

轻集料混凝土的抗渗性能研究

王发洲¹ 丁庆军¹ 胡曙光¹ 韩宏伟² 徐 华²

(1. 武汉理工大学 教育部硅酸盐工程中心, 湖北 武汉 430070;

2. 湖北省孝襄高速公路建设指挥部, 湖北 随州 441300)

摘要: 利用快速氯离子渗透试验和溶液气压法研究了粉煤灰、矿渣和硅灰三种矿物掺合料对轻集料混凝土抗渗性能的影响。结果表明,掺合料的加入能够显著提高轻集料混凝土的抗渗性能。利用 SEM、孔结构试验探讨了掺合料提高轻集料混凝土抗渗性的作用机理,研究结果为深入开展高性能轻集料混凝土的研究提供了参考。

关键词: 轻集料混凝土; 掺合料; 氯离子渗透; 渗透性

中图分类号: TU 528.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7037(2005)02-0036-03

轻集料混凝土具有轻质、保温、隔热、耐火及抗震等性能优点,具有广泛应用前景。北美和日本等国关于轻集料混凝土使用的经验表明,轻集料混凝土具有良好的抗冻融等性能^[1,2],掺加适量磨细矿物掺合料能显著提高普通密度混凝土的物理力学性能和耐久性能^[3]。少数研究者研究了轻集料混凝土抗渗性能^[4-6],表明轻集料混凝土具有良好的抗渗性。他们研究所采用的轻集料往往属于强度较低、表面孔隙多的类型,该类轻集料与水泥石之间的界面粘结良好。与中低强度的粘土陶粒和粉煤灰陶粒不同,高强页岩陶粒表面存在一层釉质外壳,它的存在对集料与水泥石界面粘结有较大负面影响,而此前对于由高强页岩陶粒配制的轻集料混凝土的耐久性研究尚未见报道。

1 原材料与试验方法

1.1 原材料

实验采用湖北华新水泥公司生产的 42.5 级普通硅酸盐水泥(OPC)、武汉钢铁公司磨细矿渣(BFS)、细度为 380 m²/kg 的汉川 II 粉煤灰(FA)

和硅灰(SF)等原材料(表 1),采用的轻集料是湖北宜昌宝珠陶粒公司生产的破碎形页岩陶粒(CSLA)(表 2)。混凝土所用细集料为细度模数 2.8~2.9 的中粗砂,含泥量小于 1.0%。减水剂采用武汉理工大学研制开发高效保塑减水剂 A,减水率 20%~25%。轻集料在拌和前预湿 0.5 h,净水胶比为 0.30,胶凝材料总量为 530 kg/m³,体积砂率为 0.40。普通混凝土的胶凝材料用量与轻集料混凝土相同。

1.2 试验方法

a. 混凝土渗透性测试方法 快速氯离子渗透实验按照 ASTM C1202-97 标准进行,测定试样在 60 V 电压和 6 h 内通过的电量,并计算混凝土的氯离子渗透系数^[7]。溶液气压法实验所用混凝土试件尺寸为 100 mm × 100 mm × 100 mm,加压到 1.2 MPa,然后测试混凝土的渗透深度^[8]。

b. 微观实验方法 将轻集料与不同配比的水泥净浆拌合后,将试样装入 Φ30 mm × 60 mm 的圆柱体模具中,用塑料薄膜密封试样两端。1 d 后脱模,将试样放入标准养护箱中,养护至规定龄期,然后劈开试样,挑选出水泥石与轻集料连在

表 1 原材料的质量百分比组成 (%)

胶凝材料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Loss	比表面积 /m ² ·kg ⁻¹
OPC	21.47	5.80	4.04	—	59.64	3.24	2.08	2.44	3.60
FA	45.38	33.53	5.29	4.71	3.16	2.81	0.43	5.30	380
BFS	34.76	15.39	1.20	—	35.86	9.07	3.84	—	580
SF	94.48	0.27	0.87	—	0.54	0.91	—	1.90	20000

收稿日期: 2004-11-09

作者简介: 王发洲(1975-),男,博士研究生;武汉,武汉理工大学教育部硅酸盐工程中心(430070)。

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2002AA 335080);教育部硅酸盐工程中心开放基金资助项目(SYSJJ2004-10)。

表 2 轻集料的主要性能

轻集料	堆积密度 /kg·m ⁻³	筒压强度 /MPa	表观密度 /kg·m ⁻³	吸水率/(%)		
				0.5 h	1.0 h	24 h
CSLA	795	6.8	1420	4.1	4.4	4.5

