

水泥稳定碎石铣刨粗集料路用性能评价

高磊¹, 贾致荣^{2*}, 袁中玉¹, 王立志¹, 付鲁鑫¹

(1.山东理工大学 交通与车辆工程学院, 山东 淄博 255049; 2.山东理工大学 建筑工程学院)

摘要: 为了探究水泥稳定碎石铣刨料用于道路底基层的可行性,进行了吸水率、表观密度、压碎值、针片状含量等试验,评价了再生集料的物理及力学指标;进行了 SEM 微观图像和 EDS 成分检测,分析了微观形态及化学成分。结果表明:水泥稳定碎石铣刨粗集料吸水率为 3.2%,表观密度为 2.673 g/cm³,压碎值为 32.9%,针片状含量为 7%,满足二级及二级以下公路水泥稳定碎石的底基层粗集料主要指标要求。

关键词: 路面工程; 水泥稳定铣刨粗集料; 试验分析; 路用性能

水泥稳定碎石基层具有良好的整体性、足够的力学强度、抗水性和耐冻性,被广泛应用在道路建设中,是半刚性基层的主要应用形式。随着中国公路事业的不断发展,每年都会有大量公路需要整修,部分道路需要将结构层全部挖除,从而产生大量的废料。如一条 15 m 宽、水泥稳定碎石基层厚度为 50 cm 的道路,1 km 需要挖除的旧水泥稳定碎石约 7 500 m³,几十公里的道路挖除量就是几十万立方米,数量十分巨大。水泥稳定碎石铣刨料的研究对降低废料对环境的污染,减少对天然集料的开采具有重要意义。

目前对再生集料的研究对象主要是混凝土再生集料,对水泥稳定碎石铣刨料的研究相对较少。水泥稳定碎石水泥含量少,水泥砂浆强度低,对再生集料的力学性质和物理性质产生较大影响,水泥稳定碎石铣刨料由铣刨机铣刨产生,经过筛分可得到铣刨粗集料和铣刨细集料,其外观与级配也不同于混凝土再生集料。铣刨粗细集料可用作路基填料、修筑便道等,但利用附加值较低。水泥稳定碎石再生集料能否重新利用在新建道路底基层,如何更好地评价和利用水泥稳定碎石再生集料,具有重要意义。由于铣刨粗集料占比更大,铣刨料的路用性能评价先从再生粗集料展开。

+525~K62+400)道路改造铣刨得到的废旧水泥稳定碎石,经筛分后得到粒径大于 4.75 mm 的粗集料。如图 1 所示。

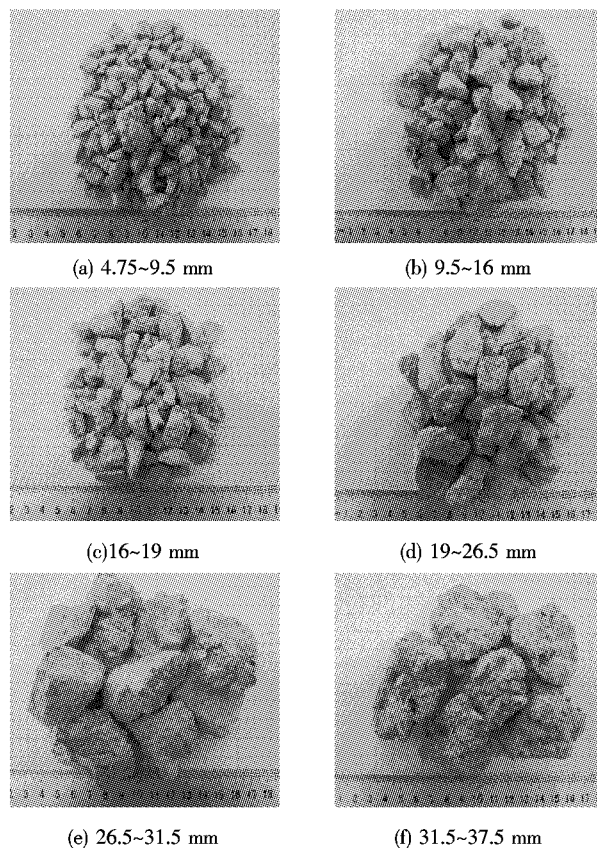


图 1 筛分得到的铣刨粗集料

1 试验原材料

试验所用的再生粗集料为山东省省道 S102(K60

收稿日期:2019-02-12

基金项目:山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(编号:BS2015SF016)

