

增韧型环氧树脂含量对沥青混合料性能的影响

刘 攀^{1,2} 盛兴跃¹ 李 璐¹ 郝增恒^{1,3}

(1.重庆市智翔铺道技术工程有限公司,重庆 401336;2.重庆交通大学,重庆 400074;
3.招商局重庆交通科研设计院有限公司,重庆 400067)

摘 要 针对环氧沥青材料在钢桥面铺装中的应用,制备了增韧型环氧沥青混合料。测试了树脂用量对沥青混合料马歇尔稳定度和施工可操作时间的影响,并评价了不同树脂用量下增韧型环氧沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性及抗疲劳性能。结果表明:增韧型环氧树脂用量对沥青混合料的性能有显著影响,当其用量为 40% 时,增韧型环氧沥青混合料具有优异的路用性能,且施工可操作时间较长。增韧型环氧沥青混合料能够满足钢桥面铺装对材料性能的要求。

关键词 增韧型环氧树脂,环氧沥青混合料,性能,树脂用量,道路工程

Influence of toughened epoxy resin dosage on performance of asphalt mixture

Liu Pan^{1,2} Sheng Xingyue¹ Li Lu¹ Hao Zengheng^{1,3}

(1.Chongqing Zhixiang Paving Technology Engineering Co.,Ltd.,Chongqing 401336;
2.Chongqing Jiaotong University,Chongqing 400074;3.China Merchants
Chongqing Communications Research & Design Institute Co.,Ltd.,Chongqing 400067)

Abstract For the application of epoxy asphalt materials in steel bridge deck pavement,toughened epoxy asphalt mixture was prepared.The effects of toughened epoxy resin dosages on marshall stability and operating time of asphalt mixture were tested,and high temperature stability,low temperature anti-cracking performance,water stability and fatigue performance of toughened epoxy asphalt mixture under different resin dosages were evaluated.The results showed that toughened epoxy resin dosage had a significant effect on asphalt mixture performance.When resin dosage was 40%,toughened epoxy asphalt mixture had excellent pavement performance,and its had a longer operating time.The toughened epoxy asphalt mixture could meet the material performance requirements of steel bridge deck pavement.

Key words toughened epoxy resin,epoxy asphalt mixture,performance,resin dosage,road engineering

环氧沥青混合料具有优良的物理力学性能,特别是高温抗车辙能力尤为突出,被广泛应用于钢桥面或混凝土桥面铺装。然而,普通的环氧沥青固化后脆性高,延展性能较差^[1-4]。为满足钢桥面铺装层对材料性能的要求,对环氧树脂增韧改性是改善环氧沥青脆性大和韧性差的根本途径。研究表明,超支化聚酯、碳纳米管、聚氨酯、橡胶颗粒和聚酯纤维等可以显著改善环氧沥青的柔性和韧性,解决其低温开裂的问题^[5-10]。重庆市智翔铺道技术工程有限公司在日本环氧沥青的基础上,采用复合增韧的途径对环氧沥青进行增韧制备具有自主知识产权的增

韧型环氧沥青。前期研究表明,增韧型环氧沥青具有优异的拉伸性能、耐水性能和耐温性能,较长的施工容留时间。树脂用量对环氧沥青材料的性能有很大的影响,树脂用量少,沥青及其混合料的性能提升并不显著,但树脂用量过多,经济成本将会增大,确定合理的树脂用量对环氧沥青的应用具有重要意义^[4,11]。鉴于此,本研究在 70# 基质沥青中加入不同用量的增韧型环氧树脂,考察增韧型环氧树脂用量对沥青混合料性能的影响,研究成果可为我国钢桥面铺装环氧沥青类材料提供参考和借鉴。

基金项目:重庆市杰出青年基金(cstc2014jcyj30002);重庆市科技创新领军人才支持计划(CSTCCXLJRC201720);国家自然科学基金(51702282)

作者简介:刘攀(1990-),男,硕士,助理工程师,主要从事道路材料及钢桥面铺装技术研究。

1 材料与方法

1.1 原材料

自制增韧型环氧树脂(包括固化剂体系),其固化物的拉伸强度和断裂伸长率分别大于 10MPa 和 100%;70# 基质沥青的基本性能指标见表 1;集料和矿粉的基本性能指标见表 2。

表 1 70# 基质沥青基本性能指标

检测项目	检测结果	规范要求
25℃ 针入度(0.1mm)	66	60~80
15℃ 延度/cm	>100	≥100
软化点/℃	47.8	≥46
60℃ 黏度/(Pa·s)	251	≥180

