

广东省新台高速公路  
[沥再生]<sup>TM</sup> 试验路  
检测报告



华南理工大学道路工程研究所

2006年9月6日

# 广东省新台高速公路

## [沥再生]<sup>TM</sup> 试验路

### 检测报告

项目负责人：王端宜

项目策划人：虞将苗

报告编写人：虞将苗，马林

报告审核人：王绍怀

检测人员：马林，姚 崑，张 荻，

陈晶磊，黎文华，熊颂华

华南理工大学道路工程研究所

2006年9月6日



# 目 录

1	试验路概况.....	1
2	试验路检测方案.....	2
2.1	现场试验 .....	2
2.2	试验室内试验.....	4
3	检测结果及分析.....	4
3.1	外观描述 .....	4
3.2	渗水试验结果.....	7
3.3	路面构造深度.....	11
3.3.1	铺砂法测定路面构造深度 .....	11
3.3.2	激光纹理仪测定构造深度 .....	11
3.4	摆式仪测定路面抗滑值 .....	18
3.5	芯样动态模量试验 .....	23
3.6	回收沥青性能评价 .....	26
3.6.1	回收沥青的三大指标试验 .....	26
3.6.2	AR2000 动态剪切评价.....	27
4	结论 .....	30

华南理工大学道路工程研究所于 2006 年 8 月 23 日对广东新台高速公路 RJSeal[沥再生]<sup>TM</sup> 预防性沥青路面养护再生密封剂（简称沥再生）试验路进行性能检测和评价。

## 1 试验路概况

新台高速公路沥再生试验段全长 500m，位于台山至新会方向 k24+000—k23+500 处的主车道及路肩，面积约 5000m<sup>2</sup>。原路面结构见图 1-1。本次检测的沥再生试验段于 2006 年 3 月初施工完毕，路面现状如图 1-2 所示。

行车道	路肩
上面层：AK-16A(4cm)	面层：AK-16A(4cm)
下面层：AC-25I(6cm)	基层 6%水泥稳定级配碎石（36cm）
基层：6%水泥稳定级配碎石（36cm）	
底基层：4%水泥稳定粒料（16~20cm）	

图 1-1 沥再生试验段原路面结构



图 1-2 沥再生试验段（图中颜色较深部分）

## 2 试验路检测方案

### 2.1 现场试验

#### 1. 交通要求

对沥再生试验路段及前后各 250 米非试验段的主车道和路肩实施交通封闭，以方便进行相关现场试验和路面芯样钻取等工作。

#### 2. 试验点布置

初定试验段及试验段前后各 250m 的主车道和路肩范围为现场检测试验区域，按长 50m×车道或路肩宽度的 1/3 细分试验区域，采用均匀布设方法设置试验点共 40 个，布置位置如图 2-1 所示（带“○”区域为试验点位置）。试验区域可分为四大区域：即非试验段主车道区域，非试验段路肩区域，试验段主车道区域，试验段路肩区域，各有测点 10 个，测点编号分别列于图 2-1 内。

#### 3. 试验内容

##### 1) 路面渗水试验

试验标准采用 JTJ 059-95 T0971-95，试验点布置如图 2-1 所示，共进行 40 次试验。通过对四大区域的渗水试验结果，即通过对使用沥再生路段与未使用路段，沥再生行车路段（主车道）与沥再生非行车路段（路肩）等不同区域的渗水结果的比较，从而评价沥再生材料改善路面渗水的能力。

##### 2) 路面抗滑试验

试验标准采用 JTJ 059-95 T0964-95，采用摆式摩擦系数测定仪测定路面抗滑值 BPN。试验点布置如图 2-1 所示，共进行 40 次试验。通过对四大区域的抗滑值试验，评价沥再生材料对路面抗滑值的影响。

##### 3) 铺砂法测定路面构造深度

试验标准采用 JTJ 059-95 T0961-95，试验点布置如图 2-1 所示，共进行 40 次试验。通过对四大区域的表面构造深度试验，评价沥再生材料对路面构造深度的影响。

##### 4) 激光纹理仪测定构造深度

试验标准采用 JTJ 059-95 T0963-95，沿主车道轮迹带、主车道中线位置、以及路肩位置（测试线路总长共 3km）分别进行激光纹理构造深度测定。铺砂法测

定面域构造深度，激光纹理仪测定线状构造深度。通过三条测定路线上的构造深度差别，评价沥再生材料对路面构造深度的影响。

	主车道			路肩		
非试验段 (250m)		○2-1			○5-1	
			○3-1			○6-1
	○1-1			○4-1		
		○2-2			○5-2	
			○3-2			○6-2
沥再生试验段 (500m)	○1-2			○4-2		
		○2-3			○5-3	
			○3-3			○6-3
	○1-3			○4-3		
		○2-4			○5-4	
			○3-4			○6-4
	○1-4			○4-4		
		○2-5			○5-5	
			○3-5			○6-5
	○1-5			○4-5		
非试验段 (250m)		○2-6			○5-6	
			○3-6			○6-6
	○1-6			○4-6		
		○2-7			○5-7	
			○3-7			○6-7

图 2-1 试验点布设示意图

#### 5) 现场取芯

采用取芯机对路面按图 2-1 测点要求，进行钻芯取样。取出的芯样用于实验

室内混合料力学性能评价以及沥青回收试验。由于沥青回收后要进行的相关沥青性能试验约需要沥青各 150g（包括沥再生改善后路段的回收沥青和未改善路段

的回收沥青)。因而需要钻取沥再生试验段内的芯样数目应不少于 20 个。初定沥再生试验段和非试验路段芯样各 20 个。

## 2.2 试验室内试验

### 1. 芯样动态模量试验

采用 COOPER NU-14 沥青混合料试验机，按美国 ASTM D4123 标准，对沥再生试验路段和非试验路段芯样分别进行 25℃ 试验温度下的动态模量试验，评价沥再生材料改善沥青混合料性能的能力。

### 2. 沥青回收试验

采用阿布森沥青回收方法，将芯样分两大类（试验段和非试验段）将沥青胶结料分别进行回收，各回收 150g 用于沥青性能评价试验。

### 3. 回收沥青性能评价试验

传统试验评价：三大指标（针入度、延度、和软化点）

AR2000 动态剪切评价：采用英国 AR2000 高级动态剪切流变仪，评价正常路面温度（约为 10~60℃）下的两种回收沥青的粘弹特性。评价不同温度下沥再生材料对沥青胶结料老化的影响。

