

沥青路面坑槽半柔性修补材料的研制

江苏苏通大桥有限责任公司路桥卫士 QC 小组

一、概况

(一) 小组简介

小组名称：“路桥卫士”QC 小组						
课题名称：沥青路面坑槽半柔性修补材料的研制						
小组成立时间：2023 年 4 月				小组活动时间：2023.4~12		
课题注册时间：2023 年 4 月				注册编号：2023QC13		
课题类型：创新型				QC 知识培训：120 小时以上		
活动次数：16 次				活动参与率：95%		
成员	姓名	性别	年龄	职称	文化程度	组内分工
组长	章郝明	男	40	高级工程师	硕士	活动指导
组员	严兵	男	43	高级工程师	本科	活动计划
	陶佳仪	男	38	工程师	本科	活动计划
	胡皓天	男	28	工程师	硕士	组织协调
	刘鹏	男	29	工程师	硕士	实施记录
	吴宇浩	男	27	工程师	硕士	项目实施
	宋帮红	男	27	工程师	硕士	实施记录
	张勇	男	44	工程师	本科	检查巩固

制表人：刘鹏

制表时间：2023 年 4 月

（二） 名词解释

- 1、 半柔性路面材料：半柔性路面材料是在碾压成型后的大孔隙沥青混合料中灌注具有高流动性的水泥基灌浆材料而形成的一种刚柔相济的复合路面材料。
- 2、 路面损坏状况指数（PCI）：指路面结构保持完好的程度，是路面破损状况物理性能最直接的表现。其值越大，路况越好。

二、课题选择

（一） 课题背景

随着高速公路的不断发展，社会对高速公路的需求随之增高，要求高速公路提供快速、安全、高效的道路运输条件，这对高速公路养护工程的质量的效率提出了更高的要求。苏通大桥具有交通流量大、重车比例高、自然条件差和社会关注高等特点。通车以来，日均流量近 10 万辆，节假日高峰时达 15 万辆。因此，在路桥养护、应急处置等方面，亟需引入先进的材料和技术，提升养护管理质量和效率。

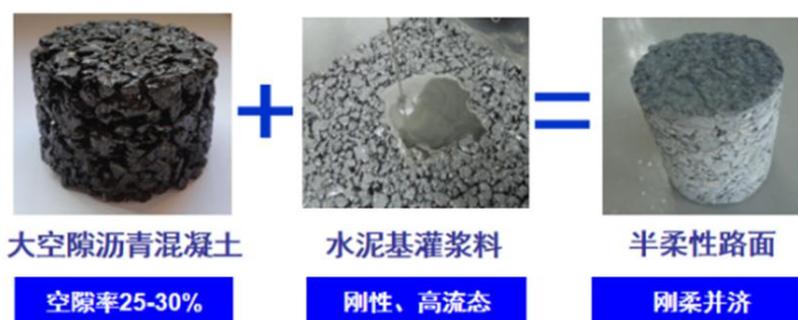
坑槽是沥青路面的典型病害，严重影响了路面的平整度和行车舒适性，若不及时修补，在重载车辆和水的综合作用下，坑槽会发展较快，造成养护费用的增加并严重危及驾乘人员的安全，公司在日常养护管理中明确提出了“坑槽不过夜”的养护要求。

坑槽病害的快速修复对迅速恢复交通十分重要。目前常用的坑槽修补方法主要有冷补法。传统冷补法在高温多雨的南方应用时存在雨天车辙、松散等问题，以至于路面坑槽维修频率过高。

为了解决传统冷补法材料强度低、耐久性差、修补频率高的问题，本小组成员创造性将半柔性路面材料应用到坑槽修补中来，提出了一种向大孔隙基体沥青混合料中填充水泥基灌浆材料的灌注式半柔性修补材料。灌注式半柔性路面兼具水泥和沥青路面的优点，具有良好的高温抗车辙、抗滑性、水稳定性，极大地提高了行车舒适度。灌注式半柔性材料可广泛应用于工业厂房、公交枢纽、停车场、装卸平台

等重交通区域。

图 1 灌注式半柔性路面材料机理



(二) 需求分析

高速公路沥青路面坑槽的存在严重影响了司乘人员行车舒适性和公路通行效率，采用传统冷补法修补坑塘需要养护人员进行高频次作业，因此亟需研发一种路用性能较好的坑槽修补材料。

针对高速公路沥青路面的养护技术状况，《公路养护技术标准 JTG 5110-2023》里提出路面检测指标包含路面破损率；《公路技术状况评定标准 JTG 5210》中对路面损坏状况指数(PCI)提出明确要求：**高速公路 PCI≥92 划定为优。**

2023 年 4 月，小组成员利用工程检测车对 G15 沈海高速（苏通大桥段）全路段进行 PCI 评价，并绘制了全线 PCI 散点图。

表 1 路面损坏状况指数 PCI 评价统计表

桩号	南通方向			苏州方向		
	超车道	行车道	重车道	超车道	行车道	重车道
	PCI	PCI	PCI	PCI	PCI	PCI
K1184+000~K1185+000	100.00	98.72	95.22	98.27	98.72	94.65
K1185+000~K1186+000	100.00	99.21	92.86	97.37	99.21	88.43
K1186+000~K1187+000	100.00	97.65	92.85	98.19	97.65	89.19
K1187+000~K1188+000	97.95	95.39	94.43	97.58	95.39	94.89
K1188+000~K1189+000	98.46	97.43	93.37	97.31	97.43	91.12
K1189+000~K1190+000	98.84	97.29	94.40	96.42	97.29	93.41
K1190+000~K1191+000	100.00	99.17	94.15	96.04	99.17	94.96
K1191+000~K1192+000	98.18	95.51	96.28	97.69	95.51	95.13
K1192+000~K1193+000	98.46	96.68	90.79	96.25	96.68	92.56
K1193+000~K1194+000	97.95	95.46	97.92	95.97	95.46	97.14
K1194+000~K1195+000	97.95	97.37	95.07	94.56	97.37	92.28

K1195+000~K1196+000	96.86	95.65	97.43	95.62	95.65	95.14
K1196+000~K1197+000	98.84	97.05	98.78	97.16	97.05	94.11
K1197+000~K1198+000	100.00	95.30	97.87	97.74	95.30	91.94
K1198+000~K1199+000	98.46	96.49	96.92	95.79	96.49	94.55
K1199+000~K1200+000	96.77	95.38	91.12	92.99	95.38	91.98
K1208+000~K1209+000	96.77	95.37	95.39	95.97	95.37	90.44
K1209+000~K1210+000	97.01	95.00	89.58	95.17	95.00	89.16
K1210+000~K1211+000	93.65	92.08	92.42	91.22	92.08	91.21
K1211+000~K1212+000	97.01	96.13	91.88	94.26	96.13	88.65
K1212+000~K1213+000	97.01	94.91	96.17	93.41	94.91	94.72
K1213+000~K1214+000	95.94	95.16	96.80	92.37	95.16	90.36
K1214+000~K1215+000	95.63	93.75	92.95	94.10	93.75	92.96
K1215+000~K1216+000	95.94	94.75	93.04	95.81	94.75	93.37

制表人：刘鹏

制表时间：2023年4月

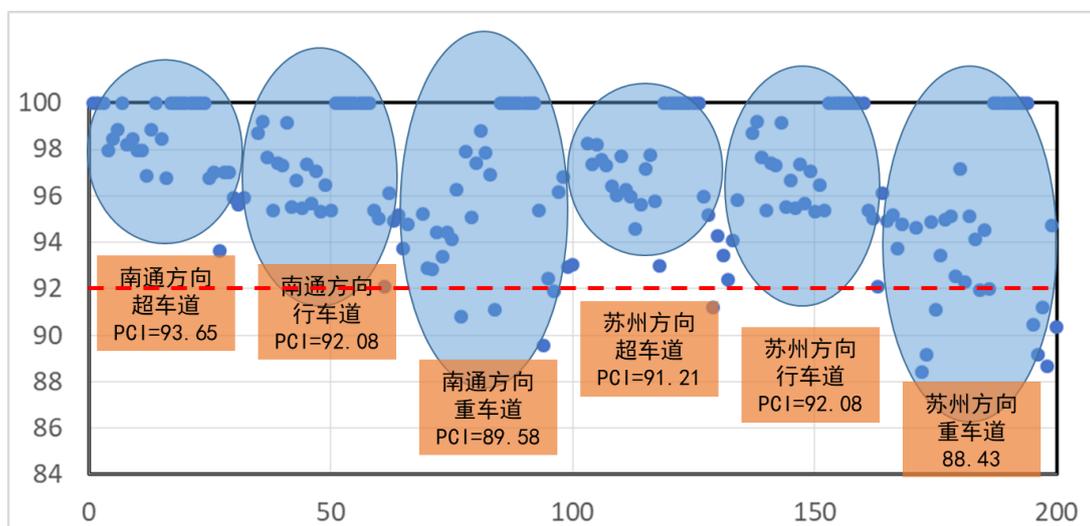
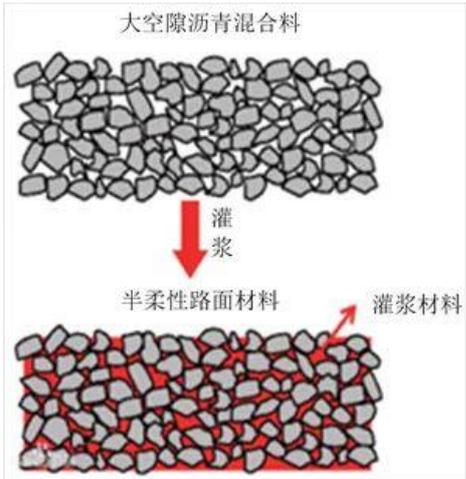


图 2 G15 沈海高速（苏通大桥段）PCI 散点图

经诊断发现部分路段出现多处坑塘和裂缝病害，南通方向行车道与苏州方向重车道的 PCI 值存在小于 92 的情况，6 个车道中有 3 个车道最小 PCI 值低于 92。对此，苏通大桥工程部（内部顾客）规定：高速公路每公里检测段（PCI）不得低于 92。

为了达到养护规范及工程部的指标要求，本小组成员拟引入半柔性材料对坑塘进行修补，从而提高公司管辖高速公路路段最小 PCI 指标值。下表是两种用于坑槽修补的材料和施工方式对比。

表 2 两种用于坑槽修补的材料

养护方法	应用场景	使用效果
冷补料	<p>适用于沥青路面坑槽的应急维修</p> 	<p>传统的冷补料修补坑槽操作时间短,修补 10 分钟后即可投入使用。它还有施工方便的优点,但是修补后的材料与原路面的粘结性不好,在雨水冲刷和行车载荷作用下,修补后的路面寿命较短。只能作为一种临时性的修补措施,及时解决影响安全的路面破坏。</p>
灌注式半柔性修补材料	<p>适用于重载交通路段的坑槽修补</p> 	<p>灌注式半柔性材料具有抗车辙、抗推移、抗水损害等优良的路用性能,可用于沥青路面坑塘修补。适用于重载交通路段。</p>

制表人：刘鹏

制表时间：2023 年 4 月

(三) 借鉴启发

1、借鉴原理

表 3 借鉴原理汇总表

借鉴原理 1 (路面性能衰变)	借鉴原理 2 (路面修补状况评定)
<p>小组成员查阅文献资料得知：2015 年中国学者孔祥杰在其博士论文《沥青路面性能衰变预测及养护维修决策方法研究》指出：高速公路日常养护和中修的 PCI 恢复率提升至 92% 以上，但不能完全恢复初始值。</p>	<p>2015 年中国学者周岚在其博士论文《高速公路沥青路面使用性能评价及预测研究》中，引入了目前高速公路路面修补检测是直接测量修补的面积，路面修补率 (PPR) 作为评价路面修补状况的指标，当 $PPR \leq 0.4\%$ 时，路面修补状况为优，$0.4\% < PPR \leq 2.0\%$ 时为良，$2.0\% < PPR \leq 5.0\%$ 时为中，$5.0\% < PPR \leq 10.0\%$ 时为次，$10.0\% < PPR$ 时为差，且相关系数达到 0.998，满足高速公路路用性能评价的精度要求。</p>
	
<p>图 3 论文截图</p>	<p>图 4 论文截图</p>
<p>借鉴启发：采用半柔性修补材料对路面坑槽进行修补，可有效减少坑槽修补频次，进而减小每次路面修补面积，以达到提高路面路面状况指数 PCI 的目的。</p>	

