

文章编号: 0451-0712(2005)06-0174-08

中图分类号: U418.6

文献标识码: B

同步碎石封层技术研究及在公路养护中的应用

陈素丽¹, 许福文², 李桂芝¹

(1. 沈阳三鑫公路工程有限公司 沈阳市 110148; 2. 沈阳鑫通公路工程监理咨询有限公司 沈阳市 110148)

摘 要: 通过对同步碎石封层核心技术的探讨及研究以及对工程实体的路用性能检测, 阐述了同步碎石封层在我国北方地区推广应用的可行性, 为我国北方地区的公路养护提供了一种全新的养护方法。

关键词: 同步碎石封层; 材料选用; 封层路用性能

公路是国家现代化建设的重要基础设施, 而公路养护是保持路网完好、改善路网路用性能、延长路网使用寿命, 为经济建设提供良好服务的根本条件, 路面养护的重要性就在于既能保持道路的使用性能, 又能节省道路维修的成本。目前, 我国的公路养护部门大多还习惯采用传统的公路维修养护方法, 虽然已陆续出现了一些路用新材料、新技术、新工艺, 但仍不能满足公路养护工作日益增长的需求。因此, 引进、研究、开发新的公路预防性养护技术已迫在眉睫。沈阳三鑫公路工程公司引进国外已成熟的同步碎石封层技术, 并对该技术进行了大量的试验研究及路试工作, 取得了一定的成果。

在引进、消化吸收同步碎石封层技术的过程中, 经过调查研究, 结合北方地区公路、气候等特点, 我们研制了一种新的沥青添加剂, 并进行了大量的室内试验研究和试验路铺筑。研究表明, 该项技术具有较好的环境保护效果, 具有明显的经济效益和推广价值。

1 同步碎石封层技术简介

1.1 同步碎石封层

同步碎石封层是指用专用设备即同步碎石封层车将单一粒径的石料及沥青胶结料同时洒布在路面上, 在胶轮压路机或自然行车碾压下, 使胶结料与石料之间有最充分的表面接触, 以达到它们之间最大限度的粘结性, 从而形成保护原有路面的沥青碎石磨耗层。其核心技术主要有以下 3 方面: 一是路用材

料的选用; 二是施工用设备; 三是施工工艺。

1.2 同步碎石封层的工作原理

同步碎石封层的工作原理是利用专门的施工设备——同步碎石封层机, 将高温沥青(喷洒时热沥青的温度应达 160°C 以上)与洁净干燥的均匀石料几乎同时喷洒在路面上(图 1), 保证沥青与石料在最短的时间内完成结合, 并在外荷载作用下不断形成强度。此时沥青的结合温度在 120°C 以上, 并具有足够的粘结性; 同时, 由于流体沥青的表面张力, 使热沥青沿石料表面向上爬升, 爬升高度约为石料高度的 $2/3$ (图 2), 并在石料的表面形成一个半月面, 使石料被沥青裹覆的面积达约 70%, 保证了沥青与石料有足够的结合强度。为此, 提高沥青与集料的粘附性, 增加石料被沥青裹覆的面积, 是该项技术的关键。

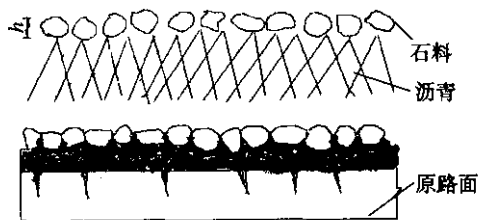


图 1 同步碎石封层的形成

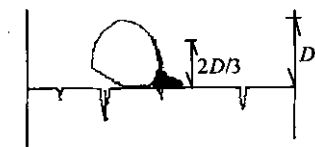


图 2

1.3 同步碎石封层的主要结构类型

同步碎石封层普遍采用开级配抗滑磨耗层进行路面养护。此种级配的石料中粗集料多,细集料少,其强度大小主要由石料本身的强度及材料间的相互嵌挤力所决定。根据原路面状况及铺筑后路面所要达到的路用性能的要求,同步碎石封层可选用不同的结构类型。按石料的粒径范围大小可分为细封层、粗封层、加粗封层 3 种类型。

