

泡沫沥青温拌混合料与热拌混合料性能对比研究*

周楹宇, 刘聂瑀子², 吴艳朋¹

(1. 中铁七局集团 第三工程有限公司, 陕西 西安 710016; 2. 长安大学 运输工程学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 为获得性能优良的泡沫沥青混合料, 通过试验建立多个温度和发泡用水量的膨胀率—半衰期关系曲线, 得出取得最佳发泡参数的方法, 从而确定最佳发泡温度和发泡用水量; 通过试验建立泡沫沥青和未发泡热沥青混合料空隙率与温度之间的关系, 采用等空隙率法确定泡沫沥青温拌混合料成型温度; 采用未发泡热沥青和泡沫沥青, 分别在 135、115 °C 条件下制备 AC-13 热拌和温拌沥青混合料试件进行马歇尔试验和路用性能试验, 结果显示两者的马歇尔试验结果和路用性能试验结果相当。

关键词: 公路; 泡沫沥青; 温拌沥青混合料; 热拌沥青混合料; 路用性能

中图分类号: U418.8

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)04-0108-04

温拌沥青混合料的施工温度介于热拌沥青、常温沥青混合料之间, 通常温拌沥青混合料的压实温度能降到 120~130 °C, 半温拌沥青混合料的压实温度可低于 100 °C。根据不同降黏技术可将温拌沥青混合料分为四类: 一是采用沥青发泡技术降低沥青黏度的泡沫温拌沥青混合料; 二是将有机降黏剂加入沥青中降低其黏度的温拌沥青混合料; 三是采用表面活性剂作为温拌剂降低沥青施工黏度的温拌沥青混合料; 四是采用矿物温拌技术的温拌沥青混合料。温拌沥青混合料具有节能、减排和减少施工过程污染的优点, 其中泡沫沥青混合料温拌技术不用添加温拌剂, 具有更好的经济价值, 能否得到广泛应用取决于其性能是否能达到热拌沥青混合料的同等水平。该文在研究沥青最佳发泡特性和泡沫温拌沥青混合料合理压实温度的基础上, 通过试验对未发泡沥青与泡沫沥青混合料的性能进行对比研究。

1 试验材料

试验采用为 70# 重交石油沥青, 其技术指标见表 1。沥青发泡水为生活用水, 符合生活饮用水标

准 GB 5749—2006。

表 1 重交石油沥青的技术指标

试验项目	检测值
针入度(25 °C、5 s、100 g)/(0.1 mm)	77
延度(5 cm/min, 15 °C)/cm	>100
延度(5 cm/min, 10 °C)/cm	42
密度(15 °C)/(g·cm ⁻³)	1.008
软化点(环球法)/°C	45.0
老化试验后	质量变化/%
(163 °C, 5 h)	残留针入度(25 °C)/%
	残留延度(10 °C)/cm
	0.2
	65
	14.0

2 沥青发泡特性试验

分别在温度 145、155、165 °C 和用水量 1.5%、2.0%、2.5% 下对 70# 重交沥青进行发泡试验, 结果见表 2 和图 1。体积膨胀率是一定温度和用水量下发泡沥青最大体积与未发泡状态下体积之比, 用来表征泡沫黏度, 并决定沥青在矿料中的分散效果。为使泡沫沥青与矿料裹附良好, 体积膨胀率不宜过小。体积半衰期是沥青发泡状态下发泡沥青达到最

表 2 沥青发泡试验结果

用水量/%	不同发泡温度(°C)下试验结果					
	145		155		165	
	膨胀率/倍	半衰期/s	膨胀率/倍	半衰期/s	膨胀率/倍	半衰期/s
1.5	9	15	11	13	10	12
2.0	14	8	18	7	16	7
2.5	17	4	20	5	18	5

* 基金项目: 交通运输部交通运输行业重点科技项目(2018-199); 中铁七局科技研发项目(TYLM08-GJQTHT-2020-01)

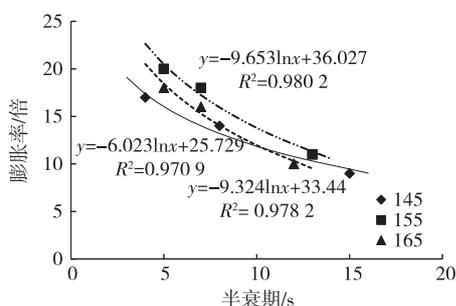


图1 沥青发泡试验曲线

大体积之后衰减到一半时所用的时间,用来度量沥青泡沫的稳定性、表征泡沫的衰减速率。半衰期越长,泡沫的稳定性越好,可有较充分的时间和矿料接触与拌和,有利于保证混合料质量。

