

硅溶胶在水泥基自流平砂浆中的增效作用研究

谭经朋

湖州绿色新材股份有限公司 浙江湖州 313000

【摘要】本文围绕水泥基自流平砂浆展开探究，重点剖析添加硅溶胶提升其力学性能与施工性能的可行性，研究硅溶胶充当增效剂时，在抗压强度、流动性、尺寸稳定性等关键性能方面产生的作用。为了实现这一目的，研究中选取了自产水泥基自流平砂浆作为研究对象，实验组为添加硅溶胶的硅溶胶高强自流平砂浆，对照组为普通水泥基自流平砂浆。两组采用基本相同的材料配比、混拌流程以及养护环境，依据JC/T 985-2017标准，对两组样品的流动性、抗压强度、抗折强度、收缩率等一系列重要性能指标进行严格测试。结果显示，在保证材料用量等同的情况下，硅溶胶高强自流平砂浆与普通水泥基自流平砂浆相比，呈现出抗压强度显著提高、尺寸变化率大幅减小、流动性明显增强的特点，并且在抗冲击性能和施工完成后的平整度方面优势显著。硅溶胶作为关键增效功能材料，在水泥基自流平砂浆里展现出显著增效作用，尤其在提升抗压强度、增强抗裂能力等方面表现卓越，可以大幅降低开裂问题的发生风险，其实际应用对加快施工进度、保障成品质量有着积极且重要的意义。

【关键词】硅溶胶、自流平砂浆、抗压强度、收缩率

Study on the efficiency of silicon sol in cement based self-leveling mortar

Tan Jingpeng

Huzhou Green New Material Co., LTD. Zhejiang Huzhou 313000

【Abstract】This paper focuses on the investigation of cement-based self-leveling mortar, particularly examining the feasibility of adding silica sol to enhance its mechanical and construction properties. The study explores the role of silica sol as an additive in key performance indicators such as compressive strength, flowability, and dimensional stability. To achieve this goal, the research selected self-produced cement-based self-leveling mortar as the subject of study. The experimental group consisted of silica sol-added high-strength self-leveling mortar, while the control group was ordinary cement-based self-leveling mortar. Both groups used essentially the same material ratios, mixing procedures, and curing environments, and were tested according to the JC/T 985-2017 standard for a series of important performance indicators, including flowability, compressive strength, flexural strength, and shrinkage rate. The results show that, under the same material usage conditions, silica sol-added high-strength self-leveling mortar exhibits significantly improved compressive strength, a substantial reduction in dimensional change rate, and markedly enhanced flowability compared to ordinary cement-based self-leveling mortar. Additionally, it demonstrates significant advantages in impact resistance and surface flatness after construction. Silica sol, as a key functional additive, shows remarkable enhancing effects in cement-based self-leveling mortar, especially in improving compressive strength and crack resistance, significantly reducing the risk of cracking. Its practical application is crucial for accelerating construction progress and ensuring product quality.

【Key words】silica sol, self-leveling mortar, compressive strength, shrinkage rate

引言:

城市建筑工程对地面平整度与施工效率要求趋高，水泥基自流平砂浆在室内地坪找平应用广泛。低强度等级（20MPa）场景下，传统自流平材料因早期收缩、结构致密性欠佳，出现表面开裂、空鼓等质量问题，影响后续装饰层附着与耐久性，当前改性技术多靠增加胶凝材料或用界面剂处理，成本上升且施工工序增多，寻找简便高效增强法成行业焦点^[1]。本文研究水泥基自流平砂浆掺入硅溶胶作辅助增强材料的效果，评估其对抗压强度、流动性、抗裂性能的增效作用，为开发低成本高性能地坪材料探索可行路径。

