

基于环氧固化体系的冷铺沥青混合料的研究与开发

郭文灿, 黄明

[上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海市 200433]

摘要: 围绕绿色低碳公路发展为基础, 针对传统温拌热拌沥青施工的环境污染问题, 提出冷拌冷铺沥青混合料的研究, 着重探讨固化剂对改性乳化沥青的影响。研究将水性环氧树脂为外掺物掺入制作改性乳化沥青, 通过分析不同固化剂类型, 确定最佳固化剂为水性环氧树脂多元胺固化剂, 最佳掺量为26%; 级配设计中取消了2.36 mm及1.18 mm这两档集, 设计这种间断级配的初衷在于为水分的快速排出创造条件, 以实现混合料强度的快速增长; 按水性环氧树脂不同掺量0%、6%、8%、10%、12%、14%分别设计6组不同冷拌冷铺水性环氧沥青混合料; 并进行路用试验, 试验结果显示水性环氧树脂掺量越高混合料的强度越高; 浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验显示, 当掺量超过10%后, 浸水残留稳定性和冻融劈裂强度比都超过90%; 高温车辙试验结果显示, 当掺量为14%时混合料动稳定性为3 604次/mm, 且满足相关技术要求的3 000次/mm, 最终确定该次水性环氧树脂的最佳掺量为14%。相关数据对推动绿色低碳公路建设方提供一些可参考价值, 为我国交通基础设施的可持续发展提供一些有力支持。

关键词: 沥青路面; 水性环氧树脂; 水性环氧树脂多元胺; 固化剂; 路用性能

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)05-0262-03

Research and Development of Cold Paved Asphalt Mixture Based on Epoxy Curing System

GUO Wencan, HUANG Ming

[Shanghai Highway and Bridge Group Co., Ltd., Shanghai 200433, China]

Abstract: Focusing on the development of green and low-carbon highways, aiming at the environmental pollution issues of traditional warm-mix and hot-mix asphalt construction, the cold-mix and cold-paved asphalt mixtures are studied, and the impact of curing agent on the modified emulsified asphalt is specially discussed. The modified emulsified asphalt is prepared by using the water-based epoxy resin as an additive. By analyzing the different types of curing agents, the optimal curing agent is determined to be water-based epoxy resin polyamine curing agent. The optimal dosage is 26%. In the grading design, these two sets of 2.36 mm and 1.18 mm are eliminated. This discontinuous gradation is designed to create conditions for rapid water removal, which realizes the rapid increase of mixture strength. 6 sets of different cold-mix cold-paved water-based epoxy asphalt mixtures are designed with the different dosages of 0%, 6%, 8%, 10%, 12%, and 14% of water-based epoxy resin respectively. And the pavement is tested. The test results show that the higher the content of water-based epoxy resin, the higher the strength of the mixture. The immersion Marshall test and the freeze-thaw splitting test show that when the dosage exceeds 10%, the immersion residual stability and freeze-thaw splitting strength ratio both exceed 90%. The results of the high-temperature rutting test show that when the dosage is 14%, the dynamic stability of the mixture is 3 604 times/mm, and meets the relevant technical requirements of 3 000 times/mm. Finally, the optimal dosage of water-based epoxy resin for this test is determined to be 14%. Some relevant data are provided for this project, which provides some reference values for promoting the construction of green and low-carbon highways, and provides some strong supports for the sustainable development of transportation infrastructure in China.

Keywords: asphalt pavement; water-based epoxy resin; water-based epoxy resin polyamine; curing agent; pavement performance

收稿日期: 2024-10-31

基金项目: 上海市住房和城乡建设管理委员会科研项目(沪建科2023-002-053); 上海公路桥梁(集团)有限公司科研项目(2023-KY-24)

