

DOI:10.11918/201904066

沥青混合料的长期抗滑性能评价指标

解晓光, 刘东旭, 陈 贺

(哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 哈尔滨 150090)

摘 要: 针对中国行业规范和标准缺乏对沥青路面使用过程中的抗滑性能评估问题,在自行开发“温控轮式加速磨光系统”的基础上,提出一种基于差异磨耗原理的沥青混合料长期抗滑性能的评价指标,并利用不同岩性集料矿物含量、磨光值、表面纹理的差异,进行粗细集料不同掺配比例的 SMA 沥青混合料配合比优化设计. 结果表明:SMA 沥青路面的长期抗滑性能有较大幅度提高,提高幅度可达 5 BPN. 对优质集料匮乏地区,利用高磨光值和低磨光值粗集料进行掺配,不仅可以降低工程造价,而且可以显著提高沥青路面的长期抗滑性能.

关键词: 差异磨耗; 沥青混合料; 表面纹理; 温控轮式磨光系统; 长期抗滑性能; 评价指标

中图分类号: U416 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2020)09-0045-06

Evaluation index of long-term skid resistance property of asphalt mixture

XIE Xiaoguang, LIU Dongxu, CHEN He

(School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: To solve the problem that the current standard and specification cannot evaluate the skid resistance property of the asphalt roadways in use, a long-term skid resistance property evaluation index of asphalt mixture was proposed on the basis of the self-developed “thermo-control and accelerated wheel tracking polishing device” and the principle of differential polishing. Based on the differences of mineral contents, polished stone value (PSV), and microtextures of different aggregates, the optimum design of mixture proportion of stone mastic asphalt (SMA) was carried out by blending coarse and fine aggregates. Results show that the long-term skid resistance property of the SMA roadway was significantly improved (up to 5 BPN). For regions where high quality aggregates are scarce, by blending coarse aggregates of high and low PSV, the construction cost can be reduced and the long-term skid resistance property of the asphalt roadways can be significantly improved.

Keywords: differential polishing; asphalt mixture; microtexture; thermo-control and accelerated wheel tracking polishing device; long-term skid resistance property; evaluation index

目前中国规范对沥青路面抗滑指标的要求,主要是对原材料粗集料磨光值和沥青路面交工验收时横向力系数和构造深度的要求,这些指标仅体现了沥青混合料配合比设计时对原材料抗滑指标的要求和沥青路面服役初期的抗滑性能. 对新建沥青路面而言,这些抗滑指标-摩擦系数和构造深度均能满足相应规范的要求,但在车辆荷载反复作用下,沥青路面整体抗滑水平会有不同程度的衰减,一般在使用半年时由于轮胎的磨耗作用,使得沥青路面表面的沥青膜逐渐磨掉,露出集料的表面纹理,这时路面抗滑性能达到峰值,随后随着车辆轮胎的反复作用,集料表面丰富纹理逐渐磨光,使得沥青路面的抗滑性能逐渐下降,并在 3 a 左右趋于稳定阶段^[1]. 因此,对于道路抗滑性能而言,更应关注路面在长期使

用过程中抗滑性能的衰变情况,在抗滑性能达到稳定时使抗滑指标值仍能保持在一个较高范围内. 同时中国优质石料资源有限,抗滑表层对原材料要求严格,如何既能保证沥青路面表面层的功能性性能,尤其是长期抗滑性能,又能提高筑路当地资源利用率,成为道路工作者关心的问题. 近年来,文献[2]针对法国优质集料匮乏的现状,采用闪长岩和石灰岩粗集料混合,进行磨耗值和磨光值测试,证明掺配后集料的磨耗值和磨光值优于两种石料中磨耗值和磨光值偏低的石料. 文献[3]研究表明将具有高磨光值的石料与低磨光值的石料按不同比例混合能有效改善具有低磨光值石料的抗磨光性能. 文献[4]对两种集料间隔排列进行磨光值测试,发现掺配后集料的磨光值低于高磨光值集料的数值,但明显高于低磨光值集料的数值,且提高幅度高达 40%. 文献[5]的研究指出:很多国家将不同种类的集料混合以提高路面的抗滑性. 文献[6]采用天然砂和石灰岩细集料和玄武岩粗集料,研究不同细集料对沥

