

不同掺加剂条件下轻质充填材料强度演化特征研究

浦 锐

中铁九局集团第一建设有限公司, 江苏 苏州 215299

[摘要]掺加剂对轻质充填材料强度产生重要影响, 研究不同掺加剂条件下轻质充填材料的强度演化特征具有重要意义。根据不同掺加剂条件下轻质充填材料试验结果, 分析了水灰比、粉煤灰和浆液密度对轻质充填材料强度的影响, 研究结果表明: 不同水灰比条件下轻质充填材料强度抗压强度整体上升, 并且增长率先增加后减小, 当水灰比自 0.5 增加至 0.7 时, 试件的 28d 单轴抗压强度由 3.76MPa 减小至 2.75MPa。粉煤灰能够改善轻质充填体的后期强度, 粉煤灰的二次水化作用, 能够有效增加轻质充填体后期的强度。轻质充填体抗压强度随着浆液密度的升高而不断增大, 随着浆液密度的增大, 材料固结体气孔率及气孔孔径减小, 轻质充填体强度增加。

[关键词]轻质充填材料; 掺加剂; 强度; 细观结构

DOI: 10.33142/ec.v7i9.13377

中图分类号: TD853

文献标识码: A

Study on Strength Evolution Characteristics of Light Filling Materials under Different Additive Conditions

PU Rui

First Construction Co., Ltd. of China Railway No. 9 Group, Suzhou, Jiangsu, 215299, China

Abstract: Additives have an important effect on the strength of light filling materials, so it is of great significance to study the strength evolution characteristics of light filling materials under different additives. According to the test results of light filling materials under different additive conditions, the influences of water-cement ratio, fly ash and slurry density on the strength of light filling materials were analyzed. The research results showed that: Under the conditions of different water-cement ratios, the strength and compressive strength of light filling materials increase as a whole, and the growth increases first and then decreases. When the water-cement ratio increases from 0.5 to 0.7, the 28d uniaxial compressive strength of the specimen decreases from 3.76MPa to 2.75MPa. Fly ash can improve the late strength of light backfill, and the secondary hydration of fly ash can effectively increase the late strength of light backfill. The compressive strength of light backfill increases with the increase of slurry density. With the increase of slurry density, the porosity and pore size of the material consolidated body decrease, and the strength of light backfill increases.

Keywords: light filling material; additive; strength; meso-structure

引言

轻质充填材料广泛应用于地下空区充填工程中, 其材料力学性能对地下空区充填性能具有重要影响, 此外, 不同掺加剂条件影响轻质充填材料力学强度, 因此, 开展不同掺加剂条件下轻质充填材料强度演化特征对轻质充填材料的进一步推广应用具有重要研究意义^[1-2]。安百富等研究不同掺加材料条件下充填材料强度特性, 重点分析了煤泥、高水、水泥和粉煤灰为主要组份的胶结充填材料强度特性^[3]; 许健飞等利用正交试验手段分析了浆料质量、粉煤灰、水泥和生石灰含量等掺加材料对胶结充填材料的力学特性的影响规律^[4]; 张国胜和张雄天基于采用响应面法分析了多种养护龄期条件下, 砂浆浓度和灰砂比对充填体强度的影响, 并构建了充填体强度多因素非线性模型^[5]; 张金等以山东金鼎矿业胶结充填体为分析对象, 分析了尾砂及不同胶结材料的力学特性^[6]; 董越等分析高水充填材料的力学强度特征, 研究了不同钢渣、矿渣和铁尾砂等掺加剂对高水充填材料强度的影响^[7]; 张建华等研究不同的

料浆质量浓度、磷石膏、粉煤灰、水泥含量及拌合水 pH 值等因素对充填材料力学性能的影响^[8]。

本文以新建潍坊至烟台铁路工程地下空区充填工程为研究背景, 开展不同掺加剂条件下轻质充填材料强度力学试验, 重点分析了水灰比、粉煤灰和浆液密度对轻质充填材料强度的影响, 并根据扫描电镜试验结果分析不同掺加剂的细观作用机理。

