

废弃砼再生骨料性能及再生骨料砼力学强度分析

禩炜安^{1,2}, 周胜波^{1,2}

(1.广西道路结构与材料重点实验室, 广西 南宁 530007; 2.广西交通科学研究院有限公司, 广西 南宁 530007)

摘要: 对不同来源的废弃水泥砼再生骨料进行基本性能指标检测与评价, 并对简单破碎工艺的再生骨料进行颗粒整形, 进而分析对比不同再生骨料水泥砼的力学强度。结果表明, 3 种不同来源废弃砼再生骨料的吸水率、微粉含量、针片状含量、压碎指标差异较大, 综合评价最高仅为 II 类骨料; 采用小型石料研磨机能改善再生骨料的性能指标, 10~20 和 20~30 mm 两档再生骨料宜研磨 5 min, 5~10 mm 档再生骨料宜研磨 10 min; 经过颗粒整形的再生骨料砼的 7 和 28 d 抗压强度基本与天然骨料水泥持平。

关键词: 公路; 废弃水泥砼再生骨料; 性能评价; 力学强度

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)02-0090-04

针对废弃砼的再生利用, 国外开发了旧水泥砼加工设备、加工生产线, 颁布了相应技术标准及强制性法律条文, 中国也在再生骨料方面开展了课题研究立项、政策制度支持、规范标准编写等。然而, 由于再生骨料自身的一些性能缺陷, 如吸水率偏高、压碎强度不足、体积稳定性略差及加工改性成本过高等, 废弃砼再生骨料并未实现真正的广泛应用。该文对比 3 种不同来源的再生骨料及天然骨料基本特性的差异, 分析颗粒整形技术对再生骨料基本特性的改善效果, 并成型再生骨料水泥砼试件分析再生骨料性能与砼强度的关系。

1 试验材料

2 种再生骨料分别来源于深圳与郑州的两家建筑垃圾循环再生利用公司, 样品标记为 SZ 和 ZZ, 均为房屋建筑废弃砼; 另一种再生骨料由南坛旧路改造废弃砼经简单破碎加工而成, 标记为 NT。

以 NT 再生骨料为基材, 采用室内小型石料研磨机进行颗粒整形, 减少再生骨料表面砂浆覆盖含量和针片状含量, 检测整形再生骨料的物理力学指标。试样标记为 ZNT。以天然石料作为对比, 样品标记为 TR。

2 再生骨料的基本特性

主要检测再生粗骨料及天然粗骨料的表观密度、吸水率、微粉含量、针片状含量和压碎指标等指标, 结果见表 1。图 1 为不同料源的再生骨料及天然骨料。

从表 1 和图 1 可看出: 1) SZ 样品以水泥砼再生骨料为主, 骨料表面水泥砂浆含量高, 造成骨料吸水率和压碎指标偏高, 与沥青的粘附性为 4 级。骨料表面可看到明显小孔隙, 综合评价为 II 类骨料。2) ZZ 样品中含有很大比例的红砖, 且骨料洁净度不足, 微粉含量达 3.2%, 吸水率和针片状含量均超

表 1 再生骨料与天然骨料性能指标对比

检测项目	SZ	ZZ	下列粒径(mm)的 NT			TR	技术要求		
			20~30	10~20	5~10		I 类	II 类	III 类
表观密度/(kg·m ⁻³)	2.549	2.531	2.681	2.697	2.695	2.731	>2.450	>2.350	>2.250
吸水率/%	0.5 h	5.7	12	4.7	4.5	6.3	0.33	—	—
	24 h	6.2	13.5	4.9	5.0	6.8	0.35	<3	<5
微粉含量	1.1	3.2	0.5	0.7	1.0	0.4	<1	<2	<3
针片状含量/%	7.3	11	12.8	16.3	24.2	4.3	<10	<10	<10
压碎指标/%	18.6	27.5	—	15.6	—	8.8	<12	<20	<30
与沥青的粘附性/级	4	4	—	5	—	5	—	—	—



