

研究报告

矿物质粉体对砂浆及混凝土 Cl^- 渗透性的影响

冯乃谦, 牛全林, 封孝信

(清华大学土木系, 北京 100084)

[摘要] 研究了不同水胶比、不同矿物质粉体掺量的砂浆和混凝土, 经标准养护至 56 天、90 天时的导电量。在相同水胶比和相同矿物质粉体掺量下, 混凝土的导电量远低于砂浆的导电量。含矿物质粉体的砂浆及混凝土的导电量均低于基准砂浆及混凝土的导电量。导电量随水胶比的降低而降低, 也随龄期的增长而降低。

[关键词] 矿物质粉体; 砂浆; 混凝土; 导电量

[中图分类号] TU528.04 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1009-1742(2002)02-0069-05

1 引言

混凝土的耐久性取决于抗渗性与化学组成。混凝土的渗透性可以通过氯离子扩散来评价, Cl^- 扩散系数可以利用 Nernst-Einstein 方程转变为电导率的测定^[1]。

美国按 ASTM C1202 标准, 测定了混凝土 6 h 总导电量, 根据导电量的大小判断 Cl^- 的渗透性能, 并列举了渗透性不同的混凝土 (见表 1)。

表 1 ASTM C1202 导电量及其对混凝土分类

Table 1 Charge passed data (ASTM1202) and the corresponding concrete grade

6 h 总导电量 /C	Cl^- 渗透性	典型的混凝土种类
>4 000	高	W/C 大于 0.6 的普通混凝土
2 000~4 000	中	中等水胶比 (0.5~0.6) 普通混凝土
1 000~2 000	低	低水胶比普通混凝土
100~1 000	非常低	低水胶比、掺硅粉 5%~10% 混凝土, 或乳胶改性混凝土
<100	可忽略不计	聚合物混凝土, 掺硅粉 10%~15% 混凝土

大量试验证明, 在水泥基材料中, 影响导电量 (Cl^- 扩散系数) 的主要因素有: W/C (或 W/B), 浆体含量, 养护龄期以及矿物质粉体的数量与质量^[2]。

试验研究了高性能混凝土在不同水胶比下, SF (硅灰)、FA (粉煤灰)、NZ (天然沸石) 及 BFS (粒化高炉矿渣) 对砂浆与混凝土导电量的影响; 按照 ASTM C1202 标准, 测定了砂浆与混凝土 6 h 的总导电量。与基准试件相比, 矿物质超细粉能明显降低砂浆与混凝土的导电量; 而且混凝土导电量降低的幅度比砂浆大; 混凝土导电量远低于相同水胶比砂浆的导电量。混凝土的导电量在 1 000 C 以下时, 才具有高的抗渗性和耐久性^[3]。根据导电量可判断矿物质粉体对砂浆与混凝土耐久性的影响。

2 试验用原材料

1) 水泥: 小野田“海星牌”普硅 525R, 主要矿物组成为 C_3S 62.61%, C_2S 11.3%, C_3A 7.86%, C_4AF 8.76%。

2) 粗骨料: 辉绿岩碎石, 粒径 5~20 mm,

[收稿日期] 2001-07-16; 修回日期 2001-10-08

[作者简介] 冯乃谦 (1934-), 男, 广东合浦县人, 清华大学教授, 博士生导师

表观密度 2740 kg/m^3 , 堆积密度 1440 kg/m^3 , 孔隙率 47%, 压碎指标 2.6%。

3) 细骨料: 河砂, 细度模量 $M_f=2.7$, 表观密度 2678 kg/m^3 , 堆积密度 1503 kg/m^3 , 级配合格。

4) 高效减水剂: 萘系, 减水率 12%~25%。

5) 矿物质粉体: 试验中所用的矿物质粉体的化学成分及比表面积见表 2。

6) 水: 自来水。

表 2 水泥和矿物质粉体的化学成分

Table 2 Chemical composition of cement and mineral admixture

名称	化学成分/%								比表面积 $/\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O+K ₂ O	烧失量	
水泥	20.41	4.81	2.88	63.86	1.52	2.03	0.6	3.77	345
粉煤灰	58.09	20.62	9.55	2.65	1.14	0.56	1.0	4.62	400
硅粉	92.45	/	/	/	/	/	/	/	18 000
沸石粉	66.24	12.82	1.42	2.40	1.08	/	4.2	/	400~420
超细矿渣	28.0	32.0	1.0	30.0	8.2	2.0	2.0	/	420~450

3 试验方案

本研究的试验内容分成 2 个系列: a. 在相同水胶比下含不同超细粉的砂浆及混凝土的导电量关

系; b. 在不同水胶比下含不同超细粉的砂浆及混凝土的导电量关系。两系列的具体内容汇总于表 3。砂浆与混凝土试验均用强制式搅拌机搅拌, 振动成型。导电量按 ASTM C1202 方法测定, 成型

