

采用抗滑性能衰减率设计抗滑耐久型沥青混合料

陈晓梅, 郭健禹, 李莹

(长春工程学院 土木工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要: 为了设计具有优良抗滑耐久性的沥青路面, 该文基于压力胶片技术研究成果, 设计不同级配的抗滑层 SMA 和 GAC 沥青混合料, 采用抗滑性能衰减率评价其不同加速加载搓揉阶段的抗滑性能, 进而比选出具备优良抗滑性能及抗滑耐久性的沥青混合料。研究结果显示: 合理控制 4.75 mm 档筛孔通过率是沥青混合料抗滑性能设计的关键, 该文设计的各抗滑层抗滑性能方面: $SMA > GAC > AC$, SMA-4 和 GAC-4 及 GAC-5 具有优良的抗滑性能及耐久性, 推荐其作为路面抗滑层, 条件具备时优先选用 SMA-4。

关键词: 沥青路面; 抗滑性能衰减率; 抗滑设计

1 引言

中国高等级公路基本都采用沥青路面, 由于设计、原材料、施工等多方面原因其抗滑性能均不理想, 表现为抗滑性能衰减过快, 如何解决沥青路面抗滑衰减过快一直是迫在眉睫的难题。近年来以压力胶片技术的沥青路面抗滑性能研究较新颖, 张肖宁及张淑文等结合三维激光轮廓检测仪和压力胶片, 研究了轮胎与路面的接触特性及应力分布, 具有较好的探索意义, 但研究中均未能提出新的沥青路面抗滑及耐久性评价指标; 王端宜及李智等采用压力胶片技术评价沥青混合料的抗滑耐久性, 提出了两个较新颖的抗滑评价指标, 具有很好的指导意义, 但这两个指标仅用来评价沥青路面的抗滑性能, 没有考虑将该指标用于沥青路面的抗滑设计。该文正是基于压力胶片研究成果, 提出采用王端宜教授提出的抗滑性能衰减率来设计抗滑耐久型沥青混合料, 从级配设计的角度来提高沥青路面的抗滑性能。

2 采用抗滑性能衰减率设计抗滑及耐久型沥青混合料

沥青路面抗滑层(上面层)的抗滑性能及其耐久性直接关系到道路交通的行驶安全, 然而现阶段沥青混

合料设计阶段并没有进行专门的抗滑设计, 该文利用压力胶片技术, 采用抗滑性能衰减率作为沥青混合料设计阶段的抗滑性能评价指标, 以此弥补现阶段抗滑层沥青混合料设计阶段无抗滑设计的缺陷。

2.1 试验设计方案及过程

通常上面层骨架密实型 SMA 和 GAC 级配的沥青混合料抗滑性能优于密实悬浮型 AC, 该节主要以 SMA 和 GAC 级配为研究对象, 试图设计不同骨架嵌挤级配的沥青混合料, 通过抗滑性能衰减率对其抗滑性能及耐久性进行评价, 进而比选出最佳的抗滑层级配。石立万通过对 SMA 混合料内部主骨架接触力链的研究发现, 2.36 mm 以下的集料几乎不参与主力链骨架的构成。因此, 该节试验中 SMA 的级配设计重点围绕 9.5、4.75 mm 两档集料来研究理想的抗滑级配, 鉴于同样属于骨架密实型的级配组成, GAC-13 也按此设计理念, 并辅助密实悬浮型 AC 级配作为参照对比。

沥青混合料的原材料均采用辉绿岩和 SBS 改性沥青。各个试件均选择公称最大粒径 13.2 mm, SMA 矿粉用量 10.0%, GAC-13 和 AC 矿粉用量均为 4.0%; SMA 使用木质素纤维, 掺量为混合料重的 0.3%, 集料内掺; SMA 的沥青用量为 6.0%, GAC 和 AC 的沥青用量为 4.8%; 按上述设计要点, 成型沥青混合料车辙板, 每种级配成型 3 块, 分别进行 0、2、4、6、8 h 加速加载搓揉试验[试验装置增加了恒温水浴,

收稿日期: 2018-12-08

基金项目: 吉林省教育厅“十二五”科学技术研究项目(编号: 120150042)