图1 不同料源的再生骨料及天然骨料样品

出Ⅲ类骨料的技术要求。压碎指标为27.5%，与Ⅲ类骨料要求的 $<30\%$ 较接近。整体来说，ZZ再生骨料样品质量较差，综合评价为Ⅲ类骨料。3) NT再生骨料母材主要为旧水泥路面破碎板，相对来说杂质含量较低，表观密度与天然骨料较接近。其主要问题是随着骨料粒径的减小，针片状含量大幅提高，吸水量也有所增大。主要原因是在简单的破碎加工方式下，强度较弱的部分容易被破碎，砂浆含量增大。综合评价为Ⅲ类骨料。NT样品外观形态与天然骨料较接近，为提高NT样品的整体质量，需对骨料进行颗粒整形，减少水泥砂浆，降低针片状含量。

3 再生骨料颗粒整形技术分析

为改善再生骨料的颗粒形状，室内采用小型石料研磨机对骨料进行研磨，研磨时间分别取3、5、10、15 min，研磨转速约为30 r/min，观察骨料的表观形态，并检测颗粒整形后的再生骨料表观密度、吸水率、针片状含量及压碎指标等，结果见图2。

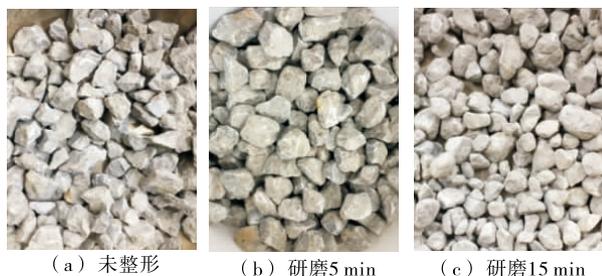


图2 不同研磨时间的骨料颗粒形态

从研磨后骨料颗粒形态可看出:1) 对于10~20和20~30 mm两档再生骨料,当研磨时间为10和15 min时,再生骨料表面的水泥砂浆被大量研磨,骨料基本呈圆形颗粒状,基本无棱角;研磨时间为5 min时,骨料大部分棱角及水泥砂浆被研磨,既保持了较好的颗粒棱角性,也去除了砂浆;研磨时间为3 min时,水泥砂浆去除率比5 min时小,表面仍附着较多水泥砂浆。从研磨后再生骨料颗粒表观形态角度评价,研磨5 min再生骨料能达到较好效果。2) 对于5~10 mm再生骨料,由于粒径较小,骨料颗粒间的研磨作用相对较小,研磨时间为10 min时再生骨料表面棱角性才能达到10~30 mm档骨料研磨5 min的效果。因此,将5~10 mm再生骨料的研磨时间设为10 min。

3.1 表观密度

不同粒径范围整形再生骨料在不同研磨时间的表观密度变化见图3。

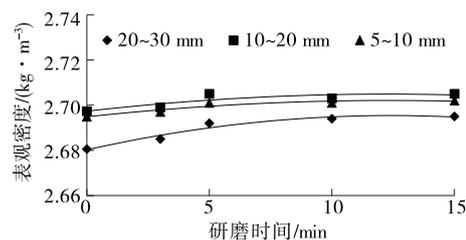


图3 再生骨料表观密度与研磨时间的关系

由图3可知:随着研磨时间的增加,再生骨料的表观密度增大,说明再生骨料表面砂浆逐渐减少;研磨时间达到10 min后,骨料表观密度基本无增长。总体来说研磨前后骨料表观密度变化幅度不大。

3.2 吸水率

不同粒径范围再生骨料在不同研磨时间的吸水率变化见图4。

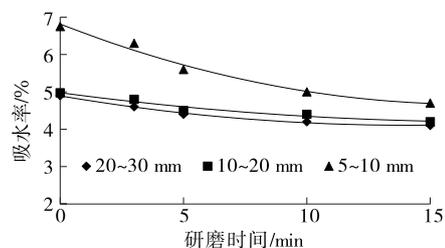


图4 再生骨料吸水率与研磨时间的关系

从图4可看出:随着研磨时间的增加,再生骨料的吸水率呈先快后缓的减小趋势,研磨时间达到10 min后,再生骨料的吸水率基本趋于平稳状态。对于10~20和20~30 mm两档再生骨料,研磨10

min后,表面砂浆基本被磨掉,继续延长研磨时间仅是磨掉原生岩石,对骨料的吸水率影响很小。对于5~10 mm骨料,研磨时间达到10 min后,吸水率才基本降低到5%,其主要原因是5~10 mm再生骨料研磨时间达到10 min时表面水泥砂浆才能被磨掉,从而降低再生骨料的吸水率。