## 3 检测结果及分析

### 3.1 外观描述

新台高速公路面层沥青混凝土路面水损害的现象比较严重，面层大量细集料被行车作用和雨水冲刷带走，面层表面集料剥落严重，面层表面空隙比较明显。日晒了沥再生的试验段，外观颜色较未日晒沥再生路面深，面层表面集料稳固，未见表面集料剥离的现象，基本封闭原面层表面明显空隙，表面外观效果对比见图 3-1~图 3-5。

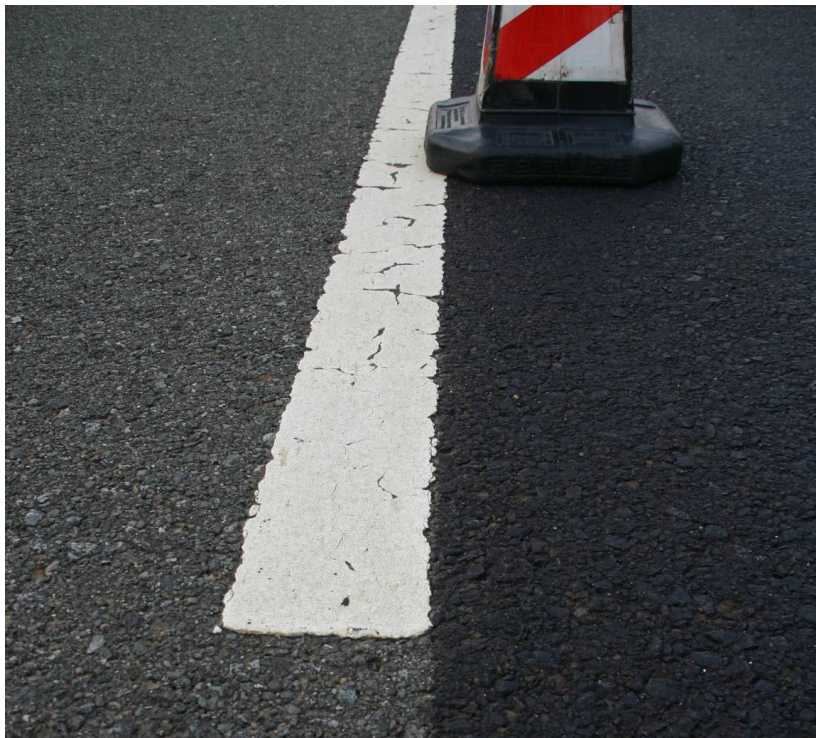


图 3-1 路面外观对比（右边颜色较深部分为沥再生试验段）



图 3-2 路面外观对比（左边为沥再生试验段）





图 3-3 原路面表面状态



图 3-4 沥再生试验段表面状态



图 3-5 路面芯样表面对比图

### 3.2 渗水试验结果

根据前述试验方案，采用路面渗水仪对四大区域的测点分别进行了沥青路面渗水试验，检测方法按照《公路路基路面现场测试规程》(JTJ 059—95)中“沥青路面渗水试验方法”(T 0971—95)，每个测点平行测定 3 次，取其平均值作为该测点区域的渗水试验的检测结果。本次检测过程中，考虑到行车对路面造成了一定的污染，泥尘杂质堵塞路面空隙，在试验前对测点处进行了清扫，尽量消除

路面污染对渗水试验的影响。试验中路面密封材料采用了黄油，边涂边用小铲压紧，使密封材料嵌满缝隙且牢固于路面上，同时将渗水试验仪底座用力压在路面密封材料上，这样确保了渗水试验仪底座具有很好的密水性。试验检测数据见下表。

根据渗水的试验检测数据分析可知，喷洒了沥再生的试验段的主车道除一个测点以外其他的测点渗水系数均为 0，基本不透水；沥再生试验段路肩的渗水系数平均值为 13.57；未喷洒沥再生的非试验段的的主车道和路肩的渗水系数分别为 111.15 和 79.47。可见沥再生试验段的渗水系数远小于非试验段的渗水系数，说明在试验段面层喷洒沥再生之后，达到了良好的封水效果，可以有效防止地表水下渗到试验路路面结构内部，可有效预防路面的水损害。渗水试验结果分别列于表 3-1 和表 3-2。



图 3-6 渗水测试现场

表 3-1 非试验段和试验段主车道渗水试验数据

非试验段主车道			试验段主车道		
序号	桩号	渗水系数 (mL/min)	序号	桩号	渗水系数 (mL/min)
1--1	K23+375	136.36	1--2	K23+525	0.00
1--6	K24+125	0.00	1--3	K23+675	0.00
2--1	K23+275	212.50	1--4	K23+825	0.00
2--2	K23+425	0.00	1--5	K23+975	103.11
2--6	K24+025	0.00	2--3	K23+575	0.00
2--7	K24+175	0.00	2--4	K23+725	0.00
3--1	K23+325	205.30	2--5	K23+875	0.00
3--2	K23+475	14.00	3--3	K23+625	0.00
3--6	K24+075	533.33	3--4	K23+775	0.00
3--7	K24+225	10.00	3--5	K23+925	0.00
平均值		<b>111.15</b>	平均值		<b>10.31</b>
标准差		<b>172.27</b>	标准差		<b>32.61</b>
变异系数		<b>1.55</b>	变异系数		<b>3.16</b>

表 3-2 非试验段和试验段路肩渗水试验数据

非试验段路肩			试验段路肩		
序号	桩号	渗水系数 (mL/min)	序号	桩号	渗水系数 (mL/min)
4--1	K23+375	48.00	4--2	K23+525	0.00
4--6	K24+125	0.00	4--3	K23+675	0.00
5--1	K23+275	158.90	4--4	K23+825	29.67
5--2	K23+425	90.33	4--5	K23+975	0.00
5--6	K24+025	0.00	5--3	K23+575	0.00
5--7	K24+175	31.67	5--4	K23+725	19.33
6--1	K23+325	206.50	5--5	K23+875	21.11
6--2	K23+475	129.33	6--3	K23+625	0.00
6--6	K24+075	33.33	6--4	K23+775	16.67
6--7	K24+225	96.67	6--5	K23+925	48.90
平均值		<b>79.47</b>	平均值		<b>13.57</b>
标准差		<b>69.43</b>	标准差		<b>16.76</b>
变异系数		<b>0.87</b>	变异系数		<b>1.24</b>