1.硅溶胶高强自流平砂浆

1.1 内涵

硅溶胶高强自流平砂浆是以水泥、煤灰、硅灰及石膏等作为胶凝材料，借助硅溶胶的纳米增强技术改善性能的水泥基自流平材料，适用于室内楼地面和工业厂房找平工程，其设计契合JC/T 985-2017《地面用水泥基自流平砂浆》标准，拥有良好自流动性和施工适应性，能匹配快速找平需求。这种材料属于预拌干混砂浆，现场只需加水搅拌便可施工，无需依赖额外界面处理或涂刷工序，成型后具备一定早期强度

和终凝硬度，符合 28 天抗压、抗折标准，是面层或垫层地坪系统里的找平基层^[2]。

1.2 组成成分

该材料以胶凝材料为主体，占比约 30~40%，含普通硅酸盐水泥、特种水泥、粉煤灰、硅灰及石膏粉等；骨料填料部分占 55~65%，多由不同粒径级配砂构成，包括粗砂、中砂、细砂及重钙粉，形成骨架结构；其余 5% 左右为功能性外加组分，含硅溶胶增效组分、减水剂、增稠保水剂、消泡剂、缓凝剂、流变调节剂等，共同形成流变稳定性好、凝结时间可控、界面过渡连续的粉体系统。各类组分配合比例经调整后可适应不同施工厚度与强度等级要求。

1.3 优势

该类自流平砂浆具备 28 天抗压强度高、不空鼓、不开裂、不脱壳等特性，成型后砂浆表面致密，尺寸变化率低，可有效抵御剪切与冲击荷载，施工工艺无需振捣，自动铺展性能强，适用于大面积快速找平工程。其可以降低人工与材料成本，抗裂能力优于普通细石混凝土，呈现较好表面稳定性，养护要求较低，常温条件下自然硬化即可形成平整表面，适配地坪涂装、瓷砖粘贴等后续工序。

2. 试验材料与方法

2.1 试验地概况

本次试验所用自流平材料主要应用于楼地面找平工程，属于非承重结构层，核心功能是为后续地面饰面施工提供所需的平整基层，该类找平层材料设计以满足 20MPa 以上等级抗压强度为目标，契合常规住宅、商用空间装修对基层强度的基本要求，试验区域为典型大面积室内施工环境，面积分布在 3 万至 10 万平方米区间，地坪设计厚度统一控制在 2cm，单位面积理论用量约 14kg/m²·cm。现场材料采用预拌形式供料，硅溶胶高强自流平砂浆成本控制处于合理范围，适用于大批量工业化铺设场景，便于现场实施统一管理和施工组织安排，施工过程采用机械泵送结合人工铺展的作业方式，确保铺设效率与质量控制效果，并模拟常规装修施工环境中的湿度、温度及通风条件，以此验证材料在真实工况下的性能表现^[3]。

2.2 实验材料与设备

实验材料包含硅溶胶高强自流平砂浆粉料、水及符合 JC/T 547—2017 附录 A 要求的混凝土板。

实验设备如下：

- (1) 天平：精确度达 0.1g，用于材料称量操作。
- (2) 行星式水泥胶砂搅拌机：性能符合 JC/T 681 标准，用于试样搅拌工作。
- (3) 流动度测试器具：包括内径 30mm ± 0.1mm、高 50mm ± 0.1mm 的金属或塑料试模，以及平板玻璃测试板。
- (4) 拉伸粘结强度设备：由精度 1% 的拉力试验机、