作者简介: 郭文灿(1996—), 男, 硕士, 工程师, 从事公路工程施工管理工作。

0 引言

随着我国经济发展, 生态环境部提出了交通基础设施生态环境保护的重要决策, 推动建设绿色低碳公路。以往道路铺筑或养护时, 多采用温拌或热

拌沥青进行,摊铺时温度最低标准在 120 ℃以上,整个施工过程中会产生大量的烟尘、废气等,对周边环境会造成一定的环境污染,特别是在城市地下道路或隧道等较封闭的地区,施工过程中会排放一定的碳氧化物、机挥发物、硫化物等(俗称“沥青烟”)有害气体,施工人员长期在这样的环境下会对身体造成一定的损坏。国内以有研究发现冷拌冷铺沥青混合料具有环保、低排放,对施工人员的健康有保障,易压实等特点^[1-3]。环氧树脂是冷拌冷铺沥青混合料中较为关键的材料之一。除环氧树脂外,固化剂的选择也极为重要,固化剂与冷拌冷铺沥青混合料的强度、稳定度、抗水损害等性能有直接关系。因此,本文通过研究环氧树脂及固化剂对改性乳化沥青的影响,设计一种冷拌冷铺水性环氧沥青混合料,并对其进行路用性能分,为冷拌冷铺沥青混合料研究提供一些相关数据。

1 原材料

1.1 改性乳化沥青

试验中所使用的改性乳化沥青为自制改性乳化沥青,其性能检测见表 1。

表 1 改性乳化沥青检测结果

检测项目	检测结果	改性乳 化要求	试验 方法	
筛上剩余量(1.18 mm)/%	0.01	≤0.1	T 0652	
粒子电荷	阳离子(+)	阳离子(+)	T 0653	
恩格拉黏度 E25	17.8	4 ~ 29	T 0622	
标准黏度/s	20	11 ~ 59	T 0621	
蒸发残留物含量/%	62.1	≥60	T 0651	
蒸发残留物 性质	针入度(25 ℃/ 0.1 mm)	67.9	41-100	T 0604
	软化点/℃	59.3	≥58	T 0606
	延度(5 ℃)	>100	≥21	T 0605
	溶解度/%	99.6	≥97.6	T 0607
贮存稳定性	1 d/%	0.21	≤1.0	T 0655
	5 d/%	2.32	≤5.0	

1.2 环氧树脂及固化剂

环氧树脂是一种高分子聚合物,通常是两个或两个以上环氧基团的一类聚合物的总称。它是一种由液体、粘稠态到固态的物质,其具有:形式多样;固化体系范围广;黏接力强;力学性能好;电性能好;耐化学介质和耐霉菌性能^[4]。在使用环氧树脂时需加入一定的固化剂,固化剂作为活性基团,使其与树脂的环氧基和羟基分手反应,从而形成三维网状结构。本次试验中选用的环氧树脂为水性环氧树脂,因其

在使用过程 VOC 排放较低,不会产生有害的挥发性有机化合物,更具有环保性能^[5-7]。

固化剂的选择需要具备固化后达到一定强度;固化时间较长并能进行乳化处理的固化剂。根据以上条件经过筛选本次试验所使用的固化剂按类型分别为聚酰胺固化剂、酸酐固化剂、低温多元胺固化剂、水性环氧树脂多元胺固化剂。其性能见表 2。

表 2 固化剂性能

检测项目	聚酰胺	酸酐	低温多元胺	水性 环氧树脂 多元胺
胺值	180~220	—	190~280	135~220
室温黏度/ (mPa·s)	5 200~13 000	固体	1 000~4 000	—
固化温度	室温	80~ 140 ℃	室温	室温
固化时间	14 h	1~2 h	60 min	1 d 以上
添加量/%	10~20	0~10	15~25	20~30

由表 2 可知,水性环氧树脂多元胺的固化时间最长,固化后的固化物也具有较高的强度。本次固化剂的选择为水性环氧树脂多元胺固化剂。

将固化剂以 2% 掺量为基准,从 20%~32% 分为 5 组不同掺量进行拌合,达到常温(15 ℃)条件下最佳拌合黏度。固化剂最佳掺量为 26%。试验结果见表 3。

表 3 不同掺量固化剂拌合粘度变化

掺量/%	水性环氧树脂多元胺 15 ℃黏度/(mPa·s)	技术要求
20	93	0.17 Pa·s, 即 170 mPa·s
22	126	
24	152	
26	170	
28	205	
30	227	
32	—	

2 冷拌冷铺环氧沥青混合料级配设计

2.1 级配设计

本次设计的混合料用于沥青路面上面层,而目前国内针对上面层的环氧沥青专用级配并没有明确规定。因此,本次研究以 SMA-10 级配为设计参考。级配设计中取消了 2.36 mm 及 1.18 mm 这两档集料,其原因是为了让混合料具有一定空隙的,可以加速乳化沥青中的水分排出。在施工阶段,水的作用是使沥青具有更好的流动性,从而便于施工操作。但在摊铺碾压完成后,水分必须尽快被去除,可以通过挥

