

高性能发光混凝土 UHLC 的制备与性能的研究

樊付军

华北水利水电大学建筑学院 河南郑州

【摘要】将高性能混凝土 (UHPC) 与长余辉发光材料相结合, 制作成为创新型建筑材料——高性能发光混凝土 (UHLC), 与普通型发光混凝土相比, UHLC 在力学性能、发光性能以及耐久性等方面都有着出色的效果表现。高性能发光混凝土 (UHLC) 是基于改进的 Andreasen and Andersen (A&A) 颗粒最密集堆积理论模型进行配合比优化设计的, 这也是其最佳强度的根本保证。本文对 UHLC 的制作过程进行系统的阐述, 并对其力学性能、发光性能及耐久性进行综合评估, 最后对 UHLC 进行阶段性汇总和展望。

【关键词】UHPC; 发光混凝土; 力学性能; 发光性能

Preparation and Performance of High Performance UHLC

Junfan Fu

School of Architecture, North China University of Water Resources and Hydropower, Henan Zhengzhou

【Abstract】 Ultra-high performance concrete (UHPC) and long afterglow luminescent materials are combined to make an innovative building material-ultra-high performance luminescent concrete (UHLC). Compared with ordinary luminescent concrete, UHLC has excellent performance in mechanical properties, luminescent properties and durability. Ultra-high-performance luminescent concrete (UHLC) is based on the improved Andreasen and Andersen(A&A) theoretical model of the densest packing of particles, which is the fundamental guarantee of its optimal strength. In this paper, the manufacturing process of UHLC is systematically expounded, and its mechanical properties, luminous performance and durability are comprehensively evaluated. Finally, the stage summary and prospect of UHLC are made.

【Keywords】 UHPC; Luminous concrete; Mechanical properties; Luminous performance

引言

从 1995 年至 2015 年, 全球用电总量从 11.4 万亿 KW·h 增长至 20 万亿 KW·h^[1], 整体呈现逐年递增的趋势, 总用电量中分布在建筑照明方面的比重不容小觑, 因此, 亟需在建筑方面研发探究新型节能环保型建筑材料以缓解在建筑照明用电量上的压力。长余辉发光材料作为一种典型的光致发光材料, 当被特定波长光源激发后, 能将能量储存起来, 并以光的形式释放。长余辉发光材料激发光源波域要求限制较低, 常见可见光、X-ray 以及紫外线光都有成为其激发光源的可能, 因此, 长余辉发光材料被广泛应用于消防标识、娱乐商业甚至是生物医疗行业。目前为止, 长余辉发光材料已经经历数次更新换代, 第一代长余辉材料以 ZnS: Cu 为

代表, 其缺点也很明显: 发光强度低, 余辉时间短, 所以逐渐被市场淘汰。第二代长余辉发光材料有两大类组成, 即铝酸盐型和硅酸盐型, 在此基础上, 研究人员尝试使用稀土离子作为激发剂掺入其中, 其发光质量远超前传统型长余辉发光材料, 常用的激发离子有 Eu^{2+} 、 Ce^{3+} 、 Pr^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Er^{3+} 等。将长余辉发光材料植入普通建筑材料中制备成为创新型自发光建筑材料, 这种材料具有节能环保、无辐射性等特点^[2], 高度符合现代生活中“低碳”的审美要求^[3], Gao^[4]等人将铝酸盐型长余辉发光材料置入水泥中, 通过正交实验调整 LP 和 RP 的掺入量测试发光基体性能, 最终确定当 LP 掺入体积分数 25%, RP 含量在 10%时, 力学性能, 发光性能处于最佳状态; 在此基础上, He^[5]等人研究了发光基体与疏水

