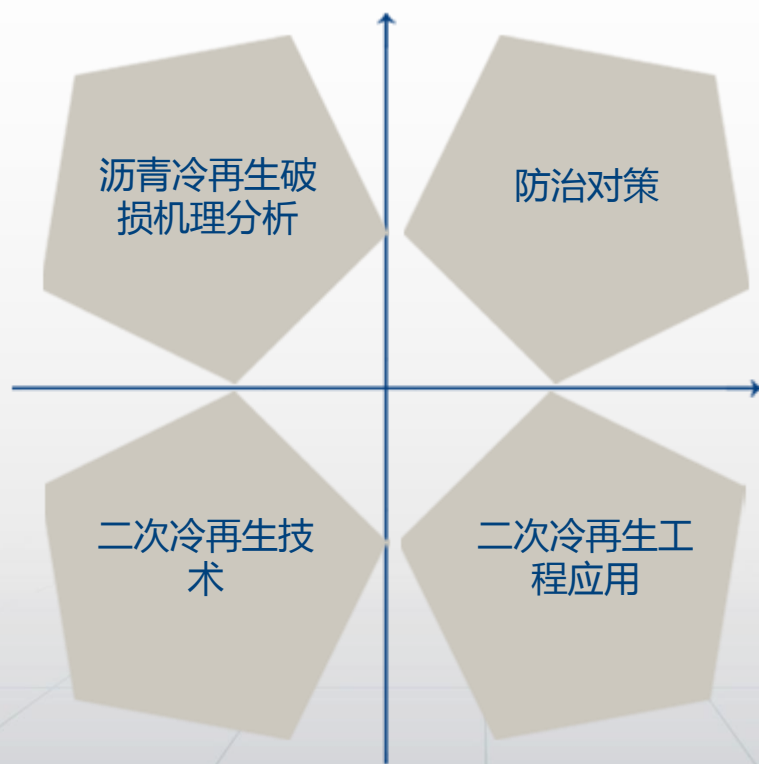


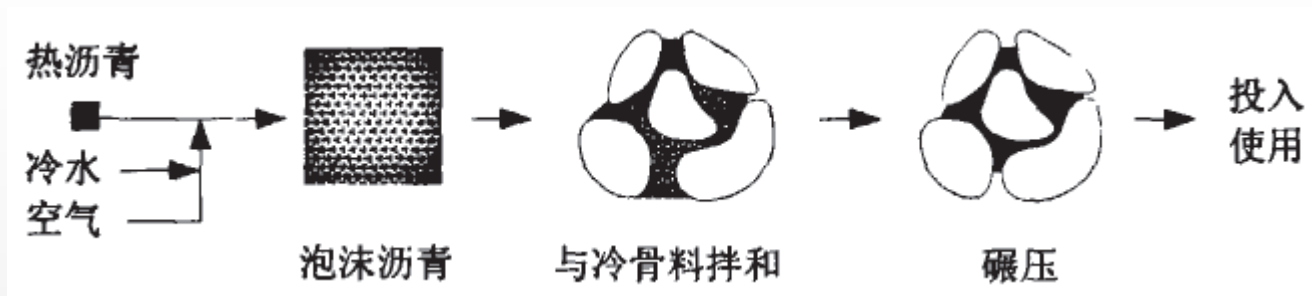
冷再生路面病害防治对策与 二次冷再生技术



汇报人：拾方治

2016.11.16 安徽 合肥





将水注入高温沥青中，水与高温沥青发生热量交换，沥青产生大量泡沫并急剧膨胀，处于泡沫状态的沥青与高速搅拌状态下的细集料相粘结形成沥青胶浆，再以点焊的形式与粗集料粘结，形成泡沫沥青冷再生混合料的初期强度。

