

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2016.02.006



NaOH 预处理对橡胶混凝土性能的影响

杨长辉¹, 田义¹, 王磊¹, 常仕文², 杨涛¹

(1. 重庆大学 材料科学与工程学院, 重庆 400045;

2. 中冶建工集团有限公司 混凝土工程分公司, 重庆 400051)

摘要:研究了不同水胶比条件下, NaOH 预处理方式和橡胶掺量对混凝土吸水性、毛细孔隙率、干燥收缩及力学性能的影响。结果表明, 掺加经 NaOH 预处理的橡胶所配混凝土具有更低的吸水率、毛细孔隙率、脆性和更高的抗折强度, 预处理对橡胶混凝土上述性能的改性作用与水胶比有关, 水胶比较高时改性效果较好。

关键词:橡胶混凝土; NaOH 预处理; 吸水性; 脆性; 水胶比

中图分类号: TU528.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2016)02-0044-07

Influence of NaOH Pretreatments on the properties of rubber concrete

Yang Changhui¹, Tian Yi¹, Wang Lei¹, Chang Shiwen², Yang Tao¹

(1. College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China;

2. China Metallurgical Construction Engineering Group Co. Ltd, Chongqing 400051, P. R. China)

Abstract: The influence of water to binder ratio, rubber pretreated method and dosage to water absorption on the capillary porosity, drying shrinkage and mechanical properties of rubber concrete was studied. The results indicated that the NaOH pretreatment could help improve overall performances of rubber concrete, while its influence is dependent on water to binder ratio of concrete. It is suggested that the improvement of concrete by NaOH pretreatment was enhanced at a higher water to binder ratio.

Keywords: rubber concrete; NaOH pretreatment; sorptivity; toughness; water to binder ratio

将废旧橡胶作为集料用于水泥混凝土中是一种有效利用废旧橡胶的方式, 也是降低混凝土脆性的新途径。已有研究表明, 橡胶混凝土在变形性能和增强韧性方面表现出积极的效果^[1-4], 但橡胶集料的掺入会降低混凝土的力学性能^[5-7], 这限制了它的应用。

为改善橡胶混凝土的力学性能, 通常对橡胶集

料进行预处理。常见的预处理方式包括水洗、偶联剂处理、NaOH 溶液处理以及乳胶处理^[8-10]。预处理可以有效提高橡胶集料与水泥石之间的粘结强度。NaOH 预处理能改善橡胶集料表面的亲水性和混凝土中界面过渡区的性能, 在提高混凝土强度^[9-10]的同时, 影响水分在混凝土中的迁移行为, 进而影响混凝土的吸水性及干燥收缩。然而, 已有的

收稿日期: 2015-06-16

基金项目: 重庆市建设科技计划(0032012008); 回国留学基金(0211002409008)

作者简介: 杨长辉(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事建筑材料研究, (E-mail) ychh@cqu.edu.cn.

Received: 2015-06-16

Foundation item: Chongqing Construction Science and Technology Planning (No. 0032012008); Scientific Research Foundation for Returned Scholars (No. 0211002409008)

Author brief: Yang Changhui(1965-), professor, doctoral supervisor, main research interest: building materials, (E-mail) ychh@cqu.edu.cn.

关于 NaOH 预处理对橡胶混凝土吸水性和收缩行为影响的研究没有一致结论。目前,有关橡胶混凝土的脆性研究多数集中在橡胶混凝土弹性模量与橡胶掺量之间关系上^[11-13]。橡胶混凝土弹性模量降低是橡胶混凝土强度降低效应与橡胶集料本身低弹模特性共同作用的结果,而目前关于两种作用效应缺少细致研究。

笔者试验研究了 NaOH 预处理方式、橡胶掺量、水胶比对混凝土吸水率、毛细孔隙率、干燥收缩

以及力学性能的影响,比较了相同强度等级的橡胶混凝土和普通混凝土弹性模量之间的关系,以揭示预处理橡胶集料对混凝土脆性影响的规律。

1 实验

1.1 原材料与混凝土配合比

采用重庆小南海水泥厂生产的 P·O 42.5R 水泥,重庆珞璜电厂 II 级粉煤灰,水泥和粉煤灰的主要化学成分见表 1。

表 1 水泥及粉煤灰的主要化学成分

Table 1 Chemical composition of cement and fly ash

材料	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	IL
水泥	60.4	21.3	5.8	2.4	2.6	2.5	0.7	3.6
粉煤灰	3.4	40.1	25.3	0.5	15.3	7.1	1.7	6.5