发或者在碾压过程中被挤出。水分去除得越快越好,只有这样才能使混合料的强度快速提升。选择这种间断级配的初衷在于为水分的快速排出创造条件,以实现混合料强度的快速增长。级配组成见图1。

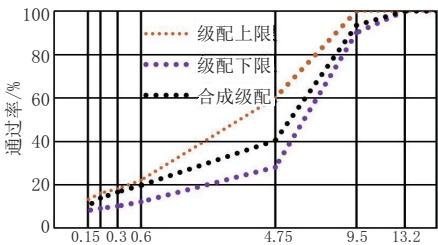


图1 混合料级配

2.2 环氧树脂与改性乳化沥青拌合比

水性环氧树脂与改性乳化沥青拌合步骤为:先将两者一起拌合至均匀后,在加入水性环氧树脂多元胺固化剂进行二次拌合,直至均匀后在进行试验。本次水性环氧树脂掺比共分6组,具体数据见表4。

表4 水性环氧树脂与改性乳化沥青掺量比例

掺比组别	0	1	2	3	4	5
水性环氧树脂/%	0	6	8	10	12	14
改性乳化沥青/%	100	100	100	100	100	100
水性环氧树脂多元固化剂/%	0			26		

3 路用性能

3.1 结构强度

采用马歇尔试验和劈裂试验对其进行室内试验的沥青混凝土结构强度分析。试验分为两组,A组为前期强度;B组为后期强度。A组马歇尔试验温度为25℃(±1℃),B组马歇尔试验温度为60℃(±1℃)。劈裂试验试验温度为-20℃(±0.5℃)。试验结果见表5。

表5 马歇尔试验和劈裂试验结果

组别	马歇尔稳定度/kN	劈裂强度/MPa
A	0	6.3
	1	8.5
	2	10.1
	3	12.4
	4	15.2
	5	16.3
B	0	5.6
	1	6.7
	2	8.9
	3	10.5
	4	12.3
	5	13.4

由表5可知,水性环氧树脂的加入有效的提升了马歇尔稳定度和劈裂强度,随着水性环氧树脂的掺量增加,马歇尔稳定度和劈裂强度都随之提升。B组试验数据低于A组,其原因是试验温度所导致的。

3.2 水稳定性分析

采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验分析其水稳定性。试验结果见表6。

表6 浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验结果 单位:%

组别	浸水残留稳定度	冻融劈裂强度比
0	78.2	73.6
1	85.4	82.2
2	88.6	87.5
3	91.1	92.4
4	93.3	97.6
5	95.6	99.2

由表6可知,当水性环氧树脂掺入后,浸水残留稳定度和冻融劈裂强度比与未添加水性环氧树脂相比都有所提升。当掺量超过10%后,浸水残留稳定度和冻融劈裂强度比都超过90%,其原因是随着水性环氧树脂的掺入,提高了混合料的黏性。

3.3 高温性能分析

采用车辙试验分析其高温性能。试件成型后在60℃试验环境下进行。试验结果见表7。

表7 车辙试验结果

组别	动稳定度/(次·mm ⁻¹)	技术要求
0	2 687	≥3 000
1	2 810	
2	2 956	
3	3 109	
4	3 348	
5	3 604	

由表7可知,水性环氧树脂掺入对混合料的强度和刚度有所提升。当掺量为14%时混合料动稳定度为3 604次/mm,满足相关技术要求。

4 结 论

(1)本次试验环氧树脂选为水性环氧树脂,较其它相比水性环氧树脂VOC排放较低,更具环保性能。通过固化剂性能对比,确定本次固化剂类型为水性环氧树脂多元胺固化剂,掺量为26%时15℃度黏度为最佳拌合黏度。因此,固化剂用量为26%;

(2)冷拌水性环氧沥青混合料级配设计以SMA-10为参考,设计了没有2.36mm及1.18mm这两档集料的间断级配。以水性环氧树脂掺量为基础分为6组进行制配并进行路用试验。高温性能车辙试验结

(下转第279页)