

# 常温拌和型乳化沥青混合料室内成型及 养生方法试验研究

谢伟伟<sup>1</sup>, 陈兆南<sup>2</sup>, 陈广辉<sup>2</sup>, 张万磊<sup>2</sup>

(1.宿迁市公路管理处, 江苏 宿迁 223800; 2.江苏中路工程技术研究院有限公司, 江苏 南京 210000)

**摘要:** 常温拌和型乳化沥青混合料是一种能在常温下拌和与施工的混合料。文中通过室内马歇尔试验, 分析常温拌和型 SBR 改性乳化沥青混合料空隙率及稳定度在不同成型方式和养生条件下的变化特性。结果表明, 采用二次成型方式, 第一次击实后烘箱养生温度 90 ℃、养生时间 4 d, 第二次击实后室温养生 1 d, 常温拌和型 SBR 乳化沥青混合料的空隙率和稳定度最优, 达到热拌沥青混合料的技术要求。

**关键词:** 公路; SBR 改性乳化沥青混合料; 成型方式; 养生温度; 养生时间; 常温拌和

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)01-0078-03

热拌沥青混合料是目前最主要的混合料类型, 但其存在施工温度高、污染严重、操作危险性大、施工工期短等不利因素, 对公路的快速发展带来很多制约, 需开发低能耗、少污染、成本低、施工方便, 并能用于拌和、摊铺、碾压成型等各环节的沥青混合料。为在较低温度下能继续作业, 延长施工季节, 保证工期, 近几年国内大量采用温拌技术。为保证施工质量, 尽管使用了温拌剂, 但施工中仍采用原来的拌和与摊铺温度, 使温拌仅停留在概念上。与热拌及温拌沥青混合料相比, 常温拌和型乳化沥青混合料可在常温下施工, 可免除加热能耗(沥青和石料无需加热), 节约能源, 不产生烟气, 环保效果更佳。

陈文针对乳化沥青冷再生技术存在的问题, 开发一种高性能乳化沥青冷再生混合料, 对其路用性能展开试验研究, 并通过工程实践提出其施工关键工艺; 张涛通过分析溶剂型冷拌冷铺沥青混合料的组成特点, 提出了其性能评价方法及标准, 并对其施工技术进行了研究; 赵志超以 SBS 改性乳化沥青为结合料, 开发一种新型冷拌冷铺乳化沥青混合料, 对混合料拌和、击实和养生环境进行分析, 提出了制备方法并进行配合比设计; 徐世法等总结了乳化型、溶剂型和泡沫型冷拌冷铺沥青混合料的技术进展, 分析了所存在的关键技术问题和相关要求。目前关于 SBS 改性乳化沥青混合料的研究较多, 而对常温拌和型 SBR 乳化沥青混合料成型和养生方法的研究较少, 且缺少相关理论依据。鉴于此, 该文开展不同成型方式和养生条件下常温拌和型乳化沥青混合料

空隙率和稳定度研究, 确定最佳成型方式和养生条件, 为该混合料在干线公路工程中的推广应用提供理论依据。

## 1 原材料

(1) SBR 改性乳化沥青。SBR 改性乳化沥青采用边乳化边改性工艺, 由皂液和基质沥青按照 35% : 65% 的比例利用胶体磨搅拌而成, 其中皂液由乳化剂、丁苯胶乳、水和浓盐酸按照一定比例配制。SBR 乳化沥青的配方见表 1, 其各项指标(见表 2)均满足相关标准要求。

(2) 集料。集料在乳化沥青混合料中起整体骨架和填充作用。选用南京快联路桥拌和站的 AC—

表 1 SBR 改性乳化沥青的配方

成分	组成比例/%
70# A 级石油沥青	65
乳化剂	3
水	32

表 2 SBR 改性乳化沥青的性能指标

项目	标准要求	实测值
破乳速度	慢裂	慢裂
粒子电荷	阳离子(+) 阳离子(+)	
筛上(850 μm)剩余量/%	≤0.1	0.01
恩格拉粘度 $E_{25}$	3~30	26
沥青标准粘度 $C_{25,3}/s$	12~60	48

续表 2

项目	标准要求	实测值
含量/%	≥65	68
针入度(100 g,25 ℃,5 s)/ (0.1 mm)	40~100	56
蒸发残留物		
软化点/℃	≥60	80
延度(5 ℃)/cm	≥20	30
溶解度(三氯乙烯)/%	≥97.5	99
弹性恢复(25 ℃)/%	≥75	85
与矿料的粘附性,裹覆面积	≥2/3	>2/3
贮存稳定性/%		
1 d	≤1	0.01
5 d	≤5	0.06
100 d	—	4