制表人：刘鹏

制表时间：2023 年 4 月

2、借鉴实物

小组就如何研制沥青路面坑槽半柔性修补材料，进行进一步借鉴，通过翻阅文献，发现常用的“大孔隙排水沥青路面”和建筑行业使用的“地基注浆加固”的相关技术特点可以借鉴。

(1) 大孔隙排水沥青路面

表 4 “大孔隙排水沥青路面”借鉴表

借鉴实物	大孔隙排水沥青路面			
借鉴点	大孔隙基体沥青混合料			
工作原理	排水沥青路面指压实后孔隙率在 20%左右，能够在混合料内部形成排水通道的新型沥青混凝土面层，其实质为单一粒径碎石按照嵌挤机理形成骨架—孔隙结构的大孔隙沥青混合料。			
实拍图	 <p style="text-align: center;">图 5 大孔隙排水沥青路面</p>			
技术参数	1、针入度（25°C/0.1mm）：57~70； 2、软化点：>85°C 3、延度 5°C/cm：>20； 4、石料压碎值：≤18； 5、孔隙率：18%~23%。			
借鉴启发	主要实现方式		不同点	思路拓展
	沥青种类	高粘性改性沥青	沥青高低温稳定性	沥青与集料的黏附强度也要考虑
	粗集料	玄武岩	粗集料需坚硬洁净	考虑苏通大桥重车多的特点，采用高标准粗集料
	级配选择	开级配	连续级配更合适	需试验确定

制表人：刘鹏

制表时间：2023 年 4 月

(2) 地基注浆加固技术

地基注浆加固技术一般应用于地基强化，小组围绕注浆技术进行借鉴。小组从网上搜索，发现地基注浆加固技术对本项目有借鉴意义。

表 5 “地基注浆加固技术”借鉴表

借鉴实物	地基注浆加固技术			
借鉴点	灌浆料和灌浆工艺			
工作原理	地基注浆加固技术利用气压或水压，将填筑、渗透和压实结合起来，将固化后的浆液均匀注入岩土层中，分散岩石裂隙中或土粒间的水和气体，自充填。硬化后岩土胶结成一体，可以改善持力层的应力状态和荷载传递性能，从而加固地基，减少不均匀沉降。			
实拍图	<p>图6 地基注浆加固原理图</p>			
技术参数	1、水灰比：0.6~2.0 2、掺入细砂或粉煤灰比例：1:0.5~1.3			
借鉴启发	主要实现方式		不同点	思路拓展
	灌浆料	水泥净浆	腔体存储容量较小，铝合金材质容易粘水性注浆材料，最大使用压力偏低	采用加厚大容量不锈钢腔体
	矿物掺料	氯化钙	快凝和早强相结合	添加早强剂
	灌注工艺	气压、水压	沥青路面是平面灌注，气密性不够。	可考虑振动成型或自然渗透

制表人：刘鹏

制表时间：2023年4月

(四) 选定课题

小组打算借鉴大孔隙排水沥青路面和地基注浆加固技术，以大孔隙基体沥青混凝土和灌浆工艺为核心技术，在使用高性能注浆材料的情况下，完成沥青路面坑槽的快速修补，实现PCI提高的目标。

因此，小组确定本次活动课题为：沥青路面坑槽半柔性修补材料

的研制。

(五) 活动计划

表 6 QC 小组活动计划表

QC 小组活动流程	计划完成时间
选择课题	2023 年 4 月
设定目标及目标可行性论证	2023 年 4 月~2023 年 5 月
提出方案并确定最佳方案	2023 年 6 月~2023 年 8 月
制定对策	2023 年 9 月
对策实施	2023 年 9 月~2023 年 10 月
效果检查	2023 年 10 月
标准化	2023 年 10 月~2023 年 12 月
总结和进一步打算	2023 年 12 月~2024 年 1 月

制表人：刘鹏

制图时间：2023 年 4 月

三、设定目标及目标可行性论证

本课题创造性地将半柔性材料应用于路面坑塘修补中，提高了路面的耐久性，使得辖区内高速公路每公里检测段最小 PCI 指标由 88.43 提升至 92 以上。本次小组活动的目标是通过研制沥青路面坑槽半柔性修补材料将 G15 沈海高速苏通大桥段沥青路面的 PCI 指标提升到 92 以上，控制目标示意图如下图所示：

（一） 设定目标

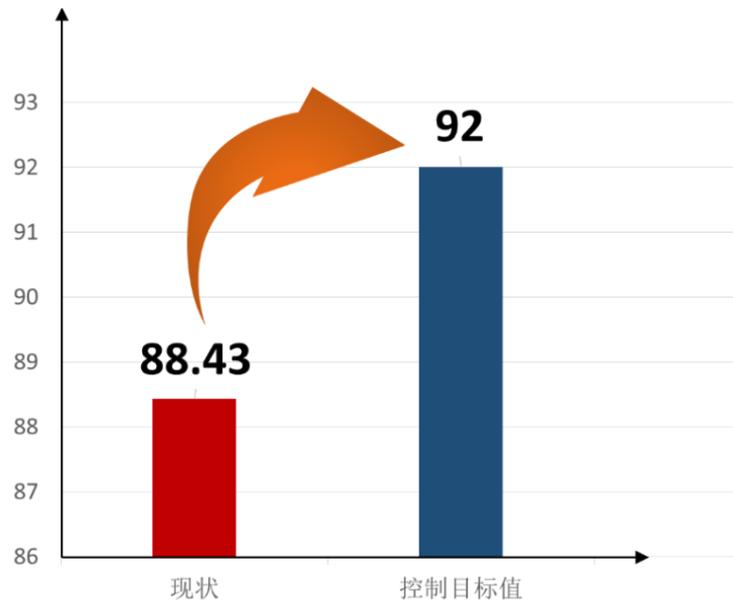


图 7 控制目标示意图

制图人：刘鹏

制图时间：2023 年 5 月

（二） 目标可行性论证

1、理论推导

由借鉴原理 1, 2 可知，采用半柔性修补材料对路面坑槽进行修补，控制路面修补率 $PPR \leq 0.4\%$ ，即修补面积小于 15m^2 每车道公里，路面修补状况为优，PCI 可提升至 92 以上。理论可行。

2、模拟试验

2023 年 5 月 13 日，小组成员前往公司苏通大桥服务区，采用大孔隙沥青混合料和水泥基灌浆料对测试坑塘进行灌浆模拟试验。

试验结果表明：在 3 种不同路面铺装情况下，采用半柔性坑槽修补材料填补 3 个试验段的坑槽病害，经现场验证路段最小 PCI 值可提高至 92 以上。目标可行。

表 7 试验数据汇总表

试验段一	试验段一 PCI 统计表						
	序号	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4		试验 5
	PCI	93.21	95.72	92.33	94.43		92.54
	平均值	$(93.2+95.7+92.3+94.4+92.5) / 5=93.62$					
试验段二	试验段二 PCI 统计表						
	序号	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4		试验 5
	PCI	94.30	93.82	94.54	94.52		93.67
	平均值	$(94.30+93.82+94.54+94.52+93.67) / 5=94.17$					
试验段三	试验段三 PCI 统计表						
	序号	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4		试验 5
	PCI	93.10	93.39	93.32	93.71		93.84
	平均值	$(93.10+93.39+93.32+93.71+93.84) / 5=93.47$					
平均 PCI	$\Delta PCI = (93.62+94.17+93.47) / 3=93.76 > \text{目标值 } 92$						
试验结果	目标可行						

制表人：刘鹏

制表时间：2023 年 5 月

四、提出方案并确定最佳方案

（一）提出总体方案

通过借鉴大孔隙沥青混合料的制备技术，结合灌浆法的借鉴技术，小组提出课题总体方案：沥青路面坑槽半柔性修补材料由大孔隙沥青混合料和灌浆料组成。在大孔隙沥青混合料基体中灌注水泥基灌浆材料形成一种刚柔相济、快速修补坑槽的新型材料。

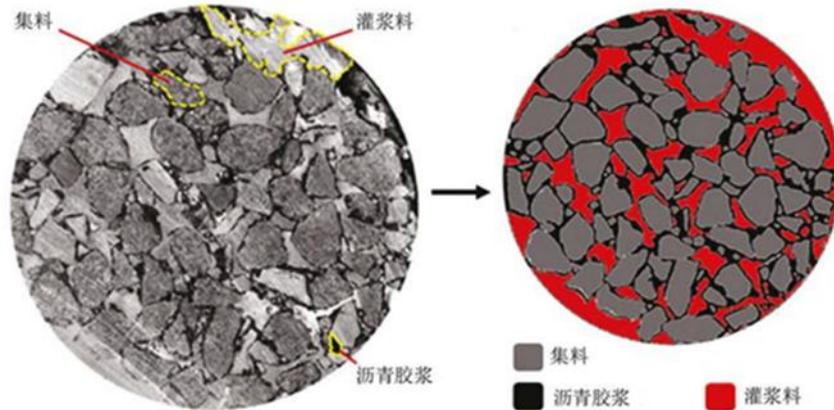


图 8 沥青路面坑槽半柔性修补材料的总体方案图

制图人：刘鹏

制图时间：2023 年 6 月

（二）方案分解

小组成员围绕总体方案进行了逐层分解，总体方案可根据半柔性材料的组成结构分解为大孔隙沥青混合料和灌浆料两个一级方案，为提高材料的可靠性，小组在选定一级方案的基础上，又根据材料的组成成分和实施工艺特点将大孔隙沥青混合料细分为沥青种类、粗集料、级配三个二级方案，将灌浆料细分为灌浆料浆体、矿物掺料、早强剂和灌浆工艺四个二级方案。最终形成的研制方案树形图如下：

