

新型水泥路面冷再生机组再生水泥稳定碎石试验研究

冉升财¹, 孙文忠², 许加响³, 王政凯¹

(1. 菏泽学院, 山东 菏泽 274015; 2. 徐州锐马重工机械有限公司, 江苏 徐州 221000;

3. 中国矿业大学 力学与土木工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 利用新型 RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组, 采用铣刨、鄂破与反击破的综合方式完成废旧水泥混凝土面板二次破碎, 解决了传统单次方法破碎颗粒度较大的问题。通过筛分级配、无侧限抗压强度等试验, 研究了破碎再生集料的级配特征以及再生水泥稳定碎石混合料强度特性。结果表明: 经 RH-S85 机组二次铣刨后的再生集料, 大部分粒径级配处于规范的上下限范围内, 但 $\phi 0.6$ mm 以下的细集料数量偏多, 超出了级配上限, 经调整后符合规范要求。随着水泥含量的增加, 再生集料形成的水泥稳定碎石混合料的最大干密度呈线性增加, 最佳含水量呈对数增加, 无侧限抗压强度呈指数递增。控制适量水泥剂量情况下, 利用 RH-S85 机组再生集料制备的再生水泥稳定碎石混合料强度符合各类交通条件的规范要求, 可有效实现节能环保目的。

关键词: 旧水泥路面; 再生水泥稳定碎石; RH-S85 机组; 级配; 无侧限抗压强度

中图分类号: U 416.2

文献标识码: A

Experimental Study on Stable Crushed Gravel of Recycled Cement in a New Cement Pavement Cold Recycling Unit

RAN Shengcai¹, SUN Wengzhong², XU Jiaxiang³, WANG Zhengkai¹

(1. Heze University, Heze 274015, Shandong, China; 2. Xuzhou Ruima Heavy Industry Machinery Co., Ltd.,

Xuzhou 221000, Jiangsu, China; 3. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and

Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu, China)

Abstract: RH-S85 old cement pavement cold recycling unit was adopted with the method of milling, jaw crushing and counterattack breaking to complete the secondary crushing of waste cement concrete panels, which effectively solves the problem of large particle size of traditional single crushing. The grading characteristics of crushed recycled aggregates and the strength characteristics of recycled cement-stabilized crushed stone mixture were studied by carrying out tests such as sieve grading and unconfined compressive strength. The results show that most of the particle size gradation of the recycled aggregate after the second milling of the RH-S85 old cement pavement cold recycling unit is within the upper and lower limits of the specification, but the number of fine aggregates below $\phi 0.6$ mm exceeds the upper limit of gradation. The cement-stabilized crushed stone mixture formed by recycled aggregates meet the requirements of the standard grading curve range after adjustment, and it increases the maximum dry density linearly with the increase of cement content, the optimal water content increases logarithmically, and the unconfined compressive strength increases exponentially. Under the condition of controlling the appropriate amount of cement, the strength of recycled cement stabilized gravel mixture prepared by using recycled aggregate of RH-S85 unit can meet the requirements of various traffic conditions, and can effectively achieve the purpose of saving environmental protection.

Key words: old cement pavement; recycled cement stabilizes crushed stone; RH-S85 unit; grading; unconfined compressive strength

经过数十年的迅速发展, 我国公路交通事业取得了举世瞩目的成就, 通车总里程世界第一,

目前工作重心已经从新建逐渐向管养运维阶段转移。水泥混凝土路面是最主要的路面类型之一,

收稿日期: 2023-10-08

作者简介: 冉升财, 副教授, 硕士, 研究方向为废旧路面材料循环利用研究、工程安全评价及质量事故与分析

我国使用的体量非常庞大,针对旧水泥混凝土路面的翻修和重修,通常的做法是先通过多锤头破碎机或板式破碎机将破坏的水泥混凝土料剔除,然后在路基上面重新铺设新的水泥混凝土面板,将产生的旧水泥混凝土破碎料废弃^[1-2],这种做法不仅费时费力,对废旧建筑材料的利用率也相对较低,不利于环境保护。因此,旧水泥混凝土料的处理和再利用是一个重大和现实的课题^[3]。