作者简介: 陈晓梅, 女, 讲师. E-mail: 3261735256@qq.com

可控温度从室温到 70 ℃;试件横向移动速度 10 cm/min;车轮行走次数:(42±1)次/min;碾压轮轮重:42~100 kg(可调)。加速加载搓揉试验是为了在室内模拟沥青路面在行车作用下沥青路面的抗滑性能

变化过程],在不同搓揉阶段进行压力胶片试验,统计分析抗滑性能衰减率,并取 3 组平行试验的均值作为最终分析结果。设计的各级配各档质量通过百分率见表 1、2。

表 1 SMA 不同级配各档质量通过百分率

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
SMA-1	100	95.0	70.0	35.0	22.5	19.0	16.5	14.0	12.8	10.0
SMA-2	100	95.0	65.0	35.0	22.5	19.0	16.5	14.0	12.8	10.0
SMA-3	100	95.0	60.0	35.0	22.5	19.0	16.5	14.0	12.8	10.0
SMA-4	100	95.0	60.0	30.0	22.5	19.0	16.5	14.0	12.8	10.0
SMA-5	100	95.0	60.0	25.0	22.5	19.0	16.5	14.0	12.8	10.0
SMA-6	100	95.0	55.0	25.0	22.5	19.0	16.5	14.0	12.8	10.0
SMA-7	100	95.0	50.0	25.0	22.5	19.0	16.5	14.0	12.8	10.0
AC	100	95.0	78.5	51.5	35.0	25.5	18.0	13.5	10.0	6.0

表 2 GAC 不同级配各档质量通过百分率

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
GAC-1	100	95.2	70.0	35.0	22.1	16.4	12.1	9.2	7.3	6.3
GAC-2	100	95.2	65.0	35.0	22.1	16.4	12.1	9.2	7.3	6.3
GAC-3	100	95.2	60.0	35.0	22.1	16.4	12.1	9.2	7.3	6.3
GAC-4	100	95.2	60.0	30.0	22.1	16.4	12.1	9.2	7.3	6.3
GAC-5	100	95.2	60.0	25.0	22.1	16.4	12.1	9.2	7.3	6.3
GAC-6	100	95.2	55.0	25.0	22.1	16.4	12.1	9.2	7.3	6.3
GAC-7	100	95.2	50.0	25.0	22.1	16.4	12.1	9.2	7.3	6.3
AC	100	95.0	78.5	51.5	35.0	25.5	18.0	13.5	10.0	6.0

2.2 数据分析

不同级配不同搓揉试验阶段抗滑性能衰减率统计结果如表 3、4 所示,分为大量程(0.5~2.5 MPa)和小量程胶片(0.2~0.6 MPa),大量程胶片应力检测范围大,小量程胶片应力检测范围小,但小量程检测精度更高,由于应力集中存在,会有一部分应力超过小量程的最大量程 0.6 MPa,因此用大量程做辅助及补充,两者对照也更能凸显出检测结果的准确性。根据压力胶片检测的轮胎与车辙板的接触面积,采用压力胶片专业软件,可实现数据采集、处理和分析等一系列过程,采用式(1)计算抗滑性能衰减率:

$$A_{\Delta} = \frac{a_i - a_0}{a_0} \tag{1}$$

式中: A_{Δ} 为抗滑性能衰减率(%); a_0 为初始接触面积(mm^2); a_i 为搓揉第 i h 阶段的接触面积(mm^2)。

由表 3 可以看出:① 通过大小量程胶片试验结果对比,搓揉 8 h 后 SMA 的抗滑性能衰减率都远远低于 AC,说明作为抗滑层 SMA 具有更优的抗滑性能及耐久性能;② 通过对比 SMA 的 7 种不同配比路面板抗滑性能衰减率的递增趋势,1~3 号路面级配中 9.5、4.75 mm 两档筛孔通过率较大,即混合料总体偏细,随着 1~3 号级配粗集料增加,抗滑性能衰减率确实有递减现象,递增递减较明显,而且最终搓揉 8 h 后抗滑性能衰减率依然是 1~3 号逐渐递减,伴随 1~4 号路面随集料级配逐渐增粗,抗滑性能衰减率明显递减,搓揉

