

南方湿热地区的水反应型沥青常温修补材料应用关键技术研究

许 龙¹, 彭馨彦²

(1. 广州市市政工程维修处有限公司, 广州 510030; 2. 广州市市维新材料科技有限公司, 广州 510663)

摘要:针对传统冷补料早期强度低、强度增长慢、耐久性不足和抗水损害能力差的问题,以反应型溶剂为稀释剂,以水泥作为固化剂,研制出一种水反应型沥青常温修补料。通过马歇尔试验以及肯塔堡飞散试验,研究水反应型沥青常温修补料的级配类型以及强度增长速度,同时参考传统冷补料的生产工艺,研究水反应型沥青常温修补料的生产工艺、包装工艺、现场坑槽修补施工工艺等环节关键技术控制。参考传统热拌沥青混合料的评价方式,评价水反应型沥青常温修补料的路用性能。结果表明:水反应型沥青常温修补料适合悬浮密实性级配;水反应型沥青常温修补料强度增长快,3 h 龄期 25 ℃ 马歇尔稳定度为 12.4 kN;在保证专有的生产和包装工艺下,水反应型沥青常温修补料能长期储存;水反应型沥青常温修补料各项指标接近传统热拌沥青混合料,尤其是高温性能明显优于传统热拌沥青混合料。

关键词:水反应型;试验研究;包装工艺;施工工艺

中图分类号:U416.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)06-0249-06

坑槽病害是最突出的沥青路面破损形式之一,尤其在雨季,沥青路面坑槽病害会集中出现,严重影响路面的平整度、行车的舒适度和安全性^[1]。特别是南方湿热多雨,交通流量大,重载与超载现象普遍,坑槽病害尤为突出^[2]。因此,解决好沥青路面的坑槽病害显得尤为重要。目前常用的坑槽常温修补料主要以石油类溶剂作为稀释剂,保证维修的及时性、维修方便、封闭交通时间短、节省材料、储存稳定性高等优势^[3-4]。传统常温沥青冷补料仍普遍存在的强度发展缓慢、初期强度不足、强度增长慢、强度形成受环境温度和湿度的影响大、耐久性较差的问题^[5]。传统冷补料带水修补坑槽时,水会进一步降低冷补料的耐久性,加速冷补料破坏,其次,水会引起石油溶剂渗出污染环境。同时,城市道路养护面临:①严重的交通压力,养护维修需要快速开放交通;②养护作业时间一般在晚上 10 点至早上 6 点,作业时间短,效率低;③养护维修要求更加环保,对环境的影响小^[6]。在此背景下,很有必要研发早强强度高、强度增长快、高性能、耐久性好的沥青常温修补料。

针对传统冷补料早期强度低、强度增长慢、耐

久性差的问题,研发一种基于高分子材料的水反应型沥青常温修补材料,对新型常温修补料的级配类型选择,路用性能、施工工艺以及生产工艺进行相关研究。试验研究表明这种水反应型常温修补料的施工工艺简单、性能优异且具有较好的发展前景与市场推广价值。

1 材料组成及技术原理

不同于普通冷补料,水反应型沥青常温修补料不含石油类溶剂。水反应型沥青常温修补料由水反应型沥青、反应型稀释剂、集料、填料和固化剂组成^[7]。水反应型沥青由反应型稀释剂与沥青制得,反应型稀释剂与沥青具有很好的相容性,能够稀释沥青,降低沥青的黏度,保证其在常温下呈流动状态,保证混合料常温下的和易性^[8-9]。其次反应型稀释剂与固化剂的水化物发生化学反应,能快速释放沥青的黏度,同时化学反应的产物能增加沥青混合料的早期强度。

通过 Axiovert200 倒置荧光显微镜,分析胶结料的微观原理。固化后的水反应型沥青胶结料的荧光照片,如图 1 所示。图中黄色为激发的荧光为化学反应产物相,黑色为沥青相。参考黄红明^[10]的

