

水-温相互作用下高模量沥青混合料路用性能研究^{*}宁毅¹, 郭志坚², 刘向杰³

(1.河南中州路桥建设有限公司, 河南 周口 466000; 2.中国河南国际合作集团有限公司, 河南 郑州 450004;

3.河南交通职业技术学院, 河南 郑州 450000)

摘要:为减少沥青路面病害的形成,延长其使用年限及服务水平,引入高模量沥青混合料理念,从矿料级配、含水率、试验温度、养生周期、高模量剂种类及掺量等方面对高模量沥青路面的高温抗车辙、低温抗开裂及抗水损害性能等进行研究。结果表明,矿料级配相同时,高模量剂种类及掺量对混合料油石比的影响较小;相同条件下,AC-20C 沥青混合料的高温性能较好,AC-13C 沥青混合料的低温及水稳定性能较好;RA 高模量剂对 2 种混合料高温及水稳定性能的改善效果最优,PR.M 高模量剂对 2 种混合料低温性能的改善效果最优。

关键词:公路;高模量沥青混合料;水-温作用;路用性能

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)01-0064-06

SBS 改性沥青路面在通车运营一定年限后沥青会逐渐老化,沥青与矿料之间的黏附性逐渐降低,路面车辙、松散、裂缝、泛油及坑槽等病害逐渐发生,严重影响路面的使用性能及行车安全性。为延长路面使用年限,改善高等级公路服务水平,采用高模量剂来改善沥青路面性能。宋乐春等对 AM 系列高模量剂进行研究,发现 AM-1 更适合多雨地区,AM-2 更适合夏季高温地区;汪于凯等对高模量沥青混合料动静态模量开展研究,得出在低频条件下高模量剂种类与试验结果成指数关系;王知乐等将 PP、HDPE、EVA 3 种高模量剂掺入沥青混合料中进行高温及低温性能试验,结果表明混合料高温及低温性能得到很大提高;戚林玲等将低标号沥青及高模量剂掺入沥青混合料中进行高温性能及动态模量试验,结果表明沥青路面抗车辙能力及动态模量均得到很大提高;刘华敏将湖沥青掺入沥青混合料中进行高温及水稳定性能试验,结果表明湖沥青改性沥青混合料更适合高温多雨地区。该文选取 RA、PR.M 和 BRA 3 种高模量剂,针对 AC-13C、AC-20C 2 种级配,在不同试验条件下进行高温抗车辙、低温抗开裂及抗水损害等路用性能研究,为高模量沥青路面的应用提供理论支撑。

1 原材料及配合比设计

1.1 沥青

沥青作为路面结构层的黏结材料,对沥青路面

性能起关键作用。选用 70# A 级沥青展开研究,其主要技术指标试验结果见表 1。

表 1 70# A 级道路石油沥青的主要技术指标试验结果

检测项目	技术要求	试验结果
针入度(25℃)/(0.1 mm)	60~80	72
软化点/℃	≥46	48.5
延度(5 cm/min, 15℃)/cm	≥100	135
闪点/℃	≥260	267
针入度指数 PI	-1.5~1.0	-0.6
60℃动力黏度/(Pa·s)	≥180	206
蜡含量(蒸馏法)/%	≤2.2	1.6
溶解度/%	≥99.5	99.9
质量变化/%	±0.8	-0.14
RTFOT 后 针入度比(25℃)/%	≥61	67
残留物 残留延度(10℃)/cm	≥6	23

1.2 外加剂

温度高于 100℃时,高模量剂逐渐融化,能较好地分散到混合料中,与沥青胶浆共同填充矿料之间的空隙,达到增韧、胶结的效果,提高混合料内部的内摩阻力,增强路面结构模量。将 RA(Resin Alloy)、PR.M(PR Module)和 BRA(天然沥青)3 种高模量剂(见图 1)分别以不同掺量掺入 AC-13C、AC-20C 沥青混合料中开展相关性能研究。

1.3 配合比设计及马歇尔试验结果

选用工程上常用的 AC-13C、AC-20C 2 种密级配沥青混合料进行研究,粗集料分别为 3~5、5~

^{*} 基金项目:国家青年科学基金资助项目(51408553);河南省重点科技攻关计划项目资助课题(152102210033)

