

基于pH值优化的改性乳化沥青制备与性能试验研究

刘超^{1,2}, 刘好³, 张帅^{1,2}

(1. 天津市政工程设计研究总院有限公司, 天津市 300392; 2. 天津市基础设施耐久性企业重点实验室, 天津市 300392;
3. 天津市交通科学研究院, 天津市 300074)

摘要: 改性乳化沥青是高速公路沥青路面养护的关键材料,其性能受原材料、制备工艺及环境参数等多重因素影响。为明确 pH 值对产品性能的作用规律,确定最优制备参数,以 90# 基质沥青、SBS-A 改性剂、RHJ-A 乳化剂为原料,采用高剪切乳化工艺,在固定其他试验条件不变的前提下,系统研究不同 pH 值对改性乳化沥青乳化状态、储存稳定性、筛上剩余量及蒸发残留物软化点、延度、弹性恢复、针入度等指标的影响规律。结果表明:pH 值直接决定乳化剂活性与沥青分散效果,pH 过高会降低乳化能力、增大筛余并引发分层沉淀;pH 过低则会损伤低温延度等关键路用性能。本次试验条件下,体系最优 pH 值为 2.5,此时乳化充分、性能均衡,可满足高速公路养护工程应用要求。

关键词: 公路养护;改性乳化沥青;pH 值;优化;制备工艺;性能试验;储存稳定性

中图分类号: U416.217; TU998

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)08-0060-04

Study on Preparation and Performance Experiment of Modified Emulsified Asphalt Based on pH Value Optimization

LIU Chao^{1,2}, LIU Hao³, ZHANG Shuai^{1,2}

(1. Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300392, China; 2. Tianjin Enterprise Key Laboratory of Infrastructure Durability, Tianjin 300392, China; 3. Tianjin Transportation Science Research Institute, Tianjin 300074, China)

Abstract: Modified emulsified asphalt is a key material for the maintenance of expressway asphalt pavement. Its performance is affected by many factors such as raw materials, preparation process and environmental parameters. To clarify the influence law of pH value on product performance and determine the optimal preparation parameters, and using 90# base asphalt, SBS-A modifier and RHJ-A emulsifier as raw materials, the high-shear emulsification process is adopted. Under the premise of keeping other test conditions unchanged, the influence laws of different pH values on the emulsification state, storage stability, sieve residue, and softening point, ductility, elastic recovery and penetration of evaporation residues of the modified emulsified asphalt are systematically studied. The results show that pH value directly determines the emulsifier activity and asphalt dispersion effect. Excessively high pH will reduce the emulsification capacity, increase the sieve residue and cause the stratified sedimentation. Excessively low pH will damage the key pavement performance such as low-temperature ductility. Under the test conditions, the optimal pH value of the system is 2.5. At this time, the emulsification is sufficient and the performance is balanced, which can meet the application requirements of expressway maintenance engineering.

Keywords: highway maintenance; modified emulsified asphalt; pH value; optimization; preparation process; performance test; storage stability

0 引言

当前我国公路交通网络持续完善,沥青路面早期病害治理与预防性养护已成为行业关注重点。改性乳化沥青可在中低温条件下生产,常温储存与洒布,能够与冷态、潮湿石料直接配合使用,具备施工

便捷、节能降耗、绿色环保、工程造价低等优势,同时兼具改性沥青与乳化沥青双重性能特点,表现为软化点更高、成膜性优良、低温抗裂性好、脆点低、与集料黏附性强,能够使沥青实际用量降低 10%~20%,显著提升材料利用效率^[1]。近年来,无论是喷洒型还是拌合型改性乳化沥青,均凭借优良的路用性能得到广泛应用。

