

基于注浆技术的沥青路面病害综合处治方法研究

梁皓¹, 周圣杰¹, 陈际江², 宋小金³, 樊亮^{1*}

¹山东省交通科学研究院, 山东 济南

²山东大山路桥工程有限公司, 山东 济南

³湖南中大检测技术集团有限公司, 湖南 长沙

Email: *fanliang218@sina.com

收稿日期: 2021年5月2日; 录用日期: 2021年5月16日; 发布日期: 2021年5月28日

摘要

沥青路面反射裂缝及其衍生路面病害的根源在于路面结构内部, 常规处治方式不能带来彻底的修复效果, 不能抑制病害的发展。本文提出沥青路面病害综合处治方法, 该方法以注浆技术为主, 辅以辅界面防水、表面松散加固和表面功能恢复技术。它能够固结沥青路面的整体结构, 延缓和解决路面内部裂缝的发展, 快速提高沥青面层的荷载稳定性和封水能力。结合该方法, 对病害处治效果进行了评价。结果表明, 反射裂缝及注浆处治后的路面弯沉指标得到了明显降低, 平均降幅达到13%。基于注浆技术的沥青路面病害综合处治方法是一条有效的沥青路面病害处置方法, 具有良好的应用前景。

关键词

沥青路面, 反射裂缝, 注浆, 坑槽, 综合处治

Comprehensive Treatment Method of Asphalt Pavement Diseases Based on Grouting Technology

Hao Liang¹, Shengjie Zhou¹, Jijiang Chen², Xiaojin Song³, Liang Fan^{1*}

¹Shandong Transportation Institute, Jinan Shandong

²Shandong Dashan road and Bridge Engineering Co., Ltd., Jinan Shandong

³Hunan Zhongda Testing Technology Group Co., Ltd., Changsha Hunan

Email: *fanliang218@sina.com

*通讯作者。

文章引用: 梁皓, 周圣杰, 陈际江, 宋小金, 樊亮. 基于注浆技术的沥青路面病害综合处治方法研究[J]. 土木工程, 2021, 10(5): 474-483. DOI: 10.12677/hjce.2021.105054

Received: May 2nd, 2021; accepted: May 16th, 2021; published: May 28th, 2021

Abstract

The bases of reflection cracking and its derivative pavement disease of asphalt pavement lie in the interior of pavement structure. Conventional treatment methods cannot bring thorough reparations. This paper puts forward a comprehensive treatment method for asphalt pavement diseases, which is mainly based on grouting technology, supplemented by auxiliary interface waterproof, surface reinforcement and function recovery technology. The treatment method mentioned in this paper can consolidate the overall structure of asphalt pavement, along with inhibiting the development of internal cracks and improving the load stability quickly. The engineering practices show that the deflection of the pavement structure after the treatment has been significantly reduced with an average of 13%. The comprehensive treatment method of asphalt pavement disease based on grouting technology is an effective way to deal with the disease of asphalt pavement and possesses a good application prospect.

Keywords

Asphalt Pavement, Reflection Crack, Slurry Pumping, Pit Slot, Comprehensive Treatment Method

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国高速公路路面 95%以上采用半刚性基层的沥青混凝土路面, 因为胶凝材料不同、基层温缩和疲劳特性的差异, 在交通荷载环境下, 容易发生反射裂缝, 且成为一种常见病害形式[1] [2]。这种裂缝和表面裂缝不同, 源于路面结构内部, 逐渐发展为结构性破坏, 当外界或路面层间水分渗入后, 可以引起后续的汲浆、沉陷、坑槽等病害表现[3]。对这种反射裂缝的及时判断、处治时机的把握、处治方法的选择, 会决定反射裂缝及衍生病害的处治效果。

在没有雷达等内部无损检测仪器检测的条件下, 路面反射裂缝的发现要迟于它的形成, 更多是通过表面裂缝、汲浆、坑槽等严重病害体现在路表的时候才被发现, 且已是反射裂缝的中后期表现。目前, 常规小型面积、非连续病害的处治技术中, 多采用灌封料封缝、灌缝、挖补处理, 面积较大或影响路面状况指数时, 进行铣刨、加铺等中修养护工作。这些处治方式带来较大的人力和工作量, 时间成本高, 效率偏低[4] [5]。一些局部病害的处理效果不良, 治标不治本, 病害会继续延伸。

