

陕西地方标准编制说明

标准名称：《沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术规程》

主编单位：西安长大公路养护技术有限公司

参编单位：陕西省公路局

长安大学

陕西省通达公路建设集团有限责任公司

2024 年 3 月

一、工程概况

（一）编制目的意义

随着公路的发展，沥青路面成为国省道公路建设中主要的路面结构形式，其中半刚性基层具有强度高、刚度大、整体性和水稳性好、利于机械化施工、造价低、适应重载交通发展需要等优点，因此，我国 90%以上的高等级公路基层和底基层都采用半刚性材料。

但是，由于半刚性基层不设伸缩缝，故当干缩和温缩产生的应变超过材料自身的抗变形能力或干缩和温缩多次收缩变形超过材料自身的疲劳寿命时，半刚性基层就产生开裂。由于开裂的块体较大，块体端部的收缩变形量超过沥青加铺层材料的拉应变或块体端部收缩变形超过沥青加铺层的疲劳寿命，进而引起沥青路面的反射裂缝。半刚性基层沥青路面一旦出现裂缝，表面水分下渗到路面结构层内，起初在车辆荷载作用下出现唧浆等病害，后续引起路基湿软、基层或底基层脱空等病害，此时，已经开裂的半刚性基层类似于局部脱空的水泥混凝土板，形成不稳定支撑层，对沥青面层承载极其不利。

目前，对于半刚性基层病害国内处治方法多数都是采用就地冷再生、厂拌冷再生、挖除重建等。由于半刚性基层通常厚度在40~60cm之间，就地冷再生厚度一般为20~25cm，厂拌再生厚度也一般在20cm左右，而半刚性基层的病害程度较深，有些已经达到路床；其次，铣刨后的半刚性基层级配呈悬浮密实结构；另外，采用“开膛破肚”式局部修补甚至挖除重建，维修后仍然是“半刚性基层路面结构形式”，依然是“半刚性基层的病害与破坏形式”。因此，探寻一种更为合理的半刚性基层养护维修方法，在维修养护的过程中将半刚性基层转换为一种“刚柔相济”的抗裂柔性基层，达到消除基层及以下路面病害，避免挖除重建，节约资源、保护环境，实现沥青路面耐久性改造加铺，是当下亟待解决的技术难题。

基于如上背景，为了解决半刚性基层沥青路面加铺层反射裂缝，并可充分利用旧路强度，采用沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术对半刚性基层进行处治，将其转化为“刚柔相济”的抗裂型新基层，可有效解决半刚性基层自身开裂引起的反射裂缝，实现耐久性或长寿命沥青路面改造加铺。

近年来，随着半刚性基层微裂均质化处治技术的快速发展、工程经验的进一

步积累以及对半刚性基层微裂均质化处治技术认识的不断提升和深化,为了规范半刚性基层微裂均质化处治的设计工作,促进科研成果的转化,引导公路新技术的发展与进步,有必要根据我省公路管理的实际情况,注重公路路面半刚性基层微裂均质化处治设计、施工控制、质量管理的全过程质量管理,编制专门针对半刚性基层微裂均质化处治技术规范,为我省公路管理科学化、制度化和规范化建设提供坚实的技术标准保障。根据地域的差异性,结合最新行业标准、科研成果和实体工程应用,编制《沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术规程》陕西地方标准,对进一步推动半刚性基层沥青路面再生利用技术,提高半刚性基层沥青路面加铺技术,推动节能减排、保护环境,具有重要社会和经济意义。

（二）任务来源

根据陕西省交通运输厅关于转发《陕西省市场监督管理局关于征集 2023 年陕西省地方标准制修订项目的通知》的通知,由西安长大公路养护技术有限公司、陕西公路局、长大大学、陕西省通达公路建设集团有限责任公司负责《沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术规程》地方标准的编制工作。

（三）主导单位

西安长大公路养护技术有限公司

（四）主要工作过程

1、成立起草组

自任务下达后,西安长大公路养护技术有限公司、陕西公路局、长大大学、陕西省通达公路建设集团有限责任公司联合成立标准起草组,明确了工作指导思想,制定了工作原则,确定了起草组成员和任务分工,明确编写任务。