试验用细集料为 II 区天然中砂,细度模数为 2.7,粗集料为 5~20 mm 连续级配石灰石碎石;橡胶集料由重庆圣略建材有限公司生产,表观密度 1.15 g/cm³,粒径 1.5~4.5 mm。减水剂为重庆三圣建材有限公司生产的聚羧酸减水剂,减水率 24%,固含量 15%。试验采用分析纯 NaOH 和自来水。

试验中橡胶掺量以取代细集料的体积比例计,取代率分别为 0、10%、20% 和 30%,混凝土配合比见表 2。

表 2 混凝土配合比

Table 2 Mix proportions of concretes

编号	水泥	粉煤灰	水	粗集料	细集料	橡胶集料
A0	336	84	168	1 087	736	0
A10	336	84	168	1 087	662	31
A20	336	84	168	1 087	589	62
A30	336	84	168	1 087	515	93
B0	400	100	150	1 087	736	0
B10	400	100	150	1 087	662	31
B20	400	100	150	1 087	589	62
B30	400	100	150	1 087	515	93

注:编号中 A 组水胶比 0.4, B 组水胶比 0.3; 0、10、20 和 30 代表橡胶颗粒取代砂的体积取代百分率;通过调整高效减水剂的掺量控制混凝土拌合物初始塌落度在 200±20 mm 范围内。

1.2 实验方法

橡胶预处理:先将橡胶集料置于质量分数为 5% 的 NaOH 溶液浸泡 24 h,然后用清水洗净,再在

45 °C 下烘至恒重后备用。

混凝土吸水测试:参考标准 BS-EN13057,实验装置见图 1。成型 100 mm×100 mm×100 mm 的立方体试件,1 d 后拆模,在标准条件下养护 28 d 后转移至恒温烘箱中,在 45±2 °C 的温度下干燥 7 d。将干燥后的试件密封,置于 20±2 °C 的环境中冷却 24 h,将试件测试端浸入水中(如图 1 所示),液面不超过测试面 5 mm,测量一定时间间隔的吸水量,精确至 0.01 g。通过吸水量与时间关系计算混凝土吸水率。

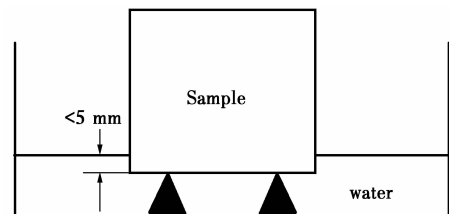


图 1 混凝土吸水实验装置

Fig. 1 Test set-up of water absorption

混凝土毛细孔隙率实验:按照以上装置,将试件 1/2(50 mm)浸水浸泡 3 d,再将浸水高度提升至 75 mm 浸泡 3 d,最后完全浸水 4 d,以吸水体积表征混凝土毛细孔隙率^[14]。

干燥收缩试验:依据《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009)规定进行测试。

混凝土抗压强度、抗折强度和静力受压弹性模量测试:按照《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2012)规定进行测试。

2 结果与讨论

2.1 NaOH 预处理橡胶对混凝土吸水率和毛细孔隙率的影响

混凝土吸水率和毛细孔隙率是评价混凝土耐久性的重要指标,图 2 给出了不同水胶比下,橡胶预处理方式和掺量对混凝土吸水率的影响。从图中可以看出,与未处理橡胶集料相比,掺 NaOH 预处理橡胶集料所配混凝土吸水率更低。掺入橡胶集料后,混凝土吸水率变化受橡胶掺量变化影响不大,但会受到水胶比的影响。当水胶比为 0.4 时,掺入未处理橡胶配制的混凝土吸水性与基准组相近,取代率为 30% 时,掺预处理橡胶的混凝土吸水率比掺入未处理橡胶集料时低 19.8%,当水胶比为 0.3 时,降低幅度仅为 3.2%。