表 3 试验方案汇总表

Table 3 Glossary of the experimental design

No.	W/B	类型	砂浆单方用量/kg					混凝土单方用量/kg					
			水泥	超细粉	砂子	水	减水剂	水泥	超细粉	砂子	碎石	水	减水剂
1		C	500	/	660	190	/	500	/	660	1 150	190	4
2		8 % SF	460	40	660	190	2	460	40	660	1 150	190	5
3	0.38	30 % FA	350	150	660	190	1.25	350	150	660	1 150	190	4
4		30 % NZ	350	150	660	190	1.5	350	150	660	1 150	190	5
5		30 % BFS	350	150	660	190	1.25	350	150	660	1 150	190	4
6		C	500	/	660	180	1	500	/	660	1 150	180	5
7		8 % SF	460	40	660	180	2.25	460	40	660	1 150	180	5
8	0.36	30 % FA	350	150	660	180	1.25	350	150	660	1 150	180	5
9		30 % NZ	350	150	660	180	1.75	350	150	660	1 150	180	5
10		30 % BFS	350	150	660	180	1.25	350	150	660	1 150	180	5
11		C	550	/	680	176	2.25	550	/	680	1 100	176	7.7
12		8 % SF	506	44	680	176	3.3	506	44	680	1 100	176	7.7
13	0.32	30 % FA	385	165	680	176	3.3	385	165	680	1 100	176	7.7
14		30 % NZ	385	165	680	176	3.3	385	165	680	1 100	176	7.7
15		30 % BFS	385	165	680	176	3.3	385	165	680	1 100	176	7.7
16		C	550	/	680	165	4.95	550	/	680	1 100	165	8.8
17		8 % SF	506	44	680	165	4.95	506	44	680	1 100	165	8.8
18	0.30	30 % FA	385	165	680	165	4.4	385	165	680	1 100	165	8.8
19		30 % NZ	385	165	680	165	5.5	385	165	680	1 100	165	8.8
20		30 % BFS	385	165	680	165	4.4	385	165	680	1 100	165	8.8

φ10 cm×5 cm 试件，测定龄期为 56 天及 90 天的导电量。按公式 $Y = 2.57765 + 0.00492X$ 计算了 Cl⁻ 扩散系数。

式中：Y ——Cl⁻ 扩散系数 /× 10⁻⁹ cm²·s⁻¹；

X——导电量 /C。

4 试验结果与讨论

试验结果汇总于表 4 及图 1，图 2，图 3。

表 4 砂浆与混凝土的 ASTM C1202 导电量

Table 4 Charge passed data of the mortar and concrete according to ASTM C1202

No	类型	W/B	56 d 砂浆 6 h 总导电量/C	56 d 混凝土		90 d 混凝土	
				6 h 总导电量 /C	Cl ⁻ 扩散系数 / × 10 ⁻⁹ cm ² ·s ⁻¹	6 h 总导电量 /C	Cl ⁻ 扩散系数 / × 10 ⁻⁹ cm ² ·s ⁻¹
1	C		9 134	2 054	12.683	1 720	11.020
2	8 %SF		1 180	272	3.918 5	270	3.925
3	30 %FA	0.38	1922	482	4.949 1	332	4.211
4	30 %NZ		1 812	398	4.535 8	310	4.103
5	30 %BF		5 192	1 259	8.771 9	1 090	7.940
6	C		7 782	1 978	12.309	1 576	10.311
7	8 %SF		742	258	3.847	252	3.831
8	30 %FA	0.36	1 548	496	5.018	318	4.122
9	30 %NZ		1 482	390	4.496	290	4.005
10	30 %BF		4 911	1 150	8.236	901	7.006
11	C		5 576	1 825	11.556	1 455	9.716
12	8 %SF		370	232	3.719	230	3.710
13	30 %FA	0.32	1 080	430	4.737	281	3.940
14	30 %NZ		1 050	298	4.044	262	3.867
15	30 %BF		4 630	957	7.286	820	6.612
16	C		5 367	1 084	7.910	942	7.192
17	8 %SF		343	214	2.582	227	3.674
18	30 %FA	0.30	867	337	4.235	257	3.822
19	30 %NZ		850	264	3.877	252	3.817
20	30 %BF		4 210	750	6.268	502	5.047