对于沥青温拌施工,通常膨胀率不宜小于5倍,半衰期不宜小于10s。由图1可知:该沥青的最佳发泡温度在155℃左右。根据最佳发泡温度曲线可确定符合膨胀率和半衰期要求的发泡用水量,膨胀率为5倍时对应的发泡用水量为1.2%,半衰期为10s时对应的发泡用水量为1.7%,同时满足要求的发泡用水量在以上2个用水量之间,取其中间值1.5%作为最佳发泡用水量。

3 泡沫温拌沥青混合料配合比和压实温度

3.1 配合比

相对于热拌沥青混合料,泡沫温拌沥青混合料只是改变了施工温度,对沥青混合料的配合比没有影响,可直接采用相应未发泡热拌沥青混合料的配合比。

温拌沥青混合料配合比设计程序与热拌沥青混合料一样,在对同类沥青路面使用情况充分调研的基础上,选择符合要求的原材料进行配合比设计,级配范围与热拌沥青混合料一致。设计程序如下:在同等条件下进行相应热拌沥青混合料设计,以设计结果为依据在不同温度下进行温拌沥青混合料拌和与成型,确定合适的成型温度;在确定的成型温度下拌制混合料进行检验。试件成型之前,将拌好的混合料在成型温度下放置于烘箱中保温2h,以模拟现场施工压实成型前的老化过程。

采用AC-13混合料,按热拌沥青混合料配合比设计方法得到的矿料级配见表3,通过马歇尔试验得到最佳沥青含量为4.8%。

3.2 压实温度

非泡沫沥青混合料的压实温度通过不同温度下

表3 AC-13混合料的矿料级配

筛孔尺寸/mm	级配上限/%	级配下限/%	合成级配/%
16.000	100	100	100.0
13.200	100	90	91.8
9.500	85	68	79.7
4.750	68	38	55.0
2.360	50	24	36.5
1.180	38	15	24.1
0.600	28	10	15.6
0.300	20	7	11.2
0.150	15	5	7.3
0.075	8	4	5.8

黏度试验得到的黏度-温度曲线确定,以与表观黏度(0.28±0.03) Pa·s或运动黏度(280±30) mm²/s对应的温度作为压实温度。但对于泡沫沥青,由于试验过程中泡沫沥青的体积在不断变化,很难得到稳定的黏度和温度之间的关系曲线,黏度-温度曲线法不适用于泡沫沥青混合料压实温度确定。为此,采用等空隙率法确定泡沫沥青温拌混合料成型温度。方法如下:通过击实试验,分别得到热拌沥青和泡沫沥青混合料空隙率与温度之间的关系,确定与热拌沥青混合料相同空隙率的泡沫沥青温拌沥青混合料所对应的温度,以该温度作为泡沫沥青温拌成型温度。

按4.8%的最佳沥青用量,对相同矿料级配(见表3)的非发泡热沥青和泡沫沥青混合料在105、115、125、135、145、155、165℃温度下成型,测定混合料最大理论相对密度和不同温度下击实毛体积相对密度,得到空隙率,绘制不同温度下混合料空隙率与温度之间的关系曲线,确定与热拌沥青混合料相同空隙率的泡沫沥青混合料的击实温度。试验结果见图2。

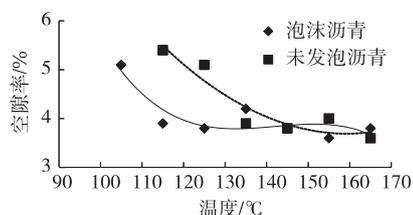


图2 未发泡沥青与泡沫沥青混合料在不同温度下的空隙率

由图2可知:未发泡热沥青和泡沫沥青混合料空隙率都随击实温度增加而减小。对于未发泡热沥青混合料,击实温度高于140℃时,空隙率趋于稳定;对于泡沫沥青混合料,击实温度升至115℃时,空隙率趋于稳定。在相同空隙率(4%~5%)下,泡沫沥青温度比非发泡沥青低20~25℃。混合料空

