

不同条件下水激活沥青冷补料配合比的优化与应用

杨海荃 肖坤发

中铁高速(广西)养护科技有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i1.22271

[摘要] 水激活沥青冷补料的通用基础配合比在极端气候、中下面层修补工况等特殊条件下耐久性达不到预期,无法充分发挥材料的性能优势。通过分析温度、水分、结构层位对水激活沥青冷补料水化聚合反应与路用性能的影响机理,针对低温严寒、高温多雨、路面中下面层修补三类典型工况开展配合比优化,分别从沥青标号选择、功能助剂掺量、集料级配调整等方面提出适配配比方案,并依托实体工程对优化后配合比开展现场验证,结果表明:经工况适配优化后的水激活冷补料,早期强度提升明显,水稳定性、抗冻融、高温抗变形能力显著优于基础经验配合比,可有效减少极端环境下坑槽修补后掉粒、开裂、推移等病害,为复杂条件下水激活沥青冷补料的生产与现场修补施工提供技术支撑。

[关键词] 水激活沥青冷补料;坑槽修补;配合比优化;低温施工;高温多雨

中图分类号: U414 **文献标识码:** A

Optimization and Application of the Mix Proportion of Water-Activated Asphalt Cold Patching Mixtures under Different Conditions

Haiquan Yang Kunfa Xiao

China Railway Expressway (Guangxi) Maintenance Technology Co., Ltd.

[Abstract] The general basic mix proportion of water-activated asphalt cold patching mixtures may fail to achieve the expected durability under special conditions, such as extreme climates and repairs involving intermediate and lower pavement layers, preventing the material from fully realizing its performance advantages. By analyzing the mechanisms through which temperature, moisture, and structural layer position affect the hydration-polymerization reactions and pavement performance of water-activated asphalt cold patching mixtures, this study optimizes the mix proportions for three typical working conditions: low-temperature and severe cold, high-temperature and rainy conditions, and repair of intermediate and lower pavement layers. Adapted mix proportion schemes are proposed in terms of asphalt grade selection, functional additive dosage, and aggregate gradation adjustment. Field verification is then conducted through actual engineering projects. The results show that the optimized water-activated cold patching mixtures adapted to specific working conditions exhibit significantly improved early strength, water stability, freeze-thaw resistance, and high-temperature deformation resistance compared with the basic empirical mix proportion. They can effectively reduce pavement defects such as aggregate loss, cracking, and rutting after pothole repairs under extreme environmental conditions, providing technical support for the production and on-site repair construction of water-activated asphalt cold patching mixtures under complex conditions.

[Key words] water-activated asphalt cold patching mixture; pothole repair; mix proportion optimization; low-temperature construction; high-temperature and rainy conditions

引言

采用高性能水激活冷补料修补路面坑槽依托水触发活性组分聚合固化的技术原理,突破了传统冷补料对施工环境的限制,可在低温、潮湿条件下直接作业,且固化速度快、初期强度高,能够实现修补后快速开放交通,在一定程度上改善了传统冷补

料的性能短板,耐久性达到了普通冷补料的2-3倍,甚至更长,但针对不同的条件环境,其性能表现仍有差异。

工程中多直接采用经验配合比进行施工,导致部分特殊条件或环境下修补后使用寿命达不到预期,无法充分发挥材料的性能优势。因此,梳理不同条件对冷补料路用性能的影响机制,

提出适配的配合比优化方案,并依托实体工程验证优化后配合比的应用效果,可为不同条件下的水激活沥青冷补料生产与应用提供技术参考。

1 水激活沥青冷补料配合比及适用条件分析

常用的水激活沥青冷补料一般由沥青、集料、活性树脂稀释剂、水反应固化剂等组成,根据相关文献资料及施工经验,推荐的基础配合比(质量比)为沥青:集料:活性树脂稀释剂:水反应固化剂=1:20:0.3:0.15。其作用原理是利用水作为激活介质,触发混合料中活性树脂稀释剂与水反应固化剂发生化学聚合反应,使松散的混合料快速形成高强度粘结结构,实现常温下快速固化。

通过现场应用效果及试验检测,对通用基础配合比冷补料的环境适配性进行总结,其最优适用工况为:环境温度10~25℃、空气湿度50%~70%、无强降水、风力温和的春秋季常温环境。在此工况下,材料激活均匀、施工后耐久性最优^[1]。但在极端差异化环境下,采用基础配合比配制的混合料也存在一定的不足和缺陷,因此,需根据环境条件开展针对性配合比优化,以提升其在极端气候下的路用性能与耐久性。