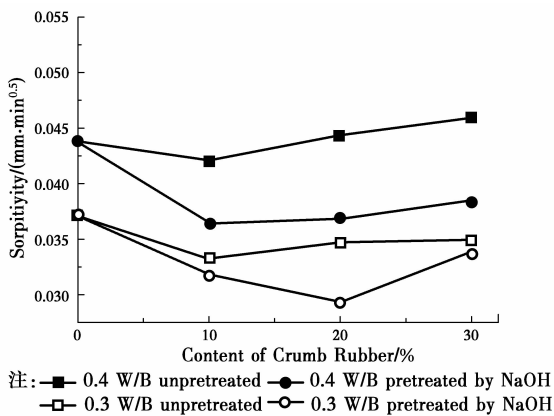
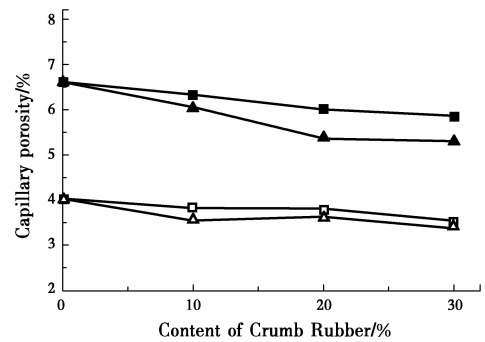


图 2 橡胶预处理方式和掺量对混凝土吸水率的影响

Fig. 2 Effect of rubber treated ways and content on sorptivity of rubber concrete

图 3 给出了橡胶预处理方式和掺量对混凝土毛细孔隙率的影响。由图可以看出,当水胶比为 0.3 时,毛细孔隙率在 3.5%~4.0% 之间,NaOH 预处理橡胶和橡胶掺量对混凝土毛细孔隙率影响不明显;当水胶比为 0.4 时,掺入橡胶集料会降低混凝土毛细孔隙率,NaOH 处理橡胶集料配制的混凝土毛细孔隙率更低,当橡胶集料的体积取代率从 0 增加到 30% 时,毛细孔隙率由 6.6% 减小至 5.8%,降低了 12.1%。当取代率为 30% 时,掺预处理橡胶的混凝土毛细孔隙率比掺入未处理橡胶集料时低 9.5%。

总体来说,掺入未处理橡胶不会显著改善混凝土吸水性和毛细孔隙率,但掺入经 NaOH 处理后的橡胶则能减小混凝土中水分迁移速度,降低混凝土



注: ■ 0.4 W/B untreated ▲ 0.4 W/B pretreated by NaOH
□ 0.3 W/B untreated △ 0.3 W/B pretreated by NaOH

图 3 橡胶预处理方式和掺量对混凝土毛细孔隙率的影响

Fig. 3 Effect of rubber treated ways and content on capillary porosity of rubber concrete

吸水率和毛细孔隙率。这是由于 NaOH 能与橡胶颗粒表面的硬脂酸锌反应,清除了表面杂质,增加了亲水基团,改善橡胶颗粒表面形貌,提高界面过渡区的密实性^[9-10,15],进而提高混凝土耐久性,而未经处理的橡胶颗粒表面杂质较多,憎水性强,难以有效融入混凝土体系,因而难以发挥橡胶改善作用。

2.2 NaOH 预处理橡胶对混凝土干燥收缩的影响

图 4 给出了橡胶预处理方式与掺量对混凝土干燥收缩的影响。从图 4(a)可以看出,当水胶比为 0.4 时,掺未处理橡胶所配混凝土在橡胶掺量较低时,混凝土干燥收缩有所增加,橡胶掺量增加,混凝土干燥收缩减小,如当橡胶取代率为 30% 时,混凝土 90 d 干燥收缩为 $457 \times 10^{-6} \text{ m/m}$,比未掺橡胶的混凝土干燥收缩低 10.2%。掺 NaOH 预处理橡胶集料的混凝土 90 d 干燥收缩比掺未处理橡胶的混凝土的分别降低了 5.4%、11.8% 和 2.8%。水胶比降低至 0.3 时,橡胶混凝土干燥收缩的变化也呈现出掺入低掺量橡胶混凝土干燥收缩增加、提高橡胶掺量混凝土干燥收缩率减小的趋势。

综合图 3 和图 4 可知,当橡胶取代率较低时,橡胶混凝土的毛细孔隙率降低幅度较小。此时,混凝土毛细管压力降低幅度较小,混凝土干燥收缩主要受橡胶柔性影响,因此,掺入橡胶,干燥收缩增大。随着橡胶掺量增加,橡胶混凝土毛细孔隙率大幅降低,混凝土干燥收缩的动力减小,因此,混凝土干燥收缩减小。NaOH 改性能减小水分迁移速度,进而减缓形成毛细管压力速度,因此,掺入 NaOH 处理橡胶可降低混凝土干缩。