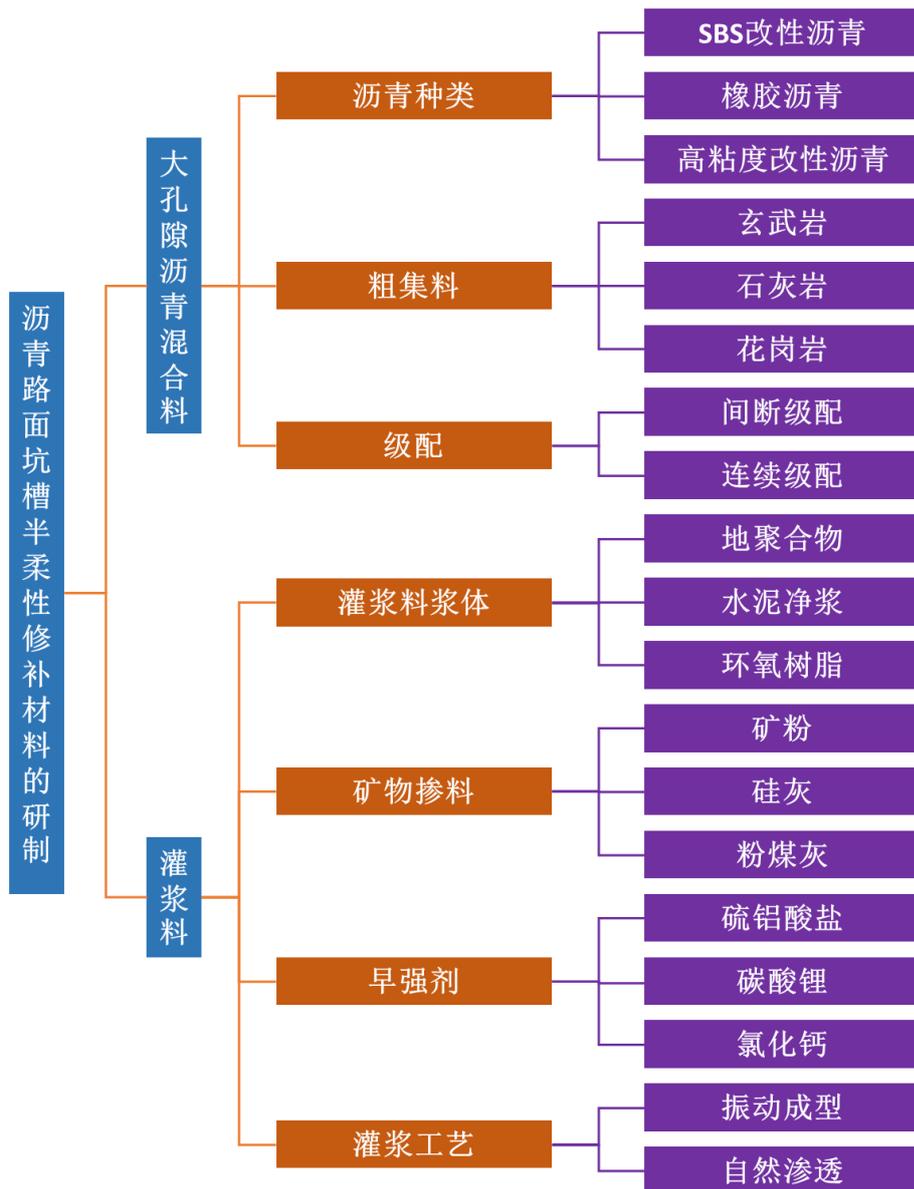


图 9 方案分解图

制图人：刘鹏

制图时间：2023 年 6 月

(三) 具体方案比选

1、沥青种类选择

表 8 沥青种类比选

方案需求	沥青主要功能：作为路面结构的胶结材料，借助其优异的粘附性能将不同粒径的矿质集料连接成一个稳定牢固的整体。												
备选方案	方案一：70#基质沥青 				方案二：SBS 改性沥青 				方案三：高粘改性沥青 				
材料概况	一种天然的沥青，从石油或天然气中提取，被广泛用作道路建设中的黏结剂。				通过高速剪切方式将SBS聚合物分散于基质沥青中，对沥青进行改性。				通过高速剪切方式将高粘沥青改性剂分散于基质沥青中，对沥青进行改性。				
调查分析	粘附强度 0.68~0.85MPa 水损粘附衰减≤28% 成本：10 元/kg				粘附强度 1.05~1.20MPa 水损粘附衰减≤20% 成本：15 元/kg				粘附强度 0.87~1.05MPa 水损粘附衰减≤18% 成本：17 元/kg				
模拟试验一	试验说明：借助自动附着力测试仪（Positest AT-A），采用拉拔法对三种沥青进行试验，测试沥青的粘附强度。												
	粘附强度 /MPa	方案一：70#基质沥青				方案二：SBS 改性沥青				方案三：高粘改性沥青			
		试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4
0.7	0.8	0.8	0.6	1.1	1.0	1.2	1.1	0.9	1.0	1.0	0.8		
2	5	1	8	2	5	0	0	8	2	5	7		
平均值	0.77 MPa				1.12 MPa				0.98 MPa				

模拟 试验 二	试验说明：分别对三种沥青进行水浴后的拉拔试验，测试并计算水浴后沥青粘附强度的衰减率。												
	水损 粘附 衰减 率/%	方案一：70#基质 沥青				方案二：SBS 改性 沥青				方案三：高粘改性 沥青			
		试 验 1	试 验 2	试 验 3	试 验 4	试 验 1	试 验 2	试 验 3	试 验 4	试 验 1	试 验 2	试 验 3	试 验 4
		23. 1	25. 2	21. 0	23. 6	17. 2	16. 3	16. 8	19. 0	16. 2	16. 8	17. 8	15. 3
平均 衰减 率	23.2				17.3				16.5				
综合 评价	小组通过调查分析和模拟试验数据，绘制简易图表，进行数据比对：												
	<p>粘附强度/MPa</p> <p>—▲— 方案一 —■— 方案二 —◆— 方案三</p>												
	<p>水损粘附衰减率/%</p> <p>■ 方案一 ■ 方案二 ■ 方案三</p>												
<p>沥青成本/元·kg⁻²</p> <p>■ 方案一 ■ 方案二 ■ 方案三</p>													
<p>1、方案一：与集料粘附性能一般，受水损害影响较大，材料成本较低，使用方法简易。</p> <p>2、方案二：与集料粘附性能优异，受水损害影响一般，材料整体性能较好，成本可控，使用方法简易。</p> <p>3、方案三：与集料粘附性能较好，受水损害影响较好，材料整体性能较好，成本相对较高，使用方法简易。</p>													
结论	选用方案二为最佳方案												

制表人：吴宇浩

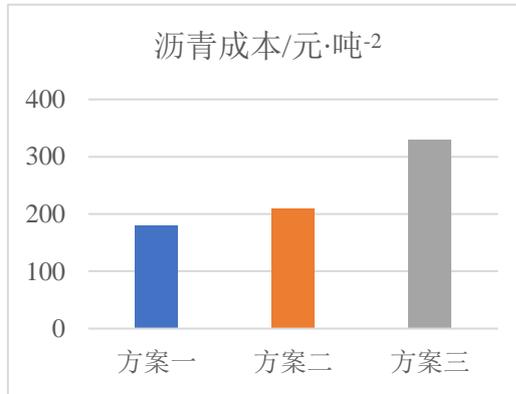
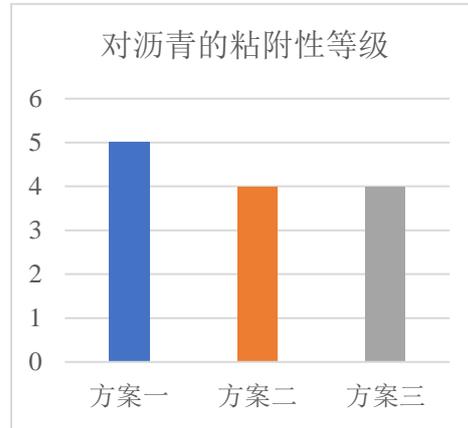
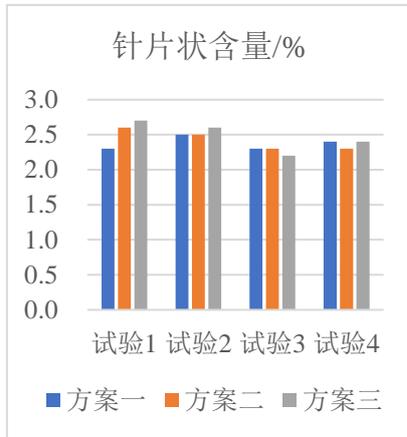
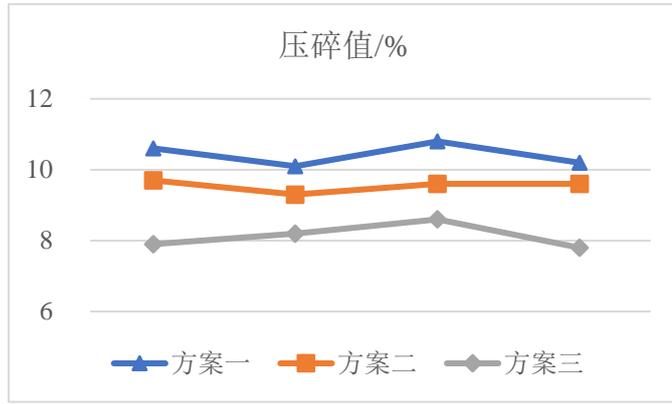
制表时间：2023年7月

2、粗集料比选

表 9 粗集料比选

<p>方案需求</p>	<p>粗集料种类的选择决定了半柔性修补材料大孔隙基体结构的整体效果，粗骨料要保证骨料强度，确保基体结构的稳定牢固，同时要满足大孔隙结构的要求，保证浆体的顺利注入。</p>											
<p>备选方案</p>	<p>方案一：石灰岩集料</p> 	<p>方案二：玄武岩集料</p> 	<p>方案三：花岗岩集料</p> 									
<p>调查分析</p>	<p>压碎值$\leq 22\%$ 针片状含量$\leq 5\%$ 粘附性等级≥ 4 成本 180 元/吨</p>	<p>压碎值$\leq 22\%$ 针片状含量$\leq 5\%$ 粘附性等级≥ 4 成本 210 元/吨</p>	<p>压碎值$\leq 22\%$ 针片状含量$\leq 5\%$ 粘附性等级≥ 4 成本 330 元/吨</p>									
<p>模拟试验一</p>	<p>试验说明：对三种集料进行压碎值试验，测试的粗集料对应压碎值。</p>											
<p>压碎值/%</p>	<p>方案一：石灰岩集料</p>				<p>方案二：玄武岩集料</p>				<p>方案三：花岗岩集料</p>			
<p>试验 1 试验 2 试验 3 试验 4</p>	<p>10.6</p>	<p>10.1</p>	<p>10.8</p>	<p>10.2</p>	<p>9.7</p>	<p>9.3</p>	<p>9.6</p>	<p>9.6</p>	<p>7.9</p>	<p>8.2</p>	<p>8.6</p>	<p>7.8</p>
<p>平均压碎值</p>	<p>10.4</p>				<p>9.6</p>				<p>8.1</p>			
<p>模拟试验二</p>	<p>试验说明：采用游标卡尺法分别对三种粗集料的针片状含量进行检测。</p>											
<p>针片状含量/%</p>	<p>方案一：石灰岩集料</p>				<p>方案二：玄武岩集料</p>				<p>方案三：花岗岩集料</p>			
<p>试验 1 试验 2 试验 3 试验 4</p>	<p>2.3</p>	<p>2.5</p>	<p>2.3</p>	<p>2.4</p>	<p>2.6</p>	<p>2.5</p>	<p>2.3</p>	<p>2.3</p>	<p>2.7</p>	<p>2.6</p>	<p>2.2</p>	<p>2.4</p>
<p>平均针片状含量</p>	<p>2.4</p>				<p>2.4</p>				<p>2.5</p>			

小组通过调查分析和模拟试验数据，绘制简易图表，进行数据比对：



综合评价

- 1、方案一：压碎值和针片状含量均满足标准要求，与沥青的粘附性优异，材料成本较低，但石灰岩骨料强度相对较低。
- 2、方案二：压碎值和针片状含量均满足标准要求，骨料强度较好，与沥青的粘附性较好，材料成本适中。
- 3、方案三：压碎值和针片状含量均满足标准要求，骨料强度优异，与沥青的粘附性较好，但材料成本较高。

结论

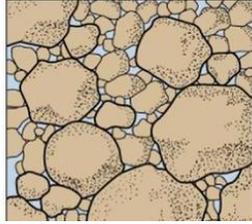
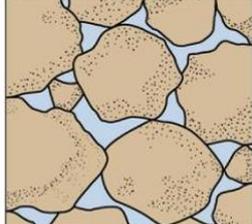
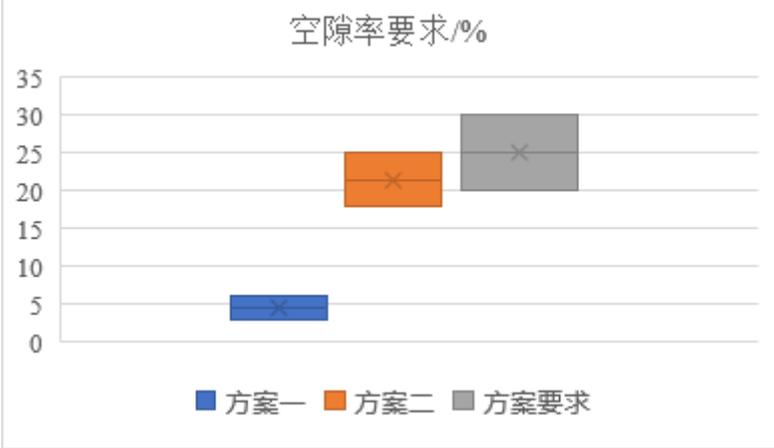
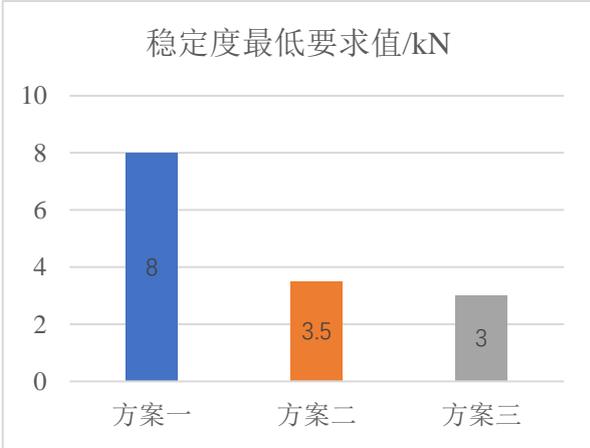
选用方案二为最佳方案