1.3.1 细封层

石料的级配范围为 4~6 mm,石料的撒铺量为 4~6 m³/1 000 m²、碾压成型厚度为 5 mm 的碎石封层。

1.3.2 粗封层

石料的级配范围为 6~10 mm,石料的撒铺量为 7~9 m³/1 000 m²、碾压成型厚度为 8 mm 的碎石封层。

1.3.3 加粗封层

石料的级配范围为 10~14 mm,石料的撒铺量为 11~13 m³/1 000 m²、碾压成型厚度为 12 mm 的碎石封层。

1.4 同步碎石封层的主要适用范围

同步碎石封层养护技术适用于高速公路及一般

公路沥青混凝土路面的预防性养护,即在路基稳定、路面尚未出现严重病害之前,同时也是为了避免沥青性质明显老化所采取的一种养护措施。在这些路面上用沥青碎石进行封层,不但有利于填充和治愈路面的裂缝,还可以提高路面的密实性以及抗渗水、防滑、抗磨耗的性能,从而提高路面的服务能力,延长路面的使用寿命。此外,同步碎石封层还可用于半刚性基层的封层。

2 同步碎石封层材料的选用

同步碎石封层的核心技术主要是路用材料的选择。为此试验室进行了大量的试验工作,从诸多的路用材料中优选出最适合同步碎石封层的材料。

2.1 石料的选择

碎石封层所用粗集料技术要求与沥青混合料用石料基本相同,应洁净、干燥、无风化、无杂质,并具有足够的强度和耐磨耗性,且应具有良好的颗粒形状,目的是使石料具有凹凸不平的表面,用以增大石料的表面积,使石料与沥青的接触面积增大,同时沥青嵌入凹穴之中,固化后形成牢固的机械嵌锁力。表 1 是几种常见石料的主要特征。

表 1

石料名称		玄武岩	石灰岩	花岗岩
属性		基性喷出岩	碱性沉积岩	酸性深层侵入岩
主要矿物成分		斜长石、辉石	碳酸钙	主要为石英和正长石,其次有黑云母、角闪石和其他矿物
颜色		暗灰色或黑色	灰白色	肉红、浅灰、灰白色
抗压强度/MPa		120~250	80~100	120~250
表观密度/(kg/m ³)		2 900~3 300	2 600~2 800	2 500~2 800
主要性能	优点	结构致密,成柱状或球状节理;碱性石料,耐久性、耐磨性好	与沥青有很好的粘结性;耐冻性好,抗风化性强	孔隙率小,吸水率低,性质均匀坚固
	缺点	开采和轧制较为困难	质地较软,耐磨性较差,极易被磨光。	开采和轧制较为困难,石料显“脆性”

为了使同步碎石封层可用的石料多样化,确保同步碎石封层的质量,我们对以上三种石料的各项技术指标进行了检测。

2.1.1 石料的颗粒组成分析

同步碎石封层普遍采用断级配石料。根据路面状况及对路面防滑性能的要求不同可分为:2~4 mm、4~6 mm、6~10 mm、8~12 mm、10~14 mm。根据国外的成功经验,我们选用了不同产地、不同品种的粒径为 6~10 mm 的 9 种石料进行试验。筛分结果如表 2、图 3、表 3、图 4 所示。

表 2

筛孔尺寸/mm		6.3	8	10
标准通过率/%		1~15	30~70	85~99
玄武岩	铁 法	5.8	48.4	98.7
	班吉塔	16	79.3	99.7
	板石沟	18.3	74.1	99.7
	建 平	80.0	63.2	55.4
	北 宁	73	57.4	46.5
铁 岭		10.8	57.9	98.9

通过各种石料的力学性能及与沥青的粘附性测试结果表明,花岗岩不满足指标要求,不能用于同步碎石封层。

2.1.6 单位面积石料用量的确定

为了保证施工时石料能够均匀地满布在原路面上,防止出现“缺料露油”现象,要事先确定封层单位面积所用石料的数量。此项量测用仪器为一带有刻度的容量盒(如图 5 所示),将石料满铺在盒底面上后,把盒竖立,使石料堆集在一侧,通过读取盒盖上的数据,计算出单位面积上所用石料的体积及质量。试验室选用石料的单位面积用量见表 8。



