

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.05.052

负离子粉沥青混合料多重环保及降温抗车辙性能研究

韦奔¹, 李向航², 朱世煜³

(1. 广西桂龙高速公路有限公司, 广西 南宁 530000; 2. 佛山市交通科技有限公司; 3. 长安大学 公路学院)

摘要:为考察负离子粉(TAP)在沥青混合料中的环保性能及降温抗车辙性能,采用高速剪切制备得到不同 TAP 掺量的 TAP 改性沥青,并采用 TAP 改性沥青和强嵌挤骨架密实型级配(SAS)制备得到负离子粉沥青混合料,测试其负离子浓度、降温效果、尾气净化效果与不同温度下的动稳定度。结果表明:当 TAP 掺量为沥青质量的 15%时,TAP 沥青混合料表面的负离子浓度为 $1\ 679\ \text{个}/\text{cm}^3$,降温效果可达 $5.4\ ^\circ\text{C}$, NO_x 净化率达到 75%;因具有明显的降温效果,相当于 TAP 沥青混合料大幅提高了抗车辙性能。

关键词:道路工程; 负离子粉; 沥青混合料; 降温效果; 尾气净化; 抗车辙性能

电气石负离子粉(TAP)是一种具有热电、压电、自发极化等多功能的硅酸盐矿物,用于沥青混合料中可产生降温、尾气净化与热拌减排等多重环境功效。王朝辉等测试了 TAP 改性沥青的路用性能,并分析了 TAP 类型与掺量对沥青混合料环境功效与路用性能的影响;朱曲平等从微观角度揭示了 TAP 对沥青的改性机理,结果表明 TAP 在沥青基体中能形成一种类似于海绵状网络的三维结构,通过热电效应、压电效应和自发极化效应实现降温与热拌减排功能;Li 等采用 TAP 制备主动冷却抗车辙沥青混合料,并通过室外光照试验验证其降温性能,得到了室内降温效果最佳时的 TAP 掺量。

该文采用 TAP 改性沥青和强嵌挤骨架密实型级

配(SAS)制备得到负离子粉沥青混合料,并测试其负离子浓度、降温效果、尾气净化效果与不同温度下的动稳定度,分析 TAP 沥青混合料因降温所带来的抗车辙性能提升效果。

1 试验材料

1.1 原材料

(1) TAP

TAP 是一种具有释放负离子、压电性、热电性等功能的硅酸盐矿物,其主要技术指标如表 1 所示、化学组成如表 2 所示。

(2) 沥青

表 1 TAP 物理指标

颜色	外观	负离子释放量/(ions · cm ⁻³)	粒度/目	莫氏硬度
黄色	粉体	>8 000	2 000	7.1

表 2 TAP 化学成分

Al ₂ O ₃	SiO ₂	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	FeO	Na ₂ O	其他
35.1	34.8	11.0	10.2	4.7	1.4	0.9	微量

试验采用的沥青为 AH-70[#] 基质沥青,参照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行检测,结果满足规范要求。

1.2 TAP 改性沥青制备方法

首先,将 TAP 在 90 ℃ 的烘箱里进行干燥处理,接着把沥青加热到 135 ℃,并将其转移到高速剪切机

收稿日期:2021-02-08

基金项目:广东省交通运输厅科技项目(编号:科技-2016-02-009)

作者简介:韦奔,男,高级工程师.E-mail:44233593@qq.com

内,将干燥后的 TAP 逐渐加到基质沥青中,同时加入分散剂、稳定剂等助剂,剪切速率为 1 000 r/min;保持温度不变,增加剪切速率至 3 500 r/min,剪切时间为 35 min;继续保持温度不变,加入消泡剂,并将剪切速率降至 1 000 r/min,排出气泡,剪切时间为 10 min,即得成品。此次试验中 TAP 掺量分别为沥青质量的 0%、5%、10%、15%、20%。

1.3 TAP 沥青混合料

采用强嵌挤骨架密实型级配 SAS-16 制备沥青混合料,各筛孔通过率如表 3 所示。分别采用基质沥青和 TAP 改性沥青制备沥青混合料,以考察 TAP 在沥青混合料中的效果。采用马歇尔方法设计沥青混合料,确定沥青混合料的最佳沥青用量,并测试其毛体积密度(γ_f)、空隙率(VV)、矿料间隙率(VMA)、沥青饱和度(VFA)、马歇尔稳定度(MS)和流值(FL),结果