制表人：吴宇浩

制表时间：2023年7月

3、基体混合料级配选择

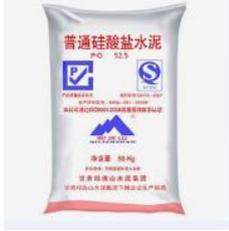
表 10 基体混合料级配比选表

方案需求	基体混合料级配决定了半柔性修补材料主体结构构成，影响着基体大孔隙骨架的形成，是灌入式半柔性材料实施浆体灌注的先决条件。																	
备选方案	<p>方案一：连续级配</p> 	<p>方案二：间断级配</p> 																
级配概况	矿料的颗粒由大到小连续分布，每一级集料都占有适当的比例。	在矿料颗粒分布的整个区间里，从中间剔除一个或连续几个粒级，形成一种不连续的级配。																
调查分析	设计孔隙率 3%~6% 稳定性≥8kN	设计孔隙率 18%~25% 稳定性≥3.5kN																
综合评价	<p>小组通过调查分析数据，绘制简易图表，进行数据比对：</p> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 20px;"> <p>空隙率要求/%</p>  <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>空隙率要求数据</caption> <thead> <tr> <th>方案</th> <th>空隙率要求 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>方案一</td> <td>~5</td> </tr> <tr> <td>方案二</td> <td>~22</td> </tr> <tr> <td>方案要求</td> <td>~25</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div> <p>稳定性最低要求值/kN</p>  <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>稳定性最低要求值数据</caption> <thead> <tr> <th>方案</th> <th>稳定性最低要求值 (kN)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>方案一</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>方案二</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>方案三</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>		方案	空隙率要求 (%)	方案一	~5	方案二	~22	方案要求	~25	方案	稳定性最低要求值 (kN)	方案一	8	方案二	3.5	方案三	3
方案	空隙率要求 (%)																	
方案一	~5																	
方案二	~22																	
方案要求	~25																	
方案	稳定性最低要求值 (kN)																	
方案一	8																	
方案二	3.5																	
方案三	3																	

	<p>1、方案一连续级配的设计孔隙率为 3%~6%，不满足大孔隙基体沥青混合料要求的 20%~30%，无法满足注浆工艺的实施。</p> <p>2、方案二间断级配设计孔隙率为 18%~25%，满足大孔隙基体沥青混合料要求的 20%~30%，有利于注浆工艺的实施，同时设计的稳定度不小于 3.5kN，满足使用要求。</p>
结论	选用方案二为最佳方案

4、灌浆材料比选

表 11 灌浆材料比选表

方案需求	通过注浆材料来填充大孔隙沥青混合料的孔隙，注浆效果好坏与注浆材料性能密切相关，注浆材料需具有较好的粘结性能、流动性能、微膨胀性能和低温适应性能。		
备选方案	<p>方案一：水泥基灌浆材料</p> 	<p>方案二：地聚合物改性灌浆材料</p> 	<p>方案三：高渗透性树脂灌浆材料</p> 
工作原理	水泥加水拌和而产生一系列反应。经过一定时间后水化物凝胶体的浓度上升，凝胶粒子相互凝聚成网状结构，使水泥浆凝结变稠、失去塑性。凝结后凝胶体逐渐增多，被紧密地填充在水泥颗粒间而逐渐硬化。	地聚合物通过材料中铝硅酸盐原料在碱性溶液中的溶解，产生的铝硅配合物由固体颗粒表面向颗粒间隙的扩散，形成凝胶相。使得碱硅酸盐溶液和铝硅配合物之间发生聚合作用，凝胶相逐渐排除剩余的水分，从而达到固结硬化作用。	高渗透改性环氧树脂材料是一种具有活泼的环氧基团的热固性树脂，可以与多种固化剂反应，形成具有优异的力学性能和耐化学性能的三维网络结构。具亲水性兼憎水性，其比重、粘度略大于水，内聚力强，能与水形成稳定界面。其表面张力小，粘度更低，接触角小，具有特优的湿润和浸润能力，可灌性好。
调查分析	最大抗压强度 10MPa 温度要求 0-500℃ 成本 3 万元/吨	最大抗压强度 5MPa 温度要求 10-80℃ 成本 3 万元/吨	最大抗压强度 8MPa 温度要求 5-65℃ 成本 3.5 万元/吨

模拟 试验	试验说明：分别对三种注浆材料进行 3d 抗压强度测试实验，测得其最大抗压强度。																																											
	3d 最大抗压强度	方案一：水泥净浆					方案二：聚合物灌缝胶					方案三：高渗透性树脂料																																
		试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4																													
		9.5	9.2	10.5	11	10.2	6.5	4.8	4.2	3.9	5.2	8.5	8.3	8.2	7.9																													
平均值	10.08					4.88					8.18																																	
综合 评价	小组通过调查分析和模拟试验数据，绘制简易图表，进行数据比对：																																											
	<p>最大抗压强度/MPa</p> <table border="1"> <caption>最大抗压强度/MPa 数据表</caption> <thead> <tr> <th>试验次数</th> <th>方案一</th> <th>方案二</th> <th>方案三</th> <th>方案要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>10.0</td> <td>6.5</td> <td>8.5</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>9.5</td> <td>5.0</td> <td>8.3</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>10.0</td> <td>4.5</td> <td>8.2</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>10.5</td> <td>4.0</td> <td>8.2</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>10.0</td> <td>5.0</td> <td>8.2</td> <td>10.0</td> </tr> </tbody> </table>														试验次数	方案一	方案二	方案三	方案要求	1	10.0	6.5	8.5	10.0	2	9.5	5.0	8.3	10.0	3	10.0	4.5	8.2	10.0	4	10.5	4.0	8.2	10.0	5	10.0	5.0	8.2	10.0
	试验次数	方案一	方案二	方案三	方案要求																																							
1	10.0	6.5	8.5	10.0																																								
2	9.5	5.0	8.3	10.0																																								
3	10.0	4.5	8.2	10.0																																								
4	10.5	4.0	8.2	10.0																																								
5	10.0	5.0	8.2	10.0																																								
<p>材料最高使用温度</p> <p>材料成本统计</p> <table border="1"> <caption>材料最高使用温度 数据表</caption> <thead> <tr> <th>方案</th> <th>最高使用温度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>方案一</td> <td>160</td> </tr> <tr> <td>方案二</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>方案三</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>方案要求</td> <td>65</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <caption>材料成本统计 数据表</caption> <thead> <tr> <th>方案</th> <th>成本</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>方案一</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>方案二</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>方案三</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>方案要求</td> <td>3.5</td> </tr> </tbody> </table>														方案	最高使用温度	方案一	160	方案二	80	方案三	65	方案要求	65	方案	成本	方案一	0.5	方案二	3.0	方案三	3.5	方案要求	3.5											
方案	最高使用温度																																											
方案一	160																																											
方案二	80																																											
方案三	65																																											
方案要求	65																																											
方案	成本																																											
方案一	0.5																																											
方案二	3.0																																											
方案三	3.5																																											
方案要求	3.5																																											
<p>1、方案一水泥砂浆抗压强度高，成本低。</p> <p>2、方案二聚合物改性灌缝胶抗压强度低，成本较高。</p> <p>3、方案三高渗透性树脂材料抗压强度高，成本较高。</p>																																												
结论	选用方案一为最佳方案																																											

制表人：宋帮红

制表时间：2023 年 7 月

5、矿物掺料比选

表 12 矿物掺料比选表

<p>方案需求</p>	<p>矿物掺料是指在水泥基材料中添加一些非金属矿物，如硅灰、石英砂、粉煤灰等。这些掺料的添加在水泥基注浆体中起到多种作用，如活性矿化作用，促进水泥的水化反应，改善强度、流动性、耐久性等。</p>		
<p>备选方案</p>	<p>方案一：外加矿粉</p> 	<p>方案二：外加硅灰</p> 	<p>方案三：外加粉煤灰</p> 
<p>工作原理</p>	<p>矿粉中含有大量活性成分，可以促进水泥的水化反应，提高水泥基材料的耐久性，减缓钢筋锈蚀，在适量范围内，还有助于提高注浆材料的流动性。</p>	<p>硅灰对水泥基材料的强度有正面的影响，尤其是在早期能提高硬度和抗压强度。还能改善注浆材料的耐久性，降低渗透性，对抗化学腐蚀。在一定程度上也可以提高浆体的流动性。成本虽然偏高，但在提高浆体性能和耐久性方面具有显著作用。</p>	<p>粉煤灰能提高注浆材料的强度，尤其是长期强度，能填充水泥基材料中的细孔隙，增强其致密性，在一定程度上也可以提高浆体的流动性，使其更易于施工，成本相对较低，同时能够有效利用工业废弃物，对可持续性有积极影响。</p>
<p>调查分析</p>	<p>28d 最大抗压强度： 36MPa 流动度变化范围 9~12s 成本 500 元/吨</p>	<p>28d 最大抗压强度 40MPa 流动度变化范围 10~14s 成本 1300 元/吨</p>	<p>28d 最大抗压强度 34MPa 流动度变化范围 12~15s 成本 150 元/吨</p>

模拟 试验	试验说明：分别对掺加三种矿物材料的注浆材料进行抗压强度及流动度测试实验，测得其流动度及 28d 抗压强度，其中粉煤灰等质量替换水泥。															
	28d 最大抗压强度	方案一：外加矿粉					方案二：外加硅灰					方案三：粉煤灰等质量替换				
		试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5
		46	39	35	36	31	49	60	64	57	63	56	55	49	58	54
	平均值	37.4					58.6					54.8				
流动度范围	9.8~12.4s					11.4~14.3s					12.4~15.3s					
综合 评价	小组通过调查分析和模拟试验数据，绘制简易图表，进行数据比对：															
	<div style="text-align: center;"> <p>28d强度</p> <p>80 60 40 20 0</p> <p>试验1 试验2 试验3 试验4 试验5</p> <p>● 粉煤灰 ● 硅灰 ● 矿粉</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>流动度</p> <p>20 10 0</p> <p>试验1 试验2 试验3 试验4 试验5</p> <p>● 粉煤灰 ● 硅灰 ● 矿粉</p> </div>															
<p>1、方案一外加矿粉，抗压强度低，流标性能与掺量相关，成本较低。</p> <p>2、方案二外加硅灰材料抗压强度高，流动性能高，温度要求低，流变性能好，成本较高，但掺量较低，考虑到综合性能及材料需求量，在同等情况下优先选用。</p> <p>3、方案三采用等质量粉煤灰替换水泥，浆体流变性能好，成本降低，但抗压强度高降低。</p>																
结论	选用方案二为最佳方案															

制表人：宋帮红

制表时间：2023年7月

6、早强剂比选

表 13 早强剂比选表

<p>方案需求</p>	<p>为保障道路通行效率，减少占道施工时间，在采用半柔性修补材料对沥青路面坑槽修补时，需要在灌浆完成后，注浆材料快速发生水化反应，形成一定强度，而传统的水泥注浆净浆难以满足要求，因此需要添加一定的速凝早强剂，使注浆材料在保持施工和易性基础上，能在灌浆后快速凝结硬化形成强度，以满足行车要求。</p>		
<p>备选方案</p>	<p>方案一：快硬硫铝酸盐水泥等质量替换</p> 	<p>方案二：外加碳酸锂</p> 	<p>方案三：外加氯化钙</p> 
<p>工作原理</p>	<p>快硬硫铝酸盐水泥是一种高性能水泥，其主要成分包括硅酸盐、氧化铝和硫酸盐等。其促凝原理主要是在水泥水化的过程中，硫铝酸盐与水发生反应，生成硬硫铝酸盐胶凝体，这有助于迅速提高水泥基材料的强度。可用于需要迅速获得强度的工程，如紧急修复和快速施工等。</p>	<p>碳酸锂促凝原理主要涉及到与水泥中的硅酸盐反应。碳酸锂与水泥中的硅酸盐产生反应，生成一些凝胶物质，这有助于加速水泥的水化过程，提高水泥基材料的早期强度。碳酸锂通常用于需要提高早期强度的应用，如快速修复。</p>	<p>氯化钙是一种常用的减缓混凝土凝固时间和促进早期强度发展的外加剂。其通过加速水泥的水化反应，提高水泥基材料的强度。它还可以影响水泥颗粒的凝聚，增强材料的致密性。在提高早期强度方面表现出色，但有时也会引起材料中的氯离子含量增加，可能导致钢筋腐蚀的问题，因此在某些情况下需要谨慎使用。</p>
<p>调查分析</p>	<p>28d 最大抗压强度：32MPa 浆体凝结时间：<30min 成本：1400 元/吨</p>	<p>28d 最大抗压强度：26.3MPa 浆体凝结时间：120-259min 成本：88600 元/吨</p>	<p>28d 最大抗压强度：38.4MPa 浆体凝结时间：45-259min 成本：810 元/吨</p>