根据沥青路面反射裂缝及衍生病害的病灶源头, 以非开挖的处治理念, 辅以界面防水、表面松散加固和表面功能恢复技术, 本文开展了针对沥青反射裂缝的综合处治方法和工程应用研究, 提出“三位一体”式路面病害综合处治技术体系, 并通过无损检测设备对由该方法处治病害后的效果进行了评价, 希望为反射裂缝及其衍生病害的防治提供一条有效的技术参考。

2. 沥青路面病害综合处治技术

2.1. 基本流程

沥青路面病害综合处治理念涵盖注浆固本、表面松散加固或置换、路面功能恢复三个主要部分, 图

1 为技术理念示意图。首先, 当没有发生水损害或路面结构内部自由水较少的情况下, 先通过新型高分子注浆材料进行结构内部注浆, 对路面底部和半刚性基层松散结构和裂缝进行加固处理, 所采用的高分子材料必须具有自我膨胀性能, 以起到弥补微细裂缝的功能, 且能够与缝隙表面以及土壤、矿物颗粒之间形成很强的粘接力, 将原本的裂隙结构胶结成一个完整的受力整体, 达到封堵和防水的效果。第二, 当路面沥青混合料出现坑槽或因注浆材料膨胀产生路表松散时, 将松散沥青面层进行换填或重新加固处理, 所采用材料为高性能冷补料或者松散加固稳定剂材料等; 这些材料可以在常温施工, 强度上升快, 可以大大提高施工效率和效果。第三, 为更好的恢复路表的构造深度、摩擦系数、以及避免冷补料早期强度上升慢的问题, 采用预制式路面贴进行表面粘贴, 达到封水、恢复路表功能的目的; 当病害面积较大时, 利用超表处技术[6]进行封层。另外, 当路面内部自由水明显偏多情况下, 应在注浆加固之前进行排水处理, 利用空压机、注浆料进行内部排水处理, 残余水份可以由注浆材料的吸附、反应而形成膨胀效应而充分利用。

这种病害综合处治方式最大优势在于, 既能够固结沥青路面的整体结构, 延缓和解决路面内部裂缝的发展, 同时松散加固和表面功能恢复提高了沥青面层的荷载稳定性和封水能力。相对于普通灌缝处治, 处治可以深入到病灶深处; 相对于一般的坑槽换填, 可以避免软弱沥青层的病害发展。图 2 为常见的处治方法效果图, 反射裂缝的普通灌缝处理不能阻止汲浆的形成, 内部病害仍然延续发展, 后期形成坑槽; 而坑槽的单独换填处理只能解决切口位置病灶, 对于周围软弱沥青层没有效果, 病害继续发展。本文提出的病害综合处治方式具有内部蔓延特点, 可以将周围软弱沥青层进行统一加固, 这就大大提高了路面病害的修复效果。