作者简介: 樊付军 (1993—) 男, 汉, 河南周口, 研究生, 硕士学位, 研究方向: 新型建筑材料方向。

剂种类与量的关系；Wang^[6]等人将长余辉发光材料替换水泥，并将其体积分数控制在 8%，此时得到发光混凝土在强度与发光方面得最优配比。现基于改进的 Andreasen and Andersen (A&A) 颗粒最密集堆积理论模型，将稀土离子长余辉发光材料以相似粒径替换水泥，得到高强性能发光混凝土 UHLC，并研究其在力学性能、发光性能之间得关系。

1 UHLC 制备流程

1.1 UHLC 所需材料

该实验所需要的材料有普通硅酸盐水泥（博爱金隅 P.O52.5）、II 级粉煤灰（生产场地及型号）、微硅灰（洛阳绿明源环保材料厂）、采用聚羧酸醚系高效减水剂（固含量为 30%、减水率为 30%）、小粒径玻璃珠（1.6-53 μm ）和大粒径玻璃珠（50-80 μm ）、长余辉发光材料。表 1 为长余辉发光材料中主要的化学成分，其中 Si、Sr、O 及 Al 元素是主要的发光材料。需要做出说明的是，对于铝酸盐长余辉材料的确定，需要考虑的有以下几点：长余辉

材料的成分是否会与混凝土中各种原材料反应，特别是水泥中成分反应，从而降低发光混凝土的初始发光强度以及缩短余辉时间；发光混凝土基体表面存有雨水污渍沉淀，影响内部荧光粉的发光效果，从而在一定程度上降低本该有的发光效果。该实验采用的长余辉发光材料（大连路明发光科技有限公司），该材料是两种发光粉的混合型，即铝酸盐型与硅酸盐型，其中占据多数的是硅酸盐型长余辉发光材料，化学式是 $\text{MSiO}_4: \text{Eu}$ ($\text{M}=\text{Sr}, \text{Cu}, \text{Ca}$)，由于硅酸盐型发光粉中存在 SiO_2 纳米微粒集团，所以整体上起到一定的防水作用。

1.2 LP 耐水处理

经过溶胶-凝胶法将正硅酸乙酯（TEOS）在 0.1mol/L 的 HNO_3 溶液环境中发生水解，在 0.5mol/L 的 NH_4CO_3 的碱性环境下聚合，产生 Nano- SiO_2 涂敷在长余辉发光材料中，并将未处理（PUTONG）与处理（GAIXING）进行了 X-ray diffraction 衍射测试，结果如下：

表 1 长余辉发光材料中主要化学成分

Composition	SiO_2	SrO	Al_2O_3	CaO	Na_2O	Eu_2O_3	Dy_2O_3
Content /%	46.03	26.5	23.16	1.28	1.22	0.467	0.446

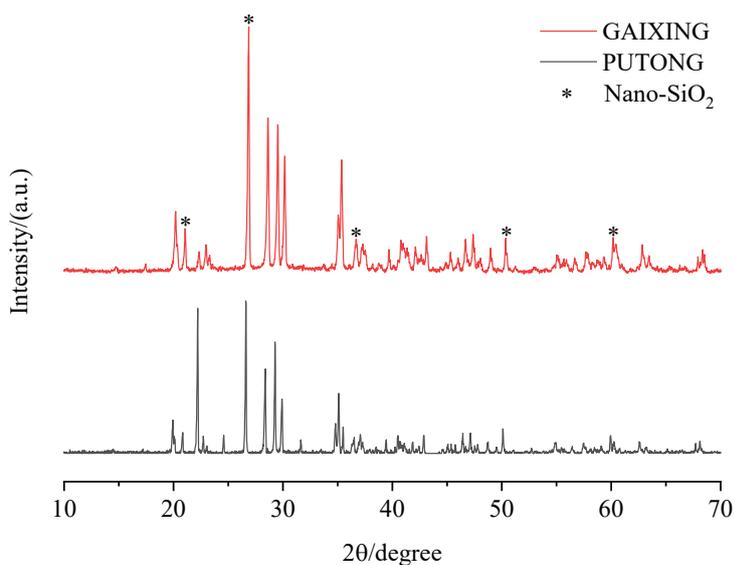


图 2 X-ray diffraction 衍射测试

在图中红色线条代表耐水改性后长余辉发光材料，灰色线条代表未改性长余辉发光材料，可以看到，在 2θ 角度在 21° 、 27° 、 36° 、 50° 及 61° 时，Nano- SiO_2 衍射峰有明显的增长，证明 Nano- SiO_2 在长余辉发光材料表面已经发生堆叠累积，此时

