

新型冷拌冷铺沥青混合料路用性能研究

张志婷^{1,2}, 叶长文¹, 罗雷¹, 王家胤¹, 陈礼仪^{*1}

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川成都 610059;

2. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西西安 710077)

摘要: 为了提高普通乳化沥青混合料的路用性能, 将乳化沥青与水性环氧树脂有机结合, 得到一种新型复合材料——水性环氧乳化沥青。通过试验研究水性环氧树脂用量对混合料的力学强度、水稳定性以及温度稳定性的影响。结果表明: 混合料的初期强度、后期强度以及高温稳定性随着水性环氧树脂用量的增加而提高, 但其水稳定性和低温稳定性随着水性环氧树脂用量的增加先增大后减小, 分别在水性环氧树脂用量为10%和15%时达到最佳提升效果。在实际工程应用中将水性环氧树脂用量控制在10%~15%之间。

关键词: 乳化沥青; 环氧树脂; 混合料; 路用性能

中图分类号: U414 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)S1-0079-06

Study on road performance of new cold-mixed cold-laid asphalt mixture

ZHANG Zhiting^{1,2}, YE Changwen¹, LUO Lei¹, WANG Jiayin¹, CHEN Liyi^{*1}

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China;

2. Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: In order to improve the road performance of ordinary emulsified asphalt mixture, a new kind of composite material, waterborne epoxy emulsified asphalt, was obtained by organically combining emulsified asphalt and waterborne epoxy resin. The effects of the amount of waterborne epoxy resin on the mechanical strength, water stability and temperature stability of the mixture were studied by experiments. The results showed that the initial strength, late strength and high temperature stability of the mixture increased with the increase of the amount of water-based epoxy resin, but the water stability and low temperature stability increased first and then decreased with the increase of the amount of water-based epoxy resin. The best improvement effect was achieved when the amount of water-based epoxy resin was 10% and 15%, respectively. In practical engineering application, the dosage of waterborne epoxy resin is controlled between 10% and 15%.

Key words: emulsified asphalt; epoxy resin; mixture; road performance

0 引言

近年来, 随着我国交通量日益增加, 对公路建设需求不断加大, 传统的热拌沥青在施工过程中有大量的烟雾排放, 为了保护环境, 实现可持续发展, 国内外学者在乳化沥青混合料的研究上投入更多的精力。乳化沥青混合料^[1]在常温条件下进行拌

和、铺装, 与热拌沥青混合料相比, 无需对材料高温加热, 因而具有工序简单、环保等优点, 但是普通乳化沥青混合料存在抗水损害能力差、力学强度低等缺陷, 难以满足我国交通需求。

环氧树脂^[2-3]具有无害、无污染等优点, 与适当的固化剂配合使用突显其粘结性好、力学强度高

收稿日期: 2021-05-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.S1.012

作者简介: 张志婷, 男, 汉族, 1994年生, 硕士, 研究方向为岩土工程, 四川省成都市成华区二仙桥东三路1号, 996813156@qq.com。

通信作者: 陈礼仪, 男, 汉族, 1957年生, 教授, 博士, 研究方向为岩土钻掘技术, 四川省成都市成华区二仙桥东三路1号, cly@cdut.edu.cn。

引用格式: 张志婷, 叶长文, 罗雷, 等. 新型冷拌冷铺沥青混合料路用性能研究[J]. 钻探工程, 2021, 48(S1): 79-84.

ZHANG Zhiting, YE Changwen, LUO Lei, et al. Study on road performance of new cold-mixed cold-laid asphalt mixture[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1): 79-84.

特性。水性环氧树脂^[4-7]是通过特定的方法将环氧树脂分散于水中形成乳液,与乳化沥青具有很好的相容性。马朋涛等^[8]将水性环氧乳化沥青与通过苯乙烯丁二稀嵌段共聚物胶乳和丁苯胶乳改性后的乳化沥青进行试验对比发现,水性环氧树脂改性的乳化沥青性能相对要好。Qian Zhang^[9]改进了乳化沥青的粘度试验评价和计算方法,采用抗剪强度试验和固化时间来评价乳化沥青的性能。李炜光等^[10]将环氧树脂加入到SBR改性乳化沥青后测其抗盐抗酸侵蚀性能,研究结果表明,环氧树脂的加入使其抗盐抗酸抗侵蚀能力增强,材料的结构更加紧密。

