

doi:10.11918/j.issn.0367-6234.2015.06.020

橡胶颗粒对再生混凝土耐久性影响

汪振双¹, 王宝民², 苏昊林³, 崔正龙⁴

(1. 东北财经大学 投资工程管理学院, 116023 辽宁 大连; 2. 大连理工大学 建筑材料研究所, 116024 辽宁 大连;
3. 伯明翰大学 土木工程学院, B15 2TT 伯明翰; 4. 辽宁工程技术大学 建筑工程学院, 123000 辽宁 阜新)

摘 要: 为研究橡胶颗粒粒径和掺量对再生混凝土耐久性的影响, 针对水灰比为 0.50 再生混凝土设计了橡胶粒径 60 目、1~3 mm 和 3~6 mm 与掺量 10、20、30 kg/m³ 的 6 组混凝土配合比, 对再生混凝土进行了抗压强度、抗氯离子渗透和抗冻性试验. 结果表明: 掺入橡胶颗粒降低了再生混凝土的抗压强度, 再生混凝土的抗压强度随着橡胶颗粒掺量和粒径的增加而减小; 橡胶颗粒的掺入能改善再生混凝土的抗氯离子渗透性能和抗冻性能, 再生混凝土的抗氯离子渗透和抗冻性随着橡胶颗粒掺量增大和粒径的减小而提高, 当橡胶颗粒的粒径为 60 目、掺量为 30 kg/m³ 时, 再生混凝土的耐久性能最好.

关键词: 橡胶颗粒; 再生混凝土; 抗压强度; 导电量; 相对动弹性模量

中图分类号: TU528

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2015)06-0109-04

Influence of rubber particles on durability of recycled coarse aggregate concrete

WANG Zhenshuang¹, WANG Baomin², SU Haolin³, CUI Zhenglong⁴

(1. School of Investment and Construction Management, Dongbei University of Finance and Economics, 116023 Dalian, Liaoning, China; 2. Institute of Building Materials, Dalian University of Technology, 116024 Dalian, Liaoning, China;
3. School of Civil Engineering, University of Birmingham, Birmingham, B15 2TT Birmingham, United Kingdom;
4. Institute of Architecture Engineering, Liaoning Technical University, 123000 Fuxin, Liaoning, China)

Abstract: The influence of rubber particles on recycled aggregate concrete durability was studied in this paper. Compressive strength, permeability, and frost resistance were carried out to investigate the effect of rubber particles with different size of 60 mesh, 1–3 mm and 3–6 mm and replacement content replacing fine aggregate of 10 kg/m³, 20 kg/m³ and 30 kg/m³ on recycled aggregate concrete. The results show that the compressive strength of recycled aggregate concrete is reduced with the addition of rubber particle, and the compressive strength is decreased with the addition of particles replacement content and particles size. The permeability and frost resistance of recycled aggregate concrete is improved by the addition of rubber particle and is raised with the increase of particles replacement content and decrease of particles size, and the recycled aggregate concrete expressed the best durability performance with rubber particles of 60 mesh and replacement content of 30 kg/m³.

Keywords: rubber particles; recycled aggregate concrete; compressive strength; electricity; relative dynamic modulus

近年来, 由于基础设施建设突飞猛进, 混凝土用量猛增, 对砂、石等资源的需求量也大幅增加. 全

球每年消耗约 28 亿 m³ 混凝土, 而仅中国每年的混凝土消耗量就约为 13~14 亿 m³, 占全球混凝土消耗量的 45% 左右, 中国每年因建设施工而产生的建筑垃圾约有 4 000 万吨^[1]. 因此, 再生混凝土已成为未来混凝土发展的必然趋势. 文献[2–4]对再生混凝土的性能开展了大量研究, 再生集料与普通碎石相比, 具有孔隙率高、表观密度低、吸水率高、内在微裂纹多、强度低等特点. 文献[5–7]对再生混凝土

收稿日期: 2014-05-06.

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划重大项目(2013BAC05B00); 国家自然科学基金(U1261122); 辽宁省教育厅重点实验室基础研究项目(LZ2014048).

作者简介: 汪振双(1982—), 男, 博士, 讲师;
王宝民(1973—), 男, 教授, 博士生导师.

通信作者: 汪振双, wangzhenshuang0609@126.com.