收稿日期:2022-10-31

作者简介:许龙(1990—),男,湖北仙桃人,广州市市政工程维修处有限公司,工程师,硕士,研究方向为路面施工与管理;彭馨彦(1986—),男,湖北宜昌人,广州市市维新材料科技有限公司,高级工程师,硕士,研究方向为道路材料。

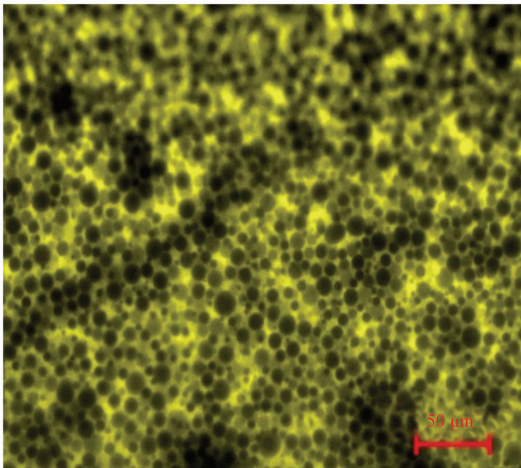


图 1 固化后水反应型沥青胶结料荧光显微镜照片

研究,固化后水反应型沥青胶结料形成了空网状结构模型,因此,荧光显微镜照片表明,固化后水反应型沥青胶结料形成包裹沥青颗粒的空间网状结构。这样也进一步验证胶结料性能的增加。

2 级配类型的影响

传统冷补沥青混合料的级配设计,为了加快石油类稀释剂挥发,一般采用骨架空隙结构,水稳定性和耐久性较差^[4]。水反应型沥青常温修补料的强度增长是化学反应,不需要稀释剂的挥发。同时,热拌沥青混合料采用悬浮密实结构和骨架密实结构等密级配类型时,细集料的用量较多,优点在于可提升混合料的强度、密实度、水稳定性、耐久性等性能^[11]。

针对沥青路面坑槽修补,基于马歇尔试验设计方法,本文提出了两个提高冷补料性能的思路:①在传统马歇尔试验级配设计方法的基础上增加抗飞散的设计指标,在保证其他性能的情况下,提高混合料的耐久性能。②适当增加沥青胶结料的

油石比,以提高其变形性能和疲劳性能,在保证密实度的基础上,降低压实功,以保证冷补料的现场施工的和易性和储存性能。参考环氧沥青混凝土密实型 EA-10 级配^[9],同时参考骨架密实型 SMA-10 级配,其次以传统冷补料 LB-10 级配进行对比。

以马歇尔试验分别确定通过 3 种级配下最佳油石比:EA-10 级配为 6.6%,SMA-10 级配为 6.2%,LB-10 级配为 5.1%。通过马歇尔试验、飞散试验、车辙试验、浸水马歇尔使用验证 3 种级配下水反应型沥青常温修补料的性能。试验结果见表 1。

表 1 3 种级配下水反应型沥青常温修补料性能对比

试验项目	EA-10 级配	SMA-10 级配	LB10-级配
马歇尔稳定度/kN	9.5	8.3	8.5
肯塔堡飞散/%	5.7	15	24
残留稳定度/%	90	85	70
动稳定度/(次·mm ⁻¹)	7 800	9 600	8 200

由表 1 可知,EA-10 级配下水反应型沥青常温修补料的抗飞散能力和残留稳定度要明显好于另外两种级配,虽然 EA-10 级配下动稳定度相比其他两种级配有所下降,但是 EA-10 级配下的水反应型沥青常温修补料的动稳定度明显优于热拌沥青混合料。同时,为了增加混合料的耐久性,水反应型沥青常温修补料的级配优先采用密实型级配。因此,建议水反应型沥青常温修补料建议采用 EA-10 型密实级配。

参考 EA-10 级配,本文确定水反应型沥青常温修补料 RA-10 的级配范围要求见表 2,具体应根据其性能指标要求进行目标矿料级配的设计与定型,并在后期大规模生产过程中严格遵守生产配合比的级配要求进行生产。