2、资料收集、调查研究分析

编制人员根据任务分工进行了资料收集和调查研究分析工作,一是收集国内外相关的技术标准,以及我省地方标准编制要求,了解了沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术相关技术参数指标。二是深入工程现场,通过沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术的应用情况调研,对存在的问题及现场施工应用经验进行了总结,研究沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术指标的意义,明确了沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术的适用范围、施工工艺等。

3、形成标准草稿

在调研和收集资料的基础上，起草组成员根据前期编制工作方案，以及确定的主要内容进行了多次集中和认真讨论，逐步编写形成了工作组讨论稿。2023年7月，起草组对讨论稿主要技术内容进行讨论并修改后形成标准草稿。

4、起草组讨论，形成征求意见稿

标准草稿形成后，起草组主持并召开《沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术》征求意见座谈会，标准起草单位的代表及特邀公路行业专家参加会议，会议听取了标准编制单位对标准主要内容的汇报，经过充分讨论和认真评议，多标准做了完善修改，形成了标准的征求意见稿。

（四）起草人员信息及分工

序号	姓名	单位	职务/职称	联系方式	分工
1	吴超凡	西安长大公路养护技术有限公司	高级工程师/董事长	13891433343	总体技术负责
2	宋成志	陕西省公路局	高级工程师/养护处处长	17792259366	总体协调与负责
3	刘玉	长安大学	教授	18691567519	负责组织实施、理论研究相关章节编写
3	赵永波	陕西省通达公路建设集团有限责任公司	高级工程师/董事长	13379103333	组织实施、文本审核
4	李会安	西安长大公路养护技术有限公司	高级工程师/总工程师	18629610509	负责组织实施、技术研发、文本审核
5	秦梦楠	西安长大公路养护技术有限公司	工程师	15229708422	理论分析、文本编写、汇总

二、标准内容

（一）标准所遵循的原则

本标准的编制遵循国家设计与施工相关标准、行业设计与施工相关标准。在充分调研的基础上，研究和分析了陕西省状况，同时考虑陕西省交通运输行业的发展需求，将沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术的具体技术要求进行针对性增加、取舍、综合、分类，以确保编制的标准能够保障规范并引导设计、施工等单位做好沥青路面半刚性基层微裂均质化处治设计、施工工作的需要。经过起草工作组成员讨论，确定标准编制遵循以下基本原则：

（1）科学性原则

分析国内标准体系的现状和特点，结合国内外沥青路面半刚性基层微裂均质化处治工程的应用现状，对已发布的相关标准、规范进行梳理、归纳和分类，建立科学、实用、合理的陕西地区在沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术标准。

（2）承接性原则

标准术语与相应国家、国际、行业和地方标准的规定内容相一致，条文未出现自相矛盾的地方。标准技术内容与国家、国际、行业和地方标准兼容，未出现冲突，保证了一致性。标准技术内容中引用其他标准时，已明确指出所引用标准的内容或名称，增强了标准的可读性和可操作性。

（3）可操作性原则

本标准的起草充分调研了国内外沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术的应用现状，征求了高校、公路管理、设计院、施工单位、检测单位、养护单位等领域的专家意见。编写组在此基础上进行反复讨论和修改，编制此标准。标准内容针对性强，可操作性高。

（二）标准框架结构

1. 范围

2. 规范性引用文件

3. 术语和定义

4. 路面调查与评价

4.1 一般规定

4.2 调查与检测

4.3 评价与分析

5. 病害处治

5.1 一般规定

5.2 均质化处治

5.3 挖除换填

6 微裂处治

6.1 一般规定

6.2 施工准备

6.3 微裂施工

6.4 层间处理

7 质量检验

7.1 一般规定

7.2 检验项目

附录

（三）进一步分析与国内外相关标准关系

1.与相关国、行标的关系，是否有交叉，本标准的特点体现在哪些方面？

本标准首次制定，与本行业现有的其它标准协调配套，没有交叉。

本标准的特点体现在沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术，是公路改建及养护领域的新技术，采用该技术处治后的沥青加铺层可彻底消除由基层开裂引起的反射裂缝，路面长寿耐久。涵盖关键技术点：（1）对于旧路半刚性基层层间脱空、路基湿软，采用地聚合物注浆均质化处治，通过碱激发剂激活湿软路基和层间空隙内的惰性材料，从而消除路床和路面结构内的病害，同时注浆压密对路床进一步补压密实，提高路床顶面的承载能力；（2）采用微裂设备对半刚性基层进行微裂再生，使半刚性基层产生内部预裂或损伤，形成紧密嵌锁的块状结构，既分散胀缩变形，又提高抗疲劳性能，具有柔性基层的特点。