1 试验设计

1.1 试验材料

轻质充填材料的胶凝材料为硅铝质胶凝材料和粉煤灰, 发泡剂采用合成表面活性剂, 将发泡剂与水按 0.4 : 100 的比例混合, 搅拌 30 分钟至均匀并静置 24h 以上, 最终使浆液形成发泡浆液, 可产生足量的超高性能泡沫。将干燥好的水泥、粉煤灰、水和外加剂按实验设计配比称量, 依次加入搅拌机中混合搅拌, 制成水泥砂浆, 再逐渐加入已称量的泡沫 (根据成品密度计算加入泡沫量), 并浇筑到 70.7mm×70.7mm×70.7mm 的三方模中, 进行捣

实, 24h 后脱模, 然后将试件放入标准恒温恒湿养护箱分别养护 7d、14d、28d, 养护的基本要求为湿度 $>95\%$, 温度为 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$, 最终得到轻质充填试件, 如图 1 所示, 同时对材料成品进行相关的试验测试。



图1 试件制备

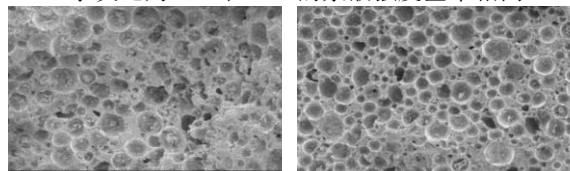
1.2 试验流程

在轻质充填材料成形后养护第 7 天、14 天和 28 天时, 分别测试成形试块的抗压强度。将试块放置于 CDT1305-2 微机控制电子压力试验机上, 试验过程荷载加载方法为均匀加载, 设置加荷位移速度为 0.2mm/s , 测试并记录试块的单轴抗压强度。此外, 为分析轻质充填材料的细观结构的演化特征, 采用扫描电镜 (SEM) 试验仪进行细观结构试验。切割 28 天龄期样品, 在观察前经干燥除尘处理, 调整扫描电子显微镜倍数、电压、聚焦螺旋和亮度及对比度, 最终观察得到清晰的样品纵剖面孔内壁微观形貌。不同掺加剂条件对轻质充填材料力学性能产生影响, 通过分析不同掺加剂条件下轻质充填材料的强度变化和细观结构演化特征, 重点讨论水灰比、粉煤灰和浆液密度对轻质充填材料强度的影响, 揭示轻质充填材料的强度演化规律, 同时, 根据扫描电镜试验结果分析不同掺加剂的细观作用机理。

2 轻质充填材料强度特征

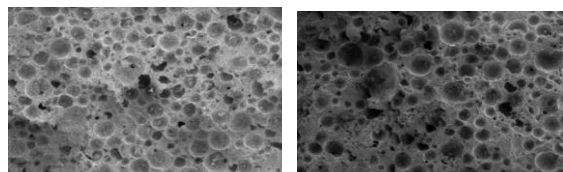
2.1 不同水灰比材料强度

水灰比条件主要设置为 0.5、0.6、0.7 和 0.8 等四种工况, 砂胶比和粉煤灰掺量统一为 1.5 和 20%。随着轻质充填体养护龄期的增大, 不同水灰比条件下轻质充填材料强度抗压强度整体上升, 并且增长率先增加后减小。随着轻质充填体养护龄期增长, 水化反应消耗轻质充填体中的水分, 降低了胶结体中的孔隙水压力, 同时, 水化产物填充颗粒间的孔隙, 水化产物越多, 孔隙结构越密实, 轻质充填体强度进一步增大。当水灰比自 0.5 增加至 0.7 时, 试件的 28d 单轴抗压强度由 3.76MPa 减小至 2.75MPa , 水灰比为 0.6 的试样, 其 7d、14d、28d 单轴抗压强度分别为 0.69MPa 、 2.41MPa 、 3.55MPa , 相应的增幅分别为 249.3%、47.3%。水灰比为 0.7 和 0.8 的浆液强度基本相同。