冷再生路面病害



车辙



水损害



裂缝



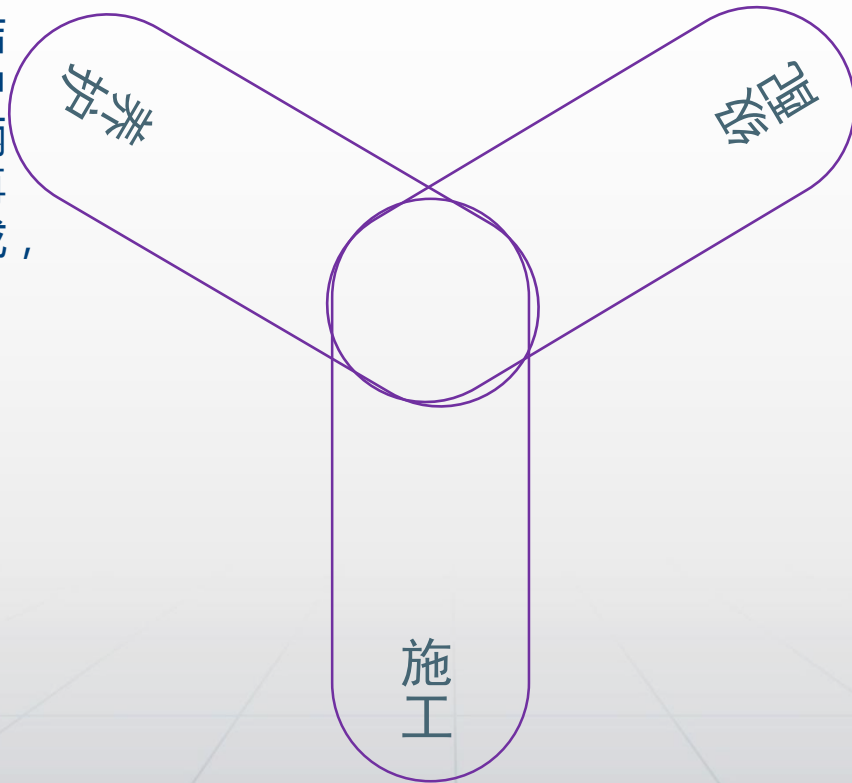
网裂与沉陷



坑槽与松散

产生车辙的主要原因

1.再生层过早的开放交通，沥青胶浆粘结强度较低，混合料中含水量较高，在车辆荷载作用下，影响再生混合料强度的形成，产生推挤变形。



2.级配偏细，缺少骨料或沥青偏多，导致再生混合料高温稳定性差，易产生失稳性车辙。

3.局部压实度不足，在荷载作用下易产生压密性车辙；水泥扬尘现象会导致水泥用量达不到设计要求，影响早期强度。



1.内在因素：

集料特性

级配

沥青

铣刨料

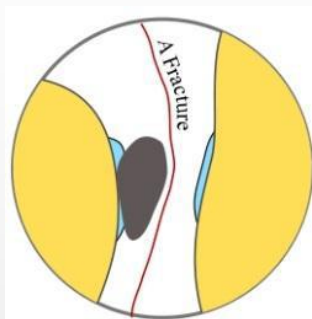
结构组成

2.外在因素：

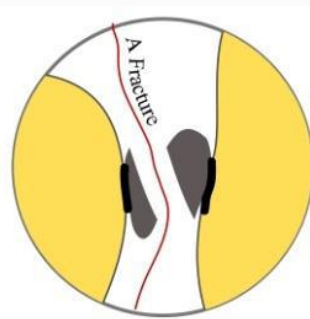
气候条件

交通条件

泡沫沥青冷再生混合料在水的长期浸泡作用下受到外力的作用，将会产生两种不同状态的破坏模式。



破坏模式一：出现于泡沫沥青胶结剂与骨料颗粒没有充分结合的部位。



破坏模式二：出现于泡沫沥青与细料形成的“玛蹄脂”部位。

水进入泡沫沥青冷再生混合料中，在水的长期浸泡及外力荷载反复作用下，均会导致泡沫沥青再生混合料内部产生破坏，从而发展至整个路面结构。

长时间的交通荷载作用使得再生层底长时间承受较大的弯拉应力，从而产生疲劳开裂，并且发展成为网裂，再生层整体强度丧失，最终形成沉陷。

产生网裂与沉陷的主要原因：

- 1 泡沫沥青冷再生基层材料模量相对小，板体性不强。
- 2 原路面路基强度不足，当路基失稳后会产生沉陷变形。

- 1 再生混合料的间接抗拉强度偏小；
- 2 再生混合料级配设计不合理，水泥掺入量过多，再生层出现干缩开裂；
- 3 再生层厚度或沥青面层厚度不足。

泡沫沥青冷再生层作为路面结构中的柔性结构层，其常用的结构厚度推荐及下承层强度要求见表5。当下承层不满足设计承载力要求时，必须进行补强处理。

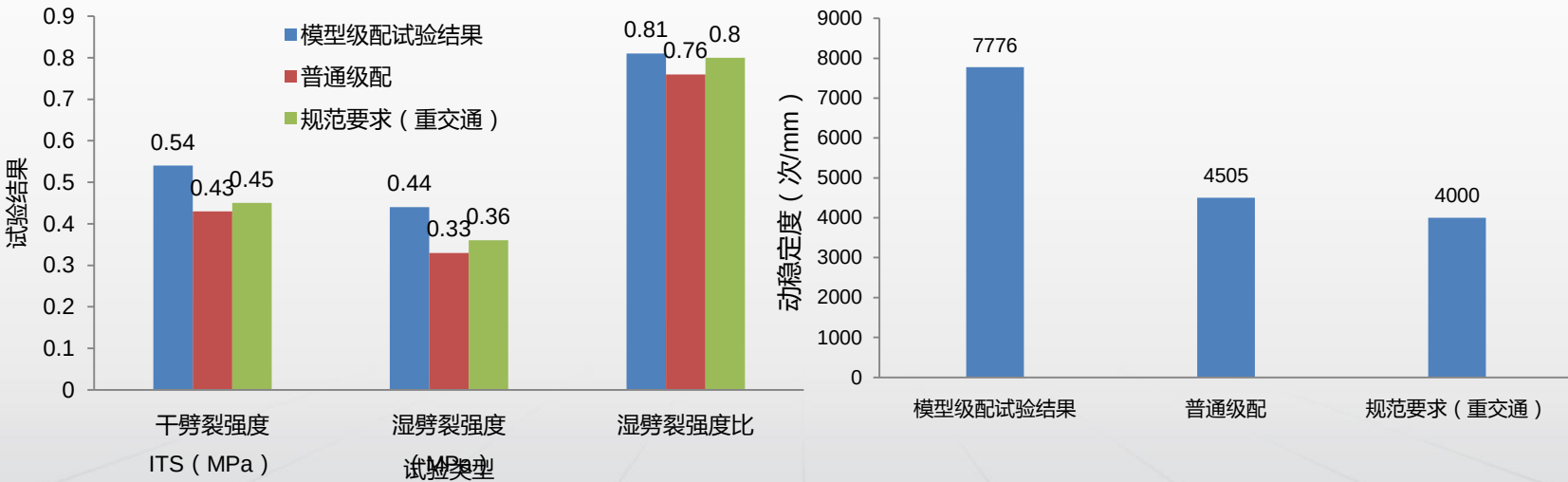
泡沫沥青冷再生路面常用结构厚度及下承层承载力要求

交通等级	特重交通	重交通	中等交通	轻交通
沥青面层总厚度(cm)	10~18	6~12	4~10	2~5
泡沫沥青再生层厚度（cm）	12~25	12~20	12~18	12~15
下承层强度 σ_c (MPa)	≥ 250	≥ 200	≥ 150	≥ 100

注：交通等级应按照DB 33/T 896的规定进行划分。



双曲线断级配模型



骨架密实型级配

混合料物理力学性能试验结果

	理论最大 相对密度	毛体积密度	空隙率	干劈裂强 度(MPa)	湿劈裂强 度(MPa)	干湿劈裂 强度比	马歇尔稳 定度(kN)	流值(mm)
试验值	2.315	2.1899	5.4%	0.53	0.44	81.5%	9.4	2.72
规范值	—	—	—	0.45	0.36	80%	6.0	1.5~4.5

混合料车辙试验结果

	试件1	试件2	试件3	试件4
45min时位移d1 (mm)	0.978	1.188	1.622	1.611
60min时位移d2 (mm)	1.046	1.29	1.714	1.705
动稳定度DS(次/mm)	9264	6176	6847	6702



优化后级配范围

筛孔(mm)	各筛孔的通过率（%）		
	A	B	C
31.5	100	100	100
26.5	75~100	75~100	75~100
19	65~90	65~95	65~95
16	55~80	55~85	55~90
13.2	45~60	40~75	40~85
9.5	35~50	30~60	30~75
4.75	25~45	25~55	25~60
2.36	20~35	20~40	20~50
1.18	15~30	15~35	15~40
0.6	12~22	12~28	12~32
0.3	7~18	7~22	7~25
0.15	5~12	5~15	5~20
0.075	3~8	3~12	3~15



Honeywell添加剂外观为白色粉末，常温下为固态，当温度高于115°C时呈液态，相对分子质量在5000~15000之间。在沥青中加入Honeywell添加剂可有效提高沥青的高温等级，改善沥青混合料的高温稳定性。