青路面抗滑性能的影响. 研究表明,细集料的性质影响沥青混合料的构造深度,细集料为石灰岩石屑的沥青混合料的构造深度明显高于采用细集料为天然砂的,提高幅度达 25% 以上. 这些均表明通过将高磨光值和低磨光值的集料进行掺配,能够提高磨光值较低集料的抗磨光性能^[7]. 对优质集料匮乏地区,可以采用磨光值较高的集料进行掺配使用,不仅可以降低造价,而且提高沥青路面的长期抗滑性能. 因此,本文在自制“温控轮式加速磨光系统”的基础上提出沥青路面抗滑耐久性的评价指标,同时利用石灰岩和安山岩在磨光性和表面纹理等方面的差异,进行 SMA 沥青混合料配合比优化设计,使沥青路面在轮胎与路面交互作用过程中,实现路面表面宏观构造和微观构造的结构性再生,确保路面具有良好的抗滑耐久性.

1 试验评价方法与原材料

本研究分别采用 Form Talysurf PGI 1240 机械触针式轮廓仪^[8]、粗集料磨光值试验仪和自制的温控轮式加速磨光系统测试的 R_a 指标(轮廓偏距的算术平均值)、磨光值和摆值终值用来评价集料表面纹理、集料的抗磨光性能和沥青混合料的长期抗滑性能.

1.1 温控轮式加速磨光系统

温控轮式加速磨光系统由轮式加速磨光机和温控系统组成,如图 1 所示. 轮式加速磨光机主要由硬件系统和机器操控系统组成. 硬件系统由小车载件、轮胎组件、支架护栏、驱动系统、测压系统及供水供砂系统组成,可实现自动调速供砂供水、通过加压系统调整轮载大小,从而实现轮胎与路面间相互作用的真实模拟. 可以同时试验 4 个方盘试件(30 cm×30 cm). 温控系统可以实现-30~60 ℃控温,精度≤0.005 ℃.



图 1 温控轮式加速磨光系统

Fig.1 Thermo-control and accelerated wheel tracking polishing system

试验条件:试验温度为(20±1) ℃,通过不同接地压强的对比试验,确定磨光程度适中的接地压强为 0.2 MPa^[9],撒水量为(35±5) mL/min,30 号金刚砂用量为(8±2) g/min,作用次数为 8 640 次,磨光前期每 180 次、磨光中后期每 540 次时测量试件的

摆值和构造深度,采用 Asymptotic 模型^[10-11]进行试验数据拟合,摆值终值作为沥青混合料长期抗滑性能的评价指标.

1.2 原材料

选用来自不同产地的 4 种沥青路面面层石料^[12],根据中国相关的试验规程,测得各项集料技术指标见表 1,均满足相应规范^[13]的技术要求;压碎值≤26%,磨耗值≤28%,磨光值≥42 PSV. 沥青采用盘锦 90# SBS 改性沥青,各项技术指标见表 2.

表 1 集料主要技术指标

Tab.1 Technical indicators of aggregates

集料	$w(\text{SiO}_2)/\%$	压碎值/ %	磨耗值/ %	磨光值/ PSV	R_a
安山岩 1	54.9	17.2	14.6	45.9	12.739 5
石灰岩 1	51.4	24.1	18.3	45.1	9.814 4
安山岩 2	53.6	16.6	14.4	43.4	8.091 4
石灰岩 2	4.6	25.8	24.2	42.1	7.979 5

表 2 90# SBS 改性沥青技术指标

Tab.2 Properties of 90# SBS modified asphalt

对比项目	针入度(25 ℃, 100 g, 5 s)/0.1 mm	5 ℃ 延度/cm	软化点/℃
试验结果	67.6	>100	70.3
规范要求	60~80	≥30	≥55

2 集料的磨光性能

2.1 单一集料的磨光性能

为了解集料的长期磨光性能,按相应规范^[14]要求制备 4 种集料的磨光试件,并将磨光时间从 3 h 延长至 6 h. 测定 15、30 min 等不同磨光时间下的集料磨光值和表面纹理 R_a , 其变化趋势如图 2 所示.

由图 2 可知,随着磨光时间的增长,4 种集料试件的磨光值基本呈现出先增大,后逐渐减小并最终趋于相对稳定的变化趋势;表面纹理呈现逐渐减小的趋势. 且从磨光过程中可见,安山岩 2 的磨光值最差,两种石灰岩的表面纹理指标 R_a 相对较差.