(a) 0.5

(b) 0.6



(c) 0.7

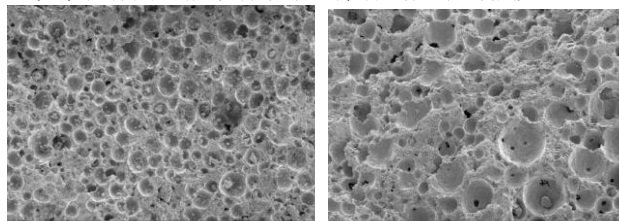
(d) 0.8

图2 不同水灰比条件下轻质充填体扫描电镜结果

图 2 为不同水灰比条件下轻质充填体扫描电镜结果, 可以得到: 当水灰比为 0.5 时, 轻质充填体中气孔分布较为分散, 孔径相对较大, 气孔之间存在较厚的基层, 这也是材料较高强度的主要原因。而当轻质充填体水灰比为 0.6 时, 材料的孔径最小, 且集中度最高。当轻质充填体水灰比为 0.7 和 0.8 时, 气孔均匀性均较差。当轻质充填体水灰比较小时, 内部水分较小, 浆体的润滑性较差, 造成大量的气泡在搅拌过程中破裂而形成通孔。而当轻质充填体水灰比较大时, 浆液中虽然含有较多的水分, 导致体系的摩擦力较小, 在浆液制备时, 气泡较小。但是随着浆液的凝结硬化, 水分不断散失, 失去了水阻隔, 相邻气泡会接触而形成通孔。

2.2 不同粉煤灰材料强度

粉煤灰掺量条件主要设置为 0%、10%、和 30% 等工况, 水灰比和砂胶比统一为 0.6 和 1.5。试验结果掺入粉煤灰对轻质充填体的后期强度有较好的改善效果。当在标准养护 7d 时, 未掺加粉煤灰的浆液强度高于掺加粉煤灰浆液强度。当养护 14d 之后, 掺加 10% 和 20% 的粉煤灰浆液轻质充填体强度高于未掺加粉煤灰浆液轻质充填体。当养护 18d 之后, 掺加 30% 粉煤灰浆液的轻质充填体强度, 也超过了同龄期未掺加粉煤灰浆液的轻质充填体强度。粉煤灰活性较细骨料基胶凝材料低, 水化速度较慢, 但是其存在二次水化作用, 能够有效增加浆体的后期的强度。



(a) 粉煤灰掺量 10%

(b) 粉煤灰掺量 30%

图3 不同粉煤灰掺量条件下轻质充填材料强度

图 3 为不同粉煤灰掺量条件下轻质充填材料强度, 可知当粉煤灰掺量较小时, 浆体中的气孔孔径较小, 且较为均匀。但当粉煤灰掺量为 30% 时, 结石体中的气孔明显增大, 且气孔中出现了明显连通孔, 大量连通孔的出现, 将显著降低材料的抗渗性, 严重影响材料的抗冻性和耐久性。因此, 在浆液中掺加粉煤灰不宜超过 30%。

2.3 不同浆液密度材料强度

浆液密度主要设置为 800kg/m^3 、 1000kg/m^3 、

1200kg/m³ 和 1400kg/m³，随着浆液密度的不断升高，轻质充填体抗压强度随着浆液密度的升高而不断增大。当浆液密度为800kg/m³时，轻质充填体28d的抗压强度<2MPa，主要原因是随着气孔率的升高，基体中胶结成分明显降低，导致结石体的强度下降。当浆液密度为1000kg/m³时，轻质充填体的抗压强度达到3MPa。当浆液密度>1000kg/m³时，轻质充填体的抗压强度呈现快速增长趋势。当密度达到1400kg/m³时，轻质充填体的抗压强度接近14MPa，说明在轻质充填材料成型的过程中，虽然受浆体的摩擦作用导致轻质充填体产生大量通孔，但此时通孔之间的胶凝材料对轻质充填体形成了良好的骨架支撑作用，最终导致轻质充填体的抗压强度升高。

