

玄武岩石粉对C50混凝土氯离子渗透性的影响

乔宏霞^{1,2} 梁金科^{1*} 李元可¹ Desire Ndahirwa¹

(1 兰州理工大学 甘肃省土木工程防灾减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730050; 2 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810083)

摘要 采用RCM法和ASTMC 1202电通量法研究玄武岩石粉对C50混凝土氯离子渗透性的影响,石粉掺加方式为内掺和外掺,测试石粉掺量对28 d、56 d、120 d氯离子扩散系数和电通量的影响,将石粉掺量与两种指标进行相关性拟合分析,得出两种指标的使用可靠度。结果表明:不同龄期氯离子扩散系数在石粉内掺和外掺时随着掺量的增加均高于基准,且在石粉内掺时其值单向逐渐升高,随着龄期的增加扩散系数降低明显;电通量在石粉内掺时随着掺量增加先升高后降低,石粉外掺时不同龄期变化略有不同,28 d时在掺量10%以内呈增长趋势,高于10%后逐渐下降,56 d和120 d均在5%时较基准有所增大,高于5%后逐渐下降;石粉内掺时氯离子扩散系数的预测值较外掺时更接近实测值,石粉外掺时电通量的预测值较内掺时更接近实测值;RCM法更适合石粉内掺时使用,电通量法更适合在石粉外掺时使用。

关键词 玄武岩石粉;RCM法;电通量法;扩散系数;渗透性

中图分类号: TU528 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8098(2018)06-0045-03

Influence of Basaltic Rock Powder on Chloride Ion Permeability of C50 Concrete

Qiao Hongxia^{1,2} Liang Jinke^{1*} Li Yuanke¹ Desire Ndahirwa¹

(1 Key laboratory of Disaster Prevention and Mitigation in Civil Engineering of Gansu Province, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu 730050; 2 Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810083)

Abstract The influence of basaltic rock powder on chloride ion permeability of C50 concrete was studied by RCM method and ASTM C 1202 electric flux method. The mixing method of stone powder was internal and external admixture. The influence of stone powder content on chloride diffusion coefficient and electric flux of 28 d, 56 d and 120 d were tested. The correlation between the content of stone powder and the two indexes was analyzed. The reliability of two indexes was obtained. The results of the study showed that the chloride diffusivity of different ages was higher than that of the reference material when the mixing was internal and external admixture. The diffusion coefficient increased gradually when the stone powder was internal. With the increase of the age, the diffusion coefficient decreased obviously. The electric flux increased first and then decreased with the increase of the content when stone powder was internal admixture. When the stone powder was external admixture, it varied slightly at different ages. At 28 d, when the content of 10% was increasing, it will decrease gradually after 10%. At 56 d and 120 d, they increased at 5%, and gradually decreased compared with 5%. The internal prediction value of chloride diffusion coefficient was more close to the measured value than the external admixture. The external predicted value of electric flux was more close to the measured value than the internal admixture. The RCM method was more suitable for the internal admixture of stone powder, and the electric flux method was more suitable for the external admixture of stone powder.

Key words basaltic rock powder; method of RCM; method of electric flux; diffusion coefficient; permeability

玄武岩石粉作为一种惰性矿粉加入到混凝土中对氯离子渗透性的影响是评价耐久性的最关键因素,同时也是寿命预测中最难以控制的指标。目前评定混凝土抗氯离子渗透最为有效的两种方法分别为RCM法和ASTMC 1202电通量法^[1]。韩建国等^[2]分别采用ASTMC 1202法、RCM法和ACR法对掺加硅灰和粉煤灰混凝土的氯离子渗透性进行测试,并对比3种方法的相关性及分别给出了3种方法的适用范围。张善德等^[3]通过采用电通量法和RCM法对高性能混凝土进行测试,将两种参数进行对比及相关性分析,得出库伦电量与氯离子扩散系数两种参数之间

不存在较直观和明显的相关性。Elfmarkova等^[4]通过采用RCM法对掺有其他类型黏结剂的混合水泥砂浆氯离子扩散系数进行测试分析,研究了使用这些黏结剂的混凝土总氯离子浓度分布情况。

本研究通过RCM法和ASTMC 1202电通量法测试分析不同石粉掺量不同龄期对混凝土氯离子扩散系数和电通量的影响,将石粉掺量与其进行拟合分析,探究两种参数与石粉掺量之间的相关性评价两种方法对石粉混凝土氯离子渗透性使用的可靠度。

1 试验部分

1.1 原料及配合比 本试验混凝土强度等级为C50,水泥为42.5级普通硅酸盐水泥。石粉为玄武岩石粉,化学成分和主要物理指标,见表1;细骨料为玄武岩机制砂,中砂;粉煤灰为Ⅱ级。水胶比为0.35,混凝土配合比见表2。

收稿日期:2018-08-21

基金项目:国家自然科学基金(51468039)。

*通信作者, E-mail: 1849951657@qq.com; Tel: 15810309379。

表1 玄武岩石粉化学成分(w/%)和主要物理指标

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	密度/(kg/m ³)	比表面积/(m ² /kg)
50.82	15.19	8.83	11.13	3.27	6.86	1.13	3 160	328

表2 混凝土配合比/(kg/m³)

编号	水泥	石粉	粉煤灰	碎石	机制砂	减水剂	水	坍落度/mm
JZ	368	0				3.7		180
N5	349	19				3.7		180
N10	330	38				3.7		170
N15	312	56				3.7		160
N20	295	74	90	1 072	684	3.7	160	160
W5	367	19				4.2		150
W10	367	38				4.2		130
W15	367	56				4.2		120
W20	367	74				4.2		100

注:JZ为未掺加石粉的基准配合比,N为内掺,W为外掺

1.2 试验方案

1.2.1 RCM法:试件的直径为(100±1)mm,高度为(50±2)mm,试验电压为30V,初始电流为30~60mA,通电时间为24h。阳极为浓度0.2mol/L的KOH溶液,阴极为质量分数3%的NaCl和浓度0.2mol/L的KOH的混合溶液。

1.2.2 ASTM C 1202法:试件的直径为(100±1)mm,高度为(50±2)mm,试验电压为60V,电流值记录时间间隔分别按5min、10min、30min记录,直至通电6h。正极为浓度0.3mol/L的NaOH溶液,负极为质量分数3%的NaCl溶液。

2 结果与讨论

2.1 石粉对混凝土氯离子扩散系数的影响 石粉掺量对氯离子扩散系数的影响,见图1。

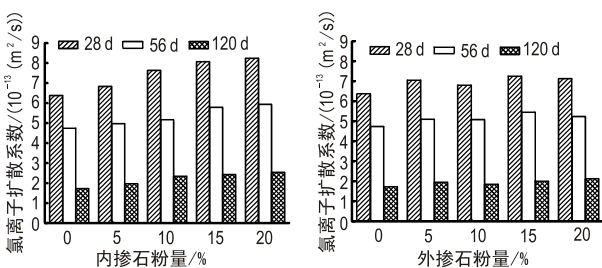


图1 石粉量与氯离子扩散系数的关系

由图1可知,石粉内掺时其28d、56d、120d的氯离子扩散系数随着掺量的增加呈现逐渐单向升高,石粉外掺时氯离子扩散系数出现波动但均高于基准值;同等掺量下随着龄期的增长氯离子扩散系数降低明显,56d时内掺与外掺均降低至28d时的3/4左右,120d分别降低至28d时的1/4~1/3。不同石粉掺量对扩散系数影响的差距随着龄期的增加逐渐变小,石

粉外掺时对120d的氯离子扩散系数影响甚微;在石粉同等掺量下,外掺较内掺的氯离子扩散系数除5%掺量时要略高其余均低一些,且外掺时的增长趋势没有内掺时明显。

掺加玄武岩石粉氯离子扩散系数有所升高,一方面是石粉内掺时因水泥减少,使水化产物减少,水化热伴随降低,同时混凝土内部结构黏结性降低,孔隙率增大^[5];石粉替代水泥量越多,其稀释效果越明显,氯离子的渗透性逐渐增强。另一方面石粉外掺时因石粉在通电作用下一定量的Ca²⁺会不断结合成氢氧化钙晶体,这些晶体附着在内部结构的界面处,阻碍C-S-H的生成,而C-S-H的减少会阻碍水化的进行^[5],这个过程的重叠使得混凝土内部结构界面的空隙增大,在一定程度上有利于氯离子的定向传输。玄武岩石粉惰性是由于自身的硅、钙和铝活性元素以结晶的形式被束缚^[6],在通电过程中,因阳极含有大量OH⁻,会将石粉中少量的Fe³⁺和阴极处的H⁺向阳极处不断转移,其转移速率和氯离子传输速率随通电时间的延长不断加速,从而氯离子渗透性变大。

2.2 石粉对混凝土电通量的影响 石粉掺量对电通量的影响,见图2。由图2可知,石粉内掺时其电通量随着掺量变化不明显,3个龄期的电通量在5%和10%时较基准均略有升高,在15%和20%时略有降低;石粉外掺时电通量变化趋势较内掺时明显,56d和120d龄期时石粉掺量在5%~20%范围内呈现逐渐下降趋势;石粉掺量高于5%时,随着龄期增长电通量明显降低,56d时内掺与外掺均降低至28d时的4/5左右,120d时均降低至28d时的1/2左右。石粉内掺与外掺龄期达到120d后,不同石粉掺量的电通量之间的差距甚微,基本处在相同范围。

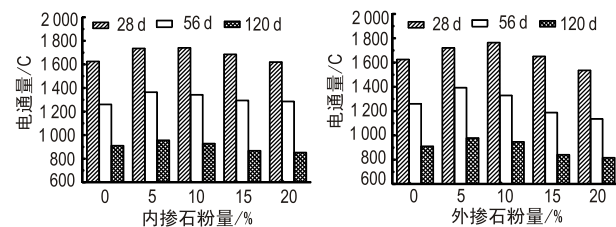


图2 石粉与混凝土电通量的关系

通过对比分析氯离子扩散系数与电通量变化趋势可知,两者之间并不存在定性的变化关系,这主要是因为电通量的传输机理与氯离子的扩散机理不同,且两种参数所受影响因素也不同。氯离子扩散主要依赖于氯离子在混凝土内部空隙结构受电场作用致使Cl⁻产生的定向转移,是一种低电压缓慢扩散现象;而电通量则是在电场作用下穿过该混凝土试件形成

的闭合电场的电量总和^[7],是在高电压下快速形成的电量,除了与电压和混凝土内部空隙结构有关外,还与混凝土所掺加成分的导电性有关,即混凝土内部的电阻率。玄武岩石粉惰性较强,导电性极弱,且玄武岩石粉导致氢氧化钙晶体的产生使得玄武岩石粉在掺量达到一定程度后对电量的传输起到一定抑制作用,虽在氯离子传输上有一定的促进作用,但整体对电通量的影响会出现随着掺量达到一定量后逐渐下降的趋势。

2.3 石粉掺量与氯离子扩散系数及电通量相关性分析 将玄武岩石粉掺量与氯离子扩散系数和电通量分别建立线性回归曲线,见图3和图4。

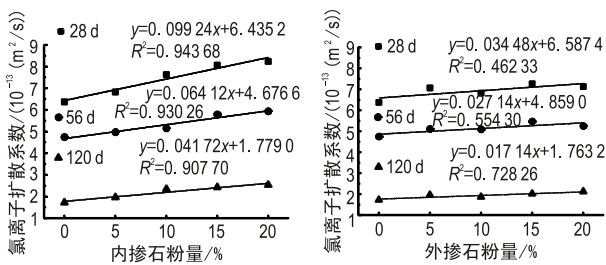


图3 石粉掺量与氯离子扩散系数相关性

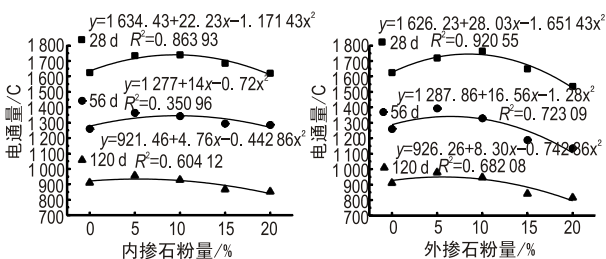


图4 石粉掺量与电通量相关性

石粉与氯离子扩散系数相关性采用直线拟合,通过观察图3线性回归及函数表达式可知,石粉内掺时线性拟合的吻合度较高,相关系数R²均大于0.9,其中28d的相关性系数比56d和120d要高;石粉外掺时相关系数R²均比较低。结合内掺和外掺的预测结果可以得知,氯离子扩散系数测定龄期最稳定且最有效的龄期为28d。另外,当针对玄武岩石粉混凝土氯离子扩散系数进行预测时,石粉内掺时氯离子扩散系数预测值较石粉外掺时更加接近实测值。

石粉与电通量相关性采用二项式拟合曲线,通过观察图4拟合曲线及函数表达式可知,石粉内掺时相关系数差别很大,28d、56d和120d的相关系数分别为0.86、0.35、0.60,其预测的准确度相对较低;石粉外掺时较石粉内掺时相关系数相对要高,分别为0.92、0.72、0.68。结合内掺和外掺预测结果分析,电通量的不稳定程度要高于氯离子扩散系数,养护龄期越短石

粉对电通量的影响差别越容易被反映出来,其测定最佳龄期为28d。另外,当针对玄武岩石粉混凝土电通量进行预测时,石粉外掺时电通量预测值较石粉内掺时更接近实测值。

通过石粉掺量与两种参数的相关性分析可知,两种方法从评定氯离子渗透性的预测可靠度来看,RCM法更适合在石粉内掺时使用,ASTMC 1202电通量法更适合在石粉外掺时使用。

3 结论

1. 随着石粉掺量的增加,内掺时氯离子扩散系数单向升高,外掺时出现波动但均高于基准值;同等掺量随着龄期的增长氯离子扩散系数降低明显,56d时内掺与外掺均降低至28d时的3/4左右,120d分别降低至28d时的1/4~1/3。

2. 电通量在石粉内掺量为5%和10%时较基准略有升高,掺量为15%和20%时略有降低;石粉外掺时,在56d和120d龄期时随着石粉掺量增加电通量逐渐下降;含量高于5%时随着龄期增长电通量明显降低,56d时内掺与外掺均降低至28d时的4/5左右,120d时均降低至28d时的1/2左右。

3. 石粉内掺时氯离子扩散系数的预测值较外掺时更接近实测值,石粉外掺时电通量的预测值较内掺时更接近实测值;RCM法更适合在石粉内掺时使用,ASTMC 1202电通量法更适合在石粉外掺时使用。

参考文献:

- [1] ANDRADE C, CLIMENT M A, VERA G D. Procedure for calculating the chloride diffusion coefficient and surface concentration from a profile having a maximum beyond the concrete surface[J]. Materials and Structures, 2015, 48(4): 863-869.
- [2] 韩建国, 李克非. 混凝土抗氯离子渗透能力测试方法的适用性[J]. 建筑材料学报, 2015, 18(4): 704-709, 715.
- [3] 张善德, 刘涛, 袁伟, 等. 电通量法和RCM法测定高性能混凝土抗氯离子渗透性对比试验[J]. 粉煤灰, 2016, 28(5): 44-46.
- [4] ELFMARKOVA V, SPIESZ P, BROUWERS H J H. Determination of the chloride diffusion coefficient in blended cement mortars[J]. Cement and Concrete Research, 2015, 78: 190-199.
- [5] THONGSANITGARN P, WONGKEO W, CHAIPANICH A, et al. Heat of hydration of Portland high-calcium fly ash cement incorporating limestone powder: Effect of limestone particle size[J]. Constr Build Mater, 2014, 66(36): 410-417.
- [6] 谢春磊, 张洪伟, 赵晓亮, 等. 粉煤灰-偏高岭土-石粉对混凝土微结构及早期收缩的影响研究[J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(9): 3075-3081.
- [7] 刘宝举, 贺益田, 罗果, 等. 养护条件对矿物掺和料混凝土吸水率和电通量的影响[J]. 铁道科学与工程学报, 2015, 12(5): 1058-1063.