2.2 掺配集料的磨光性能

为研究不同性质集料掺配后的抗磨光能力,选用磨光值不同的安山岩 2 和石灰岩 2 集料,分别按照 1:1、2:1 的质量比制备磨光试件,具体掺配方式如图 3 所示. 与规范^[14]的集料磨光值试验步骤相同,只是延长试验时间至 6 h,测不同磨光时间下集料的磨光值,变化趋势如图 4 所示.

从图 4 可以得出,将磨光值和表面纹理不同的两种集料进行不同比例的掺配可以明显提高集料的整体抗磨光性. 安山岩 2 和石灰岩 2 以 2:1 比例混合后的集料磨光值提高了 10.9%. 两种集料的磨光

值和表面纹理差别越大,越有利于提高掺配后集料的整体抗磨光性能. 研究成果还需从掺配后沥青混合料的长期抗滑性能得以验证.

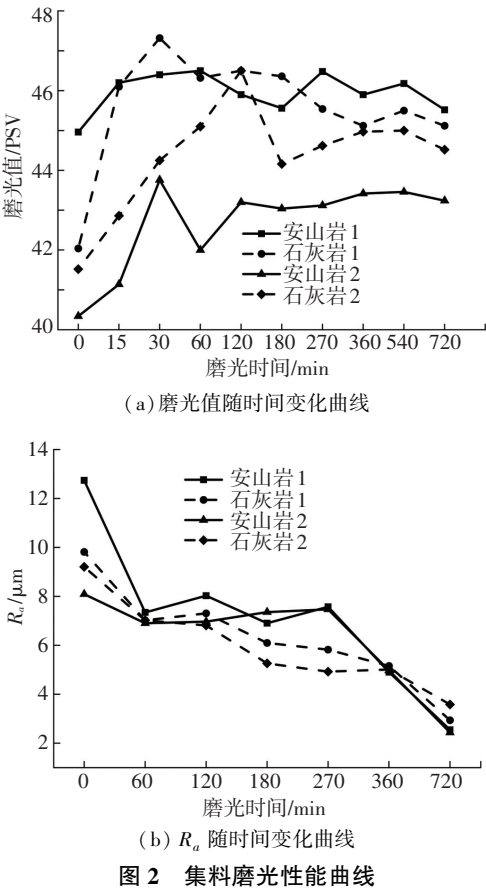


Fig.2 Polishing performance curves of aggregates

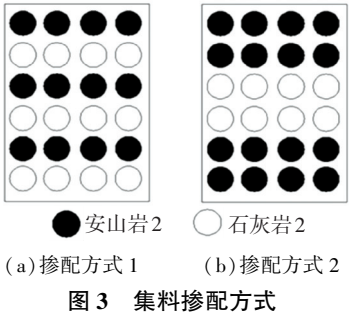


Fig.3 Blending ways of aggregates

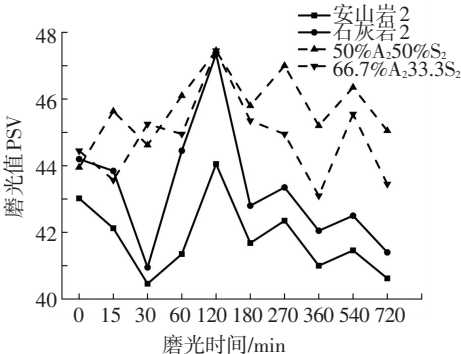
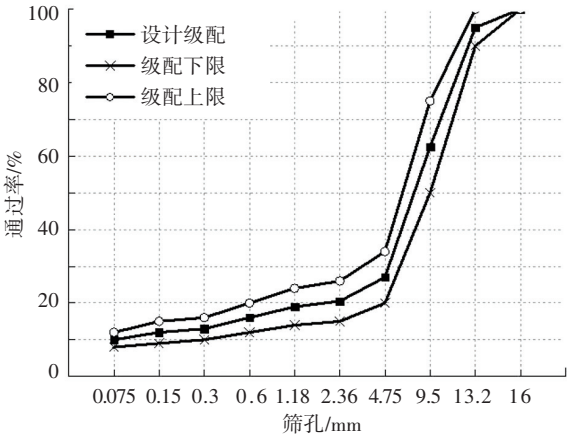


Fig.4 PSV curves after blending aggregates

3 沥青混合料的长期抗滑性能

沥青混合料级配采用的是 SMA-13 型级配中值,如图 5 所示,木质素纤维掺量(质量分数)为 0.3%,最佳沥青用量为 5.4%.