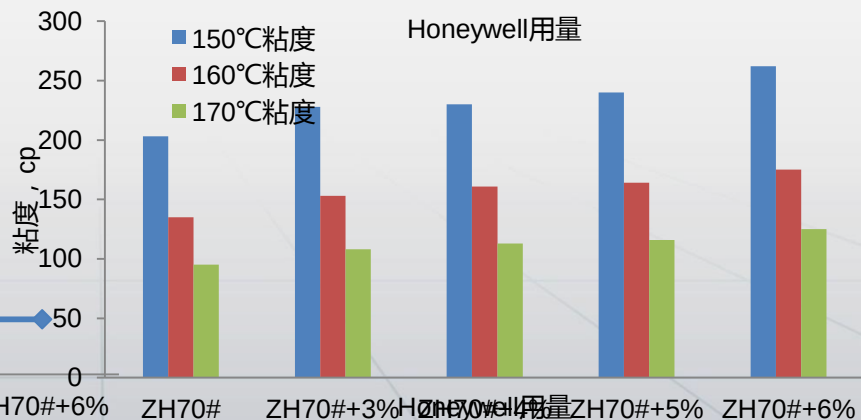
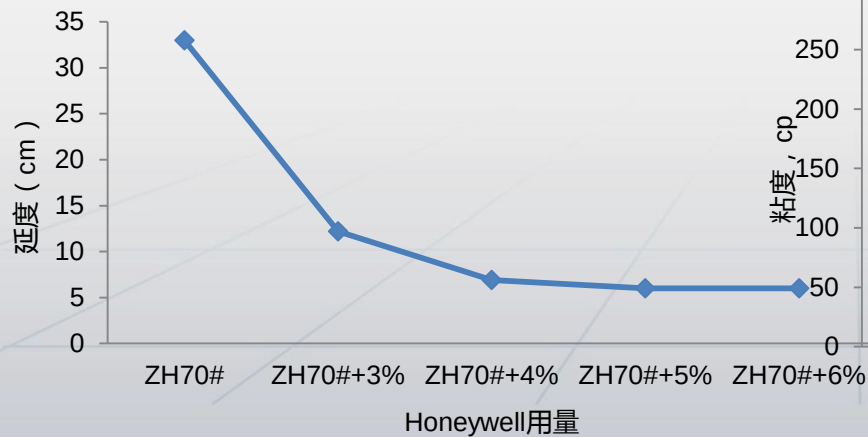
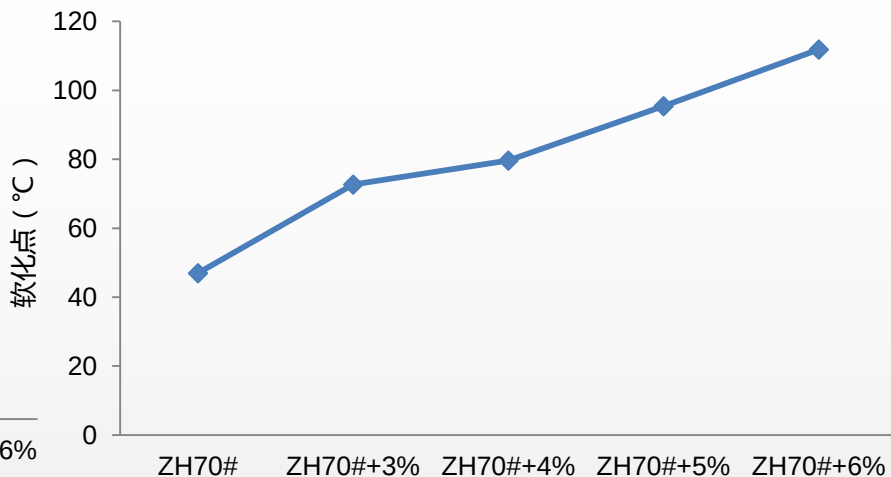
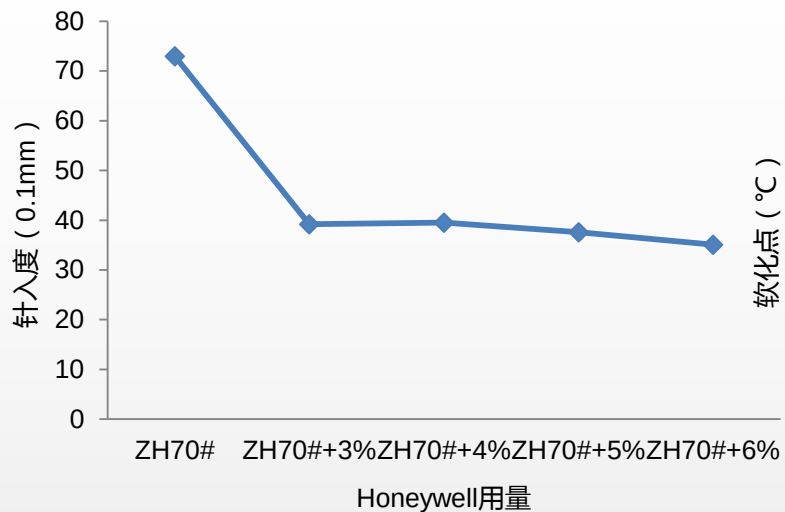


ZH70#+3%Hon 0.5小时 (200倍)



ZH70#+3%Hon 1.0小时 (200倍)

防治对策-改性沥青发泡



复合改性沥青发泡效果

沥青种类	发泡温度 (°C)	用水量 (%)	膨胀率	半衰期 (s)
ZH 70#	160	2.5	18	10.0
ZH70#+ 3%HON 7686	160	3.0	20	8.3
	160	2.5	15	8.5
	160	2.0	12	9.3
	170	2.5	18	8.0
ZH70#+ 6%HON 7686	160	2.5	15	8.8
指标要求			>10	>8



复合改性泡沫沥青混合料试验结果

沥青类型	ZH70#	ZH70#+ 6%7686	ZH70#+3%7686 +3%7183	ZH70#+ 3%7686 +3%7287	ZH70#+ 1.5%7686+ 4.5%7183	ZH70#+ 1.5%7686+ 4.5%7885
粘度 @160c (cp)	135	175	141	146	135	116
干劈强度 (MPa)	0.48	0.41	0.51	0.54	0.56	0.54
干湿劈裂 强度比(%)	77.5	89.0	88.5	77.8	75.0	75.0
动稳定度 (次 / m m)	3044	6019	6966	3234	3929	3619

注：混合料组成， 80%RAP+ 11%（15-25mm）新料+ 9%（0-5mm）新料。用水量为4.0%，
沥青用量为2.5%。



混合料性能指标要求

类别	技术参数	特重交通	重交通	中等交通	轻交通
马歇尔试验	稳定度（KN）（60℃）	≥6.0	≥6.0	≥5.0	≥5.0
	流值（mm）	1.5～3.0	1.5～3.5	1.5～3.5	1.5～4.0
强度	劈裂强度ITS（MPa）（25℃）	≥0.45	≥0.40	≥0.35	≥0.30
	无侧限抗压强度UCS（MPa）（20℃）	≥1.6	≥1.4	≥1.2	≥1.0
水稳性	干湿劈裂强度比ITSR	≥0.80	≥0.75	≥0.75	≥0.70
车辙试验	动稳定度DS（次/mm）（60℃）	≥5000	≥4000	≥3000	-



厂拌冷再生施工工艺：

- 1.超粒径颗粒影响再生混合料的水稳定性与高温稳定性，可增添二次破碎及筛分设备；
- 2.拌和场地有合理的排水、防雨设施，各种集料分类堆放；
- 3.拌和、运输过程中应严禁离析现象。

就地冷再生施工工艺：

- 1.应使用摊铺机或石料撒布车添加新料，避免产生离析；
- 2.加强就地拌和的均匀性，避免含水量变化引起离析；
- 3.加强整平工艺，加大对压实度的检测。

结束养生条件：

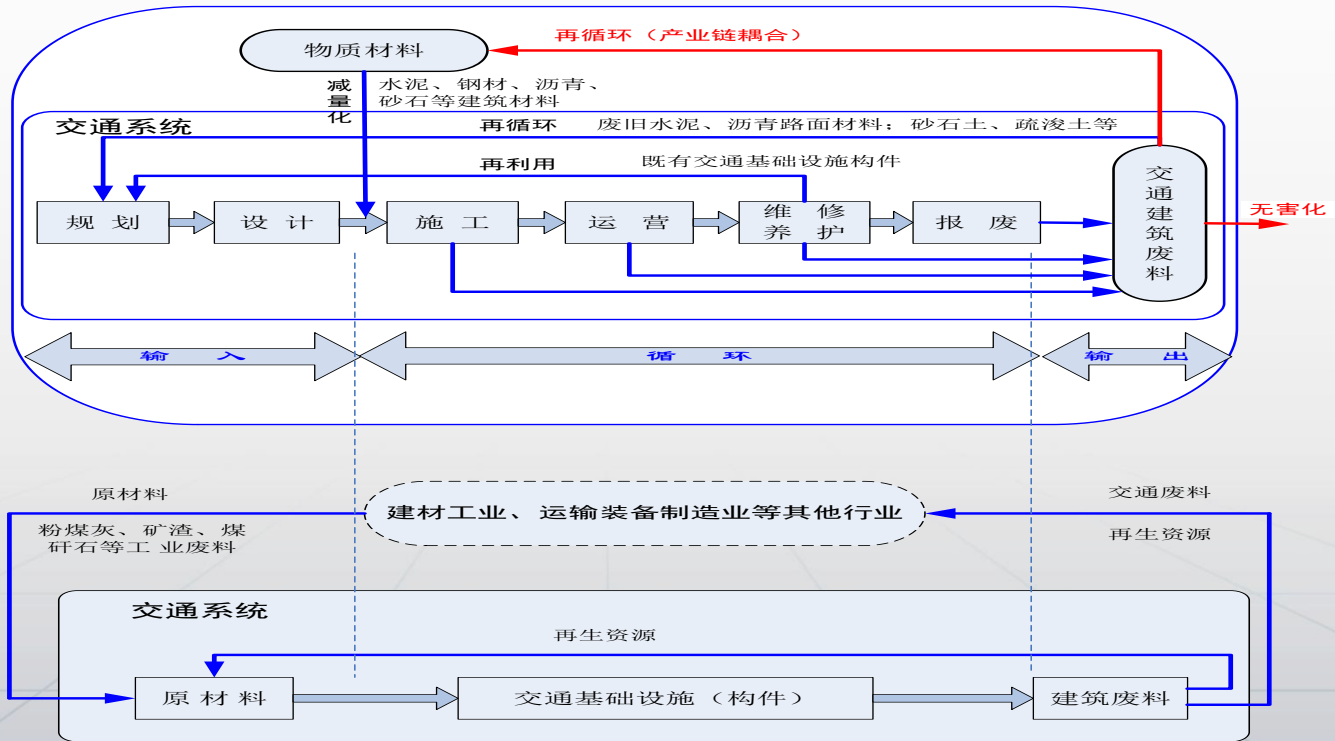
- 1.泡沫沥青冷再生层能够取出完整的芯样；
- 2.泡沫沥青冷再生层含水率低于2%。