一起的试样, 烘干后将试样放入无水乙醇中 3~ 5 d 终止水化, 然后放入密闭容器中。一部分试样直接用于 SEM 研究; 另一部分试样在仔细剥掉轻集料后, 选取距离轻集料表面 5 mm 以内的水泥石用于压汞法测孔试验

2 结果与分析

2.1 实验结果

实验分别研究了粉煤灰、磨细矿渣、硅灰单掺, 以及粉煤灰和磨细矿渣复掺对轻集料混凝土抗渗性能的影响。表 3 中, 试样 C0 所用资料为碎石; C1~ C5 为 CSLA。表 3 结果表明, 混凝土的导电量越高, 渗水高度越大, 抗渗性越低, 快速氯离子渗透试验与溶液气压法得到的结果具有一致的规律。但表中 C2 及 C3 试样的氯离子渗透系数与渗水高度不一致, 因为压力渗水实验可能导致轻集料在压力下发生破坏, 影响实验结果。

比较表 3 中 C0 和 C1 试样的强度和导电量, 在相同强度等级条件下, 轻集料混凝土的渗透性大于普通混凝土。对比 C1~ C4 试样的氯离子渗透系数和渗水高度发现, 掺加掺合料能够显著提高轻集料混凝土的抗渗性, 其中以单掺粉煤灰或硅灰对轻集料抗渗性的改善作用最明显, 尤其是掺加硅灰的 C4 试样。虽然掺加 10% 矿渣的 C3 试样的导电量小于 C1 试样, 但明显高于 C2 试样, 这表明磨细矿渣提高轻集料混凝土的抗渗性作用效果不如粉煤灰, 而复合掺加 10% 的粉煤灰和 10% 的磨细矿渣的 C5 试样降低混凝土渗透性的作用效果非常突出。

表 3 混凝土的配合比与实验结果

试样	掺合料	水泥 /(%)	28 d 抗压强度 /MPa	导电量 /C	氯离子渗透系数 /(×10 ⁻⁹ cm ² /s)	渗水高度 /mm
C0	—	100	67.0	1818	11.5	20.2
C1	—	100	64.0	2495	14.9	24.5
C2	FA	90	61.0	1467	9.8	17.7
C3	BFS	90	69.0	1848	11.7	15.2
C4	SF	90	66.5	414	4.6	10.1
C5	FA+BFS	80	65.0	742	6.2	13.4

2.2 SEM 研究

实验所用轻集料属于低吸水性率的陶粒, 表面有一层光滑致密的釉质材料(图 1), 使得轻集料

与水泥石之间的界面结构如同普通混凝土中集料与水泥石之间的界面, 松散的界面结构给氯离子进入混凝土内部提供了渗透通道, 且多孔性轻集料自身渗透性较高, 所以高强轻集料混凝土的渗透性大于相同强度等级的普通密度混凝土。

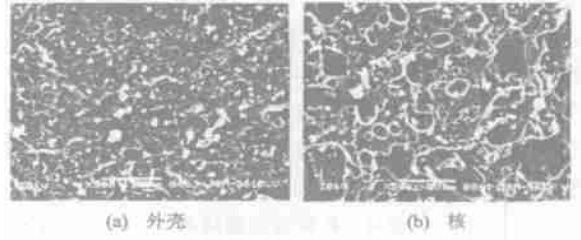


图 1 页岩陶粒外壳和核的结构差异

在掺加粉煤灰、磨细矿渣、硅灰之后, C2~ C5 试样的渗透性明显降低, 表明随着掺合料加入, 通过火山灰反应和颗粒堆积密实作用使得界面区水泥石结构得到有效改善, 因而使混凝土的抗渗性显著提高。由图 2 可知, 纯水泥浆与轻集料之间的过渡层结构比较疏松, 有大量的孔隙存在; 而掺加 10% 粉煤灰和 10% 磨细矿渣之后, 同龄期轻集料与水泥石之间的界面结构得到有效改善, 在界面区形成一层致密的水泥石结构, 紧密地包裹在轻集料周围。掺合料的掺入能够减小水泥用量, 降低水化热, 有助于减少因热应力而导致的微裂纹, 进而提高混凝土的抗渗性。

