

# 水性环氧树脂改性乳化沥青混合料性能研究

陈锦鑫 郑亚淋 邹志强 马俊潇 何桥坤  
(河海大学土木与交通学院)

DOI:10.12238/jpm.v3i3.4745

**[摘要]**将水性环氧树脂与 SBR 改性乳化沥青混合, 制备得到混合料。基于室内试验, 分析不同水性环氧树脂掺量下乳化沥青混合料的强度和微观形貌特征。最后得出结论: 不同掺量下的水性环氧树脂可以在一定程度上使乳化沥青混合料自身的内部结构得到改善, 进而使其强度得到一定程度的提升。但水性环氧树脂的掺量过少和过多也会导致其不同程度的性能变差。综合强度试验和微观形貌试验的结果, 最后推荐水性环氧树脂掺量值为 15%。研究成果将为在湿热地区的沥青路面养护冷补技术提供一定的理论基础。

**[关键词]**水性环氧树脂, 乳化沥青混合料, 强度, 微观形貌特征

Research on the Performance of Waterborne Epoxy Resin Modified Emulsified Asphalt Mixture

Chen Jinxin Zheng Yalin Zou Zhiqiang Ma Junxiao He Qiaokun

College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University

**[Abstract]** Waterborne epoxy resin was mixed with SBR-modified emulsified asphalt to prepare the mixtures. Based on the indoor tests, the strength and micro-morphological characteristics of the emulsified asphalt mixtures were analyzed under different dosing amounts of waterborne epoxy resin. Finally, it was concluded that the waterborne epoxy resin could improve the internal structure of the emulsified asphalt mixture to a certain extent, and then the strength of the mixture could be improved to a certain extent. However, too little and too much of waterborne epoxy resin can also lead to different degrees of deterioration of its performance. Based on the results of strength test and micromorphology test, it is recommended 12% of Waterborne epoxy resin. The research results will provide some theoretical basis for the cold patching technology of asphalt pavement maintenance in hot and humid areas.

**[Keywords]** Waterborne epoxy resin, emulsified asphalt mixture, strength, microscopic morphological characteristics

## 0 引言:

沥青路面坑槽是公路养护维修中的典型病害和疑难病害之一。它具有随机性、突发性、频率性和传播性的特点。而湿热地区高温多雨的自然天气情况下, 沥青路面坑槽破损速率、破坏程度将会增大, 大大缩短了沥青路面的使用寿命。所以, 路面坑槽的养护与修补需要进行及时并正确的处理, 修补料的选择显得至关重要。

在路面坑槽进行修补、防止路面病害继续扩大的过程中, 选择使用兼具常温施工和易性以及成型快、强度高性能的乳化沥青混合料, 可以使得施工在常温下进行, 无需高温加热。进而减少能源的消耗和烟气的排放量, 达到节能环保的目的。同时, 乳化沥青混合料具有的常温 and 易性特点, 使得路面坑槽修补工作的施工时间更加具备任意性, 不受天气与季节的限制, 对于道路使用中不中断交通并且快速开放交通有着重大意义。

本文通过在室内制备出不同水性环氧树脂掺量下的 SBR 改性乳化沥青混合料, 对其进行一系列强度试验以及微观测试试验。进一步分析水性环氧树脂掺量对乳化沥青混合料的强度以及在微观形貌上的影响, 得到乳化沥青混合料性能良好时水性环氧树脂的推荐掺量。这可以为水性环氧树脂改性乳化沥青混合料在沥青路面养护与修补方面的应用提供一定的参考, 为湿热地区沥青路面养护在保证能够快速开放交通的同时又保证沥青路面养护修补质量提供经验, 实现道路养护与修补效益的最大化。

## 1. 制备

### 1.1 原材料

乳化沥青在常温下有着优异的和易性, 且在环保方面相比于传统沥青来说更为环保。不过由于它本身的黏附力较差、成型后的强度耗费时间过长, 而且本身的修补力也不足, 通常采用改良乳化沥青来改善其混合料使用效果。比较常用的有 SBR 改性乳化沥青和一些其他高分子的改性乳化沥青等。相较于普通的乳化沥青, SBR 改性乳化沥青具有粘结性和高低温性能更好的优势, 因此在日后的道路修补和养护上, SBR 改性乳化沥青具有非常好的应用空间。

水性环氧树脂, 是结合反应式胶结料, 有着高黏结性、成型速度快、良好的适应性和耐磨性等优势。水性环氧树脂与乳化沥青之间存在着兼容性, 这是由于水性环氧树脂是一种液相系统材料, 以水为分散介质, 以环氧树脂或液滴为分散相。故而可以使用水性环氧树脂对乳化沥青特性进行增强和改进。