泡沫沥青冷再生技术自2005年开始在我国推广应用，通过近10年的应用，有不少的道路使用了这项技术，并在人员、设备和技术等做了储备，积累了丰富的经验。因此在其中一些泡沫沥青冷再生路面面临再次维修的情形下，提出能否继续使用泡沫沥青冷再生技术对原先的泡沫沥青冷再生材料进行二次再生的问题也就显得非常必要。



二次冷再生背景

据《西部地区公路水路建设应用材料循环利用研究》中提出，应充分利用交通建设废物中含有大量砂石的特点，使交通建设重新进入自然生态系统的物质和能量循环之中，从而形成自然生态系统层面上的“大循环”。



宏观认识：二次再生回收料中，包括沥青面层铣刨料、一次再生基层铣刨料以及其他类型基层材料。不同粒径大小的铣刨料表面结构与性能不同，对再生后的混合料性能将产生影响。根据表观状态上将4.75mm以上的铣刨料粗颗粒分为4类：表面无明显沥青黏附集料颗粒（见图2-1）、表面部分沥青粘结颗粒（见图2-2）、粘结块状颗粒（见图2-3）及直径超过37.5mm巨大粘结块料（见图2-4）。



单独集料颗粒



表面部分粘结颗粒



粘结块料



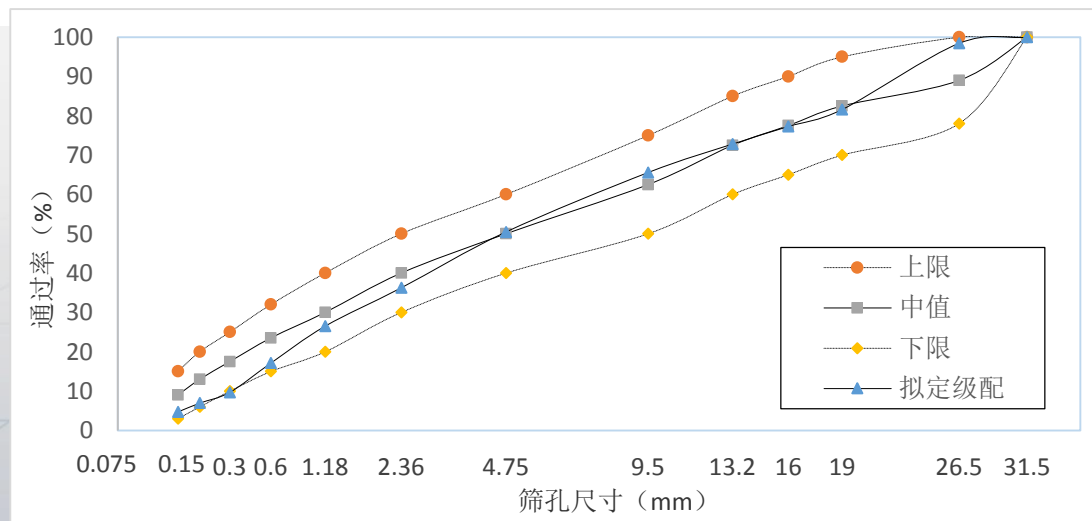
巨粒粘结块料

试验研究：为了进一步分析上述粗铣刨料特性，开展新料替换部分铣刨料颗粒试验研究。试验方案将铣刨料粗粒分为4.75-9.5mm、9.5mm以上两档，分别用相同粒径的碎石替换这两档粗料，具体为：

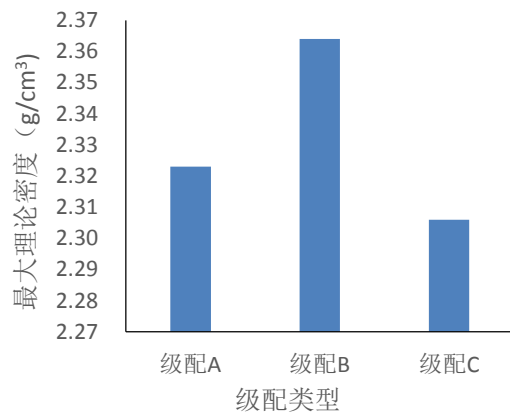
级配A: 65%铣刨料（铣刨料中4.75-9.5mm粒径颗粒替换）+15%碎石+18%石屑+2.0%水泥