作者简介:高磊,男,硕士研究生,E-mail:962529293@qq.com

* 通信作者:贾致荣,男,博士,教授,E-mail:jiazhir@126.com

由图 1 可以看出:大部分铣刨粗集料表面附有硬化砂浆,由于水泥稳定碎石水泥用量低,造成附着砂浆强度低,在再生利用过程中会形成薄弱面,对再生利用不利。少部分集料有新的断裂面,使再生集料表面更加粗糙,增大了集料间的摩擦力,集料表面的附着砂浆也会增大集料表面的粗糙程度,增大集料间的摩擦力。

从集料形状上看,铣刨粗集料扁平状和条形针状颗粒含量偏多,在受外力作用时,扁平状和条形针状颗粒薄弱点易断裂,对力学性能产生负面影响。从集料的组成可以看出,小粒径集料大部分为附着有砂浆的原生集料,随集料粒径增加,细集料和小粒径粗骨料黏结而成颗粒含量增加,粒径大于 31.5 mm 的集料,大部分为细集料和小粒径粗骨料黏结而成,强度低,对再生利用的负面影响大。

2 水泥稳定碎石铣刨粗集料吸水率

再生集料的吸水率直接影响再生水泥稳定碎石的最佳含水率,是衡量再生集料性质的重要指标。参照文献[7]中粗集料密度及吸水率试验(网篮法)进行试验,测试再生集料吸水率,试验结果如表 1、2 所示。

表 1 水泥稳定碎石铣刨粗集料吸水率

集料粒径/mm	吸水率/%	集料粒径/mm	吸水率/%
4.75~9.5	3.500	19~26.5	2.884
9.5~16	3.040	26.5~31.5	3.074
16~19	2.367	31.5~37.5	3.921

表 2 混凝土再生集料与天然集料吸水率

集料粒径/ mm	吸水率/%	
	天然集料	混凝土再生集料
5~10	1.263	6.400
10~20	1.104	5.100
20~30	1.024	4.700

由表 1 可看出:铣刨粗集料的吸水率随粒径的增大先减小后增大,这是由于随着粒径的增大,比表面积减小,吸水率减小。之后吸水率增大,是因为较小粒径粗集料颗粒主要是附着砂浆的原生集料,砂浆块少,随着粒径的增大,由细集料和小粒径粗骨料黏结而成,颗粒含量增加,造成了吸水率的增大。

由表 2 可知:① 水泥稳定碎石铣刨粗集料的吸水率高于天然集料的吸水率,这是因为再生集料中包含

的硬化砂浆孔隙多,吸水率大,而且在铣刨过程中,再生集料会产生大量的微裂缝,增大了吸水率,对比表 1、2 中混凝土再生粗集料,水泥稳定碎石铣刨粗集料的吸水率小于混凝土再生粗集料的吸水率,这是由于水泥稳定碎石水泥含量低,水泥砂浆少,使得水泥稳定碎石铣刨粗集料吸水率较小。

3 水泥稳定碎石铣刨粗集料表观密度

再生集料的表观密度直接影响再生水泥稳定碎石的最大干密度,参照文献[7]中粗集料密度及吸水率试验(网篮法)进行试验,测试再生粗集料的表观密度,试验结果如表 3、4 所示。

表 3 水泥稳定碎石铣刨粗集料的表观密度

集料粒径/ mm	表观密度/ (g·cm ⁻³)	集料粒径/ mm	表观密度/ (g·cm ⁻³)
4.75~9.5	2.701	19~26.5	2.672
9.5~16	2.691	26.5~31.5	2.656
16~19	2.689	31.5~37.5	2.615

表 4 混凝土再生集料与天然集料表观密度

集料粒径/ mm	表观密度/(g·cm ⁻³)	
	天然集料	混凝土再生集料
5~10	2.657	2.664
10~20	2.684	2.651
20~30	2.838	2.624

由表 3 可知:水稳铣刨粗集料的表观密度随粒径的增加而减小,这是由于随着粒径的增加,硬化砂浆含量增加,硬化砂浆质地疏松,表观密度小,造成了集料表观密度减小。对比表 4 中天然集料和混凝土再生集料可知:水稳铣刨粗集料的表观密度未出现大幅度衰减,对再生水泥稳定碎石不会产生太大的负面影响。

