

环氧掺量对水性环氧乳化沥青冷拌料性能的影响

李菁若¹ 侯艺桐² 邓 稳² 何丽红²

(1.山区道路工程与防灾减灾技术国家地方联合工程实验室,重庆 400067;

2.重庆交通大学,交通土建工程材料国家地方联合工程实验室,重庆 400074)

摘 要 为了探究环氧掺量对水性环氧乳化沥青冷拌料性能的影响,采用蒸发残留物常规物理性能实验、粘附性能和拉拔实验表征不同环氧掺量水性环氧乳化沥青的技术性能,并通过正交试验确定水性环氧乳化沥青冷拌料的最佳环氧掺量、用水量及油石比,最后考察了冷拌料的力学性能、高温稳定性和水稳定性。结果表明:水性环氧树脂的掺入对蒸发残留物三大指标影响较大,随其掺量增加,针入度明显减小,软化点升高,延度降低,当掺量达到10%时,软化点达到90℃以上;同时沥青与集料的粘附性显著提高,掺量为15%时,粘附等级达5级;掺量为20%时,水性环氧乳化沥青层间粘结强度达0.535MPa,其冷拌料初始强度为23.56kN,成型强度为13.43kN,动稳定度为14000次/mm,浸水残留稳定度为79.2%。

关键词 乳化沥青,水性环氧,掺量,粘附性,强度

Influence of epoxy content on property of emulsified asphalt cold mix

Li Jingruo¹ Hou Yitong² Deng Wen² He Lihong²

(1.National Local Joint Engineering Laboratory for Road Engineering and Disaster Prevention and Mitigation Technology in Mountainous Areas,Chongqing 400067;2.National and Local Joint Engineering Laboratory of Traffic Civil Engineering Materials,Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074)

Abstract In order to investigate the effect of epoxy content on properties of waterborne epoxy emulsified asphalt cold mix,the technical performance of waterborne epoxy emulsified asphalt with different epoxy content were studied by means of the conventional physical performance test of evaporation residue,adhesion experiment,and pull-out test,rectively,and the optimum content of epoxy in the mix was determined by orthogonal test.Moreover,the mechanical properties,high temperature stability and water stability of the mix were investigated.The results shown that the incorporation of epoxy resin had a great influence on the conventional physical performance of evaporative residue.With the increase of its content,the penetration decreased,the softening point increased and the ductility decreased.When the content of epoxy resin reached 10%,the softening point reached more than 90℃.At the same time,the adhesion between asphalt and aggregate increased significantly,and the adhesion grade reached 5%.The initial strength of the mix was 23.56kN,the forming strength was 13.43kN,the dynamic stability was 14000 times/mm and the residual stability was 79.2%.

Key words emulsified asphalt,waterborne epoxy,content,adhesion,strength

随着使用期的延长,我国公路已大范围进入维修养护期,十三五期间已由“建设为主”逐步过渡到“建养并举”和未来“以养为主”的新发展阶段^[1-4]。作为我国公路最主要铺装形式的沥青路面,正面临着空前的养护与维修压力。水性环氧乳化沥青作为一种适用于沥青路面快速修补的新型冷补料可以有效地改善乳化沥青粘附性差、温度敏感性差等缺

点^[5-12],引起了广泛的关注。赵金生^[13]主要研究了水性环氧树脂乳化沥青混合料的高温性能、低温性能以及水稳性能,设计出应用于道路路面养护与维修的快速修补材料。裴强等^[14]为提高水性环氧树脂乳液的稳定性及与乳化沥青的配伍性,利用双酚A环氧树脂与聚乙二醇(PEG)反应,制备出一种自乳化非离子水性环氧树脂,其固化物在具有一定强

基金项目:交通运输部建设科技项目(2014318346140);重庆市教委项目(KJ1705145)