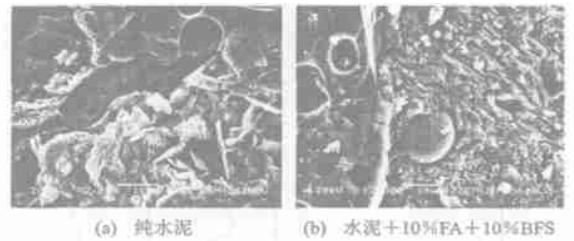


图 2 轻集料与水泥石之间界面过渡层的结构

2.3 孔结构分析

混凝土的渗透性与其内部结构有直接关系。

混凝土中孔径大于 1 000 Å 的毛细孔和大孔较多, 混凝土的密实性越差, 渗透性越高。从距离轻集料表面 5 mm 以内的部位取样进行孔结构分析 (M₁, M₂, M₃, M₅ 分别为水泥净浆试样, 其水灰比、胶凝材料组成与用量分别与 C₁, C₂, C₃, C₅ 对应), 结果见表 4。各组试样普遍具有比较低的孔隙率, 1 000 Å 以上的大孔所占的比例非常小, 因而轻集料混凝土具有比较低的渗透性。四组试样中, M₁ 水泥石的平均孔径最大, 在掺入粉煤灰和磨细矿渣后, 各试样中 1 000 Å 以上的孔所占比例减少, 而 100 Å 以内的孔所占比例显著增加, 如

复合掺加粉煤灰和磨细矿渣的M5试样1000 μ m以上孔所占比例仅为6.08%，而100 μ m以下孔所占比例达到了33.45%。通过掺合料的火山灰作用和轻集料所具有的内养护作用，使得反应产物填充在水泥石中的毛细孔中，使水泥石中大孔所占比例降低，小孔数量增多，因此，M2及M3试样的平均孔径和孔隙率相对M1有不同程度降低。由于轻集料处于孔隙率低、结构致密的水泥石包裹之中，尽管轻集料自身的抗渗性较差，但轻集料混凝土的渗透性非常低。

表4 孔结构试验结果 (%)

试样	孔径/ μ m					孔隙率
	< 50	50~100	100~1000	1000~10000	平均	
M1	12.41	7.47	70.23	1.53	6.36	18.28
M2	13.95	10.12	67.39	1.23	7.31	17.11
M3	15.84	10.8	67.28	0.6	5.48	16.35
M5	19.95	13.5	61.92	0.48	4.15	16.02

2.4 机理分析

混凝土的渗透性与其内部孔隙率和孔的连通率密切相关。只有存在渗透通道，外界介质才能渗入混凝土内部，渗透通道是混凝土具有渗透性的必要条件。Zhang提出将混凝土的孔结构与渗透性的关系分为四种情况(图3)讨论^[9]，认为孔的连通程度对混凝土渗透性的影响更为重要。

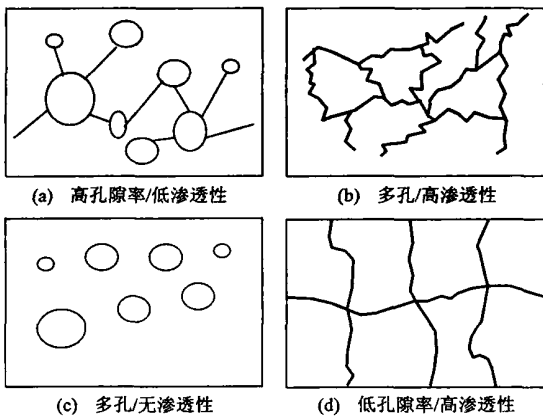


图3 混凝土的孔结构与渗透性的关系

碎石形陶粒表面不规则，表面不仅有开口孔存在，而且还有大量在破碎时产生的微裂纹。随着磨细矿物掺合料的掺入，在混凝土拌合时集料表面将吸附一定量的水泥和掺合料颗粒。掺合料的混入使集料附近胶凝材料体系的颗粒尺度分布更加合理，堆积更密实。其中一部分粒子还会渗入轻集料表面的孔洞、间隙与微裂纹中。随着水泥水化的进行，掺合料将与水泥水化产物发生二次水化反应。在水化后期，随着水泥石毛细孔中水分的不断消耗，混凝土内部湿度降低将使集料中的

水分逐步释放出来，对界面层的水泥石起到养护作用；同时水泥水化产物将向轻集料方向渗透。通过水分扩散和水化产物迁移，使水泥的水化和掺合料的二次水化反应进行得更为充分，最终在轻集料表面形成水化硅酸钙凝胶，并填充到集料表面的孔和缺陷中，对轻集料起到一种填充、密实和补强的作用，结果在轻集料表面形成一层结构致密的水泥石包裹层。由于有此水泥石结构层，因而切断了各个轻集料之间的联系，使得各轻集料形同孤岛，形成图3(c)所示的类似结构。加之水泥石与轻集料之间的弹性模量比较接近，两者之间具有较好的协调一致变形性能，界面区原生缺陷较少，因而混凝土整体就表现出很高的抗渗性。粉煤灰、矿渣和硅灰的加入，促使了轻集料表层优化结构的形成，同时使水泥石基体的结构变得更加致密，这就是轻集料混凝土具有高抗渗性的主要原因。