本文选用固化剂 T450 进行试验,配制水性环氧树脂体系(水性环氧树脂:固化剂=2:1),通过搅拌法制备水性环氧乳化沥青,并设计水性环氧树脂体系掺量梯度为0%、5%、10%、15%、20%、25%,研究水性环氧树脂用量对混合料的力学强度、水稳定性以及温度稳定性的影响。

1 原材料

1.1 乳化沥青

试验使用阳离子乳化沥青,其主要性能技术指标参数见表1。

表1 乳化沥青指标测试结果

测试项目	结果	技术规范要求	测试方法
沥青含量/%	57		T0651
破乳速率	慢	慢	T0658
筛上剩余量/%	0.054	<0.3	T0652
恩格拉粘度(25℃)/E	6.3	3~15	T0622
电荷	阳离子		T0653
针入度	66	40~90	T0604
软化点	64	>60	T0606
延度	53	>30	T0605
储存稳定度(1 d)/%	0.24	≧1	T0655
储存稳定度(5 d)/%	1.58	≧5	T0655

表4 AC-13型沥青混合料矿料级配

级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分比/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配上限	100	100	85	68	50	38	28	20	15	8
级配下限	100	90	65	38	24	15	10	7	5	4
级配中值	100	95	76.5	53	37	26.5	19	13.5	10	6
合成级配	100	97	79	55	38	24	17.5	12.5	9.8	7

1.2 水性环氧树脂及固化剂

试验所用水性环氧树脂技术指标参数见表2。

表2 水性环氧树脂参数指标

外观	乳白色液体
粘度(25℃)/(mPa·s)	100~900
树脂含量/%	50±2
稀释剂	水
分散相粒径/μm	≤1
稳定性(3000r/min, 30min)	不分层
pH值	7.0±0.5
环氧当量/(g·mol ⁻¹)	200~220

试验所用固化剂 T450 技术指标参数见表3。

表3 固化剂 T450 参数指标

外观	淡黄色粘稠液体
粘度(25℃)/(mPa·s)	5000~15000
胺值/(mgKOH·g ⁻¹)	180~190
活性氢当量	200~225
密度/(g·cm ⁻³)	0.95~1.0

1.3 集料

试验采用石灰岩作为集料,结合实际工程案例以及国内外学者对混合料的研究,选用AC-13型为试验级配类型,见表4。

2 研究方案

2.1 确定最佳乳化沥青用量

按照公式^[11] $P=0.06A+0.12B+0.2C$ 计算乳液用量为8.48%,取8.5%作为基数,并以0.5%为梯度,即按乳液用量为7.5%、8.0%、8.5%、9.0%、9.5%进行试验对乳液用量进一步确定。