4 水泥稳定碎石铣刨粗集料压碎值

压碎值是用来衡量再生集料的力学性质,对再生水泥稳定碎石的力学性能有直接影响。根据现行规范中粗集料压碎值试验测量再生粗集料的压碎值,试验结果如表 5 所示。

由表 5 可知:① 水泥稳定碎石铣刨粗集料的压碎值大于天然集料,这是由于水泥稳定碎石铣刨粗集料中所含的水泥砂浆是软弱材料,在外力作用下易破碎

表 5 压碎值试验结果

集料粒径/ mm	压碎值/%		
	水泥稳定碎石 铣刨粗集料	天然集料	混凝土再 生集料
9.5~13.2	32.9	18.2	26.7

和脱落,而且在铣刨过程中会产生内部微裂缝,也会增大压碎值;② 水泥稳定碎石铣刨粗集料的压碎值大于混凝土再生集料,这是由于水泥稳定碎石水泥含量低,水泥砂浆强度小于混凝土中水泥砂浆强度,使得水泥稳定碎石铣刨粗集料的压碎值较大。JTG/T F20—2015《公路路面基层施工技术细则》中对水泥稳定碎石要求:二级及二级以下公路基层不应大于 35%,底基层不应大于 40%,水泥稳定碎石铣刨粗集料的压碎值符合规范要求。

5 水泥稳定碎石铣刨粗集料针片状颗粒含量

再生集料的针片状含量用来评价粗集料的形状和抗压碎能力,根据现行规范中游标卡尺法测量再生粗集料的针片状颗粒含量,试验结果如表 6 所示。

表 6 水泥稳定碎石铣刨粗集料的针片状颗粒含量

集料粒径/ mm	针片状颗粒 含量/%	集料粒径/ mm	针片状颗粒 含量/%
4.75~9.5	8	19~26.5	7
9.5~16	6	26.5~31.5	6
16~19	6	31.5~37.5	5

由表 6 可知:铣刨粗集料的针片状含量满足 JTG TF 20—2015《公路路面基层施工技术细则》中对高速公路和一级公路的要求,再生集料针片状颗粒含量与其破碎工艺有关,铣刨机的型号、运行速度、铣刨深度等都会对再生集料的针片状含量产生影响。

6 水泥稳定碎石铣刨粗集料微观分析

对水泥稳定碎石铣刨粗集料进行 SEM 微观电镜扫描和 EDS 材料元素种类和含量分析,试验结果如图 2~4 所示。

从图 2 可以看出:再生集料表面存在硬化水泥砂浆,水泥砂浆孔隙明显,砂浆周围存在裂缝且多为联通裂缝,是造成再生集料吸水率大的主要原因,随着集料

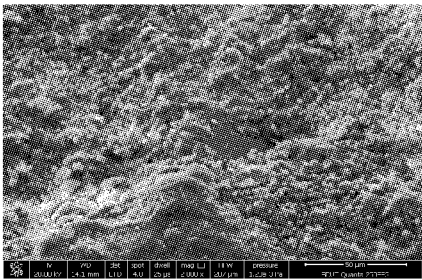


图 2 水泥稳定碎石铣刨粗集料 2 000 倍 SEM 图像

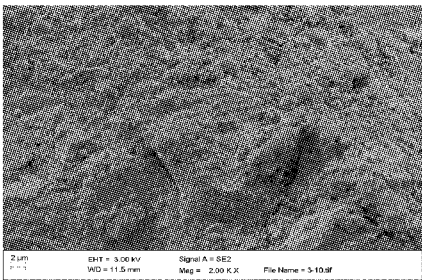


图 3 混凝土再生粗集料 2 000 倍 SEM 图像

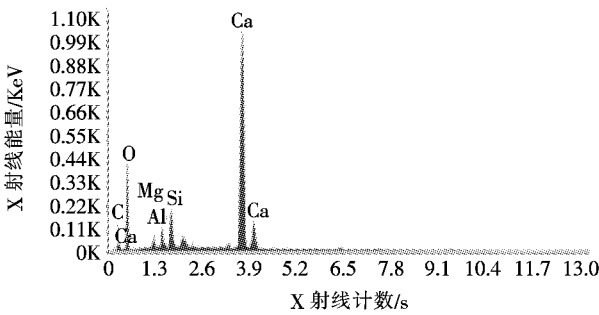


图 4 水泥稳定碎石铣刨粗集料 EDS 图像

粒径的增大,砂浆块含量增加,其吸水率有增大的趋势,表观密度有减小趋势。水泥砂浆强度低,在受外力作用时易破碎脱落,因此再生集料的强度受到很大的影响。对比图 3 可发现,混凝土再生集料表面水泥砂浆较密实且含量多,这是由于混凝土水泥含量高,水泥砂浆含量多且强度大,使得混凝土再生集料吸水率较大,压碎值较低。