作者简介:李菁若(1988-),女,博士研究生,工程师,主要研究方向为新型路面材料。

度的同时还兼具韧性,这有利于保证水性环氧树脂改性乳化沥青的低温性能。李泉等^[15]将环氧乳化沥青首次应用到冷再生沥青混合料中,并且提高了冷再生沥青混合料力学性能以及高低温稳定性,回收沥青路面材料(RAP)的有效利用率在厂拌冷再生路面中可以进一步提高。杨帆等^[16]通过自制水性环氧乳液对阳离子乳化沥青进行改性,制备水性环氧乳化沥青及其混合料,开发了一种适用于路面养护的新型修补材料,极大地提高了沥青与集料的粘附性。

本研究对不同掺量水性环氧下的乳化沥青冷拌料进行性能研究,设计正交试验确定最佳水性环氧掺量,开展最佳环氧掺量下的水性环氧乳化沥青冷拌料的马歇尔实验、车辙实验和浸水马歇尔实验,考察其力学强度、高温稳定性以及水稳定性。

1 实验部分

1.1 原料

水性环氧体系主要分为 A、B 两组分,A 组分为自乳化型水性环氧树脂,其外观为乳白色均匀液体,环氧当量 1200~1850g/eq,25℃ 旋转黏度 500~3000mPa·s,固含量 50%;B 组分为固化剂,浅色透明液体,胺值 260~320mgKOH/g,25℃ 旋转黏度 280~400mPa·s。

乳化沥青为上海某公司生产的冷拌阳离子乳化沥青,其技术参数见表 1。

表 1 乳化沥青技术参数

项目	实测值
破乳速度	慢裂
粒子电荷	阳离子
道路沥青标准黏度 $C_{25.3/s}$	14.9
1D 常温贮存稳定性/%	0.2
筛上剩余量(1.18mm 筛)/%	0.03
蒸发残留物性质	
残留物含量/%	58
针入度(25℃),0.1mm	89
延度(5℃)/cm	≥150
溶解度/%	98

集料为破碎的石灰岩,按照《公路工程集料试验规程》(JTGE42—2005)测试后集料的各项技术指标均满足技术要求。

1.2 水性环氧乳化沥青冷拌料的制备

1.2.1 水性环氧乳化沥青的制备

将一定比例的水性环氧 A 组分与 B 组分混合

均匀,按照水性环氧树脂体系不同掺量(质量分数)将上述混合物加入到乳化沥青中,充分搅拌至均匀,即得水性环氧乳化沥青。

1.2.2 冷拌料的制备

在制备冷拌料时,将一定比例上述制备好的水性环氧乳化沥青和设计级配的矿料常温下进行拌合,即得到水性环氧乳化沥青冷拌料,其矿料级配由以下步骤进行。

(1) 矿料级配

在进行路面修补时,路面修补深度与采用集料的公称最大粒径有密切的关系,且对修补质量有很大影响。研究表明,当路面修补深度为 3~5cm 时,宜选用公称最大粒径值为 13.2mm^[17]。本实验采用 AC-13 级配,级配范围见表 2。

表 2 水性环氧乳化沥青冷拌料级配

AC-13	通过百分率/%				
筛孔尺寸/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36
级配上限	100	100	85	68	50
级配下限	100	90	68	38	24
级配中值	100	95	76.5	53	37
AC-13	通过百分率/%				
筛孔尺寸/mm	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配上限	38	28	20	15	8
级配下限	15	10	7	5	4
级配中值	26.5	19	13.5	10	6

(2) 初步油石比

交通部阳离子乳化沥青课题协作组提出乳化沥青冷拌料的油石比经验公式,见式(1)^[18]。

$$P = 0.06A + 0.12B + 0.2C \quad (1)$$

式中, P 为水性环氧乳化沥青占集料干质量的百分率,%; A 为粒径大于 2.5mm 集料占全部集料总量的百分率,%; B 为粒径为 2.5~0.074mm 集料占全部集料总量的百分率,%; C 为粒径小于 0.074mm 集料占全部集料总量的百分率,%。

由式(1)可以算出,本实验中理论初步油石比为 9.66%,则取整 9.0% 作为波动中值,上下波动 0.5%、1.0%,故选取 8.0%、8.5%、9.0%、9.5%、10.0% 这 5 个油石比。