2.2 确定最佳用水量

试验所用乳化沥青为阳离子型,在混合料拌和

前需加水润湿矿料。计算总用水量分别为4.5%、5.0%、5.5%、6.0%，并制备马歇尔试件，通过对不同用水量的混合料试件进行测试来确定。

2.3 混合料性能测试

通过设计水性环氧树脂体系掺入量梯度为0、5%、10%、15%、20%、25%，研究水性环氧树脂用量对混合料的力学强度、抗水损害能力以及温度稳

定性的影响。

3 试验结果与分析

3.1 确定乳化沥青用量

乳化沥青的用量直接决定了混合料的性能，本文通过测试混合料试件的稳定度、密度、空隙率和流值来进一步确定，结果如图1所示。

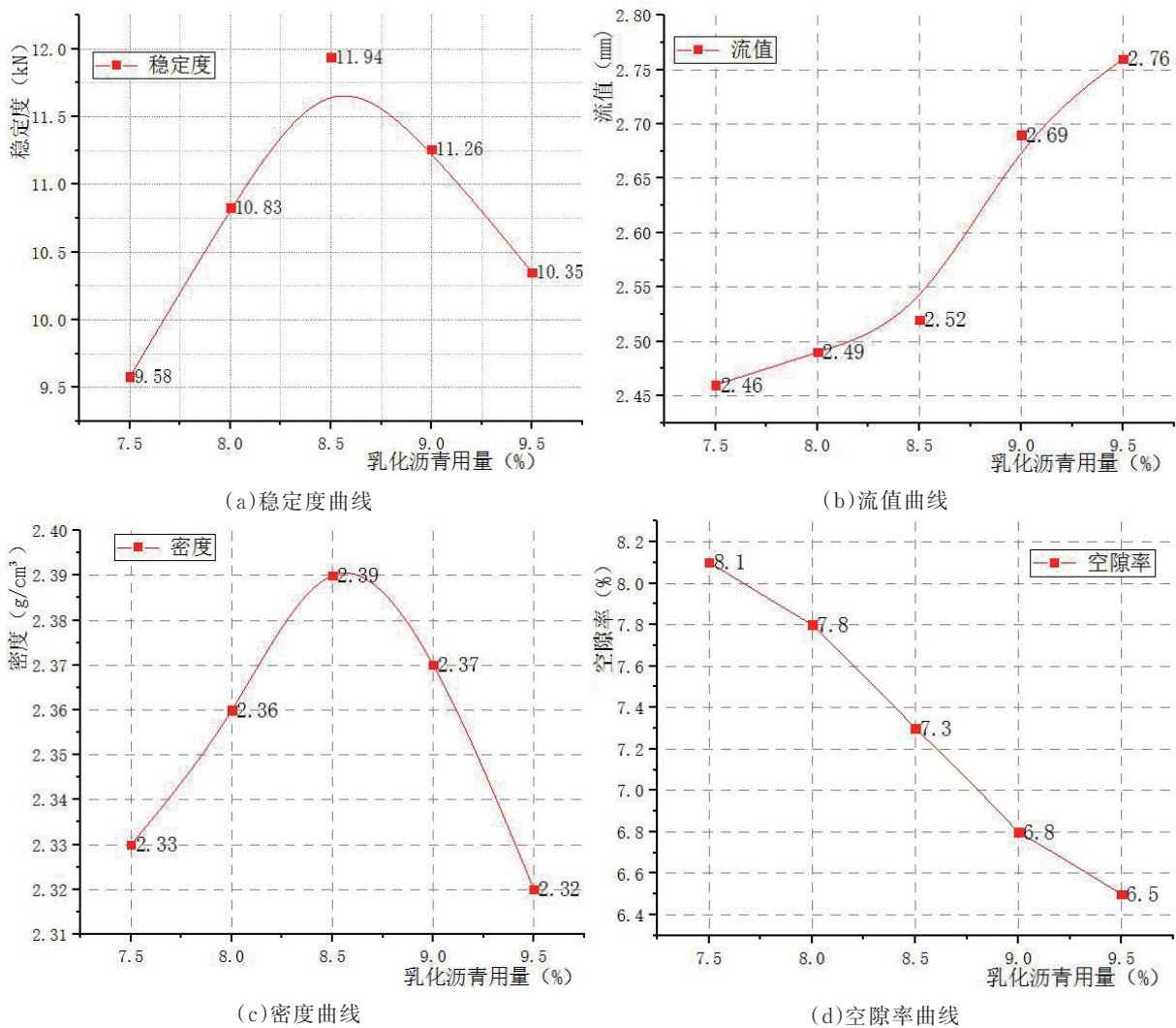


图1 乳化沥青用量与力学体积关系

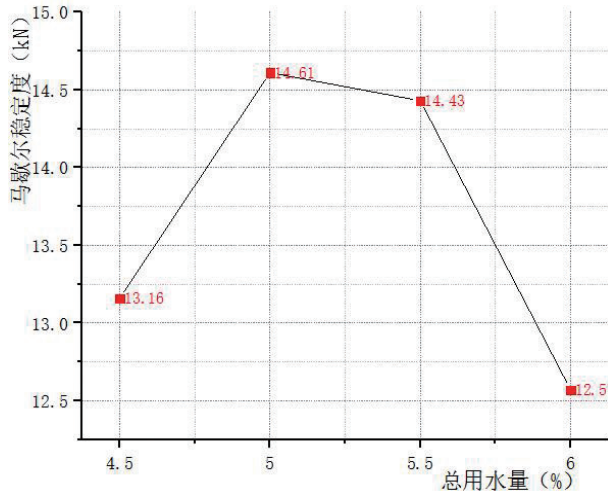
在乳化沥青用量的增加过程中，混合料试件的稳定度和密度先增大后减小，在乳化沥青用量为8.5%时，稳定度和密度达到最大值，分别为11.94 kN和2.39 g/cm³，流值不断变大，空隙率不断减小。这是由于当乳化沥青用量过少时，很快破乳，造成混合料可压实性差，稳定度低，密度小，当乳化沥青用量过多使得矿料颗粒之间不能紧密咬合，稳定度减