强度与混凝土配合比设计进行研究,研究发现再生混凝土的强度与再生骨料生产工艺、含水情况、颗粒级配、强度及掺量等因素有关.伴随着再生混凝土力学性能研究的不断深入和工程实际的需要,再生混凝土耐久性成为当前关注的一个热点问题^[8].文献[9-10]将废弃橡胶颗粒掺加到混凝土中,不仅改善了混凝土材料自重大、脆性等诸多缺点,而且还拓展了废弃橡胶的应用领域,提高混凝土的耐久性,有利于固体废弃物的循环使用.本文对掺入橡胶颗粒的再生混凝土抗氯离子渗透和抗冻性的影响和作用机理进行初步探索.

1 试 验

1.1 原材料

大连小野田水泥厂生产的 P·O42.5 普通硅酸盐水泥,密度 3.15 g/cm³,比表面积 346 m²/kg,物理性能见表 1.橡胶颗粒为天津市某橡胶厂生产 60 目橡胶粉,表观密度 0.89 g/cm³;粒径 1~3 mm 橡胶颗粒,表观密度 1.02 g/cm³;粒径 3~6 mm 橡

表 3 混凝土配合比

编号	水灰比	水/kg	水泥/kg	细集料/kg	橡胶颗粒/kg			再生粗集料/kg	含气量/%	减水剂/%
					60 目	1~3 mm	3~6 mm			
R1	0.50	180	360	668				1 152	2.4	5.3
R2	0.50	180	360	658	10			1 152	4.5	5.3
R3	0.50	180	360	648	20			1 152	5.5	5.3
R4	0.50	180	360	638	30			1 152	6.1	5.3
R5	0.50	180	360	648		20		1 152	5.3	5.3
R6	0.50	180	360	648			20	1 152	4.7	5.3

1.3 试验方法

掺橡胶颗粒的再生混凝土成型后 24 h 拆模,放入混凝土养护室进行养护.混凝土抗压强度检测方法按 GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》规定的方法进行.混凝土抗氯离子渗透性采用美国 ASTM C1202^[11] 直流电量法进行测试,试件采用直径 100 mm、高 50 mm 的圆柱体.混凝土的抗冻性按 GBJ 82—85《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》中的快冻法进行测试,试件采用 100 mm×100 mm×400 mm 的棱柱体.压汞试验采用 AUTO-PORE 9500 压汞仪,将混凝土试件进行破碎后,取中间部分没有粘附粗集料的粒径 5~10 mm 的砂浆颗粒,放入广口瓶中并加酒精中止水化.测试前,取出样品颗粒放入 105±5 ℃ 烘箱中进行干燥 24 h 后取出放入干燥器中至常温.最后,利用压汞仪对样品的孔结构进行测试和分析.

2 试验结果与分析

2.1 抗压强度

从再生混凝土立方体抗压强度试验中观察

胶颗粒,表观密度 1.25 g/cm³.砂子为天然河砂,细度模数 2.41,密度 2.68 g/cm³.再生粗集料是将事先在实验室浇注强度等级为 C40 的原生混凝土自然养护 6 个月后,经破碎筛分组配后得到,再生粗集料的最大粒径控制在 25 mm,基本性质见表 2.外加剂采用的是多羧酸系高性能 AE 减水剂,水为普通饮用水.

表 1 水泥物理力学性能

凝结时间/min		抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
112	340	32.4	50.2	6.12	8.13

表 2 再生粗集料的基本性质

压碎指标/ %	堆积密度/ %	表观密度/ (g·cm ⁻³)	吸水率/ %
15	1.49	2.56	2.89

1.2 配合比

试验配制 C30 强度等级再生混凝土,橡胶颗粒等质量取代细集料,掺量分别为 10、20、30 kg/m³,减水剂掺量为水泥用量的 5.3%,掺橡胶颗粒再生混凝土的配合比见表 3.