2 结果与讨论

2.1 力学性能分析

本实验根据马歇尔稳定度确定冷拌料初步油石比,马歇尔试件的初始强度和成型强度测试结果及变化情况见图 1。

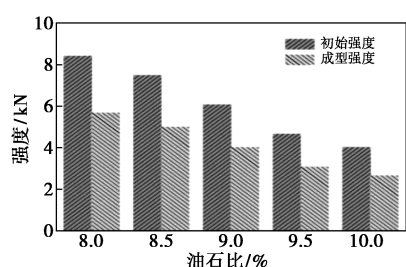


图1 冷拌料马歇尔试件初始强度/成型强度与油石比的关系图

由图可见,冷拌料油石比为 8.0% 时,其初始强度达到最大值 8.44kN,此后呈下降趋势,油石比为 10.0% 时降至 4.04kN,降幅达 52.1%;油石比为 8.0%~9.5% 时成型强度下降较快,油石比为 9.5% 时下降趋势稍缓和,直至油石比为 10.0% 时达到最小值 2.68kN。这是因为随着沥青乳液用量的增加骨料间内摩擦角减小,嵌挤作用减弱。导致冷拌料的抗剪切强度下降,马歇尔稳定度降低。

水性环氧乳化沥青冷拌料的性能不仅受油石比的影响,总用水量、环氧掺量同样是制约冷拌料性能优劣的重要因素。本试验以总用水量、油石比和环氧树脂掺量为考察因素,以马歇尔稳定度为考察指标,通过三水平三因素正交试验研究水性环氧乳化沥青冷拌料各成分的最佳用量。设计所得正交试验见表 3。

表3 L₉(3⁴)正交试验表

试验号	因子				
	总用水量	油石比	环氧树脂掺量	测试结果	
	水平				马歇尔稳定度/kN
	1	2	3	4	
1	1(4.5%)	1(8.0%)	1(10%)	1	9.14
2	1(4.5%)	2(8.5%)	2(15%)	2	10.65
3	1(4.5%)	3(9.0%)	3(20%)	3	12.95
4	2(5.0%)	1(8.0%)	2(15%)	3	10.36
5	2(5.0%)	2(8.5%)	3(20%)	1	14.57
6	2(5.0%)	3(9.0%)	1(10%)	2	8.60
7	3(5.5%)	1(8.0%)	3(20%)	2	12.77
8	3(5.5%)	2(8.5%)	1(10%)	3	9.38
9	3(5.5%)	3(9.0%)	2(15%)	1	13.19

通过正交试验可知,当冷拌料油石比为 8.5%,水性环氧掺量为 20%,总用水量为 4.5% 时,马歇尔稳定度最高达到 14.57kN。

2.2 水性环氧乳化沥青及其混合料技术性能分析

2.2.1 水性环氧乳化沥青技术性能分析

(1) 三大指标

水性环氧乳化沥青是一种新型改性乳化沥青,

尚无相应的规范检验标准,文献资料中大多参考乳化沥青蒸发残留物的性能来评价水性环氧乳化沥青的技术性能。表 4 列出了不同水性环氧掺量下乳化沥青蒸发残留物的三大指标。

表4 不同水性环氧掺量下乳化沥青蒸发残留物的三大指标

水性环氧掺量/%	针入度/ 0.1mm, 25℃	软化点/ ℃	延度/ cm, 25℃
0	59	53	118
5	29	78	21
10	15	>90	6
15	9	>90	2
20	2	>90	—

由表 4 可知,乳化沥青蒸发残留物的针入度、软化点、延度分别为 59(0.1,mm)、53℃、118cm,掺入水性环氧树脂后,软化点逐渐增大,当水性环氧掺量达到 10% 时,软化点已经大于 90℃;针入度和延度逐渐减小,当水性环氧掺量达到 15% 时,针入度减少了 84.7%,延度减少了 98.3%。这是因为环氧树脂为热固性树脂,固化后形成了骨架结构,刚度增大。