20 型石灰岩集料,分为 10~20、5~15、3~5、0~3 mm 4 档,按 JTG E42—2005《公路工程集料试验规程》检测各档集料的密度、含水率、针片状颗粒含量、压碎值、洛杉矶磨耗值和软弱岩含量等物理参数,检测结果满足 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求。

(3) 其他材料。填料采用干燥、洁净的矿粉,水泥选用安徽海螺水泥股份有限公司生产的 C42.5 普通硅酸盐水泥,外加剂采用 CQJ—JSS 粉末状高效减水剂,水为自来水。矿粉和水泥会与沥青形成胶浆,提高乳化沥青混合料的性能。

2 试验方案

以 AC—20 型乳化沥青混合料为研究对象,对取样的集料进行筛分试验,根据筛分结果设计矿料级配(见表 3)。按文献[10]中乳化沥青混合料最佳流量经验公式,计算得 AC—20 型冷拌冷铺 SBR 改性乳化沥青混合料的乳化沥青用量为 6.8%、油石比为 4.8%。通过拌和试验,确定用水量为 3.5%、

表 3 矿料级配组成

材料	组成比例/%
集料	10~20 mm
	5~15 mm
	3~5 mm
	0~3 mm
矿粉	0.5
水泥	1.0

高效减水剂掺量为 5%。

SBR 改性乳化沥青混合料的空隙率采用表干法测定,稳定度通过马歇尔试验测定。试验设备主要有浸水天平、恒温水浴和 DF 型沥青混合料稳定度测定仪。常温拌和型乳化沥青混合料与传统热沥青混合料的强度构成和基本特征相似,但常温拌和型 SBR 改性乳化沥青混合料内部存在有机溶剂与水,其强度随着有机溶剂和水的挥发而形成,有必要对传统马歇尔成型方式、养生条件进行修正和优化。

常温拌和型 SBR 改性乳化沥青混合料的强度随着成型方式及养生条件的不同而变化,室内试验采用最佳成型方式和养生条件可提高 SBR 乳化沥青混合料的强度。马歇尔试件采用一次成型击实 75 次、二次成型击实(50+25)次的成型方式。养生条件主要分为养生温度和养生时间。JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》规定冷拌乳化沥青混合料的马歇尔试件养生温度为 110 ℃,烘箱养生时间为 2 d。为探究不同成型方式和养生条件对 SBR 乳化沥青混合料空隙率和稳定度的影响,拟定表 4 所示试验方案,室内烘箱养生温度分别取 60、90 和 110 ℃,烘箱内养生时间分别取 2、3、4 和 5 d,采用二次成型的马歇尔试件在第二次击实后室温养生 1 d,然后测量乳化沥青混合料的空隙率和马歇尔稳定度。

表 4 成型方式和养生条件

试验 编号	成型 方式	击实次 数/次	养生温 度/℃	养生时间
1	一次成型	75	110	烘箱养生 2 d,
2	二次成型	50+25		室温养生 1 d

3 试验结果与分析

3.1 不同成型方式下的试验结果对比分析

在总击实次数 75 次,养生温度 110 ℃,养生时间为烘箱养生 2 d、室温养生 1 d 的条件下,不同成型方式 SBR 乳化沥青混合料的空隙率和马歇尔稳定度试验结果见表 5。

从表 5 可看出:在总击实次数和养生条件不变的情况下,成型方式对 SBR 乳化沥青混合料的空隙率和马歇尔稳定度均有明显影响。采用一次成型方式的乳化沥青混合料的空隙率均值为 6.5%,马歇尔稳定度均值为 4.2kN;采用二次成型方式的乳化沥

表5 不同成型方式下的试验结果

成型方式	试件编号	空隙率/%		稳定度/kN	
		试验值	均值	试验值	均值
一次成型	1-1	6.8		4.3	
	1-2	6.5	6.5	3.9	4.2
	1-3	6.2		4.5	
	1-4	6.3		4.0	
二次成型	2-1	5.7		5.2	5.4
	2-2	5.2	5.6	5.8	
	2-3	5.6		5.5	
	2-4	5.9		4.9	

青混合料的空隙率均值为5.6%，马歇尔稳定度均值为5.4 kN。二次成型方式的空隙率比一次成型方式的小，马歇尔稳定度比一次成型方式的大，击实效果更好，能提高乳化沥青混合料的力学性能。因此，马歇尔试件采用二次击实方法，第一次双面击实50次，然后进行烘箱养生，第二次双面击实25次。

