

轨道交通用高强混凝土的制备与性能研究

朱贇海 王规规 何佳祥 孟奇 樊兵
西安交通工程学院, 陕西 西安 710300

摘要: 本研究以 C35 混凝土为基础, 设定水胶比为 0.40, 通过设计十组不同 Al_2O_3 掺量的试验, 采用净浆裹石工艺制备混凝土试件, 并在标准条件下养护 28 天。利用 YES-2000 型数显压力试验机等设备, 依据相关标准对试件进行抗压强度、工作性能等测试。结果表明, 适量的 Al_2O_3 可提升混凝土抗压强度, 如 Al_2O_3 掺量为 0.372kg 时, 压强平均值从掺量为 0 时的 32.301MPa 提升至 44.245MPa; 但过高掺量会导致强度下降, 掺量为 1.146kg 时, 压强平均值降至 26.576MPa。在工作性能方面, 适量 Al_2O_3 能改善混凝土的流动性、粘聚性和保水性, 过高掺量则会带来不利影响。本研究为轨道交通工程中高强混凝土的合理应用提供了重要的参考依据。

关键词: 轨道交通; 高强混凝土; Al_2O_3 掺量; 抗压强度; 工作性能

引言

随着全球城市化进程的加快, 高密度的城市交通问题日益突出。轨道交通作为一种高效、低碳的交通方式, 已成为缓解城市交通压力, 推动国民经济发展的重要基础设施^[1-4]。预计到 2025 年, 我国城市轨道交通总里程将突破 15000 公里, 占全球总里程的 40%, 年均增长速度超过 10%。这既是我国轨道交通建设取得的成绩, 也是对工程质量与安全的要求。轨道交通长期处于高频率动载、温湿度变化和盐雾侵蚀的复杂环境中。混凝土作为结构的关键材料, 其性能直接关系到结构的稳定、安全及耐久性。高强混凝土具有高强、耐久等优点, 被广泛应用于轨道交通领域。然而, 复杂环境下高强度混凝土的制备是目前迫切需要解决的难题^[5]。已有研究对高强混凝土的制备及性能提高进行了广泛的研究。有的研究集中在原材料的选用上如选用高品质的水泥、骨料以及新型掺合料等, 以提高混凝土的基本性能^[6-7]。本项目以混凝土配合比的精准调控为目标, 以实现混凝土性能优化为目标。然而, 由于轨道交通所处环境的特殊性与复杂性, 已有研究成果应用于工程实践面临诸多挑战, 如如何确保高频动载荷下混凝土的疲劳性能, 如何提高耐久性能? 因此本项目以 C35 混凝土为研究对

象, 系统研究不同形态 Al_2O_3 及其含量对混凝土抗压、抗折强度等力学性能的影响规律。

1 实验设计

1.1 试验原料

本项目拟选用质量稳定、各项性能符合国家标准的 42.5 级普通硅酸盐水泥, 为混凝土的强度形成奠定基础。集料方面, 选用质地坚硬, 级配良好的天然砂砾和卵石, 以保证混凝土结构的稳定性; 混合用水应选择洁净的自来水, 以免水中含有杂质而影响混凝土性能^[8]。以 Al_2O_3 粉末为研究对象, 筛选出纯度较高的产品, 对产品进行严格的筛选与检验, 确保试验结果准确、可靠。同时, 本试验采用市场上常用且性能稳定的聚羧酸减水剂, 该减水剂具有明显的减水效果, 能有效改善混凝土的工作性, 并能在减少用水量的情况下, 提高混凝土的强度。

1.2 高强混凝土制备过程

1.2.1 配合比设计

通过查阅相关文献资料, 结合预试验结果, 确定采用 C35 配合比作为本次试验的基准。通过严格的计算和分析, 确定水胶比为 0.40, 该水胶比综合考虑了混凝土的强度、工作性和耐久性。本项目拟采用 10 个不同 Al_2O_3 含

量的试验组，研究了 Al_2O_3 对混凝土力学性能的影响。其中水胶比均为 0.40。30%浓度减水剂为 17.4g，加水量为 3.0Kg。水泥为 7.44Kg。石子为 27.6Kg。变化的是 Al_2O_3 掺量 (kg)。

表 1. 材料配比表

序号	Al_2O_3 掺量 (kg)
1	0
2	0.372
3	0.382
4	0.382
5	0.382
6	0.2292
7	0.4584
8	0.6876
9	0.9168
10	1.146

1.2.2 配制过程

用水泥浆包石法生产高强混凝土，可以改善混凝土的内部结构，提高混凝土的均匀性和密实度。具体操作流程是：先在搅拌机中按一定比例加入水泥和砂砾，搅拌均匀，使水泥充

分包裹砂砾颗粒，形成均一的水泥-砂砾混合物；再掺入小石子，不断搅拌，使碎石表面覆盖水泥土，增强骨料间的结合强度^[9-10]。同时，以 Al_2O_3 粉为原料，以水为原料制备 Al_2O_3 浆。首先，向搅拌好的混合液中加入总量 30%的 Al_2O_3 净浆，充分搅拌，逐步达到初凝状态，并不断搅拌，以保证各种原料的充分混合。然后缓慢地将剩余的水加进去，直到混凝土具有最好的工作性能。最后，在 150 mm×150 mm×150 mm 的标准试件上加工 10 个，以保证测试结果的准确性和可靠性。试件制作完成后，立即放入标准养护箱内，于 $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $\geq 95\%$ 的环境下养护 28 天。