到,随着荷载的不断增加,混凝土表面开始出现竖向和斜向裂缝,随着荷载的增大,斜裂缝逐渐向加载面两端延伸发展,形成倒“八”字形裂纹,试件表面的混凝土也开始外鼓、剥落,最正成为正、倒相连的四角锥体,试验结果见图 1.随着橡胶颗粒掺量的增加,再生混凝土 7 d 和 28 d 的抗压强度明显降低.此外,再生混凝土的抗压强度随着橡胶颗粒粒径的增加而降低,与掺 20 kg/m³ 的 60 目橡胶颗粒相比,掺入 20 kg/m³ 粒径 1~3 mm 橡胶颗粒和掺入 20 kg/m³ 粒径 3~6 mm 橡胶颗粒,再生混凝土 7 d 和 28 d 的抗压强度分别下降 7.5% 和 5.9%、14.6% 和 14.5%.橡胶颗粒掺入到再生混凝土中没有生成新的物相结构,橡胶颗粒只起到惰性填充作用.由于橡胶颗粒本身的强度远低于砂子的强度,等量取代砂子掺入到再生混凝土中,直接导致再生混凝土的强度降低,并且随着橡胶颗粒掺量和粒径的增加,降低效应越明显^[12].橡胶颗粒是一种有机弹性材料,由于本身的憎水性,掺入到再生混凝土中,然而削弱了水泥石与集料之间的粘结,导致再生混凝土强度进一步降低^[13].

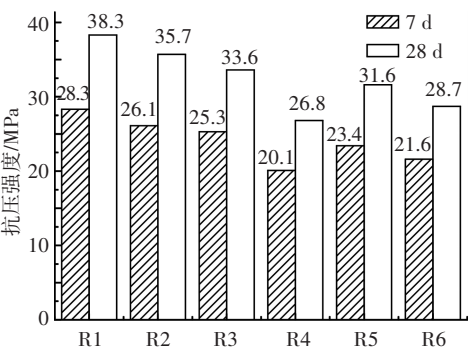


图 1 再生混凝土的抗压强度

2.2 抗氯离子渗透

混凝土抗渗性是耐久性重要指标,掺橡胶颗粒的再生混凝土的氯离子渗透性测试结果见图 2.再生混凝土 R1 的电通量为 2 658 C,掺入 60 目橡胶粉,掺量 10 kg/m³ 时, 2 312 C; 掺量 20 kg/m³ 时, 1 960 C,掺量 30 kg/m³ 时,1 762 C;掺入20 kg/m³ 粒径 1~3 mm 橡胶颗粒,2 126 C;掺入20 kg/m³ 粒径 3~6 mm 橡胶颗粒,2 248 C.试验结果表明,掺入橡胶颗粒明显改善了再生混凝土的抗氯离子渗透性.在再生混凝土设计强度和橡胶粒径不变的情况下,再生混凝土的抗氯离子渗透性随着橡胶颗粒掺量的增加而增强,与再生混凝土 R1 相比,再生混凝土 R2、R3 和 R4 的 6 h 电通量分别下降了 13%、26.3% 和 33.7%.此外,在再生混凝土设计强度和橡胶掺量不变的情况下,再生混凝土的抗氯离子渗透性随着橡胶颗粒粒径的增加而降低,橡胶颗粒掺量 20 kg/m³ 时,与基准混凝土 R1 相比,再生混凝土 R3、R5 和 R6 的 6h 电通量分别下降了 26.3%、

20.1%和 15.4%.

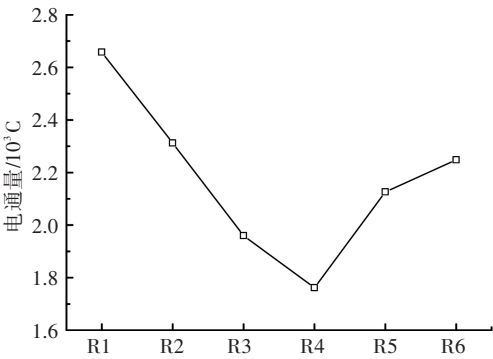


图 2 再生混凝土 6 h 电通量

利用压汞试验,对再生混凝土的孔结构进行分析,测试结果见表 4.再生混凝土 R1 的孔隙率为 18.28%,这可能是由于再生粗集料表面附着砂浆在再生混凝土成型过程中吸水造成的.可以看出,再生混凝土的孔隙率随着橡胶粉掺量的增加而降低,分别下降了 20.6%、29.27% 和 45.89%.掺入橡胶颗粒阻断再生混凝土内部连通的孔隙,减少了混凝土内部供水通过的连通孔道,在再生混凝土的界面处形成大量封闭孔,阻断了再生混凝土中微小气孔的连续作用,提高再生混凝土的密实度,改善了混凝土的抗渗性^[14].从掺橡胶颗粒再生混凝土快冻法试验可以观察到,经过 200 次冻融循环后再生混凝土 R1 尺寸完整性最差,掺入橡胶颗粒的再生混凝土表面破坏状况均好于 R1 再生混凝土.随着橡胶颗粒掺量的增加,再生混凝土粗集料外露少,表面剥落量少,混凝土的完整性好.