### 3.2 不同养生条件下的试验结果对比分析

#### 3.2.1 养生温度

在确定SBR改性乳化沥青成型方式采用二次击实方法的基础上，为研究不同养生温度对乳化沥青混合料的影响，测试烘箱养生温度分别为60、90和110℃，烘箱养生时间为2 d，第二次击实后室温养生1 d条件下乳化沥青混合料的空隙率和稳定度，结果见图1。

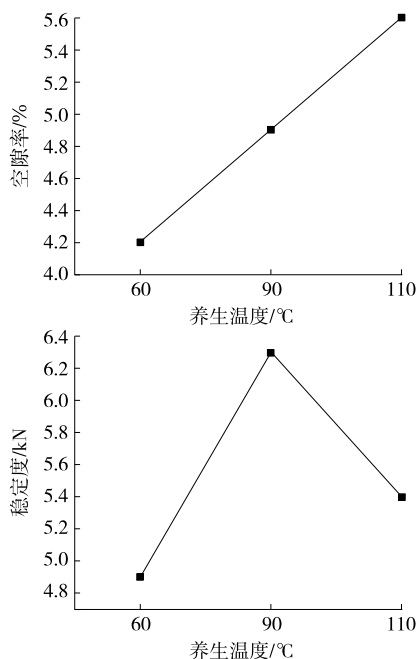


图1 不同养生温度下乳化沥青混合料的空隙率和稳定度

由图1可知：在成型方式和养生时间一定的情况下，SBR乳化沥青混合料的空隙率随着养生温度的增加而增大，养生温度110℃时空隙率为5.6%；稳定度随养生温度的增加出现拐点，养生温度110℃时的稳定度小于90℃时的稳定度，说明养生温度110℃过高，会抑制水泥的水化作用，进而影响SBR沥青混合料的强度。因此，养生温度取90℃最佳，此时SBR沥青混合料的空隙率为4.9%，稳定度为6.3 kN。

#### 3.2.2 养生时间

为研究SBR乳化沥青混合料空隙率和稳定度随养生时间增加的变化情况，在养生温度90℃的条件下，测量烘箱养生时间2、3、4和5 d，第二次击实后室温养生1 d时乳化沥青混合料的空隙率和稳定度，结果见图2。

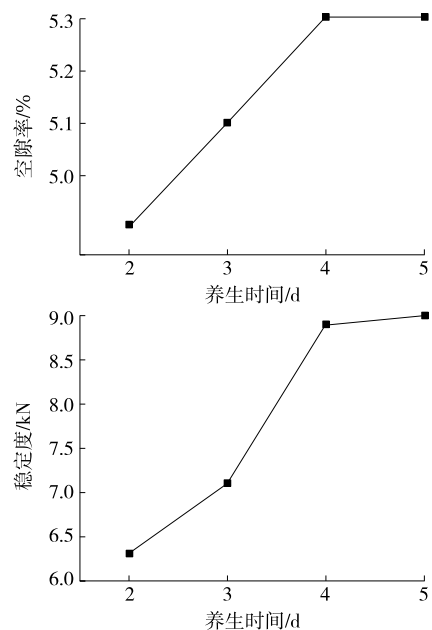


图2 不同养生时间下乳化沥青混合料的空隙率和稳定度

由图2可知：SBR乳化沥青混合料的空隙率和稳定度随着养生时间的增加呈上升趋势，但烘箱养生时间5 d时空隙率不变，稳定度增加幅度较平缓，说明养生4 d时乳化沥青混合料内部的水已基本蒸发，沥青混合料空隙率为5.3%，马歇尔稳定度达8.9 kN。因此，SBR乳化沥青混合料室内烘箱养生时间取4 d最佳。热拌沥青混合料的空隙率要求为3%~6%，马歇尔稳定度要求为≥8 kN，SBR乳化沥青混合料的空隙率和稳定度能达到热拌沥青混合料的

(下转第103页)

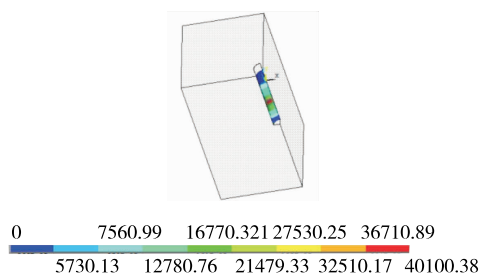


图 7 桩侧摩阻力云图(单位:Pa)