如表 4 所示。

2 试验方法

2.1 负离子浓度测试

负离子浓度是指单位体积空气中的负离子数目,空气清新标准是负离子含量达到 1 500 个/cm³,达到 20 000 个/cm³ 以上则具有医疗保健的功效。该文通过负离子浓度试验测试 TAP 沥青混合料车辙板释放的负离子浓度,以此评价 TAP 沥青的环保功效。采用 IT-10 固体负离子测试仪测试 TAP 沥青混合料表面的负离子浓度,主要步骤如下:① 推开负离子浓度检测器,将仪器感应器尽量靠近试样但不需贴上;② 轻按 POWER 键开机,并按 START 键开始测试,测试数据显示在屏幕上方,记录负离子浓度即可。

表 3 SAS 级配

级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配范围	100	91~99	78~87	60~71	35~45	24~34	17~25	12~19	9~14	7~11	5~8
设计级配	100	95	83	65	40	29	21	16	12	9	7

表 4 沥青混合料马歇尔试验结果

混合料类型	OAC/%	γ_f	VV/%	VMA/%	VFA/%	MS/kN	FL/(0.1 mm)
SAS-16(基质)	4.4	2.549	4.26	13.7	68.9	14.3	33.98
SAS-16(改性)	4.6	2.574	3.93	13.3	70.5	14.1	38.10

2.2 降温效果测试

(1) 室内降温试验

首先采用 TAP 沥青混合料制备厚度为 10 cm 的车辙板试件,试件分上下两层,底层为 5 cm 的普通沥青混合料,上层为 5 cm 的 TAP 沥青混合料。先采用 5 cm 深度的车辙板试模制备普通车辙板,然后将制得的车辙板放入 10 cm 深的车辙板试模,将温度传感器的探头置于车辙板表面中心位置处,覆盖 TAP 沥青混合料后再次使用轮碾成型仪进行压实,制得 10 cm 厚的车辙板试件。

车辙板试件脱模后,在上下表面各采用沥青胶浆粘贴一个温度传感器于中心位置处。车辙板试件表面、5 cm 深度处及底部均有温度传感器。而后将试件移入试验室自制的测试箱中,测试箱采用高密度泡沫保温板与玻璃缸阻止试件与周围外界进行热交换;采用 500 W 碘钨灯模拟太阳光源置于试件上部。最后,

开启光源进行照射,在照射过程中采用优利德 UT325 接触式测温仪读取传感器温度,温度的采集频率为 20 min/次。

(2) 室外降温试验

将制备好的车辙板试件置于阳光直射的地方进行光照试验,采用测温仪记录在阳光直射下 TAP 沥青混合料与普通沥青混合料车辙板试件表面与底部的温度变化情况,试验中车辙板试件均为单层,厚度为 5 mm,每隔 3 min 采集一次试件表面及底部温度数据。

2.3 尾气净化试验

制备不同掺量下的 TAP 沥青混合料车辙板试件,首先自制密封试验箱,然后采用汽车尾气收集仪收集适量汽车尾气,并将制备完成的 TAP 沥青混合料车辙板试件、汽车尾气收集仪、汽车尾气分析仪置于密封试验箱中,最后打开汽车尾气分析仪,测试不同 TAP 掺量的沥青混合料车辙板试件对汽车尾气各成

分的净化比率。

2.4 不同温度下的车辙试验

根据试验规程进行不同温度下的车辙试验,试验温度选用 50、55、60、65、70 ℃,保温时间为 6 h,采用动稳定度对其进行表征。

3 试验结果与讨论

3.1 TAP 沥青混合料表面负离子浓度

TAP 掺量分别为沥青质量的 0%、5%、10%、15%、20%,TAP 沥青混合料试件表面的负离子浓度如表 5 所示。由表 5 结果可知:试件表面所释放的负离子随着 TAP 掺量的增加而增加,当 TAP 掺量上升到 5%时负离子浓度为 1 249 个/cm³,达到空气清新标准。

表 5 TAP 沥青混合料试件表面的负离子浓度

TAP 掺量/%	负离子浓度/(个·cm ⁻³)
0	935
5	1 249
10	1 456
15	1 679
20	1 980

3.2 降温效果

(1) 室内降温效果

采用 TAP 掺量分别为沥青质量的 0%、5%、10%、15%、20%,制得 TAP 沥青混合料车辙板试件,其加热 2 h 后各部位最终温度如图 1 所示。

由图 1 可知:采用 TAP 沥青混合料制备的车辙板试件温度总体比普通沥青制备的车辙板试件低,而且 TAP 掺入量越大,降温效果越明显。试件表面降温最大,中部次之,底部降温变化相对较小。查阅相关文献可知:TAP 能使得路面温度降低主要得益于自身的自发极化性能、热电性能。当 TAP 改性沥青表面温度升高时,在温度应力的作用下,极性分子从低能级向高能级跃迁的过程中,导致部分能量释放,从而使试件表面温度降低;其次当 TAP 改性沥青表面外界温度发生变化时释放电荷形成静电场,吸收试件表面热量转化为电能,进而降低沥青道路温度。