2. 实验结果和讨论

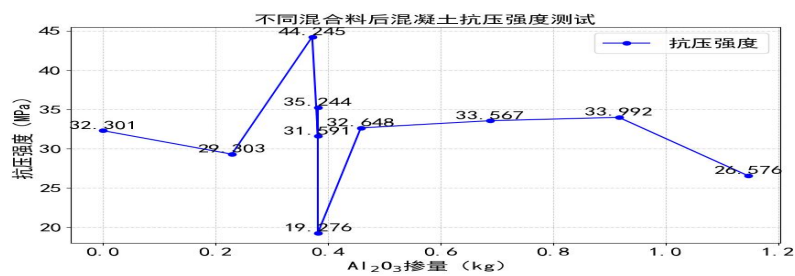
2.1 不同 Al_2O_3 掺量对混凝土抗压强度影响

根据 GB/T50081-2019 《混凝土物理力学性能试验方法标准》，用 YES-2000 数显压力试验机测定 28 天养护混凝土试件的抗压强度，十组试验数据的测定结果列于下表 2 和图 1：

表 2. 不同 Al_2O_3 掺量对混凝土抗压强度数据表

组号	Al_2O_3 掺量 (kg)	压力平均值 (KN)	压强平均值 (MPa)
1	0	726.78	32.301
2	0.372	991.02	44.245
3	0.382	710.8	31.591
4	0.382	793	32.648
5	0.382	433.71	19.276
6	0.2292	659.31	29.303
7	0.4584	734.59	32.648
8	0.6876	755.26	33.567
9	0.9168	764.81	33.992
10	1.146	597.97	26.576

图 1. 不同 Al_2O_3 掺量对混凝土抗压强度影响

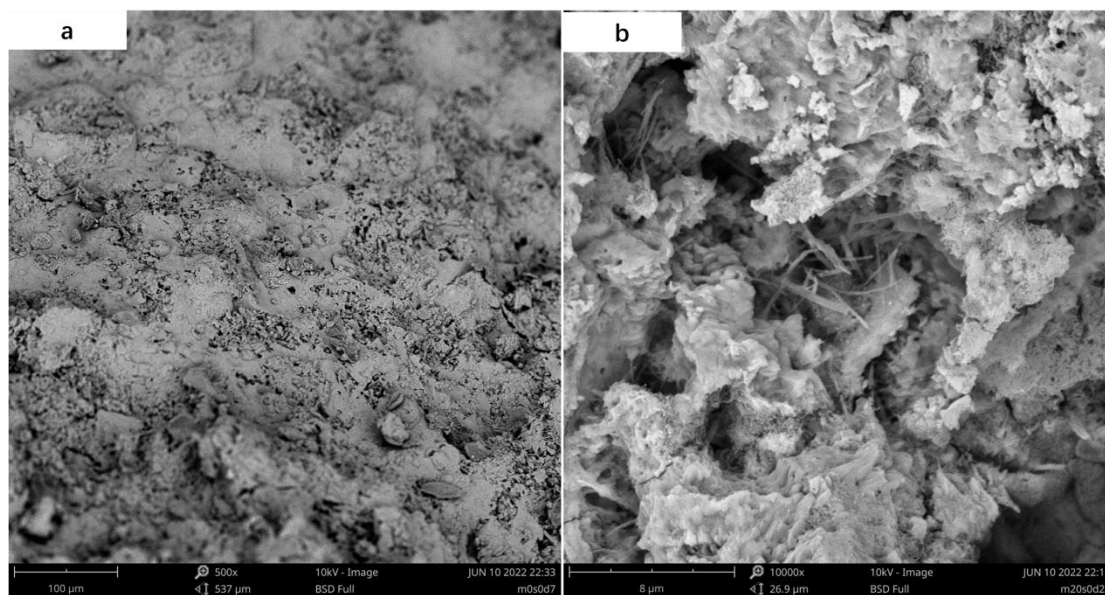


由数据可以看出, 在 Al_2O_3 掺量为 0 的情况下, 各组份的平均压强先增加, 当第二组 Al_2O_3 添加量为 0.372 公斤时, 平均压强由第一组的 32.301 MPa 上升至 44.245 MPa; 但是, 随着添加量的增加, 其平均抗压强度不再增大, 第 10 组添加量 1.146 kg 时, 其平均抗压强度下降至 26.576 MPa^{[11]-[13]}; 研究表明, Al_2O_3 可填充混凝土内部孔隙, 改善内部结构, 参与水化反应, 促进水化产物 (如水化硅酸钙 (C-S-H)) 的生成与发展, 增强其与骨料之间的粘附力, 从而提高混凝土抗压强度。但是, 过多的 Al_2O_3 会引起混凝土中分散不均匀, 易发生团聚, 破坏混凝土内部结构均匀性, 在受力过程中形成应力集中, 从而降低混凝土的抗压强度。