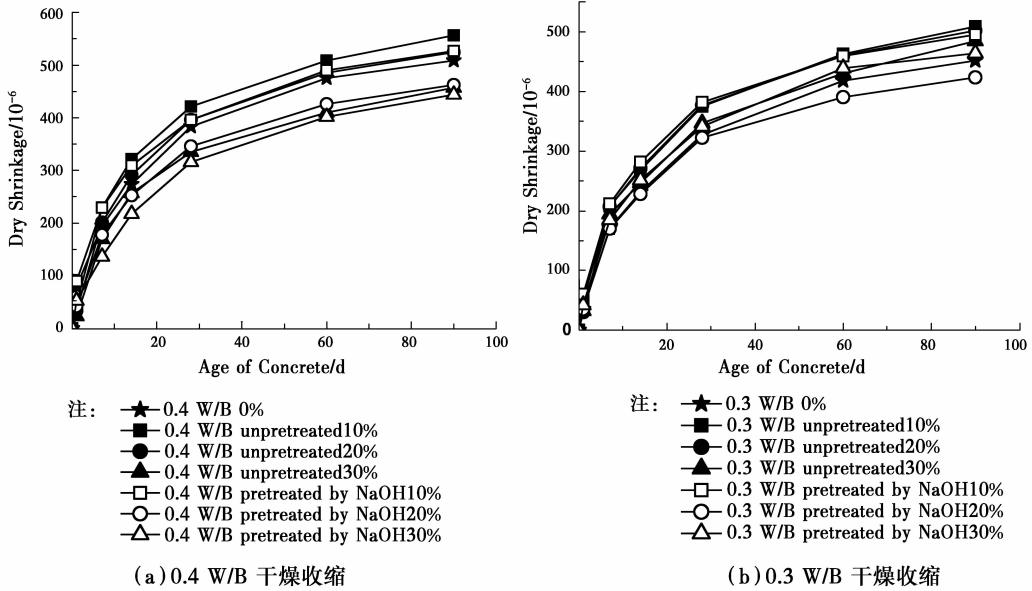


图 4 橡胶预处理方式和掺量对混凝土干燥收缩的影响

Fig. 4 Effect of rubber treated ways and content on drying shrinkage of rubber concrete

2.3 NaOH 预处理橡胶对混凝土抗压强度与抗折强度的影响

不同水胶比下,橡胶预处理方式和掺量对混凝土 28 d 抗压强度的影响见图 5。数据表明,混凝土抗压强度随着橡胶掺量增加而降低。产生此现象的主要原因是憎水性的橡胶颗粒与水泥石的粘接强度较弱,两者粘接界面为混凝土中的薄弱环节,从而导致混凝土强度降低^[16-17];柔性的橡胶掺入混凝土中,降低了混凝土实际的承压面积而使得混凝土的强度降低^[18]。值得注意的是,NaOH 预处理可提升橡胶混凝土抗压强度,改善程度取决于水胶比和橡胶掺量。当水胶比为 0.4 时,预处理方式对混凝土抗压强度影响不大。当水胶比为 0.3 时,掺 NaOH 预处理

理橡胶颗粒的混凝土取代率从 10% 增加到 30% 时,其 28 d 抗压强度分别提高了 1.8%、14.8% 和 11.1%。

图 6 为橡胶预处理方式和掺量对混凝土 28 d 抗折强度的影响。图 6 的结果表明,橡胶掺量增加,混凝土抗折强度逐渐降低;与未处理橡胶颗粒相比,NaOH 预处理提高了混凝土抗折强度,当水胶比为 0.4 时,取代率从 10% 提高到 30%,掺预处理橡胶颗粒所配混凝土的 28 d 抗折强度比掺未处理橡胶颗粒的分别提高了 14.7%、19.7% 和 17.8%。