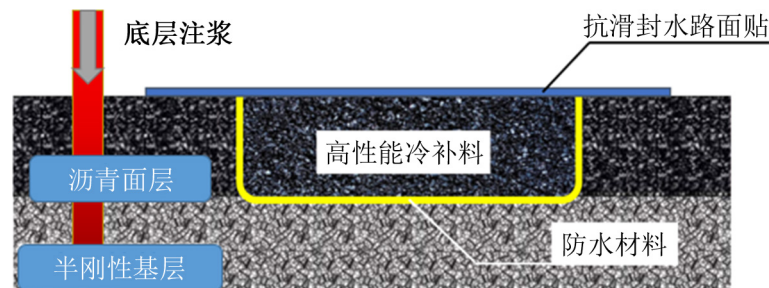


Figure 1. Comprehensive treatment technical for pavement diseases

图 1. 路面病害综合处治技术示意图



Figure 2. Effect of common treatment methods for pavement diseases

图 2. 路面病害的普通处治方法的效果

2.2. 处治材料

路面病害综合处治技术主要包括三类材料产品, 注浆材料、冷补料和表面功能恢复用的路面贴, 当

病害面积较大时，可以采用超表处进行快速处理。

1) 注浆材料

注浆材料采用高性能聚氨酯类注浆材料。聚氨酯浆材固化后的固结体中含有大量的氨基甲酸酯基、脲基等极性基团，浆液遇水后自行分散、乳化、发泡，立即进行化学反应，形成不透水的弹性胶状固结体，有良好的止水性能、有良好的延伸性、弹性及抗渗性、耐低温性，在水中永久保持原形；所释放的CO₂气体带来二次渗透的效果[7]。最主要的是，这种材料粘度、固化速度可以根据需要进行调节，渗透系数大。本工艺中采用的聚氨酯注浆材料经山东省交通科学研究院配方优化，性质稳定、水环境中粘结效果优良，可以用于路面结构内部的潮湿、复杂环境。表1为注浆材料的性质参数。

Table 1. Parameters of polyurethane grouting material

表 1. 聚氨酯注浆材料性质参数

序号	检测项目	检测结果	技术要求
1	粘度(25℃), mPa·s	A 组分	223
		B 组份	617
2	密度(25℃), g/cm ³	A 组分	1.26
3	固化时间, min		10
4	抗压强度(25℃), MPa		7.0
5	抗拉强度(25℃), MPa		6.1
6	起渗压力, MPa		0.8
7	耐化学腐蚀	10%氯化钠溶液	不溶解
		石灰悬浮液	不溶解
		5%亚硫酸	不溶解

2) 冷补料

冷补料基本物质组成包括沥青、压敏材料、合成矿料和其他化学组成，不含有挥发性溶剂。相对于溶剂型冷补料，它主要依靠行车荷载提升强度，初期强度高，不需要养生即可开放交通，在低温天气下也能使用。该材料在防雨、防晒条件下可以存放 90 天以上，密封袋装可以存放半年，远大于普通溶剂型冷拌的存储时间。

3) 抗滑路面贴

路面贴为一种工厂化生产的预制产品，图3为路面贴的结构示意图和实体照片。该路面贴厚度为3~4 mm，由高强加筋防裂布和磨耗功能层构成，后者为封水抗滑混合料层。表2为路面贴的技术指标。其突出性能在于低温弯曲性能，指标要优于 AC-13 混合料，弯拉强度和弯拉应变大幅度提升；抗滑、渗水、抗裂等技术指标满足我国夏热区、夏凉区的技术要求。

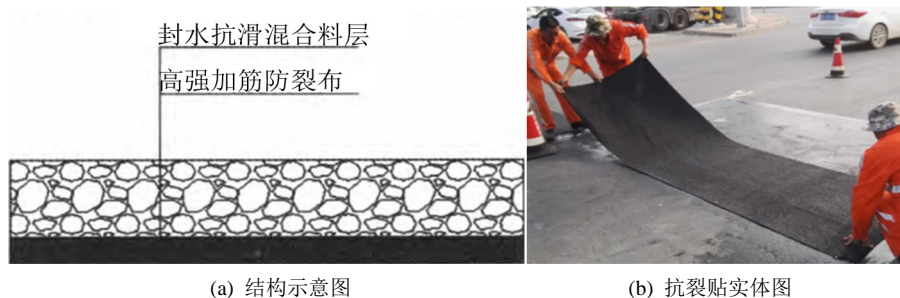


Figure 3. Pavement stickers structure

图 3. 抗滑抗裂路面贴结构示意图

Table 2. Performance of pavement stickers
表 2. 抗滑路面贴的检测指标

序号	技术指标	单位	路面贴	AC-13 混合料	技术要求	试验方法
1	弯拉强度	MPa	7.34	5.47	/	T 0715
2	弯拉应变	$\mu\epsilon$	0.00423	0.002659	/	T 0715
3	构造深度	mm	0.86	0.7	≥ 0.5	T 0961
4	摆式摩擦系数	BPN	76	79	> 58	T 0964
5	平整度	mm	0.7	0.5	≤ 0.8 mm	T 0931
6	渗水系数	ml/min	34	0	< 150	T 0971