后期亦表现同种规律,说明 1~4 号 SMA 路面抗滑性能及耐久性能随混合料级配变粗而递增;然而通过 4~7 号数据统计发现,即使同样增粗混合料级配,搓揉 8 h 后最终的抗滑性能衰减率有递增趋势,大小量程胶片采集数据的变化趋势表现基本一致;因此,尽管继续增粗 5~7 号混合料配比,但对路面抗滑性能及抗滑

耐久性能并无实质性贡献,反而会降低路面后期的抗滑性能,即抗滑耐久性有所损失;③ 综合分析推荐采用 SMA-4 号配比作为路面抗滑层级配,在保证有效的抗滑性能及耐久性的前提下,可适当调整此级配中 9.5、4.75 mm 两档筛孔通过率为路面工程所使用。

表 3 SMA 不同阶段抗滑性能衰减率统计表

胶片量程/ MPa	揉搓时 间/h	下列各种级配类型抗滑性能衰减率/%							
		SMA-1	SMA-2	SMA-3	SMA-4	SMA-5	SMA-6	SMA-7	AC
小量程 (0.2~0.6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	1.56	1.51	1.47	1.28	1.59	1.57	1.25	1.80
	4	3.24	2.99	2.69	2.51	2.27	2.25	2.37	3.94
	6	3.93	3.59	3.52	3.06	3.26	3.52	3.22	4.87
	8	4.14	3.97	3.81	3.24	3.41	3.85	3.81	5.41
大量程 (0.5~2.5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	2.58	2.38	2.54	2.15	2.89	3.21	3.46	4.04
	4	4.14	3.59	4.26	3.79	3.97	4.58	4.51	6.85
	6	6.66	6.15	6.54	5.19	5.59	5.43	5.62	9.20
	8	7.47	7.29	7.12	6.34	6.41	6.61	7.01	9.47

表 4 GAC 不同阶段抗滑性能衰减率统计表

胶片量程/ MPa	揉搓时 间/h	下列各种级配类型抗滑性能衰减率/%							
		GAC-1	GAC-2	GAC-3	GAC-4	GAC-5	GAC-6	GAC-7	AC
小量程 (0.2~0.6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	2.37	2.21	2.18	1.58	1.51	2.35	2.11	1.80
	4	3.11	3.96	3.68	2.81	3.56	3.05	3.85	3.94
	6	4.12	4.66	4.47	4.06	4.02	4.44	4.55	4.87
	8	5.25	5.15	5.03	4.24	4.46	4.52	4.61	5.41
大量程 (0.5~2.5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	2.85	2.99	2.97	3.45	3.55	3.33	3.38	4.04
	4	5.88	5.58	4.78	4.89	5.68	5.28	5.75	6.85
	6	8.51	7.95	8.54	7.19	8.05	8.08	7.66	9.20
	8	9.30	9.01	8.79	8.44	8.59	8.51	8.78	9.47

由表 4 可以看出:① 通过大小量程胶片试验结果对比,搓揉 8 h 后 GAC 的抗滑性能衰减率均低于 AC,说明作为抗滑层 GAC 具有更优的抗滑性能及耐久性能;② 通过对比 GAC 的 7 种不同配比路面板抗滑性能衰减率的变化趋势,1~3 号路面级配中 9.5、4.75 mm 两档筛孔通过率较大,即混合料总体偏细,随着 1~4 号级配粗集料增加,最终抗滑性能衰减率确实有

递减现象,递减趋势较明显,说明 1~4 号 GAC 路面抗滑性能及耐久性能随混合料级配变粗而递增;然而通过 4~7 号数据统计发现,即使同样增粗混合料级配,搓揉 8 h 后最终的抗滑性能衰减率有递增趋势,大小量程胶片采集数据的变化趋势表现基本一致;因此,尽管继续增粗 5~7 号混合料配比,但对路面抗滑性能及抗滑耐久性能并无实质性贡献,反而会降低路面后

期的抗滑性能,即抗滑耐久性有所损失;③综合分析推荐采用GAC-4号配比作为路面抗滑层级配,在保证有效的抗滑性能及耐久性的前提下,可适当调整此级配中9.5、4.75 mm两档筛孔通过率为路面工程所使用;④对于GAC-13和SMA-13路面,两者1~3号配比中只改变9.75 mm档筛孔通过率,3~5号改变4.75 mm档筛孔通过率,5~7号配比再次改变9.75 mm档筛孔通过率,以此不断增粗混合料级配,发现改变4.75 mm档筛孔通过率时沥青路面的抗滑性能变化显著,即合理控制4.75 mm档筛孔通过率是沥青混合料抗滑性能设计的关键;⑤总结发现抗滑性能方面:SMA>GAC>AC,SMA-4和GAC-4及GAC-5具有优良的抗滑性能及耐久性,推荐其作为路面抗滑层,条件具备时优先选用SMA-4。