## 3.3 路面构造深度

### 3.3.1 铺砂法测定路面构造深度

根据前述试验方案，对四大区域的测点分别进行了手工铺砂法试验测定路面的构造深度，每个测点平行测定 3 次。试验数据见表 3-3~表 3-6。

四个检测区域的构造深度平均值分别为：非试验段主车道区域为 0.86，非试验段路肩区域为 0.79，试验段主车道区域为 0.82，试验段路肩区域为 0.75。可知试验段主车道和路肩喷洒了沥再生之后的构造深度和非试验段主车道和路肩相比非常接近，非试验段的构造深度平均值略高于沥再生试验段，其值均只相差 0.04mm。表明沥再生材料对试验路表面构造深度没有明显的改变。

### 3.3.2 激光纹理仪测定构造深度

根据试验方案分别沿主车道轮迹带、主车道中线位置、以及路肩位置（测试线路总长共 3km）分别采用激光纹理仪测定线状构造深度。根据激光纹理仪每 10m 测定的线状构造深度平均值绘制阴影图，见图 3-8。图中方块区域颜色是随着区域构造深度的增大而逐渐加深的，可直观表示三条测试线上的构造深度变化情况。从激光纹理仪测定线状构造深度的阴影图可知，激光纹理仪测定的构造深度结果与铺砂法测定结果基本一致，沥再生试验段的主车道和路肩的构造深度均只略小于非试验段，影响较为轻微。



图 3-7 激光纹理仪测定路面构造深度

表 3-3 非试验段主车道构造深度数据

非试验段主车道构造深度数据						
序号	测点编号	摊平砂的直径 D (mm)			TD	TD(平均值)
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	平均值 D		
1--1	1	200	194	198.17	0.82	0.81
	2	202	196		0.80	
	3	199	198		0.81	
1--6	1	205	195	197.00	0.80	0.82
	2	203	196		0.80	
	3	201	182		0.87	
2--1	1	205	200	197.83	0.78	0.81
	2	198	199		0.81	
	3	195	190		0.86	
2--2	1	186	179	193.33	0.96	0.86
	2	200	195		0.82	
	3	202	198		0.80	
2--6	1	179	177	194.67	1.00	0.85
	2	203	196		0.80	
	3	208	205		0.75	
2--7	1	208	203	195.67	0.75	0.83
	2	192	193		0.86	
	3	191	187		0.89	
3--1	1	175	160	183.00	1.13	0.96
	2	190	185		0.91	
	3	196	192		0.85	
3--2	1	198	190	192.17	0.85	0.86
	2	195	200		0.82	
	3	180	190		0.93	
3--6	1	212	213	209.33	0.70	0.73
	2	217	209		0.70	
	3	206	199		0.78	
3--7	1	167	159	174.67	1.20	1.05
	2	179	176		1.01	
	3	185	182		0.95	
平均值						<b>0.86</b>
标准差						<b>0.09</b>
变异系数						<b>0.10</b>

表 3-4 试验段主车道构造深度数据

试验段主车道构造深度数据						
序号	测点编号	摊平砂的直径 D (mm)			TD	TD(平均值)
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	平均值 D		
1--2	1	195	190	193.50	0.86	0.85
	2	175	205		0.88	
	3	196	200		0.81	
1--3	1	163	167	169.83	1.17	1.13
	2	193	185		0.89	
	3	129	182		1.32	
1--4	1	175	212	200.50	0.85	0.80
	2	197	227		0.71	
	3	193	199		0.83	
1--5	1	190	175	193.33	0.96	0.87
	2	215	215		0.69	
	3	198	167		0.96	
2--3	1	224	216	226.00	0.66	0.62
	2	222	226		0.63	
	3	231	237		0.58	
2--4	1	199	194	194.50	0.82	0.84
	2	192	193		0.86	
	3	197	192		0.84	
2--5	1	230	215	211.50	0.64	0.72
	2	210	222		0.68	
	3	194	198		0.83	
3--3	1	239	237	223.50	0.56	0.66
	2	192	193		0.86	
	3	240	240		0.55	
3--4	1	205	200	201.67	0.78	0.78
	2	203	210		0.75	
	3	193	199		0.83	
3--5	1	201	201	188.83	0.79	0.90
	2	172	181		1.02	
	3	173	205		0.89	
平均值						<b>0.82</b>
标准差						<b>0.14</b>
变异系数						<b>0.17</b>



表 3-5 非试验段路肩构造深度数据

非试验段路肩构造深度数据						
序号	测点 编号	摊平砂的直径 D (mm)			TD	TD(平均值)
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	平均值 D		
4--1	1	201.88	205.8	199.27	0.87	0.91
	2	196	197.96		0.93	
	3	198.94	195.02		0.93	
4--6	1	219.52	221.48	221.64	0.74	0.74
	2	233.24	229.32		0.68	
	3	214.62	211.68		0.79	
5--1	1	205.8	210.7	213.97	0.83	0.79
	2	215.6	227.36		0.74	
	3	211.68	212.66		0.80	
5--2	1	213.64	205.8	209.39	0.82	0.82
	2	210.7	212.66		0.81	
	3	207.76	205.8		0.84	
5--6	1	232.26	237.16	228.34	0.66	0.69
	2	234.22	227.36		0.68	
	3	221.48	217.56		0.75	
5--7	1	222.46	218.54	221.97	0.74	0.74
	2	215.6	213.64		0.78	
	3	235.2	226.38		0.68	
6--1	1	215.6	217.56	216.25	0.77	0.77
	2	211.68	213.64		0.80	
	3	218.54	220.5		0.75	
6--2	1	215.6	205.8	208.90	0.81	0.83
	2	220.5	209.72		0.78	
	3	205.8	196		0.89	
6--6	1	226.38	223.44	224.26	0.71	0.72
	2	228.34	220.5		0.72	
	3	225.4	221.48		0.72	
6--7	1	200.9	198.94	202.70	0.90	0.88
	2	211.68	209.72		0.81	
	3	199.92	195.02		0.93	
平均值						<b>0.79</b>
标准差						<b>0.07</b>
变异系数						<b>0.09</b>