荧光粉已经有了耐水性能。

1.3 UHLC 基体制备

基于改进的 Andreasen and Andersen (A&A) 颗粒最密集堆积理论模型，设计出高强度发光混凝土 UHLC 最优配比，在该实验中，胶凝材料与集料

比值为 1.12, 水胶比接近于 0.22, 水泥表观密度: 3150Kg/m^3 , 发光粉表观密度: 3400Kg/m^3 , 反光粉表观密度: 2500Kg/m^3 , 拌合物浆体流动度正常。分别将长余辉发光材料按等体积以 10%、20%、30%、40% 替换水泥 (见表 2), 制作发光基体尺寸为 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 40\text{mm}$ 。

首先将制备混凝土基体的材料经量称后收集至搅拌桶中, 进行匀速 ($140+5r/\text{min}$) 预搅拌, 同时加入减水剂, 约 70% 自来水; 材料混合均匀 2-3min 后, 加入剩余自来水, 进行快速搅拌 ($280r/\text{min}$) 5-7min; 拌合物浆体浇筑在 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 40\text{mm}$ 三联模具中, 24h 后脱模, 移入养护室, 在温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 95% 的条件下进行养护。需要注意的是, 在发光混凝土试块制作之前, 首先需要产品试模, 将清洗晾晒干净的模具内表面进行均匀涂抹隔离剂, 条件不足时可以直接涂抹机油, 提前按试块类型进行标签标记, 以供拆模后分类处理。将混合料按配比依次倒入小型搅拌机 (NJ-160 水泥净浆搅拌机) 中, 先进行无水搅拌 3min, 后加水搅拌 5min, 最后高速搅拌 5min, 将搅拌完成的混凝土混合料分别置入相应模具中, 震荡均匀, 震荡次数不少于 60 次, 尽量将未初凝混凝土中的气泡挤出, 否则将会影响其力学性能以及发光性能。

需要特别注意的是, 发光基体不同于其他普通混凝土试块, 其养护放置位置不应过于潮湿, 且基体之间距离应在 3-5cm, 发光基体拆模前朝上面层在养护时应该朝下放置。养护 7d、28d 后进行性能测试。

1.4 UHLC 力学性能测试

待发光基体养护完成, 分别测试 7d 和 28d 抗压强度。参照《水泥胶砂强度检验方法》(GB/T 176 71-1999), 通过 DYE-2000B 型数显压力试验机进行实时抗压数据观测, 保持加载速率在 400N/s , 进行力学性能测试, 每批测试三个样品测试求平均值。

显然, 无论是 7d 还是 28d 发光基体, 随着长余辉发光材料等体积替换水泥量的增大, 其试块的抗压强度也随之降低, 7d 最高达 81Mpa , 28d 最高达 106Mpa 。7d 发光基体与 28d 发光基体抗压强度之间也着早期强度上升快, 后期强度上升慢的情况, 这也高度符合超高强度混凝土 UHPC 早期水化快, 后期水化速率变慢的前期结论。此外, 不同替换率发

光基体之间也存在着不同的抗压强度增长率, 从基准组至 40% 替换组各组抗压强度增长率依次是 30.86%、27.69%、26.61%、24.39%、28%, 从总体上讲, 抗压强度增长率是随着替换量增大而减小的, 所以, 从这个角度看, 长余辉发光材料的替换量应该有所限制, 从而限制其强度的下降程度。

