

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.01.052

考虑氯离子侵蚀的墩柱保护层厚度影响系数研究

李 峰^{1,2}, 岳 阳^{1,2}, 方 顺^{1,2}, 康 健¹

(1.甘肃五环公路工程有限公司, 甘肃 兰州 730050; 2.甘肃省桥梁工程研究中心, 甘肃 兰州 730050)

摘 要: 为了研究氯离子侵蚀对混凝土墩柱保护层厚度的影响规律, 对不同矿物掺合料, 以及不同掺合比例下的混凝土抗氯离子渗透性能及其保护层厚度影响系数进行分析。研究表明: 用一定比例的矿物掺合料代替水泥, 能够有效提高混凝土抗氯离子性能和降低保护层厚度影响系数。

关键词: 混凝土; 氯离子渗透; 保护层厚度影响系数

中图分类号: TU528 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2022)01-0200-04

0 引 言

随着我国交通行业的快速发展, 大量钢筋混凝土桥梁拔地而起。在钢筋混凝土桥梁中, 墩柱保护层和内部钢筋骨架形成有机整体共同受力, 同时还有效保护钢筋免受侵蚀, 提供最大承载力的同时保证结构物的耐久性能, 延长结构的使用寿命。二十世纪八十年代我国就意识到混凝土保护层的重要性, 相关学者对钢筋混凝土结构的耐久性及其对保护层厚度的要求进行了研究。徐善华和牛荻涛^[1]等通过研究混凝土结构内部钢筋生锈条件, 以及导致混凝土保护层开裂的锈胀条件, 探寻了碳化腐蚀环境下混凝土最小保护层厚度的确定方法; 许多学者^[2-11]针对海港工程中钢筋混凝土结构易受海水侵蚀, 混凝土内部钢筋易被侵入的氯离子锈蚀的现象, 进行了钢筋混凝土保护层抗氯离子渗透性的试验研究。现通过对不同掺合料配合比的混凝土进行氯离子渗透试验, 确定不同矿物掺合料配合比下墩柱保护层厚度影响系数的变化规律。

1 试验

1.1 试验材料

试验选用兰州祁连山水泥厂生产的 P·O 42.5 水泥, 水泥的各项指标如表 1 所列; 粉煤灰为兰州鑫合源有限责任公司生产的 II 粉煤灰, 粉煤灰各项指标如表 2 所列; 矿粉采用兰州榆中鸿源有限责任公司生产的 S95 级矿粉, 矿粉各项指标如表 3 所列; 减水剂采用南京苏博特聚羧酸系高性能减水剂; 细骨

料选用细度为 2.45, 堆积密度为 1.506 g/cm³, 表观密度为 2.65 g/cm³ 的天然河砂和细度为 2.5, 堆积密度为 1.611 g/cm³, 表观密度为 2.63 g/cm³ 的机制砂; 粗骨料选用 10 mm-20 mm 碎石, 表观密度为 2.663 g/cm³, 堆积密度 0.95 g/cm³, 振实密度 1.07 g/cm³, 含泥量 0.80%。

表 1 P·O 42.5 水泥各项指标一览表

比表面积 / (m ² ·kg ⁻¹)	安定性	凝结时间 /min		抗压强度 /MPa		抗折强度 /MPa	
		初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
342	合格	166	254	21.2	47.0	3.9	7.7

表 2 II 级粉煤灰各项指标一览表

单位: %			
细度 (45 μm 方孔筛筛余)	需水量比	含水量	烧失量
20	89	0.2	5

表 3 S95 矿粉各项指标一览表

比表面积 / (m ² ·kg ⁻¹)	密度 / (g·cm ⁻³)	流动度比	活性指数	
			7 d	28 d
435	2.9	105	80	101

1.2 试验方法

将养护到相应龄期的试件取出擦干表面, 将融化的石蜡涂刷试件密封其侧面, 然后放入真空饱水机中饱水, 待真空饱水结束后, 擦掉试件表面水分, 将试件安装于试验槽内, 检查密封性能。在电源负极注入 3% NaCl 溶液、在电源正极注入 0.3 mol NaOH 溶液; 保持试验槽内充满溶液的情况下接通电源, 对上述两正负极施加 60 V 直流恒电压, 待通电 6 h 时后结束试验, 记录此时机器打印的电通量测量值。表 4 为混凝土氯离子渗透试验方案表。