改性乳化沥青的质量直接影响路面工程结构耐久性与使用寿命,其性能受沥青种类、改性剂种类及

收稿日期: 2026-05-12

作者简介: 刘超(1984—),男,学士,高级工程师,从事道路设计工作。

掺量、乳化剂种类及掺量、pH 值、乳化时间、稳定剂 CaCl₂掺量、沥青固含量等因素共同控制^[2-3]。乳化剂是制备乳化沥青不可或缺的核心材料,即便在体系中掺量不高,依然在生产、储存及混合料现场施工环节起到关键作用,其性能优劣直接决定改性乳化沥青的分散效果与储存稳定性能^[4]。此外,乳化剂掺量对乳化效果、体系稳定性及蒸发残留物性能均有明显影响:用量过大会增加成本,劣化基体沥青性能,同时延缓破乳速度、延长施工工期;用量不足则难以实现稳定乳化,易出现沥青微粒凝聚分层、筛上剩余物超标等问题^[5-6]。

在众多影响因素中,pH 值通过改变乳化剂电离状态与界面活性,对乳化效果与产品稳定性产生显著影响^[7-8]。目前相关研究多集中于乳化剂选型、改性剂掺量与工艺参数优化,针对 pH 值系统调控的试验研究仍不够充分。基于此,本次以室内控制试验为基础,固定原材料配比与工艺参数,仅改变体系 pH 值,全面解析 pH 值对改性的乳化沥青核心路用性能的影响效应,确定最优 pH 值参数,为工程化制备与性能提升提供支撑。

1 原材料与试验方案

1.1 试验原材料

本试验选用的各类原材料均符合现行行业规范规定的技术指标,具体如下:

- (1)基质沥青:90#道路石油沥青。
- (2)改性剂:SBS-A 热塑性弹性体。
- (3)乳化剂:RHJ-A 型专用乳化剂。
- (4)稳定剂:无水氯化钙(CaCl₂)。
- (5)pH 调节试剂:选用质量分数 36%~38% 级别的分析纯盐酸。
- (6)试验用水:洁净自来水。
- (7)主要试验仪器为:弗鲁克 FLUKO-FM300 高剪切分散乳化机,可同时完成沥青改性与乳化工序。

1.2 制备工艺

1.2.1 改性工艺

先将基质沥青加热到 150~160℃使其充分熔

融,加入掺量为 4% 的 SBS-A 改性剂,恒温溶胀 30 min;随后升温到 170℃,再之后开动剪切机,转速控制在 8 000 r/min,剪切 45 min,过程中控制沥青温度在 175℃左右,严禁超过 180℃以避免沥青热氧老化^[9];剪切完成后降温到 150℃,添加稳定剂的掺量为 0.2%,继续进行剪切 10 min,制得均匀改性沥青,保温备用。

1.2.2 乳化温度确定

改性沥青与水溶液混合温度对乳化效果影响显著:温度过低会使改性沥青黏度增大、流动性变差,提升乳化难度;温度过高则会导致两相温差过大,引发水溶液局部沸腾气化,破坏乳化过程^[10-11]。同时,过高温度会降低乳化剂活性。经综合比选,确定工艺温度如下:

- (1)改性沥青温度:165℃;
- (2)水溶液温度:60℃;
- (3)乳化终了温度控制在 80~90℃。

1.2.3 乳化工艺

将水加热至 60℃左右,加入定量乳化剂与稳定剂,搅拌至完全溶解,用盐酸调节至目标 pH 值,保温备用;将改性沥青缓慢加入水溶液中,边加入边搅拌,预混均匀后置于乳化机中乳化 5 min,制得改性乳化沥青试样。

1.3 试验方案

采用单因素变量法,固定沥青与水溶液比例、乳化剂掺量、稳定剂掺量、乳化温度、乳化时间等参数不变,结合阳离子乳化沥青常用 pH 调控区间,选取 pH=2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 作为试验梯度,采用精度 0.01 级实验室 pH 计实时监测,以滴加方式调控,控制精度可达±0.05,梯度设置符合室内试验常规研究方法。观察乳化状态与储存稳定性,对合格试样进行性能测试,详如表 1 所示。