(2) 与粗集料的粘附性

采用水煮法评价水性环氧乳化沥青和粗集料的裹覆性能,间接判断其混合料的抗水剥离能力。配制了 7 种乳液:水性环氧乳液和固化剂总掺量分别为 0%、3%、6%、9%、12%、15% 和 20%,观察各个掺量下水性环氧乳化沥青与集料的裹覆能力,结果见表 5、图 2。

表5 水性环氧掺量-粘附等级

水性环氧掺量/%	0	3	6	9	12	15	20
粘附等级	3级	3级	4级	4级	4级	5级	5级

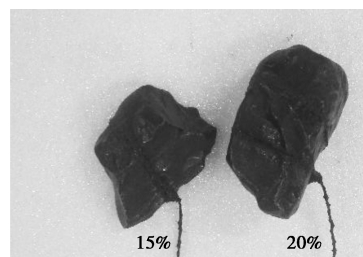


图2 水性环氧乳化沥青与粗集料的粘附性图

由表 5 可知,掺量为 0% 和 3% 时,改性沥青与粗集料的裹覆效果极差,水性环氧乳化沥青模大部分为水所移动局部保留在石料上,沥青只有薄薄的

一层,粗集料棱角分明,剥离面积小于30%,等级为3级;当掺量为6%、9%和12%时,水性环氧乳化沥青完全可以包裹石料,但是仍然有局部剥离的现象,剥离面积小于10%,粘附等级为4级;当掺量为15%时,粘附等级为5级。由图2可以看出,掺量达15%和20%时,水性环氧乳化沥青可以完全包裹粗集料基本不剥离。

2.2.2 水性环氧乳化沥青冷拌料

(1) 层间粘结强度

采用拉拔实验测试了不同水性环氧掺量下水性环氧乳化沥青的粘结强度,结果见图3。

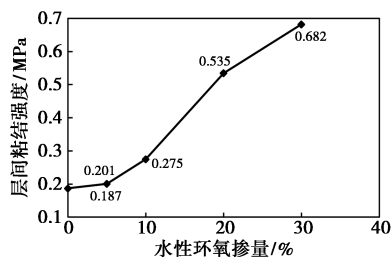


图3 水性环氧掺量对水性环氧乳化沥青粘结强度的影响

由图可知,水性环氧乳化沥青层间粘结强度随着水性环氧掺量的提高而增大。其中水性环氧掺量从10%到20%增大速度最快,并在掺量为20%时,水性环氧乳化沥青层间粘结强度达0.535MPa。这是因为环氧树脂是线型结构的热固性树脂,在室温环境下加入固化剂就可发生化学交联反应,环氧树脂固化后就改变了原来可溶的性质而变成了不溶的空间网状结构,这赋予了环氧树脂优良的粘结性能。

(2) 初始强度及成型强度

根据修正的马歇尔实验方法,测得水性环氧乳化沥青冷拌料初始强度与成型强度,结果见表6。

表6 水性环氧乳化沥青冷拌料初始强度及成型强度实验结果

试件	水性环氧 掺量 10%	水性环氧 掺量 15%	水性环氧 掺量 20%
初始强度/kN	19.35	20.32	23.56
成型强度/kN	9.04	11.40	13.43

目前我国没有相关规范规定乳化沥青初始强度^[19]。为了满足车辆荷载逐渐增加,公路等级不断提高,新型冷补材料性能不断完善的要求,国内目前大多都以初始强度>3kN,成型强度>5kN为基本要求。所以采用初始强度为3kN作为评价指标。由表6可知,表中冷拌料初始强度均符合要求,当环氧掺量为20%时,其冷拌料初始强度为23.56kN,

成型强度为13.43kN。

通过表6还可以看出,水性环氧乳化沥青冷拌料成型强度随着环氧掺量的增大而提高,与冷拌料初始强度变化规律相同。水性环氧掺量10%以后混合料强度增长迅速,这是因为水性环氧掺量较高时,胶结料中环氧树脂形成结构强度,逐渐体现环氧树脂高强度的特性。根据《公路沥青路面再生技术规范》(JTGF41—2008)中乳化沥青冷再生设计技术要求,乳化沥青冷拌料的马歇尔稳定度应不小于5kN。本实验中初始强度和成型强度实验结果均远高于规范要求,满足实际施工路面的强度需求。

