

文章编号: 1673-9469 (2017) 03-0056-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2017.03.012

## 废砖骨料对再生混凝土抗压与收缩性能的影响

安新正<sup>1</sup>, 牛薇<sup>1</sup>, 杨莹莹<sup>1</sup>, 张亚飞<sup>1</sup>, 刘燕<sup>2</sup>

(1. 河北工程大学土木工程学院结构实验教学示范中心, 河北邯郸 056038; 2. 河北农业大学城乡建设学院, 河北保定 071001)

**摘要:** 以废砖粗骨料的等体积取代率为变化因素, 在分析预吸水处理与裹浆处理条件下, 废砖粗骨料等体积取代废弃混凝土粗骨料对再生混凝土抗压强度影响的基础上, 着重探讨了废砖粗骨料体积取代率对再生混凝土收缩变形性能的影响。研究表明, 等体积取代率为 25% 时, 预吸水处理与裹浆处理均可最有效地降低再生混凝土的收缩变形, 而对再生混凝土抗压强度却没有明显的降低作用。等体积取代率为 25% 时, 预吸水处理下再生混凝土的抗收缩变形性能优于裹浆处理, 而裹浆处理下再生混凝土抗压强度高于预吸水处理。

**关键词:** 废砖粗骨料; 预处理; 再生混凝土; 等体积取代率; 收缩与抗压性能

**中图分类号:** TU528.01

**文献标识码:** A

## Influence of waste brick coarse aggregate on compressive and shrinkage of recycled concrete

AN Xinzheng<sup>1</sup>, NIU Wei<sup>1</sup>, YANG Yingying<sup>1</sup>, ZHANG Yafei<sup>1</sup>, LIU Yan<sup>2</sup>

(1. Structural Experiment Teaching Demonstration Center of College of Civil Engineering, Hebei University of Engineer, Hebei Handan, 056038, China; 2. College of Urban and Rural Construction, Agricultural University of Hebei, Hebei Baoding, 071001, China)

**Abstract:** Taking equal volume replacement ratio of waste brick coarse aggregate as variable, the paper, based on discussing the influence of the waste brick coarse aggregate on the compressive strength of recycled concrete by replacing waste concrete coarse aggregate on equal volume, explores emphatically the impact of the volume replacement ratio of waste brick coarse aggregate to the shrinkage and deformation of recycled concrete. The results show that the volume replacement rate is 25%, water treatment and pre wrapped treatment can most effectively reduce the shrinkage deformation of recycled concrete, and the compressive strength of recycled concrete is not reduced obviously. When the volume replacement ratio is 25%, the shrinkage resistance of recycled concrete is better than that of wrapping treatment, and the compressive strength of wrapped slurry processing recycled concrete is higher than that of pre absorption treatment.

**Key words:** waste brick coarse aggregate; pretreatment; recycled concrete; equal volume replacement ratio; shrinkage and compressive properties

再生混凝土的工程应用大大减轻了土木工程建设对天然骨料资源的依赖和建筑垃圾(因旧建筑拆除,地震、洪水等自然灾害产生的固体废弃物)排放、占地所带来的生态环境问题,对建筑业的可持续发展十分有利。由于再生混凝土的水化、硬化过程极

易发生收缩开裂<sup>[1]</sup>,且收缩开裂是其工程应用中比较突出的难题。目前,尽管相关再生混凝土收缩性能方面的研究文献较多<sup>[2-4]</sup>,但针对废砖骨料掺量对再生混凝土抗压及收缩性能影响的相关研究却少有涉及。建筑垃圾中废砖块的含量仅次于废弃混凝土,

收稿日期: 2017-04-24

特约专稿

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(E2015204111); 河北省科学技术研究与发展计划项目(15273609D)

作者简介: 安新正(1963-),男,河南镇平人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事土木工程材料、结构耐久性理论研究与设计工作。

对其废弃不用会造成严重的环境问题<sup>[5-6]</sup>，因此研究废砖骨料掺量对再生混凝土收缩变形及抗压性能的影响规律具有重要的现实意义<sup>[7]</sup>。

本文采用预吸水处理法对废砖粗骨料进行预处理，采用裹浆法对废砖粗骨料和废弃混凝土粗骨料进行预处理，研究不同废砖粗骨料等体积取代率下再生混凝土抗压强度与收缩变形的变化规律，为废砖骨料与废弃混凝土骨料的工程应用提供有益参考。