级配B: 65%铣刨料（铣刨料中9.5mm以上粒径颗粒替换）+15%碎石+18%石屑+2.0%水泥

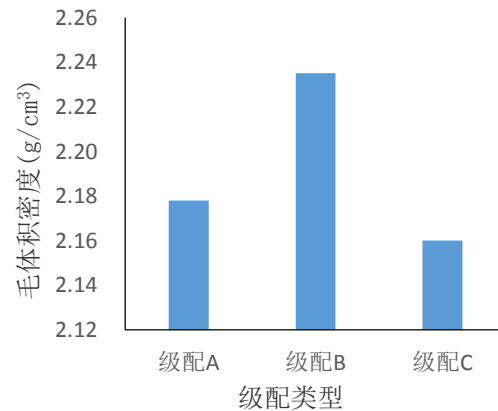
级配C: 65%铣刨料（无替换粒径颗粒）+15%碎石+18%石屑+2.0%水泥



试验结果：

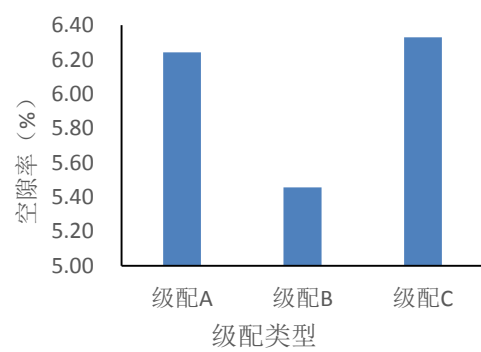


最大理论密度差异

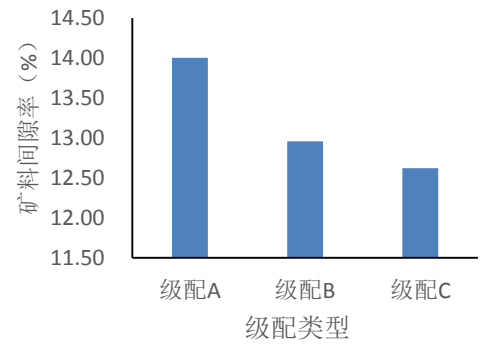


毛体积密度差异

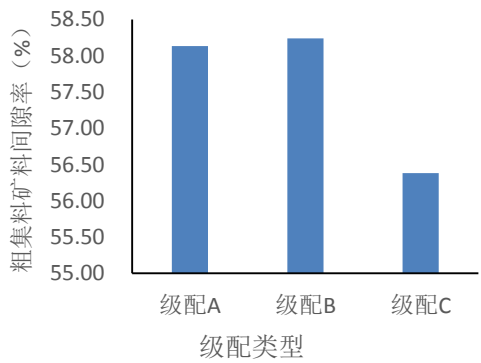
试验结果及分析：



空隙率差异



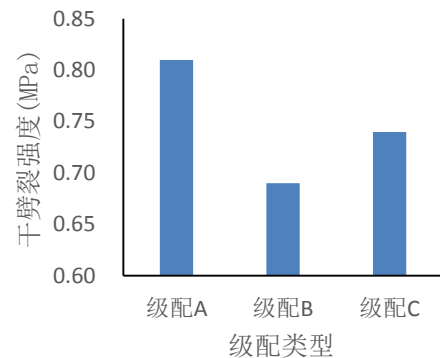
矿料间隙率差异



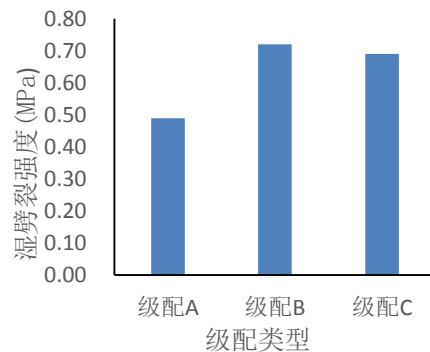
粗集料矿料间隙率差异



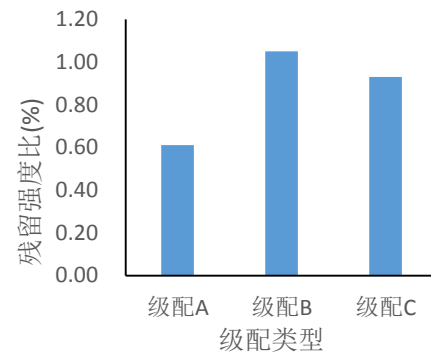
试验结果及分析：



干劈裂强度差异



湿劈裂强度差异



残留强度比

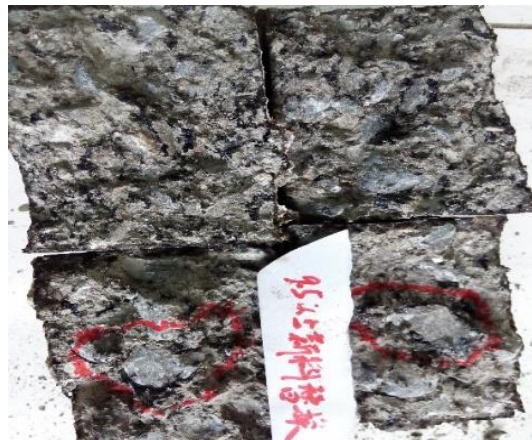
试验结果及分析：



不替换



4.75-9.5mm新料替换



9.5mm以上新料替换

铣刨料部分颗粒替换试验结论：

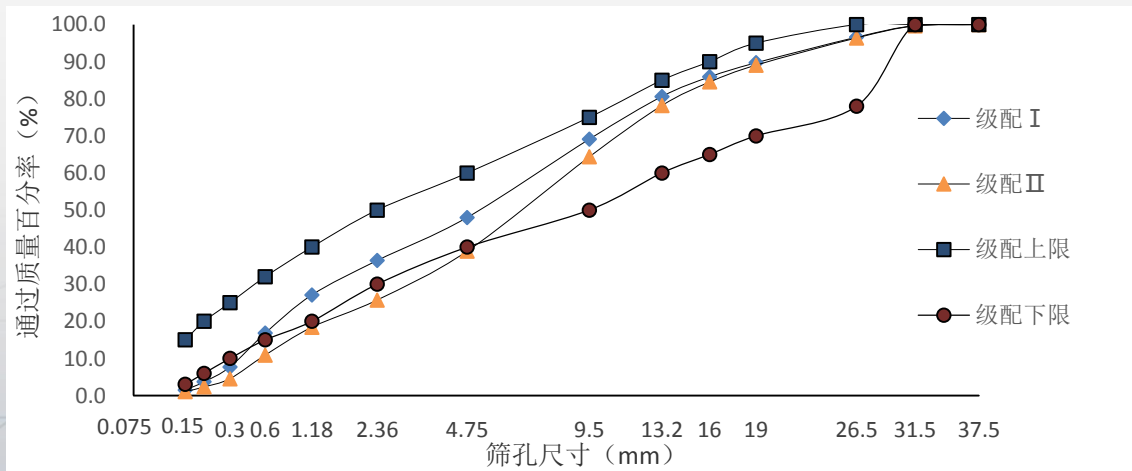
(1) 通过新料替换旧料试验，发现泡沫沥青再生路面回收料粗颗粒对泡沫沥青二次冷再生混合料性能影响显著。9.5mm以上再生路面回收料由于其中“虚假颗粒”被新料替换，泡沫沥青二次冷再生混合料骨架性能和水稳性能均有较大提高。

(2) 新料粒径对泡沫沥青二次冷再生混合料的骨架性能有重要影响。根据本章研究，4.75-9.5mm新料对泡沫沥青二次冷再生混合料的骨架结构影响程度低于9.5mm以上新料。

(3) 进行泡沫沥青二次冷再生级配设计时，通过添加4.75mm以上新料改善泡沫沥青再生路面回收料级配，提高泡沫沥青二次冷再生混合料骨架性能。

试验方案：通过简便的筛分分析法，探讨级配、矿料温度、拌合用水量三个因素对泡沫沥青分散性能的影响，为进一步研究泡沫沥青二次冷再生混合料配合比设计提供理论依据。考虑实际的环境温度，选用3种矿料温度，即常规温度25℃（较低）、40℃（适中），极端温度55℃（较高）拌制泡沫沥青二次冷再生混合料；选用3个拌合用水量，即80%OMC、100%OMC、120%OMC。

级配Ⅰ：68%铣刨料+8%碎石+22%石屑+2%水泥；
级配Ⅱ：82%铣刨料+8%碎石+8%石屑+2%水泥。



矿料级配组成对泡沫沥青分散性能影响

筛孔尺寸 (mm)	原级配各筛孔通过率 (%)	25℃矿料温度、不同级配制备的混合料与原级配各档筛孔通过率差值(%)	
		级配 I	级配 II
37.5	100.0	0.0	0
31.5	99.7	-0.3	0.0
26.5	96.6	-3.4	-0.3
19	89.7	-6.6	0.4
16	85.9	-7.1	-1.8
13.2	80.6	-8.2	-2.3
9.5	69.1	-8.1	-3.8
4.75	48.0	-5.7	0.1
2.36	36.4	2.0	3.4
1.18	27.1	6.4	8.2
0.6	16.8	8.0	7.8
0.3	7.7	5.7	6.0
0.15	3.7	2.8	1.5
0.075	1.5	0.9	0.2



(I)



(II)

图 3-3 黑色沥青团粒结构



图 3-4 沥青团粒放大结构

矿料温度对泡沫沥青分散性能影响

筛孔尺寸 (mm)	原级配各筛孔通过率(%)	不同条件下制备的混合料与原级配各档筛孔通过率差异(%)					
		25℃		40℃		55℃	
		不掺水泥	掺水泥	不掺水泥	掺水泥	不掺水泥	掺水泥
37.5	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31.5	99.7	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
26.5	96.6	-1.0	-3.4	-1.0	0.4	-3.4	-1.6
19	89.7	-2.9	-6.6	-3.9	-1.8	-5.4	-4.5
16	85.9	-3.1	-7.1	-3.7	-2.3	-8.1	-5.5
13.2	80.6	-2.8	-8.2	-5.1	-3.8	-10.6	-6.6
9.5	69.1	-3.4	-8.1	-7.1	-5.3	-15.4	-7.6
4.75	48.0	1.3	-5.7	-3.6	-2.4	-12.7	-4.9
2.36	36.4	8.4	2.0	2.3	4.5	-8.4	-0.8
1.18	27.1	11.1	6.4	6.4	8.8	-5.1	4.0
0.6	16.8	10.7	8.0	8.7	9.1	0.9	5.4
0.3	7.7	6.5	5.7	6.2	6.0	4.1	5.9
0.15	3.7	3.2	2.8	3.2	3.0	2.4	3.0
0.075	1.5	1.3	0.9	1.3	1.1	1.1	1.2

