

基于层间抗剪强度的同步碎石下封层的设计

周泽洪, 郑南翔, 纪小平

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘 要:针对同步碎石下封层的使用性能要求,提出了以层间抗剪强度作为设计指标的力学-经验设计法,采用 McLeod 经验法预估沥青用量,以预估的沥青用量作为中值成型 5 组不同沥青用量下的复合试件,进行了抗剪强度试验,以抗剪强度最大值对应的沥青用量作为最佳沥青用量;对只设置透层和透层+同步碎石封层的复合试件进行了抗剪、车辙和渗水对比试验。研究表明:力学-经验法设计的沥青用量比 McLeod 经验法降低约 0.261 kg/m^2 ;相比透层复合试件,透层+同步碎石封层可提高复合试件的界面抗剪强度和车辙动稳定度约 141% 和 27.6%,能够明显改善复合试件的抗渗性能。

关键词:道路工程;同步碎石封层;设计方法;层间抗剪强度

中图分类号:U416.14

文献标志码:A

Design of synchronous under-seal based on anti-shear strength between interlayers

ZHOU Ze-hong, ZHENG Nan-xiang, JI Xiao-ping

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,
Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The mechanistic-empirical design method of synchronous under-seal was studied based on its performance requirements. In this method the anti-shear strength between interlayers was taken as design index. The first step was to estimate asphalt content with McLeod empirical design method, and then 5 kinds of specimens were formed with different asphalt contents and the estimated content set as the middle value, then the shear strength tests of the 5 kinds of specimens were carried out. Finally, the asphalt content with the maximum shear strength was set as the optimum content. At the same time, the shear test, rutting test and seepage test were carried out to the two kinds of composite specimens: with only prime coat layer and with prime coat + synchronous under-seal. The results show that: the mechanistic-empirical design method can reduce the more asphalt content than the McLeod's, reduced by about 0.261 kg/m^2 ; the synchronous under-seal can improve the interface resistance shear strength and dynamic stability, raised about 141% and 27.6% compared with the prime coat's; the impermeability of composite specimens can be significantly improved by using synchronous under-seal. 4 tabs, 3 figs, 8 refs.

Key words: road engineering; synchronous seal; design method; anti-shear strength between interlayers

0 引言

同步碎石封层具有良好的抗渗性能、防滑性能、耐磨耗性能,具备易施工、低能耗、施工外部条件宽广等优点,因而被越来越多的公路部门采用。同步碎石封层最初作为一种沥青路面养护而开发的技术,但在使用过程中已被推广应用到诸如桥面防水粘结层、预防性养护、封层、应力吸收层等新领域^[1-5]。同步碎石封层的设计方法属于经验设计法,碎石和沥青用量的计算方法最初是由 McLeod 在 20 世纪 60 年代提出的,后被美国沥青协会采用,SHRP 计划对其进行了修正。该方法核心思想是:在表面张力作用下,热沥青沿石料表面向上爬升至石料高度的 2/3,使石料被裹覆的面积约为 70%,保证沥青与石料有足够的结合强度,同时使石料的 1/3 高度凸露,保证表面功能。该设计方法考虑了结合料性质、碎石尺寸、碎石片状指数、路面状况修正因子等影响因素。将同步碎石封层作为半刚性基层的下封层使用,称之为同步碎石下封层,其主要功能是:抑制基层裂缝反射,路表水下渗到基层,加强层间粘结。目前,同步碎石下封层还未形成完善的设计方法,往往多采用 McLeod 提出的适用于路面养护的设计方法^[6]。然而,应用 McLeod 法设计同步碎石下封层存在不足:①路面养护注重表面功能(防水、抗滑),往往要求石料满铺,而同步碎石下封层侧重力学性能(层间粘结、抗裂),往往要求碎石撒布率较小,以便封层表面与后铺的沥青混合料形成嵌挤;②McLeod 是纯经验法,它没有将同步碎石下封层的力学性能作为设计指标,设计效果不可靠。为此,本文将层间粘结强度作为设计指标,提出基于层间抗剪强度的同步碎石下封层设计方法^[7-8]。

1 层间抗剪强度试验

同步碎石下封层的主要功能之一是加强层间粘结,粘结强度可用层间抗剪强度来评价。层间抗剪强度采用自制的剪切仪测试,数据自动采集,分析结果如图 1 所示。复合试件尺寸为 $\Phi 100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$;试验温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$;将复合试件放置在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中保温 2 h,取出后迅速进行试验,试验过程不超过 2 min;剪切速度为 50 mm/min 。