## 1 试验概况

### 1.1 制作试件的原材料

水泥：采用太行山 P.O 42.5 级水泥；粉煤灰：采用邯郸码头电厂生产的 II 级灰（烧失量：7.39%，需水量比：103%）；减水剂：采用 TW-JS 聚羧酸高效减水剂；细骨料：采用天然河砂（细度模数为 1.80，表观密度  $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ）；水：采用邯郸市饮用自来水。

粗骨料：采用再生粗骨料（废弃混凝土粗骨料和废砖粗骨料）。废弃混凝土粗骨料采用建筑拆除的强度为 C30 的废弃混凝土块为骨料来源，经分拣、清洗、破碎和筛分而成的粗骨料（粒径范围为 5 ~ 25 mm）；废砖粗骨料采用建筑拆除的强度为 MU7.5 的废弃粘土砖块为骨料来源，经分拣、清洗、破碎和筛分而成的粗骨料（粒径范围为 5 ~ 25 mm）。废弃混凝土粗骨料和废砖粗骨料的级配均满足文献[8]的相关要求。再生粗骨料基本性能指标的测试结果见表 1。从表 1 可以看出，废砖粗骨料的饱和面干吸水率（浸泡 24 h 后，擦拭至面干时的吸水率）

约为废弃混凝土粗骨料的 3.18 倍，压碎指标约为废弃混凝土粗骨料的 1.7 倍。

### 1.2 再生粗骨料的预处理

#### 1.2.1 预吸水处理

预吸水处理是在常温、常压下将多孔、高吸水的废砖粗骨料投入到已准备好的盛有自来水的水池之中，使其完全淹没，并在其浸泡 24 h 后捞出，且擦拭至面干，形成预吸水面干废砖粗骨料。

#### 1.2.2 裹浆处理

裹浆处理是先将水泥、粉煤灰、自来水（设计拌和水用量的一半）与高效减水剂拌制成净浆状，然后再加入废砖粗骨料和废弃混凝土粗骨料，搅拌 60 s 后，再将细骨料和剩余用水加入并搅拌 100 s。

#### 1.2.3 再生混凝土配合比

粗骨料全部采用废弃混凝土粗骨料的再生混凝土（基准再生混凝土），用 RC 表示；分别选取  $r=15\%$ 、 $r=25\%$  和  $r=35\%$  的等体积取代率，由预吸水处理后的废砖粗骨料部分等体积取代废弃混凝土粗骨料而配制的再生混凝土，分别用 ZRC1、ZRC2 和 ZRC3 表示；分别选取  $r=15\%$ 、 $r=25\%$  和  $r=35\%$  的等体积取代率，由废砖粗骨料部分等体积取代废弃混凝土粗骨料，并经裹浆处理方法而配制的再生混凝土，分别用 ZGRC1、ZGRC2 和 ZGRC3 表示。再生混凝土配合比详见表 2 所示<sup>[9]</sup>。胶凝材料中粉煤灰掺量为水泥质量的 10%。在再生混凝土的配制中，水胶比取 0.45（不包含废砖粗骨料 24 h 吸收的水量）。通过调整减水剂的掺入量将再生混凝土的坍落度控制在 180 mm 左右，以保证新拌再生混凝土

表 1 再生粗骨料的性能指标  
Tab.1 Basic properties of recycled coarse aggregate

再生粗骨料类别	堆积密度 / ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	表观密度 / ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	压碎指标 / %	饱和面干吸水率 / %	含泥量 / %
废砖粗骨料	872	2 130	17.3	16.32	0.50
废弃混凝土粗骨料	1 206	2 462	10.4	5.13	0.31

表 2 再生混凝土配合比  
Tab.2 Mix proportions of recycled concrete mixtures

试件编号	水泥 / ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	粉煤灰 / ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	河砂 / ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	废弃混凝土粗骨料 / ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	废砖粗骨料等体积取代率 / %
RC	376	40	680	1103	0
ZRC1	376	40	680	922	15
ZRC2	376	40	680	802	25
ZRC3	376	40	680	681	35
ZGRC1	376	40	680	922	15
ZGRC2	376	40	680	802	25
ZGRC3	376	40	680	681	35