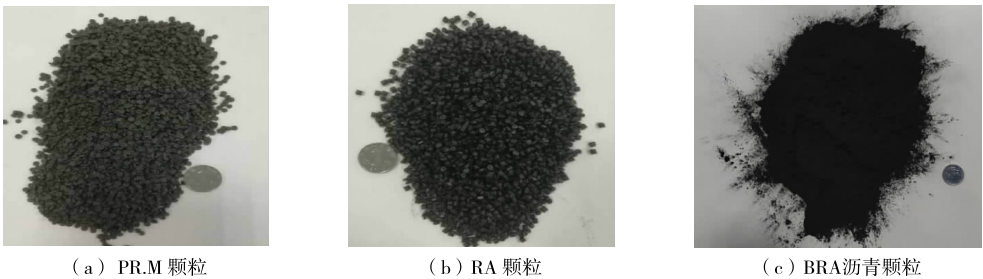


图 1 3 种高模剂

10、10~15、10~20 mm 石灰岩碎石,细集料为 0~3 mm 机制砂,填料为矿粉。2 种混合料级配设计结果见表 2。配合比设计时,RA 掺量分别为 0.35%、0.4%、0.45%,PR.M 掺量分别为 0.4%、0.45%、0.5%,BRA 掺量分别为 3%、3.5%、4%(占沥青混合料质量)。不同高模量剂种类及掺量的 AC-13C 和 AC-20C 沥青混合料的最佳油石比及马歇尔试验结果见表 3、表 4。

表 2 矿料级配设计结果

混合料类型	级配类型	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
AC-13C	上限	100.0	100.0	100.0	85.0	68.0	50.0	38.0	28.0	20.0	15.0	8.0
	下限	100.0	100.0	90.0	68.0	38.0	24.0	15.0	10.0	7.0	5.0	4.0
	目标级配	100.0	100.0	94.6	75.7	54.0	36.1	28.6	19.7	14.1	9.3	6.1
AC-20C	上限	100.0	92.0	80.0	72.0	56.0	44.0	33.0	24.0	17.0	13.0	7.0
	下限	90.0	78.0	62.0	50.0	26.0	16.0	12.0	8.0	5.0	4.0	3.0
	目标级配	94.1	86.4	72.3	63.4	39.7	29.0	21.4	15.3	11.6	9.4	6.3

表 3 AC-13C 最佳油石比及马歇尔试验结果

混合料类型	最佳油石比/%	空隙率/%	毛体积相对密度	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	稳定度/kN	流值/mm
道路石油沥青	4.7	4.5	2.443	14.9	68.3	11.3	2.6
0.4%PR.M	4.7	4.6	2.439	14.8	69.7	14.7	3.0
0.45%PR.M	4.8	4.4	2.436	14.7	67.4	15.0	3.2
0.5%PR.M	4.9	4.3	2.434	14.6	68.5	15.6	3.4
0.35%RA	4.7	4.6	2.436	14.8	69.1	13.8	2.9
0.4%RA	4.8	4.5	2.432	14.9	68.5	14.3	3.1
0.45%RA	4.8	4.5	2.435	14.8	68.0	15.5	3.2
3%BRA	4.7	4.6	2.439	14.6	67.4	14.2	3.1
3.5%BRA	4.8	4.5	2.436	14.5	68.4	15.7	3.3
4%BRA	4.8	4.4	2.437	14.4	67.9	16.1	3.6

表 4 AC-20C 最佳油石比及马歇尔试验结果

混合料类型	最佳油石比/%	空隙率/%	毛体积相对密度	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	稳定度/kN	流值/mm
道路石油沥青	4.2	4.7	2.456	13.9	67.6	12.5	2.4
0.4%PR.M	4.2	4.7	2.452	14.1	68.7	15.7	2.8
0.45%PR.M	4.3	4.8	2.448	14.2	69.4	15.9	3.0
0.5%PR.M	4.3	4.8	2.446	14.3	68.3	16.9	3.1
0.35%RA	4.2	4.7	2.454	13.9	69.7	15.0	2.9
0.4%RA	4.3	4.9	2.450	14.0	70.3	15.6	3.1
0.45%RA	4.3	4.7	2.451	13.8	70.9	16.0	3.3
3%BRA	4.2	4.8	2.457	13.9	70.6	15.4	3.0
3.5%BRA	4.3	4.9	2.453	14.3	71.0	16.0	3.1
4%BRA	4.4	4.7	2.451	13.8	71.4	16.6	3.4