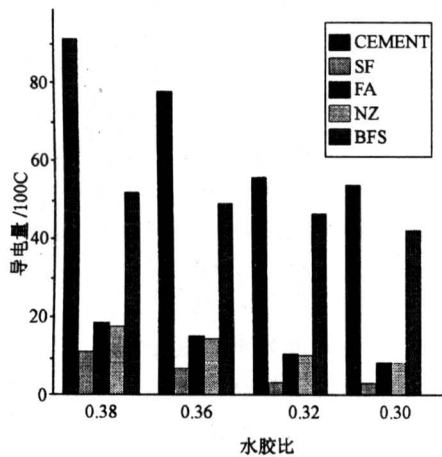


图 1 基准砂浆与含不同矿物质粉体砂浆的导电量 (56 d)

Fig.1 Charge passed of mortars with and without mineral admixtures

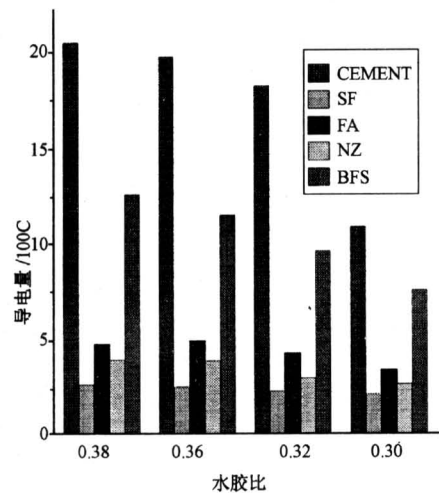


图 2 基准混凝土与掺不同矿物质粉体混凝土的导电量 (56 d)

Fig. 2 Charge passed of concrete with and without mineral admixtures

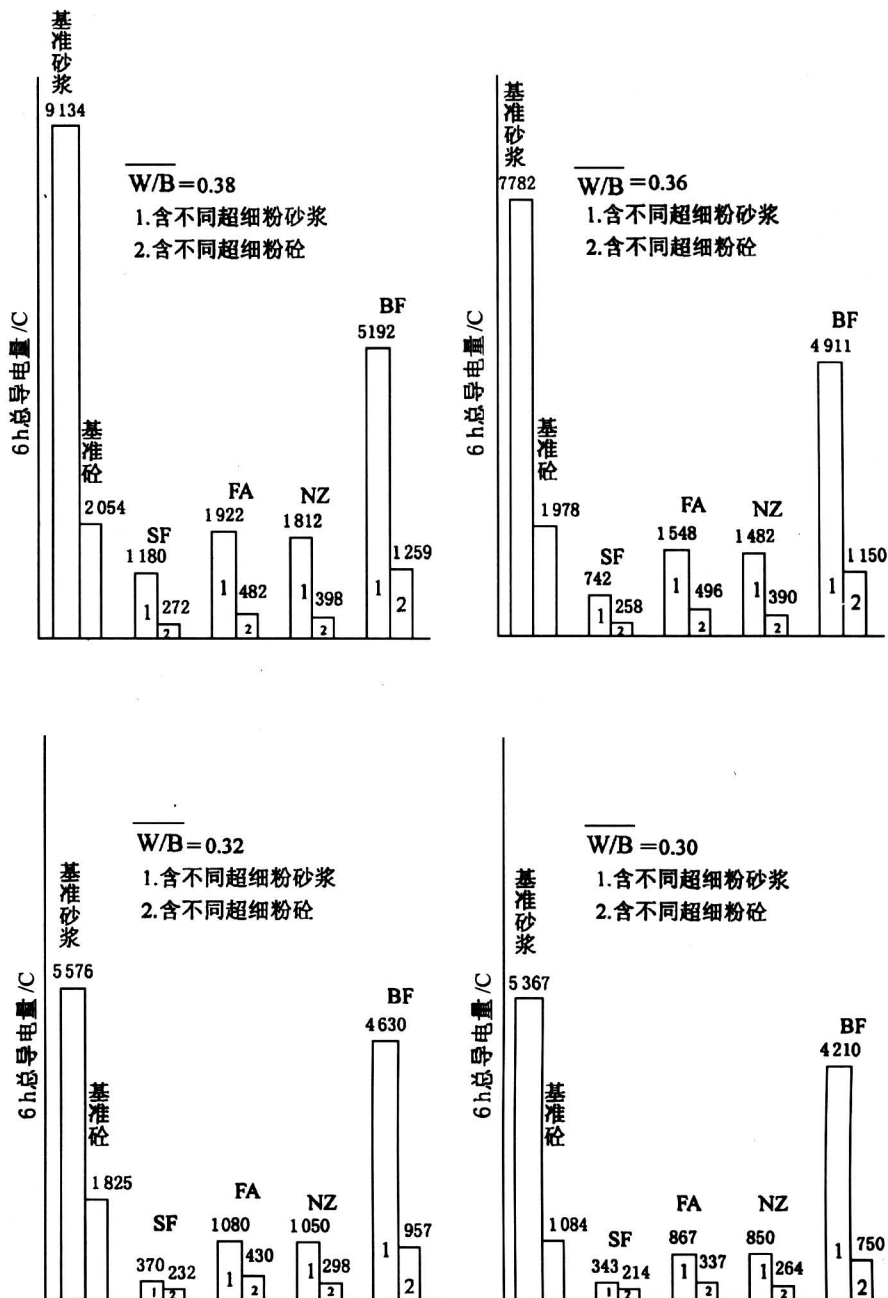


图 3 砂浆与混凝土导电量比较 (56 d)

Fig.3 Charge passed data of the mortars and concrete (56 d)

由以上试验结果可见:

1) 相同水胶比下, 混凝土导电量均明显低于基准砂浆的导电量。这是因为砂浆中掺入粗骨料后, 由于骨料的电阻远远大于砂浆的电阻, 使混凝土的导电量降低。

2) 不同水胶比下, 含超细粉的砂浆和混凝土的导电量均明显低于基准砂浆或基准混凝土的导电

量。无论砂浆还是混凝土, 其导电量均随水胶比的降低而降低。因此要提高混凝土的抗渗性, 必须降低水胶比及掺入矿物质超细粉。

3) 在本试验中, 硅灰对降低混凝土及砂浆的导电量均有很好的效果, 天然沸石与粉煤灰次之, 矿渣超细粉的效果较差。

4) 按 ASTM C1202 标准, 混凝土的导电量小

于 1 000 C 时, 属于 Cl^- 渗透很低的混凝土, 相应的 Cl^- 扩散系数是 $(0.5 \sim 0.7) \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$, 混凝土具有很高的抗渗性和耐久性。内掺 8 % 硅灰、30 % 天然沸石及 30 % 粉煤灰的混凝土水胶比小于 0.38, 两个月龄期的导电量均低于 500 C, Cl^- 扩散系数均低于 $0.6 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$; 内掺 30 % 矿渣的混凝土, 水胶比低于 0.32 时, 两个月龄期的导电量是 1 000 C, 相应的 Cl^- 扩散系数约为 $0.7 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。这时混凝土均有很高的耐久性^[4]。

5) 混凝土的导电量均随龄期的增长而降低。这是由于随龄期增长, 混凝土的密实度、强度和耐久性都提高, 导电量降低。故良好的养护对混凝土的耐久性尤为重要。

5 结论

1) 在相同水胶比下, 内掺超细粉的砂浆或混凝土, 导电量均低于基准砂浆或混凝土; 相同水胶比的砂浆或混凝土, 不管其含不含超细粉, 混凝土的导电量均远远低于砂浆的导电量。

2) 含与不含超细粉的砂浆或混凝土的导电量, 均随水胶比的降低而降低, 也随龄期的增长而降低。

3) 混凝土要具有高的抗渗性与耐久性, 在规定的龄期下的导电量必须低于 1 000 C, 相应的 Cl^- 扩散系数是 $(0.5 \sim 0.7) \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。水胶比小于 0.38 的混凝土, 内掺 8 % 硅灰、30 % 天然沸石及 30 % 粉煤灰时, 均可充分满足上述条件。内掺 30 % 超细矿渣, 水胶比小于 0.36 时, 也可满足上述要求。这时的混凝土具有很好的耐久性。故高性能混凝土 (水胶比小于 0.38) 及掺入超细粉是提高混凝土耐久性的关键技术。

参考文献

- [1] Streicher P E, Alexander M G. A chloride conduction test for concrete cement and concrete research, [J] C. C. R., 1995, 25(6):1284~1294
- [2] 冯乃谦, 邢 锋. 高性能混凝土技术[M]. 北京: 原子能出版社, 2000. 6
- [3] ASTM C1202 - 97, Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration[S]. Annual Book of ASTM Standards, 1997, 04(02)
- [4] 索默. H. 高性能混凝土的耐久性[M]. 冯乃谦, 丁建彤, 庄青峰, 等译. 北京: 中国科学出版社, 1998

Effect of Mineral Powder on the Durability of Mortar and Concrete

Feng Naiqian, Niu Quanlin, Feng Xiaoxin

(Dept. Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

[Abstract] In this paper, the effect of mineral powder and W/B ratio on the charge passed with mortar and concrete under 56 day and 90 day's standard curing age is investigated. For the same W/B ratio and same content of mineral admixture, the charge passed through concrete is far lower than that through the mortar. The charge passed data of either mortar or concrete with mineral admixture are lower than that of the plain samples. The charge passed of mortar and concrete decreases with the decrease of W/B and increase of curing age.

[Key words] mineral powder; mortar; concrete; charge passed