拌合用水量对泡沫沥青分散性能影响



80%OMC, 2.36mm 筛孔



100%OMC, 2.36mm 筛孔



120%OMC, 2.36mm 筛孔



80%OMC, 4.75mm 筛孔



100%OMC, 4.75mm 筛孔



120%OMC, 4.75mm 筛孔



80%OMC, 9.5mm 筛孔



100%OMC, 9.5mm 筛孔



120%OMC, 9.5mm 筛孔

泡沫沥青分散性能影响因素研究结论

矿料温度对泡沫沥青在矿料中的分散性能影响显著，高温条件生产泡沫沥青二次再生混合料，通过添加适量的水泥有利于泡沫沥青的分散。室内试验研究发现，矿料温度在 $25^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 条件下，掺入水泥对泡沫沥青分散性能影响不大；矿料温度高于 40°C 时，添加2.0%水泥有利于泡沫沥青在混合料中的分散，形成性能良好的泡沫沥青二次冷再生混合料。

通过室内试验发现，添加水泥的泡沫沥青二次冷再生混合料在生产过程中，必须严格控制拌合用水量不超过最佳含水量的80%，以确保泡沫沥青在细集料中分散良好。



细料含量对泡沫沥青在矿料中的分散性能影响显著。根据本章研究，在进行泡沫沥青二次再生混合料级配设计时，矿料组成中需含有足够的细料，尤其是0.6mm以下粒径的细料。

泡沫沥青二次再生混合料中较粗铣刨料在搅拌过程中会出现不同程度的“二次破碎”现象，矿料温度越高“二次破碎”现象更严重，“二次破碎”主要发生在4.75~16mm粒径范围矿料中。建议在实际工程中，增加4.75~16mm粗骨料添加比例来消除沥青回收料中粗集料部分的“碎石化”现象，从而保证再生层的骨架性能。

采用灰熵关联法分析不同的粗集料粒径组比例对泡沫沥青二次冷再生混合料骨架性能影响程度，为泡沫沥青二次冷再生混合料级配设计提供理论支撑。

试验方案：

试验设计5组粗集料不同比例的混合料级配：

级配1：50% (RAP) + 10%P1碎石 (10-20mm) +10% P3碎石 (20-30) +10% P2碎石 (5-10mm) +18%石屑+2%水泥；

级配2：50% (RAP) + 7.5%P1碎石 (10-20mm) +15% P3碎石 (20-30) +7.5% P2碎石 (5-10mm) +18%石屑+2%水泥；

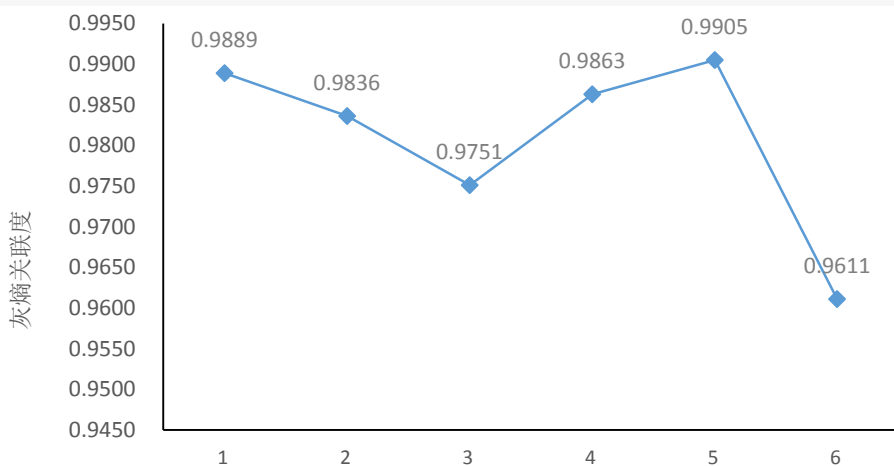
级配3：50% (RAP) + 5%P1碎石 (10-20mm) +10% P3碎石 (20-30) +15% P2碎石 (5-10mm) +18%石屑+2%水泥；

级配4：50% (RAP) + 5%P1碎石 (10-20mm) +20% P3碎石 (20-30) +5% P2碎石 (5-10mm) +18%石屑+2%水泥；

级配5：50% (RAP) + 15%P1碎石 (10-20mm) +10% P3碎石 (20-30) +5% P2碎石 (5-10mm) +18%石屑+2%水泥；

试验结果及分析：

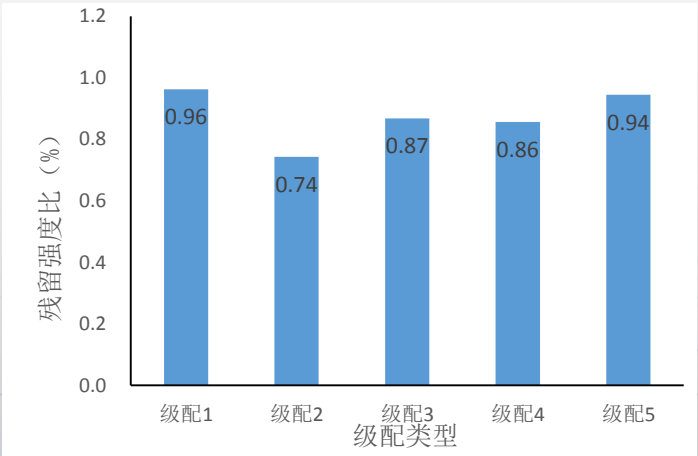
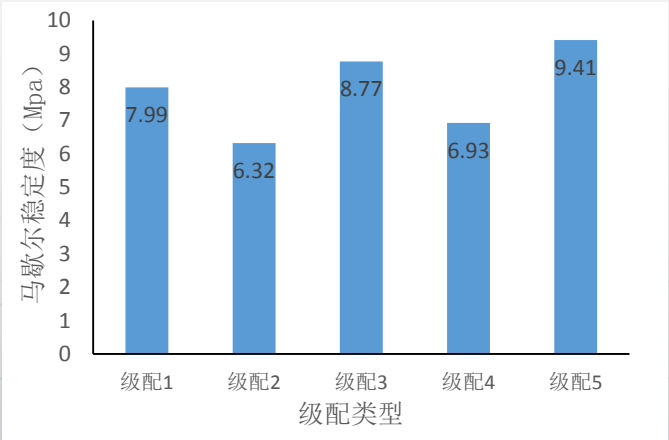
根据灰熵关联度值，对于泡沫沥青冷再生混合料，19-26.5mm档集料对粗集料矿料间隙率影响最大，4.75mm-9.5mm、16-19mm、9.5-13.2mm和13.2-16mm四档集料对粗集料矿料间隙率影响程度依次递减，26.5-31.5mm档集料对粗集料矿料间隙率影响最小。



注：影响参数1~6分别表示4.75-9.5mm、9.5-13.2mm、13.2mm-16mm、16-19mm、19-26.5mm、26.5-31.5mm。

试验结果及分析：

对比其他4种级配设计得到的泡沫沥青二次冷再生混合料，级配5所设计得到泡沫沥青二次冷再生混合料水稳定性、高温稳定性均处于最佳状态。参照级配5，通过合适的新碎石添加比例，当4.75mm-9.5mm集料比例在32.55%、9.5-13.2mm集料比例在19.60%、13.2-16mm 集料比例在13.70%、16-19mm集料比例在11.15%，19-26.5mm集料比例在15.29%，26.5-31.5mm集料比例在7.73%时，集料形成的骨架最好，集料骨架结构最稳定，其水稳性能及高温稳定性能最佳。