(3) 动稳定度

由于现有规范并没有针对水性环氧乳化沥青冷拌料的技术要求和养生规范^[20],现参照热拌沥青的车辙实验方法,根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTGE20—2011)中T0719沥青混合料车辙试验对其进行高温试验,试验温度为60℃,轮压为0.7MPa,采用自动车辙试验仪(ZCZ-10型)测试车辙板的实时变形量并计算其动稳定度。对车辙板进行高温车辙试验,结果表明,经过碾压后车辙板凹陷深度为2.69mm。计算得该试验中车辙板试件的动稳定度为14000次/mm。根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40—2004)规定,改性沥青混合料的动稳定度应不小于3000次/mm,本实验中车辙板试件动稳定度远高于规范要求。说明当环氧掺量达到20%时,在沥青混合料内部已经形成牢固的三维网络结构,将沥青与集料紧密粘附在一起,使沥青混合料具有很好的高温抗车辙能力。

(4) 水稳定性

与传统热拌沥青混合料相比,冷补沥青混合料最大的缺点就是成型后内部含有大量水分,不但沥青在破乳之前被水分包裹而无法发挥其粘结作用,而且水分在逐渐蒸发的过程中会在混合料内部留下大量空隙,导致在车辆行驶过程中外界水分容易渗入路面,导致结构破坏引起水损坏。因此,水性环氧乳化沥青冷拌料的水稳定性尤为重要。本实验以浸水马歇尔稳定度来评价该性能^[21],用上述正交试验得出的最佳环氧掺量、最佳用水量制备的冷拌料进行试验。浸水马歇尔测试结果见表7。

表7 浸水马歇尔实验对应试件强度

浸水马歇尔 稳定度/kN	未浸水马歇尔 稳定度/kN	浸水残留 稳定度/%
9.76	12.33	79.2

根据《公路沥青路面再生技术规范》(JTGF41—2008)中乳化沥青冷再生设计技术要求,乳化沥青冷拌料的浸水马歇尔残留稳定度应不小于 75%,测试结果为 79.2%,达到规范要求。

3 结论

(1)设计正交试验,得到最佳环氧掺量为 20%,最佳总用水量为 4.5%,最佳油石比为 8.5%,马歇尔稳定度最高为 14.57kN。

(2)随着水性环氧掺量的增加,沥青软化点逐渐增大,当水性环氧掺量达到 10%时,软化点已经大于 90℃;但针入度、延度逐渐减小,当水性环氧掺量达到 15%时,针入度减少了 84.7%,延度减少了 98.3%。

(3)采用水煮法测定水性环氧乳化沥青与集料的粘附性,当水性环氧掺量达 15%、20%时,水性环氧乳化沥青可以完全包裹粗集料基本不剥离。

(4)采用拉拔试验测试水性环氧乳化沥青粘结强度,水性环氧乳化沥青层间粘结强度随着水性环氧掺量的提高而增大,其中水性环氧掺量从 10%到 20%增大速度最快。

(5)通过进行马歇尔实验、车辙试验、浸水马歇尔实验,考察了最佳环氧掺量下冷拌料的力学性能、高温稳定性、水稳定性。其中初始强度为 23.56kN,成型强度为 13.43kN,动稳定度为 14000 次/mm,浸水残留稳定度为 79.2%。

参考文献

- [1] 季节,刘禄厚,索智,等.水性环氧树脂改性乳化沥青混合料性能[J].北京工业大学学报,2018,44(4):568-576.
- [2] 张勇.水性环氧乳化沥青混合料路用性能研究[J].中外公路,2017,37(5):289-293.
- [3] 种庚子.水性环氧树脂改性乳化沥青在公路养护中的应用[J].

华东公路,2017(5):61-63.