一般而言,在夏季中国大部分地区沥青路面在阳光直射的情况下路表温度能达到 60 ℃。观察图 1(a)可发现,采用碘钨灯对车辙板试件照射 2 h 后,普通沥青混凝土车辙板试件表面温度能达到 60 ℃左右,能较

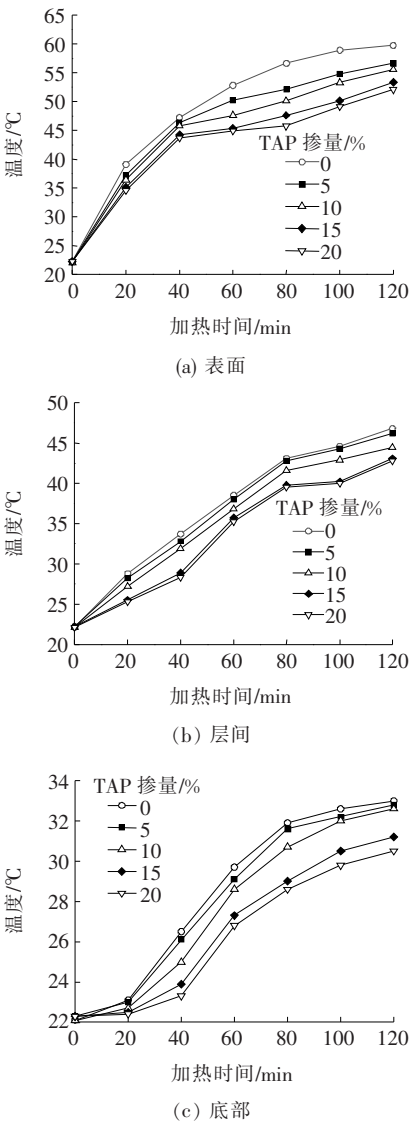


图 1 不同 TAP 掺量改性沥青车辙板各部位温度变化

好地模拟自然环境实际情况。由于各温度变化曲线在照射 2 h 时,斜率仍然大于 0,可以推测加长照射时间车辙板试件温度仍能上升。

为了确定改性沥青中 TAP 最佳掺量,采用不同掺量车辙板试件各位置于照射 2 h 后的温度进行判断,结果如图 2 所示。

由图 2 可以发现:TAP 掺量与降温值呈正相关,当 TAP 掺量 20%时,试件表面降温达 6.1 ℃;中部降温幅度达 4.1 ℃;底部温度则下降 3.3 ℃。当 TAP 掺量为 15%时,试件表面降温达 5.4 ℃;中部降温幅度达 3.1 ℃;当掺量大于 15%时,TAP 掺量的增大基本难以提升降温幅度,TAP 的掺量大于 15%时再增加 TAP 的用量是明显不经济的。然而,TAP 掺量太小时,其降温效果并不明显。

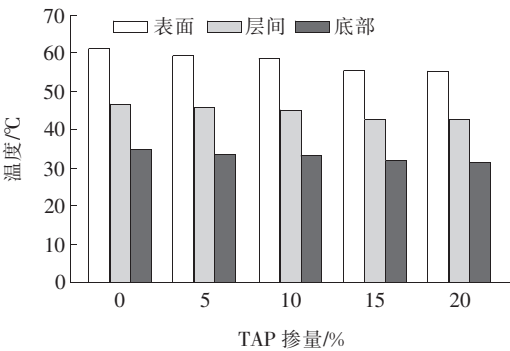


图2 不同TAP掺量车辙板试件各位置于照射2h后的温度

(2) 室外降温效果

制备TAP掺量为沥青质量15%的TAP沥青混合料,制作5cm厚的车辙板试件,在室外阳光直射处进行光照试验,当日气温为18~29℃,天气晴朗。试验时间为11:30—15:18,每隔3min采集一次试件表面及底部温度数据。TAP沥青混合料车辙板与普通车辙板的温度变化如图3所示,降温幅度变化如图4所示。从室外光照试验结果可以得出:当TAP掺量为沥青质量15%时,5cm厚TAP沥青混合料车辙板表面最大降温幅度可达7.2℃,底部最大降温幅度可达4.3℃。室外试验降温效果比室内试验稍有提高,且试件表面的温度变化波动较大。这可能是由于室外试件的温度受到阵风、云层及其他环境因素的影响,使得室外光照试验中试件温度变化不稳定。比较图3、4可以发现:瞬时降温幅度最大对应的时间为13:30,此时的室外气温为当天气温的最高值,且车辙板试件的表面温度也达到了试验中的最大值。由此可知当环境温度或沥青混合料自身温度较高时,TAP的自发极化性能、热电性能以及释放负离子功能越强,有利于提高TAP沥青混合料车辙板的路面降温效果。