2 不同环境条件对配合比的影响机制

水激活沥青冷补料强度形成高度依赖树脂固化剂的水化聚合反应,环境温度、外界水分含量、修补层位受力状态均会改变聚合反应速率、反应完全程度以及混合料骨架受力状态,进而影响修补层整体使用性能。

2.1 低温严寒条件

当环境温度低于5℃,尤其处于0℃及负温严寒环境时,分子化学反应活性显著下降。采用基础配合比时,水反应固化剂与活性树脂稀释剂之间聚合反应速率大幅降低,固化进程被拉长,混合料早期强度发展缓慢。修补完成开放交通后,修补层易出现掉粒、松散剥落病害;若坑槽内部残留水分发生结冰,会直接阻断水化激活反应,混合料长期无法形成有效粘结强度。同时低温环境下冻融循环作用,会进一步放大基础配比混合料内部孔隙缺陷,造成修补层快速损坏。

2.2 高温多雨条件

环境温度高于30℃、空气湿度大、伴随降雨的高温多雨工况下,存在双重不利影响。一方面高温会加速沥青组分的老化,同时加快树脂固化反应速度;另一方面雨水、环境高湿度会引入过量外来水分,过量水分会稀释活性树脂与固化剂组分,反应过程内部易生成气泡,增大混合料内部空隙率,降低整体密实度。基础配合比混合料在此条件下易出现早期水损害,修补层发生开裂、松散。

2.3 沥青路面中下面层修补工况

沥青冷补料主要用于沥青路面上面层的浅坑槽修补。当坑槽深度较大,修补位置处于路面中下面层时,修补结构除承受车辆磨损作用外,还要承担车轮荷载带来较大压应力、剪切应力。基础配合比集料骨架嵌挤作用不足,胶结体系抗剪切能力有限,在反复荷载作用下修补层容易发生推移、沉陷,修补界面出现脱

空开裂,造成修补失效。该工况需要同时兼顾胶结料粘结能力与集料骨架结构强度。

3 不同条件下水激活沥青冷补料配合比优化

冷补沥青混合料的配比中,基质沥青一般选用70# A级道路石油沥青,能满足通常条件下的路用性能;对于一些低温地区且在冬季施工的,宜选用90# A级道路石油沥青,以利用其较高的低温延度和较好的抗裂性能,从而改善混合料在低温环境下的抗裂性能与施工和易性;集料宜选用坚硬、耐磨、洁净的玄武岩或石灰岩碎石,粒径级配应连续且具有良好的嵌挤能力,以形成稳定的骨架结构。混合料原材料的基本技术要求如下:

原材料技术要求

材料	检测项目	单位	技术要求	备注
沥青	针入度(25℃)	0.1mm	60~100	
	软化点	℃	≥45	
	延度(5℃)	cm	≥20	
玄武岩集料	压碎值	%	≤26	
	针片状含量	%	≤15	
	磨光值	PSV	≥42	
活性树脂稀释剂	固含量	%	≥85	
	遇水反应特性		遇水发生交联聚合	
水反应固化剂	凝胶时间	min	5~20	

原材料以沥青路面施工规范及设计文件要求为准,确保各项指标满足工程实际需求。

3.1 低温严寒工况配合比优化

针对低温严寒工况,核心在于解决水激活树脂固化反应速率显著降低及早期强度形成缓慢的问题。在此环境下,需选用低温活性更高的改性胺类或聚酰胺类固化剂,并适当提高其掺量以补偿反应动力不足,确保修补层在低温下能快速建立结构强度,抵抗冻融循环破坏。具体优化措施包括:

(1) 调整基质沥青标号,在常规低温地区选用90#A级道路石油沥青,在极端严寒地区或冬季施工时,可选用110# A级道路石油沥青,油石比由5%调整到5.5%左右,以增加沥青膜厚度,改善混合料的柔韧性与抗裂性能^[2]。

(2) 为改善低温下的施工和易性与早期强度形成速率,高活性树脂稀释剂的用量由0.3%调整至0.35%~0.4%,并将水反应固化剂掺量0.15%微调至0.18%~0.2%,以匹配增强的反应活性。

(3) 掺入功能性添加剂聚丙烯纤维,掺量0.15%,利用其桥接作用抑制低温收缩裂缝的产生与扩展,进一步提升修补层的抗裂韧性及界面粘结稳定性。

(4) 优化集料级配,适当增加0.075mm以下矿粉用量至6%~8%,并选用比表面积较大的石灰岩矿粉,以增强沥青胶浆的粘结力与低温抗裂性能,同时改善混合料的密实度与水稳定性。