复合试件的成型方法如下:先成型 5 cm 厚的水泥稳定基层板,养生 7 d 后撒布同步碎石封层,室温下放置 3 h 后,在同步碎石封层上洒布粘层油并冷却,套上上层车辙板模子,并加铺 5 cm 的 AC-16 混

合料,碾压成型总厚度为 10 cm 的复合式车辙板。采用钻头直径为 $\Phi 100\text{ mm}$ 的钻芯机,对复合式车辙板取样,每块板可钻取 4 个试件,如图 2 所示。

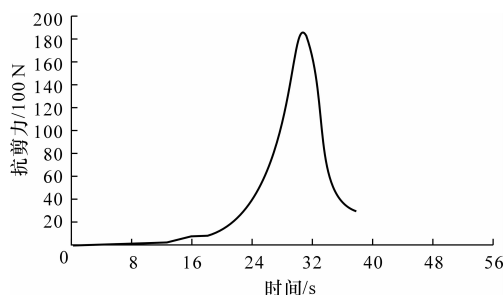


图 1 剪切时间与抗剪力的关系

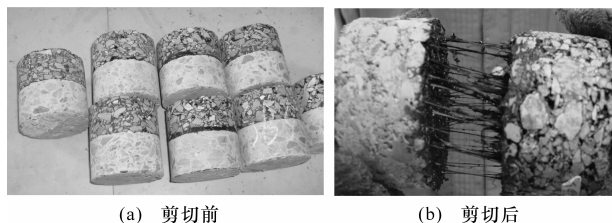


图 2 复合试件剪切前后的形貌

2 同步碎石下封层的设计

2.1 基本思路

(1)采用 McLeod 法预估碎石和沥青用量。McLeod 法预估碎石用量和沥青用量时,充分考虑沥青、碎石尺寸、碎石密度、松散碎石的空隙率、碎石吸收率、交通量修正因子、碎石损失系数、路面状况修正因子等影响因素。

(2)以层间抗剪强度作为设计指标。采用剪切试验,测定不同石料撒布率和沥青用量下的复合试件抗剪强度,优选石料撒布率,确定特定石料撒布率下的最佳沥青用量。

2.2 设计步骤

2.2.1 原材料选择及评价

对碎石和结合料进行性能检测并选择。同步碎石下封层用集料选择的 5 个原则:①岩性,优先选用中性偏碱的集料,玄武岩为佳,一般不使用酸性集料;②硬度,压碎值和磨耗值须满足要求;③形状,尽量使用立方体或近立方体的集料,限制针片状石料的含量;④级配,近乎单一级配,不含粉料;⑤粘附性,必须有足够的粘附性,以保证在雨水动水压力作用下不会造成沥青与集料的剥离。结合料可采用基质沥青、改性乳化沥青和改性沥青等。

2.2.2 碎石撒布量的计算

碎石撒布量的计算式为

$$C = (1 - 0.4V)hG(1 + E)K \quad (1)$$

式中: C 为碎石用量(kg/m^2); V 为松散碎石的空隙率(%); h 为碎石平均最小高度(mm); G 为碎石毛体积密度(kg/m^3); E 为碎石损失系数(%); K 为碎石撒布率(%)。

2.2.3 预估初始沥青用量

采用 McLeod 法预估初始沥青用量,计算式为

$$B = (0.40HV + S + A)/R \tag{2}$$

式中: B 为沥青用量(kg/m^2); H 为碎石平均最小尺寸(mm); S 为基层顶面状况修正因子(kg/m^2); A 为碎石对沥青的吸收率; R 为结合料残留沥青量,乳化沥青为固体含量(%)。

2.2.4 确定最佳沥青用量

以预估沥青用量为中值,以中值 $\pm 15\%$ 、 $\pm 30\%$ 变化油量,成型 5 组不同沥青用量下的复合试件,以抗剪强度最大值对应的沥青用量为最佳沥青用量。

3 设计示例

3.1 石料及沥青的检测

选用粒径为 5~10 mm 的石灰岩碎石,撒布前用水冲洗干净表面粉尘,以提高碎石和沥青的粘接性能,并烘干后待用,技术指标见表 1;采用 SBS 改性沥青的技术指标见表 2。