结论

1.粗集料矿料间隙率是影响混合料骨架稳定性的重要指标，不同粒径的粗集料含量对混合料骨架稳定性影响程度不同。基于灰熵关联法分析结果，按对粗集料矿料间隙率影响程度由大到小进行排序，依次为：19-26.5mm、4.75mm-9.5mm、16-19mm、9.5-13.2mm和13.2-16mm档集料。

2.通过分析灰熵关联度值之间的差异，得到构成泡沫沥青二次冷再生混合料骨架结构主要矿料粒径范围。泡沫沥青二次冷再生混合料骨架主要由9.5-13.2mm、16-19mm和19-26.5mm矿料构成，9.5mm、16mm和19mm为混合料骨架结构设计关键筛孔，根据以上三档矿料的骨架结构间隙，确定出4.75-9.5mm矿料含量。

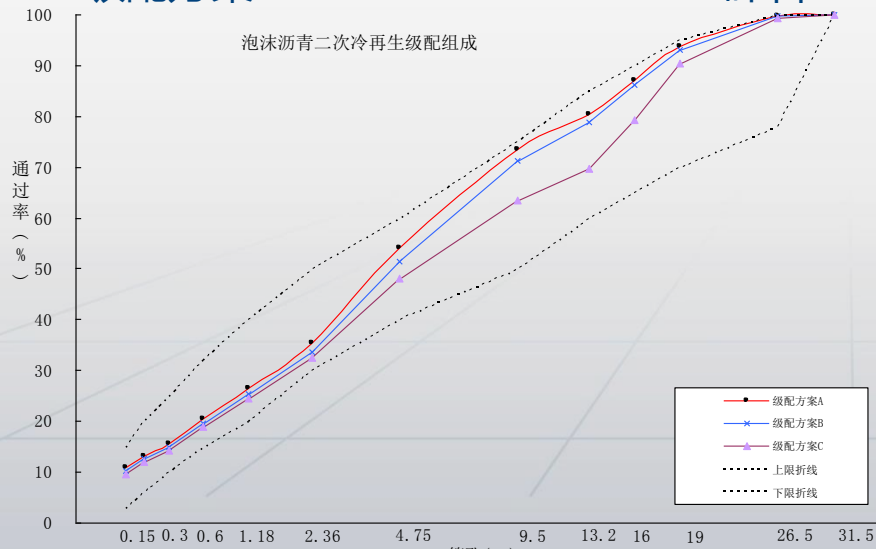
3.级配设计时，细化新碎石添加比例及粒径。根据本文研究，通过添加不同粒径的新碎石进行级配调整，并使矿料级配10-20mm矿料含量：20-30mm矿料含量：5-10mm矿料含量之比为1：2：1.4时，可以形成稳定的骨架结构，有利于提高混合料的高温稳定性能，这为以后的生产提供一定的指导意义。

本试验以浙江省S102杭昱线为依托，对K73+900~K75+900段泡沫沥青冷再生路面基层与面层分别进行铣刨并取料，进行**泡沫沥青二次冷再生**可行性的研究。

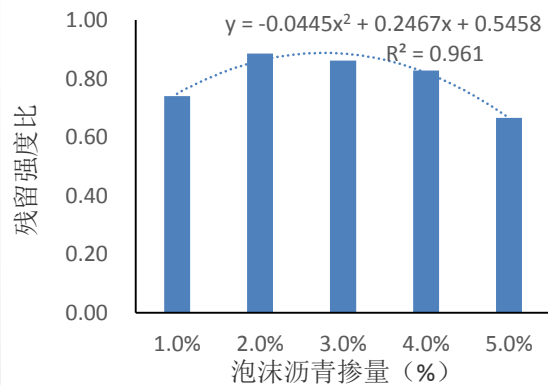
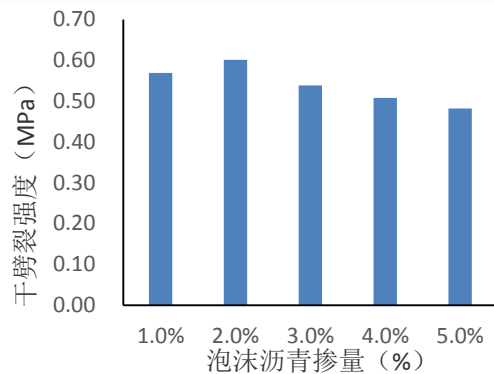
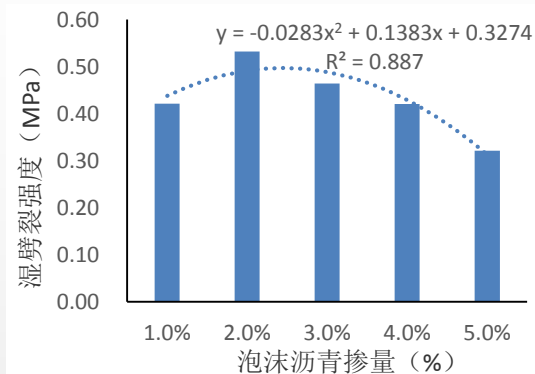
级配方案A：60%RAP-B+20%RAP-S+8.5%碎石+10%石屑+1.5%水泥

级配方案B：68% RAP-B +22% RAP-S +8.5%碎石+1.5%水泥

级配方案C：80% RAP-B +17.5%碎石+1.5%水泥



试验结论及分析：



参照泡沫沥青一次冷再生混合料确定最佳沥青用量的方法，泡沫沥青二次冷再生混合料最佳沥青用量为2.05%。



泡沫沥青混合料在拌和与压实时需要加入一定的水，以保证较好的拌和效果与压实度。通过土工击实试验，确定泡沫沥青二次冷再生混合料最佳拌合用水量。



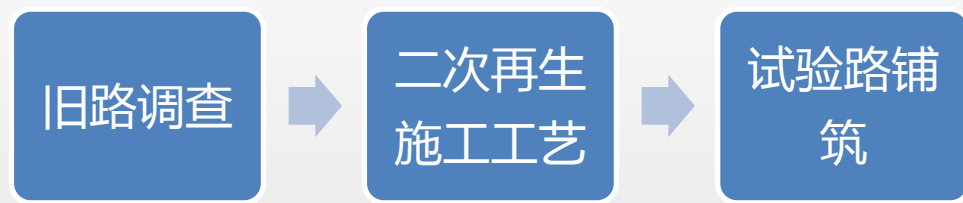
通过泡沫沥青二次冷再生混合料体积指标对泡沫沥青掺量的敏感性分析，发现当泡沫沥青掺量2%~3%变化时，矿料间隙率、粗集料矿料间隙率、空隙率三者对泡沫沥青掺量敏感程度不同。矿料间隙率、粗集料矿料间隙率变化较大，而空隙率变化很少，泡沫沥青二次冷再生混合料空隙率对泡沫沥青掺量敏感性很弱。



通过泡沫沥青二次冷再生混合料干湿劈试验发现，泡沫沥青掺量在1.0%~5.0%范围内，泡沫沥青二次冷再生混合料干湿劈裂强度、残留强度比先增大后减少，存在峰值，在最高强度及水稳性能最佳情形下，泡沫沥青二次冷再生混合料存在最佳沥青用量，在混合料设计时可将其峰值作为最佳沥青用量参考值。



通过室内试验，参照泡沫沥青一次再生混合料确定最佳沥青用量的方法，泡沫沥青二次冷再生最佳沥青用量由湿劈裂强度、残留强度比、粗集料矿料间隙率三者确定，且最佳沥青用量比湿劈裂强度、残留强度比确定值相对减少0.5%~0.7%。



S102杭昱线于2008年采用泡沫沥青冷再生技术对原道路进行过一次再生应用，随着近年来交通量的增大，超载现象严重，现决定对S102杭昱线进行大中修改造，以泡沫沥青与水泥分别作为稳定剂，进行二次冷再生的可行性研究。