土的基本工作性能。

### 1.3 收缩与抗压性能试验方法

依照设计的各试验系列再生混凝土配合比进行再生混凝土的拌制,并完成各试验系列试件的浇筑。具体内容如下:再生混凝土收缩变形实验采用  $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 515\text{ mm}$  棱柱体试样,试样每组制作3个试件,24 h后拆模并立即放置于标准养护箱中(温度:  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,相对湿度:95%以上)养护。3 d后将试件从标准养护箱中取出并移送至温度为  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,相对湿度为  $(60 \pm 5)\%$  的恒温、恒湿室内,待试件静止4 h后对其初始长度值进行测量,此后对每组实验试件按1、3、7、14、28、45、60、90、120、150、180 d的时间间隔,在参照文献[10]相关要求的基础上测量其变形读数(精度为0.01 mm)。再生混凝土抗压强度实验采用  $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$  的立方体试样,试样每组制作3个试件,养护条件与收缩变形实验试件相同。试验试件28 d抗压强度实验依据文献[11]的相关要求进行测试。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 等体积取代率 $r$ 对再生混凝土抗压强度的影响

抗压强度取每组3个试件试验结果的平均值作为代表值。预吸水处理和裹浆处理下, $r$ 对再生混凝土抗压强度(28 d)影响的试验结果分别见图1和图2所示。

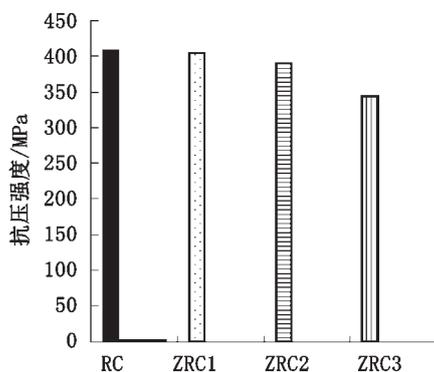


图1 预吸水处理下  $r$  对再生混凝土抗压强度的影响  
Fig.1 Effect of  $r$  on compressive strength of recycled concrete under pre-wetted dispose

#### 2.1.1 预吸水处理下 $r$ 对再生混凝土抗压强度的影响

由图1可知,与RC组( $r=0\%$ )试件相比较,废砖粗骨料经预吸水处理后,当  $r=15\%$  时,再生混凝土

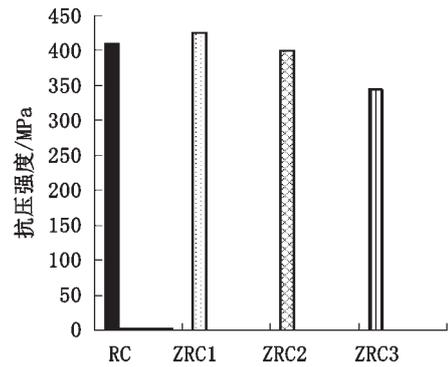


图2 裹浆处理下  $r$  对再生混凝土抗压强度的影响  
Fig.2 Effect of  $r$  on compressive strength of recycled concrete under paste dispose

土抗压强度降低约为1.22%;当  $r=25\%$  时,再生混凝土抗压强度降低约为4.86%;当  $r$  为35%时,再生混凝土抗压强度的降低量已达24.6%。可见,在  $r$  不超过25%时, $r$ 对再生混凝土抗压强度的降低作用并不明显,而当  $r$  超过25%时, $r$ 对再生混凝土抗压强度的降低作用显著增强。

#### 2.1.2 裹浆处理下 $r$ 对再生混凝土抗压强度的影响

由图2可知,与  $r=0\%$  的RC组试件相比较,裹浆处理下,当  $r=15\%$  时,再生混凝土抗压强度提高了3.7%,而当  $r=25\%$  和  $r=35\%$  时,再生混凝土的抗压强度却分别降低了2.4%和16.1%。可见,当  $r$  超过25%时, $r$ 对再生混凝土抗压强度的降低作用增强趋势。

### 2.2 等体积取代率 $r$ 对再生混凝土收缩变形的影响

收缩变形取每组3个试件试验结果的平均值作为代表值。预吸水处理和裹浆处理下, $r$ 对再生混凝土收缩变形影响的试验结果见图3与图4。试验结果表明:在28 d之前,各组再生混凝土试件的收