小，流值增大。

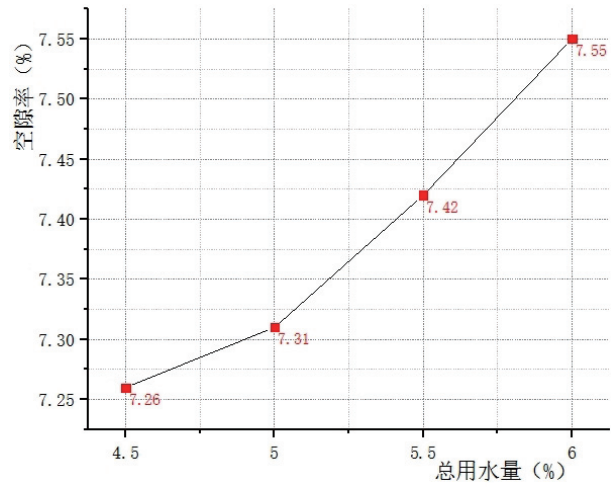
3.2 确定总用水量

本文以乳化沥青用量为8.5%，设计总用水量梯度为4.5%、5.0%、5.5%、6.0%，通过测试混合料试件的稳定度和空隙率来确定总用水量，结果如图2所示。

在总用水量的增加过程中，混合料的稳定度先



(a)用水量与稳定度关系曲线



(b)用水量与空隙率关系曲线

图2 总用水量与力学体积关系

增大后减小,空隙率不断变大,在总用水量为5%时,稳定度达到最大值14.61 kN。这是由于用水量越多蒸发后混合料的孔隙就越多,空隙率变大,稳定度变小。因此,总用水量取5%。

3.3 混合料性能研究

3.3.1 力学强度

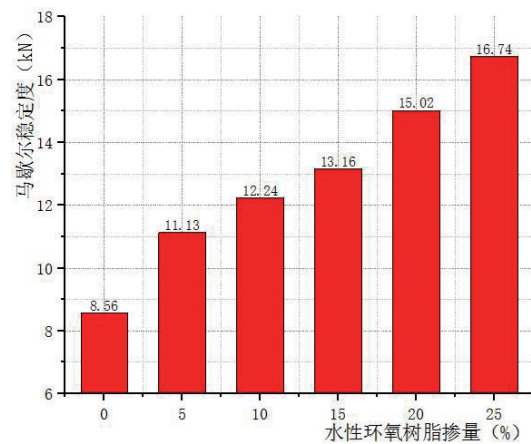
制备水性环氧树脂体系掺入量分别为0%、5%、10%、15%、20%、25%的标准马歇尔试件,以在25℃的条件下养护1d后测得的稳定度为初期强度,在110℃的条件下养护24h后测得的稳定度为后期强度,结果如图3所示。

混合料的初期强度和后期强度都随着水性环氧树脂用量的增加而提高。这是由于环氧树脂本身具有良好的力学强度性能,固化产物与沥青结构相互贯穿,从而使混合料的强度得到明显提升。

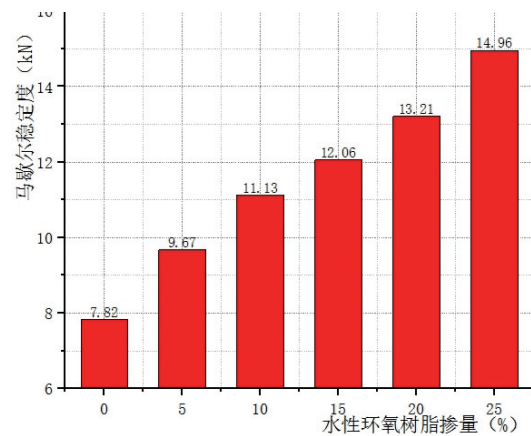
3.3.2 水稳定性

选取浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验对不同水性环氧树脂体系用量下混合料的抗水损害能力进行评价,结果如图4所示。

混合料的抗水损害能力随着水性环氧树脂体系用量的增加先提高后下降,在水性环氧树脂体系用量为10%时,达到最佳提升效果。这是由于加入适量的水性环氧树脂体系发生固化使得混合料结构不容易被破坏,但是当加入过量的水性环氧树脂时,混合料内部形成大量的封闭孔隙,从而降低了混合料的抗水损害能力。