模拟试验	试验说明：分别对掺加三种矿物材料的注浆材料进行抗压强度及流动度测试实验，测得其流动度及 28d 抗压强度，其中粉煤灰等质量替换水泥。																																																													
	28d 最大抗压强度	方案一：硫铝酸盐水泥					方案二：外加碳酸锂					方案三：外加氯化钙																																																		
		试验1	试验2	试验3	试验4	试验5	试验1	试验2	试验3	试验4	试验5	试验1	试验2	试验3	试验4	试验5																																														
		59	57	52	54	49	71	67	77	79	84	58	65	61	66	70																																														
	平均值	54.2					75.6					64																																																		
凝结时间范围	13~230min					121~230min					45~230min																																																			
综合评价	小组通过调查分析和模拟试验数据，绘制简易图表，进行数据比对：																																																													
	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="text-align: center; margin-bottom: 20px;"> <h3>28d强度</h3> <table border="1" style="display: none;"> <caption>28d强度数据</caption> <thead> <tr> <th>试验</th> <th>硫铝酸盐</th> <th>碳酸锂</th> <th>氯化钙</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>试验1</td><td>59</td><td>57</td><td>52</td></tr> <tr><td>试验2</td><td>57</td><td>71</td><td>67</td></tr> <tr><td>试验3</td><td>52</td><td>77</td><td>79</td></tr> <tr><td>试验4</td><td>54</td><td>79</td><td>84</td></tr> <tr><td>试验5</td><td>49</td><td>84</td><td>58</td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <h3>凝结时间</h3> <table border="1" style="display: none;"> <caption>凝结时间数据</caption> <thead> <tr> <th>试验</th> <th>硫铝酸盐</th> <th>碳酸锂</th> <th>氯化钙</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>试验1</td><td>13</td><td>230</td><td>45</td></tr> <tr><td>试验2</td><td>230</td><td>121</td><td>230</td></tr> <tr><td>试验3</td><td>230</td><td>121</td><td>230</td></tr> <tr><td>试验4</td><td>230</td><td>121</td><td>230</td></tr> <tr><td>试验5</td><td>230</td><td>121</td><td>230</td></tr> </tbody> </table> </div> </div>															试验	硫铝酸盐	碳酸锂	氯化钙	试验1	59	57	52	试验2	57	71	67	试验3	52	77	79	试验4	54	79	84	试验5	49	84	58	试验	硫铝酸盐	碳酸锂	氯化钙	试验1	13	230	45	试验2	230	121	230	试验3	230	121	230	试验4	230	121	230	试验5	230	121
试验	硫铝酸盐	碳酸锂	氯化钙																																																											
试验1	59	57	52																																																											
试验2	57	71	67																																																											
试验3	52	77	79																																																											
试验4	54	79	84																																																											
试验5	49	84	58																																																											
试验	硫铝酸盐	碳酸锂	氯化钙																																																											
试验1	13	230	45																																																											
试验2	230	121	230																																																											
试验3	230	121	230																																																											
试验4	230	121	230																																																											
试验5	230	121	230																																																											
结论	<ol style="list-style-type: none"> 方案一采用等质量硫铝酸盐水泥替换普通硅酸盐水泥，浆体流变性能好，凝结时间较短且调节范围大，但后期抗压强度高降低。 方案二外加碳酸锂浆体抗压强度高，流动性能降低，成本较高，对凝结时间调节范围有限。 方案三外加氯化钙，成本较低，且能较好缩短浆体凝结时间，提高浆体早期强度，降低泌水率，但流动度降低，且引入氯离子，使用时需谨慎。 																																																													
	选用方案一为最佳方案																																																													

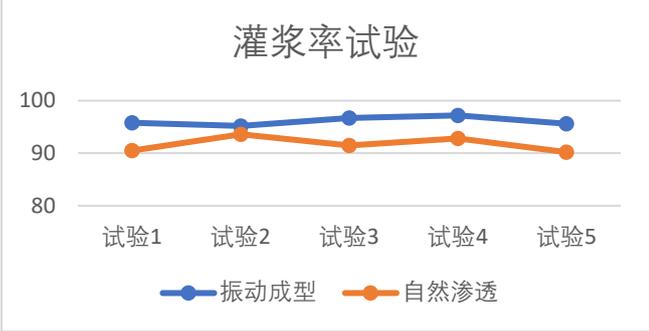
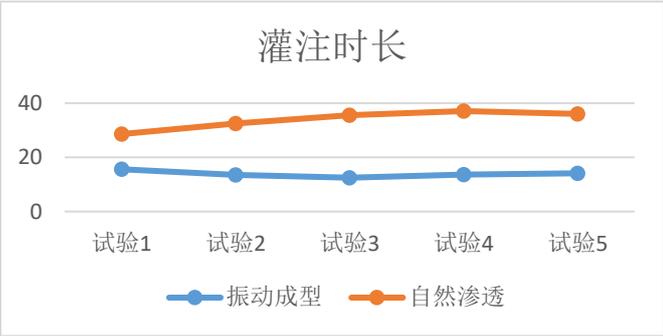
制表人：宋帮红

制表时间：2023年7月

7、灌浆工艺比选

表 14 灌浆工艺比选表

方案需求	灌浆工艺是将具有流动性和胶凝性的浆液压入大孔隙沥青混合料基体中硬化成整体。灌浆方式一般为自然渗透和振动成型。灌注率 $\geq 90\%$ ，灌注时长 $\leq 20\text{min}$ 。										
备选方案	方案一：振动成型					方案二：自然渗透					
工作原理	通过振动压路机将灌浆料压入大孔隙沥青混凝土基体中。					在大孔隙沥青混凝土基体四周做封边处理，倒入灌浆料，靠其自重压入大孔隙沥青混凝土基体中。					
调查分析	灌注率 95% 以上 灌注时长约 15min					灌注率 90% 以上 灌注时长约 30min					
模拟实验一	灌注率	方案一：振动成型					方案二：自然渗透				
		试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5
		95.8%	95.2%	96.7%	97.2%	95.6%	90.5%	93.6%	91.5%	92.8%	90.2%
平均值	96.10%					91.72%					
模拟实验二	灌注时长/分钟	方案一：振动成型					方案二：自然渗透				
		试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5
		15.6	13.5	12.5	13.6	14.1	28.6	32.5	35.6	37.1	36.0
平均值	13.86min					33.96min					
综合评价	小组通过调查分析数据，绘制简易图表，进行数据比对：										

	<div style="text-align: center;">  <p>灌浆率试验</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>试验</th> <th>振动成型 (%)</th> <th>自然渗透 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>试验1</td> <td>95</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>试验2</td> <td>94</td> <td>93</td> </tr> <tr> <td>试验3</td> <td>96</td> <td>91</td> </tr> <tr> <td>试验4</td> <td>97</td> <td>92</td> </tr> <tr> <td>试验5</td> <td>95</td> <td>90</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>灌注时长</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>试验</th> <th>振动成型 (min)</th> <th>自然渗透 (min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>试验1</td> <td>15</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>试验2</td> <td>14</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>试验3</td> <td>13</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>试验4</td> <td>14</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td>试验5</td> <td>15</td> <td>36</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p>1、方案一振动成型的时长较短，灌注率较高，满足快速修补的要求。 2、方案二自然渗透灌注率低，占道时长不满足要求。</p>	试验	振动成型 (%)	自然渗透 (%)	试验1	95	90	试验2	94	93	试验3	96	91	试验4	97	92	试验5	95	90	试验	振动成型 (min)	自然渗透 (min)	试验1	15	28	试验2	14	32	试验3	13	35	试验4	14	37	试验5	15	36
试验	振动成型 (%)	自然渗透 (%)																																			
试验1	95	90																																			
试验2	94	93																																			
试验3	96	91																																			
试验4	97	92																																			
试验5	95	90																																			
试验	振动成型 (min)	自然渗透 (min)																																			
试验1	15	28																																			
试验2	14	32																																			
试验3	13	35																																			
试验4	14	37																																			
试验5	15	36																																			
结论	<p>选用方案一为最佳方案</p>																																				

制表人：刘鹏

制表时间：2023年7月

(四) 确定最佳方案

小组对所有整理后的方案进行调查分析、模拟试验、综合评价和比选后，确定最佳方案：

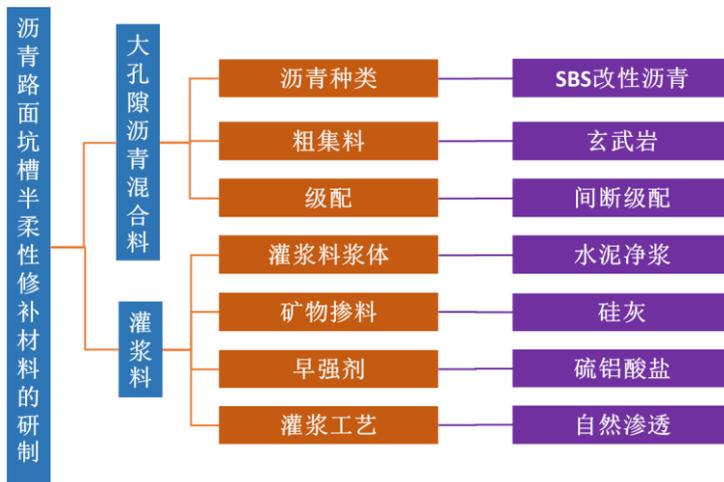


图 10 最佳方案图

制图人：刘鹏

制图时间：2023年7月

五、制订对策

表 15 对策表

序号	对策	目标	措施	责任人	地点	完成时间
1	SBS 改性沥青实施	1、SBS 改性沥青针入度介于 30~60； 2、SBS 改性沥青软化点 ≥ 60 ； 3、SBS 改性沥青延度 ≥ 20 ；	1、实验室实测沥青的三大指标。 2、针对三大指标进行比选。	吴宇浩	联合实验室	8 月
2	玄武岩粗集料实施	1、玄武岩粗集料压碎值 $\leq 22\%$ ； 2、玄武岩粗集料洛杉矶磨耗值 $\leq 28\%$ ； 3、玄武岩粗集料针片状含量 $\leq 5\%$ ；	1、根据粗集料的压碎值、磨耗值进行筛选； 2、采用游标卡尺对粗集料的针片状含量进行检测。	吴宇浩	联合实验室	8 月
3	间断级配实施	1、确定大孔隙基体沥青混合料的级配曲线； 2、实测大孔隙基体沥青混合料的孔隙率介于 20%~30% 之间；	1、实验室测量集料的级配曲线； 2、制作马歇尔试件，测试试件的孔隙率。	吴宇浩	联合实验室	8 月
4	水泥基灌浆材料实施	1、选用减水剂，优化水灰比，确保液体流动度在 10~14s 之间。	1、调研灌浆浆体常用水灰比范围； 2、选用减水剂，设计配合比。	宋帮红	联合实验室	8 月
5	硅灰实施	选择外加矿物填料，提高浆体流动性，同时降低泌水率，控制流动度在 10-14s 之间，泌水率 $< 1\%$ ，提高灌浆材料配比可选择性。	1、调研灌浆浆体常用矿物填料掺加范围； 2、小组成员调研灌浆浆体常用矿物填料掺加范围，设计试验配合比，优化灌浆体性能。	宋帮红	联合实验室	8 月

6	硫铝酸盐实施	1、1d 抗压强度 $\geq 15\text{MPa}$ 2、28d 抗压强度 $\geq 25\text{MPa}$	1、调研灌浆浆体常用促凝早强剂掺加范围； 2、基于小组成员调研灌浆浆体常用促凝早强剂掺加范围，设计试验配合比，优化灌浆体性能，配制快凝早强型灌浆材料。	宋帮红	联合实验室	8月
7	振动成型实施	1、灌浆料灌注率达到 95% 以上；	1、选用上述方案中选择的材料制备半柔性修补材料； 2、实地测试材料的灌注率。	刘鹏	试验路段	9月
8	实地路用测试	1、实施后 PCI 值 ≥ 92 。	1、将上述半柔性材料进行实地应用，并检测 PCI 值。	刘鹏	高速公路	9月

制表人：刘鹏

制表时间：2023 年 9 月

六、对策实施

（一）对策实施一：SBS 改性沥青实施

表 16 实施一过程表

目标	<ul style="list-style-type: none"> 1、SBS 改性沥青针入度介于 30~60； 2、SBS 改性沥青软化点 ≥ 60； 3、SBS 改性沥青延度 ≥ 20； 4、SBS 改性沥青与集料的粘附强度 $\geq 1.05\text{MPa}$； 5、受水环境影响后，粘附强度衰减率 $\leq 20\%$。
----	--

实施
过程

一、沥青三大指标检测

按照规范要求对 SBS 改性沥青的三大基本指标进行检测。

二、粘附性能检测

小组成员参照拉拔试验结果对 SBS 改性沥青的粘附强度进行了现场测试。测试步骤：

- 1、将 SBS 改性沥青加热至 170℃后恒温保存 4 小时；
- 2、将热沥青均匀涂抹在拉拔头底端；
- 3、将涂有热沥青的拉拔头立即垂直按压至矿物石板上，并施加恒力压紧拉拔头与石板；
- 4、待拉拔头底端多余沥青受压力挤出后，将多余沥青刮去；
- 5、将粘贴完成的拉拔试样至于 25℃保温 4 小时，后采用全自动附着力测试仪对其进行粘附强度检测；
- 6、将部分试样进行 60℃恒温浸水处理，浸水 24 小时，以此模拟夏季高温多雨环境，试件完成浸水过程后将其置于常温 25℃环境中保温 4 小时，后对其进行拉拔试验，测试并计算受水环境影响后粘附强度的衰减情况。