2.3. 处治方法

1) 注浆工艺。可参照 CJJ/T 260-2016《道路深层病害非开挖处治技术规程》[8]中相关技术要求和既有经验进行。操作前应对原路面病害进行调查和布孔设计,以确定注浆深度和注浆范围。布孔的基本原则是保证孔洞位置位于病害区域,且深度贯穿病害发生区。对于反射裂缝以及位于反射裂缝上汲浆点,在实际注浆之前需将裂缝中积存的泥浆排出后再进行后续的施工工作,因此注浆孔的分布宜围绕反射裂缝 30 cm 内,呈之字型排布或是矩形排布(视现场裂缝走向情况而定)。对于挖补料处的汲浆点,需将注浆孔沿汲浆点等距进行梅花型布置。

2) 冷补料。注浆完成后,当原沥青路面拱起或松散时,应清理松散或周围薄弱的沥青面层,清理坑槽,撒布适量的乳化高粘沥青(固化沥青 68%)作防水粘层,填入冷补料。冷补料填充量适当高于原路面 5~8 mm,采用小型压路机、小型振动夯或人工脚踩、铁锹拍实等方法压实。

3) 路面贴。根据病害面积,裁剪适当大小的路面贴;在冷补料表面喷洒乳化高粘沥青做粘层油,带初步破乳后,粘贴路面贴,应用示例如图 4 所示。即可对路面病害位置开放交通。当病害面积较大时,可参照 T/CECS G:M52-01-2020《道路路面抗滑降噪超表处技术规》[9],利用抗滑超表处技术进行表面功能恢复,达到抗滑、封水的效果。



Figure 4. Application of pavement stickers
图 4. 路面贴的应用示例

3. 无损检测评价方法

对于道路隐蔽病害的检测与评价方法,目前主流的无损检测设备主要有探地雷达以及弯沉仪。探地雷达能够精确检测道路路面结构层厚度,并在此基础上对路面结构层所隐藏病害进行检测和分析,是一

种高效的检测手段，具有无损、连续、快速、高精度、高分辨率、实时成像等特点。探地雷达主要工作原理是通过向地下发射无线高频电磁波，当电磁波遇到地下空间中不同介质时会发生奇异反射，由收发天线完成电磁波的发射和接收，然后将信号传递给主机，最后使用专业处理软件分析电磁波反射波形的变化情况来评价地下空间体存在状态和分布特征。

弯沉是表征公路路基路面整体强度的重要参数，虽然世界各国测试弯沉的设备和方法有所不同，但对弯沉基本概念的理解是相同的。弯沉定义一般是指路基或路面表面在规定标准车的荷载作用下轮隙位置产生的总垂直变形值(总弯沉)或垂直回弹变形值(回弹弯沉)，以 0.01 mm 为单位。针对落锤式弯沉仪(FWD)而言，弯沉是指与落锤重量对应的当量荷载使路面产生的瞬时变形值。

落锤式弯沉仪较好地模拟了行车荷载的动力作用，目前被认为是较为理想的路面无损检测设备。FWD 测定路基或路面表面所产生的瞬时变形，即测定在动态荷载作用下产生的动态弯沉及弯沉盆，并可由此反算路基路面各层材料的动态弹性模量，作为设计参数使用。所测结果也可用于评定道路承载能力，探查路面下的裂缝、空洞等。

4. 工程案例

4.1. 依托工程

衡德高速连接衡水 - 德州，是沟通河北、山东两省之间联系以及改善晋煤外运和东西交通状况的重要通道。随着交通荷载增加，沥青路面发生反射裂缝、汲浆等病害；既有修补技术未能从结构内部改善路面的状态，次生病害仍在发展(图 5)。为改善这一现状，2019 年采用三位一体式病害综合处治技术。其中，底部处治通过高聚物注浆技术，将加固类浆液注入松散破碎的结构中去，整体提高路面的结构承载能力；面层修整主要是对注浆修复后的面层进行浅层挖补，后在处治区上铺以抗滑封水路面贴，做好防水巩固工作。