2.与相关国、行标技术水平的对比情况，重点突出本标准的先进性。

①再生利用

旧沥青路面半刚性基层可就地再生利用做抗裂新基层，避免“开膛破肚”式挖

除重建，建设周期短、绿色环保、节约投资。

②承载能力强

针对沥青路面的裂缝、网裂和沉陷等病害位置，在沥青表面采用地聚合物注浆加固技术，消除基层底部脱空，加固路床提高道路结构的承载能力，使其强度均质化。

③耐久性高

铣刨沥青混凝土面层后，对半刚性基层表面进行微裂处治，表面完整，承载力损失小，使半刚性基层转型为“刚柔相济”抗裂新基层；使其转化为永久性路面结构层，从根本上解决半刚性基层开裂引起的反射裂缝，实现耐久性或长寿命沥青路面改造加铺。

3.是否参考了国际组织或发达国家标准？

否。

（四）分条目罗列主要技术指标，并充分论述来源依据

1.地聚合物注浆精准处治

采用路面可视化养护平台快速、便捷地查找到路表病害点，并在病害位置采用落锤式弯沉仪、探地雷达、钻芯取样等专项检测手段，对层间脱空、路面结构组成、承载能力等技术指标进行科学评定，精准指导地聚合物注浆加固施工。

来源依据：基于“路面影像检测车 5G+阿里云 ”等技术将路面全方位进行检测，汇总数据，将高清影像，标准数据传输到云端服务器，为后续路面影像纠偏、显示和路面病害自动化识别做好数据准备；上传完成后，GIS 地图将采集的路面影像通过 ArcGIS Server 服务合成公路地图瓦片，再使用北斗卫星 RTK 高精度定位技术、通过像控点的部署完成对公路在高德等离线地图上合成瓦片的显示；合成瓦片后，通过公路大修检测平台对采集的路面影像资料自动识别病害，路面可视化养护平台对路面病害识别完成后，结合落锤式弯沉仪、探地雷达、钻芯取样等专项检测手段对病害位置成因综合分析判断，精准指导地聚合物注浆加固施工。