图 5

表 8 单位面积石料用量

石料种类		玄武岩						石灰岩		花岗岩
		建平	北宁	铁法	班吉塔	铁岭	板石沟	辽阳市政	辽阳沙浒	盖州徐屯
实测值	L/m ²	7.3	6.3	7.3	6.5	6.5	6.4	6.7	6.2	6.5
	kg/m ²	8.7	8.6	9.2	8.1	8.3	8.2	7.9	7.6	9.9

从表 8 可以看出,同步碎石封层每 1 000 m² 石料用量大致在 6.5~7.5 m³。

通过对 9 种不同品种的石料进行各项试验,结果表明,大部分石料均能满足同步碎石封层的施工要求,而铁岭、铁法的玄武岩、辽阳的石灰岩的物理、力学指标更理想一些。

2.2 胶结料的选择

从同步碎石封层的原理可知,同步碎石封层用胶结料必须具有足够的粘结性,以保证一定的结合强度;胶结料要具有足够的爬升高度,以保证一定的裹覆面积;胶结料要具有较宽泛的适用性,以保证与不同石料的配伍性。为此,试验室从以上几方面入手,通过采取不同的方法来获取符合要求的封层用胶结料。

实验室从改善沥青的粘附性和提高沥青在石料表面的爬升高度入手,对沥青结合料进行了大量的试验研究。试验过程中,参照了国外同步碎石封层技术成功经验,通过加入不同的改性剂来改善沥青的粘附性,确保沥青与石料的牢固粘结;通过掺加不同的添加剂,来提高沥青的流动性,确保沥青在石料表面自由地展开,促进浸润,增大沥青与石料的接触面积。

根据同步碎石封层的技术要求和施工特点,我们选用了通过在基质沥青中加入添加剂的方法,使热沥青的针入度值达到 180~220(0.01 mm),来提高沥青的流动性。

2.2.1 高标号沥青的制备

我们选用了 I 号、Ⅱ号、Ⅲ号和Ⅳ号 4 种添加剂,并采用不同的剂量分别加入热沥青中,使其与基质沥青混合均匀,然后倒入试模,依据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)做针入度试验,从中选择出沥青针入度达到 180~220(0.01 mm)时所需的添加剂剂量,作为改性沥青的添加剂剂量。表 9~表 11 为各标号沥青加入不同剂量添加剂后实测的沥青针入度值。

表 9 90 号沥青加入添加剂后的针入度

添加剂	剂量/%	针入度(100 g, 25 ℃)/(0.01 mm)			优选方案
I	5	143	144	145	
	6	183	185	186	✓
Ⅱ	2.5	195	201	197	✓
	2	187	186	179	
	1.5	159	154	169	
Ⅲ	13	195	180	180	
	15	197	203	205	✓
Ⅳ	2.5	213	209	201	✓
	2	148	153	158	

为了测定加入添加剂后沥青的性质是否发生变化,我们将高标号沥青进行老化试验后,进行各项指标检测。结果显示,所用添加剂并不损坏原有沥青的性能。

表 10 110 号沥青加入添加剂后的针入度

添加剂	剂量/%	针入度(100 g, 25 ℃)/(0.01 mm)			优选方案
I	6	197	187	188	✓
II	3	252	235	244	
	2	197	197	207	✓
III	22	260	257		
	15	233	238	235	
	13	200	200	201	✓
IV	2	178	174	175	
	3	244	219	230	
	2.3	178	179	182	
	2.4	185	188	195	✓

表 11 130 号沥青加入添加剂后的针入度

添加剂	剂量/%	针入度(100g, 25 ℃)/(0.01mm)			优选方案
I	3.5	189	190	190	
	4	209	217	217	✓
	5.2	273	276	274	
II	2	244	247	248	
	1.5	172	175	174	
	2.5	211	215	209	✓
III	15	205	199	204	✓
IV	2.5	240	242	243	
	2.0	233	226	232	
	1.5	209	206	193	✓