3.1 基于差异磨耗原理的集料掺配

差异磨耗原理体现在微观与宏观两个方面. 微观表现在单个集料上,由于其组成矿物含量和硬度的不同,导致集料在磨光过程中产生差异磨耗. 宏观表现在不同耐磨性能的集料混合在一起,在长期磨光过程中,集料间产生差异磨耗,形成次生的宏观纹理,从而保持沥青路面具有良好的抗滑性能. 基于宏观差异磨耗原理设计出不同性质集料不同掺配比例的沥青混合料进行加速磨光试验. 磨光过程中,根据观察试件实际被磨光的情况,每隔一定时间,采用摆式摩擦系数测定仪和激光纹理测试仪进行摆值和构造深度的测定,以获得试件抗滑性能变化曲线. 集料的掺配方式主要分为以下两种:一种为粗集料不变,细集料分别采用安山岩和石灰岩,见表 3;另一种为细集料不变,粗集料采用安山岩和石灰岩按不同(质量)比例进行掺配,见表 4. 表中 A_1 代表安山岩 1, A_2 代表安山岩 2, S_1 代表石灰岩 1, S_2 代表石灰岩 2; $A_1 + S_1$ 表示粗集料为安山岩 1, 细集料为石灰岩 1; $70\%A_1 30\%S_1 + A_1$ 表示粗集料为 70%安山岩 1 和 30%石灰岩 1, 细集料为安山岩 1; $80\%A_2 20\%S_2 + A_2$ 表示粗集料为 80%安山岩 2 和 20%石灰岩 2, 细集料为安山岩 2, 其他依此类推.

3.2 不同性质细集料掺配后的抗滑性能

成型不同性质细集料掺配后的沥青混合料试件(表 3),进行加速磨光试验,试验结果拟合曲线如图 6 所示.

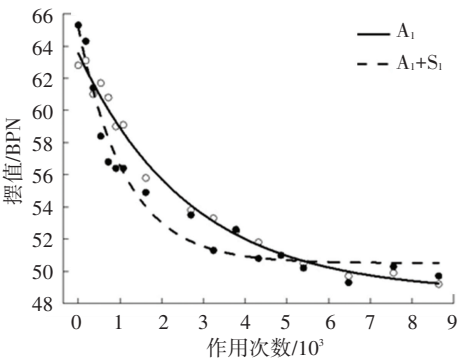
表 3 第 1 种掺配方式
Tab.3 The first blending way

组号	粗集料	粗集料+细集料
1	A ₁	A ₁ +S ₁
2	A ₂	A ₂ +S ₂

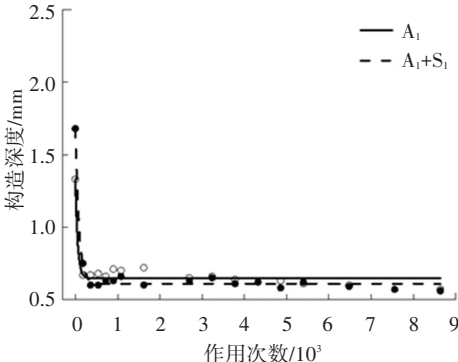
由图 6 可以看出,不同性质细集料与粗集料掺配后的沥青混合料试件的摆值和构造深度衰减过程均表现为磨光初期衰减较快,磨光后期衰减逐渐趋于缓慢,最终基本维持在某一稳定值. 文献[15] 对实体道路工程的跟踪调查得出,沥青路面摩擦系数在道路运营初期衰减速度较快,经过 2~3 a 后衰减趋于平缓,基本稳定在某一水平. 由此可见,室内研

表 4 第 2 种掺配方式
Tab.4 The second blending way

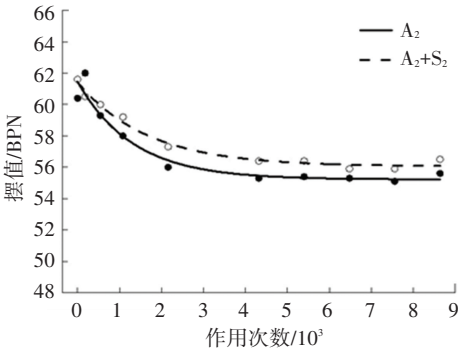
组号	细集料	1 : 1 的粗集料+细集料	7 : 3 的粗集料+细集料	4 : 1 的粗集料+细集料
1	A ₁	50% A ₁ 50% S ₁ + A ₁	70% A ₁ 30% S ₁ + A ₁	
2	A ₂	50% A ₂ 50% S ₂ + A ₂	70% A ₂ 30% S ₂ + A ₂	80% A ₂ 20% S ₂ + A ₂
3	S ₂	50% A ₂ 50% S ₂ + S ₂	70% A ₂ 30% S ₂ + S ₂	80% A ₂ 20% S ₂ + S ₂