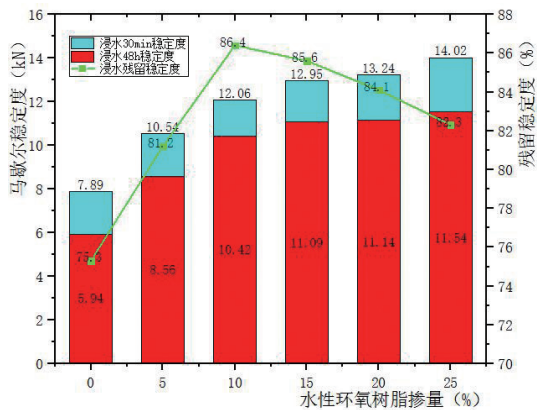


(a)初期强度

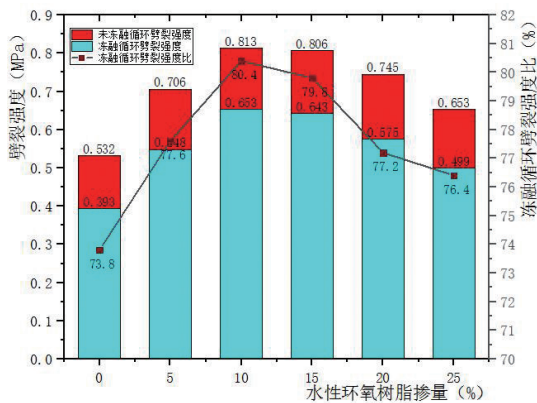


(b)后期强度

图3 不同水性环氧树脂体系用量下混合料的力学强度



(a) 浸水马歇尔试验结果



(b) 冻融劈裂试验结果

图 4 水稳定性试验结果

3.3.3 高温稳定性

成型水性环氧树脂体系掺入量分别为 0、5%、10%、15%、20%、25% 的车辙板,在室温条件下养生 7 d 后通过车辙试验对不同水性环氧树脂体系用量下混合料的高温稳定性进行评价,结果如图 5 所示。

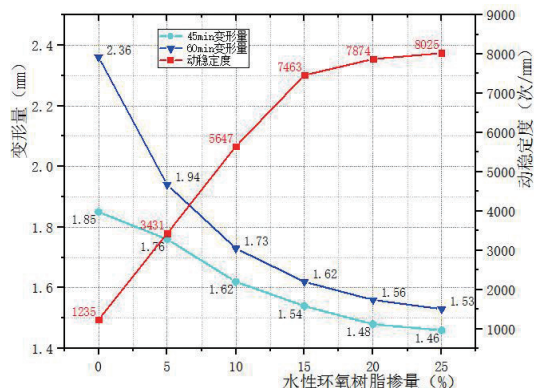


图 5 车辙试验结果

在水性环氧树脂体系用量为 15% 时,车辙板 45 min 的变形量为 1.54 mm, 60 min 的变形量为 1.62 mm, 动稳定度为 7463 次/mm, 这些指标远远好于普通乳化沥青混合料, 并且随着水性环氧树脂体系用量的增加, 车辙板的变形量逐渐减小, 动稳定度逐渐增大。这是由于环氧树脂本身具有很好的高温稳定性, 发生固化后使得混合料整体结构更加稳固、坚硬, 但是考虑到工程的经济性, 水性环氧树脂体系用量取 15% 为宜。

3.3.4 低温稳定性

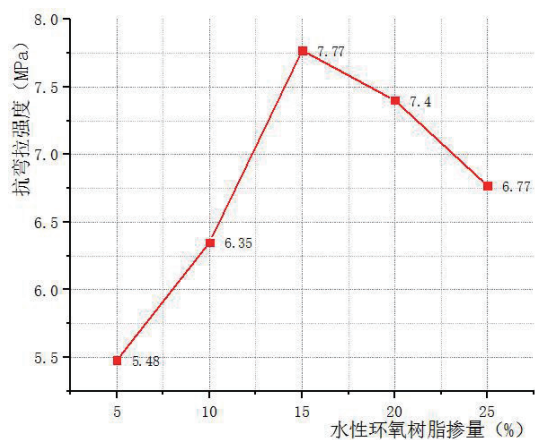
由于水性环氧树脂体系掺量为 0 时成型的车辙板强度较低, 切割小梁试件的过程中容易发生破碎, 因此只评估水性环氧树脂体系掺量为 5%、10%、15%、20%、25% 混合料的低温性能。将不同水性环氧树脂体系用量的车辙板切割成小梁试件, 通过低温弯曲试验对不同水性环氧树脂体系用量下混合料的低温稳定性进行评价, 结果如图 6 所示。

混合料的抗弯拉强度、最大弯拉应变和劲度模量都随着水性环氧树脂体系用量的增加先增大后减小, 在水性环氧树脂用量为 15% 时, 混合料的低温稳定性提升效果最好。这是由于适量的加入水性环氧树脂, 表现出其高粘结的特性, 当其用量过多时, 表现出环氧树脂刚性的特点, 从而使得混合料的低温稳定性下降。