水泥路面的就地破碎再生技术在国外研究起步较早,特别是在欧美国家和日本,其技术已经相对成熟。国内关于就地冷再生的研究起步较晚,但近年来逐步取得了一定的成效^[4-7]。其中,旧水泥路面就地冷再生为水泥稳定碎石基层的应用较为广泛,该项技术实施的关键在于再生机械的研发和应用。针对目前市场上水泥路面就地冷再生机存在的不足与短板,徐州锐马重工机械有限公司研制出了集破碎与再生一体的新型 RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组,其主要创新之处在于将传统的旧水泥混凝土面板破碎环节由单次分解为两次,即可以实施水泥路面二次破碎施工,主要解决水泥路面初次破碎颗粒度较大的问题,保证破碎物料接近再生水泥稳定碎石基层的要求。本文以五台山风景名胜区公路大修工程应用为依托,开展试验研究新型 RH-S85 机组再生废旧水泥混凝土破碎料的粒径特征,以及再生水泥稳定碎石混合料的强度特性及其再生效果,为同类工程机械研发以及水泥混凝土再生技术应用提供借鉴。

1 机组工作原理

1.1 机组特点

RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组主要由 RS520 路面冷再生破碎机和 RH800 路面冷再生破碎机两部独立机械组成,同时配合其它相关附属机械设备,各机械设备按照设计程序共同开展工作。RH800 水泥路面再生机作为机组的主要破碎机械(见图1),适用于旧水泥路面破碎以及水泥稳定碎石基层破碎,可破碎水泥基材料抗压强度达到 C50,机器具有自行功能,可对水泥基结构层进行连续破碎施工。作为 RH800 再生破碎机的配套机械,RS520 再生破碎机(见图2)主要用于水泥路面二次破碎施工,可有效解决水泥路面 RH800 初次破碎颗粒度较大的问题,保证水泥板块破碎后的粒径达到再生水泥稳定碎石基层材料要求。



(a) 整机



(b) 刀盘

图1 RH800 水泥路面再生破碎机



(a) 整机



(b) 刀盘

图2 RS520 水泥路面再生破碎机

1.2 工作原理

新型 RH-S85 水泥路面破碎机组与传统的冷再生机采用纯铣刨的方式不同。传统冷再生机是采用铣刨转子上刀头将路基材料一层一层切削下来, 由于刀头的物理切削方式, 刀头与材料剧烈摩擦, 切下的物料粒径偏小, 并在切削过程中产生大量粉料。RH-S85 型水泥路面破碎机组与传统冷再生机的相同点是都采用铣刨转子, 铣刨转子上都装有大量刀头, 不同的是前者铣刨转子外的破碎罩壳上装有多道耐冲击耐磨挡板。在破碎前, 采用挖掘机液压锤或多锤头预先将水泥板打成成片的连续裂纹, 破碎机在破碎时可将预破过的水泥板切成大块水泥块, 大块水泥块被高速旋转的铣刨转子加速带入罩壳内, 与罩壳上的多道挡板形成连续的破碎空间。在这个空间内铣刨转子刀头与破碎挡板相互挤压, 将水泥团块挤碎分散, 强度低的水泥粘结层被挤碎, 强度高的石子保留。这种破碎方式相当于鄂破, 而被加速的物料也受到挡板的冲击, 相当于反击破。

RH-S85 型水泥路面破碎机组采用铣刨、鄂破与反击破的综合方式完成旧水泥板的破碎。采用这种综合的破碎方法, 通过调整合理的铣刨转子转速, 优化破碎罩壳的尺寸, 可将水泥板破碎后粒径自然形成天然的级配, 依托工程的破碎效果见图 3、图 4。



(a) 整体



(b) 细部

图3 首次破碎



(a) 整体



(b) 细部

图4 二次深度破碎后

2 再生水泥稳定碎石基层配合比设计及强度试验分析

2.1 破碎再生集料级配分析

集料级配是指各级粒径分布情况, 其对水泥稳定碎石混合料性能影响较大, 《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20—2015) 对集料级配范围进行了规定。为此, 针对 RH-S85 水泥路面破碎机组破碎后的再生集料状况以及级配情况进行分析。依托五台山风景名胜区公路大修工程, 随机抽取 2 组旧水泥混凝土板破碎料进行室内筛分试验 (图 5), 筛分取样结果见表 1 和图 6。



图5 室内筛分试验

表 1 及图 6 表明, 旧水泥混凝土面板通过 RH-S85 机组进行二次破碎后大部分粒径再生集料级配处于规范的上下限范围内, 具体而言, $\phi 9.5\text{ mm}$ 以下的细料较级配中值偏多, 特别是