2 吸水试验

参照 JTG E20—2011 进行马歇尔击实试验,4 个试件为一组。将 AC—13C、AC—20C 马歇尔试件分别浸泡在 40、60℃ 水中,记录不同浸泡时间时

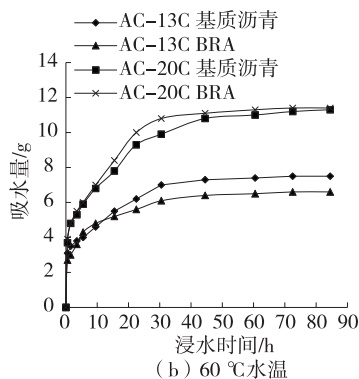
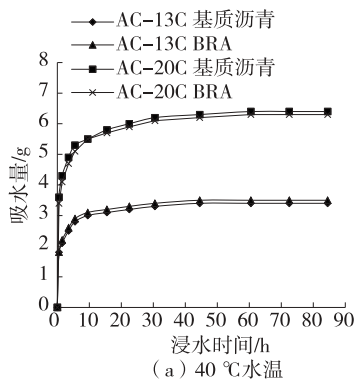


图2 不同水温时试件吸水量随浸水时间的变化

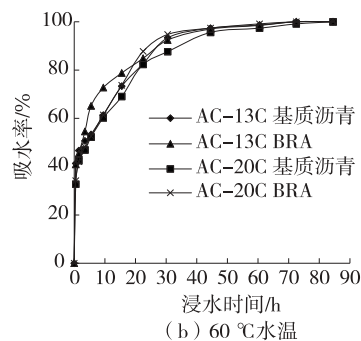
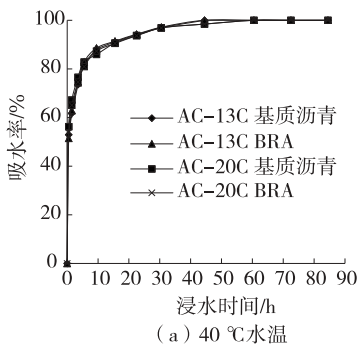


图3 不同水温时试件吸水率随浸水时间的变化

随浸水时间的增加,普通沥青混合料、3.5% BRA 沥青混合料试件的吸水量与吸水率变化趋势相当;矿料级配及浸水时间相同时,水温越大,试件吸水量越大,吸水率越小;浸水时间及水温相同时,AC—20C 沥青混合料的吸水量大于 AC—13C;相同条件下,普通沥青混合料与 3.5% BRA 沥青混合料的吸水量相差不大。

3 路用性能分析

沥青路面是一种柔性结构,是道路工程中最上层结构层,直接承受车辆轴载、高温、紫外线及雨雪等综合外部环境的作用,需具备良好的路用性能才能满足运营年限及服务水平要求。在 RA、PR、M 和 BRA 不同掺量的基础上,对 AC—13C、AC—20C 2 种沥青混合料在不同试验条件下进行高温抗车辙、低温抗开裂及抗水损害试验,评价沥青混合料的路用性能。

普通混合料、3.5% BRA 高模量沥青混合料马歇尔试件的吸水量。以试件不同浸泡周期的吸水量与试件饱和状态时吸水量的比值作为试件吸水率。混合料吸水量及吸水率试验结果见图 2、图 3。

从图 2、图 3 可看出:矿料级配及水温相同时,

3.1 高温稳定性试验

沥青路面的高温稳定性对温度及车辆轴载较敏感,随着温度增加,车辆轴载增大,其高温抗车辙能力逐渐降低。高温环境下,沥青路面在车辆轴载的重复作用下会发生弹性及塑性变形,塑性变形长期积累即形成永久性车辙,拥包、泛油等路面病害也是沥青路面高温稳定性差的表现形式。目前对高温及轴载共同作用下沥青混合料高温性能的研究较多,且技术趋于成熟,但对水—温相互作用下混合料抗车辙能力的研究较少。不同含水率、不同试验温度下动稳定度试验结果见图 4,不同保养时间、不同试验温度下动稳定度试验结果见图 5。