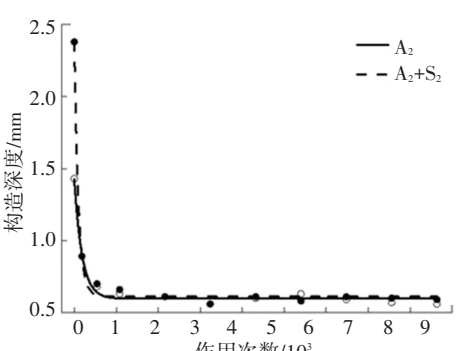
(a)粗集料为 A₁时,摆值衰减拟合曲线



(b)粗集料为 A₁时,构造深度衰减拟合曲线



(c)粗集料为 A₂时,摆值衰减拟合曲线



(d)粗集料为 A₂时,构造深度衰减拟合曲线

图 6 抗滑指标随磨光作用次数变化情况

Fig.6 Changes of skid resistance with the number of polishing times

3.3 不同性质粗集料掺配后的抗滑性能
成型不同性质粗集料掺配后的沥青混合料试件

究结论与实体工程抗滑性能衰变规律一致. 同时,从变化曲线可以观察到,抗滑指标处于稳定的阶段是整条曲线的主体部分,这表明沥青混合料抗滑指标稳定终值更能较好地评价于沥青路面使用过程中的抗滑性能. 因此,将摆值稳定阶段的最终值作为沥青混合料长期抗滑性能的评价指标.

图 6 还可以看出:1)利用不同性质粗细集料的矿物组成不同、表面纹理不同所形成的差异磨耗能够不同程度地提高沥青混合料的长期抗滑性能,提高幅度 1~2 BPN;2)不同粗细集料制备出的沥青混合料的构造深度与同一集料制备沥青混合料的基本相同,说明细集料性质的改变对其宏观构造基本没有影响.

(表 4),进行加速磨光试验,试验结果拟合曲线如图 7 所示.

