

¹新型旧水泥路面就地冷再生机组施工工艺与质效分析

冉升财¹、孙文忠²

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

摘要: 针对国内首创的新型 RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组的施工质效, 以五台山风景名胜区公路大修工程应用为依托, 阐述其技术特点与施工工艺, 并基于压实度、钻芯取样质量检测与分析验证了施工效果。最后分别从施工成本、施工效率、交通干扰、环保价值等方面将新型冷再生机与传统破碎再生机械进行对比, 分析其经济效益与社会效益优势。结果表明基于新型 RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组具有良好的工作质效和市场应用潜力, 对废旧建筑材料再生技术领域的工作起到积极促进作用。

关键词: 旧水泥路面; 破碎; 就地冷再生; RH-S85 机组; 施工质效; 施工工艺

Construction technology and quality efficiency analysis of new old cement pavement in-situ cold recycling unit

RAN Shengcai¹、SUN Wengzhong²、XU Jiexiang³、WANG Qingyuan¹

(1、Heze University, Heze, Shandong 274015, China; 2、Xuzhou Ruima Heavy Industry Machinery Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu 221000, China; 3、School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: Aiming at the construction quality and efficiency of the new RH-S85 old cement pavement cold recycling unit, based on the application of highway overhaul engineering in Wutaishan Scenic Area, the technical characteristics and construction technology were expounded, and the construction effect was verified based on the compaction degree and drilling core sampling quality inspection and analysis. Finally, the new cold recycler and the traditional crushing and recycling machinery are compared from the aspects of construction cost, construction efficiency, traffic disturbance and environmental protection value, and its economic and social benefits are analyzed. The results show that the new RH-S85 cement pavement in-situ cold recycling unit has good working quality and market application potential, and promoting recycling technology of waste building materials actively.

Keywords: old cement pavement; Broken; in-situ cold recycling; RH-S85 unit; Construction quality and efficiency; Construction process

0 引言

经过近几十年的迅速发展, 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。水泥混凝土路面和沥青路面是最为主要的两种路面类型, 为此, 在旧水泥混凝土路面的翻修和重修过程中, 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混合料, 将产生的旧水泥混合料废弃扔掉^[1-2], 操作不仅费时费力, 对废旧建筑材料的利用率也相对较低。为此, 庞大旧水泥混凝土料的处理和再利用是一个非常重大和现实的课题^[3]。

依托企业项目: 旧水泥道路就地破碎冷再生关键技术研发; 旧水泥混凝土路面就地再生集料系统及施工方法

作者简介: 冉升财, 男, 陕西蒲城人, 副教授、高工, 主要从事废旧路面材料循环利用研究, 公路安全评价及质量事故与分析。

邮箱: ranshengcai@hezeu.edu.cn

水泥路面的就地破碎再生技术在国外研究起步较早，特别是在欧美和日本其技术已经相对成熟，而由于国情不同，国内关于就地冷再生的研究起步较晚，但近年来发展逐步取得了一定的成效^[4-7]。旧水泥路面就地冷再生水泥稳定碎石基层技术应用广泛，而该项技术实施的关键在于再生机械的研发和应用，针对不同的再生机械工作原理必然伴随不同的施工工艺，进而形成不同的施工质量控制方法和施工效果。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特别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。作为国内首创的旧水泥路面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二次，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，保证破碎物料达到水稳基层再生的要求。本文以五台山风景名胜区公路大修工程应用为依托，对新型 RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组的施工工艺与质效进行实践应用与分析也为同类工程机械研发提供借鉴。

1 工程概况

五台山长城板块旅游公路忻州市五台山风景名胜区境内杨柏峪至豆村（山咀至伏胜）段公路工程全长约 27.937 公里，道路宽度为 7.5 米。现有路面为水泥混凝土路面，服役年限较长，在行车荷载及自然因素，主要是降水、积雪作用下产生了较多的病害，并随着排水工程的破损，病害进一步加剧，目前裂缝、断板、坑槽等病害非常普遍，严重路段面板碎块，路面下沉。根据《公路技术状况评定标准》（JTG5210-2018），通过现场勘测，详细论证后对路面的破损程度 PCI，路面的行驶质量 RQI 进行了技术状况评定。路面质量指数 PQI 得分为 45.52 分，评定结果为差。

鉴于现有路面破损严重，直接白改黑或采用一般的病害处置措施后加铺沥青路面方案已不可行，为此本项目拟采用水泥混凝土路面就地碎石化处理后再利用作为水泥稳定碎石基层，然后加铺沥青混凝土面层的总体方案。其中，水泥混凝土路面就地再生水泥稳定碎石基层则采用新型 RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组进行施工作业。

2 机组主要特性

RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组由 RS520 路面冷再生机和 RH800 路面冷再生机两部独立机械为主要组成，同时配合其它相关附属机械设备，通过各机械设备按照设计程序进行配合使用开展工作。而 RS520 路面冷再生机和 RH800 路面冷再生机两部独立机械是本文独创内容，其性能、施工工艺和施工效果即为本文重点研讨内容。