表 3-6 试验段路肩构造深度数据

试验段路肩构造深度数据						
序号	测点编号	摊平砂的直径 D (mm)			TD	TD(平均值)
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	平均值 D		
4--2	1	190	179	209.50	0.94	0.74
	2	222	228		0.63	
	3	230	208		0.66	
4--3	1	213	203	204.00	0.74	0.77
	2	195	198		0.82	
	3	216	199		0.74	
4--4	1	190	206	201.17	0.81	0.79
	2	190	200		0.84	
	3	213	208		0.72	
4--5	1	195	186	193.00	0.88	0.86
	2	181	199		0.88	
	3	196	201		0.81	
5--3	1	236	239	227.67	0.56	0.62
	2	224	231		0.62	
	3	220	216		0.67	
5--4	1	194	195	200.00	0.84	0.80
	2	197	192		0.84	
	3	213	209		0.71	
5--5	1	205	210	205.00	0.74	0.76
	2	205	207		0.75	
	3	202	201		0.78	
6--3	1	220	226	218.00	0.64	0.67
	2	219	223		0.65	
	3	216	204		0.72	
6--4	1	203	212	210.00	0.74	0.72
	2	212	226		0.66	
	3	203	204		0.77	
6--5	1	213	198	198.17	0.75	0.81
	2	201	188		0.84	
	3	197	192		0.84	
平均值					<b>0.75</b>	
标准差					<b>0.07</b>	
变异系数					<b>0.09</b>	

	里程桩号	主车道轮迹带	主车道中线位置	路肩
非 试 验 段	k23+250	79	98	69
	k23+260	105	105	74
	k23+270	93	90	71
	k23+280	77	126	71
	k23+290	121	118	69
	k23+300	74	109	57
	k23+310	83	94	63
	k23+320	59	79	60
	k23+330	74	82	67
	k23+340	67	74	61
	k23+350	81	73	69
	k23+360	80	80	69
	k23+370	95	73	74
	k23+380	75	85	73
	k23+390	107	85	80
	k23+400	69	86	80
	k23+410	69	110	80
	k23+420	65	85	81
	k23+430	66	90	64
	k23+440	71	70	69
	k23+450	90	90	71
	k23+460	72	90	60
	k23+470	72	88	65
	k23+480	62	95	69
k23+490	67	88	56	
k23+500	69	73	64	
沥 再 生 试 验 段	k23+510	46	65	74
	k23+520	44	57	64
	k23+530	56	45	60
	k23+540	41	42	59
	k23+550	45	43	58
	k23+560	44	44	59
	k23+570	52	49	57
	k23+580	48	49	60
	k23+590	41	57	62
	k23+600	61	52	65
	k23+610	52	51	66
	k23+620	58	54	69
	k23+630	44	55	68
	k23+640	53	52	66

图 3-8 激光纹理仪构造深度阴影图

	里程桩号	主车道轮迹带	主车道中线位置	路肩
沥再生试验段	k23+650	66	44	65
	k23+660	77	66	66
	k23+670	69	72	64
	k23+680	76	89	68
	k23+690	48	73	65
	k23+700	52	68	69
	k23+710	56	52	60
	k23+720	52	57	71
	k23+730	54	54	68
	k23+740	53	66	71
	k23+750	56	53	64
	k23+760	54	59	68
	k23+770	46	50	63
	k23+780	52	56	67
	k23+790	69	46	65
	k23+800	49	63	65
	k23+810	49	52	60
	k23+820	54	48	55
	k23+830	52	45	60
	k23+840	52	61	62
	k23+850	45	53	56
	k23+860	45	51	53
	k23+870	50	53	54
	k23+880	60	53	64
	k23+890	51	51	66
	k23+900	54	52	60
	k23+910	67	55	62
	k23+920	62	64	56
	k23+930	53	54	53
	k23+940	58	60	54
	k23+950	54	53	64
	k23+960	53	61	66
k23+970	66	57	60	
k23+980	63	63	65	
k23+990	55	51	60	
k24+000	84	50	70	
非试验段	k24+010	66	101	77
	k24+020	58	87	71
	k24+030	62	67	68
	k24+040	71	60	64
	k24+050	80	77	57

图 3-8 激光纹理仪构造深度阴影图（续）

	里程桩号	主车道轮迹带	主车道中线位置	路肩
非 试 验 段	k24+060	52	83	63
	k24+070	55	78	58
	k24+080	54	55	66
	k24+090	54	64	65
	k24+100	57	58	60
	k24+110	62	77	70
	k24+120	68	66	65
	k24+130	62	69	60
	k24+140	61	80	58
	k24+150	66	64	70
	k24+160	62	69	66
	k24+170	58	61	62
	k24+180	57	61	58
	k24+190	66	61	60
	k24+200	59	72	58
	k24+210	62	76	60
	k24+220	60	73	64
	k24+230	72	83	70
k24+240	75	77	70	
k24+250	76	85	68	

注：图中构造深度数据单位为 0.01mm。

图 3-8 激光纹理仪构造深度阴影图（续）

### 3.4 摆式仪测定路面抗滑值

根据试验方案，采用摆式摩擦系数测定仪分别测定非试验段主车道区域，非试验段路肩区域，试验段主车道区域，试验段路肩区域路面的抗滑值，评价各个区域在潮湿状态下的抗滑能力，通过四个区域抗滑值的数据比较，评价沥再生材料对路面抗滑值的影响，检测数据见表 3-6~表 3-10。

根据检测数据分析表可知，试验段主车道区域和非试验段主车道区域路面的抗滑值的平均值分别为 50.73 和 65.87，试验段路肩区域和非试验段路肩区域的抗滑值的平均值分别为 57.09 和 70.00。依据《公路沥青路面设计规范 JTJ014-97》规定的高速公路沥青路面竣工后第一个夏季测定的路面抗滑摆值所应达到的最低限值 45，而未喷洒沥再生的非试验段，主车道和路肩的抗滑值分别达到 65.87 和 70.00，该指标远高于一般新建路面检测得到的抗滑值，分析原因可能是因为非试验段路面由于面层细集料流失以及沥青膜脱落而造成该指标的显著增长；而喷洒了沥再生的试验段主车道和路肩抗滑平均值分别为 50.73 和 57.09，但其抗