2.2 高强混凝土的电镜图

高强度混凝土的电镜图见图 2。图 2 (a) 示出了不同 Al_2O_3 体积分数的混凝土显微结构。 Al_2O_3 的引入对混凝土内部孔结构及颗粒分布有重要影响。在混凝土中加入适量的 Al_2O_3 , 可提高混凝土的密实度及均匀性, 从而提高混凝土的抗压强度。然而, 过量的 Al_2O_3 会引起颗粒分散不均匀, 产生团聚现象, 导致混凝土内部结构不均一, 从而降低混凝土抗压强度。图 2 (b) 将混凝土微结构进一步放大, 显示 Al_2O_3 取代量对混凝土内部粒子分布及孔结构的影响^{[14]-[15]}。适量的 Al_2O_3 有助于形成更均匀的颗粒分布, 改善混凝土的密实度。然而, 过高的 Al_2O_3 含量会引起颗粒团聚, 形成大孔, 影响混凝土的综合性能。

图 2. 电镜图



结论

本项目以 Al_2O_3 对轨道交通用高强混凝土性能的影响为研究对象, 通过系统的试验设计与试验, 发现 Al_2O_3 含量对混凝土的抗压强度有重要影响。在一定范围内 Al_2O_3 的含量越高, 抗压强度越高, 例如, 当第一组 Al_2O_3 加入时, 平均压力是 32.301 MPa, 而当 Al_2O_3 加入量为 0.372 公斤时, 平均压力是

44.245 MPa。但添加量过多, 强度下降, 组 10 的平均抗压强度仅为 26.576 MPa。这是因为: 在混凝土中加入适量的 Al_2O_3 , 可填充孔隙, 加速水化反应, 提高混凝土结构强度; 颗粒过多会造成颗粒团聚, 破坏结构均匀性。适量 Al_2O_3 可改善混凝土的工作性能, 其坍落度良好, 便于拌和和运输, 浇注稳定。但随着掺量的增加, 过多的掺量将导致混凝土出现

团聚、泌水等问题,影响施工进度,如 9、10 号考虑其抗压强度和工作性能等因素,合理选择混凝土在搅拌过程中容易发生团聚等现象,择 Al_2O_3 含量,开发满足工程需求的高强混凝土。增加了施工难度。在轨道交通工程中,需要综

参考文献

- [1] 郑晓芳,李霖霖,齐恩磊,等. 轻质粉煤灰泡沫混凝土的制备及性能研究[J]. 新型建筑材料,2024,51(2):107-111.
- [2] 邓一三,李金明,李祥东,等. 防水型单层衬砌在青岛地铁硬岩隧道中的应用[J]. 城市轨道交通研究,2023,26(6):125-130.
- [3] 黄成福. 交通建设行业中的纤维复合材料应用现状与发展前景[J]. 合成材料老化与应用,2023,52(2):138-140.
- [4] 任亮,刘青云,方博文,等. 高强钢筋增强 UHPC-NC 组合桥墩塑性较长度[J]. 郑州大学学报:工学版,2023,44(6):119-126.
- [5] 邱月梅,洪金荣,庞超明,等. 免烧轻骨料在城市轻轨站台工程中的应用研究[J]. 安徽建筑,2021,28(10):3-6.
- [6] 李荣翔. 海洋环境下 CFRP 复合桩水平承载特性研究[J]. 河南理工大学学报:自然科学版,2022,41(4):7-9.
- [7] 王新玲,李世伟,金蕾蕾,等. 高强不锈钢绞线网/ECC 约束高强混凝土受压本构模型[J]. 工程力学,2023,40(9):153-160.
- [8] 李趁趁,马娇,张普,等. 混杂纤维/束高强混凝土的抗冻性[J]. 建筑材料学报,2023,26(10):107-108.
- [9] 曾梓逸,缪长青,孙传智. 塑性铰区采用 PVA 纤维高强混凝土柱抗震性能[J]. 东南大学学报:自然科学版,2023,53(2):242-251.
- [10] 柏在容. 论市政工程高强混凝土施工技术的应用[J]. 建筑经济,2024,45(S01):606-609.
- [11] 张晓巍,戎贤,杨洪渭,等. 带钢端头的装配式高强钢筋混凝土梁柱中节点受力性能研究[J]. 工业建筑,2023,53(11):110-116.
- [12] 周凌宇,莫玲慧,戴超虎,等. 装配式双拼槽钢-混凝土组合梁抗弯刚度试验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版),2023,54(11):444-446.
- [13] 王德弘,赵健,鞠彦忠,等. 装配式活性粉末混凝土叠合梁-高强混凝土柱节点抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2024(2):217-225.
- [14] 耿相日,黄小坤,徐福泉,等. 高强混凝土无腹筋梁不同破坏形态受剪性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2024,45(6):62-73.
- [15] 马英超,毛鸿飞,韩龙,等. 型钢超高强混凝土柱抗震性能试验研究[J]. 大连理工大学学报,2024,64(6):641-648.