水性环氧树脂 SBR 改性乳化沥青体系是多相混合分散体系。在多相混合分散体系中各组分物质的相容十分重要, 相容性较差会导致水性环氧树脂 SBR 改性乳化沥青分层或者离析, 这将直接影响到制备出来的水性环氧树脂 SBR 改性乳化沥青混合料在一些重要领域应用上的性能。其中环氧树脂、固化剂为分散相, 沥青乳液为连续相。本文水泥采用 P042.5 普通硅酸盐水泥, 沥青选用阳离子乳化沥青。乳化沥青是在实验室制备改性乳化沥青过程中加入 SBR 制备的, 使乳化沥青混合料性能得到一定改进。

### 1.2 试验配比

1.2.1 级配选择

不同的级配组成, 混合料会形成不一样的内部结构类型, 相应的混合料内部形成了不一样的粘结力。在混合料性能测试时, 应该选择适用于混合料不同使用阶段要求的级配组成。根据延西利等人研究, 采用 LB 型级配的沥青混合料进行路面修补可有利于实现混合料现场拌合, 有利于实现路面坑槽修补。故而, 本研究选用 LB 型级配, 取合成级配规划求解结果作为进行水性环氧树脂乳化沥青混合料试验的级配取值。混合料级配如图 1 所示, LB 型级配下混合料的具体用量在表 1 展示。

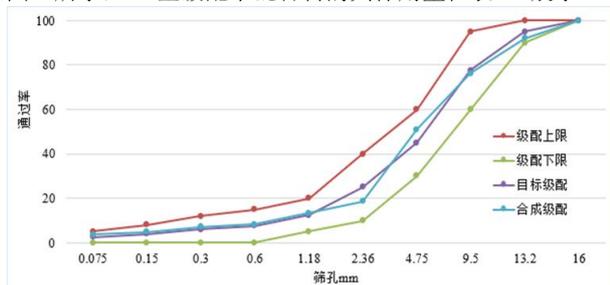


图 1 混合料级配

表 1 LB 型混合料用量

筛孔尺寸/mm	集料用量
9.5-19	25%
4.75-9.5	25%
2.36-4.75	20%
0-2.36	27%
矿粉、水泥	3%

1.2.2 制备水性环氧树脂改性乳化沥青混合料

对室内试验所用的沥青混合料进行常温下拌和制备。详尽的制备过程为: 首先, 进行水性环氧树脂体系的制备, 将水性环氧树脂与固化剂按照相同的质量混合; 进一步按找 8%、12% 和 15% 的混合量 (环氧树脂+固化剂: 总液体质量) 加入到 4% 含量的 SBR 改性乳化沥青中。然后使用高速剪切仪, 来制备水性环氧树脂改性乳化沥青, 仪器使用时间总共 180 s, 操作过程中应当注意保证搅拌的充分性。如此操作过后, 即制备得到三组试验样品, 为不同水性环氧树脂掺量下的改性乳化沥青。最后, 在室温下, 将前述步骤得到的水性环氧改性乳化沥青与级配骨料在搅拌机中混合, 得到试验所需的混合料试样。

而混合料的混合制备过程有 3 个步骤, 依次为: 首先, 将按照级配称量好的集料放入搅拌机内, 进行搅拌, 时间为 90 s; 然后, 将制备好的沥青试样放入搅拌机中, 与集料继续进行搅拌混合, 设定搅拌时间仍然为 90 s; 然后, 将混合料取出, 再进行人工搅拌 90 s, 目的是为了进一步保证混合料的均匀混合。搅拌混合完成后, 把混合料倒入模具中, 在马歇尔电动击实仪器上进行双面击实, 次数为单面各 75 下。保证用于试验的马歇尔样品的尺寸应符合规范规定。

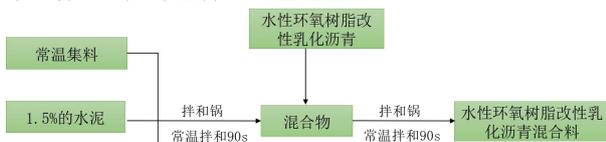


图 2 混合料制备过程

2. 实验方法

2.1 马歇尔稳定度试验

马歇尔试件要严格筛选。具体为: 对于制备所得马歇尔试件进行脱模处理, 并对其进行四个不相同方向的高度测量, 求出其平均值。然后在电子秤上测量马歇尔试件在空气中的质