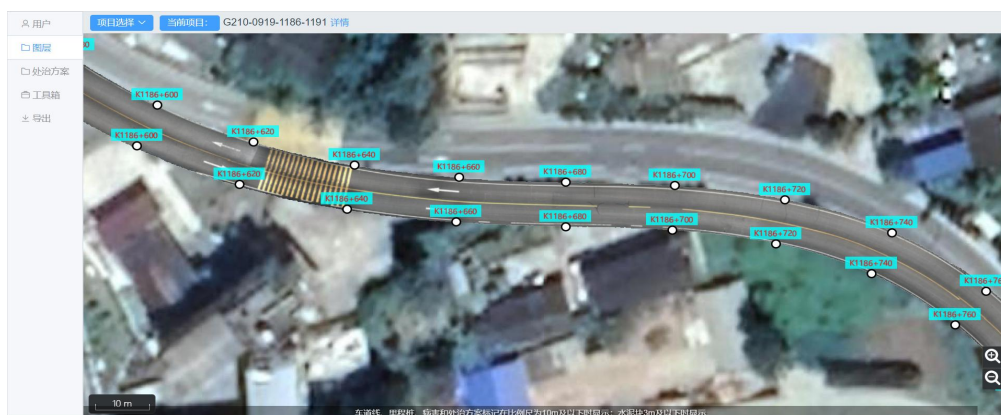


图 4-1 GIS 地图中效果

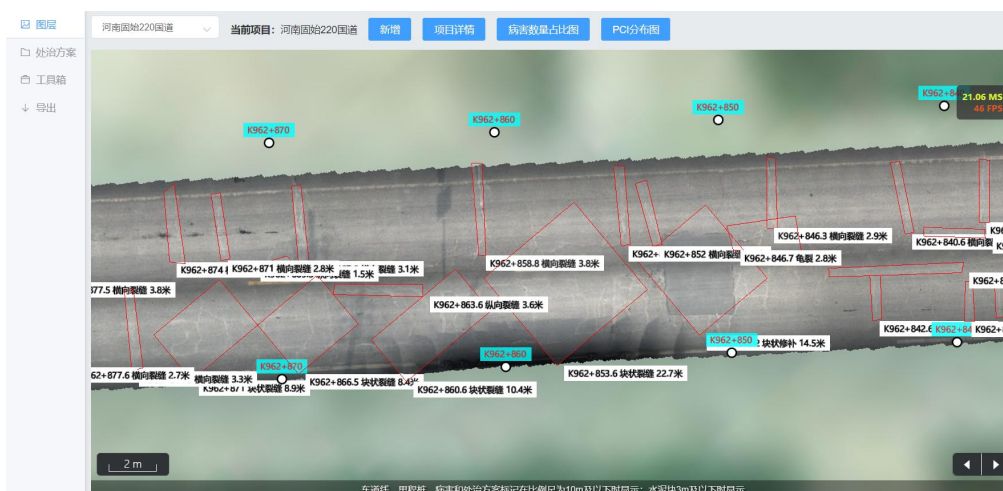


图 4-2 病害自动识别



图 4-2 处治方案标记

2. 地聚合物注浆处治效果

基于路面可视化养护平台提供沥青表面处治精准区域，采用地聚合物新型注浆材料、智能注浆列车，对结构层脱空、弯沉值异常、路床及路堤裂隙进行针对性的渗透、填充、胶结、挤压密实，消除基层底部脱空，加固路床提高道路结构

的承载能力，使其强度均质化。

来源依据：

通过自主研发地聚合物新型注浆材料，具有以下特性：

- (1) 超高流动性：12~16s ；
- (2) 高渗透性：渗入 0.1mm 缝隙；
- (3) 可激活基层、底基层、土壤中的惰性材料发生聚合反应，注浆料结石率 100%；
- (4) 注浆材料快凝、早强，固结体抗渗性好。



图 4-3 地聚合物注浆材料

通过自主研发 ZJ-150 智能注浆列车，该智能注浆车可以实现注浆压力、注浆量、水灰比、注浆流量自动化控制；并且注浆数据实时发送到路面可视化养护平台，精确统计注浆量，实现远程监控和指导，实现施工数字化。

通过布设不同间距和不同深度的注浆孔，采用地聚合物注浆方式进而渗透、填充、胶结、挤压密实，将道路结构病害区域内的水、气体排出，实现对道路结构层整体加固处治，通过一次注浆可实现多层加固。