表 4 再生混凝土压汞试验结果

编号	总进汞体积/(mL·g ⁻¹)	总孔表面积/(m ² ·g ⁻¹)	中孔直径(体积)/nm	中孔直径(面积)/nm	平均孔直径/nm	孔隙率/%
R1	0.095 6	4.309	8 909.3	16.3	89.6	18.28
R2	0.070 8	3.796	6 367.0	17.8	143.8	14.52
R3	0.062 1	1.175	957.2	31.4	43.7	12.93
R4	0.044 3	4.274	210.3	10.8	41.1	9.89

图 3、4 是再生混凝土质量损失率和相对动弹性模量随冻融循环次数增加的变化情况.可以看出,再生混凝土 R1 经过 125 次冻融循环质量损失率达到 5.3%,而掺入橡胶颗粒的再生混凝土 R2、R3、R4、R5 和 R6 经过 200 次冻融循环质量损失率分别为 5.4%、3.9%、3.0%、4.2%和 4.4%.试验表明,掺入橡胶颗粒可以改善再生混凝土的抗冻性,再生混凝土的抗冻性随着橡胶颗粒掺量的提高而提高,随着橡胶颗粒粒径的增加而降低.含气量是影响混凝土抗冻性的最主要因素,橡胶颗粒为非极性有机材料,容易包裹一些空气,导致混凝土含气量增加.在混凝土冻融循环作用下,可以缓冲膨胀压力对再生混凝土的作用,有效阻止了

再生混凝土已有微裂纹的扩展,提高再生混凝土的抗冻性.

混凝土冻融劣化是一个由致密到疏松的物理过程,动弹性模量下降便是这种疏松过程的外在反映.再生混凝土内部存在一定的原始缺陷和微裂缝.在冻融循环疲劳荷载作用下,这些原始缺陷和微裂缝逐渐发育生长,同时伴有心得缺陷和裂缝不断产生^[15].混凝土的密实度下降,从而导致再生混凝土动弹性模量下降.从图 4 的试验结果可以看出,经 125 次冻融循环后,再生混凝土 R1 的相对动弹性模量下降到 85.1%,而掺橡胶颗粒的再生混凝土的相对动弹性模量均大于 93%.经过 200 次冻融循环后,掺入橡胶颗粒的再生混凝土

土 R2、R3、R4、R5 和 R6 的相对动弹性模量分别为 85.8%、91.7%、94.1%、90.8% 和 90.4%。可以看出,掺入橡胶颗粒 60 目,掺量为 30 kg/m^3 时,混凝土的含气量为 6.1%,在再生混凝土内部引入大量的微小闭合气泡,可以缓解冻融循环过程中冰胀压力和毛细孔水的渗透压力作用,从而提高再生混凝土的抗冻性^[14]。