从图 4、图 5 可以看出:含水率、矿料级配、试验温度、保养周期、高模量剂种类及掺量对混合料动稳定度均有很大影响;相同试验条件下,温度越高、试件含水率越大、保养周期越长,动稳定度越小,而高模量剂掺量越大,动稳定度越大;相同试验条件下,

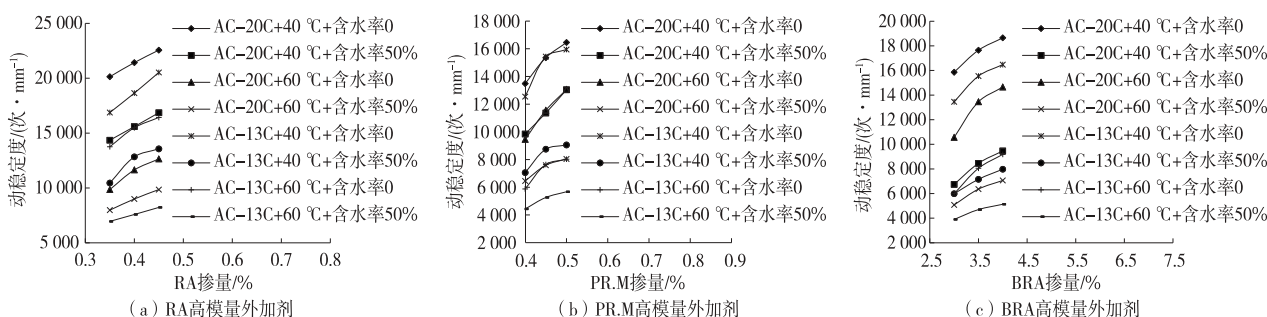


图4 不同含水率、不同车辙试验温度下动稳度试验结果

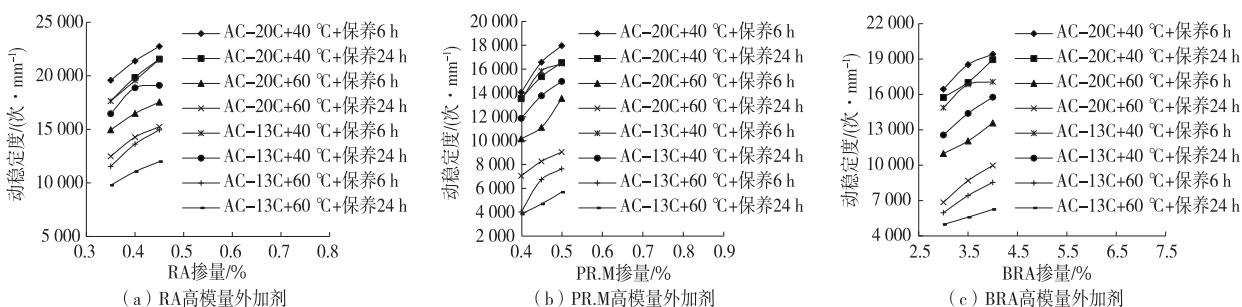


图5 不同保养时间、不同车辙试验温度下动稳度试验结果

AC-20C 沥青混合料的高温稳定性优于 AC-13C, RA 高模量剂对沥青路面高温性能的改善效果优于 PR.M、BRA。

3.2 低温抗裂性

低温环境下, 沥青胶浆脆性变大, 韧性降低, 这是北方季节性冰冻区沥青路面产生裂缝的主要原因。

当结构层内部因温度变化产生的温缩应力高于其极限容许拉应力时, 沥青路面会出现细小裂缝, 这些裂缝如果不能及时得到处治就会形成龟裂、坑槽等严重病害。选用 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温小梁弯曲试验评价 AC-13C、AC-20C 沥青混合料的低温抗开裂能力, 试验结果见图 6、图 7。