2.2.2 沥青与石料的低温粘附性试验

由于辽宁省地处欧亚大陆东岸,地形较为复杂,有山地、平原、丘陵、沿海之别,省内各地气候也不尽相同。但总的气候特点是:寒冷期长,1 月平均气温除辽南沿海在-4~-9℃外,其他各地均在-10~-17℃。辽东山区的极端最低气温一般为-35~-41℃,大连地区在-25℃左右;其他地区在-25~-35℃之间。为此,沥青的低温粘附性指标就显得尤为重要。沥青的低温粘附性是指沥青在低温(-24℃)状态下与石料的粘附性能。通过对这一指标的控制,来筛选不同的沥青胶结料。沥青与石料的低温粘结性试验方法可参见《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》。

试验结果表明,单一的基质沥青、单一的高标号沥青的低温粘附性指标均不能满足要求。

(1)改性沥青的低温粘附性试验。

根据国外的成功经验,专家建议将试样在-25℃环境下放置 2 h 后进行该项试验,如果被击落的石子数量占总石子数量的百分率小于 10%,则证明沥青与该石料的低温粘附性好。

试验室采用不同品种、不同剂量的改性剂对不同标号的基质沥青进行改性后,进行低温粘附性能试验,试验结果如表 12 所示。

表 12 改性沥青低温粘附性试验

	掉粒数/%	试验温度/℃
90 号沥青+3%SBR	65	-25.5
90 号沥青+3%SBR(西北师大)	29	-26
90 号沥青+4%SBR	27	-25
90 号沥青+4%SBS	32	-25
110 号沥青+3%SBR	84	-24.5
110 号沥青+3%SBR(西北师大)	58	-25
110 号沥青+4%SBR	26	-25
110 号沥青+4%SBS	14	-25
130 号沥青+3%SBR	79	-25
130 号沥青+3%SBR(西北师大)	97	-26.5
130 号沥青+4%SBR	28	-25
130 号沥青+4%SBS	33	-25

从表 12 中数据可以看出,沥青改性后,虽然粘性增大,但由于其流动性降低,沥青与石料的裹覆面积减小,导致该项指标不满足要求。

(2)加入添加剂后改性沥青的低温粘附性试验。

为克服上述缺点,试验室在改性沥青中加入不同品种的添加剂,用同样的方法再进行低温粘附性试验,试验结果列于表 13。

表 13 加入添加剂后的 SBR 改性沥青低温试验

	掉粒数	试验温度	备注
	%	℃	
90 号沥青+6%添加剂 I+4%SBR	16	-24.1	表中试验温度为玻璃温度计的实测温度。
90 号沥青+2.5%添加剂 II+4%SBR	31	-24	
90 号沥青+15%添加剂 III+4%SBR	25	-24	
90 号沥青+2.5%添加剂 IV+4%SBR	24	-24	
110 号沥青+6%添加剂 I+4%SBR	54	-28	
110 号沥青+2%添加剂 II+4%SBR	34	-25	
110 号沥青+13%添加剂 III+4%SBR	49	-25	
110 号沥青+2.4%添加剂 IV+4%SBR	96	-25	
130 号沥青+4%添加剂 I+4%SBR	78	-26	
130 号沥青+2.5%添加剂 II+4%SBR	23	-25	
130 号沥青+15%添加剂 III+4%SBR	88	-25	
130 号沥青+1.5%添加剂 IV+4%SBR	89	-25	

表 13 中的数据显示,加入添加剂后的 SBR 改性沥青的低温粘附性仍然不符合要求。

表 14 中数据表明,加入添加剂后由 SBS 改性后的沥青的低温粘附性指标均合格,由此可以得出结论,加入添加剂后的 SBS 改性沥青可作为同步碎石封层的胶结料。

表 14 加入添加剂后的 SBS 改性沥青低温试验

	掉粒数/%	试验温度/℃
90 号沥青+6%添加剂 I+4%SBS	9	-24.1
90 号沥青+2.5%添加剂 II+4%SBS	6	-25
90 号沥青+15%添加剂 III+4%SBS	8	-24
90 号沥青+2.5%添加剂 IV+4%SBS	2	-24
110 号沥青+6%添加剂 I+4%SBS	9	-30
110 号沥青+2%添加剂 II+4%SBS	1	-25
110 号沥青+13%添加剂 III+4%SBS	8	-25
110 号沥青+2.4%添加剂 IV+4%SBS	0	-25
130 号沥青+4%添加剂 I+4%SBS	8	-25
130 号沥青+2.5%添加剂 II+4%SBS	2	-25
130 号沥青+15%添加剂 III+4%SBS	4	-25
130 号沥青+1.5%添加剂 IV+4%SBS	0	-25