隙率取为4.5%时,未发泡热沥青的击实温度不低于135℃,泡沫沥青的击实温度不低于115℃。

4 泡沫沥青与未发泡热沥青混合料的性能

4.1 马歇尔试验对比

通过马歇尔试验得到70#沥青的最佳含量为

表4 沥青混合料马歇尔试验结果

混合料类型	毛体积相对密度	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	马歇尔稳定度/kN	马歇尔流值/mm	MS ₁ /kN	MS ₀ /%
未发泡热沥青混合料	2.561	4.54	16.902	73.080	9.86	3.52	8.42	85.4
泡沫沥青混合料	2.563	4.47	16.927	73.415	9.75	3.63	8.16	83.7
规范要求	—	4~6	>14.5	65~75	>88	1.5~4.0	—	80

注:MS₁为试件浸水48h后马歇尔稳定度;MS₀为试件浸水残留稳定度。

4.2 路用性能对比

4.2.1 高温性能

采用车辙试验评价沥青混合料的高温性能。根据JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》制作300mm×300mm×50mm车辙板试件,在温度60℃、轮压(0.7±0.05)MPa下进行车辙试验,结果见表5。

表5 沥青混合料车辙试验结果

混合料类型	动稳定度/(次·mm ⁻¹)			
	1	2	3	平均值
未发泡热沥青混合料	1 587	1 465	1 531	1 528
泡沫沥青混合料	1 442	1 536	1 498	1 492
规范要求	≥1 000			

由表5可知:泡沫沥青与未发泡热沥青混合料的高温稳定性相当,均满足夏季炎热地区高温稳定性要求;与未发泡热沥青混合料相比,泡沫沥青混合料的动稳定度降低约2%,主要是由试件成型和模拟现场施工压实成型前放置于烘箱中保温的温度有差别,造成沥青老化程度不同所致。

4.2.2 低温性能

采用低温弯曲试验评价混合料的低温性能。将成型车辙板切成30mm×35mm×250mm小梁试件,采用单点加载,支点距离200mm,加载速率50mm/min。在-10℃条件下进行低温弯曲试验,结果见表6。

由表6可知:泡沫沥青与未发泡热沥青混合料的低温性能相当,均满足规范要求;与未发泡热沥青混合料相比,泡沫沥青混合料的弯曲劲度模量降低约4.2%,主要是由试件成型和模拟现场施工压实成型前放置于烘箱中保温的温度有差别,造成沥青老

化程度不同所致。采用1.5%发泡用水量得到泡沫沥青,在未发泡热沥青温度不低于135℃、泡沫沥青温度不低于115℃的条件下进行热拌和温拌沥青混合料马歇尔试验,结果见表4。

由表4可知:泡沫沥青与未发泡热沥青混合料的各项指标相当,均满足规范要求。

表6 沥青混合料小梁低温弯曲试验结果

混合料类型	抗弯拉强度/MPa	弯拉应变/με	弯曲劲度模量/MPa
未发泡热沥青混合料	8.67	2 796.61	3 100.2
泡沫沥青混合料	8.15	2 744.05	2 970.1
规范要求	≥2 600		

化程度不同所致。

4.2.3 水稳定性

采用冻融劈裂试验评价混合料的水稳定性。将双面各击实50次成型的马歇尔试件随机分成2组,一组在室温下保存备用;另一组真空保水,在(-18±2)℃下保温(16±1)h,然后在60℃水槽中保温24h。将2组试件浸入(25±0.15)℃恒温水槽中保温2h后取出,采用50mm/min加载速率进行劈裂试验,结果见表7。

表7 沥青混合料冻融劈裂试验结果

混合料类型	R _{T1} /MPa	R _{T2} /MPa	TSR/%
未发泡热沥青混合料	0.891	0.742	83.3
泡沫沥青混合料	0.863	0.711	82.4
规范要求	≥80		

注:R_{T1}为未冻融循环试件的劈裂抗拉强度平均值;R_{T2}为冻融循环试件的劈裂抗拉强度平均值;TSR为冻融循环劈裂强度比。

由表7可知:泡沫沥青与未发泡热沥青混合料的水稳定性相当,均满足规范要求;与发泡热沥青混合料相比,泡沫沥青混合料冻融循环试件的劈裂抗拉强度降低约4.2%,冻融循环劈裂强度比减小约1.1%。究其原因,一是试件成型和模拟现场施工压实成型前放置于烘箱中保温的温度有差别,造成沥青老化程度不同;二是泡沫沥青混合料中残存微

量水的影响。

5 结论

(1) 在不同用水量和温度下通过试验得到膨胀率和半衰期曲线,最上方曲线所对应的温度即为最佳发泡温度,在最佳发泡温度下确定符合膨胀率和半衰期指标要求的最佳发泡用水量为 1.5%。