表 1 石料的技术指标

试验项目	试验值	技术标准
压碎值/%	10.3	≤ 14
洛杉矶磨耗损失/%	18	≤ 30
坚固性/%	8.5	≤ 12
磨光值(BPN)/%	82	≥ 42
与沥青的粘附性/级	5	≥ 4
针片状含量/%	6.4	≤ 15
粉尘含量/%	0.3	≤ 1
软石含量/%	3.1	≤ 5

表 2 SBS 改性沥青的技术指标

技术指标	试验值	技术标准
25 ℃针入度/0.1 mm	74.3	60~80
针入度指数	0.079	$\nless -0.4$
5 ℃延度/cm	46.8	$\nless 30$
软化点/℃	91	$\nless 55$
135 ℃运动粘度/(Pa·s)	2.4	$\nless 3$
溶解度/%	99.6	$\nless 99$
25 ℃弹性恢复/%	97.2	$\nless 65$
48 h 离析软化点差/℃	0.4	$\nless 2.5$
RTFOT 旋转薄膜烘箱	质量损失/%	0.313 4
	针入度比/%	83.6
	5 ℃延度/%	29.3

3.2 碎石撒布量的计算

拟定 $K=30\%$;测定 $G=2.931\text{ t}/\text{m}^3$,松散碎石单位质量 $W=1.542\text{ t}/\text{m}^3$,碎石尺寸的中值 $M=4.75\text{ mm}$,碎石针片状含量 $F=20.1\%$ 。

碎石平均最小高度 h 为

$$h = \frac{M}{1.139\ 285 + 0.011\ 506FI} = 3.47\text{ mm}$$

松散碎石的空隙率 V 为

$$V = 1 - \frac{W}{1\ 000G} = 1 - \frac{1\ 542}{1\ 000 \times 2.931} = 47.4\%$$

利用式(1)计算得到: $C=3.142\text{ kg}/\text{m}^2$ 。

3.3 预估初始沥青用量及确定最佳沥青用量

碎石对沥青的吸收率 $A=0.6\%$,室内基层试件的状况修正因子 $S=1.0\text{ kg}/\text{m}^2$ 。

通过式(2)计算得出: $B=1.72\text{ kg}/\text{m}^2$ 。

以预估沥青用量 $1.72\text{ kg}/\text{m}^2$ 为设计中值,以中值 $\pm 15\%$ 、 $\pm 30\%$ 变化沥青用量,成型 5 组不同沥青用量下的复合试件,进行剪切试验。将不同沥青用量所对应的抗剪强度绘制曲线图(图 3),通过拟合回归,计算在抗剪强度最大值对应的沥青用量为最佳沥青用量。经计算,得出粒径为 5~10 mm 的碎石在 30%碎石撒布率时的最大抗剪强度为 0.068 7 MPa,其对应的沥青用量为 1.459 kg/m^2 。最终确定最佳沥青用量为 1.459 kg/m^2 。

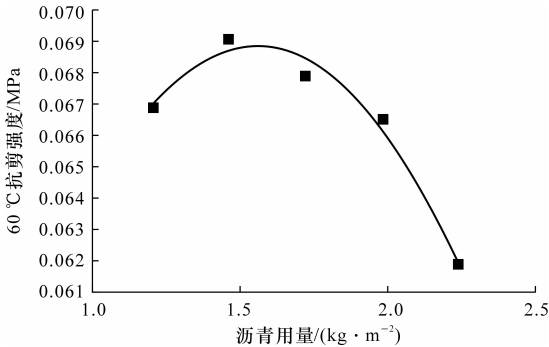


图 3 不同沥青用量对应的抗剪强度

3.4 性能验证

3.4.1 防水性能

采用加压渗水试验进行防水性能验证。渗水试验仪器能通过对容器内的水施加额定荷载,用来模拟在动水压力作用下路面结构的防水性能。将设置和未设置同步碎石封层的复合式车辙板进行加压渗水试验,结果见下页表 3。由试验结果可知,设置同步碎石封层改善了路面的防水性能。

3.4.2 界面抗剪强度

对比测试只设置透层和设置透层+同步碎石封

表 3 加压渗水试验结果

结构类型	不同压强(MPa)的试验结果		
	0.1	0.2	0.3
透层	15 min 内 无渗透	15 min 内板周 围有少许水滴	15 min 内 板周围渗水
透层+同步碎石下封层	15min 内 无渗透	15min 内 无渗透	15min 内周围 有少量渗水