试样状态说明:乳化良好(pH=2.0~3.0);乳化明显劣化、筛余增大、稳定性下降(pH=3.5);完全破乳沉淀,无测试数据(pH=4.0)。对方案 1~4 进行蒸发残留物及乳液性能测试,结果见表 2。

表 1 不同 PH 环境下改性乳化沥青的制备方案

方案	沥青:皂液	乳化剂	乳化剂剂量/g	稳定剂 CaCl ₂ /g	改性沥青/g	沥青温度/℃	水/g	皂液温度/℃	pH	时间/min
1	61:39	RHJ-A	7.5(1.5%)	2(0.4%)	305	165	195	55	2.0	5
2	61:39	RHJ-A	7.5(1.5%)	2(0.4%)	305	165	195	55	2.5	5
3	61:39	RHJ-A	7.5(1.5%)	2(0.4%)	305	165	195	55	3.0	5
4	61:39	RHJ-A	7.5(1.5%)	2(0.4%)	305	165	195	55	3.5	5
5	61:39	RHJ-A	7.5(1.5%)	2(0.4%)	305	165	195	55	4.0	5

表2 不同pH调控下改性乳化沥青主要性能参数

pH值指标	2.0	2.5	3	3.5
软化点/℃	81.2	77.6	67.3	61.5
10℃延度/cm	45.3	48.6	52.9	55.2
10℃弹性恢复/%	71.4	73.1	74.7	75.8
25℃针入度/dmm	64.7	68.4	68.5	69.1
固含量/%	64.6	66.3	65.3	63.8
筛上剩余量(1.18mm)/%	0.2	0.1	0.15	0.31

为进一步优化配合比,固定pH值在2~3,开展乳化剂剂量对比试验,方案如表3所示,测试结果如表4所示。

表3 不同乳化剂剂量试验方案

方案	乳化剂剂量/g	稳定剂CaCl ₂ /g	沥青温度/℃	pH	乳化时间/min
1	1.2%	0.4%	165	2~3	5
2	1.5%	0.4%	165	2~3	5
3	1.8%	0.4%	165	2~3	5
4	2.1%	0.4%	165	2~3	5

表4 乳化剂剂量对各指标性能影响

乳化剂剂量/%指标	1.2	1.5	1.8	2.1
软化点/℃	74.3	82.2	78.5	78.0
10℃延度/cm	50.6	50.1	48.1	47.2
10℃弹性恢复/%	72.5	71.7	71.6	71.3
25℃针入度/mm	68.8	69.6	69.7	69.9
固含量/%	65.3	65.1	63.7	67.2

2 试验结果分析

通过在乳化剂水溶液中加入无机酸或有机酸对体系pH值进行调控,能够显著改变沥青乳化状态与乳液综合性能,不同类型乳化剂所适配的酸类调节剂存在明显区别^[12]。工程与试验中常用的无机酸包含盐酸、硝酸、磷酸等;常用有机酸则有甲酸、乙酸、乙二酸、丙烯酸、丙二酸、丁二酸、酒石酸、等,其中以盐酸和乙酸的整体调节效果最为理想。

选取恰当的乳化剂溶液pH值,能够有效提升乳化剂活性与乳化效率,改善体系乳化效果与储存稳定性,并可在一定程度上减少乳化剂使用量^[13]。不同类型乳化剂所适宜的pH区间存在明显差异,各类乳化剂均存在与之匹配的最佳酸碱环境。随着体系pH值发生改变,改性乳化沥青的各项性能指标也会呈现相应变化规律。基于试验数据,分别绘制软化点、10℃延度、10℃弹性恢复、25℃针入度及筛上剩余量随pH值变化的关系曲线,详见图1至图5。