结合 SEM 图像和 EDS 图像可知,水泥砂浆主要成分为水化硅酸钙,水化硅酸钙是水泥水化主要产物,是无机结合材料的强度来源,硅元素含量少,可以说明水化硅酸钙含量较少,可推断水泥砂浆强度低,在受外力作用下易破碎,是造成铣刨料的力学指标衰减的主要原因。

7 结论

(1) 水泥稳定碎石铣刨粗集料可以满足二级及二

钢渣特性及在道路工程中的应用研究

毛志刚¹, 蓝天助^{1*}, 张红日^{1,2}, 吴安耀³

(1.广西交通科学研究院有限公司, 广西 南宁 530000; 2.长沙理工大学;
3.广西桂商实业投资有限公司)

摘要: 钢渣是钢铁企业冶炼钢材中的副产品,具有良好的建筑材料性能。通过对防城港某钢厂钢渣陈化0、6、12个月的钢渣级配情况、化学成分、基本物理力学指标、CBR承载比等指标进行研究,分析其用于道路工程的可行性。结果表明:该钢渣级配良好,其压碎值、坚固性、针片状颗粒含量、CRB值等满足路用材料的要求,只是吸水率指标较大,可以用于低等级道路的面层、道路的基层和垫层、道路回填工程及地基处理等,但在应用时尚应考虑其体积膨胀性、运输耗能、环境影响等问题。

关键词: 钢渣特性; 陈化时间; 路用性能; 道路工程

1 引言

钢渣是炼钢过程中所排放的固态废弃物,其颜色一般为黑色和灰白色,钢渣出炉后冷却形成一种硬度较大的材料,是一种具有潜在活性的路用材料。近几

年中国经济飞速发展,每年的钢铁产量在逐年增加,2018年广西拟重点推进的项目中,沿海地区涉及钢铁冶金15个,总投资额近千亿元,而每生产1 t的钢铁,就会产生150~200 kg的废渣。由此每年钢渣的排放量不断增多。大量钢铁废渣的堆积不利于钢铁的生产与发展,同时也占用了大量耕地,造成资源浪费,

级以下公路水泥稳定碎石底基层要求。

(2) 水泥稳定碎石再生集料水泥含量低,水泥砂浆含量少,吸水率并无明显提高。

(3) 粒径大于31.5 mm的铣刨粗集料,大部分由细集料和小粒径集料黏结而成,力学性质和物理性质均有较大程度衰减,受外力作用下易破碎,对再生水泥稳定碎石产生负面影响。

参考文献:

- [1] A.F.M.S. Amin, A. Hasnat, A. H. Khan, et al. Ashiquzzaman. Residual Cementing Property in Recycled Fines and Coarse Aggregates: Occurrence and Quantification[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2016, 28(4):1-11.
- [2] Peerapong Jitsangiam, Kornkanok Boonserm, Tanapon Phenrat, et al. Recycled Concrete Aggregates in Roadways: Laboratory Examination of Self-Cementing Char-

acteristics[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2015, 27(10):1-9.

- [3] Togay Ozbakkaloglu, Aliakbar Gholampour, Tianyu Xie. Mechanical and Durability Properties of Recycled Aggregate Concrete: Effect of Recycled Aggregate Properties and Content[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2018, 30(2):1-13.
- [4] 胡忠辉,贾致荣,张文刚,等.水泥稳定再生集料基层性能试验研究与工程应用[J].施工技术,2016(7).
- [5] 肖杰,吴超凡,湛哲宏,等.水泥稳定砖与混凝土再生集料基层的性能研究[J].中国公路学报,2017(2).
- [6] 陈强.基于旧水泥混凝土再生集料的耐久性半刚性基层性能及设计参数的应用研究[D].华南理工大学博士学位论文,2013.
- [7] JDG E42-2007 公路工程集料试验规程[S].
- [8] 刘陵庆.水泥稳定再生集料的性能及设计研究[D].长安大学硕士学位论文,2014.
- [9] JTG/T F20-2015 公路路面基层施工技术细则[S].

收稿日期:2019-06-13

基金项目:广西科学研究与技术开发计划项目(编号:桂科攻1598009-4)

作者简介:毛志刚,男,硕士,教授级高工.E-mail:jtmzg@126.com

*通信作者:蓝天助,男,硕士,助理工程师.E-mail:1453622732@qq.com