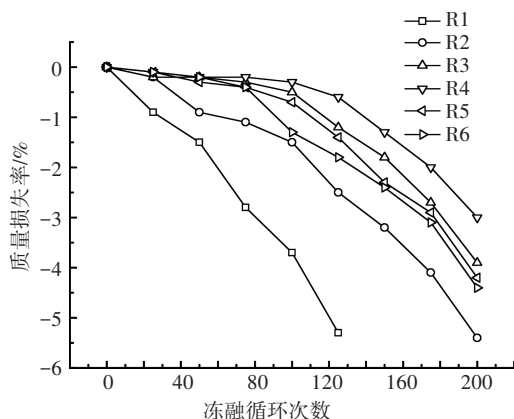


图 3 再生混凝土冻融循环质量损失率

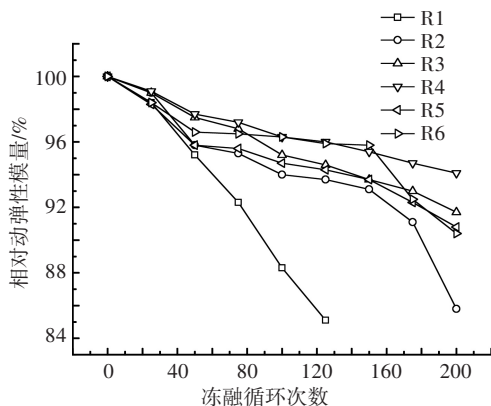


图 4 再生混凝土冻融循环相对动弹性模量变化

3 结 论

1) 橡胶颗粒掺入到再生混凝土中起到惰性填充作用,降低了再生混凝土抗压强度.在水灰比不变的条件下,再生混凝土的抗压强度随着橡胶颗粒掺量的增加而减小,随着橡胶颗粒粒径的增大而减小。

2) 橡胶颗粒掺入到再生混凝土中增大了混凝土的含气量.在水灰比不变的条件下,再生混凝土的含气量随着橡胶颗粒掺量的增加而增大,随着橡胶颗粒粒径的增大而减小。

3) 再生混凝土中掺入橡胶颗粒可改善再生混凝土的抗氯离子渗透性能和抗冻性.再生混凝土 6 h 电通量随着橡胶颗粒掺量的增加而减小,随着橡胶颗粒的增加而增大.橡胶颗粒的掺量和粒径对再生混凝土抗冻性影响比较显著.当橡胶颗粒的粒径为 60 目,橡胶颗粒的掺量为 30 kg/m^3 时,再生混凝土的抗冻性能最好。

参考文献

- [1] 杨桂权, 阎慧群, 郑祖成. 再生混凝土应用优势与经济分析[J]. 建筑经济, 2013, 369(7): 86-88.
- [2] EDUARDUS A B, KOENDERS, MARCO PEPE, et al. Compressive strength and hydration processes of concrete with recycled aggregates [J]. Cement and Concrete Research, 2014, 56: 203-212.
- [3] WANG Zhenshuang, WANG Lijiu, CUI Zhenlong, et al. Recycled coarse aggregate on concrete compressive strength[J]. Transactions of Tianjin University, 2011, 17(3): 229-234.
- [4] XIAO Jianzhuang, LI Wengui, FAN Yuhui, et al. An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996—2011) [J]. Construction and Building Materials, 2012, 31: 364-383.
- [5] 雷斌, 肖建庄. 再生混凝土抗碳化性能的研究[J]. 建筑材料学报, 2008, 11(5): 605-610.
- [6] 孙浩, 王培铭, 孙家瑛. 再生混凝土抗气渗性及抗碳化性能研究[J]. 建筑材料学报, 2009, 9(1): 87-91.
- [7] KHALDOUN R. Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate [J]. Building and Environment, 2007, 42(1): 407-415.
- [8] ZHEN H D, CHI S P. Properties of recycled aggregate concrete made with recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars [J]. Materials and Design, 2014, 58: 19-29.
- [9] SUKONTASUKKUL P, TIAMOLOM K. Expansion under water and drying shrinkage of rubberized concrete mixed with crumb rubber with different size [J]. Construction and Building Materials, 2012, 29: 520-526.
- [10] HO A C, TURATSINZE A, HAMEED R, et al. Effects of rubber aggregates from grinded used tires on the concrete resistance to cracking [J]. Journal of Cleaner Production, 2012, 23(1): 209-215.
- [11] American Society of Testing Materials 1202-05. Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride [S]. USA: American Society for Testing Materials, 2005.
- [12] 刘锋, 潘东平, 李丽娟, 等. 低强橡胶混凝土单轴受压本构关系的试验研究[J]. 建筑材料学报, 2007, 10(4): 407-411.
- [13] BATAYNEH M, MARIEA I, ASI I. Use of selected waste materials in concrete mixes [J]. Waste Management, 2007, 27(12): 1870-1876.
- [14] RAFAT S, TARUN R N. Properties of concrete containing scrap-tire rubber: an overview [J]. Waste Management, 2004, 24(3): 563-569.
- [15] SEGRE N, JOEKES I. Use of tire rubber particles as addition to cement paste [J]. Cement and Concrete Research, 2000, 30(9): 1421-1425. (编辑 赵丽莹)