量, 再把马歇尔试件泡在水里 3 分钟后, 取出来擦干表面水, 测试出试件的表干质量。最后, 将试件置于水中, 测量出其水中质量。根据以上步骤数据计算得出马歇尔试件的孔隙率, 筛选出孔隙率不符合规范要求的试件进行舍弃, 孔隙率符合规范要求的可以留下, 供后续试验使用。

结合 JTGE 20-2011 《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》, 进行马歇尔稳定度测试室内试验, 测定混合料的性能。具体操作步骤如下:

将恒温水槽调节到试验的所需的温度, 再将试件放入恒温水槽中, 进行保温操作, 时间设定为 35 分钟。再将马歇尔试验仪的上下压头放入已经达到实验温度的恒温水槽进行保温操作, 时间设定为 35 分钟。把试件装入两压头中间。并把传感器对准。开始加载设备, 试件承受力, 将加载速度设为 55 毫米/秒进行试验, 记录仪记录试件的传感压力和变形位移曲线, 以获得试件的稳定度 (KN) 和流量值 (mm)。

2.2 SEM 扫描电镜试验

我们将 SBR 胶乳掺量固定在一个数值, 这里我们定为 4%。改变水性环氧树脂掺量 (环氧树脂+固化剂: 总液体质量) 为 8%, 12%, 15%。在室温条件下, 将其放入聚四氟乙烯试验模具中, 储存 20 天。等待完全固化后, 将其切成边长为 10 毫米、厚度为 3 毫米的立方体试块。然后将试块放入三氯乙烯中, 待试块上的大部分沥青溶解后, 放入真空烘箱中, 设定温度为 60 摄氏度, 干燥持续时间为 12 小时, 接着进行喷金处理, 这样就得到了水性环氧树脂 SBR 乳化沥青的 SEM 试验样品。在这段时间内, 对不同水性环氧树脂掺量下的试验样品进行试样自身的微观形貌的观察。这样目的是可以更好地观察和找出在不同变量时内部结构的变化规律。

3. 结果分析

3.1 马歇尔稳定度试验结果

初次试验生产制备得到的马歇尔试件, 在 24 小时内进行马歇尔稳定度试验。如图 3 所示对, 不同水性环氧树脂掺量下的混合料进行水稳定度测试试验, 均出现了不同程度的不成型、剥落等现象, 无法测出其稳定值。然后, 在此情况下, 本研究采取在固化 78 小时后, 对 8%水性环氧树脂混合料直接进行强度测试, 测量的稳定性值大小为 19.75kN, 流值为 2.02 mm。这说明, 混合料强度成型需要一定的时间, 在经过相对较长时间固化后强度是可以达到规范要求的, 进而符合道路使用要求。



图 3 混合料散落图



图 4 试验结果图

因此, 本研究继续选择 24 小时和 96 小时固化期来进行稳定度测试确定其强度。采用上述的时间进行养护, 对不同配比的水性环氧树脂乳化沥青混合料制备且符合要求的马歇尔试块进行稳定性试验。试验结果如表 4。

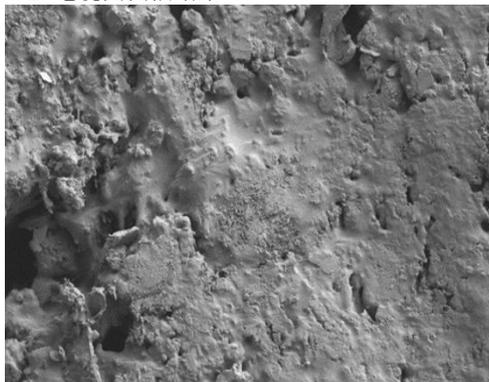
表 4 稳定度表

组号	水性环氧树脂掺量	24h 稳定度 /kN	96h 稳定度 /kN
1	8%	4.37	4.92
2	12%	5.82	7.07
3	15%	7.13	9.68

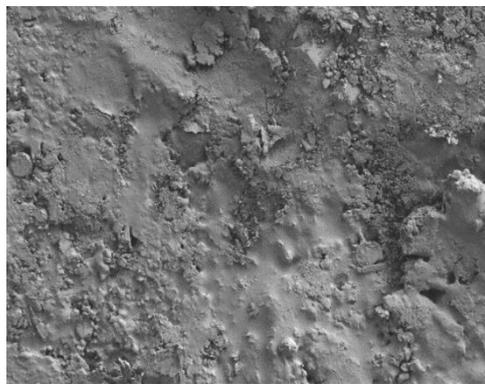
当水性环氧树脂含量为 8% 时, 24 小时固化周期和 96 小时的固化周期所测得的数值相比, 马歇尔稳定度的提高不是特别明显, 仅有大约 10%。当水性环氧树脂含量为 12% 时, 96 小时的固化周期所测得的稳定度数值为 7.07kN, 达到了道路使用的强度要求。同时, 可以注意到, 24 小时后稳定度提高略微明显。