收稿日期: 2021-05-10
作者简介: 李峰(1986—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁理论研究工作。

表 4 混凝土氯离子渗透试验方案表

粉煤灰单掺		矿粉单掺		粉煤灰、矿粉双掺		
方案	掺量 /%	方案	掺量 /%	方案	粉煤灰掺量 /%	矿粉掺量 /%
F5	5	K5	5	FK5	5	30
F10	10	K10	10	FK10	10	25
F15	15	K15	15	FK15	15	20
F20	20	K20	20	FK20	20	15
F25	25	K25	25	FK25	25	10
F30	30	K30	30	FK30	30	5
F35	35	K35	35	FK0	0	0
F40	40	K40	40			

2 试验结果及分析

2.1 抗氯离子性能分析

养护至 28 d 及 56 d 龄期时,混凝土氯离子电通量与粉煤灰掺配比例的关系如图 1 所示。

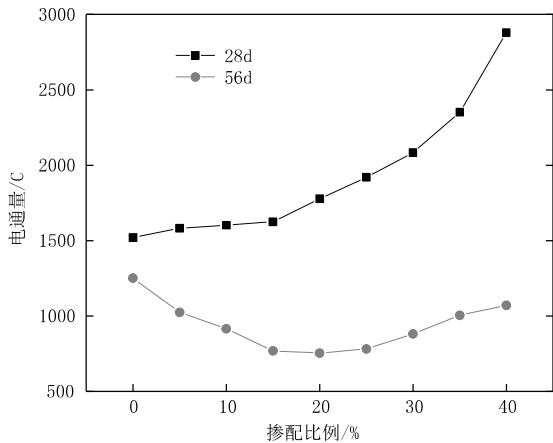


图 1 粉煤灰掺配比例与电通量的关系曲线图

从图 1 可看出,养护 28 d 时,混凝土电通量值随其胶凝材料中粉煤灰掺配比例的增大而增大。原因是在水胶比恒定的情况下,粉煤灰掺量的增加导致胶凝材料中水泥含量减小,在该龄期水泥水化产生的水化产物也相应减少,部分粉煤灰的“火山灰效应”未完全表现出来。并且随着粉煤灰掺量的继续增大,没有参与反应的粉煤灰含量增加,降低了混凝土的抗氯离子性能。养护 56 d 时,各粉煤灰掺配比例下的混凝土电通量均小于 28 d 的值,且电通量的值先减小后增大,当粉煤灰掺量为 20% 时,混凝土抗氯离子渗透性能最好。这是因为掺入粉煤灰的混凝土在早期强度低,孔结构差,当混凝土处于 56 d 龄期时粉煤灰的“火山灰效应”已充分发挥,二次水化填充效应的进一步作用,使得混凝土在 28 d 龄期残存的大量孔得到了填充,结构更加密实。同时当粉煤灰掺配比例低于 20% 时,粉煤灰基本全部参与了对混凝土的增强和堵塞混凝土中的毛细组织的作用,有利于混凝土密实,进一步增大粉煤灰掺量,可以提高