图 11 自动附着力测试仪



图 12 拉拔头



图 13 拉拔试样

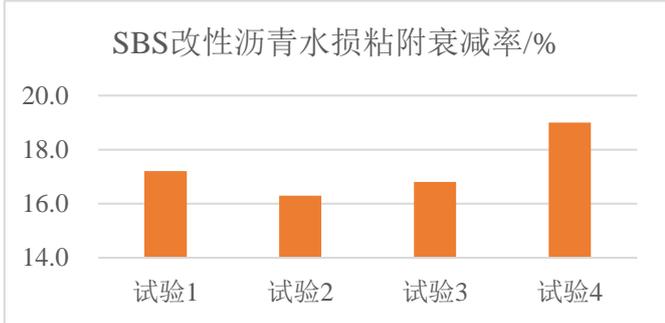


图 14 试样浸水

测试
结果

SBS 改性沥青三大指标及粘附性能测试结果：

技术指标	单位	技术要求	测试结果平均值
针入度 (25℃)	0.1mm	30~60	51.8
软化点	℃	≥60	77
延度 (5cm/min, 5℃)	cm	≥20	30
粘附强度	MPa	≥1.05	1.12
水损粘附衰减率	%	≤20	17.3

	<div style="text-align: center;">  <p>SBS改性沥青粘附强度/MPa</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>SBS改性沥青水损粘附衰减率/%</p> </div> <p>试验结论：SBS 改性沥青各项指标及粘附性能满足要求，具备可实施性。</p>
效果检查	<p>SBS 改性沥青作为基体大孔隙沥青混合料的粘结料，其三大基本指标均满足规范要求，同时其与集料之间有较强的粘附强度，平均粘附强度达到 1.12MPa，粘附强度下降受水热环境影响较低。</p>

制表人：吴宇浩

制表时间：2023 年 8 月

(二) 对策实施二：玄武岩粗集料实施

表 17 实施二过程表

目标	<ol style="list-style-type: none"> 1、玄武岩粗集料压碎值$\leq 22\%$; 2、玄武岩粗集料洛杉矶磨耗值$\leq 28\%$; 3、玄武岩粗集料针片状含量$\leq 5\%$; 4、玄武岩粗集料吸水率$\leq 2\%$; 5、对沥青的粘附性等级≥ 4。
----	--

实施
过程

小组成员按照规范要求，对沥青混合料用玄武岩粗集料各项指标进行检测：

- 1、采用压力试验机对玄武岩粗集料的压碎值进行测试计算；
- 2、采用洛杉矶磨耗机对玄武岩粗集料的的洛杉矶磨耗值进行测试计算；
- 3、采用游标卡尺法对玄武岩粗集料的针片状含量进行检测；
- 4、采用网篮法对玄武岩粗集料的吸水率进行检测计算；
- 5、采用水煮法对玄武岩粗集料对沥青的粘附性等级进行检测。



图 15 压力试验机

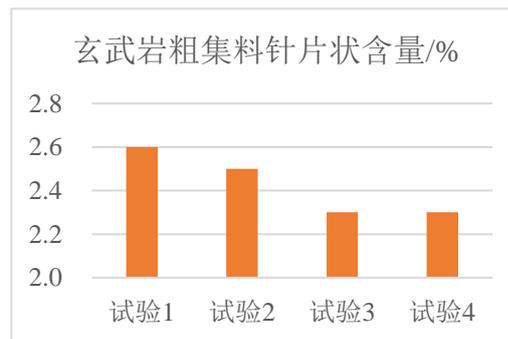
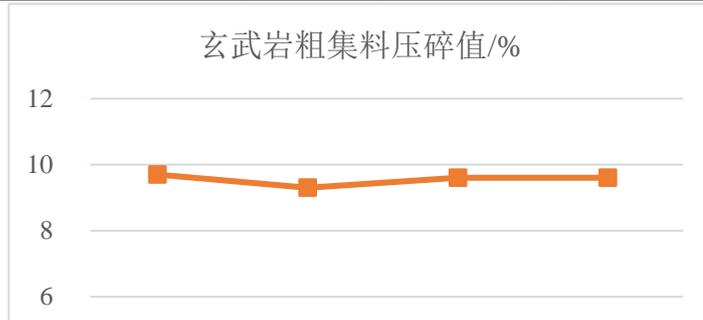


图 16 洛杉矶磨耗机

玄武岩粗集料技术指标测试结果：

技术指标	单位	技术要求	测试结果平均值
压碎值	%	≤22	9.6
洛杉矶磨耗值	%	≤28	13
针片状含量	%	≤5	2.4
吸水率	%	≤2	0.7
对沥青粘附性等级	/	≥4	4

测试
结果



	测试结论：玄武岩粗集料各项技术指标满足要求，具备可实施性。
效果检查	玄武岩粗集料平均压碎值为 9.6%，能够为基体混合料骨架结构提供足够的强度，平均针片状含量为 2.4%，能够保证骨架结构的稳定，同时对沥青的粘附性能较好，确保骨料与胶结料之间连接的牢固。

制表人：吴宇浩

制表时间：2023 年 8 月

(三) 对策实施三：间断级配实施

表 18 实施三过程表

目标	<ol style="list-style-type: none"> 1、确定大孔隙基体沥青混合料的级配曲线； 2、实测大孔隙基体沥青混合料的孔隙率介于 20%~30%之间； 3、实测大孔隙基体沥青混合料的连通孔隙率$\geq 16\%$； 4、实测大孔隙基体沥青混合料的稳定度$\geq 3.0\text{kN}$； 5、实测大孔隙基体沥青混合料的流值介于 2~4mm 之间。
实施过程	<p>一、级配曲线确定 按照级配曲线上下限要求，结合集料的筛孔通过率，对大孔隙基体沥青混合料的级配曲线进行确定。</p> <p>二、大孔隙基体沥青混合料配合比设计 小组成员参照沥青混合料配合比设计方法，对大孔隙基体沥青混合料进行配合比设计试验。试验步骤：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、按照级配曲线配置集料，后将集料与沥青置于 175℃烘箱中保温 4 小时； 2、将集料从烘箱中取出，加入拌锅，按照 3.8%的油石比加入热 SBS 改性沥青，启动拌锅，搅拌 90s； 3、搅拌完成后，按照级配要求加入热矿粉，继续搅拌 90s； 4、称取适量热拌料，装入马歇尔试件试模中，正反击实 75 次； 5、测量试件高度，并按照成型高度适量调整每个马歇尔试件质量，确保试件高度为 $63.5\pm 1.3\text{mm}$； 6、对成型好的马歇尔试件的孔隙率、连通孔隙率进行测算； 7、按照稳定度测试方法，采用稳定度仪对马歇尔试件的稳定度和流值进行测试。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>图 17 沥青混合料拌锅</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>图 18 马歇尔击实仪</p> </div> </div>



图 19 稳定度仪



图 20 马歇尔试件

1、大孔隙基体沥青混合料级配曲线：

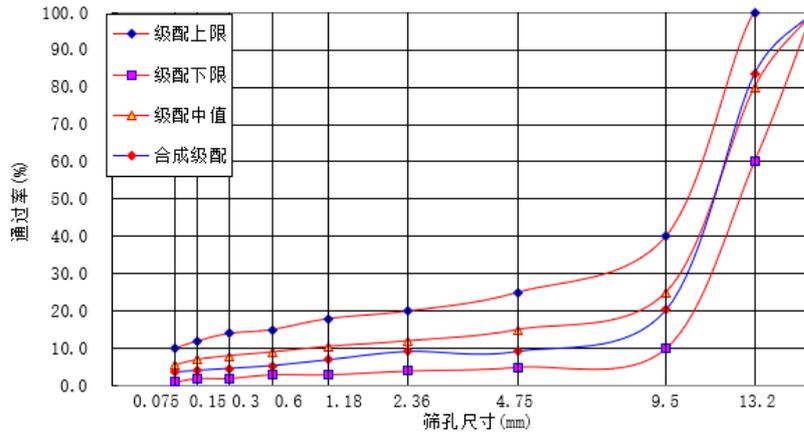
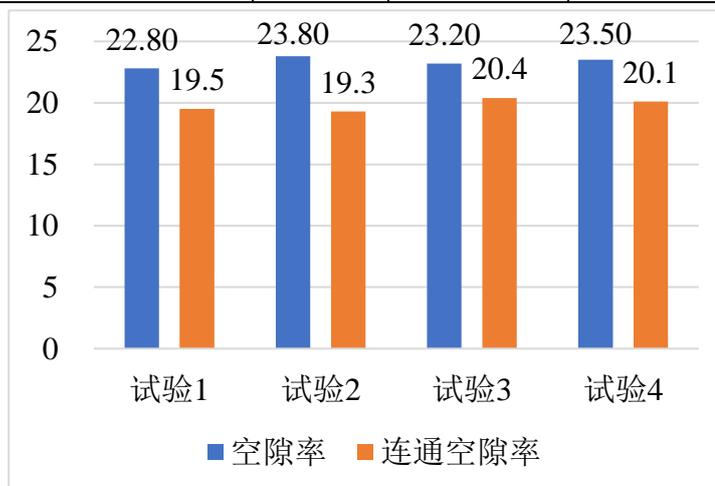


图 大孔隙基体沥青混合料级配曲线

2、大孔隙基体沥青混合料孔隙率及马歇尔试验结果：

测试结果

技术指标	单位	技术要求	测试结果平均值
孔隙率	%	20~30	23.3
连通孔隙率	%	≥16	19.8
稳定度	kN	≥3.0	7.30
流值	mm	2~4	3.6



	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>稳定度/kN</p> <table border="1"> <caption>稳定度数据</caption> <thead> <tr><th>试验</th><th>稳定度/kN</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>试验1</td><td>6.87</td></tr> <tr><td>试验2</td><td>7.54</td></tr> <tr><td>试验3</td><td>7.84</td></tr> <tr><td>试验4</td><td>6.93</td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>流值/mm</p> <table border="1"> <caption>流值数据</caption> <thead> <tr><th>试验</th><th>流值/mm</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>试验1</td><td>3.9</td></tr> <tr><td>试验2</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>试验3</td><td>3.2</td></tr> <tr><td>试验4</td><td>3.7</td></tr> </tbody> </table> </div> </div> <p>测试结论: 按照间断级配设计的大孔隙基体沥青混合料级配满足要求, 具备可实施性。</p>	试验	稳定度/kN	试验1	6.87	试验2	7.54	试验3	7.84	试验4	6.93	试验	流值/mm	试验1	3.9	试验2	3.5	试验3	3.2	试验4	3.7
试验	稳定度/kN																				
试验1	6.87																				
试验2	7.54																				
试验3	7.84																				
试验4	6.93																				
试验	流值/mm																				
试验1	3.9																				
试验2	3.5																				
试验3	3.2																				
试验4	3.7																				
效果检查	<p>按照设计选用的大孔隙基体沥青混合料级配成型沥青混合料马歇尔试件的平均孔隙率为 23.3%, 平均连通孔隙率达 19.8%, 满足灌入式半柔性材料基体孔隙率要求, 同时基体沥青混合料的稳定度和流值均达到规范要求, 确保了基体结构的稳定。</p>																				

制表人: 吴宇浩

制表时间: 2023 年 8 月

(四) 对策实施四: 水泥基灌浆材料实施

表 19 实施四过程表

目标	选用减水剂, 优化水灰比, 确保液体流动度在 10~14s 之间。						
实施过程	一、小组成员调研灌浆浆体常用水灰比范围						
	水灰比	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60
	流动度/s	14.1	13.4	12.6	11.8	10.9	10.0
	二、选用减水剂, 设计配合比						
	选用水泥基材料常用的聚羧酸高效减水剂, 基于调研数据设计试验配合比。						
	试验编号	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6
	水灰比	0.52	0.52	0.54	0.54	0.56	0.56
减水剂	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	
三、现场试验测试							