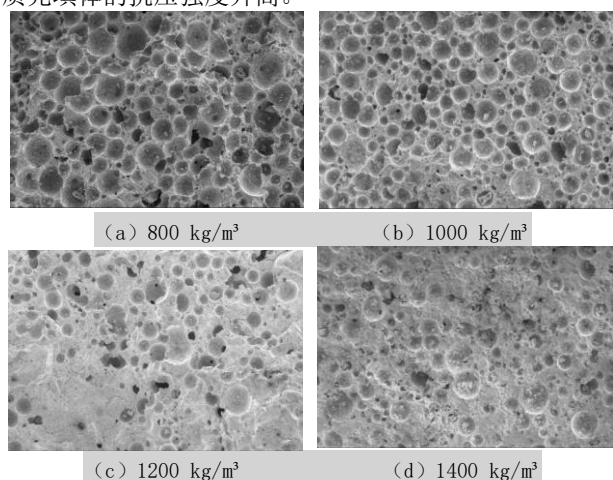


图4 不同浆液密度条件下轻质充填体扫描电镜结果

图4不同浆液密度条件下轻质充填体扫描电镜结果，可以得到，随着浆液密度的升高，轻质充填体中气泡率不断升高。当密度为1000kg/m³时，轻质充填体中的气泡孔径聚集度最高，通孔率较少，此状态既能发挥气泡的充填作用，也能较好发挥结石体中浆体的承重作用。总体而言，气孔率越大，轻质充填体截面的净截面面积越小，轻质充填体强度越小；气孔的平均孔径越大，轻质充填体强度越小。材料密度等级越大，单位体积胶凝材料相对含量越多，水化产物越多，水化产物对气孔形成一定压力，压力增大，气孔较小；胶凝材料越多，单位体积内细集料相对含量越少，减少了细集料对气孔的摩擦，气孔破损率和分散度降低。随着密度等级增大，材料固结体气孔率及气孔孔径减小，轻质充填体强度增加。

3 结论

不同水灰比条件下轻质充填材料强度抗压强度整体上升，并且增长率先增加后减小。水化反应消耗轻质充填体中的水分，水化产物填充颗粒间的孔隙，孔隙结构越密实，轻质充填体强度进一步增大。当水灰比自0.5增加至0.7时，试件的28d单轴抗压强度由3.76MPa减小至2.75MPa。

粉煤灰能够改善轻质充填体的后期强度，粉煤灰的二次水化作用，能够有效增加轻质充填体的后期的强度。粉煤灰掺量较小时，浆体中的气孔孔径较小，且较为均匀。但当粉煤灰掺量为30%时，结石体中的气孔明显增大，且气孔中出现了明显连通孔，

轻质充填体抗压强度随着浆液密度的升高而不断增大。当浆液密度由800kg/m³增大至1400kg/m³时，轻质充填体的抗压强度由不到2MPa增大至14MPa，细观结构试验表明随着浆液密度的增大，材料固结体气孔率及气孔孔径减小，轻质充填体强度增加。

【参考文献】

- [1]李茂辉,杨志强,王有团,等.粉煤灰复合胶凝材料充填体强度与水化机理研究[J].中国矿业大学学报,2015,44(4):650-655.
 - [2]黄庆享,李亮.充填材料及其强度研究[J].煤矿开采,2011,16(3):38-42.
 - [3]安百富,易巧梅,赵祥,等.煤泥基充填材料流动性与强度特性试验研究[J].煤炭科学技术,2024,28(4):1-10.
 - [4]许健飞,张罗斌,郭亚奔.胶结充填材料性能研究及配比优化[J].煤矿安全,2022,53(7):52-57.
 - [5]张国胜,张雄天.全尾砂胶结充填材料强度影响因素分析及配比预测研究[J].金属矿山,2021(12):112-117.
 - [6]张金,马聪,金爱兵,等.胶结充填体强度特性试验研究[J].矿业研究与开发,2021,41(2):124-129.
 - [7]董越,杨志强,高谦.钢渣对矿渣基高水充填材料性能的影响及强度预测[J].硅酸盐通报,2017,36(11):3841-3847.
 - [8]张建华,刘方芳,姜金洁,等.磷石膏基复合充填材料力学性能试验研究[J].金属矿山,2017(1):47-50.
- 作者简介:浦锐(1985—),男,汉族,辽宁本溪人,本科,高级工程师,现任副总经理,主要从事桥梁工程施工方面研究工作。