抗氯离子渗透性能;当粉煤灰掺配比例大于 20% 时,粉煤灰反应完后,仍有残存,不利于混凝土的密实,故随粉煤灰掺量的增大,混凝土抗氯离子渗透性能减弱。

养护至 28 d 及 56 d 龄期时,混凝土氯离子电通量与矿粉掺配比例的关系如图 2 所示。

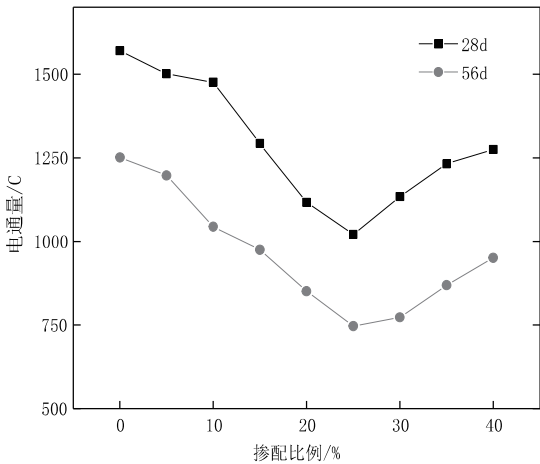


图 2 矿粉掺配比例与电通量的关系曲线图

从图 2 可以看出,在 28 d、56 d 两个龄期,混凝土电通量的值随矿粉掺配比例的增大呈现先减小后增大的结果;并且在矿粉掺量为 25% 时,混凝土抗氯离子渗透性能最佳;并且 56 d 时的抗氯离子渗透性能优于 28 d。原因是在矿粉掺配比例小于 25% 时,在 28 d 龄期时矿粉替代水泥,对水泥水化的削弱程度小于它在提高混凝土密实性及氯离子吸附方面的影响,故而抗氯离子渗透能力提高;在矿粉掺配比例大于 25% 时,水泥水化产物被矿粉消耗殆尽,且矿粉仍有残留,残留矿粉对氯离子的吸附作用小于取代水泥对水化程度乃至混凝土密实性的影响,所以随着矿粉掺配比例的增大,混凝土抗氯离子渗透能力降低;同时矿粉的活性低于水泥,使得矿粉活性效应对试验龄期有一定的相关性,所以 56 d 龄期时的试件抗氯离子渗透性能优于 28 d 龄期。

粉煤灰、矿粉双掺试验方案中粉煤灰掺配比例与电通量的关系如图 3 所示。

从图 3 可以看出,在 28 d、56 d 两个龄期,电通量的大小都随矿粉掺配比例的增大呈现先减小后增大的结果;56 d 时的抗氯离子渗透性能优于 28 d;当试验方案为 FK10,即粉煤灰掺量 10%,矿粉掺量为 25% 时,氯离子电通量值最小,且小于单掺粉煤灰或矿粉的最小电通量值。这是因为在水胶比恒定情况下,将一定量的水泥用粉煤灰和矿粉取代,改善了胶凝材料的级配,使之在水化之前具有良好的连续微

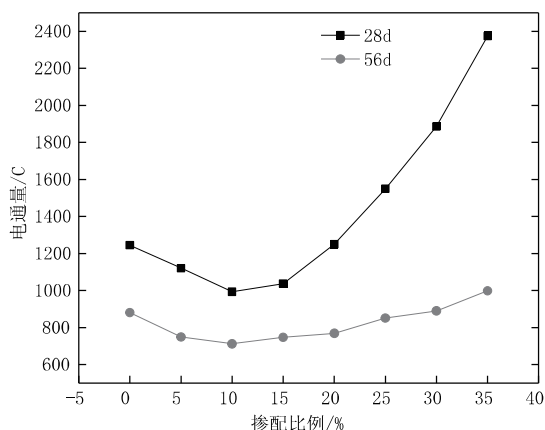


图3 双掺体系中粉煤灰掺配比例与电通量的关系曲线图

级配,从而提高硬化后的水泥浆体的密实度。同时,粉煤灰和矿粉的活性效应及氯离子吸附作用相互补充,对混凝土的抗氯离子渗透性能也有极大促进作用。

2.2 保护层厚度影响系数分析

为研究矿物掺合料混凝土保护层厚度,与纯硅酸盐水泥混凝土保护层厚度在考虑氯离子侵蚀的条件下的关系,提出保护层厚度影响系数的概念,通过分析考虑氯离子侵蚀时的保护层厚度影响系数,来揭示混凝土中矿物掺合料掺量对保护层厚度的影响规律。其计算公式如下:

矿物掺合料混凝土电通量 / 普通硅酸盐水泥混凝土电通量 = 保护层厚度影响系数

粉煤灰掺配比例与保护层厚度影响系数的关系见图4所示。

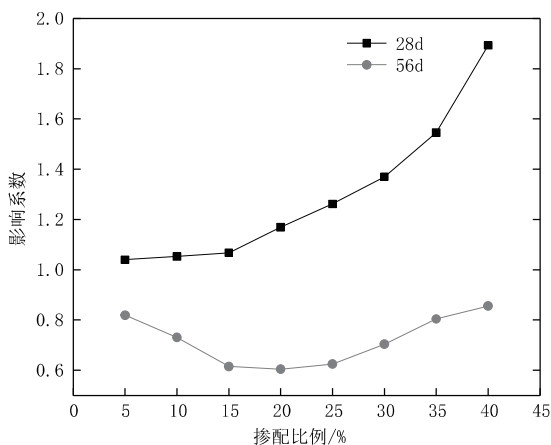


图4 粉煤灰掺配比例与保护层厚度影响系数的关系曲线图

从图4可以看出,在28d龄期时保护层厚度影响系数随粉煤灰掺配比例的增大而增大。56d龄期时,各粉煤灰掺配比例下的厚度系数均小于28d值,且系数的大小随粉煤灰掺配比例的增大呈现先减小后增大的趋势,粉煤灰掺配比例为20%时,28d龄期保护层厚度系数为1.169,56d龄期保护层厚度

系数为0.604。掺配比例为35%时,28d龄期保护层厚度系数为1.546,56d龄期保护层厚度系数为0.804。

矿粉掺配比例与保护层厚度影响系数的关系见图5所示。

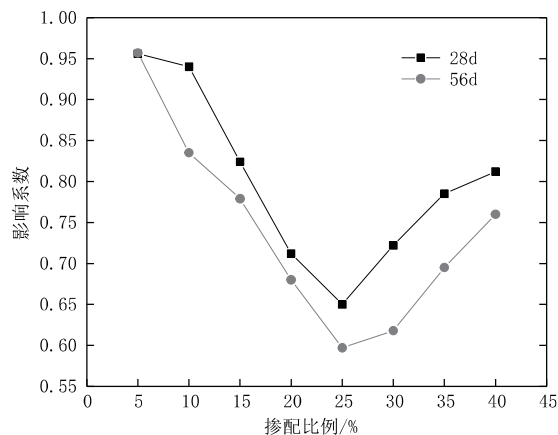


图5 矿粉掺配比例与保护层厚度影响系数的关系曲线图

由5图可知,在28d、56d两个龄期,厚度影响系数随矿粉掺配比例的增大而先减小后增大;并且在矿粉掺配比例为25%时,28d龄期的保护层厚度影响系数为0.712,56d龄期的保护层厚度影响系数为0.68。矿粉掺配比例为35%时,28d龄期的保护层厚度影响系数为0.785,56d龄期的保护层厚度影响系数为0.695。

双掺体系中粉煤灰掺配比例与保护层厚度影响系数的关系见图6所示。

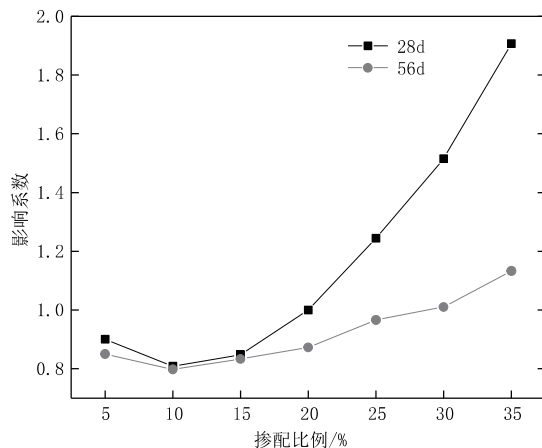


图6 双掺体系中粉煤灰掺配比例与保护层厚度影响系数的关系曲线图

由图6可以看出,在28d、56d两个龄期,厚度影响系数都随矿粉掺配比例的增大呈现先减小后增大的结果;56d龄期时的厚度影响系数小于28d龄期;当试验方案为FK10,即粉煤灰掺配比例为10%,矿粉掺配比例为25%时,28d龄期保护层厚度影响系数为0.808,56d龄期保护层厚度影响系数为