2.2.3 不同施工温度下胶结料的选择

同步碎石封层在不同施工温度下胶结料的确定是通过胶结料的落摆锤试验来确定的。用低温粘附性合格的沥青做此试验,具体作法是将融化的沥青涂于两块试模上的锯齿处,然后将两块试模的锯齿

啮合在一起,在规定温度(30、40、50℃)下的烘箱中放置 2 h,取出试件立即放在固定铁板上,让摆锤从起点自由下落击打试模,记录摆针所指的角度 α ,然后将击出的试模再次放在铁板上,用同样的方法击打该试模,记录摆针所指的角度 α' 。通过公式 $C=0.965(\cos\alpha-\cos\alpha')$ 计算得出 C 值,具体数据(仅以 90 号高标号改性沥青为例)如表 15。

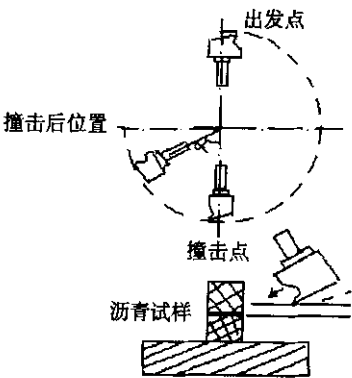


图 6 落摆锤试验原理

表 15

沥 青	添加剂		改性剂		试验温度 C	C 值	图 像
	品 种	剂量/%	品 种	剂量/%			
90 号	I	6	SBS	4	30	0.082	
					40	0.113	
					50	0.081	
	II	2.5	SBS	4	30	0.089	
					40	0.112	
					50	0.084	
	III	15	SBS	4	30	0.198	
					40	0.086	
					50	0.059	
	IV	2.5	SBS	4	30	0.163	
					40	0.086	
					50	0.121	

2.2.4 推荐的碎石封层胶结料

低温粘附性试验和落摆锤试验表明,每种基质沥青在不同温度下的粘附性是不同的,也就是说,不同沥青作为胶结材料进行路面施工时,其粘附性与施工温度有一定的关系。根据上述各试验数据,建议使用下面几种沥青作为碎石封层的胶结材料(见表16)。

3 试验路的实施及完成情况

为了对室内试验进行验证,我们选择了不同路况的3条路段进行封层试验。表17~表21是3条试验路的主要情况。

4 同步碎石封层的施工工艺

路况调查及路面病害处理→测量放样→装入石样、胶结料,设定施工参数→施工→碾压→开放交通。

表 16 推荐的改性沥青胶结料

沥 青	添 加 剂		改 性 剂		施 工 环 境 温 度 ℃
	品 种	剂 量 / %	品 种	剂 量 / %	
90 号	I	6.0	SBS	4	40
	Ⅱ	2.5			40
	Ⅲ	15.0			30
	Ⅳ	2.5			30
110 号	I	6.0	SBS	4	40
	Ⅱ	2.0			
	Ⅲ	13.0			
	Ⅳ	2.4			
130 号	I	4.0	SBS	4	50
	Ⅱ	2.5			50
	Ⅲ	15.0			30
	Ⅳ	1.5			40

表 17 3 条路段基本情况

路段名称	路段现状			
	等 级	长度/km	宽度/m	现 状
沟北线 K559+890~K561+890	一级	2	15	坑槽18 m ² 、沉陷814.5 m ² 、泛油29 m ² 、车辙10 m ² 、裂缝336 m,但该路的整体强度和稳定性较好。
沈盘线 K133+750~K135+250	一级	1.5	12	有轻微网裂,泛油较严重等病害,原路面整体强度和稳定性较好。
北闫线 K1+000~K4+000	县级路	3	7	原路面整体强度和稳定性较好

表 18 施工工艺参数

里程桩号	行驶速度/(km/h)	喷洒宽度/m	喷洒高度/cm	路面温度/℃	沥青温度/℃
沟北线 K559+890~K561+890	4.2	3.0	28	38	154
沈盘线 K133+750~K135+250	4.2	3.2	28	33	163
北闫线 K1+000~K3+500	4.2	2.5	28	31	143
北闫线 K3+500~K4+000	4.2	2.8	28	36	60