（1）RH800 路面冷再生机

RH800 水泥路面再生机作为机组的主要破碎机械（见图 1），可适用于水泥路面破碎再生以及水稳路基破碎再生，可破碎水泥基材料抗压强度达到 C50，机器具有自行功能，可对水泥路面连续破碎施工，具体技术参数见表 1。



a) 整机

b) 刀盘

图 1 RH800 水泥路面再生机

表 1 RH800 主要技术参数

指标	单位	数值
	型号	潍柴动力 WP17G770
发动机	额定功率	kW / PS 566 / 770
	额定转速	rpm 2100
	最大扭矩	N.m 3011
行走速度	I 挡（作业速度）	m / min 0~8.5
	II 挡（作业速度）	m / min 0~30
	III 挡（转场速度）	km / h 0~12.5
	铣刨再生宽度	mm 2100
	最大铣刨破碎深度	mm 0~320
	最小贴边施工距离	mm 380
	铣刨转子转速	电控 6 挡
	离地间隙	mm 410
	最大爬坡度	≥ 30%
轮胎	前轮	23.5-25
	后轮	23.5-25
	燃油容量	L 700
	整机最大操作重量	kg 37000
	整机最小重量	kg 30000
	整机外形尺寸(长×宽×高)	mm 10160×3155×3375

(2) RS520 水泥路面再生机

作为 RH800 再生机的配套机械，RS520 再生机（见图 2）主要用于水泥路面二次破碎施工，可有效完成水泥路面 RH800 初次破碎颗粒度较大的问题，保证水泥板块破碎后的颗粒度达到再生材料要求，具体技术参数见表 2。



a) 整机

b) 刀盘

图 2 RS520 水泥路面再生机

表 2 RS520 主要技术参数

指标	单位	数值
型号	潍柴动力 WP12G480	
发动机	额定功率	kW / PS 353 / 480
	额定转速	rpm 2100
	最大扭矩	N.m 2100
行走速度	I 挡（作业速度）	m / min 0~65
	II 挡（转场速度）	km / h 0~28
工作宽度	mm	2300
最大破碎再生深度	mm	0~280
最小贴边施工距离	mm	195
离地间隙	mm	400
最大爬坡度	≥	40%
前后轮胎规格		23.5-25 / 17.5-25
燃油容量	L	600
整机重量	kg	23500
整机外形尺寸(长×宽×高)	mm	9450×3090×3370

(3) 其他机械设备

本再生机组其它机械设备主要包括：PS360 多锤头破碎机一台，液压镐头机 2 台，WR2300E（600HP）型冷再生机 1 台，16t 水泥撒布车一台，PY-160 平地机 1 台，12 方洒水车 3 台，26t 单钢轮振动压路机 1 台，26t 轮胎式压路机 1 台。

3 施工工艺及质量控制

3.1 施工工艺与特点

RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组施工工艺与传统再生工艺相比主要体现在旧水泥混凝土板现场碎石化工艺上，其余过程基本和传统工艺类似，视为传统工艺的优化改进，这样既可以提高再生效果又可以最大化的利用原有部分再生附属设备。为此，作为其主要特点的旧水泥板块现场碎石化施工工艺主要工艺如下：

首先主要采用多锤头破碎机或液压破碎锤对旧水泥路面板体做预处理破碎，在每块水泥板预破孔洞，孔间距要小于 50cm，使得水泥板产生连续裂纹的效果（见图 3）。



a) 整体

b) 细部

图 3 预破碎

第二步，采用 RH800 旧水泥路面就地冷再生机进行首次破碎。其工作原理主要是将预破碎过的水泥板切成大块水泥块，在铣刨转子的高速旋转下加速进入罩壳内与罩壳上的多道挡板形成连续的破碎空间，在空间内被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，使原混凝土路面破碎后粒径较大的粒料均匀分布于级配碎石中，使其更易压实。RH800 再生机破碎深度最大深度可下至 32cm 处，从理论上可以再生几乎所有的建筑材料，原路面的材料可以 100% 再利用。本项目破碎厚度约为 24cm（局部或 ≤ 27 cm），一次破碎宽度最大为 2.3 米，破碎效果见图 4。



a) 整体

b) 细部

图 4 首次破碎

从首次破碎后的效果图来看，在经过 RH800 冷再生机破碎完成后，路面碎石级配分布较为均匀，但部分大粒径粒料裸露在外面，仍存在水泥路面初次破碎后颗粒度较大的问题。另外，由于 RH800 贴边施工距离不够，导致道路的边料仍有 30~50cm 处理不到。