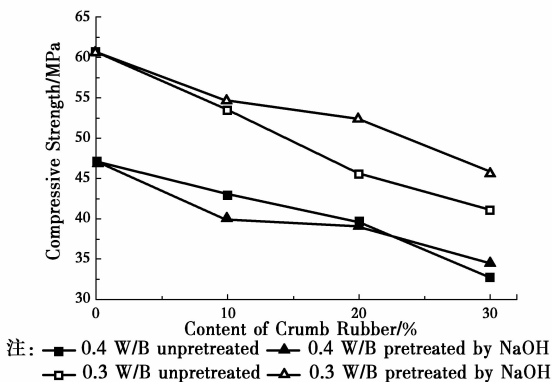


图 5 橡胶预处理方式和掺量对混凝土 28 d 抗压强度的影响

Fig. 5 Effect of rubber treated ways and content on 28 d compressive strength of rubber concrete

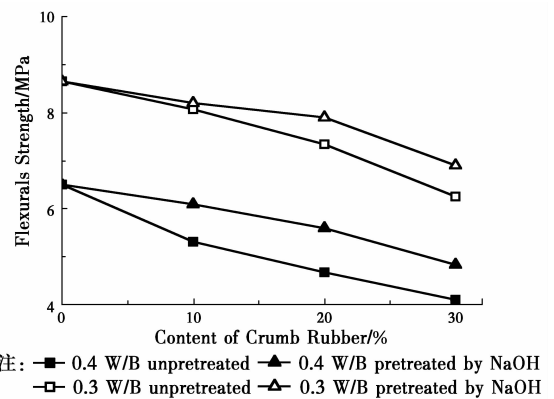


图 6 橡胶预处理方式和掺量对混凝土 28 d 抗折强度 Fig. 6 Effect of rubber treated ways and content on 28 d flexural strength of rubber concrete

橡胶颗粒经 NaOH 处理后亲水性提高,其与水泥石之间的粘接强度升高,因此,混凝土的抗折强度有所提高。结果表明:NaOH 预处理方式对混凝土抗折强度有增强作用,水胶比较高时,NaOH 预处理

的效果较好。

2.4 NaOH 预处理橡胶对混凝土弹性模量的影响

作为混凝土结构设计的重要参数,混凝土弹性模量反映了在荷载下混凝土的形变能力。橡胶预处理方式和掺量对混凝土 28 d 弹性模量影响见图 7。由图可知,掺入橡胶集料降低了混凝土的弹性模量。已有研究^[19-20]认为混凝土组成材料的弹性模量越大,所配混凝土的弹性模量也越大。橡胶集料的弹性模量较低,因此,增加橡胶掺量,橡胶混凝土的弹性模量降低。NaOH 预处理对混凝土弹性模量的作用受水胶比的影响,改变水胶比,NaOH 对混凝土弹性模量的作用没有一致的规律。当水胶比为 0.4 时,掺预处理橡胶颗粒混凝土的弹性模量明显小于掺未处理的,当水胶比为 0.3 时,NaOH 预处理方式增加了混凝土弹性模量。

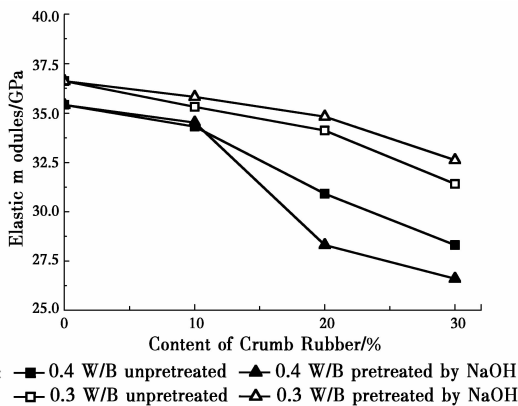
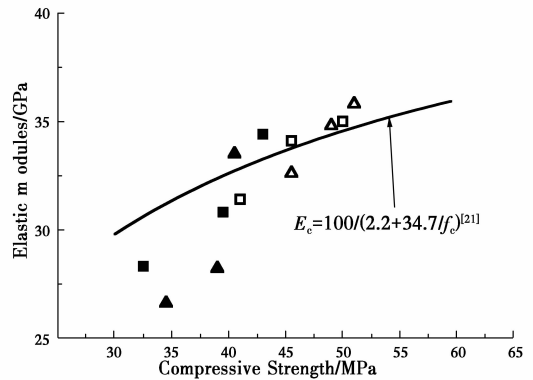