表 2 水反应型沥青常温修补料 RA-10 级配要求

级配类型		通过下列筛孔的质量百分率/%								
		13.2 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	0.075 mm
水反应型沥青	级配上限	100	100	85	58	44	32	23	16	8
常温修补料	级配下限	100	90	45	30	20	13	9	6	4

3 强度增长规律

参考《公路工程沥青与沥青混合料实验规程》(JTG E20—2011)中的相关试验要求^[11],通过马歇尔试验研究水反应型沥青常温修补料强度增长规律。击实后的试件常温放置养生。将各个时间段的 RA-10 试件在 25℃ 恒温水槽中养生 60 min,进行马歇尔试验测试稳定度。试验结果如图 2 所示。同时根据规范要求制得传统的 LB-13 冷补料,按照

《沥青路面坑槽冷补成品料》(JTT 972—2015)规范要求养生^[12]。将养生好的 LB-13 试件 25℃ 恒温水槽中养生 60 min,进行马歇尔试验测试稳定度。

由试验结果可知,3 h 龄期 RA10 的马歇尔稳定度为 12.4 kN,大于 7 d 传统冷补料,说明水反应型沥青常温修补料强度增长快。3 d 龄期的 RA10 的马歇尔稳定度是 7 d 龄期 LB13 的 5 倍以上,表明水反应型沥青常温修补料强度高,类似热拌沥青混合料。

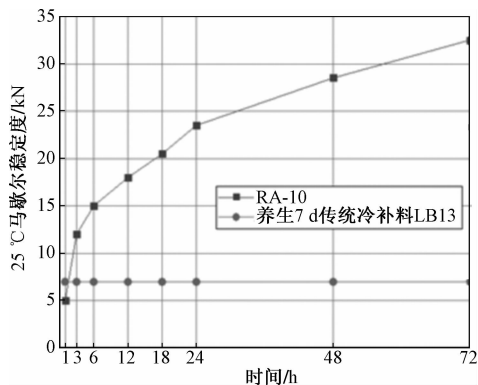


图 2 水反应型沥青常温修补料 RA-10 的 25 °C 马歇尔稳定度

4 生产工艺

4.1 拌和

水反应型沥青常温修补料的生产流程如图 3 所示。参考传统冷补料的生产方式,设定沥青加热温度为(140±5) °C,集料加热温度为 100~120 °C。通过冷补沥青调配罐提前拌和沥青与反应型稀释剂。其次,将拌和均匀的液体沥青加入拌锅,与集料拌和均匀。拌和后混合料出料温度宜处于 90~110 °C,可以根据现场气候条件做适当调整。同时要注意如下技术控制要点:

- 1)生产当天空气湿度≤80%,防止空气中水分影响产品储存性能。
- 2)先向搅拌缸投入集料、粉料、固化剂,干拌 8~10 s,先加入提前混合好的液体沥青后,湿拌 50~60 s。拌和完成后目测混合料均匀性一致,所有矿料颗粒全部裹覆沥青结合料,无花白料、死料、无结团成块或粗集料离析等状况后方可进行下一道工序。拌和料拌和稳定后取混合料试样做马歇尔试验和抽提筛分试验,以检验油石比、矿料级配。