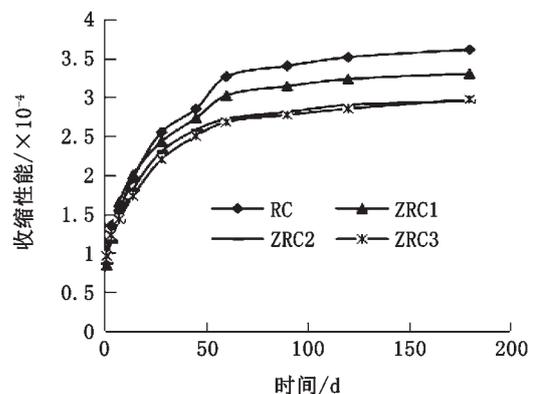


图3 预吸水处理下  $r$  对再生混凝土收缩性能的影响  
Fig.3 Effect of  $r$  on shrinkage of recycled concrete under pre-wetted dispose

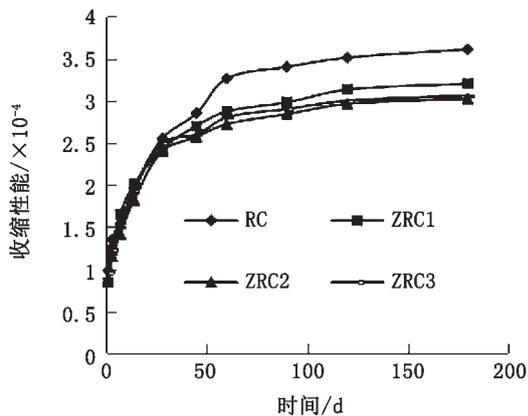


图4 裹浆处理下  $r$  对再生混凝土收缩性能的影响

Fig.4 Effect of  $r$  on shrinkage of recycled concrete under paste dispose

缩变形均随着时间的增加都有较快的增长,之后收缩变形减缓,45 d之后各组再生混凝土试件的收缩变形已基本趋于稳定。各组试件60 d的收缩变形值均达到其180 d收缩变形值的90%以上。

#### 2.2.1 预吸水处理下 $r$ 对再生混凝土收缩变形的影响

由图3可知,在相同龄期条件下, $r$ 分别为15%,25%和35%再生混凝土试件的收缩变形量均小于等体积取代率为0%的RC组试件的收缩变形量。试件组收缩变形量由大到小的排列顺序为:RC组>ZRC1组>ZRC2组>ZRC3组。在180 d时,与RC组试件相比较, $r$ 分别为15%,25%和35%时,其收缩变形量分别减小了8.6%,18.4%和17.5%。这主要是由于废砖粗骨料在常压下自来水预浸泡过程中,大量水分被吸附到废砖粗骨料内部的大空隙之中,对再生混凝土水化、硬化和环境蒸发过程中消耗掉的水分形成有效补充,减小了再生混凝土内部毛细孔压力,从而有效地降低了再生混凝土体积收缩变形的发生<sup>[12]</sup>。但当 $r$ 超过界限值后,废砖粗骨料对界面过渡区的弱化作用增强,并使再生混凝土的抗收缩变形能力减弱。

#### 2.2.2 裹浆处理下 $r$ 对再生混凝土收缩变形的影响

从图4中可以看出,在相同龄期条件下, $r$ 分别为15%,25%和35%再生混凝土试件的收缩变形量均小于RC组试件的收缩变形量。在180 d时,与RC组试件相比较, $r$ 分别为15%,25%和35%时,其收缩变形量分别减小了14.1%,16.2%和15.3%。这主要是由于经裹浆处理的废砖粗骨料和废弃混凝土粗骨料,其界面过渡区得到了强化作用,并使其抗收缩变形能力得到提高。

### 2.3 处理方法对再生混凝土性能影响比较

在收缩变形性能方面,与RC组再生混凝土相比,掺入预吸水废砖粗骨料的再生混凝土,其180 d龄期收缩变形均小于RC组,且最大降低幅度约为18.4%;裹浆处理的再生混凝土180 d龄期的收缩变形均小于RC组,且最大降低幅度约为16.2%。预吸水处理降低再生混凝土收缩变形的效果要略优于裹浆处理的再生混凝土。