滑平均值均保持在 50 以上，可见喷洒沥再生之后试验段路面的抗滑能力均能够  
满足规范的抗滑标准，试验段路面依然保持良好的抗滑能力。

表 3-7 非试验段主车道抗滑值

编号	序号	温度	抗滑试验测定摆值 (BPN)						抗滑值的 温度 修正值	三点平 均值
			摆值 1	摆值 2	摆值 3	摆值 4	摆值 5	平均 值		
1--1	1	34	56	56	56	57	55	56	60	60.93
	2	34	55	56	57	58	57	56.6	60.6	
	3	34	57	58	58	58	60	58.2	62.2	
1--6	1	37	61	60	60	59	60	60	66	69.67
	2	37	61	59	59	62	62	60.6	66.6	
	3	37	72	71	69	69	71	70.4	76.4	
2--1	1	33	56	56	56	57	58	56.6	60.6	66.27
	2	33	65	64	65	65	65	64.8	68.8	
	3	33	64	65	66	66	66	65.4	69.4	
2--2	1	34	68	70	68	68	68	68.4	72.4	71.73
	2	34	66	66	67	69	68	67.2	71.2	
	3	34	67	67	68	68	68	67.6	71.6	
2--6	1	36	56	56	58	57	57	56.8	62.8	64.20
	2	37	61	62	60	60	60	60.6	66.6	
	3	38	57	58	57	57	57	57.2	63.2	
2--7	1	39	59	60	59	60	60	59.6	65.6	69.93
	2	39	70	72	73	72	70	71.4	77.4	
	3	38	60	60	62	61	61	60.8	66.8	
3--1	1	34	59	58	56	56	57	57.2	61.2	61.73
	2	34	59	58	57	58	58	58	62	
	3	34	59	57	58	58	58	58	62	
3--2	1	38	57	57	58	58	58	57.6	63.6	63.27
	2	38	55	57	57	57	58	56.8	62.8	
	3	38	56	56	58	58	59	57.4	63.4	
3--6	1	37	59	60	59	60	61	59.8	65.8	66.00
	2	37	60	61	60	60	60	60.2	66.2	
	3	37	60	60	61	60	59	60	66	
3--7	1	40	57	58	57	58	57	57.4	63.4	64.93
	2	39	64	65	64	66	63	64.4	70.4	
	3	39	54	53	55	56	57	55	61	
平均值									<b>65.87</b>	
标准差									<b>3.61</b>	
变异系数									<b>0.05</b>	

表 3-8 试验段主车道抗滑值

测点 编号	序 号	温 度	抗滑试验测定摆值 (BPN)						抗滑值的 温度 修正值	三点平 均值
			摆值 1	摆值 2	摆值 3	摆值 4	摆值 5	平均值		
1--2	1	39	44	43	43	43	43	43.2	49.2	50.33
	2	37	43	42	44	43	44	43.2	49.2	
	3	37	47	45	47	47	47	46.6	52.6	
1--3	1	34	50	48	50	51	51	50	55	51.73
	2	35	50	47	47	48	48	48	53	
	3	34	43	42	42	42	42	42.2	47.2	
1--4	1	38	52	51	51	51	51	51.2	57.2	53.07
	2	38	45	45	47	45	45	45.4	51.4	
	3	38	45	45	45	44	44	44.6	50.6	
1--5	1	50	44	43	42	42	40	42.2	49.2	49.67
	2	50	43	43	42	43	42	42.6	49.6	
	3	50	45	43	42	42	44	43.2	50.2	
2--3	1	37	44	44	44	44	43	43.8	49.8	52.27
	2	37	48	49	48	48	48	48.2	54.2	
	3	37	46	46	47	47	48	46.8	52.8	
2--4	1	36	43	43	42	42	43	42.6	48.6	49.13
	2	37	44	42	42	43	45	43.2	49.2	
	3	37	45	44	44	43	42	43.6	49.6	
2--5	1	40	42	40	40	42	43	41.4	47.4	50.40
	2	40	45	45	46	47	47	46	52	
	3	38	45	47	47	45	45	45.8	51.8	
3--3	1	39	43	43	42	42	44	42.8	48.8	49.20
	2	37	43	43	44	43	43	43.2	49.2	
	3	37	43	43	44	44	44	43.6	49.6	
3--4	1	38	48	47	47	47	47	47.2	53.2	51.33
	2	37	44	45	45	44	44	44.4	50.4	
	3	36	44	45	45	44	44	44.4	50.4	
3--5	1	37	49	47	45	48	47	47.2	53.2	50.20
	2	37	43	42	42	43	42	42.4	48.4	
	3	39	43	43	43	44	42	43	49	
平均值									<b>50.73</b>	
标准差									<b>1.32</b>	
变异系数									<b>0.03</b>	

表 3-9 非试验段路肩抗滑值

测点 编号	序 号	温 度	抗滑试验测定摆值 (BPN)						抗滑值的 温度 修正值	三点平 均值
			摆值 1	摆值 2	摆值 3	摆值 4	摆值 5	平均值		
4--1	1	35	49	49	49	49	49	49	55	55.40
	2	39	44	44	44	43	43	43.6	49.6	
	3	39	57	55	56	55	55	55.6	61.6	
4--6	1	37	72	72	72	74	74	72.8	78.8	77.00
	2	37	72	73	73	74	74	73.2	79.2	
	3	37	66	66	67	68	68	67	73	
5--1	1	33	64	64	66	66	67	65.4	69.4	69.53
	2	33	66	66	66	67	67	66.4	70.4	
	3	33	64	64	65	65	66	64.8	68.8	
5--2	1	34	72	73	74	74	75	73.6	77.6	74.33
	2	34	70	70	71	71	72	70.8	74.8	
	3	34	66	66	67	67	67	66.6	70.6	
5--6	1	36	66	66	66	67	67	66.4	72.4	71.67
	2	36	65	65	65	66	66	65.4	71.4	
	3	36	64	64	65	66	67	65.2	71.2	
5--7	1	36	61	62	63	64	65	63	69	72.60
	2	36	70	71	72	72	72	71.4	77.4	
	3	36	65	65	65	66	66	65.4	71.4	
6--1	1	32	66	66	66	67	67	66.4	70.4	70.33
	2	32	65	65	66	66	67	65.8	69.8	
	3	32	66	66	67	67	68	66.8	70.8	
6--2	1	36	58	58	58	59	59	58.4	64.4	64.33
	2	36	58	58	59	59	59	58.6	64.6	
	3	36	57	58	58	58	59	58	64	
6--6	1	36	68	68	69	68	69	68.5	74.5	73.25
	2	36	67	67	66	68	68	67.25	73.25	
	3	36	65	65	66	67	66	66	72	
6--7	1	39	60	60	62	63	63	62	68	71.58
	2	39	66	68	68	69	69	68.5	74.5	
	3	39	65	65	66	67	67	66.25	72.25	
平均值									<b>70.00</b>	
标准差									<b>6.11</b>	
变异系数									<b>0.09</b>	