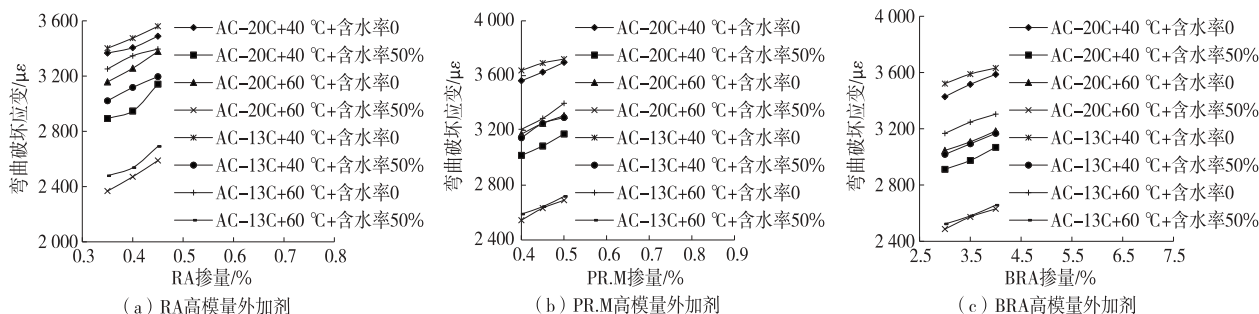


图6 不同含水率、不同保养温度下弯曲破坏应变试验结果

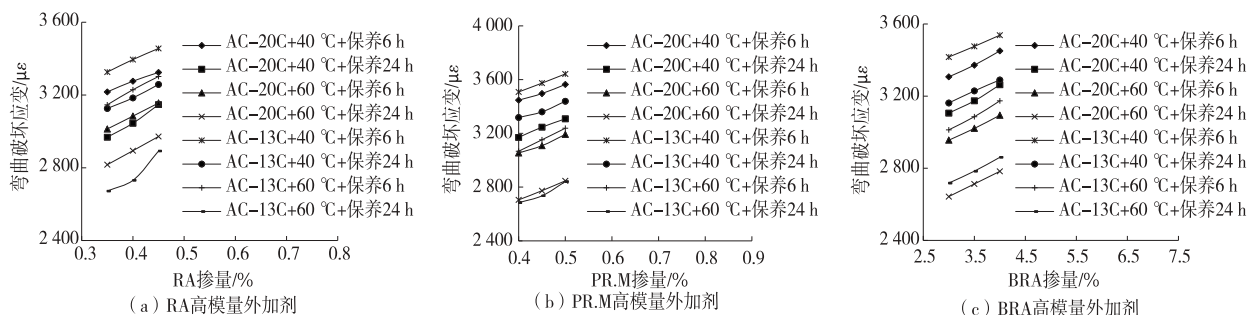


图7 不同保养时间、不同保养温度下弯曲破坏应变试验结果

从图6、图7可看出:含水率、矿料级配、养生温度、保养周期、高模量剂种类及掺量均对混合料弯曲破坏应变有较大影响;相同条件下,含水率越大、养生温度越高、养生周期越长,小梁试件弯曲破坏应变越小,而高模量剂掺量越大,小梁试件弯曲破坏应变越大;相同试验条件下,AC-13C 沥青混合料的低温抗开裂性能优于 AC-20C,PR.M 高模量剂对沥青路面低温性能的改善效果优于 RA、BRA。

3.3 水稳定性

沥青与矿料之间的黏附性对沥青路面的抗水损害能力起着决定性作用,而车辆轴载、雨水及紫外线的综合作用会降低沥青与矿料之间的黏附性,造成沥青胶浆从混合料孔隙中脱落,松散、坑槽等病害是沥青路面水稳定性差的主要表现形式。选用浸水马歇尔及冻融劈裂试验评价 AC-13C、AC-20C 沥青混合料的抗水损害能力,试验结果见图8、图9。