3 结论

(1)设计不同级配类型的沥青路面抗滑层,重点通过改变9.5、4.75 mm两档筛孔通过率,采用抗滑性能衰减率评价其抗滑性能及耐久性,最终总结发现:改变4.75 mm档筛孔通过率时沥青路面的抗滑性能变化显著,即合理控制4.75 mm档筛孔通过率是沥青混合料抗滑性能设计的关键。抗滑性能方面:SMA>GAC>AC,SMA-4和GAC-4及GAC-5具有优良的抗滑性能及耐久性,推荐其作为路面抗滑层,条件具备时优先选用SMA-4。并可适当调整此级配中9.5、4.75 mm两档筛孔通过率为路面工程所使用。

(2)该文采用抗滑性能衰减率设计抗滑耐久型沥青混合料可以为沥青路面的抗滑设计提供新思路。

参考文献:

- [1] ZHANG Xiao-ning, LIU Tao, LIU Chun-lei, et al. Research on Skid Resistance of Asphalt Pavement Based on Three-Dimensional Laser-Scanning Technology and Pressure-Sensitive Film[J]. Construction and Building Materials, 2014, 69: 49-59.
- [2] 王端宜,王刚,李智,等.基于压力胶片技术的沥青混合料抗滑耐久性评价[J].中国公路学报, 2017(9).
- [3] 张淑文,张肖宁,李智,等.基于压力胶片技术的轮胎与路面间接接触特性研究[J].建筑材料学报, 2015(4).
- [4] ERDEMS, BLANKSON MA. Fractal-Fracture Analysis and Characterization of Impact Fractured Surfaces in Different Types of Concrete Using Digital Image Analysis and 3D Nanomap Laser Profilometry[J]. Construction and Building Materials, 2013, 40: 70-76.
- [5] ECH M, YOTTE S, MOREL S, et al. Qualification of Wearing Course Material Surface Evolution after Durability Test[J]. Construction and Building Materials 2012, 35: 313-320.
- [6] 曹平,严新平.沥青路面形貌对抗滑性能影响的理论分析[J].摩擦学学报, 2009(4).
- [7] 赵战利,张争奇,胡长顺.集料级配对沥青路面抗滑性能的影响[J].长安大学学报, 2005(1).
- [8] 张勇.沥青路面抗滑表层级配优化研究[D].吉林大学硕士学位论文, 2007.
- [9] 杜雪松.基于胎/路相互作用的路面抗滑特性研究[D].哈尔滨工业大学硕士学位论文, 2012.
- [10] 陈俊,黄晓明.沥青路面多尺度结构的荷载响应分析[J].建筑材料学报, 2012(1).
- [11] A CIRELLO, G MARANNANO and G VIRZI MARI-OTTI. Experimental Analysis of the Contact Pressure Distribution in an Off-Road Tyre[J]. The Journal of Strain Analysis for Engineering, 2009, 44(4): 287-295.
- [12] 张安强,姚钟尧.轮胎接地压力分布及其测试方法[J].橡胶工业, 2001(6).
- [13] 吴文亮.沥青混合料的数字图像处理技术与概率统计方法研究[D].华南理工大学博士学位论文, 2009.
- [14] 刘涛.沥青路面粗集料的微观构造及抗滑性能研究[D].华南理工大学硕士学位论文, 2013.
- [15] 曾庆成,王端宜,蔡旭.基于能量等价损耗原理的路面抗滑性能预测[J].武汉理工大学学报, 2012(3).
- [16] 董昭.加速磨耗试验与沥青路面材料抗滑性能衰变规律研究[D].长安大学硕士学位论文, 2011.
- [17] 石立万.基于细观力学性能的功能型沥青混合料研究, [D].华南理工大学博士学位论文, 2014.
- [18] 李菁若,谭巍,谢忠,等.不同因素对沥青混合料抗滑能力的影响[J].中外公路, 2017(2).