表 2 集料和矿粉基本性能指标

检测项目	检测结果	规范要求
粗集料表观密度/(g·cm ⁻³)	2.723	≥2.60
细集料表观密度/(g·cm ⁻³)	2.720	≥2.50
矿粉集料表观密度/(g·cm ⁻³)	2.728	≥2.50
洛杉矶磨耗值/%	10.5	≤28
磨光值(BPN)	45	≥40
压碎值/%	15.3	≤26
坚固性/%	2.3	≤12

1.2 配合比设计

级配对混合料的力学性能和路用性能影响重大,增韧型环氧沥青混合料的级配见图 1。采用马歇尔试验确定其最佳油石比为 6.7%。

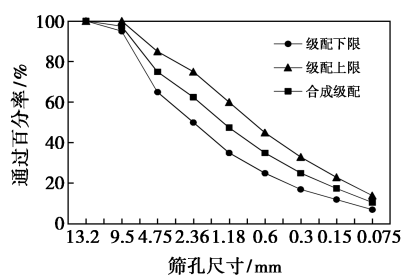


图 1 增韧型环氧沥青混合料的级配组成设计图

1.3 增韧型环氧沥青混合料的制备

将增韧型环氧树脂(包括固化剂体系)与 70# 基质沥青按一定比例(其用量分别为 0、10%、20%、30%、40%、50%和 60%)混合均匀,制得增韧型环氧沥青胶结料。将胶结料与上述级配的集料在 170℃下拌和 3min,拌制增韧型环氧沥青混合料。需要注意的是,制备工艺须严格控制温度。试件养

护完毕即可进行性能测试。

1.4 试验方法

通过马歇尔试验测试不同增韧型环氧树脂用量下沥青混合料的马歇尔稳定度和施工可操作时间;分别通过 60℃车辙试验、-10℃小梁弯曲试验、浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验及四点弯曲疲劳试验评价增韧型环氧树脂用量对沥青混合料路用性能的影响。

2 结果与讨论

2.1 马歇尔稳定度

马歇尔稳定度作为沥青混合料力学强度的评定指标,桥面铺装技术规范中要求环氧沥青混合料的马歇尔稳定度大于 40kN。考察增韧型环氧树脂用量对沥青混合料空隙率、马歇尔稳定度及流值的影响,结果见图 2 和图 3。

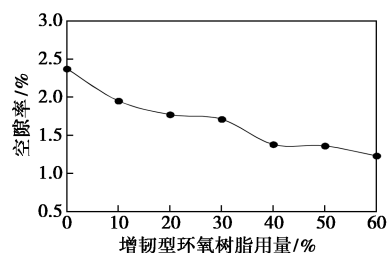


图 2 增韧型环氧树脂用量对混合料空隙率的影响

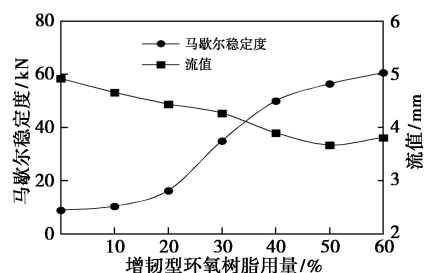


图 3 增韧型环氧树脂用量对混合料马歇尔性能的影响

由图可见,随着增韧型环氧树脂用量的增加,混合料的空隙率呈逐渐下降的趋势,说明增韧型环氧沥青混合料具有更小的空隙率,有利于提高混合料的水稳定性。随着增韧型环氧树脂用量的增加,混合料的马歇尔稳定度随之增大,且 0~20%时,增长趋势较慢,20%~40%时,增长趋势变快,40%~60%时,增长趋势又变缓慢。增韧型环氧树脂用量较小时,树脂在沥青中未能形成连续相,对混合料性能的影响也较小,当用量超过 20%后,已形成连续相,混合料的性能明显提高^[11]。增韧型环氧树脂用量对混合料的流值也有较大影响,整体上呈逐渐降低的趋势。还可以看出,当增韧型环氧树脂用量超

过40%时,混合料的马歇尔稳定度大于40kN,满足钢桥面铺装技术规范的技术要求。

2.2 施工可操作时间

环氧沥青属于热固性反应性材料,其固化过程对温度极其敏感,在高温下(160~180℃)较短的时间内就会发生剧烈反应^[12],导致其施工条件极为苛刻,大大限制了环氧沥青材料在钢桥面铺装中的应用。因此,增韧型环氧沥青混合料应具有足够长的施工可操作时间,确保其顺利摊铺碾压。考察增韧型环氧树脂用量对沥青混合料施工可操作时间的影响,结果见图4。