(2) 很难采用黏度-温度曲线确定泡沫沥青混合料的压实温度,宜采用等空隙率法,通过击实试验确定未发泡热沥青和泡沫沥青混合料空隙率与温度之间的关系,与未发泡热沥青混合料相同空隙率的泡沫沥青混合料所对应的温度即为泡沫沥青温拌成型温度。

(3) 相对于热拌沥青混合料,泡沫温拌沥青混合料只是改变了施工温度,对沥青混合料级配没有产生太大影响,可直接采用对应未发泡热拌沥青混合料的级配组成。

(4) 对于 AC-13 混合料,未发泡沥青和泡沫沥青分别在不低于 135、115℃ 条件下制备热拌和温拌沥青混合料试件进行相关试验,结果显示 2 种混合料的马歇尔试验结果和高温性能、低温性能、水稳定性相当,存在的微小差别主要是由两者成型和成型前放置于烘箱中保温的温度有差别,泡沫沥青老化程度略小所致。

参考文献:

- [1] 刘祥,李波,李艳博.基于发泡技术的半温拌再生沥青混合料性能研究[J].中外公路,2015,35(3):219-225.
[2] 柳浩,张书芳,张长缨,等.美国温拌沥青混合料技术考

察综述[J].市政技术,2009,27(4):332-335.

- [3] 秦永春,黄颂昌,徐剑,等.温拌沥青混合料技术及最新研究[J].石油沥青,2006,20(4):18-21.
[4] JONES W. Warm mix asphalt pavements: technology of the future[J]. Asphalt: The Magazine of the Asphalt Institute, 2004, 19(3): 8-11.
[5] TEJASH Gandhi. Effects of warm asphalt additives on asphalt binder and mixture properties[D]. Clemson: Clemson University, 2008.
[6] 孙大权,王飞,孟庆楠.温拌沥青混合料合理施工温度及压实特性的研究[J].城市道桥与防洪,2010(2):127-129+133.
[7] 黄文元,秦永春.沥青温拌技术在国内外的应用现状[J].上海公路,2008(3):1-4.
[8] 谭巍,唐江,谭昆华. EC-120 温拌改性沥青混合料路用性能及压实特性研究[J].公路交通技术,2012(4):28-31.
[9] 马永峰,郝培文.温拌(半温拌)泡沫沥青混合料发展现状[J].中外公路,2012,32(3):287-290.
[10] 张宜洛,董飞龙,赵少宗. TPS 高黏沥青施工温度的确定[J].筑路机械与施工机械化,2019,36(5):35-40.
[11] 陈智鹏.温拌沥青混合料施工对环境保护的影响分析[J].公路与汽运,2021(1):148-150.
[12] 汪飞田.确定泡沫沥青混合料施工温度的试验装置与工作参数研究[D].西安:长安大学,2020.
[13] 郭小丽.温拌沥青混合料与热拌沥青混合料的性能对比分析[J].山西建筑,2018,44(14):121-122.
[14] 李冬梅.温拌沥青混合料与热拌沥青混合料的路用性能比较[J].福建建材,2014(12):5-7.

收稿日期:2020-09-09

《中外公路》2022 年征订通知

《中外公路》(原《国外公路》)创刊于 1980 年,双月刊,由长沙理工大学主管、主办。邮局公开发行至全国公路、市政、铁路、水利、建筑等系统和相关行业,发行量大,影响面广。属全国中文核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊、首届(2006 年)中国高校特色科技期刊、中国高校技术类优秀期刊、中国科技核心期刊(中国科技论文统计源期刊,由中国科学技术信息研究所组织评选)、湖南省十佳科技期刊、“桥梁工程与隧道工程”栏目荣获首届(2008 年)湖南省优秀栏目、2009 年获全国高校科技期刊优秀编辑质量奖、中国期刊全文数据库及中国核心期刊(遴选)数据库全文收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、多次被评为交通部、湖南省优秀期刊。

2022 年《中外公路》为大 16 开,页码 256 页以上,每册定价 15.00 元,全年 6 期共 90.00 元。

邮发代号:42-63。读者也可通过邮局或银行汇款至杂志社直接订阅。

地址:长沙理工大学云塘校区 58 号信箱 邮编:410114 收款单位:《中外公路》编辑部

户名:长沙理工大学 帐号:18051401040000158 开户行:长沙市农行高云支行

电话:0731-85258033(带传真) 联系人:白雪 E-mail:zhongwaigonglu@vip.163.com