表 3-10 试验段路肩抗滑值



测点 编号	序 号	温 度	抗滑试验测定摆值 (BPN)						抗滑值的 温度 修正值	三点平 均值
			摆值 1	摆值 2	摆值 3	摆值 4	摆值 5	平均值		
4--2	1	37	48	49	48	49	48	48.4	54.4	55.60
	2	37	45	44	44	43	45	44.2	50.2	
	3	38	56	57	57	55	56	56.2	62.2	
4--3	1	34	47	47	46	45	45	46	50	55.60
	2	34	57	58	56	57	55	56.6	60.6	
	3	34	52	52	52	52	53	52.2	56.2	
4--4	1	39	59	58	60	58	58	58.6	64.6	61.33
	2	39	49	52	52	49	52	50.8	56.8	
	3	39	57	57	57	55	57	56.6	62.6	
4--5	1	50	43	44	45	45	49	45.2	52.2	54.20
	2	50	51	49	49	49	48	49.2	56.2	
	3	50	49	47	47	47	46	47.2	54.2	
5--3	1	36	56	56	54	56	55	55.4	61.4	61.80
	2	36	55	55	56	56	55	55.4	61.4	
	3	36	56	56	57	57	57	56.6	62.6	
5--4	1	36	42	42	42	42	41	41.8	47.8	51.20
	2	36	44	46	44	44	43	44.2	50.2	
	3	36	49	50	51	49	49	49.6	55.6	
5--5	1	38	54	54	54	53	54	53.8	59.8	58.73
	2	39	55	55	54	53	54	54.2	60.2	
	3	39	49	51	51	51	49	50.2	56.2	
6--3	1	37	53	52	52	52	52	52.2	58.2	58.53
	2	37	52	52	52	53	53	52.4	58.4	
	3	37	53	53	53	52	54	53	59	
6--4	1	38	44	43	43	43	43	43.2	49.2	55.87
	2	38	53	53	54	53	53	53.2	59.2	
	3	38	53	53	53	53	54	53.2	59.2	
6--5	1	38	52	52	53	53	54	52.8	58.8	58.07
	2	38	49	48	49	49	48	48.6	54.6	
	3	38	54	54	55	55	56	54.8	60.8	
平均值									<b>57.09</b>	
标准差									<b>3.25</b>	
变异系数									<b>0.06</b>	

### 3.5 芯样动态模量试验

采用英国 COOPER NU-14 沥青混合料试验机，按美国 ASTM D4123 标准，对沥再生试验路段和非试验路段芯样分别进行 25℃ 试验温度下的动态模量试验，试验见下图。实验数据见表 3-11~表 3-12。

根据沥再生试验段芯样和非试验段芯样动态模量数据的统计分析结果可知，非试验段芯样的动态模量平均值为 4214MPa，沥再生试验段芯样的动态模量平均值为 4894MPa。试验段芯样动态模量较非试验段高 13.8%。分析主要原因可能是试验段由于喷洒了沥再生材料增强了粘附性，使得路表面细集料裹缚情况良好，而非试验段由于细集料流失严重，从而造成了两者之间在模量上的差异。



图 3-9 路面芯样的动态模量试验

表 3-11 非试验段芯样动态模量试验数据

编号		芯样直径 mm	高度 mm	试验温度 ℃	泊松比	动态模量 Mpa	动态模量 (平均值) Mpa
1-1	1	100	38	25	0.35	5885	5464
	2	100	38	25	0.35	5042	
2-1	1	100	43	25	0.35	5031	5264
	2	100	43	25	0.35	5497	
2-2	1	100	51	25	0.35	2429	2345
	2	100	51	25	0.35	2260	
3-1	1	100	43	25	0.35	4072	4047
	2	100	43	25	0.35	4022	
3-2	1	100	42	25	0.35	5324	5225
	2	100	42	25	0.35	5125	
4-1	2	100	56	25	0.35	3010	2912
	2	100	56	25	0.35	2813	
5-1	1	100	51	25	0.35	3463	3414
	2	100	51	25	0.35	3365	
5-2	1	100	40	25	0.35	5365	5393
	2	100	40	25	0.35	5420	
6-1	1	100	40	25	0.35	5242	5336
	2	100	40	25	0.35	5430	
6-2	1	100	57	25	0.35	4780	5033
	2	100	57	25	0.35	5286	
1-6	1	100	40	25	0.35	4332	4275
	2	100	40	25	0.35	4218	
2-6	1	100	44	25	0.35	5343	5388
	2	100	44	25	0.35	5433	
2-7	1	100	42	25	0.35	4789	4741
	2	100	42	25	0.35	4693	
3-6	1	100	42	25	0.35	3527	3736
	2	100	42	25	0.35	3945	
3-7	1	100	46	25	0.35	3774	3453
	2	100	46	25	0.35	3131	
4-6	1	100	49	25	0.35	4427	4456
	2	100	49	25	0.35	4485	
5-6	1	100	49	25	0.35	3849	3335
	2	100	49	25	0.35	2820	
5-7	1	100	52	25	0.35	2617	2580
	2	100	52	25	0.35	2543	
6-6	1	100	41	25	0.35	5560	5519
	2	100	41	25	0.35	5478	
6-7	1	100	43	25	0.35	2257	2360
	2	100	43	25	0.35	2463	
平均值							<b>4214</b>
标准差							<b>1123</b>
变异系数							<b>0.27</b>

表 3-12 试验段芯样动态模量试验数据

编号		芯样直径 mm	高度 mm	试验温度 ℃	泊松比	动态模量 Mpa	动态模量（平均 值）Mpa
1-2	1	100	47	25	0.35	3538	3643
	2	100	47	25	0.35	3747	
1-3	1	100	38	25	0.35	3366	3690
	2	100	38	25	0.35	4014	
1-4	1	100	38	25	0.35	4779	5228
	2	100	38	25	0.35	5677	
1-5	1	100	40	25	0.35	4712	5234
	2	100	40	25	0.35	5755	
2-3	1	100	39	25	0.35	5564	5647
	2	100	39	25	0.35	5729	
2-4	2	100	50	25	0.35	6780	6661
	2	100	50	25	0.35	6542	
2-5	1	100	37	25	0.35	6325	6370
	2	100	37	25	0.35	6414	
3-3	1	100	40	25	0.35	5936	5982
	2	100	40	25	0.35	6028	
3-4	1	100	45	25	0.35	4152	4342
	2	100	45	25	0.35	4531	
3-5	1	100	42	25	0.35	2791	2754
	2	100	42	25	0.35	2717	
4-2	1	100	46	25	0.35	5341	5720
	2	100	46	25	0.35	6098	
4-3	1	100	40	25	0.35	4766	4737
	2	100	40	25	0.35	4708	
4-4	1	100	54	25	0.35	3340	3454
	2	100	54	25	0.35	3567	
4-5	1	100	48	25	0.35	4253	5458
	2	100	48	25	0.35	6662	
5-3	1	100	42	25	0.35	5277	5634
	2	100	42	25	0.35	5990	
5-4	1	100	49	25	0.35	485	2175
	2	100	49	25	0.35	3864	
5-5	1	100	49	25	0.35	6587	6413
	2	100	49	25	0.35	6239	
6-3	1	100	40	25	0.35	5070	4777
	2	100	40	25	0.35	4483	
6-4	1	100	44	25	0.35	4029	5049
	2	100	44	25	0.35	6069	
6-5	1	100	43	25	0.35	5242	4915
	2	100	43	25	0.35	4588	
平均值							<b>4894</b>
标准差							<b>1226</b>
变异系数							<b>0.25</b>