龟裂、块裂：沿全线分布，局部区域龟裂现象较为严重，并且在龟裂处往往伴随沉陷的出现



车辙：主要分布在挡墙及有管涵路段，其中K83+600 ~ K84+700段车辙相对较严重，深度达1cm以上

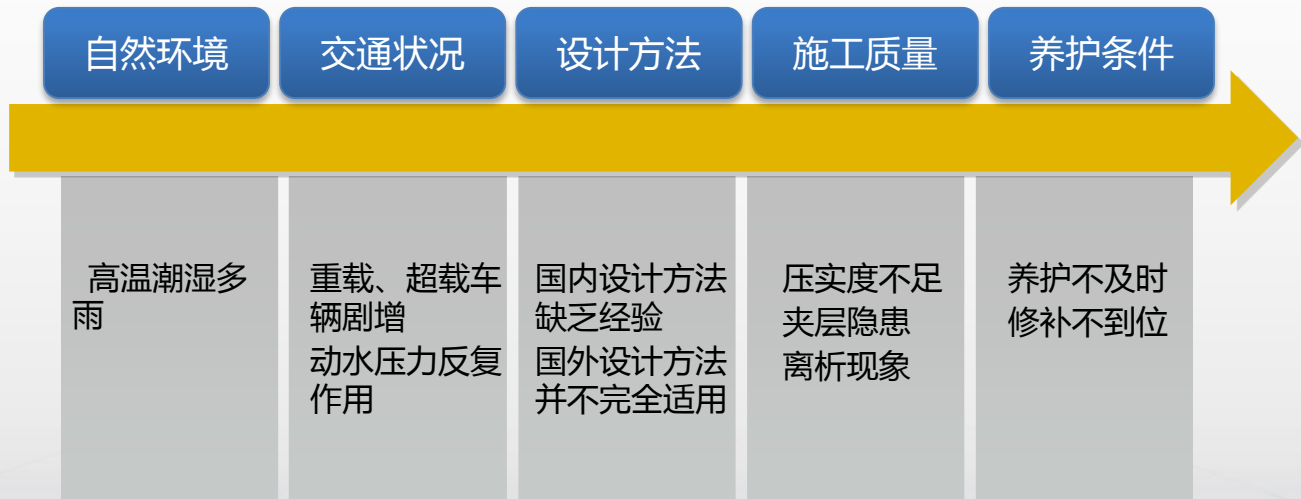


坑槽与沉陷：在龟裂与块裂病害处经常伴随着坑槽、沉陷等病害的发生，路面舒适性较差。

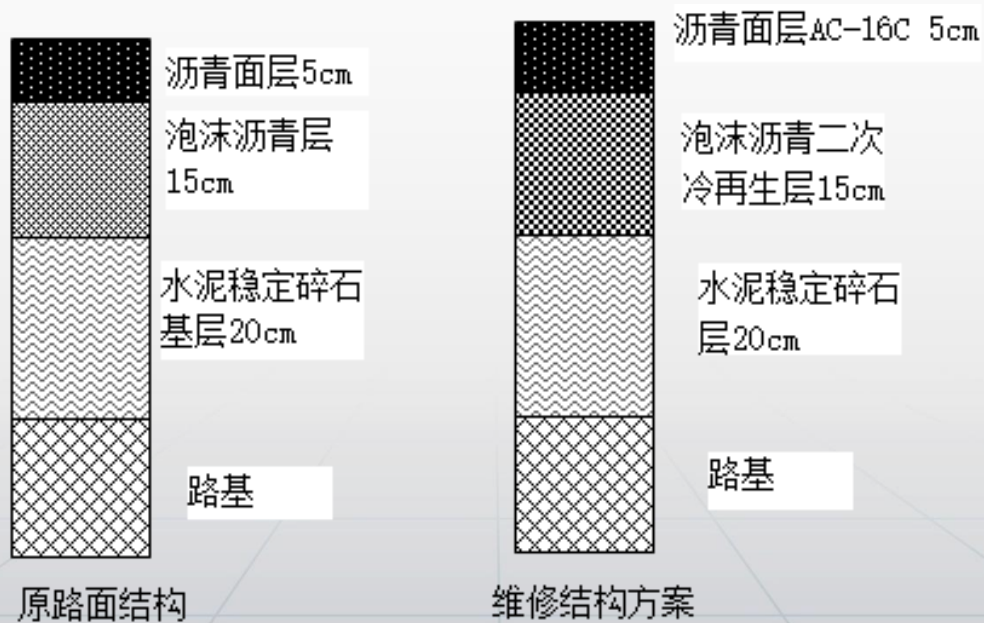


波浪拥包：由于超载车辆日益增多，在重车制动时道路路面前后推移，形成波峰波谷高差，在车辙严重路段均伴有拥包。

旧冷再生路面病害成因分析总结



本次试验路段采用厂拌冷再生工艺，添加泡沫沥青对旧料进行二次再生，实施路段为K73+900~K75+900，共2KM，路面结构维修方案如图8.4所示。



二次再生厂拌冷再生施工工艺流程：

- 1.拌和场地处理
- 2.旧路面铣刨
- 3.下承层病害处理
- 4.二次再生混合料拌和
- 5.二次再生混合料运输
- 6.二次再生混合料摊铺
- 7.二次再生混合料碾压与成型
- 8.处理工作缝



本次试验路铺筑采用**厂拌冷再生**施工工艺，以**泡沫沥青**和**水泥**作为稳定剂进行二次冷再生试验路的铺筑





灌砂法测压实度、取芯和贝克曼梁法测弯沉，试验结果均满足路用性能的要求。

泡沫沥青二次与一次再生性能比较

类别	技术参数	泡沫沥青二次再生	泡沫沥青一次再生	设计要求
马歇尔试验	稳定度 (kN) (60℃)	6.5	5.5	≥5.0
	流值 (mm)	2.2	1.8	1.5~4.0
强度	劈裂强度ITS (MPa) (25℃)	0.55	0.56	≥0.40
	无侧限抗压强度UCS (MPa) (20℃)	1.5	1.3	≥1.2
水稳性	干湿劈裂强度比ITSR	0.82	0.83	≥0.75
车辙试验	动稳定度DS (次/mm) (60℃)	3500	3800	≥3000





泡沫沥青二次冷再生路面（2年后）



水泥二次冷再生路面（2年后）

经过近3年追踪检测，二次冷再生路面较好完成了路用性能的要求，没有出现任何早期损坏现象，在当地广受好评。

经济效益

泡沫沥青二次冷再生大修方案造价节省21.8%。

社会效益

泡沫沥青二次冷再生大修方案减少CO₂当量排放31.42%，降低能耗62.66%。

1. 采用新料替换试验，发现9.5mm以上再生路面回收料被新料替换后，泡沫沥青二次冷再生混合料骨架性能和水稳性能均有较大提高。
2. 泡沫沥青主要分散在0.6mm以下细集料中，形成0.6~2.36mm粒径范围的沥青砂浆粘附粗集料。
3. 采用灰熵关联法分析粗集料矿料间隙率，发现19-26.5mm、4.75-9.5mm、16-19mm、9.5-13.2mm和13.2-16mm五档集料对粗集料矿料间隙率影响依次减弱；当10-20mm：20-30mm：5-10mm集料含量之比为1：2：1.4时，泡沫沥青二次冷再生混合料骨架结构稳定，为生产提供一定的指导意义。
4. 泡沫沥青二次冷再生混合料最佳沥青用量由湿劈裂强度、残留强度比、粗集料矿料间隙率三者确定，且最佳沥青用量相较湿劈裂强度、残留强度比确定值减少0.3%~0.5%。
5. 通过实际工程应用，泡沫沥青二次再生混合料性能与一次再生没有明显差异，经过科学的设计可以弥补原先设计上的缺陷。

谢 谢 分 享