Figure 5. Reflection cracking and common treatment effect

图 5. 原路面反射裂缝及既有修补效果

4.2. 病害检测

在汲浆处治前，使用落锤弯沉仪对路面汲浆点附近的弯沉值进行测量。数据显示，根据弯沉的检测数据可以看出，在挖补料处以及唧浆点附近，弯沉数值相比较于未出现病害的路面区域有明显的升高，在数值上增加了大约一倍以上。弯沉值高表明该处已存在结构松散的状况，其主要原因多是由于雨水渗入原路面的裂缝，在行车动载作用下对面层甚至基层结构的冲刷破坏，长此以往，在造成路面结构松散

的同时也形成了唧浆病害。其主要原因多是由于雨水渗入原路面的裂缝，在行车动载作用下对面层甚至基层结构的冲刷破坏，在造成路面结构松散的同时也形成了汲浆病害。根据弯沉值的分布制订了布孔设计(见图 6)。

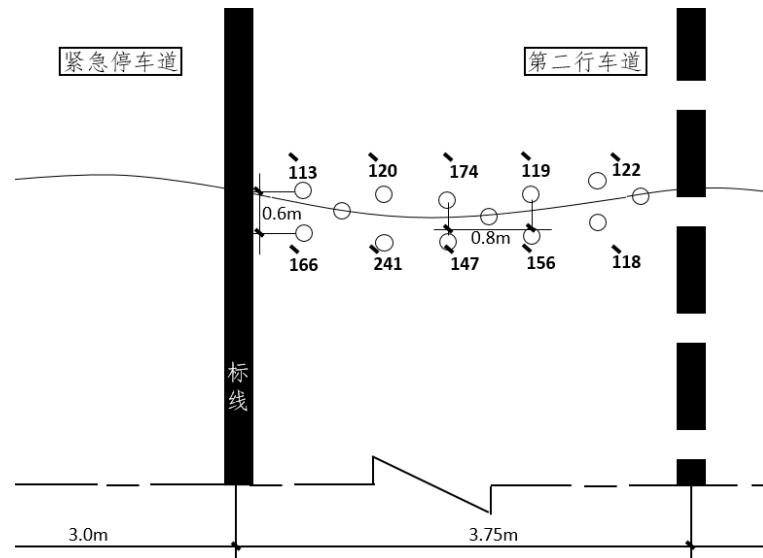


Figure 6. Modulus distribution and hole layout
图 6. 汲浆位置的模量分布与布孔设计

4.3. 病害处治

完成钻孔后，于注浆孔内置入管壁有特定流出口的注浆管，管顶与带有防溢阀的注浆帽紧密连接。调试注浆设备至合适的注浆压力与物料混合温度。注浆压力宜控制在 2 MPa 左右。注浆顺序按照先中央后边缘的顺序，由病害中心逐渐向外侧注入浆液。注浆时应当采用单孔间歇多次注浆的方法，每次注浆需确保前一次的注浆浆液未达到初凝状态。注浆过程中随时注意观察裂缝周围路面的变化情况，当裂缝中有浆料冒出时或路面局部有抬升时，此时立即停止注浆。图 7 为处治过程照片。

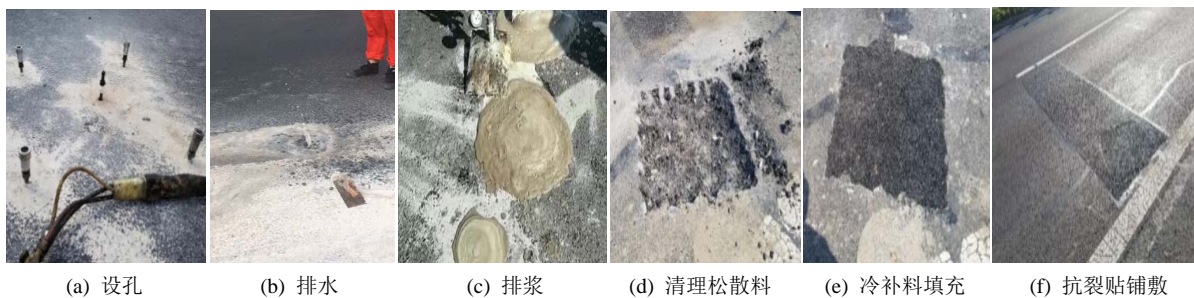


Figure 7. Comprehensive treatment process of pavement diseases
图 7. 路面病害综合处治过程

4.4. 处治效果评价

处治完成等待 2 小时候后，待高聚物固化强度完全后，再次于之前的测量点处测量路面弯沉值。将弯沉值的前后对比数值汇总于下图中，其中弯沉值的降低百分比按弯沉处治前后的差值除以处治前的弯沉值来计算。