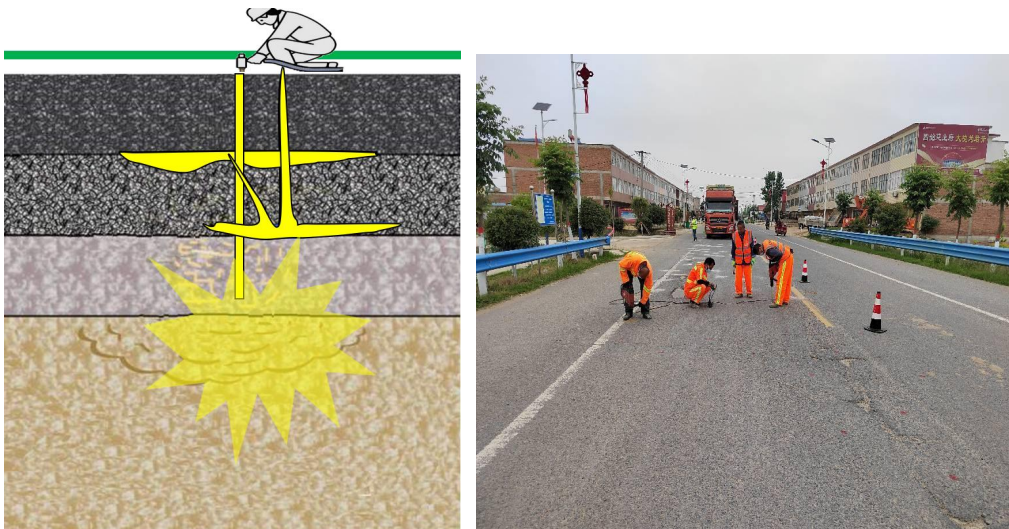


图 4-4 地聚合物注浆（左：示意图；右：地聚合物注浆施工现场）



图 4-5 地聚合物注浆加固效果图

通过地聚合物注浆加固后，地聚合物注浆浆液可有效填充路面结构层层间空洞与孔隙，浆液固结后对于路面结构整体承载力起到加固补强的作用。

表 4-1 地聚合物注浆前后弯沉值对比

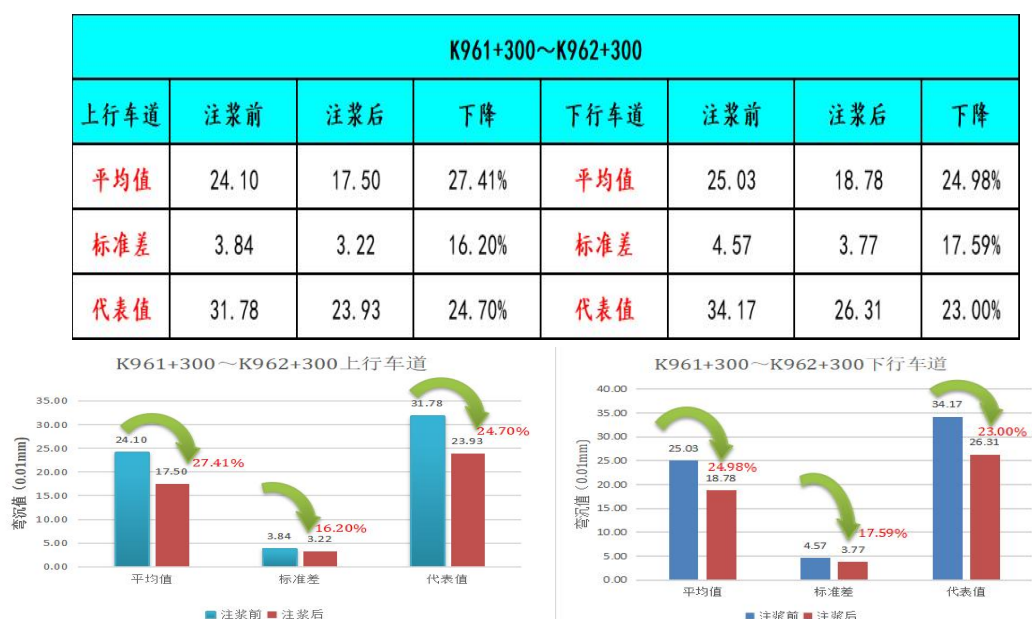


图 4-6 地聚合物注浆前后弯沉值对比

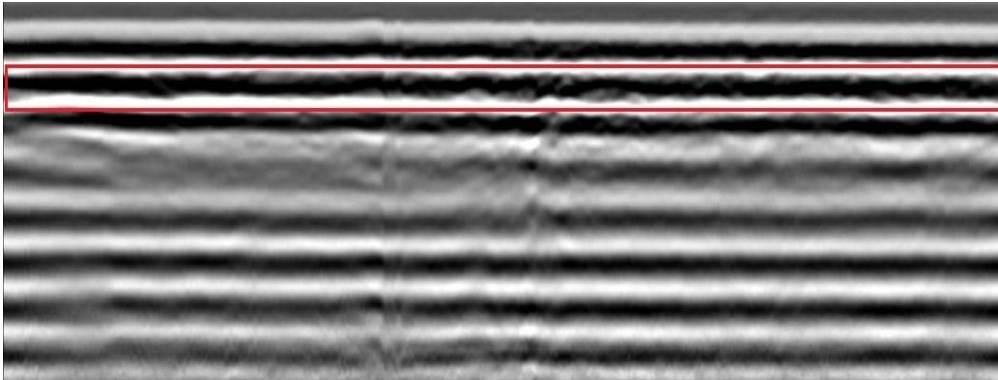


图 4-7 地聚合物注浆后探地雷达图像

地聚合物注浆处治后，采用弯沉、雷达检测进行工后效果评定，可以得出以下结论：

1) 注浆后弯沉代表值明显下降，道路整体承载能力得到了大幅提高；且道路弯沉标准差下降幅度最大，也表明注浆后道路均匀性更好，体现了旧路均质化处治理念。

2) 注浆后雷达检测情况释译图分析，注浆后在道路结构层 50~60cm 区域的层位更加清晰明显，无注浆前图谱杂乱的脱空区域，表面该层位已通过注浆处治，填充加固密实。

3. 微裂化处治检验标准

采用专门设备对半刚性基层进行微裂处治，使基层结构内部产生预裂或损伤，形成紧密嵌锁的块状结构，使其更加均匀，转型成为一种“刚柔相济”的抗裂新基层，具有柔性基层特点，同时保留较高的承载能力。

表 4-2 微裂处治施工质量检验项目

序号	项 目	技术要求	规定值	检查方法与频率
1	钻孔取芯	芯样出现斜向不规则裂缝	≥60%	取芯：取芯位置为缩缝两侧 80cm 范围内，每 1km 不少于三个。

来源依据：地聚合物注浆加固处治后，铣刨沥青面层；待水稳基层表面清理干净后，进行微裂再生处治。通过取芯验证微裂处治后，道路达到“表面裂而不碎，内部斜向开裂，完全契合互相嵌锁”的处治效果。

表面效果：微裂处治后的表面完整，除一些印迹外，只能看到少许微细裂缝。



图 4-8 微裂处治后表面效果



图 4-9 微裂处治后探坑效果

表 4-3 微裂前后弯沉值对比

K961+300~K963+300段							