3.3 针片状含量

不同粒径范围再生骨料在不同研磨时间的针片状含量变化见图5。

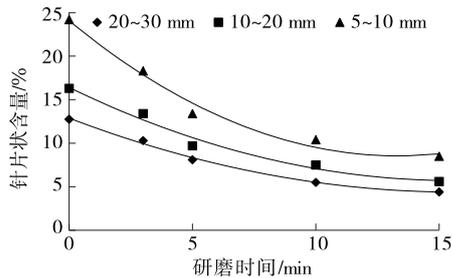


图5 再生骨料针片状含量与研磨时间的关系

从图5可看出:随着研磨时间的增加,针片状含量呈先急后缓的减小趋势,最终趋于平稳状态。对于10~20和20~30 mm两档再生骨料,研磨整形时间达到5 min时,针片状含量降低到10%以内;而5~10 mm再生骨料,研磨时间达到10 min时针片状含量方可下降至接近10%。可见,再生骨料粒径越小,针片状含量越高,需研磨更长的时间方可有效改善骨料颗粒形态。

3.4 压碎指标

选用10~20 mm再生骨料进行试验,压碎指标随不同研磨时间的变化见图6。

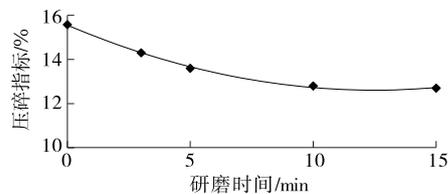


图6 再生骨料压碎指标与研磨时间的关系

从图6可看出:再生骨料压碎指标随研磨时间的变化规律与吸水率、针片状含量基本一致,当研磨时间达到10 min后,压碎指标基本趋于平缓状态,水泥砂浆基本磨掉后,同样岩性的骨料压碎指标变化不大。

综上,不同粒径范围再生骨料的表观密度在研磨前后总体变化幅度不大,基本维持在 $2.68\sim 2.70\text{ kg/m}^3$;吸水率、针片状含量和压碎指标随着研磨时

间的增加呈先急后缓的减小趋势,最终趋于平稳状态;对10~20和20~30 mm两档再生骨料研磨5 min,其吸水率与针片状含量满足Ⅱ类骨料的技术要求;对5~10 mm再生骨料研磨10 min,吸水率与针片状含量才能满足Ⅱ类骨料的技术要求,主要原因是5~10 mm再生骨料粒径较小,砂浆颗粒较多,需更长的研磨时间方可有效改善骨料颗粒形态。

4 再生骨料砼力学强度分析

根据上述再生骨料及颗粒整形技术研究结果,通过分拣优选再生骨料母材,加上合理的颗粒整形,再生骨料的主要技术指标基本能满足Ⅱ骨料的技术要求,应用于低标号水泥砼具有一定可行性。对简单破碎再生骨料NT、整形再生骨料ZNT和天然骨料TR的水泥砼抗压强度进行测试,结果见表2。

表2 不同再生骨料水泥砼的抗压强度(强度等级C40)

龄期/d	抗压强度/MPa		
	NT	ZNT	TR
7	47.8	51.9	50.8
28	50.3	54.6	55.2

从表2可看出:经过颗粒整形的再生骨料砼7和28 d抗压强度基本与天然骨料水泥砼持平;简单破碎再生骨料水泥砼的抗压强度略差,28 d时抗压强度降低约5 MPa。再生骨料针片状含量对水泥砼的力学强度有较大影响,针片状含量过大时可通过研磨进行颗粒整形,降低水泥砂浆含量,提高再生骨料颗粒形态,从而保障水泥砼具有足够的力学强度。