3.2 高温多雨工况配合比优化

(1) 针对高温多雨工况,需提升混合料的高温稳定性、水稳定性及抗剥落能力。在此环境下,需选用软化点较高、粘度较大

的改性沥青或高标号基质沥青，如70#A级，并适当降低油石比至4.8%左右，以减少自由沥青含量，增强集料间的嵌挤作用，防止高温车辙变形。

(2)为应对高温多雨环境下的水损害风险，在混合料中掺加0.3%的抗剥落剂，以增强集料与沥青及树脂体系的界面粘结力，有效防止雨水侵入引发的水损害。

(3)针对过量水分稀释活性组分、增大内部空隙率的问题，优化集料级配，适当减少0.075mm以下细粉含量至4%~5%，增大粗集料占比至65%~70%，减少水分在修补层内部的滞留。

(4)在多雨环境下，混合料可掺入0.3%的抗剥落剂，并选用碱性集料，以确保在强降雨冲刷下仍能维持良好的界面粘结性能，从而提升修补层的整体耐久性。

3.3不同结构层材料优化

当坑槽深度大于5cm时，应分层摊铺、压实，根据沥青路面结构特点，应采用两种以上的沥青混合料类型进行分层修复。沥青混合料的类型选择应遵循“上细下粗、上强下稳”的原则。保持其他组分不变，上面层集料宜参考AC-13沥青混凝土的成品石料级配选取，中、下面层宜参考AC-16沥青混凝土成品石料级配进行选取，或AC-20成品混合料级配。石料级配可参考下表。

石料级配表

通过率(%) 筛孔尺寸 (mm)	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
名称											
AC-13成品混合石料级配		100	90~100	68~85	50~68	34~50	23~38	18~28	14~20	11~15	4~8
AC-16成品混合石料级配	100	90~100	76~92	60~80	34~48	20~34	13~23	9~19	7~14	5~11	4~8

4 关键施工要点控制

水激活沥青冷补料的施工效果受工艺环节影响显著，配合比优化方案需搭配规范的施工工艺才能充分发挥性能优势，其关键施工工艺控制要点如下：

4.1坑槽预处理

坑槽修补前做好病害清理，采用切割机切齐坑槽边缘，彻底清除坑内松散破碎旧料、灰尘碎屑，坑槽内壁尽量保持垂直。低温温工况下要铲除坑槽内部冰霜冰层，避免残留冰体阻断水活化反应。

4.2分层摊铺与压实工艺

坑槽较深时，不同级配类型的成品混合料应依据路面原结

构层厚度来分层进行摊铺与压实。具体施工时，下层宜采用AC-16或AC-20型混合料，单层压实厚度控制在4~6cm；上层则采用AC-13型混合料，禁止一次性厚层填料，每一层摊铺完成后及时压实^[3]。

4.3低温严寒环境施工控制

低温严寒环境施工时，环境温度低于5℃，除采用低温适配优化配合比外，应尽量选取日间温度较高时段开展修补作业。到场混合料做好保温覆盖，减少热量散失。

4.4养护与开放交通

根据水激活冷补料性能，一般情况下，10分钟后即可开放交通，但在负温条件下，强度发展缓慢，可适当延长至1h后开放交通。

5 结束语

本文针对水激活沥青冷补料在特殊条件下的路用性能差异，开展了配合比优化研究。坑槽修补工程规模小且分散，材料应用数量少，因此仅针对低温严寒、高温高湿、不同结构层等特殊条件环境开展应用研究，冷补料类型尽量减少，以降低材料储备与管理难度。但通过特殊条件下的针对性优化，有效提升了冷补料的路用性能，解决基础配合比在极端环境下的适应性不足的问题，进一步拓展了水激活沥青冷补料的适用范围。随着水激活冷补料的广泛推广和应用，可进一步研究不同类型添加剂对冷补料性能的提升效果，完善多环境适配的配合比设计体系，为水激活沥青冷补料在道路养护领域的规模化应用提供更全面的技术支撑。

[参考文献]

[1]李军.沥青路面冷补修补材料性能研究[J].公路交通科技,2021,38(5):89-95.
[2]王浩.水激活型沥青冷补料固化机理及路用性能试验[J].中外公路,2022,42(02):245-249.
[3]张宇.极端气候条件沥青冷补料配合比优化研究[D].长安大学,2023.

作者简介：

杨海荃(1997--),男,广西平南县人,本科,中级、研究方向：高速公路养护。
肖坤发(1997--),男,湖南邵阳人,本科,高级工程师、研究方向：高速公路养护。