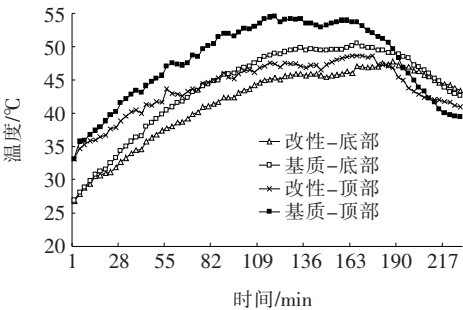


图3 不同位置处的车辙板试件温度变化

3.3 尾气净化效果

用汽车尾气分析仪测试TAP沥青混合料车辙板对汽车尾气各成分的净化比率,汽车尾气各成分净化

比率随TAP掺量的变化规律如图5所示。

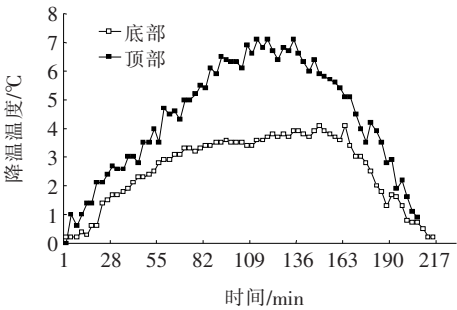


图4 车辙板试件底部与顶部的降温幅度变化

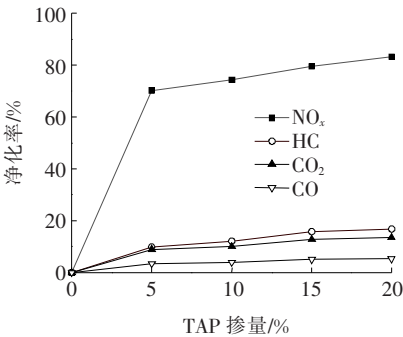


图5 汽车尾气各成分净化率随TAP掺量的变化

由图5可知:TAP沥青混合料具有净化各类汽车尾气功效,且净化效果与TAP掺量呈现正相关,其中0%~5%的TAP掺量净化速率最快,随后净化速度变缓,当掺量高于15%,净化效果的提升空间较小。所制得的TAP沥青混合料对汽车尾气中的NO_x其净化效果尤为明显,对CO₂、CO等碳氧化合物效果较弱。对比发现,20%TAP掺量对NO_x的净化率可达83.2%,而15%掺量的TAP净化率为79.5%,在TAP掺量提升5%的情况下,净化率只提升3.7%,经济效益和净化效果均不明显。

3.4 TAP沥青混合料的抗车辙效益分析

为了验证制备的TAP沥青混合料降低路面温度可以有效提高沥青混合料高温稳定性能,不同温度下的车辙试验结果如图6所示。

由图6可知:当外界环境温度相同时,普通沥青混合料动稳定度相对于TAP沥青混合料均有不同程度降低。结合前文试验研究,TAP可降低温度5℃左右,当试验温度为60℃时,普通沥青混合料车辙板试件动稳定度为2305次/mm,考虑将整体降温幅度看作5℃,参考55℃时的车辙试验结果,采用TAP沥青混合料制备的车辙板试件动稳定度为3217次/mm,其抗车辙性能可提升至40%。

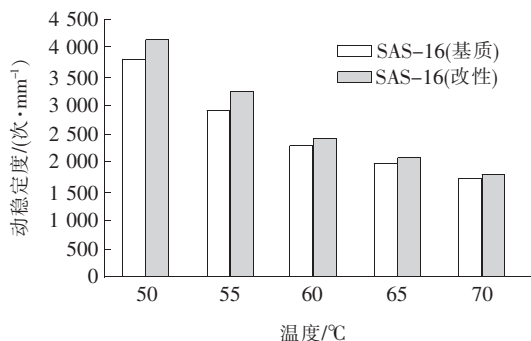


图 6 不同温度下沥青混合料动稳定度变化规律

分析上述结果出现的主要原因如下:高温会促进和加重车辙的形成与发展,而 TAP 沥青混合料既降低了沥青路面温度,又提升了其动稳定度,进而车辙变形量降低,TAP 沥青混合料的抗车辙性能越好,同时考虑到降温抗车辙改性沥青中 TAP 比表面积较大,可对沥青进行有效的吸附,形成更多的结构沥青,提高了沥青的高温稳定性能,进而抗车辙性能大幅提升。