图 21 灌浆材料制备



图 22 灌浆材料泌水率测试



图 23 灌浆材料流动度测试

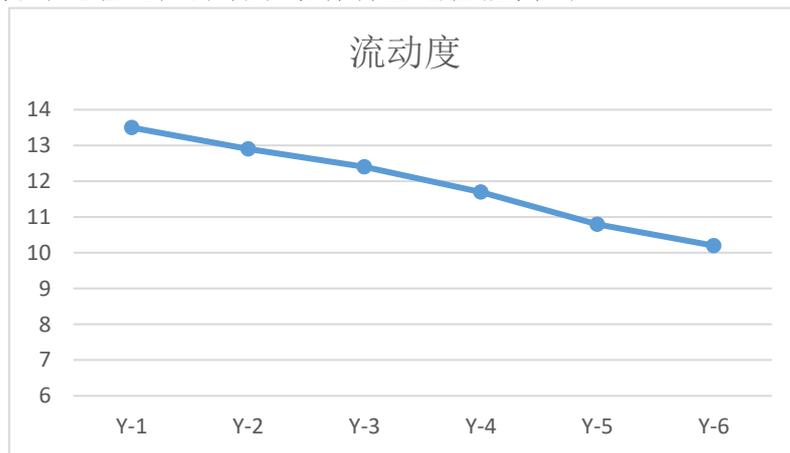


图 24 灌浆材料抗压强度测试

为保障浆体孔隙填充率，通过优化水灰比，确保液体流动度在 10~14s 之间，同时测试浆体泌水率，1d、28d 抗压强度，控制泌水率 $\leq 1\%$ ，1d 抗压强度 $\geq 10\text{MPa}$ ，28d 抗压强度 $\geq 25\text{MPa}$ ，满足规范及灌浆使用要求。

测试
结果

按照设计配合比，开展灌浆材料基础性能测试



测试结论：水泥基灌浆材料按照要求上述检测项目能够达到对应的标准要求，具备可实施性。

效果
检查

水泥基灌浆材料能够确保液体流动度在 10~14s 之间。

制表人：宋帮红

制表时间：2023 年 8 月

(五) 对策实施五：硅灰实施

表 20 实施五过程表

目标	选择外加矿物填料，提高浆体流动性，同时降低泌水率，控制流动度在 10-14s 之间，泌水率 < 1%，提高灌浆材料配比可选择性。						
实施过程	一、小组成员调研灌浆浆体常用矿物填料掺加范围						
	矿物填料	粉煤灰 (%)	硅灰 (%)	矿粉 (%)			
	掺加方式	等质量替换	外掺	外掺			
	掺量范围	0~50	0~10	0~10			
	二、设计配合比						
基于小组成员调研灌浆浆体常用矿物填料掺加范围，设计试验配合比，优化灌浆体性能。							
填料种类	设计掺量 (%)						
粉煤灰	0	20	40	60	80	100	
硅灰	0	2	4	6	8	10	
矿粉	0	2	4	6	8	10	
三、现场试验测试							
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="427 1043 826 1433"> </div> <div data-bbox="954 1043 1251 1433"> </div> </div>							
<p>图 25 灌浆材料流动度测试</p> <p>图 26 灌浆材料泌水率测试</p> <p>为保障浆体孔隙填充率，通过优化水灰比，确保液体流动度在 10~14s 之间，同时测试浆体泌水率，1d、28d 抗压强度，控制泌水率 ≤ 1%，1d 抗压强度 ≥ 10MPa，28d 抗压强度 ≥ 25MPa，满足规范及灌浆使用要求。</p>							

<p style="text-align: center;">测试结果</p>	<p>按照设计配合比，开展灌浆材料基础性能测试</p> <div style="text-align: center;"> <p>流动性</p> <table border="1"> <tr><th>Sample</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><th>Value</th><td>12.4</td><td>11.5</td><td>11.4</td><td>12.9</td><td>13.1</td></tr> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>泌水率</p> <table border="1"> <tr><th>Sample</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><th>Value</th><td>0.9</td><td>0.8</td><td>0.9</td><td>0.8</td><td>0.8</td></tr> </table> </div> <p>测试结论：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.矿粉掺加浆体流动性能降低，泌水率降低，但对强度影响较小。 2.掺加少量硅灰浆体抗压强度高，流动性能高。 3.采用等质量粉煤灰替换水泥，浆体流动性能好，成本降低，但抗压强度高降低。 	Sample	1	2	3	4	5	Value	12.4	11.5	11.4	12.9	13.1	Sample	1	2	3	4	5	Value	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8
Sample	1	2	3	4	5																				
Value	12.4	11.5	11.4	12.9	13.1																				
Sample	1	2	3	4	5																				
Value	0.9	0.8	0.9	0.8	0.8																				
<p style="text-align: center;">效果检查</p>	<p>外加 4%的硅灰，浆体流动度提高，泌水率几乎不变，强度提高。采用 10%粉煤灰替换水泥，浆体各项性能均能满足要求，成本有所降低，外加矿粉浆体流动度降低，但掺量在 6%范围内均满足要求，泌水率降低，强度略有提高。外加矿物填料可对浆体性能进行进一步优化，提升可选择范围。</p>																								

制表人：宋帮红

制表时间：2023 年 8 月

(六) 对策实施六：硫铝酸盐实施

表 21 实施六过程表

<p style="text-align: center;">目标</p>	<p>为满足路面坑槽修补后快速通车的要求，需配置性能满足灌浆施工要求，且能在注浆完成后快速凝结硬化，形成强度，因此需要配制快凝早强型灌浆材料。</p>															
<p style="text-align: center;">实施过程</p>	<p style="text-align: center;">一、 小组成员调研灌浆浆体常用促凝早强剂掺加范围</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">矿物填料</td> <td style="width: 25%;">硫铝酸盐水泥 (%)</td> <td style="width: 25%;">硅灰 (%)</td> <td style="width: 25%;">矿粉 (%)</td> </tr> <tr> <td>掺加方式</td> <td>等质量替换</td> <td>外掺</td> <td>外掺</td> </tr> <tr> <td>掺量范围</td> <td>0~50</td> <td>0~10</td> <td>0~10</td> </tr> </table>				矿物填料	硫铝酸盐水泥 (%)	硅灰 (%)	矿粉 (%)	掺加方式	等质量替换	外掺	外掺	掺量范围	0~50	0~10	0~10
矿物填料	硫铝酸盐水泥 (%)	硅灰 (%)	矿粉 (%)													
掺加方式	等质量替换	外掺	外掺													
掺量范围	0~50	0~10	0~10													

二、 设计配合比

基于小组成员调研灌浆浆体常用促凝早强剂掺加范围,设计试验配合比,优化灌浆体性能,配制快凝早强型灌浆材料。

填料种类	设计掺量 (%)					
硫铝酸盐水泥	0	20	40	60	80	100
碳酸锂	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
氯化钙	0	1	2	3	4	5

三、 现场试验测试



图 27 灌浆材料凝结时间测试

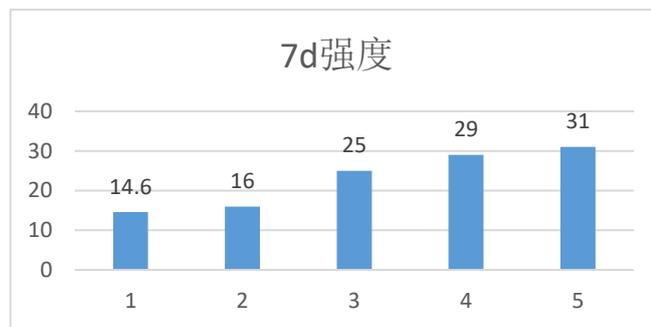


图 28 灌浆材料泌水率测试

为配制快凝早强型灌浆材料,满足快速修补通车的要求,通过掺加硫铝酸盐水泥,碳酸锂,氯化钙。在保障浆体施工性能,确保液体流动度在 10~14s 之间,泌水率 $\leq 1\%$, 1d 抗压强度 $\geq 15\text{MPa}$, 28d 抗压强度 $\geq 25\text{MPa}$, 同时缩短浆体凝结时间,提高早期强度。

按照设计配合比,开展灌浆材料基础性能测试

测试
结果



测试结论:

- 1.掺加硫铝酸盐水泥、碳酸锂、氯化钙均能缩短浆体凝结时间,提高浆体早期强度。
- 2.硫铝酸盐水泥掺加几乎不影响浆体早期性能,而碳酸锂和氯化钙掺加降低浆体流动度及泌水率。
- 3.碳酸锂和氯化钙掺加提高浆体 7d 强度,而硫铝酸盐水泥掺加使浆体 7d 强度有所降低,但任然满足规范要求。

效果
检查

采用硫铝酸盐水泥等质量替换普通硅酸盐水泥,浆体初期各项性能均能满足要求,凝结时间在 13-230min 之间可调,但一般为满足施工要求,凝结时间控制在 30min 左右,替换比优选 60%。此时浆体流动度

	11s, 泌水率 0%, 满足规范对灌浆材料要求。凝结时间 28min, 3h 强度 13MPa, 具有较短凝结时间和较高早期强度。
--	--

制表人：宋帮红

制表时间：2023 年 8 月

(七) 对策实施七：振动成型实施

表 22 实施七过程表

目标	1、灌浆料孔隙填充率 $\geq 95\%$;
实施过程	<p>一、小组成员按照沥青路面坑槽半柔性修补材料材料性能拟定实施流程：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、管制交通、准备施工材料； 2、用风镐彻底清理路面坑槽周围的病害混合料； 3、用强力吹风机清除松散混合料、清洁坑槽面； 4、将大孔隙基体沥青混合料填充至坑槽中，然后用橡皮锤压实，形成凸型料堆状，高度超过路表 2~3cm； 5、用平板夯碾压，使其与路表平齐； 6、根据碾压成型后的表观情况预估孔隙率，选择合适水泥类型；依据坑槽大小，确定水泥浆拌制用水量，然后将水倒入拌浆桶中； 7、将水泥净浆倒入碾压成型后的大孔隙基体沥青混合料表面，用小型振动压路机灌入水泥浆，直至坑槽边缘溢出浑浊水泥浆； 8、用湿毛巾擦拭清理表面的余浆，在表面孔隙中洒入少量水泥干粉，收干表面水分；雨天施工时，用干毛巾覆盖坑槽表面养生 30min； 9、开放交通。 <p>二、小组成员于 8 月 22 日白天、23 日夜间各一时间段，对研制的材料进行实地测试。</p> <div data-bbox="636 1568 1083 1937" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">图 29 现场实施</p>

序号	时间	路段	灌注率	序号	时间	路段	灌注率
1	8月22日	试验段 1	95.6	6	8月23日	试验段 6	95.1
2		试验段 2	96.1	7		试验段 7	96.0
3		试验段 3	95.7	8		试验段 8	95.6
4		试验段 4	95.8	9		试验段 9	95.3
5		试验段 5	96.0	10		试验段 10	95.8
平均灌注率：95.7%							
测试结果	通过使用后经现场检测的平均灌注率为 95.7%。						
效果检查	根据设定平均灌注率需要达到 95%以上，实测沥青路面坑槽半柔性修补材料平均渗透率达到 95.7%。						

制表人：刘鹏

制表时间：2023 年 8 月

(八) 对策实施八：实地路用测试实施

表 22 实施八过程表

目标	1、实施后路段 PCI 值 \geq 92。							
实施过程	一、小组成员于 9 月 12 日对研制的材料选择 PCI 值较低的 10 个路段进行高速公路实地测试，实施流程过程中管制交通，按照半柔性材料坑槽修补工艺进行实施。							
	序号	时间	路段	PCI	序号	时间	路段	PCI
	1	9月10日	K1197+000~ K1198+000	92.6	6	9月10日	K1197+000~ K1198+000	92.1
	2		K1198+000~ K1199+000	93.1	7		K1198+000~ K1199+000	93.0
	3		K1210+000~ K1211+000	92.7	8		K1210+000~ K1211+000	92.6
	4		K1212+000~ K1213+000	92.8	9		K1212+000~ K1213+000	92.3
	5		K1213+000~ K1214+000	93.0	10		K1213+000~ K1214+000	92.8
平均 PCI 值：92.7								
测试结果	通过使用后经现场检测的平均 PCI 值为 92.7。							

效果 检查	根据设定平均 PCI 值需要达到 92 以上，实测沥青路面坑槽半柔性修补材料修补后平均 PCI 值达到 92.7。
----------	---

制表人：刘鹏

制表时间：2023 年 9 月

综合结论：沥青路面坑槽修补后的 PCI 值可达到 92 以上，符合设定目标。

七、效果检查

（一）目标检查

沥青路面坑槽半柔性修补材料研制成功并使用后，小组成员在 2023 年 8 月在苏通大桥南北接线高速公路上进行实地试验修补坑槽，并在测试完成后对辖区内高速公路 PCI 值进行测量并汇总如下：