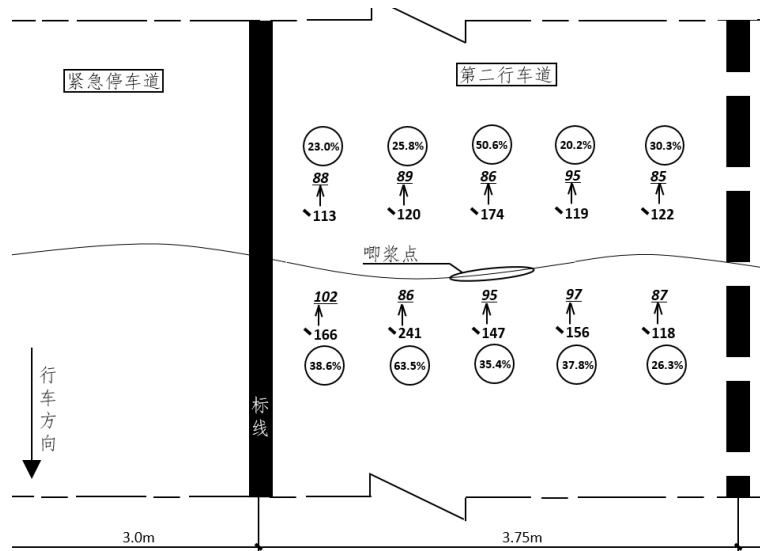


Figure 8. Modulus change of pavement
图 8. 路面病害处治前后的弯沉变化

检测数据可以看到，与病害处治前进行对比，处治后的弯沉值普遍有了明显程度的降低(见图 8)。从弯沉变化程度可以看出，各点弯沉值下降了 20%~40%，可以说明使用聚氨酯注浆材料处治汲浆病害是有效的，在排走底部泥浆的同时填补了原来的裂缝，使之前的受损结构固结为整体，恢复路面的承载力。

对试验路段的其它反射裂缝进行病害处治以及处治前后的弯沉检测，每条裂缝病害选取四处检测位置，如图 9 所示。相应的弯沉检测结果如表 3 所示。

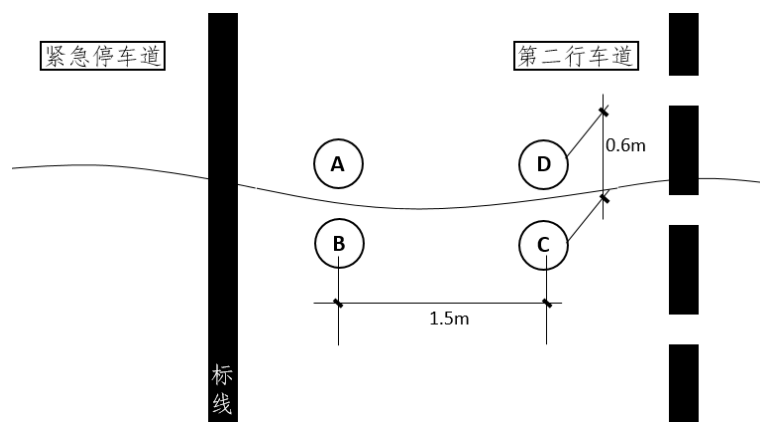


Figure 9. Detection location
图 9. 检测位置示意图

Table 3. Deflection values
表 3. 弯沉检测值

桩号		弯沉值(0.01 mm)				平均降低
		A	B	C	D	
k62 + 200	处治前	115	106	129	120	20.6%
	处治后	87	88	101	97	