4 结论

(1) 制备的 TAP 沥青混合料可提升空气中负离子浓度,且 TAP 掺量与负离子释放量呈正相关,当 TAP 掺量为 5% 时,负离子浓度为 $1\,249$ 个/ cm^3 ,已达到空气清新标准;当 TAP 掺量继续上升至 15% 时,其负离子浓度达到 $1\,679$ 个/ cm^3 ,较标准清新空气的负离子浓度提升了 12%。

(2) TAP 沥青混合料可有效降低温度,当 TAP 最佳掺量为 15% 时,可降低试件表面温度 $5.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,降低中部温度 $3.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,降低底部温度 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(3) TAP 沥青混合料可有效净化 NO_x 、HC、 CO_2 、CO 等汽车尾气,当 TAP 掺量为 15% 时,可净化 75% 的氮氧混合物(NO_x)、10% 的 CO_2 与 CO 等碳氧化合物以及 15.8% 的碳氢化合物。

(4) 制备的 TAP 沥青混合料既提升了试件动稳定度,又降低了试件表面温度,在降温 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的情况下,其 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下动稳定度高达 $3\,217$ 次/mm,抗车辙性能提升了 40%。

参考文献:

[1] 陈云,纪小平,周泽洪. 沥青路面施工能耗与碳排放评价

[J]. 公路,2019(6).

- [2] 纪小平,郑南翔,牛思胜,等. 基于 ALF 加速加载的沥青混合料车辙标准研究[J]. 中国公路学报,2012(6).
- [3] 张鑫. 沥青路面热反射与热阻技术降温机理与应用研究[D]. 哈尔滨工业大学博士学位论文,2011.
- [4] 李景尧,纪小平,李湾湾,等. 负离子粉改性沥青混合料降温性能研究[J]. 石油沥青,2017(3).
- [5] 边静. 电气石粉体表面有机化改性探讨[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文,2012.
- [6] 石鑫,王朝辉,李彦伟,等. 不同类型电气石改性沥青路用性能分析[J]. 交通运输工程学报,2013(2).
- [7] 杨基先,邱乙伦,邱珊,等. 电气石自发电极对反应体系的影响及机理研究[J]. 黑龙江科技大学学报,2018(3).
- [8] 刘权,胡应模,李梦灿,等. 负离子释放型 PBAT 功能复合材料的研究[J]. 工程塑料应用,2016(7).
- [9] 张洪臣. 电气石的高温热行为研究[D]. 河北工业大学硕士学位论文,2015.
- [10] 许新权,李杭乐,纪小平,等. 电气石负离子粉改性沥青的制备及性能研究[J]. 新型建筑材料,2019(6).
- [11] 王朝辉,李彦伟,李蕊,等. 低碳多功能电气石改性沥青制备及性能研究[J]. 中国公路学报,2013(5).
- [12] 王朝辉,李彦伟,孙晓龙,等. 电气石改性沥青混合料路用性能[J]. 长安大学学报(自然科学版),2014(2).
- [13] 朱曲平. 电气石负离子粉改性沥青性能及其改性机理[J]. 兰州理工大学学报,2020(6).
- [14] Li S, Li X, Xu X, et al. Preparation and Properties of an Active Cooling Antirutting Asphalt Mixture[J]. Advances in Materials Science and Engineering,2020(1):1-12.
- [15] 黄晓炎. 电气石粉改性沥青技术性能与改性机理研究[D]. 长沙理工大学硕士学位论文,2018.
- [16] 康文杰. 电气石负离子释放材料的制备及性能研究[D]. 陕西科技大学硕士学位论文,2013.
- [17] 雷雨滋. 降解汽车尾气与缓减城市热岛效应的沥青混合料研究[D]. 长安大学博士学位论文,2014.
- [18] 刘向东. 活化橡胶改性沥青混合料路用性能研究[J]. 中外公路,2019(2).
- [19] 周立波. 膨润土改性沥青混合料力学特性研究[J]. 中外公路,2019(3).
- [20] 张井锋,安百军,陈博. 岩沥青-橡胶粉复合改性沥青混合料性能试验研究[J]. 中外公路,2018(2).
- [21] 邹晓明,侯海元. 生物沥青碳排放量与经济效益定量分析[J]. 中外公路,2020(4).