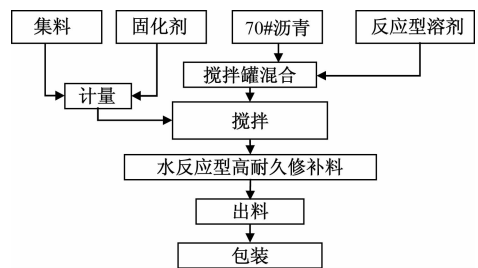


图 3 水反应型高耐久沥青修补料生产流程

2)采用红外温度仪动态监控出料温度,出料温度宜处于 90~110 °C 之间,不满足此要求的混合料应及时查明原因,及时调整。超过 130 °C 混合料予以作废。

4.2 水反应型沥青常温修补料储存及包装要求

冷拌沥青混合料与热拌沥青混合料的一个较为明显的区别是:冷补沥青混合料在拌制成功后可以在使用温度范围内储存一段时间,随用随取,进行拌和、摊铺、压实等工序,不影响冷补料的工作性能。这就要求冷补料在储存后不会出现结团变硬的现象,保持冷补料原本的松散状态。水反应型沥青常温修补料通过水的加入,实现化学反应的进行,强度的快速增长,即使最少量的水(如空气中的水分),水反应型沥青常温修补料接触空气中的水,化学反应也会逐渐开始。如果采用传统冷补料袋口缝合包装,水反应型沥青常温修补料存放 1~2 个月就会变硬。因此,对于水反应型沥青常温修补料的包装有特殊的要求:要求包装袋袋口热封,同时包装袋耐穿刺、密封防水,有条件的可以采用热压密封的方式,增加包装袋的气密性。

为了保证水反应型沥青常温修补料的长期储存,特配备了自动化包装生产线,如图 4 所示,缩小水反应型沥青常温修补料与空气直接接触的时间,保证从出料到打包完毕控制在 4 h 内。同时要求选择天气晴朗、空气湿度小的时期安排生产。水反应型沥青常温修补料储存注意事项:①专用密封袋包装,储存环境干燥、防雨。②开袋后应尽快使用完(当天内),已硬化的料应弃用。③避免在潮湿环境下存放,未开封状态下可储存 6 个月。④水反应型沥青常温修补料从拌和生产至包装储存,宜控制在 4 h 内。



图 4 自动化包装设备

5 施工工艺

水反应型沥青常温修补料坑槽修补施工工艺流程如图 5 所示。

- 沥青路面坑槽修复主要施工及注意事项如下:
- 1)切边和清理坑槽。对路面坑槽进行修补时,

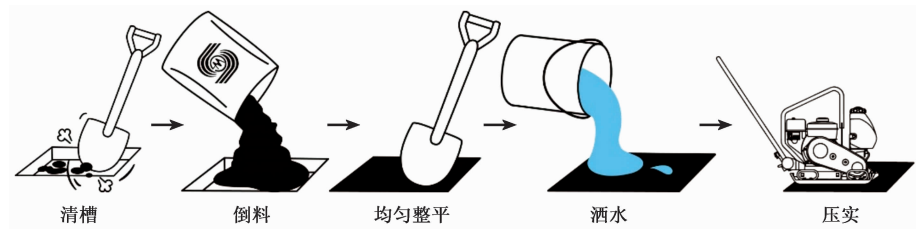


图 5 水反应型沥青常温修补料坑槽修补施工工艺流程

需要遵循“圆洞方补”的原则。由于坑槽形状及断面不规则,需要对坑槽进行开挖,确定坑槽深度,将坑槽规划为方形,保证坑槽的边缘平行或垂直于路面行车方向。根据坑槽病害的大小,确定坑槽切缝的尺寸(保证病害位置全部切除的同时,两个方向各向外扩大 5 cm 以上)。在开挖坑槽时,需将混合料坑槽内的松散、破碎的旧料与杂物全部清除,保证坑槽的底面和侧面坚硬、整齐。此举有利于混合料与原沥青混合料的黏结,也便于后续的摊铺压实工作。

2) 摊平。摊平前,如果坑槽有积水,可以带水修复坑槽。根据松铺系数 1.3,确定 RA 冷补料的摊铺厚度,之后用耙整平混合料。

3) 洒水后压实。洒水量建议每袋料保证 2 L 水 (25 kg/2 L),多余的水不影响混合料质量,保证 RA 冷补料被水湿润。压实机械可以选择平板夯、压路机等,控制压实遍数防止过压。