0.798,且厚度系数小于单掺粉煤灰或矿粉的最小厚度系数。

3 结 论

在单掺粉煤灰的条件下,粉煤灰掺量为 20%时,混凝土 56 d 龄期的抗氯离子渗透能力最佳,保护层厚度影响系数最小。在单掺矿粉的条件下,矿粉掺量为 25%时,混凝土抗氯离子渗透能力最佳,保护层厚度影响系数最小。在双掺粉煤灰、矿粉的条件下,粉煤灰掺配比例为 10%,矿粉掺配比例为 25%时,混凝土抗氯离子渗透性能最佳,保护层厚度影响系数最小。

参考文献:

- [1] 牛荻涛.混凝土结构耐久性与寿命预测[M].北京:科学出版社,2003.
- [2] 朱江.混凝土保护层厚度与强度关系的研究[J].广西工学院学报, 2000(1):71-74.
- [3] 张雪勤. 掺合料对再生混凝土抗氯离子渗透性影响的研究进展[J]. 四川建材,2021,47(1):15-17.
- [4] 丁娅,秦晓川,周莹,等.氯离子侵蚀下钢筋混凝土结构耐久性寿命预测——经典模型对比与分析[J].混凝土,2020(12):15-20.
- [5] 高延红,汪蒙,周晓芸,等.粉煤灰掺量对混凝土氯离子扩散性能稳定时间的影响及机理[J].自然灾害学报,2020,29(6):30-40.
- [6] 张斌.西北寒旱地区混凝土抗氯离子渗透性能影响因素[J].公路交通科技,2020,37(11):8-14+80.
- [7] 崔建文,高新民,陈飞,等.复合矿物掺合料高性能桩基混凝土性能研究[J].中国建材科技,2020,29(4):55-57+25.
- [8] 余刚.混凝土长养护龄期氯离子扩散系数的影响因素分析[J].广东土木与建筑,2020,27(6):106-108+112.
- [9] Hany Abdalla. Concrete cover requirements for FRP reinforced members in hot climates. Composite Structures, 2006
- [10] Abebe Dinku, H. W. Reinhardt. Gas permeability coefficient of cover concrete as a performance control. Materials and Structures 1997.30
- [11] 吴毅峰.双掺粉煤灰和矿粉的海工混凝土抗氯离子性能试验分析[J].福建建设科技,2012(3):35-37.
- [17] Sracek O, Kribek B, Mihaljevic M, et al. The impact of wetland on neutral mine drainage from mining wastes at Luanshya in the Zambian Copperbelt in the framework of climate change [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25, 28961-28972.
- [18] Ye L, Huang M, Zhong B, et al. Wet and dry deposition fluxes of heavy metals in Pearl River Delta Region (China): Characteristics, ecological risk assessment, and source apportionment [J]. Journal of Environmental Sciences, 2017,70:106-123
- [19] Subramaniam DN, Egodawatta P, Mather P, et al. Stabilization of stormwater biofilters: Impacts of wetting and drying phases and the addition of organic matter to filter media.[J] Environmental Management, 2015, 56, 630-642.
- [20] Zinger Y, Prodanovic V, Zhang K, et al. The effect of intermittent drying and wetting stormwater cycles on the nutrient removal performances of two vegetated biofiltration designs [J]. Chemosphere, 2020.
- [21] Blecken G T, Zinger Y, Deletic A, et al. Influence of intermittent wetting and drying conditions on heavy metal removal by stormwater biofilters[J]. Water Research, 2009, 43(18):4590-4598.
- [22] Chowdhury R, Abaya JS, Tsikis T, et al. Removal of heavy metals in vegetative graywater biofiltration columns.[J] Journal of Environmental Engineering, 2018, 144, 04018112.

(上接第 186 页)