表1 再生集料筛分结果

组别	通过下列筛孔的质量百分率/%								
	37.5 mm	31.5 mm	26.5 mm	19.0 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	0.6 mm	0.075 mm
1#	100.0	91.3	88.0	75.7	56.6	41.9	29.8	17.6	9.8
2#	96.6	95.2	89.9	80.2	58.2	43.3	31.2	19.3	11.6
均值	98.3	93.3	89.0	78.0	57.4	42.6	30.5	18.5	10.7

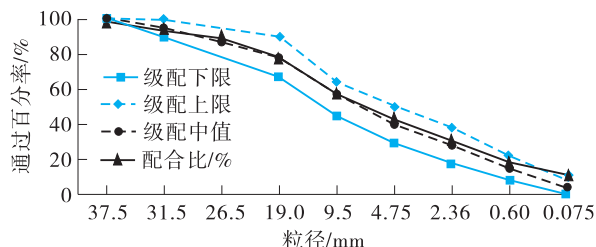


图6 再生集料级配

∅0.6 mm 以下的部分骨料超出级配上限较多(∅0.075 mm 级配的细料超出级配上限 52.8%),即再生集料级配总体偏细,细颗粒较多易加重再生水泥稳定碎石产生收缩、开裂等问题。为此,实际应用中需要根据不同再生工艺采用不同方法进行调整,例如对于现场再生工艺而言,可增加新粗集料,减少∅0.6 mm 以下的骨料比例;对于厂拌再生工艺而言,则可通过直接减少∅0.6 mm 以下的骨料进行控制。鉴于本依托工程是采用 RH-S85 机组进行现场再生,本文在进行实验室再生水泥稳定碎石强度试验时,通过适当添加新粗集料对再生集料进行集配调整后使其符合规范的范围。

2.2 配合比设计

针对再生水泥稳定碎石混合料受水泥含量影响规律以及达到规范强度要求的标准进行研究,将水泥按 5 种不同质量分数(2%、2.5%、3%、3.5%、4%)掺配,考虑其对冷再生混合料的早期强度和抗水损坏能力的影响,通常选择的是掺配 32.5 MPa 矿渣硅酸盐水泥。通过标准击实试验获得不同水泥含量下混合料的最大干密度和最佳含水量,在此基础上,再使用成型试件测试其 7 d 无侧限抗压强度。

3 试验过程及结果分析

3.1 试验过程

根据配合比设计方案,拌合各水泥含量的再生水泥稳定碎石混合料,根据《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG E51—2009)制备 ∅100 mm × 150 mm 无侧限抗压强度试件,各水泥含量的抗压强度平行试件 13 个,5 种水泥含量抗