5 结论

(1) 不同来源废弃砼再生骨料的吸水率、微粉含量、针片状含量、压碎指标存在较大差异;大多数再生骨料由于个别指标较差综合评价仅为Ⅱ类骨料;可通过加强原材杂质分拣、颗粒整形等提高再生骨料的整体性能。

(2) 3种再生骨料样品中,SZ样品综合评价为Ⅱ类骨料,ZZ样品综合评价为Ⅲ类骨料,简单破碎的NT样品由于针片状含量过高综合评价为Ⅲ类骨料,需进一步研究合理的颗粒整形工艺来减少表面水泥砂浆、降低针片状含量。

(3) 颗粒整形后再生骨料ZNT的表观密度、吸水率、针片状含量、压碎指标均得到提升。

(4) 不同粒径范围再生骨料的表观密度在研磨

前后总体变化幅度不大,基本维持在 2.68~2.70 kg/m³;吸水率、针片状含量和压碎指标随着研磨时间的增加呈先急后缓的减小趋势,最终趋于平稳状态。10~20 和 20~30 mm 两档再生骨料研磨 5 min,吸水率与针片状含量可满足 II 类骨料的技术要求;5~10 mm 再生骨料研磨时间达到 10 min 时才能满足 II 类骨料的技术要求。

(5) 经过颗粒整形的再生骨料砼的 7 和 28 d 抗压强度基本与天然骨料水泥砼持平;简单破碎再生骨料水泥砼的抗压强度略差,28 d 时抗压强度降低约 5 MPa。通过改性技术措施,再生骨料及其砼的各项指标与天然骨料接近,具有一定推广应用前景。

参考文献:

- [1] C J Kibert. Concrete masonry recycling progress in the USA[A]. Demolition and Reuse of Concrete and Masonry[C]. 1994.
- [2] Mostafa Tevaki. The shrink feature of recycled aggregate concrete[J]. Concrete International, 1996(1).
- [3] ASTM C270: Standard specification for unit masonry [S].
- [4] 张凯. 废弃和再生骨料建材开发的理论和试验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [5] 叶禾. 高品质再生骨料混凝土的力学性能与耐久性试验研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2009.

(上接第 89 页)

择乳化沥青重复冷再生混合料再生剂,降低单一或极端指标评价选择的缺陷。

参考文献:

- [1] 李进. 沥青再生剂扩散行为及其影响因素研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2010.
- [2] 周志刚, 杨银培. 再生剂对旧沥青的再生行为[J]. 交通运输工程学报, 2011, 11(6).
- [3] Kupolati W K. Characterization of bitumen extracted from used asphalt pavement[J]. European Journal of Scientific Research, 2009, 25(2).
- [4] 黄磊. 水泥乳化沥青多次冷再生混合料的路用性能研究[J]. 中外公路, 2013, 33(5).
- [5] 苏志翔, 李淑明, 吴小虎. 乳化沥青冷再生试验方法改进及性能研究[J]. 华东交通大学学报, 2014, 31(2).
- [6] JTG F41-2008, 公路沥青路面再生技术规范[S].
- [7] JTG E20-2011, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [8] Darren G Hazlett. Emulsion residue recovery tech-

- niques; how do we get emulsion residue representative of in-service binder[J]. Transportation Research E: Circular, 2007, 122.
- [9] Feme B W. Design and assessment of long-life flexible pavements[J]. Transportation Research Circular, 2001, 503.
- [10] Karlsson R, Isacson U, Ekblad J. Rheological characterization of bitumen diffusion[J]. Journal of Materials Science, 2007, 42(1).
- [11] 严金海, 倪富健, 杨美坤. 乳化沥青冷再生混合料的间接拉伸疲劳性能[J]. 建筑材料学报, 2011, 14(1).
- [12] Amir K, Amir M. Laboratory fatigue models for recycled mixes with bitumen emulsion and cement[J]. Construction and Building Materials, 2010, 24(10).
- [13] 林烈琼, 包双雁. 泡沫沥青冷再生技术在海南公路改建中的应用[J]. 公路与汽运, 2017(6).
- [14] 赵丹. 营口地区城市道路泡沫沥青再生技术的应用研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2015.

收稿日期: 2017-10-23

收稿日期: 2017-08-07