50mm × 50mm 拉拔接头和硅橡胶成型框组成。

(5) 收缩仪：符合 JGJ/T 70 标准，配备标准杆、10mm × 40mm × 160mm 试模及收缩头。

(6) 抗冲击性装置：由落锤装置（含 1kg ± 0.015kg 锤头）和 75mm × 75mm 试模构成。

(7) 抗压/抗折强度试模：为 40mm × 40mm × 160mm 三联钢模，配套材料试验机使用。

(8) 耐磨试验机：符合 GB/T 3810.6—2006 标准，配备刚玉磨料和 100mm × 100mm 试模。

2.3 实验设计

实验采用单因素对比法，以公司自产的普通水泥基自流平砂浆为基准材料，设对照组（未掺硅溶胶）与实验组（掺硅溶胶），两组材料基础配比（胶凝材料：砂：添加剂）相同，实验组中加入 3% 的硅溶胶，减少 3% 的重钙粉填料，与对比组总量一致，水胶比 0.22 的相同值。材料制备时，均按标准配比称取胶凝材料、细骨料、填料及添加剂，并预混合后，用行星式水泥胶砂搅拌机搅拌：先低速拌合粉料与水，刮壁后高速搅拌，静停后再高速搅拌至均匀。试件成型与养护：流动性测试用金属试模，拌合物填满试模后垂直提升，测初始与 20 min 流动度，每个试样测两次取平均；抗压/抗折强度测试用三联试模制棱柱体试件，脱模后标准养护至规定龄期，按 GB/T 17671 测定；尺寸变化率测试用收缩试模，内置收缩头，制件脱模测初始长度，标准养护至规定龄期测干燥长度，按 JGJ/T 70 算收缩率，变量控制：两组用相同设备、加料顺序与搅拌时间，制件与养护在标准条件下进行，养护时间偏差可控，数据采集：每项性能测试重复多次，取平均为结果，流动性、强度、收缩率等指标按标准处理，剔除异常数据，实验对比两组流动度、抗压强度、收缩率等指标，量化硅溶胶对水泥基自流平砂浆性能的影响。

2.4 数据分析

对比实验组与对照组在各项性能测试中的具体数据差异，采用平均值对比分析与偏差统计方法，系统判断硅溶胶对水泥基自流平砂浆性能的实际提升效果。

3. 结果与分析

3.1 流动性

在相同水胶比条件下，实验组硅溶胶高强自流平砂浆与对照组普通水泥基自流平砂浆的初始流动度和 20 分钟流动度表现出明显差异。实验组初始流动度为 140mm，20 分钟后流动度维持在 135mm；而对照组初始流动度为 138mm，20 分钟后下降至 131mm，流动度损失相对更大，硅溶胶经过增强浆体颗粒间的分散性能，有效提升了体系整体稳定性，从而显著改善了初始流动性并延缓了流动性随时间的损失程度。

3.2 抗压强度

试验样品在 3d、7d 及 28d 龄期分别进行抗压强度测试，实验组在各龄期均呈现显著强度提升，3d 时，对照组抗压强度为 9.5 MPa，实验组达到 9.8 MPa；7d 时，对照组强度为 17.6 MPa，实验组提升至 20.2MPa；28d 时，对照组为 26.9MPa，实验组进一步增至 29.8MPa。硅溶胶的纳米级粒径发挥填充效应，在水化过程中产生辅助成核作用，有效改善浆体致密性并促进水化产物均匀分布，从而显著增强力学性能。

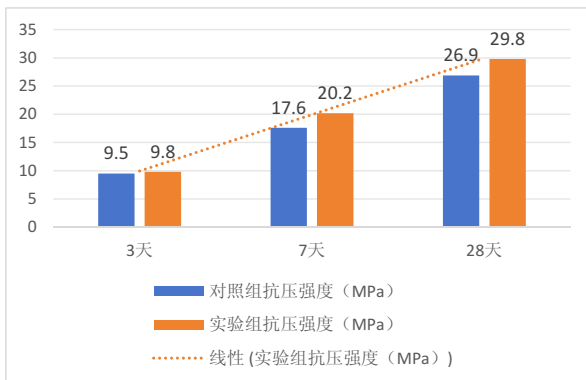


图1 抗压强度趋势图

3.3 收缩率

收缩率试验在 7 天与 28 天龄期开展测定，对照组与实验组数据差异明显，对照组 7 天干缩率为 0.075%，28 天升至 0.123%；实验组 7 天为 0.048%，28 天为 0.059%。硅溶胶构建硅氧网络结构，在硬化阶段减少毛细孔水流失，有效抑制微裂纹扩展，进而显著降低干缩变形量，提升材料体积稳定性。