4) 开放交通。施工压实后,开放交通。但转弯道、公交车站、停车场等位置需 30 min 后开放交通。

在广州某城市道路养护中持续跟踪 6 个月的应用效果,水反应型沥青常温修补料应用效果表现优异,如图 6 所示。

6 路用性能

参考传统热拌沥青混合料的评价方式,通过车辙试验、肯塔堡飞散试验、小梁弯曲和浸水马歇尔试验等用以评价水反应型沥青常温修补料的路用性能。

6.1 高温性能

参照《公路工程沥青与沥青混合料实验规程》(JTG E20—2011)中的要求带水成型车辙板,将成型好的车辙试件常温放置 3 d,参照热拌沥青混合料的要求,进行车辙试验,测得的试验结果见表 3。试验结果:水反应型沥青常温修补料动稳定度为 7 355 次/mm,远超规范对于改性热拌沥青混合料(动稳定度 $\geq 3\,000$ 次/mm)的要求。结果表明,水反应型沥青常温修补料的高温稳定性优异,优于传统热拌沥青混合料。



(a) 一周使用状况



(b) 使用6个月使用效果

比例尺:1:30

图 6 水反应型沥青常温修补料沥青路面养护应用效果

表 3 水反应型沥青常温修补料车辙试验结果

级配类型	总变形/ mm	DS 试验结果/ (次 $\cdot$ mm $^{-1}$)	平均值/ (次 $\cdot$ mm $^{-1}$)
RA-10	1.433	7 000	7 355
	1.358	7 636	
	1.376	7 428	

6.2 抗飞散性能

通过肯塔堡飞散试验,用以评价水反应型沥青常温修补料的在交通荷载作用下路面表面集料抵抗脱落而散失的能力。利用上述马歇尔试验制得的马歇尔试件,依据《公路工程沥青与沥青混合料实验规程》(JTG E20—2011)中 T0733—2011 沥青混合料肯塔堡飞散试验方法,对水反应型沥青常温修补料进行飞散实验的测定,试验测定结果列于表 4。水反应型沥青常温修补料肯塔堡飞散损失

4.1%,表明水反应型沥青常温修补料内部沥青与石料间具有良好的黏结效果。

表 4 水反应型沥青常温修补料肯塔堡
飞散试验结果

级配类型	试验前质量 m_0/g	试验后质量 m_1/g	飞散损失 $\Delta S/\%$	平均值/ $\%$
RA-10	1 253.3	1 186.1	5.3	4.1
	1 234.0	1 178.3	4.5	
	1 252.3	1 209.8	3.3	
	1 266.3	1 225.0	3.2	

6.3 水稳定性

通过浸水马歇尔试验,用以评价水反应型沥青常温修补料抵抗水损害的能力。利用上述马歇尔试验制得的马歇尔试件养生 3 d 后,根据《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)中 T0709—2011 沥青混合料马歇尔稳定度试验方法,对水反应型沥青常温修补料进行浸水马歇尔试验,实验测定结果列于表 5。水反应型沥青常温修补料残留稳定度为 91.8%,表明水反应型沥青常温修补料具有良好的水稳定性。

表 5 水反应型沥青常温修补料浸水马歇尔试验结果

级配类型	马歇尔稳定度/kN		残留稳定度/ $\%$
	浸水前	浸水后	
RA-10	10.52	9.61	91.8
	9.95	9.32	
	10.94	9.89	

6.4 低温性能

沥青混合料小梁弯曲试验可用来评价混合料抗弯拉特性,本次试验按照试验规程 T0715—2011 的要求进行,参考 4.1 车辙试验成型车辙板。试验温度为-10℃、15℃,加载速率为 50 mm/min。试验结果汇总于表 6。小梁弯曲试验结果:RA-10 在-10℃弯曲应变为 3 251 $\mu\epsilon$,满足热拌沥青混合料的技术要求($\geq 3\ 000\ \mu\epsilon$),表明高耐久反应型沥青冷补料具有良好的抗低温开裂性能。

表 6 高耐久反应型沥青冷补料 RA-10 小梁弯曲试验结果

指标	-10℃	15℃
抗弯拉强度/MPa	13.0	6.2
极限弯拉应变/ 10^{-6}	3 251	5 824
弯曲劲度模量/MPa	3 999	1 065