- [4] 于晓莎,朱丽莹.环氧树脂改性沥青混凝土路面材料研究[J].科学技术创新,2017(29):157-158.
- [5] 刘宁,钟海燕,杨志鹏,等.水性环氧树脂改性乳化沥青混凝土性能研究[J].现代交通技术,2017,14(4):1-4.
- [6] 易红晟.环氧乳化沥青封层养护材料及其工程应用的研究[J].合成材料老化与应用,2017,46(6):67-72.
- [7] 张雪松,钱海涛,倪雷.水性环氧乳化沥青封层技术及应用[J].四川建材,2017,43(12):194-195.
- [8] 盛飞,彭馨彦,洪晶,等.水性环氧树脂对不同含砂雾封层材料的影响分析[J].建材世界,2016,37(4):5-9.
- [9] 谢红跃,王滔,高达,等.无机材料对沥青-环氧树脂复合材料的性能影响[J].武汉理工大学学报,2016,38(7):14-23.
- [10] 郭鹏.水性环氧树脂乳化沥青微表处路用性能影响研究[J].公路交通科技(应用技术版),2016,12(5):123-124.
- [11] 袁世刚.水性环氧树脂改性乳化沥青试验研究[J].市政技术,2016,34(2):189-192.
- [12] 周启伟,徐光红,王庆珍,等.水性环氧乳化沥青性能及其微表处修复车辙效果评价[J].公路工程,2017,42(5):247-251.
- [13] 赵金生.水性环氧乳化沥青混合料的路用性能研究[J].中国公路,2017(9):94-95.
- [14] 裴强,杜素军,庞瑾瑜.乳化沥青用水性环氧树脂的制备及性能研究[J].石油沥青,2016,30(2):50-53.
- [15] 李泉,吴超凡.环氧乳化沥青冷再生沥青混合料性能研究[J].硅酸盐通报,2017,36(1):57-63.
- [16] 杨帆,何丽红,田春玲,等.水性环氧乳化沥青混凝土路面冷补材料制备及性能研究[J].公路,2017(6):286-290.
- [17] 庞世华,陈忠达,惠丹丹.环氧树脂改性乳化沥青冷补混合料的研究[J].石油沥青,2012,26(4):46-49.
- [18] 交通部离子乳化沥青课题组.离子乳化沥青混凝土路面[M].北京:人民交通出版社,1997,153-155.
- [19] 毕研秋.冷补环氧乳化沥青混合料研究[D].西安:长安大学,2015.
- [20] 李亚菲.不同水性环氧树脂掺量乳化沥青冷再生混合料耐久性试验研究[J].公路工程,2016,41(5):82-87.
- [21] 房增耀.乳化环氧沥青及其混合料性能的研究[D].南京:东南大学,2016.

收稿日期:2018-12-05

(上接第 225 页)

- [21] 亢阳.高性能环氧树脂改性沥青材料的制备与性能表征[D].南京:东南大学,2006.
- [22] 曹敏娜,陆江银,薄文旻.废橡胶粉改性沥青性能及研究[J].湖南交通科技,2012,38(4):67-70.
- [23] 纪奎江,袁仲雪,陈占勋.硫化橡胶粉:原理·技术·应用[M].北京:化学工业出版社,2016,65-68.
- [24] 马玉峰,林青.废胶粉改性沥青研究进展[J].化工技术与开发,2008,37(12):37-39.
- [25] Maccarrone S, Holleran G, Gnanaseelan G P. Properties of polymer modified binders and relationship to performance [C]. Australia:17th Arrib Conference,1994.

- [26] 王涛,才洪美,张玉贞.SBS 改性沥青机理研究[J].石油沥青,2008,22(6):10-14.
- [27] 张芹芹.SBS 改性沥青的乳化对其应用性能影响的研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2012.
- [28] 吴慧彦,同鑫.沥青高温性能评价新指标[J].中外公路,2011,31(3):263-266.
- [29] 郭咏梅,陈薇.改性沥青高温性能评价指标的灰关联熵分析[J].科学技术与工程,2012,12(28):7284-7288.
- [30] 交通运输部公路科学研究院.公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTGE20—2011[M].北京:人民交通出版社,2011,30-33.

收稿日期:2018-12-17