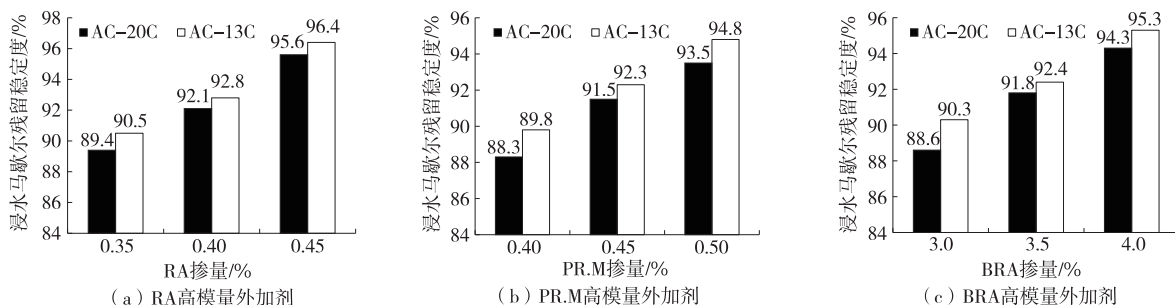


图8 浸水马歇尔残留稳定度试验结果

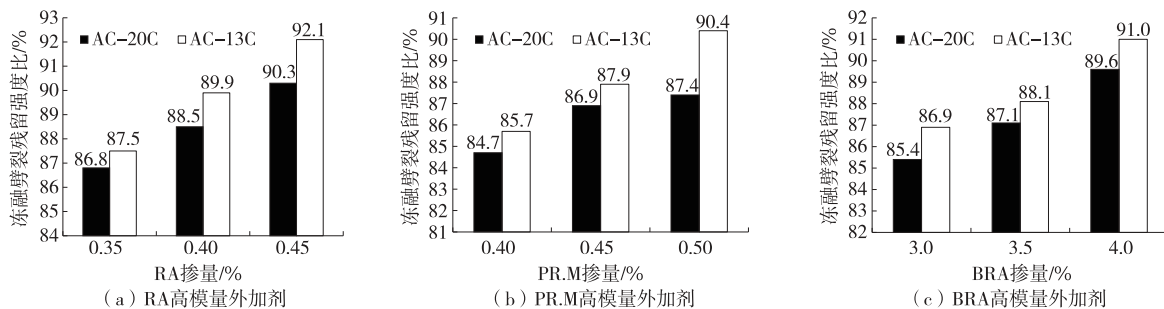


图9 冻融劈裂残留强度比试验结果

由图8、图9可看出:高模量剂种类及掺量均对沥青混合料浸水马歇尔残留稳定度、冻融劈裂残留稳定度有较大影响;随着不同种类高模量剂掺量的增加,2 种级配类型沥青混合料的浸水马歇尔残留稳定度、冻融劈裂残留稳定度均增大;相同条件下,AC-13C 沥青混合料抵抗水损害的能力优于 AC-20C,RA 高模量剂对沥青路面水稳定性能的改善效果优于 PR.M、BRA。

4 结论

通过对3种高模量 AC-13C、AC-20C 沥青混合料配合比设计及水-温相互作用下吸水、高温抗车辙、低温抗开裂及抗水损害性能进行试验研究,得出以下结论:

(1) 级配类型相同时,高模量剂种类及掺量对沥青混合料最佳油石比的影响不大;相同条件下,随着浸水时间的增加,混合料的吸水量与吸水率变化

趋势相当;温度越高,混合料吸水量越大,吸水率越小;AC-20C 沥青混合料的吸水量大于 AC-13C。

(2) 相同条件下,含水率、试验温度、养生温度、养生周期、高模量剂种类及掺量对沥青混合料路用性能有较大影响;相同条件下,AC-20C 沥青混合料的高温性能优于 AC-13C,AC-13C 沥青混合料的低温及水稳定性性能优于 AC-20C,RA 高模量剂对2种沥青混合料高温及水稳定性能的改善效果优于 PR.M、BRA,PR.M 高模量剂对沥青混合料低温性能的改善效果最优。

参考文献:

- [1] 陈雍春.高模量剂掺拌方法及掺量的研究[J].中国水运,2017,17(7):370-372.
- [2] 高明.高模量沥青混凝土对沥青路面结构的高温受力影响分析[J].中外公路,2018,38(1):283-287.
- [3] 蔡旭,祝风丹,吴旷怀.沥青混合料骨架稳态参数及模