因此，在 RH800 冷再生机完成首破后，主要采用 RS520 再生机对材料进行二次深度破碎，确保破碎后的材料颗粒基本在 4cm 以下，粗骨料与细集料配比合理。其工作主要原理为铣刨鼓经动平衡调整，采用专用检具检测，装配精度高，运转平稳，铣刨破碎罩壳经过强化设计，与铣刨鼓配合，被加速的物料在铣刨破碎罩壳高速旋转，同时受到挡板的冲击，可有效完成大颗粒物料的破碎，破碎效果见图 5



a) 整体

b) 细部

图 5 二次深度破碎后

完成旧水泥混凝土面板铣刨、破碎后，后续再生工艺基本和传统工艺类似，即由新骨料运输卡车根据新骨料添加量，在旧铺层上间隔一定距离卸成新骨料堆，再经平地机按再生宽度进行新骨料的预摊铺，以便于新旧材料的均匀混合水泥，水泥稀浆搅拌运输车通过管道把水泥稀浆输送给再生机，冷再生机完成新旧材料的拌和、摊铺及预压实，压路机完成再生层的最终压实成型（见图 6）。



a) 碾压

b) 成型

图 6 成型再生水稳基层

3.2 质量检测

为了检测 RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组施工质量，针对成型水泥稳定碎石再生基层进行压实度和钻芯取样检测。

(1) 压实度检测

根据《公路路基路面现场测试规程》(JTG3450-2019) 相关规范，采用灌砂法进行压实度检测，检测点数为 15，具体检测结果见表 3。

表 3 灌砂法所测压实度表

测点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
压实度 (%)	97.3	97.4	97.2	97.2	97.8	97.7	97.5	97.7	97.3	97.2	97.5	97.5	97.1	97.2	97.7

表 3 数据显示本次检测压实度控制在 97% 以上，压实质量较好。

(2) 取芯检测

根据《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(JGJ/T3842016)采用现场钻芯法对成型水泥稳定碎石再生基层进行取样(见图7),取样位置在不破坏道路承载力和不影响交通的位置进行,在不同桩号附近共钻取11组芯样进行完整性与厚度表观检测。



图7 代表芯样

测量厚度统计见表4。

表4 钻芯取样厚度检测表

桩号	K21+770	K22+300	K22+400	K22+500	K22+700	K23+000	K23+350	K23+550	K23+650	K23+690	K24+190
实测厚度(mm)	265	245	247	230	238	248	240	255	220	240	245

由表4计算芯样平均厚度为243mm,完全符合设计厚度220mm标准,同时现场芯样状态显示其完整性较好,施工质量较为稳定。

4 经济效益与社会效益分析

4.1 经济效益分析

(1) 施工成本低

传统的就地冷再生机是先通过多锤头或板式破碎机对旧路进行破碎,然后通过将厂拌水泥材料摊铺达到就地再生目的,而RH-S85旧水泥路面就地冷再生机组可充分利用旧路资源,简化施工方式,使得施工成本更低。本项目路面改造面积为150000m²,节省投资约30%。详细技术经济指标见表5:

表5 传统改造机械与RH800冷再生机施工费用对比

项目	传统改造机械	RH-S85冷再生机组
改造面积(m ²)	150000	150000
挖除病害	数量(m ²)	0
	金额(万元)	0
水泥稳定碎石	数量(m ³)	0
	金额(万元)	0
冷再生基层(厚20cm)	数量(m ³)	149998
	金额(万元)	705.3
小计(万元)	1048.9	705.3
单价(元/m ²)	69.9	47.0
效果	一般	良好

(2) 施工效率高

RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组可以一次性地完成基层的破碎、拌和及摊铺，几乎不存在水泥材料运输问题，不需要其他机械对旧路耙松和破碎，简化了施工程序，提高了施工效率，有效缩短了施工工期。就本项目来说，基层采用 RH800 冷再生机，施工工期为 42 天；若基层采用传统冷再生机械，则施工工期约为 55 天，可见 RH-S85 冷再生机组的使用可以使施工工期缩短约 30%。

4.2 社会效益分析

(1) 交通干扰小

RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组可以半幅施工，半幅开放交通，对交通的干扰不明显，尤其适用于车流量大、车速快、不能中断交通的路段。

(2) 环保价值高

RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组完全利用了原旧路材料，很少甚至不需开采新的材料，保护了天然资源，实现了节能减排的目的；新型冷再生机是“绿色”的工程机械，不重要考虑旧路废料的运输和堆放问题，封闭式自动控制添加系统，防止了粉尘的飞扬，满足环保施工的需求。

5 结论

(1) 作为国内首创的旧水泥路面冷再生机组，RH-S85 采取二次破碎方式实现对旧水泥混凝土路面的破碎再生，破碎后的材料颗粒基本在 4cm 以下，能够满足旧水泥路面就地再生水泥稳定碎石基层的施工要求。

(2) 通过对依托工程进行压实度以及芯样的厚度和完整性检测与分析表明，RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组施工质量合格且较为稳定。

(3) RH-S85 旧水泥路面就地冷再生机组相较于传统破碎机而言，简化了施工方式，降低了施工成本，提高了施工效率，有效缩短了施工工期，且实现了节能减排的目的并满足环保施工的需求，具有良好的应用和推广前景。

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/OL].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/OL].武汉理工大学,2009[2023-04-25].
- [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[C/OL]//中国公路学会养护与管理分会第十二届学术年会论文集.中国公路学会养护与管理分会,2022:251-253[2023-04-06].
- [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/OL]. Materials, 2021, 14(16):4637.
- [5]JUN L. Introduction to the Current Situation and Future Prospect of the Asphalt Pavement Recycling Technology[C/O L]//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/OL]. 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/OL].黑龙江交通科技,2021,44(8):16+18.