当乳化剂溶液pH值逐步降低时,乳化剂的亲水性能得到强化,溶解与电离程度显著提升,进而大幅

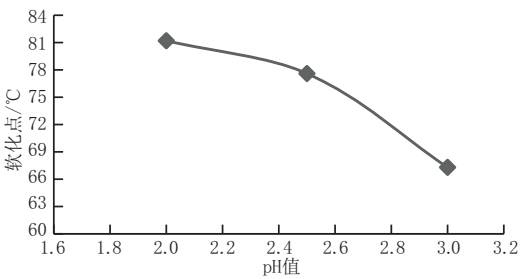


图1 pH值对软化点的影响

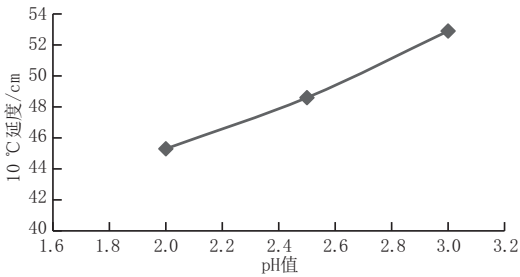


图2 pH值对10℃延度的影响

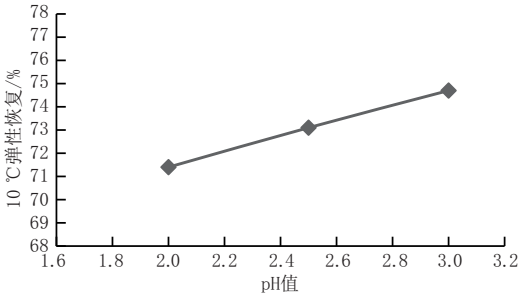


图3 pH值对10℃弹性恢复的影响

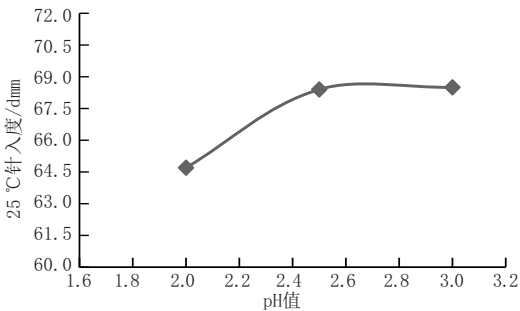


图4 pH值对25℃针入度的影响

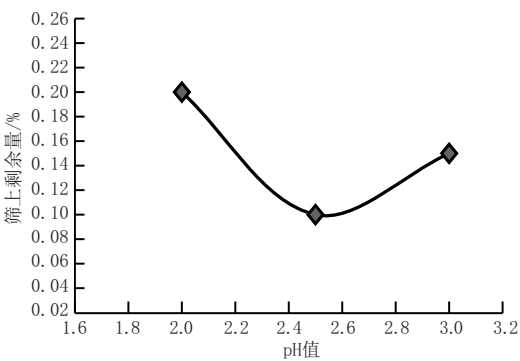


图5 pH值对筛上剩余量的影响

增强体系的乳化与分散效果,使沥青乳化过程更易实现、乳化状态更加充分,并可相应减少乳化剂掺量。但pH值持续降低也会造成乳化沥青黏度下降,

胶粒在重力作用下运动阻力变小、运动速率加快,最终导致乳液稳定性下降。由此可见,体系存在一个最佳pH值区间^[14]。

由试验数据及变化规律,从图1至图5可以研究分析得出:

(1)pH值的变化会显著改变改性乳化沥青蒸发残留物的性能。随pH值升高,软化点逐步降低,酸用量直接影响沥青高温性能,酸量越少高温稳定性越差;低温10℃延度受pH值波动影响明显,酸性增强会导致延度指标出现衰减,过低pH值会加剧低温性能损失^[15];弹性恢复性能与25℃针入度指标,随体系pH值的升高,整体变化幅度相对平缓,流动性与弹性恢复能力略有提升。