- 型[J].中国公路学报,2019,32(2):39-46+96.
- [4] 黄民如.减薄高模量沥青路面厚度的可行性分析[J].广东公路交通,2018,44(1):26-30+34.
- [5] 李剑波,肖雷.高模量沥青混合料在高速公路养护工程中的应用分析[J].中国建材科技,2018,27(6):28-29+6.
- [6] 宋乐春,李志军,陈保莲,等.高模量沥青混凝土添加剂研究[J].硅酸盐通报,2018,37(4):1221-1224.
- [7] 汪于凯,李立寒,孙艳娜.高模量沥青混合料模量的试验研究[J].上海理工大学学报,2014,36(2):194-198.
- [8] 王知乐,袁学锋.高模量 Superpave 混合料的抗车辙性能影响机理分析及强化方法研究[J].工业建筑,2018,48(6):119-123.
- [9] 戚林玲,龚建君,王晓菲,等.基于抗车辙性能提升的复合高模量沥青混合料研究[J].工程技术研究,2019,4(2):9-11.
- [10] 刘华敏.适用于湿热地区的湖沥青改性高模量沥青混合料设计与关键性能评价[J].福建交通科技,2018(5):18-21+48.
- [11] 高晓伟,颜薇,宋琿,等.温度与移动荷载作用下特重交通 RCC 基层沥青路面结构响应分析[J].中外公路,2019,39(1):28-33.
- [12] 张海伟,郝培文,梁建军,等.高模量剂改性沥青混合料拌和压实温度研究[J].中外公路,2015,35(2):272-276.
- [13] 张楠,郑南翔,高志敏.中空聚酯纤维沥青混合料的热阻及路用性能研究[J].公路交通科技,2018,35(10):19-25.
- [14] 马立杰,杨春风.掺加纤维对高模量沥青混合料柔韧性及路用性能影响研究[J].功能材料,2019,50(1):1164-1173+1177.
- [15] 郑健龙.基于结构层寿命递增的耐久性沥青路面设计新思想[J].中国公路学报,2014,27(1):1-7.
- [16] 周彦壘.PR.P 高模量沥青混合料的动态模量及疲劳性能研究[J].中外公路,2017,37(6):292-295.
- [17] 余波,施晓强,王力.高模量沥青及混合料疲劳性能评价研究[J].材料导报,2014,28(增刊2):353-355.
- [18] 杨琳.基于低标号沥青与岩沥青掺配技术高模量沥青混合料耐久性试验研究[J].公路工程,2016,41(4):297-301.
- [19] 陆青清,孙艳娜.基于疲劳寿命的高模量材料结构层适用性研究[J].上海公路,2017(1):16-19.
- [20] 徐明非,郭平,李俊.蒙脱土/SBS 复合改性沥青混合料路用性能研究[J].公路交通科技,2019,36(1):4-7.

收稿日期:2021-04-13

(上接第 50 页)

能强迫自己转头看后方来车,避免车祸的发生;不闯红灯;不逆行等。

4 结语

转变驾校驾驶培训理念,将驾驶技能与安全教育相辅相成;教练员先行,将安全教育贯穿于驾驶培训的始终;虚实结合,使宣传教育与实际操作教育相辅相成。从而提升学员的驾驶技能素质,将不文明驾驶行为扼杀于萌芽之中。同时加大科技设施投入,科技强警,运用现代科技手段降低交通违法量,提升交通通畅率、降低事故发生率,营造良好的道路交通环境。

(上接第 63 页)

交通运输部,2017.

- [3] 郝树伟.沥青软化点试验(环球法)测量不确定度评定[J].天津建设科技,2018,28(1):72-73.
- [4] 张艳秋,许超,杜亚平.超高软化点沥青软化点测定方法的探讨[J].燃料与化工,2019,50(5):37-39.
- [5] 豆晓娟.沥青软化点检测结果的影响因素分析[J].交通

参考文献:

- [1] 范才彬.机动车驾驶培训政府治理研究[D].大连:大连海事大学,2018.
- [2] 朱松巍.河南省交通违法行为特征及影响因素的研究[D].北京:清华大学,2017.
- [3] 罗义学,杜岩,黎美清,等.机动车驾驶人交通违法行为相关因素分析[J].广西医科大学学报,2010,27(6):956-961.
- [4] 何庆,刘君,弯美娜,等.多重对应分析在交通安全宣传重点群体识别中的应用[J].道路交通与安全,2018,18(1):38-42.

收稿日期:2021-06-09

世界(下旬刊),2020(9):140-141+149.

- [6] 陈金明.沥青延度仪测量值的不确定度分析[J].计量与测试技术,2016,43(8):98-99.
- [7] 曹恒涛.沥青路面渗水系数不确定度的评定[J].公路与汽运,2020(3):56-57.

收稿日期:2021-04-19