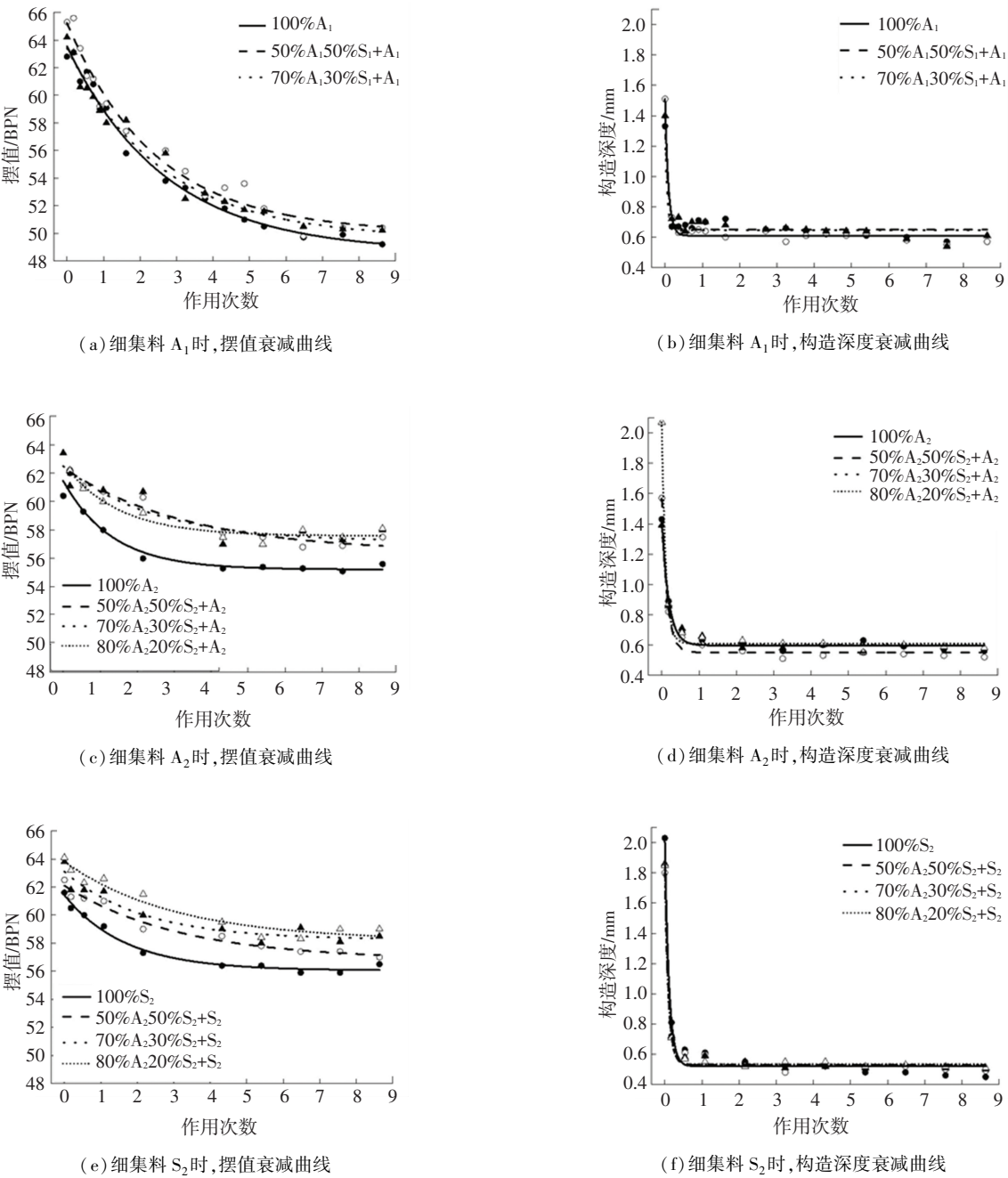


图 7 不同粗集料掺配后抗滑指标随磨光作用次数变化

Fig.7 Changes of skid resistance with the number of polishing times after blending different coarse aggregates

由图 7 可以看出,无论是何种掺配方式,沥青混合料试件的摆值和构造深度的衰减均经历了一个先急后缓,最终基本趋于稳定的过程:1) 不同性质粗集料的掺配对沥青混合料的宏观构造(构造深度)影响不明显,但对其微观构造(摆值)影响较为显著;2)图 7(c)可以得出,不同性质粗集料按不同比例掺配后的摆值明显高于单一安山岩集料的摆值,提高了 3 BPN;图 7(e)表明,对石灰岩 2 而言,不同性质粗集料的掺配可以提高其长期抗滑性能,掺配比例不同,提高幅度不同,最高可达 5 BPN. 3) 对比图 7(a)、7(c)、7(e)可以发现,石灰岩 1 和安山岩 1

掺配后的摆值提高幅度没有石灰岩 2 和安山岩 2 掺配后提高幅度大,主要是由于石料 A₁与 S₁磨光值差异较小,相差仅 0.8 PSV,而集料 A₂与 S₂磨光值差异相对较大,相差 1.3 PSV,因此,图 7(c)、7(e)中 A₂与 S₂不同掺配比例下获得的沥青混合料在轮胎加速磨光过程中更容易产生差异磨耗,从而形成的再生的微观纹理,表现出较高的摆值.由此可见,基于不同性质集料间的差异磨耗,在一定范围内,沥青混合料所选用的两种不同性质集料,其磨光值差别越大,在最佳掺配比例下,其掺配后沥青混合料的长期抗滑性能表现得越好.

4 结 论

1) “温控轮式加速磨光系统”可以用来评价路面的长期抗滑性能. 根据沥青混合料磨光过程中构造深度和摆值的衰减变化规律, 提出采用摆值衰减达到稳定阶段的终值作为沥青混合料长期抗滑性能的评价指标.

2) 采用不同种类粗、细集料掺配制备的沥青混合料, 集料类型和掺配比例对沥青混合料的宏观构造(构造深度)影响不明显, 但对沥青混合料的微观构造(摆值)影响较显著.