Continued

k62 + 660	处治前	171	202	132	147	-5.4%
	处治后	189	239	109	162	
k62 + 720	处治前	145	219	123	174	10.0%
	处治后	141	197	102	165	
k64 + 040	处治前	131	148	123	118	6.5%
	处治后	133	110	128	111	
k64 + 530	处治前	259	174	102	167	16.7%
	处治后	189	104	101	150	
k64 + 630	处治前	188	137	156	186	15.4%
	处治后	160	126	121	157	
k65 + 440	处治前	120	120	156	238	27.4%
	处治后	88	95	94	185	
k66 + 275	处治前	127	110	151	133	19.1%
	处治后	105	107	102	101	
k66 + 525	处治前	163	132	113	162	6.5%
	处治后	131	148	123	118	

总体来看,绝大多数反射裂缝处的弯沉在处治后有了明显数值上的下降,平均降幅达到了 13%,系注浆材料填充裂缝固化后带来的效果。透过数据中发现,有各别裂缝处的弯沉在处治后并没有出现了弯沉值明显下降的情况,表明该处存在局部部位处治效果不良的现象,推测主要原因为注浆过程不充分所导致,浆液不足以将路表下的裂缝与空隙进行填充,未能将受损松散处粘结为一个整体,致使该处路面仍然存在结构上的缺陷。对于此类情况,需要进行二次处治施工来完善修复效果。从检测数据中还可看到,对于病害位置处治后的弯沉值,尽管绝大部分有了明显的降低,但是当把每条裂缝病害进行横向对比观察,却发现这些病害处治后的弯沉数值大小不尽相同,部位区域的弯沉数值水平即便在处治后仍然处于一个较高的不良状态。推测主要原因系裂缝处于面层之下的位置是不同的,由于注浆材料固结体具有一定的塑性变形能力,因此当浆液完全填充固化后,更靠近面层的浅层裂缝填充体相对于深层的固结体对弯沉锤的回弹会产生更大的影响力,固结体会吸收小部分动力势能转化为自身的弹性形变,反馈到数据处理后会出现弯沉数值相对较高的情况。由此可以看出,如若想对隐藏式病害有更加清晰全面的认识,除弯沉检测之外,还需同步结合利用其它无损检测设备(如探地雷达)进行辅助分析。

5. 结论与建议

1) 针对沥青路面反射裂缝及其衍生病害,综合处治方法以注浆技术为主,辅以界面防水、表面松散加固和表面功能恢复技术。它能够固结沥青路面的整体结构,延缓和解决路面内部裂缝的发展,快速提高沥青面层的荷载稳定性和封水能力。

2) 相对于普通灌缝处治,综合处治方法可以深入到病灶深处;相对于一般的坑槽换填,综合处治方法可以避免软弱沥青层的病害发展。工程实践与检测表明,反射裂缝处治后的路面弯沉指标得到了明显降低,平均降幅达到 13%。

3) 由于非开挖处治属于隐蔽工程施工, 仅使用弯沉检测手段进行处治效果评价略显单一, 为了更清晰全面地分析病害处治效果, 后续应当结合利用其它无损检测设备(如探地雷达)进行多维辅助分析。

基金项目

山东省交通科技计划项目(2017B22)、湖南省交通科技项目(201801)对本研究工作提供了资金支持。

参考文献

- [1] 白鹏飞. 半刚性基层沥青路面病害分析及防治研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2016.
- [2] 徐华. 半刚性基层沥青混凝土路面反射裂缝扩展和疲劳寿命研究[D]: [博士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2012.
- [3] 杨树萍, 鹿中山, 程新春. 半刚性基层沥青路面病害的原因与防治[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2002, 25(5): 748-752.
- [4] 陈渊召. 大纵坡路段半刚性基层沥青路面病害防治技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [5] 李悦. 半刚性基层沥青混凝土路面界面形态研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2015.
- [6] 王娜, 刘航, 宋亚洲, 等. 低噪抗滑超表处在高速公路预防性养护中的应用[J]. 山东化工, 2018, 47(15): 128-129, 131.
- [7] 梁皓, 樊亮, 魏慧, 等. 聚醚型聚氨酯注浆材料强度的影响因素研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2020, 44(1): 172-176.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ/T 260-2016 道路深层病害非开挖处治技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [9] 山东大山路桥工程有限公司. T/CECS G:M52-01-2020 道路路面抗滑低噪超表处技术规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2020.