表 23 沥青路面坑槽半柔性修补后 PCI 汇总表

桩号	南通方向			苏州方向		
	超车道	行车道	重车道	超车道	行车道	重车道
	PCI	PCI	PCI	PCI	PCI	PCI
K1184+000~K1185+000	100.00	98.72	95.22	98.27	98.72	94.65
K1185+000~K1186+000	100.00	99.21	92.86	97.37	99.21	93.60
K1186+000~K1187+000	100.00	97.65	92.85	98.19	97.65	96.00
K1187+000~K1188+000	97.95	95.39	94.43	97.58	95.39	94.89
K1188+000~K1189+000	98.46	97.43	93.37	97.31	97.43	94.00
K1189+000~K1190+000	98.84	97.29	94.40	96.42	97.29	93.41
K1190+000~K1191+000	100.00	99.17	94.15	96.04	99.17	94.96
K1191+000~K1192+000	98.18	95.51	96.28	97.69	95.51	95.13
K1192+000~K1193+000	98.46	96.68	92.00	96.25	96.68	92.56
K1193+000~K1194+000	97.95	95.46	97.92	95.97	95.46	97.14
K1194+000~K1195+000	97.95	97.37	95.07	94.56	97.37	92.28
K1195+000~K1196+000	96.86	95.65	97.43	95.62	95.65	95.14
K1196+000~K1197+000	98.84	97.05	98.78	97.16	97.05	94.11
K1197+000~K1198+000	100.00	95.30	97.87	97.74	95.30	93.00
K1198+000~K1199+000	98.46	96.49	96.92	95.79	96.49	94.55
K1199+000~K1200+000	96.77	95.38	93.00	94.00	95.38	93.00
K1208+000~K1209+000	96.77	95.37	95.39	95.97	95.37	93.00
K1209+000~K1210+000	97.01	95.00	95.00	95.17	95.00	95.00
K1210+000~K1211+000	93.65	92.08	92.42	93.00	92.08	92.00

K1211+000~K1212+000	97.01	96.13	92.00	94.26	96.13	94.00
K1212+000~K1213+000	97.01	94.91	96.17	93.41	94.91	94.72
K1213+000~K1214+000	95.94	95.16	96.80	92.37	95.16	93.80
K1214+000~K1215+000	95.63	93.75	92.95	94.10	93.75	92.96
K1215+000~K1216+000	95.94	94.75	93.04	95.81	94.75	93.37

制表人：刘鹏

制表时间：2023 年 11 月

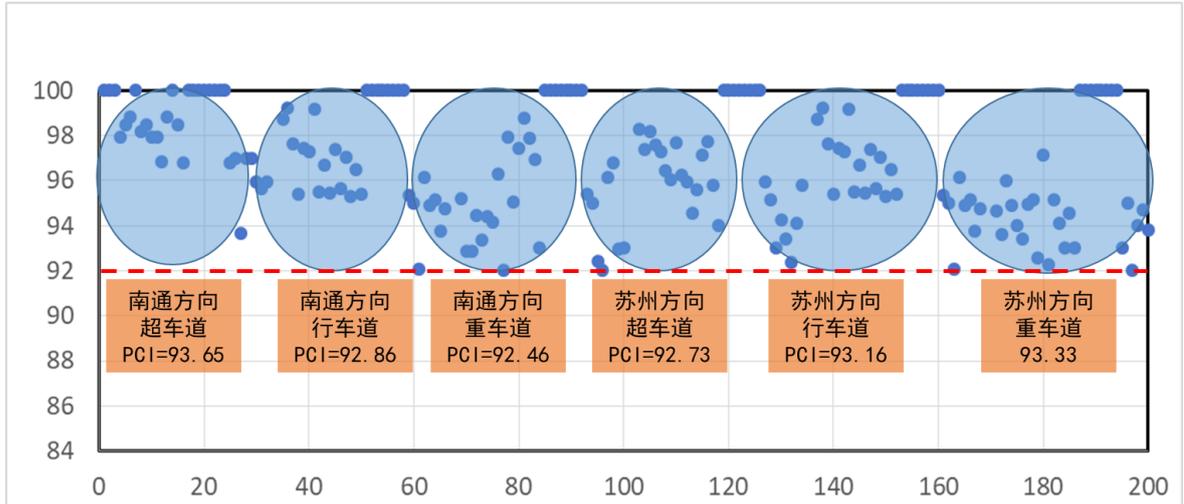


图 30 G15 沈海高速（苏通大桥段）实施后 PCI 散点图

(二) 综合结论

沥青路面坑槽半柔性修补材料使用后，G15 沈海高速（苏通大桥段）6 个车道最小 PCI 为 92.46，本次小组活动目标已实现。

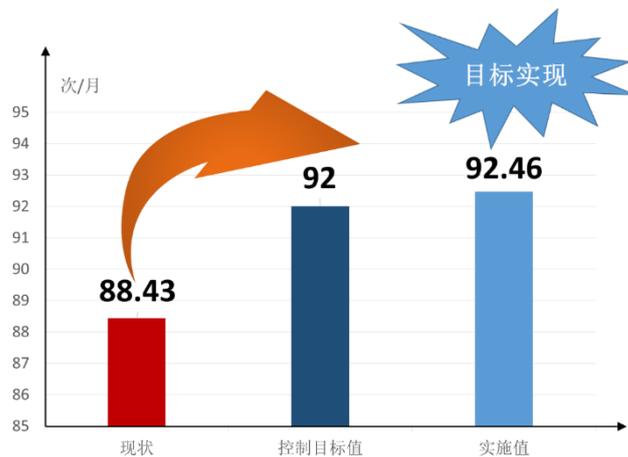


图 31 目标实现图

制图人：刘鹏

制图时间：2023 年 11 月

(三) 社会效益

1、相关单位的经济性：

路面坑槽修补一般采取冷拌沥青混合料填补的方式，该材料填补极易损坏，尤其雨天平均每天需要修补4次，新材料实施后，相同条件下平均只需修补1次。经调查，2023年公司所辖路段修补坑槽600m²，坑槽平均修补厚度约为5cm，人工费约150元/（组·小时），施工机械费及交通组织费约500元/次，原路面冷补料单价1900元/吨，本次研制的半柔性修补材料单价2400元/吨，且可满足日常养护与应急处理需求；

- 1) 材料节约价值=（原实际平均先进单位消耗定额 600m²-改进后实际单位消耗 150m²）×0.05m×材料密度 2.5t/m³×改进前单价 1900元/吨-计算期实际产量（0.05m×150m²×材料密度 2.5t/m³×（2400元/吨-1900元/吨））-研发费用 10000元=87500元。
- 2) 施工机械节约价值=（施工机械出动台班次数 225*施工机械单价 500元/次）=112500元。
- 3) 工时节约价值=（原定额工时 600h-改进后定额工时 150h）×平均工时费用 150元/（组·小时）=67500元

成果应用后，该材料及施工工艺的成功研制及应用总计节约成本为材料节约价值 87500元+施工机械节约价值 112500元+工时节约价值 67500元=267500元。本次小组活动获得经济效益 267500元。

2、内部员工的安全性：

沥青路面坑槽半柔性修补材料的应用有助于减少占道施工时长，促进高速公路沥青路面养护体系的完善，实现提前预防的目的，材料具有较高的早期强度，修补后快速成型，不易破坏，减少上路施工频次，有效消除了频繁多次长时间占道施工的安全隐患。

3、外部顾客的满意度：

沥青路面坑槽半柔性修补材料的成功应用为过往司乘人员提供了更加安全、便捷、畅通的通行环境，提升了过往司乘在道路通行过程中的体验感和满意度。

4、社会形象：

本次 QC 小组活动以解决实际问题为导向，通过创新材料研发，解决了道路坑槽反复填补问题，减少占道施工次数及时间，提高道路通行效率行车舒适性，从而进一步树立了苏通大桥养护中心良好的社会形象。

八、标准化

（一）评价

苏通大桥养护中心将此成果上报工程部，工程部组织所属各养护工区管理员、业务骨干及现场工人进行评价，沥青路面坑槽半柔性修补材料可有效修补高速公路路面坑槽，且能够实现快速修补的需求，有推广价值。工程部已将其列为 2024 年高速公路路面坑槽修补日常养护技术，进行推广使用。

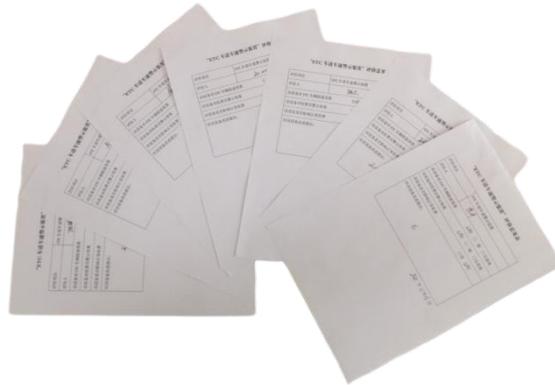


图 32 评价意见表实拍图

（二）制定规范

小组成员编写了沥青路面坑槽半柔性修补材料使用规程、修复养护规范，经报苏通大桥养护工区领导批准印发各班组，并将上述规范、规程纳入《苏通大桥养护工区修复养护管理要求》。

表 24 相关技术标准、管理制度汇总表

序号	项目	标准化形式	文件名称	文件编号
----	----	-------	------	------

1	材料使用规程	纳入苏通大桥养护工区材料使用管理要求	关于印发《沥青路面坑槽半柔性修补材料使用规程》的通知	苏通养【2023】15号
2	坑槽修复规范	纳入苏通大桥养护工区修复养护管理要求	关于印发《沥青路面坑槽半柔性修补材料修复养护规范》的通知	苏通养【2023】16号

制表人：刘鹏

制表时间：2023年11月

（三）资料归档

小组成员将此次活动的相关资料进行了整理归档。



图 33 资料归档实拍图

九、总结和下一步打算

（一）活动总结

“路桥卫士”QC 小组通过借鉴“大孔隙排水沥青路面”和“地基注浆加固”的技术原理，研制了沥青路面坑槽半柔性修补材料。首次将

半柔性材料应用在坑槽修补上，实现了道路损坏状况指数 PCI 的提升，取得了一定的经济效益；该半柔性修补材料的应用有助于减少占道施工时长，促进高速公路沥青路面养护体系的完善，实现提前预防的目的，材料具有较高的早期强度，修补后快速成型，减少上路施工频次，有效消除了频繁多次长时间占道施工的安全隐患。

小组成员通过本次 QC 课题，对高速公路的坑槽修复养护作业流程有了更进一步的认识和理解，运用新材料新技术拓展了知识面。熟悉了 QC 课题活动程序、掌握了理论分析的技巧、试验数据处理与分析统计方法，提高了开展课题活动的的能力，掌握了各种管理工具和方法，运用图表等进行方案比选，树图分解方案，能够对管理工具能做到恰当、正确的运用（活动总结见表 25）。在本次 QC 活动中，小组成员各司其职，群策群力，在提升小组成员创造创新能力的同时，增强了团队合作的凝聚力；在运用质量管理科学方法工具解决问题的同时，提高了全体成员的质量意识。

表 25 活动总结表

活动内容	优点	缺点	应用工具	今后努力方向
选择课题	以部门委求为目标结合现状，课题明确	课题内容包含不可控因素	调查表、散点图	需留心工作中的小问题，拓展范围，排除不可控因素
现状调查	运用原理与实物借鉴 逐步分析出解决方法	调查研究还不够深入	调查表	前期调查增大数据量
目标设定	通过调查统计确定目标	对 QC 工具应用不熟悉	折线图	/
方案确定	充分借鉴已有内容确定整体方案	/	调查表、统计表折线图、柱状图、离散图	应用工具还需再多加练习
对策制定	通过现场测量和调查统计 用数据分析对策	对策制定仅由本组人员出发，具有一定的局限性	调查表、折线图、柱状图	在制定对策中与部门专责领导沟通，增强对策的适用性

对策实施	针对方案逐条制定对策	对策实施期间作证资料未及时保存	统计表	加强工作中对资料收集和整理
效果检查	从经济效益和社会效益，对目标进行检查	经济效益分析不细致	调查表、散点图、柱状图	深入分析经济效益将其量化
巩固措施	将新措施标准化规范化	/	统计表	/

制表人：刘鹏

制表时间：2023年12月

(二) 下一步打算

为了继续做好高速公路修复养护工作，提高坑塘修补的质量和效率，下一步小组成员计划对高速公路坑塘修补的工序进行研究，以《减少高速公路沥青路面坑塘修补的占道时长》作为课题继续开展QC活动。