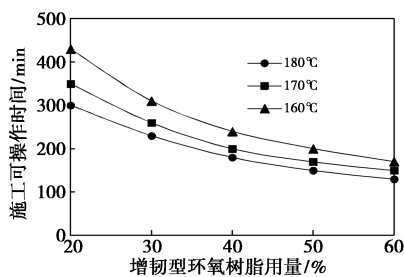


图4 增韧型环氧树脂用量对混合料施工可操作时间的影响

由图可知,增韧型环氧树脂用量和温度均能显著影响混合料的施工可操作时间。在相同温度下,增韧型环氧树脂用量越多,混合料的施工可操作时间越短;同一树脂用量下,温度越高,混合料的施工可操作时间越短。增韧型环氧树脂是热固性材料,当其两组分混合后即发生固化反应,用量越多或温度越高,其反应越快,这对实际工程施工有不利影响。一般来说,环氧沥青混合料的施工可操作时间应大于2h,才能满足工程施工。在160~180℃下,增韧型环氧沥青混合料的施工可操作时间均超过2h。

2.3 高温稳定性

高温车辙将严重影响路面的使用性能和服役寿命,而钢桥面的使用温度可达60~70℃,故对铺装层混合料的高温性能有更高的要求^[13]。通过60℃车辙试验评价增韧型环氧沥青混合料的高温稳定性,结果见图5。

由图可知,随着增韧型环氧树脂用量的增加,混合料的动稳定度逐渐增大,车辙深度逐渐减小。当树脂用量小于20%时,未能在沥青中形成连续相,混合料的高温性能改善效果较为有效,而当其用量超过20%后,增韧型环氧树脂对混合料高温性能的影响明显增大。当增韧型环氧树脂用量超过30%时,混合料的动稳定度即可大于20000次/mm,而

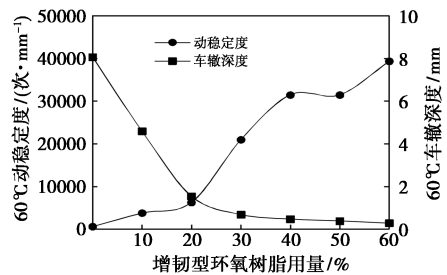


图5 增韧型环氧树脂用量对混合料高温性能的影响

车辙深度小于1mm。考虑混合料的高温性能,增韧型环氧树脂的用量需超过30%。增韧型环氧沥青混合料是热固性材料,具有十分优异的高温稳定性,这也是该材料非常突出的优势所在。

2.4 低温抗裂性

钢桥面铺装层的极端最低温度可达-10℃以上,这需要铺装层混合料具有优异的低温柔韧性抵抗开裂^[14]。通过-10℃小梁弯曲试验评价增韧型环氧沥青混合料的低温抗裂性,结果见图6。

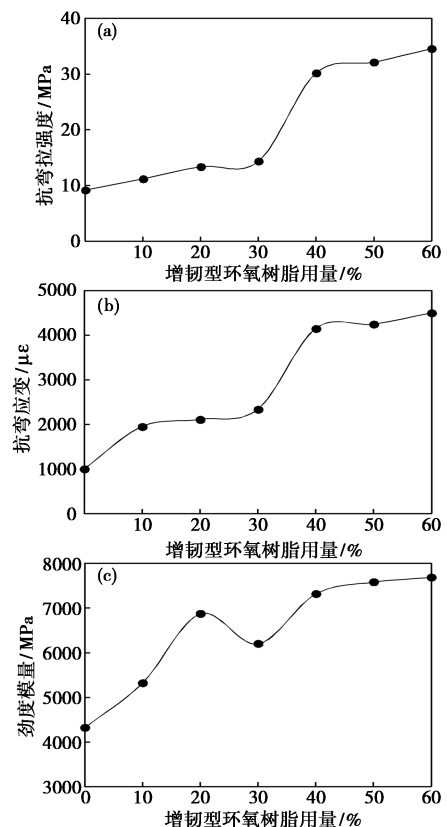


图6 增韧型环氧树脂用量对混合料低温性能的影响
[(a)抗弯拉强度;(b)抗弯应变;(c)劲度模量]

普通环氧沥青类材料固化后脆性高,柔韧性较差,在温度急剧降低时,会产生较大的温度内应力,在车辆荷载的共同作用下易导致铺装层开裂破坏。从图6可见,随着增韧型环氧树脂用量的增加,混合

料的抗弯拉强度、抗弯应变和劲度模量随之增大。当增韧型环氧树脂用量为 40% 时,混合料的抗弯应变可达 $4000\mu\epsilon$ 以上,继续增大树脂用量对混合料的低温性能提高并不明显。因此,增韧型环氧沥青混合料具有优异的低温抗裂性。