3) 基于不同集料的差异磨耗原理, 两种集料磨光值的差异性越大, 其掺配后沥青混合料的长期抗滑性能表现得越好.

4) 石灰岩所含硬质矿物含量少、耐磨性差, 但通过与磨光值高、所含硬质矿物多的集料进行粗集料掺配, 在最佳掺配比例下可以明显提高掺配后沥青混合料的长期抗滑性能, 摆值稳定值可以提高 5 BPN 左右.

参考文献

- [1] 肖鹏飞, 韩森, 杨朝晖. 路表纹理及路面抗滑性能在交通磨光作用下的变化研究[J]. 中外公路, 2010, 30(6): 65
XIAO Pengfei, HAN Sen, YANG Zhaohui. Research on the change of road surface texture and road anti-sliding performance under traffic polishing[J]. China Foreign Highway, 2010, 30(6): 65
- [2] LIANG R Y. Blending properties of high skid and low skid aggregate; FHWA/OH-2003/014[R]. Ohio: The Ohio Department of Transportation, 2003
- [3] SENG A Y, DONG A, COLIN J, et al. Study of the skid resistance of blends of coarse aggregates with different polish resistances[J]. Construction and Building Materials, 2013, 48: 901
- [4] PODURU M G, BENJAMIN C, SRINIVAS P G. Polishing of aggregates and wet-weather accident rates for flexible pavements[C]// Proceedings of Transportation Research Record 1300 TRB. Washington DC: National Research Council, 1991: 71
- [5] ERICHSEN E. Relationship between PSV and in situ friction: a Norwegian case study[J]. Bulletin Engineering Geology and the Environment, 2009, 68: 339
- [6] 赵战利. 基于分形方法的沥青路面抗滑技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2005
ZHAO Zhanli. Research on anti-sliding technology of asphalt pavement based on fractal method[D]. Xi'an: Chang'an University, 2005

- [7] 李菁若, 张东长, 谭巍. 粗集料的抗滑耐磨性能评价新方法[J]. 公路交通科技, 2016, 33(12): 76
LI Jingruo, ZHANG Dongchang, TAN Wei. A new method for evaluating the anti-sliding and wear resistance of coarse aggregates[J]. Journal of Highway and Transportation, 2016, 33(12): 76
- [8] 陈国明, 谭忆秋, 王哲人, 等. 集料表面纹理测量的试验设计[J]. 中国公路学报, 2006, 19(2): 36
CHEN Guoming, TAN Yiqiu, WANG Zheren, et al. Experimental design of surface texture measurement of aggregate[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(2): 36
- [9] 张小瑞. 基于集料性质的沥青混合料磨光特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013
ZHANG Xiaorui. Research on the polishing characteristics of the asphalt mixture based on aggregate properties[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013
- [10] 杨荣尚, 张争奇, 赵战利. 沥青混合料加速加载试验机开发及抗滑衰减模型研究[J]. 中外公路, 2007, 27(5): 206
YANG Rongshang, ZHANG Zhengqi, ZHAO Zhanli. Development of accelerated loading test machine for asphalt mixture and study on anti-sliding attenuation model[J]. China Foreign Highway, 2007, 27(5): 206
- [11] 王永平, 黄维蓉. 室内沥青路面抗滑性能衰减规律研究及模型分析综述[J]. 中外公路, 2015, 35(3): 299
WANG Yongping, HUANG Weirong. Study on the attenuation law and model analysis of anti-sliding performance of indoor asphalt pavement[J]. China Foreign Highway, 2015, 35(3): 299
- [12] 谭巍. 基于沥青路面抗滑特性的实验系统开发与石灰岩优选关键技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2017
TAN Wei. Development of experimental system based on anti-sliding characteristics of asphalt pavement and research on key technologies of limestone optimization[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2017
- [13] 中华人民共和国交通部. 公路沥青路面施工技术规范: JTG F40—2004[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Technical specifications for construction of highway asphalt pavements: JTG F40—2004[S]. Beijing: China Communications Press, 2004
- [14] 中华人民共和国交通部. 公路工程集料试验规程: JTG E42—2005[S]. 北京: 人民交通出版社, 2005
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Test methods of aggregate for highway engineering: JTG E42—2005[S]. Beijing: China Communications Press, 2005
- [15] 王利利. 路面抗滑性能变化特性研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2008
WANG Lili. Research on variation characteristics of pavement anti-sliding performance[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2008

(编辑 魏希柱)