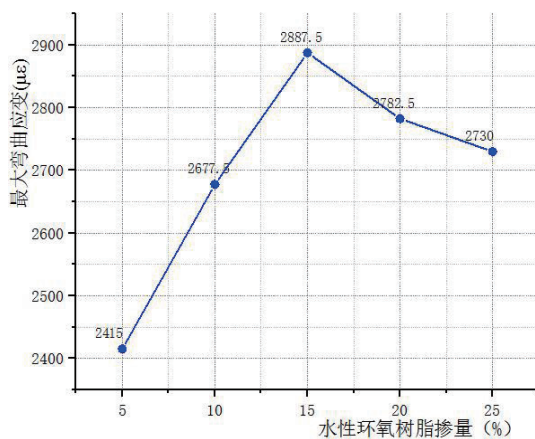
4 结论

通过对不同水性环氧树脂体系用量下的混合料进行试验研究, 得到以下结论:

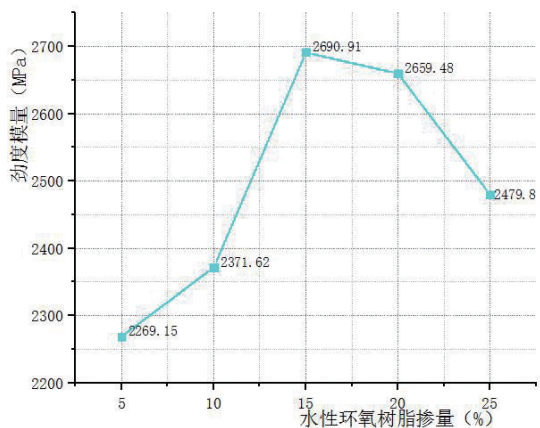
- (1) 水性环氧乳化沥青混合料中, 最佳乳液用量 (乳化沥青+水性环氧树脂体系) 为 8.5%, 总用水量为 5%;
- (2) 水性环氧乳化沥青混合料的初期强度、后期强度和高温稳定性随着水性环氧树脂用量的增加而提升;
- (3) 水性环氧乳化沥青混合料的水稳定性和低温稳定性随着水性环氧树脂用量的增加先提升后下降, 在水性环氧树脂用量为 10% 时, 混合料的水稳定性达最佳效果; 在水性环氧树脂用量为 15% 时, 混合料的低温稳定性达最佳效果。
- (4) 综合考虑, 在实际工程应用中将水性环氧树脂用量控制在 10%~15% 之间。



(a) 抗弯拉强度



(b) 最大弯曲应变



(c) 劲度模量

图6 低温弯曲试验结果

参考文献:

- [1] 夏朝彬,马波.国内外乳化沥青的发展及应用概况[J].石油与天然气化工,2000,29(2):88-92.
- [2] 王进,杜宗良.环氧树脂水基分散体系的相反转乳化[J].功能高分子学报,2000,13(2):141-144.
- [3] 江传力,薛丽梅,许普查.环氧树脂水性化反应中新型溶剂的研究[J].黑龙江科学,2010,24(7):12-16.
- [4] 邹海良,张亚峰,邝健政,等.水性环氧固化剂及其改性技术[J].热固性树脂,2010,(4):53-57.
- [5] 李致立.水性环氧乳化沥青制备工艺与微结构及其基本性能[D].重庆:重庆交通大学,2016.
- [6] 周卫峰,董利伟,宋晓燕,等.水性环氧树脂改性乳化沥青高温性能试验研究[J].重庆交通大学学报,2019,38(4):55-59.
- [7] 张庆,郝培文,白正宇.水性环氧树脂改性乳化沥青性能表征及机理研究[J].公路工程,2016,41(2):109-112.
- [8] 马朋涛,靳媛媛.黏结层用环氧乳化沥青研发与性能研究[J].中外公路,201737(4):263-267.
- [9] Qian Zhang. Influence of water-borne epoxy resin content on performance of water borne epoxy resin compound SBR modified emulsified asphalt for tack coat [J]. Construction and Building Materials, 2017,(153): 774-782.
- [10] 李炜光,梁鹏,李禅禅,等.水泥-乳化沥青-环氧乳液复合材料耐久性及其微观机理研究[J].公路,2017,(10):219-224.
- [11] 交通部阳离子乳化沥青课题协作组.阳离子乳化沥青路面[M].北京:人民交通出版社,1997.