(2)pH值对乳液性能影响较大。随pH值升高,筛上剩余量呈增大趋势,pH=3.5时已达0.31%,乳化效果显著劣化;说明pH值直接影响乳化剂乳化能力,偏低pH值可显著提高乳化效率。因此,合理控制pH值对提升乳化效果、保证产品质量至关重要。

综合各项指标,本次pH值梯度连续覆盖2.0、2.5、3.0、3.5、4.0,pH=2.5时筛上剩余量最低(0.1%)、固含量最高(66.3%)、乳化最充分;同时软化点、低温延度、弹性恢复综合均衡,既无pH=2.0的低温延度衰减,也无pH≥3.0的高温性能下降与筛余明显上升,因此本体系推荐最优pH值为2.5。

3 结 语

(1)pH值是影响改性乳化沥青制备效果与路用性能的关键参数,对乳化剂活性、沥青分散状态、乳液稳定性及蒸发残留物指标均具有显著调控作用,在生产过程中必须严格精准控制。

(2)pH值过高会降低乳化剂乳化能力,导致乳化不充分、筛上剩余量增大、易出现分层沉淀;pH值过低则会因酸性过强,对沥青低温延度等关键性能造成损伤。本试验条件下,pH=3.5乳化劣化、筛余超标;pH≥4.0完全失效;有效乳化区间为pH=2.0~3.0。

(3)随pH值升高,软化点逐渐降低,10℃延度逐步增大,弹性恢复略有上升,针入度变化较小,筛上

剩余量先减小后增大。综合乳化效果、低温性能与高温性能、储存稳定性,本试验体系推荐最优pH值为2.5,此时乳液均匀稳定、筛上剩余量最低、各项性能均衡匹配。

(4)乳化剂掺量对比试验表明,1.5%掺量时软化点最高、高温性能最优,结合最优pH值控制,可形成经济合理、性能优良的改性乳化沥青配合比。

(5)工程应用中,应采用精密仪器在线监测pH值,缓慢滴加调节剂并充分搅拌,严格控制工艺温度,通过pH值精准优化提升产品合格率与施工稳定性,延长路面养护周期,提高工程经济效益与社会效益。

参考文献:

- [1] JTG F40—2004 公路沥青路面施工技术规范[S].
- [2] 王仕峰.改性乳化沥青制备工艺及性能研究[D].西安:长安大学,2010.
- [3] 李福田.乳化沥青生产与应用技术[M].北京:人民交通出版社,2012.
- [4] 李长林.SBS改性乳化沥青性能影响因素研究[J].公路交通科技,2015,32(7):38-43.
- [5] 李丽.乳化剂种类及掺量对乳化沥青性能影响试验研究[J].新型建筑材料,2016,43(8):65-68.
- [6] 李志强.稳定剂对乳化沥青储存稳定性影响研究[J].石油沥青,2017,31(2):56-60.
- [7] 张争奇,罗要飞,杨小森.乳化沥青破乳机理及影响因素研究综述[J].建筑材料学报,2018,21(3):487-494.
- [8] 赵战利.pH值对阳离子乳化沥青性能影响研究[J].公路,2019,64(5):256-259.
- [9] 李秋义.道路乳化沥青与混合料技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2020.
- [10] 王选仓.公路沥青路面养护技术规范释义[M].北京:人民交通出版社,2021.
- [11] 王鹏.高稳定性SBS改性乳化沥青制备及性能表征[J].化工新型材料,2021,49(5):198-201.
- [12] 刘晨.乳化沥青蒸发残留物性能测试影响因素分析[J].交通科技,2022(2):112-115.
- [13] 陈明.高速公路微表处用改性乳化沥青配合比设计[J].公路交通技术,2022,38(3):67-71.
- [14] 周卫峰.道路用乳化沥青关键性能指标控制研究[J].天津城建大学学报,2022,28(4):280-284.
- [15] 中国公路学会.中国公路养护技术发展报告(2023)[R].北京:人民交通出版社股份有限公司,2023.