1.5 UHLC 发光性能测试

待发光基体养护完成, 发光基体从养护室取出, 在暗室晾干 30min, 待试块表面无明显水液存留, 分别测试发光基体 7d 和 28d 发光强度。由于发光混凝土发光的核心是长余辉发光材料的作用, 所以 UHLC 的发光测试须参照规范《荧光粉 第三部分: 性能实验方法》(GB/T 5838.3-2015)。设备: 4W 紫外线筒灯 (波长: 365nm)、辉度计。

利用辉度计读数器记录初始发光强度与发光时长。将各组 UHLC 进行发光测试, 在 UHLC 初始发光强度数据图中, 可以明显观察到 7d 发光基体的初始发光强度均大于 28d 发光基体的初始发光强度, 且 7dUHLC 初始发光强度增长率明显大于 28d, 说明养护环境可能会对 UHLC 发光效果产生影响, 在发光时长比较图中也印证了这一点, 7dUHLC 发光时长全部大于 28dUHLC, 因此综合考虑长余辉发光材料嵌入 UHPC 之后的养护环境即是否会使发光粉发生水解, 是影响 UHLC 初始发光强度和发光时长的关键性因素。

3 总结和展望

迄今为止, 混凝土仍然是当今世界在建筑工程中除水之外使用最多的材料, 其优良的可塑性和耐久性以及其他众多材料的可匹配性深受人们的青睐。随着全球建筑土木与市政基础设施工程的发展, 种类贫瘠功能单一的普通型混凝土难以满足现代社会日常工作生活甚至极端环境下的需要, 因此, 创新发展建筑材料提高优化材料性能是实际工程项目中富有前景性的发展趋势。将长余辉发光材料嵌入 UHPC 中制备成为高强度发光混凝土 UHLC, 用发光粉等体积替换相似粒径水泥, 须限制长余辉发光材料替换量。此外, 铝酸盐型长余辉发光材料遇水或潮湿环境发生水化作用也会间接导致 UHLC 力学性能和发光性能显著降低, 所以长余辉发光材料在嵌入 UHPC 之前应该对荧光粉进行耐水处理。发光混凝土在国际上已有研究, 但未得到普及化, 其原因

大可以归结为造价太高,脱离消费人群的经济标准,但发光混凝土作为一种新型建筑材料其自身具有的节能性、环保性、装饰性等特点使得发光混凝土的前沿科学研究仍然具有可行性。

高强性能混凝土 UHPC 是当下的热点科研课题,以最密集堆积理论为理论支撑,将 UHPC 体系打造成为更符合新时代节能环保、高效低碳的生活方式的实物载体,更高质量在各个领域更加经济性地服务于大众。

参考文献

- [1] S. Sarwar, W. Chen, R. Waheed, Electricity consumption, oil price and economic growth: Global perspective, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76 (2017) 9-18.
- [2] 黄鹏飞, 袁大伟, 发光混凝土的研究进展与展望, *江西建材*, (17) (2015) 2-3.
- [3] 杨佳龙, 长余辉发光混凝土制备技术的研究, *建设科技*, (22) (2017) 157.
- [4] Y. Gao, B. He, M. Xiao, Z. Fang, K. Dai, Study on properties and mechanisms of luminescent cement-based p

avement materials with super-hydrophobic function, *Construction and Building Materials*, 165 (2018) 548-559.

- [5] B. He, Y. Gao, L. Qu, K. Duan, W. Zhou, G. Pei, Characteristics analysis of self-luminescent cement-based composite materials with self-cleaning effect, *Journal of Cleaner Production*, 225 (2019) 1169-1183.

收稿日期: 2022 年 9 月 10 日

出刊日期: 2022 年 10 月 25 日

引用本文: 樊付军, 高性能发光混凝土 UHLC 的制备与性能的研究[J]. *工程学研究*, 2022, 1(4): 45-48
DOI: 10.12208/j.jer.20220116

检索信息: RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS