

文章编号:1007-9629(2021)06-1216-08

黏附砂浆含量对再生混凝土抗氯离子侵蚀性能 影响

陈春红^{1,2}, 刘荣桂¹, 朱平华², 臧旭航²

(1. 江苏大学 土木工程与力学学院, 江苏 镇江 212013; 2. 常州大学 土木工程系, 江苏 常州 213164)

摘要:针对再生粗骨料黏附砂浆含量高的特点,分析其含量变化与再生粗骨料性能的关系,研究全再生粗骨料混凝土在不同黏附砂浆含量下的抗氯离子侵蚀性能演化规律,界定再生粗骨料黏附砂浆含量的门槛值.研究发现:黏附砂浆含量对再生粗骨料和再生混凝土性能影响很大;随着黏附砂浆含量的增加,再生粗骨料吸水率、开口孔隙率和压碎值线性增大,表观密度线性减小,再生混凝土的3、7、28 d抗压强度出现不同程度的降低,孔隙率则逐渐增大;再生混凝土的氯离子扩散系数、自由氯离子含量和结合氯离子含量均随着黏附砂浆含量的增加而逐渐增大,且氯离子结合能力不断增强;再生混凝土氯离子扩散系数与再生粗骨料的黏附砂浆含量呈二次抛物线关系,在D级和E级氯盐环境下,能满足再生混凝土50 a抗氯离子侵入性指标的黏附砂浆含量最大值分别确定为35.03%和23.01%.

关键词:再生骨料;再生混凝土;黏附砂浆;氯离子扩散系数;氯离子含量

中图分类号: TU528.01

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1007-9629.2021.06.013

Effect of Attached Mortar Content on Chloride Ion Erosion Resistance of Recycled Concrete

CHEN Chunhong^{1,2}, LIU Ronggui¹, ZHU Pinghua², ZANG Xuhan²

(1. Faculty of Civil Engineering and Mechanics, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. Department of Civil Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: Aiming at the characteristics of high attached mortar content of recycled coarse aggregate, the relationship between the variation of its content and the performance of recycled coarse aggregate was analyzed, the evolution rule of chloride ion erosion resistance of fully recycled coarse aggregate concrete under different attached mortar content was studied, and the threshold value of the attached mortar content of recycled coarse aggregate was defined. It is found that the content of attached mortar plays a significant role in the performance of recycled coarse aggregate and recycled concrete. With the increase of attached mortar content, the water absorption rate, opening porosity and crushing value of recycled coarse aggregate increase linearly, while the apparent density decreases linearly. The compressive strength of recycled concrete at 3 d, 7 d and 28 d decreases to varying degrees, and the porosity increases gradually. The chloride ion permeability coefficient, free chloride ion content and binding chloride ion content of recycled concrete increase with the increase of attached mortar content, and the chloride ion binding ability enhances continuously. The chloride penetration coefficient of recycled concrete has a quadratic parabola relation with the attached mortar content of recycled coarse aggregate, and the

收稿日期:2020-08-29; 修订日期:2020-10-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51878081, 51778272, 52108190)

第一作者:陈春红(1983—),女,江西吉安人,江苏大学博士生,常州大学讲师. E-mail: chench@cczu.edu.cn

通讯作者:朱平华(1966—),男,湖北天门人,常州大学教授,博士生导师,博士. E-mail: zph@cczu.edu.cn

maximum value of the attached mortar content that meet the anti-chloride ion invasion index of recycled concrete in the environment of grade D and grade E chloride salt for 50 years is 35.03% and 23.01%, respectively.

Key words: recycled aggregate; recycled concrete; attached mortar; chloride ion permeability coefficient; chloride content

随着我国城镇化进程加快,城市建设和改造提速,建筑垃圾剧增,由此造成的环境污染和垃圾围城等问题日益突出.将建筑垃圾资源化利用是解决环境和资源问题的有效措施.再生混凝土是将建筑垃圾破碎后制备成再生骨料,部分或全部替代天然骨料拌制的一种新型绿色混凝土,是目前建筑垃圾资源化利用技术研究和推广的主要方向,可以解决建筑垃圾的环境危机和天然骨料的资源危机.

研究表明,再生混凝土存在很多缺陷,再生骨料质量是影响其性能的关键.再生骨料表面黏附着一定厚度的旧砂浆,使得再生混凝土具有骨料-新砂浆、骨料-旧砂浆和新砂浆-旧砂浆等多重界面,导致再生混凝土较普通混凝土表现出更复杂的非均质材料特性,是影响再生混凝土力学性能和耐久性的根本原因^[1-3].抗氯离子侵蚀是混凝土重要的耐久性,氯离子在混凝土中以化学、物理结合态和自由状态存在并不断迁移,劣化混凝土的界面结构,引起钢筋锈蚀,导致钢筋混凝土结构锈蚀和破坏,不断降低混凝土的耐久性.再生骨料的黏附砂浆结构疏松,存在大量的孔隙、微裂纹和未水化的水泥颗粒,这增加了氯离子的渗透性和氯离子的结合能力,是再生混凝土中薄弱的区域^[4-5].Villagrán-Zaccardi等^[6]研究发现,再生骨料中的黏附砂浆提高了氯离子的结合能力.应敬伟等^[7]利用有限元建立再生骨料混凝土模型,对氯离子扩散进行分析,发现在相同扩散深度下,天然骨料处的氯离子浓度较小,旧砂浆处的氯离子浓度较大,附着旧砂浆和界面过渡区处氯离子扩散较快;在较深部位,随着旧砂浆厚度的增加,总氯离子浓度显著增加.Xiao等^[8]考虑粗骨料分布的随机性,对再生混凝土中的氯离子扩散进行数值建模,并将结果与已有试验数据进行对比,发现氯离子扩散速度随着旧砂浆含量的增加而增大.

目前,有关黏附砂浆对再生混凝土性能影响的研究较少,而且基本是定性研究,而以黏附砂浆含量为量化分析指标,探究其与再生混凝土抗氯盐侵蚀

性能演化规律的研究却鲜有报道.黏附砂浆含量直接影响再生粗骨料的性能,黏附砂浆含量越大,再生混凝土越难以达到目标性能.量化分析黏附砂浆含量与再生混凝土抗氯盐侵蚀性能的规律,确定不同氯盐环境下再生粗骨料黏附砂浆含量,合理科学地利用再生粗骨料,将有效推进建筑垃圾的资源化利用.因此,本文以黏附砂浆含量为指标,探究全再生粗骨料混凝土抗氯盐侵蚀性能的演化规律并分析其作用机制,同时界定黏附砂浆含量门槛值.

1 试验

1.1 试验材料

水泥为42.5级普通硅酸盐水泥,硅灰来源于安徽某化工厂,其化学组成(质量分数,本文涉及的组成、含量和比值等除特别指明外均为质量分数或质量比)列于表1.细骨料为河砂,表观密度为2 586 kg/m³,细度模数为2.4,符合GB/T 14684—2011《建设用砂》的要求.天然粗骨料(NCA)为石灰石碎石,粒径为4.75~20 mm;黏附砂浆含量不同的4种再生粗骨料(RCA)均来自废弃建筑混凝土,分别标记为RCA1、RCA2、RCA3和RCA4,粒径均为4.75~20 mm,级配良好;天然粗骨料和再生粗骨料的性能列于表2.减水剂采用聚羧酸高性能减水剂,减水率为25%.拌和水为洁净自来水.

1.2 配合比设计

再生粗骨料与天然粗骨料的最大区别在于再生粗骨料表面黏附了质量分数为20%~70%的旧砂浆,而旧砂浆对再生粗骨料及再生混凝土性能影响很大.为深入考察再生粗骨料黏附砂浆对混凝土性能的影响,将黏附砂浆含量不同的4种再生粗骨料以100%取代天然粗骨料,制备全再生粗骨料混凝土,分别标记为RAC1、RAC2、RAC3和RAC4;配合比计算采用全计算法^[9],采用等体积取代使天然粗骨料和再生粗骨料的体积相等,计算出再生粗骨料的质量,再确定各项材料的配合比,如表3所示.混凝土设

表1 水泥和硅灰的化学组成
Table 1 Chemical compositions of cement and silica fume

Material	w/%									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Other
Cement	12.54	4.41	3.41	1.96	0.59	72.97	0.21	0.90	0.65	2.36
Silica fume	94.30	0.04		0.08		1.21	0.08	0.01		4.28

表2 再生粗骨料和天然粗骨料的性能
Table 2 Properties of recycled and natural coarse aggregate

Coarse aggregate	Apparent density/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Attached mortar content(by mass)/%	Water absorption at 30 min(by mass)/%	Crush value(by mass)/%	Open porosity(by volume)/%
NCA	2 570	0	1.62	9.7	5.3
RCA1	2 233	25.38	7.28	15.2	14.7
RCA2	2 053	33.18	7.63	17.7	18.0
RCA3	2 207	39.44	8.89	15.6	17.3
RCA4	2 247	42.28	9.66	15.1	17.1

表3 再生混凝土配合比
Table 3 Mix proportion of recycled aggregate concrete

Concrete	Cement	Silica fume	NCA	RCA	Sand	Free water	Superplasticizer	Additional water
NAC	430.00	48.00	881.00		814.00	176.85	0.96	14.27
RAC1	430.00	48.00		765.00	814.00	176.85	0.96	55.69
RAC2	430.00	48.00		770.00	814.00	176.85	0.96	58.75
RAC3	430.00	48.00		763.00	814.00	176.85	0.96	67.83
RAC4	430.00	48.00		704.00	814.00	176.85	0.96	68.01

计强度为 C40,水胶比取 0.37,附加水用量根据表 2 中再生粗骨料 30 min 内的吸水率计算.同时设计了全部使用天然粗骨料的对照组,标记为 NAC.为了使再生混凝土的性能具有可比性,对照组的设计强度、水胶比和胶凝材料用量与再生混凝土一致.

1.3 试验方法

天然粗骨料和再生粗骨料的表观密度、吸水率、开口孔隙率和压碎值按照 GB/T 14685—2011《建设用卵石、碎石》测定;再生粗骨料的黏附砂浆含量通过剥除骨料表面砂浆进行测定,根据骨料与砂浆的热衰减系数和膨胀系数不同,采用热处理方法去除再生粗骨料表面的黏附砂浆^[3,10],试验流程如图 1 所示.

按照表 3 所示的配合比制备混凝土,采用 Tam 等^[11]提出的改进二次搅拌工艺搅拌,流程如图 2 所示.同时按照 GB/T 50080—2002《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》测试混凝土坍落度,NAC、RAC1~RAC5 的坍落度分别为 117、124、128、130、133 mm.拌和成型后,拆模取出试件,再放入标准养

护室内养护 28 d,然后按照以下方法对混凝土的性能进行测试:

(1)混凝土抗压强度参照 GB/T 50081—2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》测定,试件尺寸为 150 mm×150 mm×150 mm.

(2)混凝土氯离子扩散系数参照 GB/T 50082—2019《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》,采用快速氯离子迁移系数法(RCM法)测定.

(3)为了测试混凝土中的氯离子含量,制备尺寸为 150 mm×150 mm×300 mm 的混凝土试件,浸泡在质量分数为 10% 的 NaCl 溶液中 90 d,然后在试件两侧面中线以及距两端 40 mm 的线段上分别取距试件表面 0、5、10、15、20 mm 等不同深度的样品,参照 SL352—2006《水工混凝土试验规程》,测定样品的自由氯离子含量 c_f 和氯离子总含量 c_t ,并计算其结合氯离子含量 $c_b = c_t - c_f$ 和氯离子结合能力 $R = c_b / c_t$.

(4)混凝土孔隙率按照“可蒸发水含量法”测试^[12-13],试件为直径 150 mm、高 300 mm 的圆柱体.

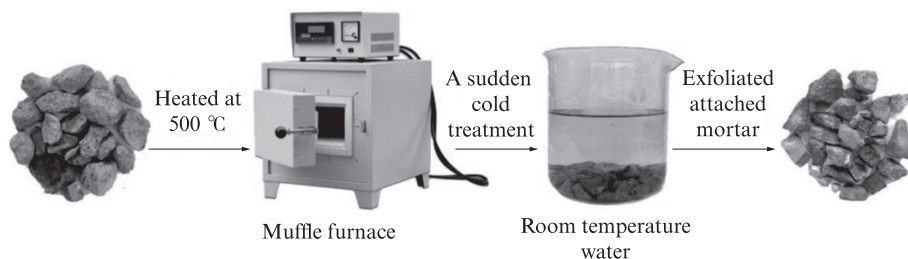


图1 测定黏附砂浆含量的试验流程

Fig. 1 Test flow for determination of attached mortar content

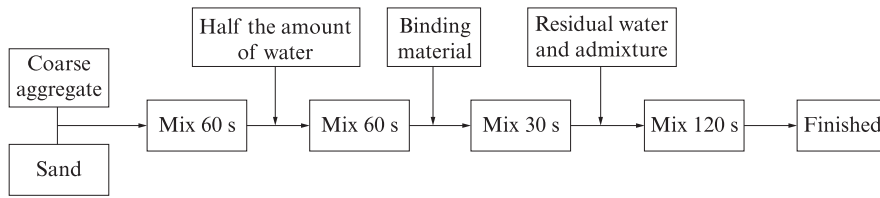


图2 混凝土二次搅拌工艺流程图

Fig. 2 Flow diagram of concrete secondary mix process

2 试验结果与分析

2.1 黏附砂浆含量对再生粗骨料性能的影响

图3为黏附砂浆含量不同的再生粗骨料性能变化趋势.由图3(a)~(c)拟合的趋势线可知,再生粗骨料的吸水率、开口孔隙率和压碎值均与黏附砂浆含量呈正相关关系.其中,RCA4的黏附砂浆含量最高,其吸水率、开口孔隙率和压碎值最大,分别是NCA的6.0倍、3.4倍和1.82倍.由图3(d)拟合的趋势线可知,再生粗骨料的表观密度与黏附砂浆含量呈负相关关系.RCA4的表观密度最小,是NCA的86.3%.但是图3(c)中再生粗骨料的压碎值并不随着黏附砂

浆含量的增大而单调增加,这可能是因为再生粗骨料来自不同来源的废弃混凝土,原生骨料的性能和混凝土强度对再生骨料的性能会产生较大影响,导致不同再生粗骨料的黏附砂浆以及黏附砂浆与骨料之间界面过渡区的力学性能有差异,从而影响再生粗骨料的压碎值.但是从试验结果依然可以推断,再生粗骨料表面的黏附砂浆含量是影响其性能差异的重要因素,随着黏附砂浆含量增加,再生粗骨料的性能呈现劣化趋势,这与文献[11]的研究结果一致.这是因为黏附砂浆疏松多孔,密度较低,含有很多微裂纹和孔隙,导致再生粗骨料的吸水率和开口孔隙率大幅度增加,表观密度却降低.

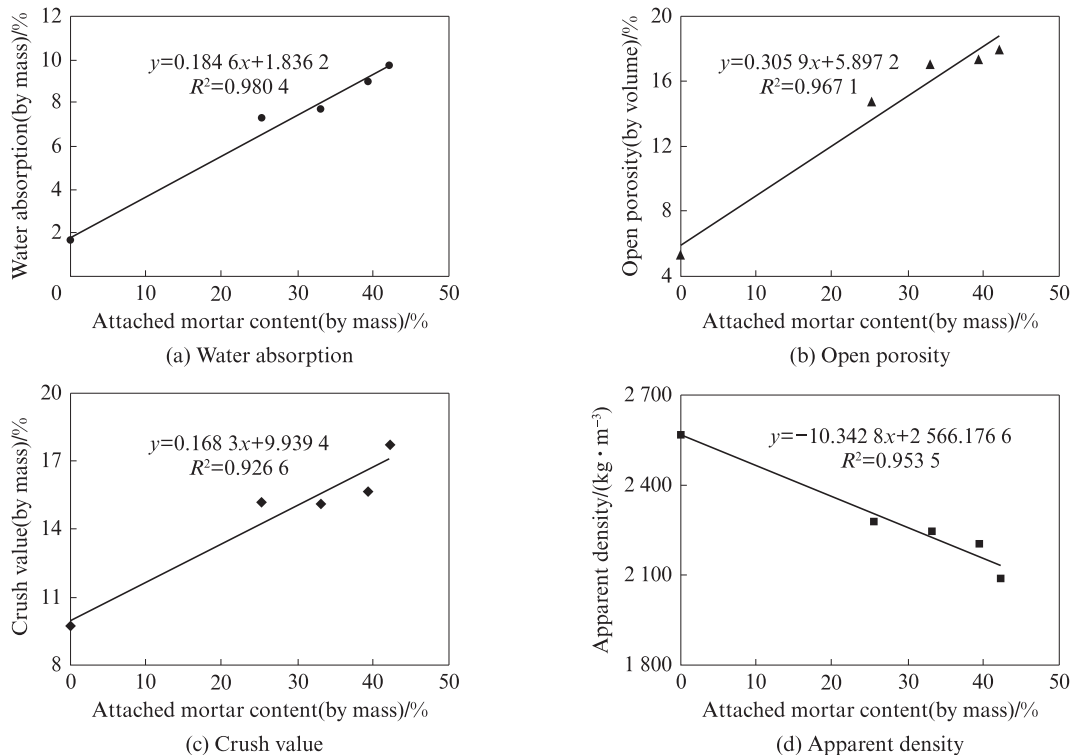


图3 黏附砂浆含量与再生粗骨料性能关系

Fig. 3 Relation between attached mortar content and coarse aggregate properties

再生粗骨料的性能是影响再生混凝土性能的主要因素.再生粗骨料性能要达到GB/T 25177—2010《混凝土用再生粗骨料》的Ⅲ类标准,其吸水率和压碎值要分别小于8%和30%,表观密度要大于

2 250 kg/m³.根据图3中吸水率、压碎值和表观密度的拟合公式可知,此时再生粗骨料的黏附砂浆含量分别不能超过33.38%、119.2%和30.57%.由此可知,再生粗骨料吸水率和表观密度对其黏附砂浆

含量要求较严格,压碎值对黏附砂浆含量要求不太严格。

2.2 黏附砂浆含量对再生混凝土抗压强度和孔隙率的影响

图4为混凝土各龄期(3、7、28 d)抗压强度。由图4可见,再生混凝土的各龄期抗压强度均低于普通混凝土,且随着再生粗骨料黏附砂浆含量的增加,再生混凝土的抗压强度逐渐降低。NAC的3、7 d抗压强度分别为27.7 MPa和38.6 MPa,是其28 d抗压强度46.7 MPa的60%和83%,而再生混凝土的早期抗压强度均不高,尤其是RAC4的3、7 d抗压强度分别为16.6 MPa和23.9 MPa,是其28 d抗压强度36.1 MPa的47%和68%。

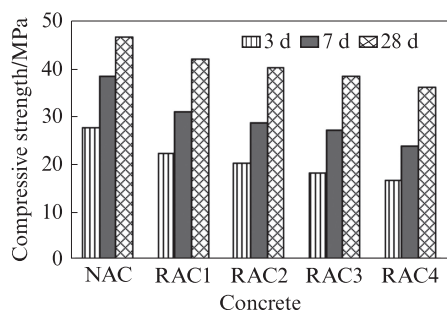


图4 混凝土不同龄期的抗压强度

Fig. 4 Compressive strength of concrete

这是因为在拌和混凝土时再生骨料会吸收大量水分,这些附加水分在混凝土硬化过程中会逐渐渗出,引起界面过渡区砂浆的有效水胶比增大,影响了骨料与新砂浆的界面反应,从而导致再生混凝土抗压强度降低;黏附砂浆含量越高,吸水率越大,这种对混凝土抗压强度的削弱效应越明显,RAC3、RAC4的28 d抗压强度仅为38.6 MPa和36.1 MPa,没有达到设计强度40 MPa。

图5为混凝土的孔隙率随黏附砂浆含量的变化趋势。由图5可知,再生混凝土的孔隙率大于天然混凝土,且随着黏附砂浆含量的增加而线性增大。这是

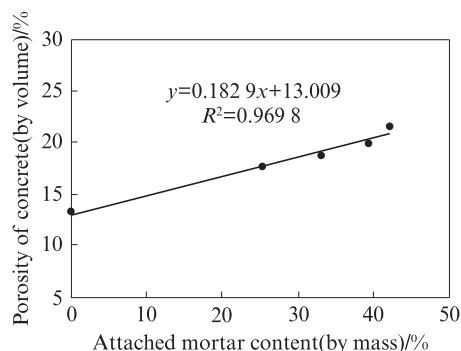


图5 黏附砂浆含量与混凝土孔隙率的关系

Fig. 5 Relationship between attached mortar content and porosity of concrete

因为,再生粗骨料的孔隙率很大,水泥水化会细化部分孔隙,但是再生粗骨料的附加用水量又会引起再生混凝土孔隙率的增加,导致再生混凝土与天然混凝土的孔隙率产生差异,这种差异又会随着再生粗骨料黏附砂浆含量的增加而变大。“可蒸发水含量法”测得的是混凝土的连通孔隙率,而氯离子侵入混凝土的主要方式是将水分作为载体,通过连通孔隙不断渗入到混凝土内部,因此再生混凝土的孔隙率越大,说明其抗氯离子侵蚀性能越差。

2.3 黏附砂浆含量对再生混凝土氯离子扩散性能的影响

图6为再生混凝土的氯离子扩散系数 D_{RCM} 与其黏附砂浆含量的关系图。由图6可知,再生混凝土的氯离子扩散系数远远高于天然混凝土,且随着再生粗骨料黏附砂浆含量的增加而不断增大,RAC1、RAC2、RAC3、RAC4的 D_{RCM} 值分别是NAC的2.2倍、2.7倍、3.4倍和4.1倍。正如2.2分析,再生粗骨料表面黏附砂浆含量越高,再生混凝土的孔隙率越高,这些孔隙促进了氯离子的不断渗透,导致再生混凝土的氯离子扩散系数增大^[14]。粗骨料是一种近似不透氯离子的介质,而砂浆和界面过渡区是混凝土氯离子渗透的薄弱区域,吸附砂浆的存在削弱了混凝土内部的界面过渡区,增加了砂浆总量,从而劣化了混凝土的抗氯离子性能,且随着黏附砂浆含量的增加,这种劣化作用逐渐变强,导致再生混凝土的氯离子扩散系数大幅增大。

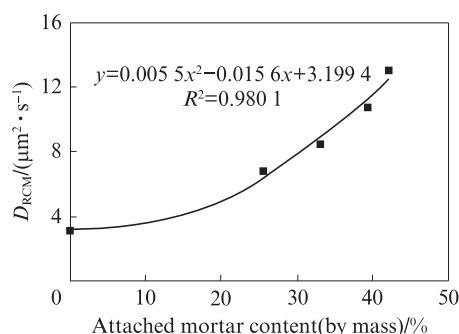


图6 黏附砂浆含量与氯离子扩散系数关系

Fig. 6 Relation between attached mortar content and D_{RCM}

对图6中的试验数据进行拟合,可见再生粗骨料黏附砂浆含量与氯离子扩散系数 D_{RCM} 呈二次抛物线关系,如式(1)所示。

$$y = 0.006x^2 - 0.016x + 3.199,$$

$$x \in [0\%, 42.28\%], R^2 = 0.980 \quad (1)$$

式中: y 为氯离子扩散系数 D_{RCM} , $\mu m^2/s$; x 为再生粗骨

料黏附砂浆含量, %.

根据 GB/T 50476—2019《混凝土结构耐久性设计标准》规定,对于在氯化物环境中的重要配筋混凝土结构工程,若设计使用年限为 100 a,则当环境作用等级为 D 级时, $D_{\text{RCM}} < 7 \mu\text{m}^2/\text{s}$,此时由式(1)可得黏附砂浆含量的最大值为 26.54%,当作用等级为 E 级时, $D_{\text{RCM}} < 4 \mu\text{m}^2/\text{s}$,同样可由式(1)得到黏附砂浆含量的最大值为 12.97%;若设计使用年限为 50 a,则当环境作用等级为 D 级时, $D_{\text{RCM}} < 10 \mu\text{m}^2/\text{s}$,此时黏附砂浆含量的最大值为 35.03%,当作用等级为 E 级时, $D_{\text{RCM}} < 6 \mu\text{m}^2/\text{s}$,此时黏附砂浆含量的最大值为 23.01%.

2.4 黏附砂浆含量对再生混凝土氯离子含量的影响

自由氯离子是引起混凝土内部钢筋锈蚀和承载力下降的主要原因.图 7(a)为再生混凝土自由氯离子含量 c_f 随取样深度的变化趋势.由图 7(a)可见:在相同取样深度处, c_f 随着黏附砂浆含量的增加而增大;同一黏附砂浆含量下, c_f 随取样深度的增加而急剧减小;再生混凝土的自由氯离子含量比天然混凝土高,尤其是 RAC4.这归因于再生混凝土孔隙率高,氯离子扩散系数大,导致混凝土中自由氯离子含量高,从而引起混凝土的 pH 值下降和钢筋锈蚀.

混凝土中结合氯离子存在的形式包括化学结合

和物理吸附.氯离子的化学结合,一方面主要是氯离子与砂浆内部 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 发生化学反应,生成 Friedel's 盐 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 和氯化钙;另一方面是与孔隙中的氢氧化钙发生反应,生成膨胀性复盐 ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).对氯离子进行物理吸附的主要是 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 和 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 的水化产物 C-S-H 凝胶,且 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 的结合能力大约占氯离子总结合能力的 25%~50%^[2,15].图 7(b)~(c)为再生混凝土的结合氯离子含量 c_b 和氯离子结合能力 R 随取样深度的变化趋势.由图 7(b)~(c)可知,再生混凝土的结合氯离子含量 c_b 和氯离子结合能力 R 均大于天然混凝土,而且随着黏附砂浆含量的增加而增大.相比天然混凝土,再生混凝土的砂浆总含量(新砂浆和旧砂浆含量之和)较高,使得再生混凝土的孔隙率较大,比表面积变大,导致再生混凝土的氯离子结合能力更强,这与文献[16]的研究结果一致.已有研究表明^[17-18],混凝土中的结合氯离子并不稳定,在环境氯离子浓度、酸化、化学侵蚀、外电场、温度等作用下会失稳,释放出自由氯离子,加剧钢筋锈蚀.因此对再生混凝土的抗氯盐侵蚀性能进行评估时,要考虑结合氯离子含量的影响.

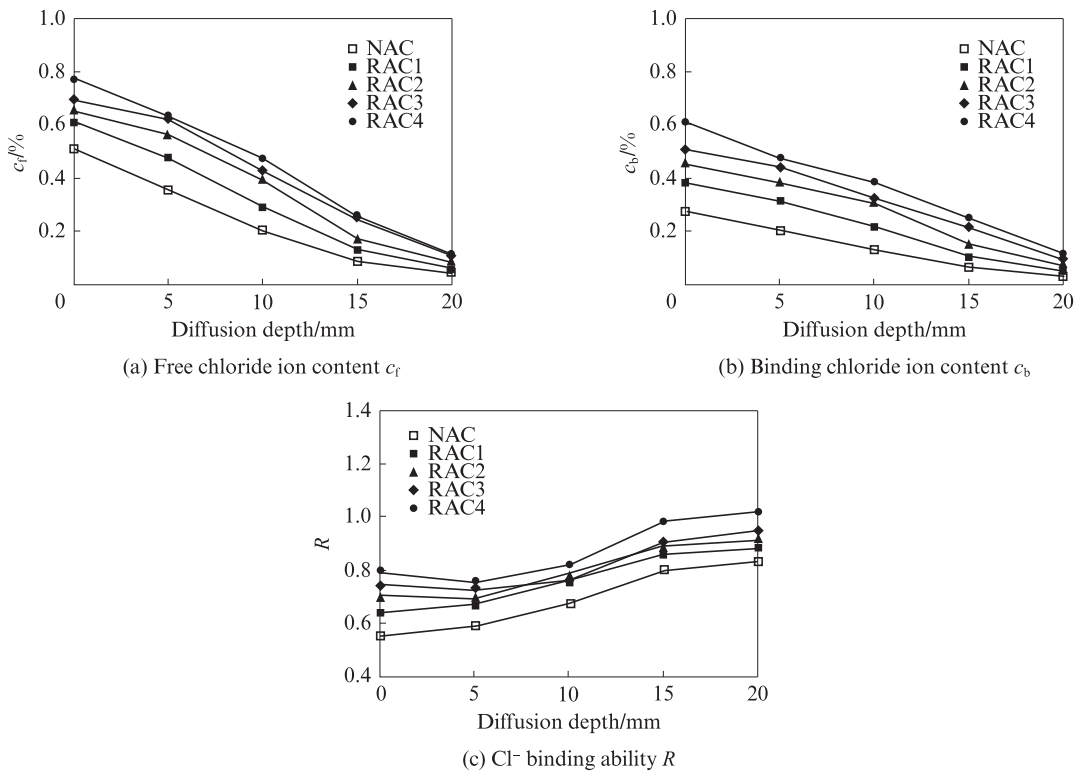


图7 混凝土氯离子含量与扩散深度关系

Fig. 7 Relationship between chloride ion content and diffusion depth of concret

2.5 天然混凝土和再生混凝土的SEM分析

图8为再生混凝土RAC4与天然混凝土NAC的电镜扫描(SEM)图。

对比图8(a)、(d)可见:天然粗骨料的表面较为光滑,骨料颗粒规则整齐,孔隙较少,结构致密;而再生粗骨料整体结构呈松散多孔状,表面较多孔隙,骨料与黏附砂浆之间的联接不够紧密,有明显的界面过渡区,在界面周围有一些裂纹。再生粗骨料的微观结构变化是引起再生混凝土性能变化的根本原因,微观结构变化表明,再生粗骨料的品质会随着黏附砂浆含量的增加而逐渐降低,这与表2中粗骨料的性能相一致。

图8(b)、(e)是氯盐侵蚀前的天然混凝土和再生混凝土的SEM图。对比可见:天然混凝土的结构界面比较清晰,表面致密,天然骨料和砂浆黏结较为紧

密,孔隙较少;而再生混凝土结构表面粗糙,界面比较模糊,有较多的微裂缝和孔隙。

图8(c)、(f)是在氯盐中浸泡90 d后的天然混凝土和再生混凝土的SEM图。对比可见:天然混凝土和再生混凝土表面孔隙增多,结构较为松散,并附着大量的盐晶体,说明氯离子渗透到混凝土内部后,与混凝土发生了化学结合,生成了Friedel's盐和膨胀性复盐,这2种反应会剧烈消耗砂浆内部的氢氧根,使孔隙液pH值下降,C-S-H发生分解,导致再生混凝土孔隙结构劣化,混凝土的致密性及其稳定性降低^[19-20]。尤其是再生混凝土的黏附砂浆含量高,界面处黏结薄弱,内部的孔隙和裂缝多,大量的孔隙加快了氯离子在混凝土中的渗透,导致再生混凝土结构更加松散。

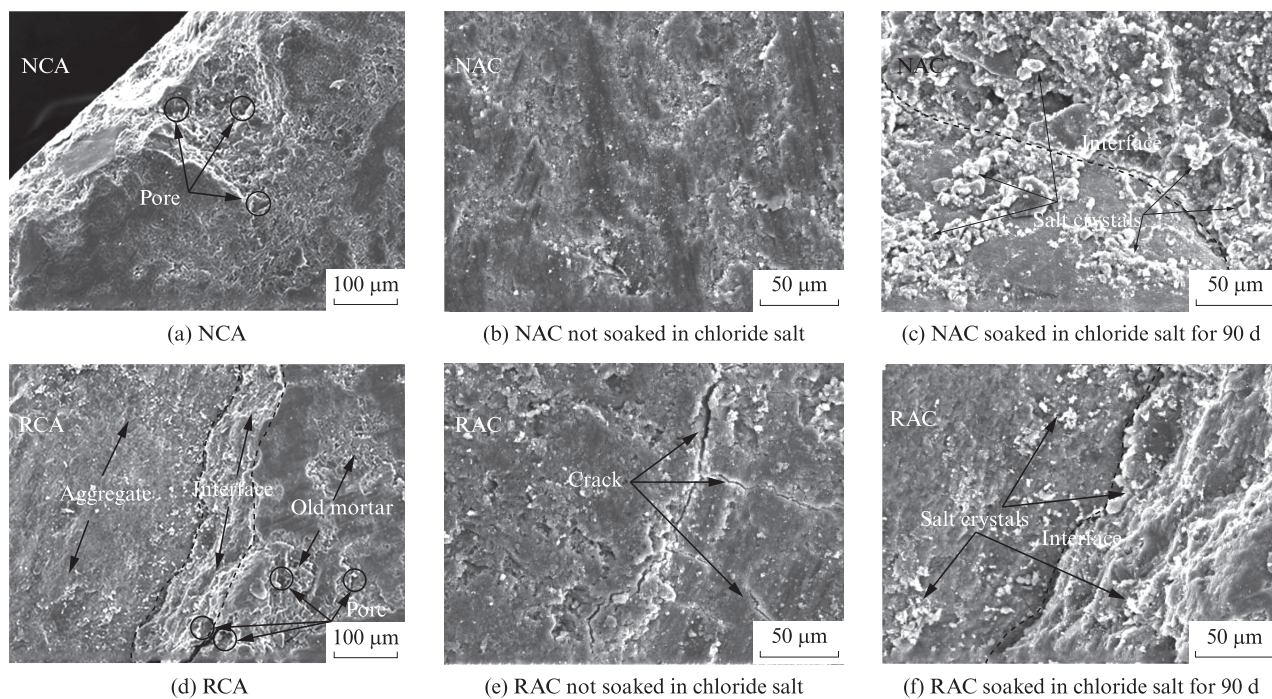


图8 混凝土电镜扫描SEM图

Fig. 8 SEM images of recycled aggregate concrete

3 结论

(1)再生粗骨料的黏附砂浆含量是影响其性能的主要因素。随着黏附砂浆含量的增加,再生粗骨料的吸水率、开口孔隙率和压碎值线性增加,表观密度线性降低。根据吸水率、开口孔隙率、压碎值和表观密度指标,再生粗骨料性能要达到GB/T 25177—2010《混凝土用再生粗骨料》中的Ⅲ类标准,则其黏附砂浆含量最大值不能超过30.57%。

(2)随着再生粗骨料黏附砂浆含量的增加,再生粗骨料的吸水性能将影响再生混凝土的有效水胶

比,导致其3、7、28 d的抗压强度出现不同程度的降低,RAC3、RAC4的28 d抗压强度仅为38.6 MPa和36.1 MPa,没有达到设计强度40 MPa;而再生混凝土的孔隙率逐渐增大。

(3)再生混凝土的氯离子扩散系数、自由氯离子含量和结合氯离子含量随着黏附砂浆含量的增加而增大,而且氯离子结合能力逐渐增强,对再生混凝土的抗氯盐侵蚀性能进行评估时要考虑结合氯离子含量的影响。再生混凝土的氯离子扩散系数与再生粗骨料的黏附砂浆含量呈二次抛物线关系,能满足再生混凝土在D级和E级氯盐环境下50 a抗氯离子侵

入性指标的黏附砂浆含量最大值分别确定为35.03%和23.01%。

参考文献:

- [1] 曹万林,赵羽习,叶涛萍.再生混凝土结构长期工作性能研究进展[J].哈尔滨工业大学学报,2019,51(6):1-16.
CAO Wanlin, ZHAO Yuxi, YE Taoping. A review of recent advances in the long-term working characteristic of recycled concrete structure[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2019, 51(6):1-16. (in Chinese)
- [2] 李恒,郭庆军,王家滨,等.再生混凝土界面结构及耐久性综述[J].材料导报,2020,34(7):13050-13057.
LI Heng, GUO Qingjun, WANG Jiabin, et al. Meso-/micro-structure of interfacial transition zone and durability of recycled aggregate concrete: A review[J]. Materials Reports, 2020, 34(7):13050-13057. (in Chinese)
- [3] DUAN Z H, POON C S. Properties of recycled aggregate concrete made with recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars[J]. Materials and Design, 2014, 58: 19-29.
- [4] DODDS W, CHRISTODOULOU C, GOODIER C, et al. Durability performance of sustainable structural concrete: Effect of coarse crushed concrete aggregate on rapid chloride migration and accelerated corrosion[J]. Construction and Building Materials, 2017, 155:511-521.
- [5] GUO H, SHI C J, GUAN X M, et al. Durability of recycled aggregate concrete—A review[J]. Cement and Concrete Composites, 2018, 89:251-259.
- [6] VILLAGRÁN-ZACCARDI Y A, ZAGA C J, MAIO A A D. Chloride permeability and binding in recycled concrete[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2008, 20(6): 449-455.
- [7] 应敬伟,肖建庄.模型再生混凝土氯离子非线性扩散微观仿真[J].建筑材料学报,2013,16(5):863-868.
YING Jingwei, XIAO Jianzhuang. Meso-level simulation of chloride nonlinear diffusion in modeled recycled aggregate concrete[J]. Journal of Building Materials, 2013, 16(5):863-868. (in Chinese)
- [8] XIAO J Z, LI W G, SUN Z H, et al. Properties of interfacial transition zones in recycled aggregate concrete tested by nanoindentation[J]. Cement and Concrete Composites, 2013, 37(3):276-292.
- [9] 陈建奎,王栋民.高性能混凝土(HPC)配合比设计新法—全算法[J].硅酸盐学报,2000,28(2):194-198.
CHEN Jiankui, WANG Dongmin. High-performance concrete (HPC) mix design new method—full calculation method[J]. Journal of Chinese Ceramic Society, 2000, 28(2): 194-198. (in Chinese)
- [10] JUAN M S, GUTIÉRREZ P A. Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate[J]. Construction and Building Materials, 2008, 23(2):872-877.
- [11] TAM V, TAM C. Assessment of durability of recycled aggregate concrete produced by two-stage mixing approach[J]. Journal of Materials Science, 2007, 42(10):3592-3602.
- [12] 吴相豪,岳鹏君.再生混凝土中氯离子渗透性能试验研究[J].建筑材料学报,2011,14(3):381-384, 417.
WU Xianghao, YUE Pengjun. Experimental study on chloride ion penetration into recycled aggregate concrete[J]. Journal of Building Materials, 2011, 14(3):381-384, 417. (in Chinese)
- [13] 谢友均,马昆林,龙广成,等.矿物掺合料对混凝土中氯离子渗透性的影响[J].硅酸盐学报,2006,34(11):1345-1350.
XIE Youjun, MA Kunlin, LONG Guangcheng, et al. Influence of mineral admixture on chloride ion permeability of concrete[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2006, 34(11):1345-1350. (in Chinese)
- [14] XIAO J Z, YING J W, TAM V, et al. Test and prediction of chloride diffusion in recycled aggregate concrete[J]. Science China Technological Sciences, 2014, 57(12):2357-2370.
- [15] FLOREA M, BROUWERS H. Chloride binding related to hydration products: Part I: Ordinary Portland cement[J]. Cement Concrete Research, 2012, 42(2):282-290.
- [16] VÁZQUEZ E, MARILDA B, DIEGO A, et al. Improvement of the durability of concrete with recycled aggregates in chloride exposed environment[J]. Construction and Building Materials, 2014, 67(Special I):61-67.
- [17] BYUNG H O, SEUNG Y J. Effects of material and environmental parameters on chloride penetration profiles in concrete structures[J]. Cement and Concrete Research, 2007, 37(1): 47-53.
- [18] HAN S H. Influence of diffusion coefficient on chloride ion penetration of concrete structure[J]. Construction and Building Materials, 2007, 21(2):370-378.
- [19] YURY A V Z, CLAUDIO J Z, ÁNGEL A D M. Chloride penetration and binding in recycled concrete[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2008, 20(6):449-455.
- [20] JIN Z Q, ZHAO X, ZHAO T J, et al. Chloride ions transportation behavior and binding capacity of concrete exposed to different marine corrosion zones[J]. Construction and Building Materials, 2018, 177:170-183.