### 3.6 回收沥青性能评价

采用阿布森法对沥再生试验段和非试验段的芯样分别进行了沥青回收试验，并回收得到的沥青进行了相关的性能评价，以评价试验段和非试验段沥青的老化状况。将路面取回的芯样分成两大类（沥再生试验段和非试验段）分别进行切割，切取表面 1cm 厚的试样，切割后的芯样见图 3-10。对切割后的芯样采用按下列步骤回收沥青：采用溶剂法（溶剂采用三氯乙烯溶液）进行抽提试验，然后提取沥青和三氯乙烯溶液，再采用阿布森法回收沥青。



图 3-10 试验段和非试验段芯样切取表面 1cm 后的试样

#### 3.6.1 回收沥青的三大指标试验

分别对沥再生试验段和非试验段的回收沥青进行沥青的常规指标（针入度、软化点和延度）试验，试验标准采用 JTJ 052-2000《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》，评价试验段和非试验段沥青老化程度。试验结果见表 3-13。

表 3-13 回收沥青的三大指标

回收沥青	针入度 (25℃) 0.1mm	软化点 ℃	延度 (15℃) cm
非试验段	22.3	65.7	2.3
沥再生试验段	37.1	54.1	40.8

从表中可以看出沥再生试验段回收的沥青相对非试验段回收的沥青针入度增大，软化点降低，延度有大幅度的提高。

### 3.6.2 AR2000 动态剪切评价

采用英国产的 AR2000 动态剪切流变仪评价沥再生试验段和非试验段回收沥青的流变性能，通过对沥青试样进行温度扫描，测定不同温度下沥青的复数剪切模量  $G^*$  和滞后角  $\delta$  分析沥青的粘弹特性，扫描的温度范围根据路面正常使用温度采用 10~60℃ 范围进行温度扫描。将非试验段回收沥青定为 1 号，沥再生试验段回收沥青定为 2 号。

复数模量  $G^*$  与沥青胶结料的老化程度存在一定的关系，通常沥青的老化程度越严重，则其复数模量则越大。不同试样的  $G^*$  的温度扫描数据见表 3-14，其数值随温度变化的对数坐标曲线如图 3-11 示。由图 3-11 可知，在试验温度范围内，沥再生试验段回收沥青（2 号）的复数模量要明显小于非试验段回收沥青（1 号）。表明沥再生材料对改善沥青胶结料的老化有明显的作用。

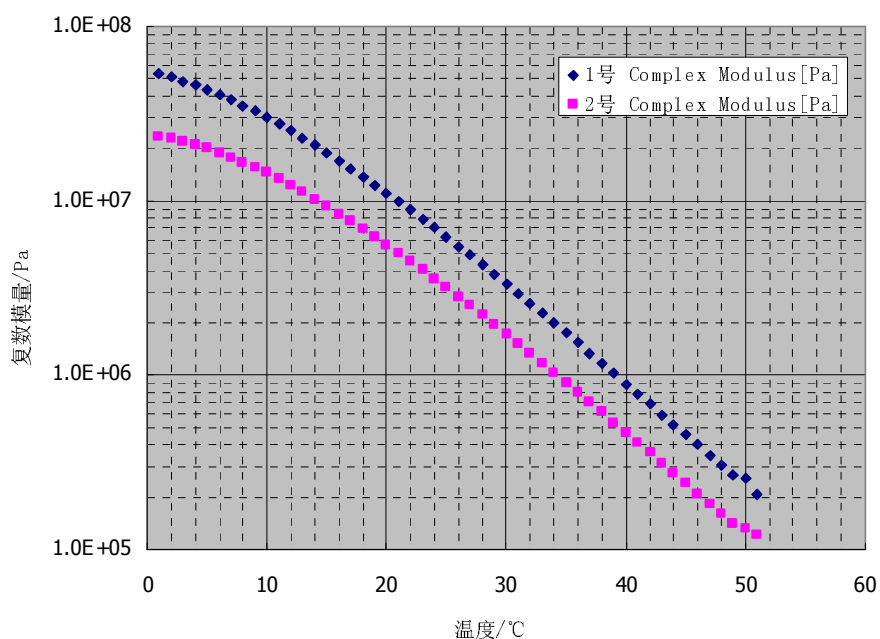


图 3-11 复数模量  $G^*$  随温度变化双对数坐标曲线图

表 3-14 复数模量  $G^*$  的温度扫描数据

	1 号	2 号		1 号	2 号
温度 ℃	复数模量 $G^*$ [Pa]	复数模量 $G^*$ [Pa]	温度 ℃	复数模量 $G^*$ [Pa]	复数模量 $G^*$ [Pa]
1	53,500,000	23450000	27	4,860,000	2500000
2	51,200,000	22750000	28	4,300,000	2215000
3	48,800,000	22000000	29	3,790,000	1955000
4	46,300,000	21100000	30	3,330,000	1730000
5	43,700,000	20150000	31	2,930,000	1520000
6	40,800,000	19050000	32	2,580,000	1340000
7	38,000,000	17850000	33	2,270,000	1180000
8	35,300,000	16700000	34	1,990,000	1035000
9	32,800,000	15600000	35	1,740,000	910000
10	30,100,000	14450000	36	1,530,000	800000
11	27,600,000	13300000	37	1,340,000	700000
12	25,200,000	12250000	38	1,170,000	610000
13	22,900,000	11200000	39	1,020,000	535000
14	20,800,000	10250000	40	895,000	468000
15	18,800,000	9300000	41	783,000	409000
16	16,900,000	8450000	42	684,000	357000
17	15,300,000	7650000	43	596,000	312000
18	13,700,000	6950000	44	523,000	273000
19	12,300,000	6250000	45	458,000	238000
20	11,100,000	5600000	46	399,000	208000
21	9,890,000	5050000	47	349,000	182000
22	8,830,000	4500000	48	306,000	159500
23	7,870,000	4020000	49	270,000	139500
24	7,010,000	3585000	50	258,000	133000
25	6,220,000	3185000	51	208,000	121500
26	5,510,000	2825000			