在抗压性能方面,与RC组再生混凝土相比,掺入预吸水废砖粗骨料的再生混凝土,其28 d抗压强度均小于RC组, $r=25%$ 时抗压强度减小约24.6%,当 $r=35%$ 时降低幅度最大(约为24.6%);裹浆处理的再生混凝土,其28 d龄期的抗压强度在 $r=15%$ 时提高了3.7%,而在 $r=25%$ 和 $r=35%$ 时抗压强度均小于RC组,且最大降低幅度约为16.1%。裹浆处理的效果要优于仅掺入预吸水废砖粗骨料的再生混凝土。

## 3 结论

1) 无论是预吸水处理,还是裹浆处理,等体积取代率为25%时,再生混凝土180 d的收缩变形均小于其他等体积取代率下的收缩变形。预吸水处理与裹浆处理对降低再生混凝土的收缩变形均非常有效,其中预吸水处理的效果最好。

2) 与RC组再生混凝土相比:预吸水处理下再生混凝土抗压强度均有一定的降低作用,而裹浆处理下,等体积取代率为15%时,再生混凝土抗压强度提高了3.7%;等体积取代率不超过25%时,预吸水处理和裹浆处理下再生混凝土抗压强度降低量将不超过4.86%和2.40%;当等体积取代率为35%时,预吸水处理和裹浆处理下抗压强度约分别降低24.6%和16.1%。

3) 工程设计中,应基于实体结构对再生混凝土材料的抗压与收缩变形性能的具体要求,来选择相应的预处理方法。

#### 参考文献:

- [1] 桂海清.再生粗骨料混凝土的变形性能及影响因素分析[J].建筑结构,2016,46(2):30-34.
- [2] 侯永利,李晨霞,霍俊芳,等.再生混凝土力学性能和收缩性能试验研究[J].硅酸盐通报,2017,36(1):311-314.

(下转第73页)

- for turbulent heat transfer and its application[J]. Heat Mass Transfer, 2007, 50: 5334-5339.
- [7]YUAN F, CHEN Q. A global optimization method for evaporative cooling systems based on the entransy theory[J]. Energy, 2012, 42: 181-191.
- [8]GUO Z Y, LIU X B, TAO W Q, et al. Effectiveness-thermal resistance method for heat exchanger design and analysis[J]. Heat Mass Transfer, 2010, 53 (13-14): 2811-2884.
- [9]CHEN Q, YANG K D, WANG M, et al. A new approach to analysis and optimization of evaporative cooling system I: theory[J]. Energy, 2010, 35 (6): 2448-2454.
- [10]江 亿, 谢晓云, 刘晓华. 湿空气热湿转换过程的热学原理 [J]. 暖通空调, 2011(3): 51-64.
- [11]余 军. 矿井回风换热器数值模拟与优化 [D]. 邯郸: 河北工程大学, 2013: 33-38.
- [12]王景刚, 余 军, 王建学, 等. 矿井回风换热器数值模拟 [J]. 制冷与空调, 2013 (3) : 37-40.
- 
- (上接第 59 页)
- [3]曾 力, 赵 伟. 高强再生混凝土干缩特性 [J] 土木建筑与环境工程, 2010, 32(4): 125-130.
- [4]张 健, 杜 辉, 张 财, 等. 矿物掺合料和再生骨料对混凝土的收缩性能的影响 [J]. 青岛理工大学学报, 2009, 30(4): 145-149.
- [5]BENTUR A, IGARASHI S I, KOVLER K. Prevention of autogenous shrinkage in high-strength concrete by internal curing using wet lightweight aggregates [J]. Cement and Concrete Research, 2001, 31(11): 1587-1591.
- [6]田志伟. 富含砖粒的再生混凝土试验研究 [D]. 邯郸: 河北工程大学, 2015.
- [7]KOU S C, POON C S. Properties of concrete prepared with crushed fine stone, furnace bottom ash and fine recycled aggregate as fine aggregates[J]. Construction and Building Materials, 2009, 23 (8): 2877-2886.
- [8]GB/T 25177-2010, 混凝土用再生粗骨料 [S].
- [9]钱晓倩, 詹树林, 金南国. 建筑材料 [M] 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [10]GB/T50082-2009, 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准 [S].
- [11]GB/T50081-2002, 普通混凝土力学性能试验方法标准 [S].
- [12]COLLEPARDI M, BORSOI A, COLLEPARDI S. Effects of shrinkage reducing admixture in shrinkage compensating concrete under non-wet curing conditions[J]. Cement and Concrete Composites, 2005, 27(6): 704-708.