水性环氧树脂含量为 15%, 固化时间为 24h 时, 马歇尔稳定度就已经达到了开放交通的要求。因此, 在其他条件保持不变下, SBR 乳液含量为 4% 时, 这里我们建议水性环氧树脂含量为 15%, 此时马歇尔稳定性最好。

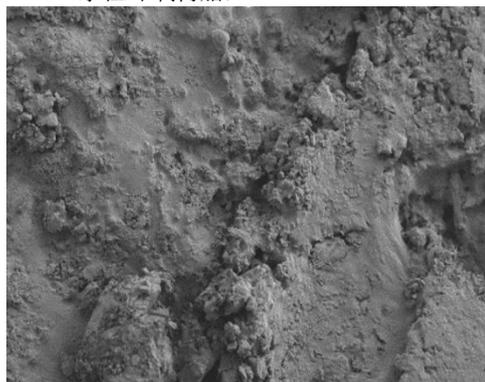
3.2 电镜图扫描结果



a . 8%水性环氧树脂, 4%SBR

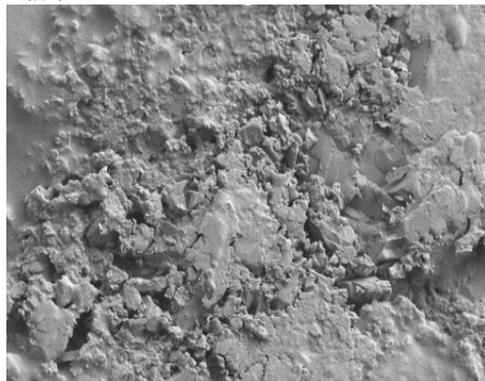


b . 12%水性环氧树脂, 4%SBR

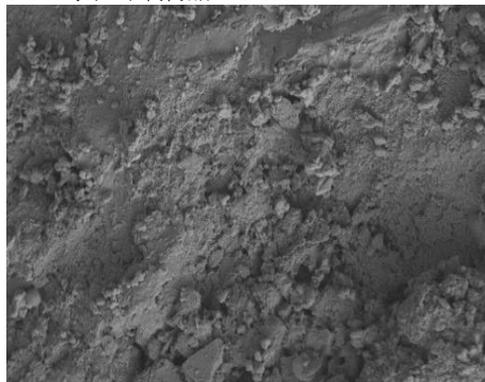


c . 15%水性环氧树脂, 4%SBR

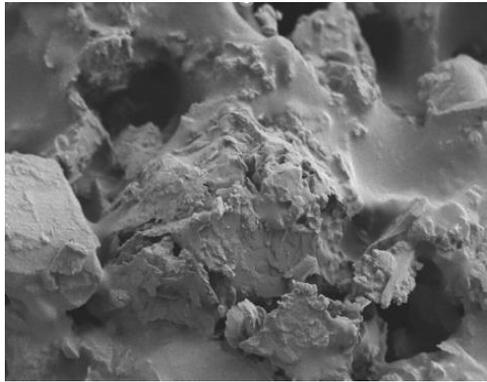
图 5 水性环氧树脂与 SBR 改性乳化沥青 SEM 电镜图 (500 倍下)



a . 8%水性环氧树脂, 4%SBR



b . 12%水性环氧树脂, 4%SBR



c. 15%水性环氧树脂, 4%SBR

图 6 水性环氧树脂与 SBR 改性乳化沥青 SEM 电镜图 (5000 倍下)

试验样品进行电镜扫描检测, 结果如图 5 和图 6 所示。从图 5 和图 6 可以看出, 在 8% 的用量下, 混合料中只有少量的孔隙, 这是因为环氧树脂自身在空间上并没有形成骨架结构。而样品表面的沥青发生了坍塌, 这使得表面凹凸不平出现有褶皱、裂纹的现象, 仅出现少量孔隙; 12% 掺量下胶结料孔隙较多, 表面较为粗糙。这是由于固化产物在乳化沥青中形成了空间网状结构, 而环氧树脂含量达到一定程度时, 在常温环境下混合体系发生连接反应, 然后形成了一个三维的网络结构。