上行车道	微裂前	微裂后	变化情况	下行车道	微裂前	微裂后	变化情况
平均值	14.88	21.15		平均值	15.00	21.71	
标准差	3.34	4.39		标准差	3.61	4.67	
代表值	21.55	29.93	上升1.39倍	代表值	22.22	31.04	上升1.4倍
弯沉变异系数	0.224	0.207	下降8%	弯沉变异系数	0.240	0.215	下降10.5%



图 4-10 微裂前后弯沉代表值对比图



图 4-11 微裂前后弯沉变异系数对比图

微裂处治后，采用弯沉、取芯检测进行工后效果评定，可以得出以下结论：

1) 微裂再生处治后基层表面无破碎，较完整，内部产生预裂或损伤，互相嵌锁。

2) 通过弯沉检测数据统计分析，微裂后弯沉代表值增大了 1.39~1.4 倍左右，结构层形式介于半刚性基层与柔性基层之间（路面设计弯沉值 l_d 根据公路等级 A_c 、设计年限内累计标准当量轴次 N_e 、面层 A_s 和基层 A_b 类型确定，

$l_d = 600 N_e^{-0.2} A_c A_s A_b$ ，其中基层类型为半刚性基层时 $A_b=1.0$ ，当基层类型为柔性性基层时 $A_b=1.6$ ）。弯沉变异系数下降 8%~10.5%，旧路均匀性得到了明显改善。

3) 平均弯沉值在 21.5(0.01mm)左右，代表弯沉值在 30 (0.01mm) 左右，承载能力强。

三、实证研究（完成的科研、调研、试验、测试验证等研究工作）

沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术主要应用于改建及养护工程，关键技术流程：①基于路面可视化养护平台和专项检测，指导路面病害区域采用地聚合物注浆精准处治，消除基层及以下路面病害，实现路面非开挖式结构加固；②铣刨沥青面层，对半刚性基层进行微裂化处治，使其转型成为一种“刚柔相济”的抗裂柔性新基层，消除加铺层反射裂缝；③沥青路面半刚性基层微裂均质化后，对其表面清理干净，喷洒表面渗透加固剂，粘结、固化基层表面松散，防水下渗，再撒布同步碎石封层，加强层间粘结、封水；④加铺一层或与老路同等厚度的沥青混凝土面层。