4. 结论

对比掺加与未掺加硅溶胶的低强度等级水泥基自流平砂浆，分析两者在流动性、抗压强度及收缩性能等方面的差异，系统评估硅溶胶作为增效组分在非胶凝状态下的工程性能。试验显示，在材料总用量保持不变的情况下，硅溶胶的

加入显著改善了自流平砂浆的流变性、结构致密性和体积稳定性，具备良好的工程推广价值。

在流动性表现上，掺加硅溶胶的试样初始流动度与保留流动度均优于对照组，相较于对照组，实验组的初始流动度提升 1.45%；20 分钟后，对照组、实验组的流动损失率分别为 5.07%、3.57%，相较于对照组，实验组的流动损失率降低 1.5 个百分点，这一提升源于硅溶胶在水泥水化初期形成分散稳定的胶体网络结构，有效包裹并分隔胶凝颗粒，减少絮凝现象，增强体系内部润滑性与粘聚性。硅溶胶的小粒径特性改善浆体均匀性，使整体自展能力增强，有利于现场施工效率提升及施工面平整度控制。

在力学性能层面，硅溶胶对材料抗压强度提升效果显著，在 28 天龄期抗压强度对比中，实验组较对照组提升达 9.73%，这表明硅溶胶在早期水化阶段加速水泥水化反应，更在长期强度增长中经过填充孔隙、增强骨架结构，从微观层面提升材料致密性与荷载传递效率。纳米级二氧化硅颗粒在浆体中的均匀分布促进 C-S-H 凝胶生成，有效改善孔隙结构，减少毛细孔体积，进而增强整体强度性能。

在尺寸稳定性方面，掺硅溶胶的实验组在 7 天与 28 天时，干缩率分别为 0.048%、0.059%，与没有掺加硅溶胶的对照组相比，实验组展现出显著收缩控制能力，这主要得益于硅溶胶良好的保水性和吸附性，其在水化初期降低自由水蒸发速率，生成次生凝胶填充微裂纹，延缓干燥收缩的发生与发展，有效控制失水引起的尺寸变化。其胶体结构提升浆体内部张力与粘结力，减弱内部应力集中趋势，进一步增强抗裂性能。

硅溶胶对于水泥基自流平砂浆而言是一种有效的增效剂，在不显著提升材料成本或改变配合比架构的条件下，能够显著提升水泥基自流平砂浆的多项核心性能，包括施工阶段的流动性、抗压承载能力及硬化后的体积稳定性^[4-5]，为水泥基材料的性能提升开辟了新思路，该技术具备优良的工程适配性及推广潜力，可作为低成本、高性能室内地坪找平材料领域的重要发展方向。

参考文献

- [1]王满.基材配合比对自流平流动性的影响研究[J].中国建筑装饰装修, 2024 (14): 108-110.
- [2]刘宝元, 张志强, 江富海, 陈思, 罗锦龙, 李文.高性能自流平砂浆的配置及特性研究[J].建筑结构, 2023, 53(S02): 1405-1408.
- [3]王坤, 黄凯, 蔡永岳.外加剂对水泥基自流平材料泌水现象和性能的影响[J].广东建材, 2022, 38(7): 4-6.
- [4]王浩然, 侯云芬, 胡传奇, 刘海林, 杨泰生.三元胶凝体系水泥基自流平砂浆的研究及进展[J].建材发展导向, 2022, 20(21): 1-4.
- [5]孙浩程, 柴肇云, 沈玉旭, 郭俊庆, 辛子册, 李天宇.纳米硅溶胶改性水泥基材料性能及机理分析[J].太原理工大学学报, 2023, 54(2): 264-271.

作者简介：谭经朋，出生年月：1973年09月18日，男，汉族，籍贯：湖北省咸宁市通山县，学历：本科，职称：工程师，研究方向：专用化学产品（如医药添加剂、生物发酵类等）、化学化工材料（如混凝土减水剂和保温砂浆、自流平砂浆等）的研发、生产、制造。