滞后角  $\delta$  值是沥青胶结料的弹性（可恢复部分）与粘性（不可恢复部分）成分的比例的指标。滞后角的大小与沥青胶结料的老化程度具有一定的关系，沥青

的老化程度越严重，其滞后角越小。不同试样的滞后角的 $\delta$ 温度扫描数据见表3-15，其值随温度变化的曲线如图3-12示。由图3-12可知，在试验温度范围内，沥再生试验段回收沥青（2号）的滞后角要明显大于非试验段回收沥青（1号）。同样表明沥再生材料对改善沥青胶结料的老化有明显的作用。

表 3-15 滞后角 $\delta$ 的温度扫描数据

	1号		2号			1号		2号	
温度 ℃	滞后角 $\delta$ 度	滞后角 $\delta$ 度			温度 ℃	滞后角 $\delta$ 度	滞后角 $\delta$ 度		
1	29.76956	39.38537			27	49.47946	61.54549		
2	30.19941	39.69688			28	50.4281	62.44806		
3	30.62553	40.00673			29	51.1155	63.61076		
4	31.04794	40.41726			30	52.21738	64.72881		
5	31.54992	40.87558			31	52.85331	65.80422		
6	32.16989	41.43067			32	53.67317	66.58397		
7	32.78154	42.12911			33	54.46232	67.58937		
8	33.4647	42.81858			34	55.40771	68.55728		
9	34.13727	43.5474			35	56.13282	69.71705		
10	34.8765	44.36109			36	57.00229	70.60677		
11	35.64052	45.2085			37	57.66981	71.46432		
12	36.42733	46.13319			38	58.47101	72.49327		
13	37.27113	47.04028			39	59.23728	73.85841		
14	38.13191	48.01802			40	59.6811	74.41807		
15	39.00747	49.01806			41	60.67282	75.3189		
16	39.86188	49.99581			42	61.47688	76.18174		
17	40.72845	50.99274			43	62.11666	77.16999		
18	41.6371	52.04637			44	62.85032	78.11		
19	42.52082	53.07314			45	63.54908	79.0049		
20	43.38024	54.11163			46	64.21519	79.85761		
21	44.27478	55.15943			47	64.9538	80.80269		
22	45.28505	56.25			48	65.55605	81.57294		
23	46.1233	57.30834			49	66.31791	82.54689		
24	46.9368	58.33542			50	66.50143	82.66459		
25	47.72631	59.3322			51	68.19859	83.12679		
26	48.74299	60.61574							



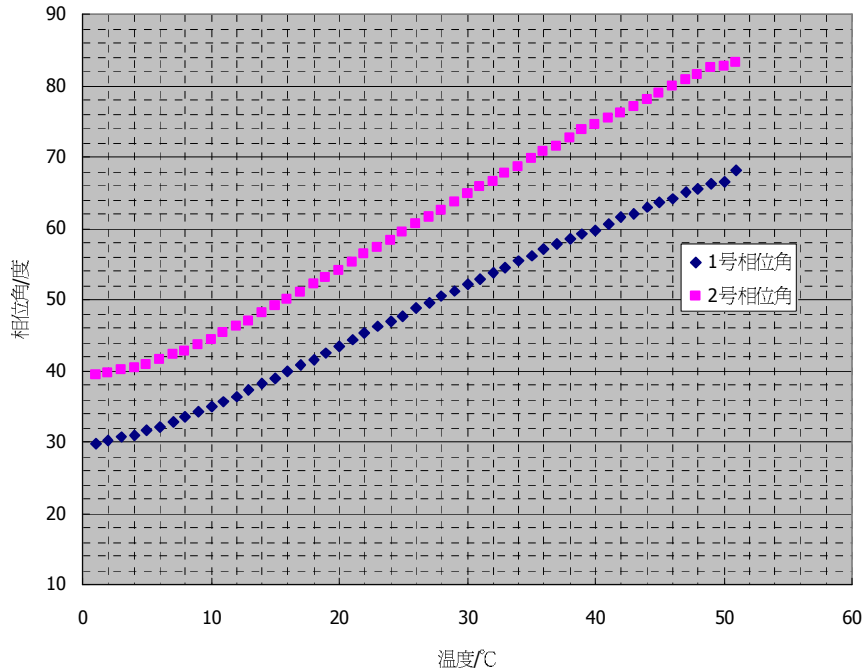


图 3-12 滞后角随温度变化的双对数坐标曲线如图

## 4 结论

- 1) 非试验段面层表面集料剥落严重，面层大量细集料被行车作用和雨水冲刷带走，面层表面空隙比较明显。喷洒了沥再生的试验段，外观颜色较未喷洒沥再生路面深，面层表面集料稳固，未见表面集料剥落的现象，基本封闭原面层表面明显空隙。
- 2) 沥再生试验段的渗水系数远小于非试验段的渗水系数，说明在试验段面层喷洒沥再生之后，达到了良好的封水效果，可以有效防止地表水下渗到试验路路面结构内部，达到预防路面水损害的功能。
- 3) 沥再生试验段主车道和路肩喷洒了沥再生之后的构造深度和非试验段主车道和路肩相比非常接近，非试验段的构造深度平均值略高于沥再生试验段，其值只相差 0.04mm，表明喷洒沥再生材料对路面构造深度指标没有显著影响。

- 4) 激光纹理仪测定线状构造深度的阴影图表明激光纹理仪测定的构造深度结果与铺砂法测定结果基本一致，沥再生试验段的主车道和路肩的构造深度均只略小于非试验段，影响较为轻微。
- 5) 喷洒了沥再生的试验段主车道和路肩抗滑平均值均大于 50，可见喷洒沥再生之后试验段路面的抗滑能力均满足规范的抗滑标准，试验段路面依然保持良好的抗滑能力。
- 6) 沥再生试验段回收的沥青相对非试验段回收的沥青针入度增大，软化点降低，延度有大幅度的提高，表明试验段沥青胶结料的老化性能得到明显改善。
- 7) 沥再生试验段回收的沥青相对于非试验段回收的沥青复数模量  $G^*$  减小，滞后角  $\delta$  增大，原沥青胶结料的老化程度得到了改善。