表 19 施工材料参数

里程桩号	石 料		胶 结 料	
	品种及产地	单位用量/(L/m ²)	品种	单位用量/(kg/m ²)
K559+890~K561+890	铁法玄武岩	6.5	改性沥青	1.0
K133+750~K135+250	铁法玄武岩	6.2	改性沥青	0.8
K1+000~K2+500	辽阳石灰岩	6.3	改性沥青	0.7
K2+500~K3+500	辽阳石灰岩	6.2	改性乳化沥青	0.85(折纯沥青)
K3+500~K4+000			乳化沥青	0.85(折纯沥青)

表 20 施工技术参数

里程桩号	粉尘率/%	细长扁平含量/%	压碎值/%	洛杉矶磨耗/%
沟北线 K559+890~K561+890	0.43	符合要求	13.9	17.6
沈盘线 K133+750~K135+250	0.4	符合要求	13.9	17.6
北闫线 K1+000~K3+500	0.4	符合要求	23.5	22.3
北闫线 K3+500~K4+000	0.4	符合要求	23.5	22.3

表 21 路用性能检测结果

路线名称	检测内容	检测标准	检测结果	
			旧路面	封层
沟北线 K559+890~ K561+890	平整度/mm	4.5	1.8	2.0
	构造深度/mm	≥0.55	0.4	1.15
	抗滑值(BPN)	≥45	35	50
	渗水系数(ml/min)	符合要求	0	0
	石料剥落度/%	≤10	—	2
沈盘线 K133+750~ K135+250	平整度/mm	4.5	1	2.9
	构造深度/mm	≥0.55	0.5	1.1
	抗滑值(BPN)	≥45	38	50
	渗水系数(ml/min)	符合要求	0	0
	石料剥落度/%	≤10	—	1
北闫线 K1+000~ K4+000	平整度/mm	4.5	1.6	2.2
	构造深度/mm	≥0.55	0.3	1.2
	抗滑值(BPN)	≥45	38	52
	渗水系数(ml/min)	符合要求	0	0
	石料剥落度/%	≤10	—	2

5 结论

- (1)同步碎石封层由于石料本身的级配,使得铺筑后的封层有良好的抗裂性能,减少了路面的反射裂缝,同时对原路的裂缝有一定的修复作用。
- (2)同步碎石封层表面粗糙,空隙较大,改善了原路面的防水、防滑性能。
- (3)降低道路的维修、养护成本,提高了公路路

面的使用功能及服务水平。

- (4)由于石料不规则的凸出棱角,使光线产生散光反射,减少了路面的镜面反射,降低了路面的反光特性,有效地保证了行车的安全性。
- (5)采用同步碎石封层技术,可以延长道路的使用寿命。
- (6)节省材料、设备成本,降低工程造价,提高施工效率。传统的热拌和沥青铺筑厚度一般在 4 cm 以上,沥青用量在 5 kg/m² 以上,而同步碎石封层的最大厚度也只有骨料的最大粒径,沥青用量约为 1 kg/m² 左右,预计成本在 13 元/m² 左右,工作效率为 10 000 m²/台班。
- (7)节省大量人力,减轻工人的劳动强度。由于同步碎石封层的施工工艺简单,在封层之前对原路面要进行认真清扫,第二次封层后最好也进行一次清扫,并用胶轮压路机碾压,防止行车后石子飞起,较常规养护方法减少了多道工序,从而减少了作业人员数量。同时,由于同步碎石封层设备的高精确度,也使得现场工人的劳动强度得以大大降低。
- (8)同步碎石封层施工完毕即可通车,但在 2 h 内最好限制车速,待 2 h 后可完全开放交通,这样不但缩短了施工工期,也缩短了封闭交通时间,提高了公路的运输效益。
- (9)由于沥青结合料实现了工厂化生产,石料本身也无须加热,这样可节省大量的能源消耗,减少了大量的废气,不但减少对现场施工人员的身体伤害,同时也减少了对大气的污染,真正做到了事半功倍。