3 结论

a. 掺加粉煤灰、矿渣和硅灰都能够提高轻集料混凝土的抗渗性。其中复合掺加10%粉煤灰与10%矿渣或者单掺10%硅灰对提高轻集料混凝土的抗渗性效果最为显著。

b. 通过轻集料的内养护作用和辅助胶凝材料的火山灰反应，使轻集料周围水泥石的孔隙率和平均孔径显著降低，最终在轻集料周围形成了一层孔隙率低、结构致密的水泥石结构层，它的形成能够显著降低混凝土的渗透性。

c. 掺合料除了能够对水泥石基体起增强作用以外，还能够对轻集料与水泥石之间的界面过渡层以及集料自身起到增强作用。粉煤灰、矿渣和硅灰的加入，促使了轻集料表层优化结构的形成，同时使水泥石基体的结构变得更加致密，这是轻集料混凝土具有高抗渗性的主要原因。

参考文献

[1] Klaas van Breugel. LWAC Material properties[R]. European Union: Brite Euram III/R2, 1998.
 [2] 丁庆军, 王涛, 张锋. 混掺纤维增强轻集料混凝土研究[J]. 武汉理工大学学报, 2004, 26(1): 42-45.
 [3] 吴中伟, 廉慧珍. 高性能混凝土[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
 [4] Odd E GjØrv, Tan Kefeng, Zhang Minhong. Diffusivity of chlorides from sea water into high-strength lightweight aggregate concrete[J]. ACI Materials Journal, 1994, 91(5): 447-452.

(下转第51页)

Influence Analysis of the Size Deviation to Glass-fiber Reinforced PlastyM ortar Pipe Jacking

CH EN Jian-zhong¹ LI Zhuo-qiu¹

(1. School of Sci , WUT, Wuhan 430070, China)

Abstract: Because of pipe taper influence, the outer diameter of glass-fiber Reinforced PlastyM ortar (RPM) pipe has a deviation, and this will influence the pipe jacking. The influence is analysed according to the elastic theory and elastic-plastic theory. At first, the calculated model is given. Based on this model, the formulas to calculate outer pressure and friction resistance are obtained. Two examples are presented to show that the jacking force will increase. At the end, some suggestions are given.

Key words: size deviation; pipe taper; RPM pipe jacking; outer pressure; friction resistance

(上接第 38 页)

- | | |
|---|---|
| <p>[5] Zhang Minhong, Odd E GjØrv. Permeability of high-strength lightweight concrete [J]. ACI Materials Journal, 1991, 88(5): 463-469.</p> <p>[6] Magne M aage, Steiner Helland, Jan Erik Carlsen. Chloride penetration into concrete with lightweight aggregates[R]. European Union: Brite Euram III/R3, 1998.</p> <p>[7] 冯乃谦, 刑 锋. 高性能混凝土技术[M]. 北京: 原子</p> | <p>能工业出版社, 2002.</p> <p>[8] 曹 芳, 马保国. 溶液气压法测试混凝土渗透性能的研究[J]. 混凝土, 2002, (10): 18-20.</p> <p>[9] Kok Seng Chia, Zhang Minghong. Water permeability and chloride penetrability of high-strength lightweight aggregate concrete [J]. Cement & Concrete Research, 2002, 32: 639-645.</p> |
|---|---|

Research on the Resistant of Lightweight Aggregate Concrete to Water Penetration

WANG Fa-zhou¹ DING Qing-jun¹ HU Shu-guang¹ HAN Hong-wei² XU Hua²

(1. Key Laboratory Silica Materials Sci & Eng, WUT, Wuhan 430070, China;

2. Comm and Post of Hubei Xiao-xiang High Express Way, Suizhou 441300, China)

Abstract: The permeability of lightweight aggregate concrete is studied. Some efforts are taken to increase the resistance of lightweight aggregate concrete (LC) to water penetration by using the mineral admixture of fly ash, granulated blast furnace slag or silica fume. Accelerated chloride penetrability test and liquid atmosphere pressure method are used to study the anti-permeability of lightweight aggregate concrete. The test results show that fly ash, granulated blast furnace slag and silica fume can reduce the permeability of lightweight aggregate concrete, but the effect of granulated blast furnace slag is poor. According to the SEM observing and pore structure analyzing result, the interface self-reinforcing effect model is presented and the reinforced mechanism of mineral mixture on LC is discussed. The results give a reference to the research about high performance lightweight aggregate concrete.

Key words: lightweight aggregate concrete; mineral mixture; chloride penetrability; permeability