽式连接施工便捷，适合中小尺寸花砖。（2）拼接缝设计拼接缝宽度宜控制在 8~15mm，缝宽过小不利于安装调平与温度变形释放，缝宽过大影响整体美观。拼接缝采用中性硅酮耐候密封胶填缝，密封胶颜色与花砖颜色协调。对于清水效果要求高的景观墙，可采用开放式拼接缝设计，不打胶，通过背后排水构造实现防水，缝隙效果更加简洁干净。（3）阴阳角与收边处理阴阳角部位花砖应定制加工，采用整体转角构件或 45°拼角处理，避免现场切割拼接造成色差与边缘缺损。墙体顶部设置压顶盖板，引导雨水排放，避免雨水沿墙面流淌形成水痕。墙体底部设置排水孔，及时排出墙体内渗入水分，减少泛碱与水痕。

4 工程实践案例分析

4.1 工程概况

某小区沿街景观墙工程位于廊坊市固安县，景观墙总长约 60m，墙高 2.5~3.5m，采用 UHPC 镂空花砖作为主要饰面材料。花砖纹样设计以传统六边形式样为主，融合现代几何构成语言，形成具有特色的景观界面。花砖单元尺寸为 295mm×295mm，厚度 120mm，镂空率约 30%。UHPC 设计抗

压强度 120MPa，抗折强度 18MPa，由水泥、矿物掺合料、细骨料和高强度微细纤维等组成。花砖颜色为暖灰色，表面为哑光磨砂质感，景观墙为独立式悬臂景观墙。

4.2 生产制作关键技术

（1）模具制作花砖纹样复杂，模具采用硅橡胶软模+玻璃钢硬模组合体系。根据纹样三维模型加工数控母模，翻制硅橡胶软模，软模外套玻璃钢刚性模，保证脱模时纹样细节完整、不变形。模具表面喷涂脱模剂，确保产品表面光洁。（2）搅拌与成型 UHPC 搅拌采用强制式行星搅拌机，投料顺序：胶材+石英砂干拌 2min→水+减水剂湿拌 3min→钢纤维撒入搅拌 3min。新拌浆体坍落度扩展度控制在 200mm 左右。布料时采用人工辅助均匀布料，振动台振动 60 秒，排出气泡。成型后覆盖塑料薄膜静停 4h，再进入蒸汽养护。（3）养护制度带模静停 4h 后升温，升温速率 15℃/h，恒温温度 80℃，恒温 24h，降温速率 10℃/h，出模时产品与环境温差小于 20℃。出模后继续洒水养护 7d，确保胶材充分水化。（4）色差控制为控制色差，整个工程花砖产品在同一生产车间、同一配合比、同一批次原材料下生产。每批次产品成型后留样编号，安装时按批次顺序排布，将色差控制在视觉可接受范围内。

5 结语

UHPC 花砖景观墙作为一种新型景观围护体系，充分发挥了 UHPC 材料超高强度、优异耐久、造型可塑性强的综合优势，可实现轻薄化、艺术化、耐久化的景观立面效果，在现代景观建筑领域具有广阔应用前景。

本文从花砖单元造型、拼接节点设计、结构受力计算、色彩表面效果四个维度系统探讨了 UHPC 花砖景观墙的优化设计方法。结合实际工程案例，分析了生产制作与现场安装的关键技术要点。针对色差、拼缝不均、边角缺损、泛碱水痕、面板脱落等常见问题，从材料、设计、生产、施工全流程提出了针对性优化对策。

工程实践表明，UHPC 花砖景观墙的成功应用依赖于精细化设计与全过程质量控制。设计阶段应充分考虑 UHPC 材料特性与生产工艺约束，避免盲目追求复杂造型而增加生产与安装难度；生产阶段应严格控制原材料稳定性、搅拌成型工艺与养护制度，保证产品质量一致性；施工阶段应精确控制龙骨安装精度与面板安装质量，做好防水与成品保护。三者协同配合，才能充分发挥 UHPC 材料的技术经济优势，实现景观墙的预期设计效果。

随着 UHPC 材料成本逐步下降与生产工艺不断成熟，UHPC 花砖景观墙将在城市景观、公共建筑、文化空间等领域得到更广泛应用。未来应加快编制 UHPC 景观制品专项技术标准，完善设计、生产、施工、验收技术体系；加强 UHPC 材料与太阳能光伏、LED 照明等功能材料的集成应用，发展兼具装饰性与功能性的智慧景观墙面；进一步优化配合比，降低材料成本，推动 UHPC 景观建筑的规模化应用。

参考文献：

[1] 阎培渝.超高性能混凝土(UHPC)的发展现状与应用前景[J].硅酸盐学报,2020,48(9):1423-1431.

[2] 陈宝春,韦建刚,苏家战.超高性能混凝土应用现状与前景[J].交通运输工程学报,2020,20(1):1-23.

[3] 赵筠,廉慧珍.超高性能混凝土的组成、性能与工程应用[J].混凝土世界,2021(5):28-37.

[4] 王德弘,鞠杨,田玉滨.活性粉末混凝土力学性能与弯曲韧性试验研究[J].建筑结构学报,2019,40(6):187-194.

[5] 季文玉,王天龙,安明喆.钢纤维增强活性粉末混凝土抗弯性能试验[J].中国公路学报,2018,31(5):112-119.

[6] 韩松,安明喆,余自若.活性粉末混凝土早期收缩与开裂性能研究[J].铁道学报,2020,42(3):128-134.

[7] 马昆林,龙广成,谢友均.活性粉末混凝土氯离子扩散性能与耐久性[J].硅酸盐学报,2019,47(10):1421-1428.

[8] 蒋金洋,孙伟,张云升.超高韧性水泥基复合材料弯曲疲劳性能研究[J].建筑材料学报,2018,21(4):567-573.

[9] 周玲,丁庆军,张鸿.超高性能混凝土配合比优化及工程应用[J].混凝土,2023(4):135-139.

[10] 全国混凝土标准化技术委员会.活性粉末混凝土:GB/T 31387-2015[S].北京:中国标准出版社,2015.

[11] 张向东,李占雷.预制 UHPC 外挂板幕墙体系设计与施工技术[J].施工技术,2022,51(8):65-69.

[12] 刘辉,王健,张伟.UHPC 装饰挂板在景观工程中的应用研究[J].建筑技艺,2023(3):88-91.

[13] 陈明,李晓明.超高性能混凝土建筑外立面产品生产工艺与质量控制[J].混凝土与水泥制品,2022(11):56-60.

[14] 黄莉,赵平.GRC 景观墙面常见质量问题与防治措施[J].城市建筑,2021,18(12):145-148.

[15] 王立成,邢锋.超高性能混凝土耐久性研究进展[J].建筑材料学报,2022,25(7):677-688.