压强度试件共计 65 个,试件进行标准养生至 7 d 龄期,使用多功能路面材料强度试验仪进行无侧限强度测试。

3.2 结果分析

根据 JTG E51—2009 进行测试结果计算处理后,回归再生混合料的最大干密度、最佳含水量、抗压强度随水泥含量变化曲线见图 7 ~ 图 9。

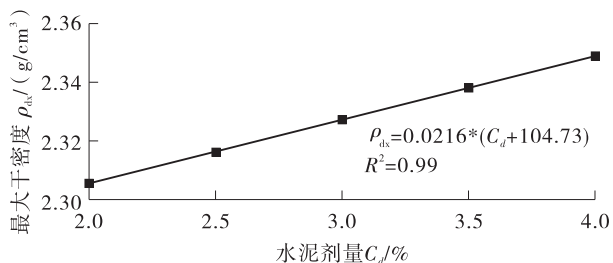


图7 最大干密度随水泥含量变化

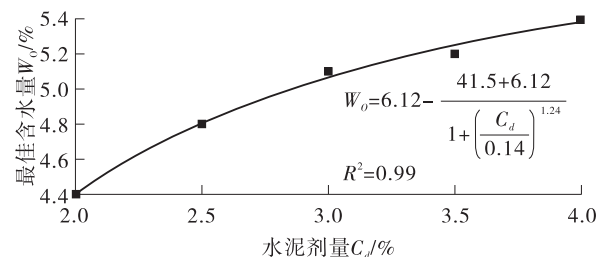


图8 最佳含水量随水泥含量变化

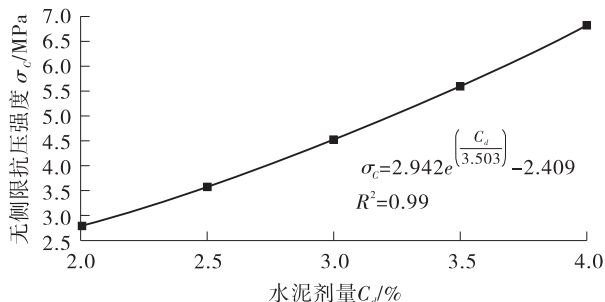


图9 无侧限抗压强度随水泥含量变化

图 7 ~ 图 9 表明,随着水泥含量的增加,再生水泥稳定碎石混合料最大干密度、最佳含水量及无侧限抗压强度均逐渐增加,其中最大干密度呈线性增加;最佳含水量呈对数增加;无侧限抗压强度呈指数增加。当水泥配合比为 2% 时,无侧限抗压强度仅为 2.8 MPa,而当水泥配合比为

4%时,无侧限抗压强度可达到6.8 MPa,为2%水泥配合比土样强度的2.4倍以上,即水泥掺量的增加对再生混合料的抗压强度提升具有显著效果,且随着水泥含量增加,抗压强度增速提高。

根据JTG/T F20—2015规定,水泥稳定类材料用作高速公路和一级公路底基层的7 d无侧限抗压强度标准应符合表2要求。

表2 基层水泥稳定材料的7 d龄期无侧限抗压强度标准 R_d
单位: MPa

公路等级	极重、特重交通	重交通	中、轻交通
高速公路和一级公路	5.0~7.0	4.0~6.0	3.0~5.0

对比表2可知,当水泥剂量为2.5%~3.0%时,再生水泥稳定碎石可满足中、轻交通的强度要求;当水泥剂量为3.0%~3.5%时,可满足重交通的强度要求;当水泥剂量为3.5%~4.0%时,即可满足极重、特重交通的强度要求。因此,在控制适量水泥剂量情况下,利用RH-S85机组再生集料制备的再生水泥稳定碎石混合料的强度能够符合各类交通条件的规范要求。

3.3 工后使用效果评价

本项目实验路段为五台山风景名胜区大修工程K1580+200~K1581+800路段,经RH-S85旧水泥路面就地冷再生机组改造完成后,对路面进行了检测,改造后的路面使用效果如图10所示,路面无明显开裂情况。结合本文实验分析,各项指标均满足规范和设计要求,效果显著,表明RH-S85旧水泥路面就地冷再生机组破碎性能可以满足改造建设目标的要求。



图10 路面使用效果图

4 结论

经RH-S85旧水泥路面就地冷再生机组二次铣刨后的再生集料大部分粒径级配处于规范的上下限范围内,但 $\phi 0.6\text{ mm}$ 以下的细集料数量偏多,超出了级配上限,即再生集料级配总体偏细。经调整后符合规范级配曲线范围要求的再生集料形成的水泥稳定碎石混合料,随着水泥含量的增加,最大干密度呈线性增加,最佳含水量呈对数增加,无侧限抗压强度呈指数递增,即随着水泥含量增加,抗压强度增速提高。在控制适量水泥剂量情况下,利用RH-S85机组再生集料制备再生水泥稳定碎石混合料强度能够符合各类交通条件的规范要求,可有效实现节约环保目的。

参考文献:

[1] 谭玉荣,李宝魁,张秋香,等.公路再生技术与设备[J]. 建设机械技术与管理,2010,23(1):96-98.

[2] 陈中敏.就地冷再生机械主机结构及铣刨转子的研究[D].武汉:武汉理工大学,2009.

[3] 陈芳.普通干线公路水稳碎石基层就地再生技术的应用探讨:中国公路学会养护与管理分会第十二届学术年会论文集[C].北京:中国公路学会养护与管理分会,2022:251-253.

[4] ZHOU P,WANG W,YU Z. Analysis of interface fusion effect between old and new asphalt under plant mixing and cold recycling mode based on molecular dynamics simulation[J]. Materials,2021,14(16):4637.

[5] JUN L. Introduction to the current situation and future prospect of the asphalt pavement recycling technology [C]. 2013 Fourth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications,2013:365-368.

[6] MODARRESA, RAHIMZADEHM, ZARRABIM. Field investigation of pavement rehabilitation utilizing cold in-place recycling [J]. Resources, Conservation and Recycling,2014,83:112-120.

[7] 白万玉.旧水泥混凝土路面就地再生水泥稳定碎石基层施工技术[J].黑龙江交通科技,2021,44(8):16,18.