2.5 水稳定性能

钢桥面铺装对沥青混合料的防水性能要求很高,要求铺装层混合料具有良好的水稳定性能抵抗水的侵蚀。通过浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验评价增韧型环氧沥青混合料的水稳定性能,结果见图 7。

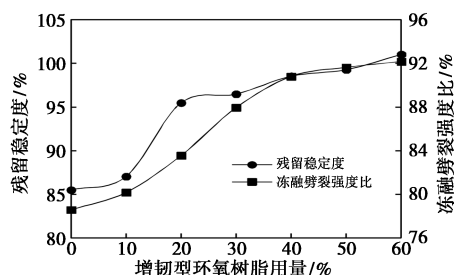


图 7 增韧型环氧树脂用量对混合料水稳定性能的影响

由图可知,随着增韧型环氧树脂用量的增加,混合料的残留稳定度和冻融劈裂强度比随之增大。这与前述结论一致,树脂用量的增加有利于混合料空隙率的降低,因而其水稳定性能得以提高。当增韧型环氧树脂用量为 40% 时,混合料的残留稳定度和冻融劈裂强度比均大于 90%,相比未掺树脂的混合料,其残留稳定度和冻融劈裂强度比分别提高了 15.2% 和 15.5%,由此可见,增韧型环氧沥青混合料具有优异的水稳定性能。

2.6 抗疲劳性能

钢桥面的特殊使用状况,导致其铺装层容易发生疲劳开裂,这就要求铺装层混合料应具有优良的抗疲劳开裂性。通过四点弯曲疲劳试验评价增韧型环氧沥青混合料的抗疲劳性能,采用应变控制模式,频率 10Hz,应变水平 600×10^{-6} ,劲度模量降低至初始劲度模量的 50% 为疲劳破坏标准,结果见图 8。

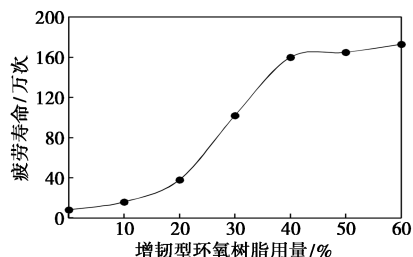


图 8 增韧型环氧树脂用量对混合料抗疲劳性能的影响

从图可见,在 600×10^{-6} 的应变水平下时,随着增韧型环氧树脂用量的增加,混合料的疲劳寿命随

之增大;当增韧型环氧树脂用量为 40% 时,混合料的疲劳寿命相比基质沥青混合料提高了近 20 倍,这表明增韧型环氧树脂能显著地提高混合料的疲劳性能。为了进一步评价增韧型环氧沥青混合料(用量 40%)的抗疲劳性能,研究了不同应变水平下混合料的疲劳寿命,结果见表 3。

表 3 增韧型环氧沥青混合料(用量 40%)抗疲劳性能试验结果

应变水平/($\times 10^{-6}$)	初始劲度模量 S_0 /MPa	疲劳寿命/万次
600	5538	160
800	5392	119
1000	5170	72
1200	4925	18

从表 3 可见,随着应变水平的提高,增韧型环氧沥青混合料的疲劳寿命逐渐下降。当应变水平小于 1000×10^{-6} 时,混合料的疲劳寿命超过了百万次,而在高应变水平($1000 \times 10^{-6} \sim 1200 \times 10^{-6}$)下,其疲劳寿命也达到了 10 万次以上。由此可见,增韧型环氧沥青混合料具有优异的抗疲劳性能,可有效避免钢桥面铺装层的早期疲劳开裂。

3 结语

(1)测试了增韧型环氧树脂用量对沥青混合料马歇尔稳定性和施工可操作时间的影响,结果表明,随着树脂用量的增加,混合料的马歇尔稳定度增大,空隙率、流值和施工可操作时间减小。当其用量超过 40% 时,即可满足桥面铺装技术规范中环氧沥青混合料马歇尔稳定度大于 40kN 的要求。

(2)评价了增韧型环氧树脂用量对沥青混合料路用性能的影响,结果表明,随着树脂用量的增加,混合料的高温稳定性、低温抗裂性和抗疲劳性能显著增强,水稳定性能也随之提高。仅针对混合料的路用性能而言,增韧型环氧树脂的用量应不小于 40%。

(3)综合考虑混合料的路用性能、施工可操作时间及经济成本等因素,建议增韧型环氧树脂用量为基质沥青质量的 40%。

(4)增韧型环氧沥青混合料具有十分优异的综合性能,能够满足钢桥面铺装对环氧沥青类材料的性能要求。

参考文献

- [1] Lu Q, Bors J. Alternate uses of epoxy asphalt on bridge decks and roadways[J]. Construction & Building Materials, 2015, 78: 18-25.

(下转第 252 页)