进一步观察上述两种倍数下的电镜图, 我们发现, 掺量为 15% 的胶结料具有与掺量为 12% 的胶结料有着高度类似的结构。这说明, 在掺量为 12% 时, 就已经形成了两相结构, 它是环氧树脂为骨架结构, 沥青均匀存在与骨架结构中。这可以使改性乳化沥青材料的相关性能都得到提高。由此可见, 水性环氧树脂的掺入和掺量的多少影响着乳化沥青内部空间网状结构的形成, 从而影响乳化沥青的性能。综上所述, 考虑到水性环氧树脂乳化沥青微表面混合料的微观形貌特征, 确定了水性环氧树脂的推荐含量为 12%~15%。

#### 4. 结论

水性环氧树脂改性乳化沥青混合料性能研究, 是对冷补法养护沥青路面坑槽方法研究的重要课题, 是快速开放交通的道路养护与修补技术的一大探索。通过室内试验, 本文着重研究了不同水性环氧树脂掺量下的混合料强度性能、微观形貌特征, 实现改性乳化沥青的水性环氧树脂掺量推荐值, 从而为构建冷补料性能测试的试验方法与指标评价体系做出贡献。综合研究内容, 可以得出以下主要结论或认知:

1) 水性环氧树脂在 SBR 乳化沥青中的加入能够对混合料本身的性能有很好的改善。增加水化环氧树脂的用量可以改善混合料早期强度, 提高混合料的性能。以马歇尔稳定度作为控制指标来确定混合料的水性环氧树脂掺量, 最终得出结论, 当乳化沥青中 SBR 乳液含量为 4% 时, 建议使用的水性环氧树脂掺量为 15%。

2) SEM 测试结果表明: 随着乳化沥青水性环氧树脂掺量增加, 水性环氧树脂会逐渐形成空间网状结构, 该结构可以在一定程度上改善胶结料的内部孔结构。结果表明当掺量在 12%~

15% 时, 4% SBR 乳胶含量的乳化沥青中水性环氧树脂的能够更好的均与分布, 这意味着水性环氧树脂掺量的增加可以达到一定程度上降低其内部的缺陷的目的。所以, 水性环氧树脂掺量推荐范围为 12%~15%。

#### [参考文献]

- [1] 邓爱民, 季翠华, 张庆杰. 路面裂缝修复用环氧-沥青乳液粘剂的研究[J]. 沈阳理工大学学报, 2010, 29(05): 68-71.
- [2] 郭东红, 蔡丽娜. 水性环氧改性乳化沥青在沥青路面养护中的应用研究进展[J]. 山西交通科技, 2017(1): 31—33.
- [3] 兰富才, 汪凯旋, 丁文海, 等. 水性环氧树脂掺量对 CAE 砂浆微观性能的影响[J]. 山西建筑, 2021(9). DOI:10.13719/j.cnki.1009-6825.2021.09.034.
- [4] 季节, 刘禄厚, 索智, 等. 水性环氧树脂改性乳化沥青微表处性能[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2017, 37(5): 23-30
- [5] 徐剑, 黄颂昌. 沥青路面预防性养护理念与技术[M]. 北京: 人民交通出版社 2011.11
- [6] 延西利, 李金永. LB 沥青混合料的路面修补技术工艺[J]. 西南公路, 2006, (1): 6-9.
- [7] 张国祥. LB 冷拌冷铺沥青及其路面修补技术[J]. 交通世界 (建养·机械), 2015(6).
- [8] 周启伟, 凌天清, 郝增恒, 等. 水性环氧树脂-乳化沥青共混物特性分析[J]. 建筑材料学报, 2018, 21(3): 414-419
- [9] 赵晓磊. 水性环氧改性乳化沥青及微表处性能研究[D]. 重庆交通大学, 2017. DOI:10.27671/d.cnki.gjtc.2017.000024.
- [10] 王盘盘, 王双双, 甄少华. 水性环氧树脂改性乳化沥青混合料的配比设计及性能研究[J]. 化工新型材料, 2021, 49(01): 273-278. DOI:10.19817/j.cnki.issn1006-3536.2021.01.060.
- [11] Mengmei Liu et al. Study on cohesion performance of waterborne epoxy resin emulsified asphalt as interlayer materials[J]. Construction and Building Materials, 2018, 177: 72-82.
- [12] Qian Zhang and Yi-heng Xu and Zhi-guang Wen. Influence of water-borne epoxy resin content on performance of waterborne epoxy resin compound SBR modified emulsified asphalt for tack coat[J]. Construction and Building Materials, 2017, 153: 774-782.