图 7 橡胶预处理方式和掺量对橡胶混凝土弹性模量的影响

Fig. 7 Effect of rubber treated ways and content on elastic modulus of rubber concrete

对于普通混凝土,抗压强度降低,其弹性模量也降低,因而橡胶混凝土弹性模量降低的现象是由橡胶混凝土强度降低效应与橡胶集料本身低弹性模量的特点共同引起的。为了区分二者对混凝土弹性模量的影响,将相同强度等级下,橡胶混凝土的弹性模量与普通混凝土的弹性模量进行比较,以确定橡胶集料对混凝土弹性模量的影响。橡胶混凝土弹性模量与普通混凝土弹性模量的比较见图 8,其中普通混凝土弹性模量与抗压强度之间的关系式参考《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)。

图 8 中实线为普通混凝土不同抗压强度对应的弹性模量曲线,从图 8 可以看出,橡胶混凝土抗压强度与弹性模量之间的关系不满足普通混凝土抗压强



注: ■ 0.4 W/B untreated □ 0.3 W/B untreated
▲ 0.4 W/B pretreated by NaOH △ 0.3 W/B pretreated by NaOH

图 8 橡胶混凝土与普通混凝土弹性模量的比较

Fig. 8 Comparison about elastic modulus between rubber concrete and normal concrete

度与弹性模量之间的关系式,橡胶集料对混凝土柔性的改善受到橡胶掺量和水胶比的影响。当橡胶掺量较低时,橡胶混凝土弹性模量在普通混凝土弹性模量计算曲线上方,只有当橡胶的掺量超过一个临界值时,橡胶混凝土弹性模量才会在曲线下方,对混凝土的柔性起到改善作用。图 8 还显示,当水胶比较高时,橡胶混凝土弹性模量随抗压强度降低的程度较大,需突破的临界掺量较小;降低水胶比,橡胶混凝土弹性模量随抗压强度降低的程度较小,橡胶掺量的临界值增加。如当水胶比为 0.4 时,取代率超过 10%,橡胶混凝土强度低于 40 MPa 时,橡胶混凝土的弹性模量才会比普通混凝土的低,而当水胶比降低为 0.3,此时取代率须超过 20%,橡胶混凝土强度需低于 45 MPa 时,橡胶集料才能增强混凝土柔性。

3 结 论

1) 与未处理相比,NaOH 预处理降低了橡胶混凝土吸水率和毛细孔率,当水胶比为 0.4 时,30% 取代率下的降低效果最明显,吸水率降低 19.8%,毛细孔隙率降低 12.1%。橡胶集料对混凝土干燥收缩的影响受到橡胶低弹性模量的特点和橡胶集料能降低毛细孔隙率的作用共同影响,橡胶掺量较低时,混凝土干燥收缩量增加,增加橡胶掺量,毛细孔隙率降低,混凝土干燥收缩减小。

2) NaOH 预处理方式减小了橡胶混凝土抗压强度损失量,提高混凝土抗折强度,改性橡胶对高水胶比混凝土性能提升更为显著,当水胶比为 0.4 时,

20%取代率下掺 NaOH 预处理比掺未处理橡胶的混凝土抗折强度提高了 19.7%。

3)在实际使用时,橡胶混凝土抗压强度与弹性模量之间的关系不符合当前《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)中规定的抗压强度和弹性模量的关系。当橡胶掺量高于一个临界掺量时,橡胶混凝土的弹性模量将比普通混凝土的低,表现出更好的柔性。此临界掺量受到水胶比的影响,水胶比较小,此临界掺量较大。

参考文献:

- [1] KHALOO A R, DEHESTANI M, RAHMATABADI P. Mechanical properties of concrete containing a high volume tire-rubber particles [J]. *Waste Management*, 2008, 28(12): 2472-2482.
- [2] GUO Y C, ZHANG J H, CHEN G. Fracture behaviors of a new steel fiber reinforced recycled aggregate concrete with crumb rubber [J]. *Construction and Building Materials*, 2014, 28(53):32-39.
- [3] NAJIM K B, HALL M R. Crumb rubber aggregate coatings/pre-treatments and their effects on interfacial bonding, air entrapment and fracture toughness in self-compacting rubberised concrete (SCRC) [J]. *Materials and Structures*, 2013, 12(46): 2029-2043.
- [4] 王铭明,满志刚,陈健云. 改善仿真混凝土塑性的两种方法[J]. *建筑材料学报*, 2013, 16(5): 794-800.
WANG M M, MAN Z G, CHEN J Y. Experimental research on tow methods to improve plasticity of emulsion concrete [J]. *Journal of Building Materials*, 2013, 16(5): 794-800. (in Chinese)
- [5] ELDIN N N, SENOUCI A B. Rubber-tired particles as concrete aggregate [J]. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 1993, 5(4): 478-496.
- [6] 马一平,刘晓勇,谭至明,等. 改性橡胶混凝土物理力学性能[J]. *建筑材料学报*, 2009, 12(4): 379-383.
MA Y P, LIU X Y, TAN Z M, et al. Research on physical and mechanical properties of cement concrete mixed with modified rubber particles [J]. *Journal of Building Materials*, 2009, 12(4): 379-383. (in Chinese)
- [7] 刘日鑫,侯文顺,徐永红,等. 废橡胶颗粒对混凝土力学性能的影响[J]. *建筑材料学报*, 2009, 12(3):341-344.
LIU R X, HOU W S, XU Y H, et al. Effect of crumb rubber on the mechanical properties of concrete [J]. *Journal of Building Materials*, 2009, 12(3): 341-344. (in Chinese)
- [8] 郑丽娟,余其俊,韦江雄,等. 废橡胶粉的改性及其对水泥砂浆性能的影响[J]. *武汉理工大学学报*, 2008, 30(1): 52-54.
ZHENG L J, YU Q J, WEI J X, et al. Surface modification of pulverized waste rubber and its effect on the properties of portland cement mortar[J]. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2008, 30(1): 52-54. (in Chinese)
- [9] SEGRE N, MONTEIRO P J, SPOSITO G. Surface characterization of recycled tire rubber to be used in cement paste matrix [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2002, 248(2): 521-523.
- [10] SEGRE N, JOEKES I. Use of tire rubber particles as addition to cement paste [J]. *Cement and Concrete Research*, 2000, 30(9):1421-1425.
- [11] LI L J, RUAN S H, ZENG L. Mechanical properties and constitutive equations of concrete containing a low volume of tire rubber particles [J] *Construction and Building Materials*, 2014, 70(15):291-308.
- [12] NAITO C, STATES J, JACKSON C. Assessment of crumb rubber concrete for flexural structural members [J]. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2014, 26(10): 04014075-1-04014075-8
- [13] 赵艳艳,贺东青,王一鸣. 橡胶混凝土的基本力学性能[J]. *河南大学学报*, 2015, 45(1): 117-121.
ZHAO Y Y, HE D Q, WANG Y M. Experimental study on basic mechanical properties of rubberized concrete [J]. *Journal of Henan University*, 2015, 45(1): 117-121. (in Chinese)
- [14] VAN DEN HEEDE P, GRUYAERT E, De Belie N. Transport properties of high-volume fly ash concrete: Capillary water sorption under vacuum and permeability [J]. *Cement and Concrete Composites*, 2010, 32(10): 749-756.
- [15] YU L G, YU Q J, LIU L. Hybrid modified rubber powder and its application in cement mortar [J] *Journal of Wuhan University of Technology: Materials Science Edition*, 2010, 25(6): 1033-1037.
- [16] LING T C, NOR H M, HAININ M R. Properties of crumb rubber concrete paving blockswith SBR latex [J]. *Road Materials and Pavement Design*, 2009, 10(1):213-222.

- [17] TOPCU I B, AVCULAR N. Analysis of rubberized concrete as a composite material [J]. Cement and Concrete Research, 1997, 27(8):1135-1139.
- [18] KHALOO A R, DEHESTANI M, Rahmatabadi P. Mechanical properties of concrete containing a high volume tire-rubber particles[J]. Waste Management, 2008, 28(12):2472-2482.
- [19] GANJIAN E, KHORAMI M, MAGHSOUDI A A. Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete [J] Construction and Building Materials, 2009, 23(5): 1828-1836.
- [20] TURATSINZE A, GARROS M. On the modulus of elasticity and strain capacity of Self-Compacting Concrete incorporating rubber aggregates[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2008, 52 (12):1209-1215.
- [21] 混凝土结构设计规范: GB 50010—2010[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2010.
Code for design of concrete structures; GB 50010—2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010. (in Chinese)

(编辑 胡英奎)