技术优点：整个处治过程施工速度快、交通干扰小、绿色环保、零废弃，处治后路面长寿耐久，具有重大的社会和经济效益。

目前沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术共取得了 16 项，其中发明专利 4 项，在中国公路学会养护与管理分会第八届学术年会论文集发表论文《半刚性基层柔性均质化再生技术工程应用研究》，并和陕西省交通建设集团、中交第一勘察设计院联合进行了相关科研课题研究，其科研成果获得了中国公路学会科学技术一等奖，经评审鉴定为国际先进。

经过国省干线公路超 10 年的研究与实践，本指南相关技术已趋于完善。现已完成：机理分析、组成设计方法研究、室内性能试验、试验段施工工艺优化与

路面长期性能观测等相关工作。

实体工程验证：沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术，现已在全国河南、陕西、内蒙古等多个省份、多条道路进行应用，采用该技术进行半刚性基层路面处治后运营效果良好，社会效益与经济效益显著。

沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术应用的项目有：内蒙国道 G110 沥青路面半刚性基层微裂均质化改造工程，驻马店市省道 S213 吴黄线沥青路面半刚性基层微裂均质化改造工程，G65 包茂高速陕蒙界至榆林段，青银高速靖王段，社旗县 S333 李庄至年庄段，丹江口水都大道改造工程，固始县 G220 淮固交界至固商交界段，汉中市 G108 线宁强大安镇泗水铺至宁家湾段养护工程等。

案例一、汉中市 G108 线



图 1-1 汉中市 G108 线段改造后效果

G108 线宁强泗水铺至宁家湾 K1756+555~K1760+620 段，全长 4.065 公里。该道路为二级公路，该段为 2008 年汶川地震灾后新建项目，并且该段道路车流特别大，尤其是危化品重载车辆、大货车车辆较多，导致出现了龟裂病害，部分路段存在裂缝类病害和修补病害。沥青路结构层：3cmAC-13 沥青混凝土上面层+4cmAC-16 沥青混凝土下面层+20cm 水泥稳定砂砾基层+砂砾层。重载交通作用下，路面已出现大量龟裂、块裂、坑槽、横纵裂缝、沉陷、唧浆等病害，严重影响路面使用性能

旧路改造方案为：沥青路面半刚性基层微裂均质化再生处治+透层+橡胶改性

沥青碎石封层+ 8cm ATB-25 沥青碎石下面层+粘层+4cm AC-13 SBS 改性沥青混凝土上面层。



图 1-2 旧路状况



图 1-3 注浆施工

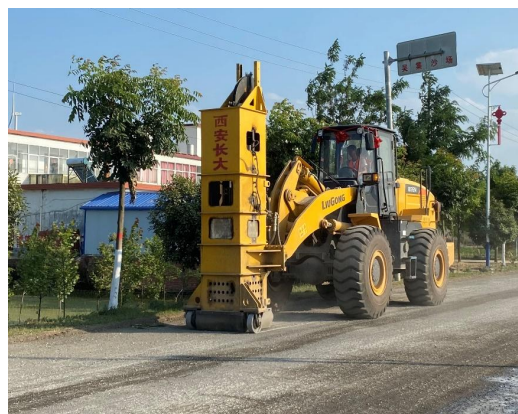


图 1-4 微裂施工

案例二、平顶山 S213 吴黄线周驻交界至平舆县城段



图 2-1 平顶山 S213 吴黄线周驻交界至平舆县城段造后效果

该项目为沥青混凝土路面，二级公路，双向两车道，全长共 3km。原路面结构为：30cm 综合土+20cm 二灰土+18cm 水稳碎石+9cm 沥青混凝土，结构总厚度为 77cm。主要典型病害为网裂、坑槽、唧泥及沉陷等病害，严重影响道路使用。2014 年 6 月采用沥青路面半刚性基层微裂均质化处治技术对该路段老路进行改造加铺处理。

旧路改造方案为：沥青路面半刚性基层微裂均质化再生处治+5cmAC-20 中粒式沥青混凝土下面层+4cmAC-13 细粒式沥青混凝土。



图 2-2 旧路状况



图 2-3 微裂施工



图 2-4 微裂后效果（块体互相嵌锁）