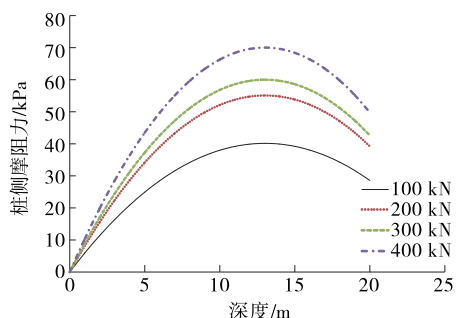


图 8 不同上拔力作用下桩侧摩阻力随深度的变化

所受压力为主动土压力,土压力随深度变化呈非线性逐渐增加,与库伦主动土压力计算结果相似。

(3) 上拔力作用下,桩侧摩阻力的发挥过程为自上而下:桩体拉伸首先发生在桩的上部,桩土相对位移逐渐增大,上部土层首先提供向下的摩擦力;随着上拔力增加,桩侧摩阻力不断增大,下部土层开始发挥作用,最大摩阻力出现在桩的中下部;上拔力增加到一定数值时,桩侧土所能提供的抗拔摩擦力达

到极限,桩体开始拔出,桩土界面滑移,土的抗剪强度退化为残余强度,桩侧摩阻力随上拔量增加而逐渐减小。

#### 参考文献:

- [1] 上官士青,杨敏,陈飞,等.基于最小势能原理的加筋垫层与路堤桩土相互作用研究[J].岩土工程学报,2015,37(7).
- [2] 齐良锋,简浩,唐丽云.引入接触单元模拟桩土共同作用[J].岩土力学,2005,26(1).
- [3] 廉兴军.桩-土作用机理与数值模拟[J].工业建筑,2011,41(增刊).
- [4] 严祖文.基于 ANSYS 二次开发的桩土相互作用的三维非线性有限元分析[D].天津:天津大学,2007.
- [5] 贺嘉,陈国兴.基于 ABAQUS 软件的大直径桩承载力-变形分析[J].地下空间与工程学报,2007,3(2).
- [6] Yasser Khodair, Ahmed Abdel-Mohti. Numerical analysis of pile-soil interaction under axial and lateral loads [J]. International Journal of Concrete Structures & Materials, 2014, 8(3).
- [7] Maryam Mardfekri, Paolo Gardoni, Jose M Roeset. Modeling laterally loaded single piles accounting for nonlinear soil-pile interactions[J]. Journal of Engineering, 2013(5).
- [8] Potyondy J G. Skin friction between various soils and construction materials[J]. Geotechnique, 1961, 11(4).

收稿日期:2018-11-09

\*\*\*\*\*  
(上接第 80 页)

技术要求。

#### 4 结论

(1) 与一次成型方式相比,采用二次成型方式成型的 SBR 乳化沥青混合料马歇尔试件的空隙率小、稳定度大,宜采用二次成型方式制作马歇尔试件,第一次双面击实 50 次,第二次双面击实 25 次。

(2) SBR 改性乳化沥青混合料采用第一次击实后烘箱养生温度 90℃、养生时间 4 d,第二次击实后室温养生 1 d 的室内模拟加速养生条件最佳。

(3) 常温拌和型乳化沥青混合料的空隙率和稳定度可达到热拌沥青混合料的技术要求。

#### 参考文献:

- [1] 魏建国,胡峻铭,王永胜.集料形状特征及其对热拌沥青混合料性能的影响[J].中外公路,2018,38(2).

- [2] 丁智勇,谢永平,王宝金,等.热拌沥青混合料生产和施工全过程能耗与排放评价[J].筑路机械与施工机械化,2016,33(2).
- [3] 刘胜龙.温拌技术对沥青混合料抗老化性能的影响分析[J].中外公路,2014,34(3).
- [4] 于江,张飞,王克新,等.温拌沥青混合料技术研究分析[J].公路工程,2015,40(2).
- [5] 许菲菲,刘黎萍,唐海威,等.温拌沥青混合料与热拌沥青混合料性能对比[J].公路工程,2009,34(3).
- [6] 陈文.高性能乳化沥青冷再生混合料开发研究[D].重庆:重庆交通大学,2016.
- [7] 张涛.冷拌冷铺沥青混合料的研究[D].重庆:重庆大学,2007.
- [8] 赵志超.新型冷拌冷铺乳化沥青混合料研究[D].北京:北京建筑大学,2015.
- [9] 徐世法,黄玉颖,蔡硕果,等.冷拌冷铺沥青混合料技术进展[J].筑路机械与施工机械化,2018,35(2).

收稿日期:2018-06-25