层的复合试件的 60 ℃抗剪强度,只设置透层的层间抗剪强度为 0.028 5 MPa,设置同步碎石封层的抗剪强度为 0.068 7(SBS 改性沥青,粒径为 5~10 mm 的碎石,30%碎石撒布率)。由试验结果可知,设置同步碎石封层后,大大提高了层间抗剪强度,改善了层间接触条件。

3.4.3 高温性能

对比测试只设置透层和设置透层+同步碎石封层的复合车辙板的动稳定度 DS,试验结果见表 4。由试验结果可知,设置了同步碎石封层的复合车辙板的 DS 比未设置的提高了 27.6%。这是因为同步碎石封层提高了层间粘结强度,改善了沥青混合料的受力状况,进而改善了路面的高温性能。

表 4 加厚式车辙板试验数据

结构类型	不同时刻(min) 的车辙深度/mm		动稳定度/ (次·mm ⁻¹)	
	45	60	试验值	平均值
透层	2.823	3.329	1 245.1	1 284.2
	2.055	2.507	1 393.8	
	2.324	2.843	1 213.9	
透层+同步 碎石下封层	2.939	3.331	1 607.1	1 638.3
	3.007	3.383	1 675.5	
	2.846	3.232	1 632.1	

4 结 语

(1)力学-经验法设计的沥青用量与 McLeod 经验法相比,沥青用量降低约 0.261 kg/m²。

(2)相比透层复合试件,透层+同步碎石封层可提高复合试件界面抗剪强度和车辙动稳定度约 141%和 27.6%,能明显改善复合试件的抗渗性能。

(3)同步碎石下封层的力学-经验设计方法克服了纯经验设计法的不足,在兼顾防水性能的同时,又考虑到了层间抗剪性能,是一种更符合实际使用要求的设计方法;同时,该设计方法简单,仪器单一,易于推广应用。

参考文献:

References:

[1] 李 兵.同步碎石应力吸收层技术研究[D].西安:长

安大学,2008.

[2] 李祖仲,陈拴发,张登良,等.应力吸收层沥青混合料的路用特性[J].长安大学学报:自然科学版,2008,28(2):5-8.
LI Zu-zhong,CHEN Shuan-fa,ZHANG Deng-liang,et al.Road performance of stress absorbing layers in asphalt mixture[J].Journal of Chaug'an University: Natural Science Edition,2008,28(2):5-8.

[3] 王 艳,倪富健,马 翔.不同基层开裂状态的沥青路面应力对比[J].交通运输工程学报,2008,8(6):34-39.
WANG Yan,NI Fu-jian,MA Xiang.Stress comparison of asphalt pavements with different base crack states[J].Journal of Traffic and Transportation Engineering,2008,8(6):34-39.

[4] 谢祥根.同步碎石封层技术和 SBS 改性沥青防水层的应用研究[J].湖南交通科技,2007,33(1):10-14,44.
XIE Xiang-geng.Research on the application of synchronous pavement surface dressing and SBS modified asphalt waterproof layer[J].Hunan Communication Science and Technology,2007,33(1):10-14,44.

[5] 覃 峰,包惠明,董开亮.同步碎石应力吸收层特性研究[J].中外公路,2007,27(5):202-205.
QIN Feng,BAO Hui-ming,DONG Kai-liang.Study on the properties of synchronous gravel stress absorbed layer[J].Journal of China & Foreign Highway,2007,27(5):202-205.

[6] 王朝辉,王选仓.基于沥青加铺层结构疲劳寿命的夹层位置确定[J].中国公路学报,2008,28(1):29-34,58.
WANG Chao-hui,WANG Xuan-cang.Interlayer position ascertainment based on fatigue life of asphalt overlay structure[J].China Journal of Highway and Transport,2008,28(1):29-34,58.

[7] 张俊豪.同步碎石封层技术在桥面防水结构层中的应用[J].山西交通科技,2008(2):65-66.
ZHANG Jun-hao.The application of synchronous macadam seal technique to water proof structure layer[J].Shanxi Science & Technology of Communications,2008(2):65-66.

[8] 邹 剑,蒋功雪.同步碎石封层技术在沥青路面预防性养护中的应用[J].湖南交通科技,2007,33(2):33-35.
ZOU Jian,JIANG Gong-xue.The application of synchronous pavement surface dressing technology in asphalt pavement[J].Hunan Communication Science and Technology,2007,33(2):33-35.