7 结语

1)通过 3 种级配性能对比试验确定了水反应型高耐久反应型沥青修补料适合悬浮密实型级配。

2)通过马歇尔试验验证了水反应型高耐久反应型沥青修补料的强度增长规律,也说明水反应型沥青修补料的强度增长快,且强度明显优于传统冷补料 LB13。

3)对水反应型沥青常温修补料的生产工艺和包装工艺提出新的要求。依托工程实践发现,水反应型沥青常温修补料相比传统冷补料和热拌沥青混合料节省了施工工艺,简单快捷。持续跟踪 6 个月,路用性能表现良好,可为沥青路面养护提供一种新的方案。

4)对比传统热拌沥青混合料,水反应型沥青常温修补料具有优异的路用性能。

参考文献

[1] 童立. 沥青路面坑槽快速修补材料研究[D]. 西安:长安大学,2014.

[2] 王火明. 沥青路面坑槽冷补料的研究现状与最新进展[J]. 筑路机械与施工机械化,2018,35(5):28-32.

[3] 郭怀存. 沥青路面坑槽冷补技术研究综述及展望[J]. 中国建材科技,2017(6):98-99.

[4] 刘晓文. 冷补沥青混合料性能评价方法研究[J]. 科学技术与工程,2009,9(18):5593-5595,5599.

[5] 杨威,金佳宏,产启刚. 溶剂型冷补沥青混合料低温施工和易性定量评价方法[J]. 科学技术与工程,2022,22(3):1226-1232.

[6] 张争奇,赵勤胜,张伟. 水性环氧-SBR 低温型冷补沥青研发及其混合料性能[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2020,41(6):731-737.

[7] 彭馨彦,许龙,洪晶,等. 一种反应型液体沥青及其制备方法和应用、水反应型常温沥青混合料及其制备方法:CN113248935B[P]. 2021-12-31.

[8] 李珂. 常温透水沥青混合料研制与性能研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2018.

[9] 刘建芳,李九苏,杨帆. 反应型冷拌沥青混合料制备及性能研究[J]. 交通科学与工程,2019,35(2):16-21.

[10] 黄红明. 热拌环氧沥青钢桥面铺装材料评价与应用研究[D]. 广州:华南理工大学,2013.

[11] 万世林. 高性能冷补沥青混合料开发与应用[J]. 公路交通科技(应用技术版),2013,9(7):73-76.

[12] 公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTG E20—2011[S]. 北京:中华人民共和国交通运输部,2011.

[13] 沥青路面坑槽冷补成品料:JTT 972—2015[S]. 北京:中华人民共和国交通运输部,2015.

Research on Key Technology of Application of Water-reactive Cold Patch Asphalt Mixture in Humid and Hot Areas in South China

XU Long¹, PENG Xinyan²

(1. Guangzhou Municipal Engineering Maintenance Office Co., Ltd., Guangzhou 510030, China;
2. Guangzhou Maintenance New Material Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: In order to solve the problem of low early strength, slow strength growth, insufficient durability and poor water damage resistance of traditional cold patching materials, a water-reactive cold patch asphalt mixture is proposed with reactive solvents and cement as curing agent. The gradation type and strength growth rate of water-reactive asphalt normal-temperature repair materials were studied through Marshall test and Kentucky dispersion test. At the same time, the production process of water-reactive asphalt normal-temperature repair materials was studied with reference to the production process of traditional cold repair materials, packaging technology, on-site pothole repair construction technology and other key technical control links. Referring to the evaluation method of traditional hot mix asphalt mixture, the pavement performance of water-reactive asphalt repair material at room temperature was evaluated. The results show that the water-reactive asphalt normal-temperature repair material is suitable for suspension compactness gradation; the strength of the water-reactive asphalt normal-temperature repair material increases rapidly, 3 h age Marshall stability is 12.4 kN at 25 °C. Under the advanced production and packaging process, the water-reactive asphalt room temperature repair material can be stored for a long time. The indicators of the water-reactive asphalt room temperature repair material are close to the traditional hot mix asphalt mixture, especially the high temperature performance is obviously better than the traditional hot mix asphalt mixture.

Keywords: water-reactive; experimental study; packaging process; construction process