

高速公路路面裂缝 全深度处治（裂缝焊接） 成套技术

张红春 付建红 刘澜波 代中利 李红亮 著
张良奇 杨兴旺 胡春杰 主审

【导读】

“裂缝全深度处治”俗称为“裂缝焊接”。由于“裂缝焊接”较形象体现了该技术的特点，为便于同行的理解和记忆，本书将“裂缝全深度处治”统称为“裂缝焊接”。



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高速公路路面裂缝全深度处治

(裂缝焊接)成套技术

张红春 付建红 刘澜波 代中利 李红亮 著
张良奇 杨兴旺 胡春杰 主审



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

裂缝焊接技术,学名为裂缝全深度处治技术。本书介绍了路面裂缝无损检测技术、半刚性基层沥青路面裂缝发展规律、裂缝评价、路面裂缝焊接技术、裂缝特殊焊接技术、裂缝焊接技术应用等,并详细论述了与路面裂缝焊接技术相关的裂缝焊接材料、裂缝焊接设备、路面裂缝焊接施工工艺、裂缝焊接施工质量控制与检测。

本书可供从事公路工程建设及养护的技术人员使用,亦可供高校相关专业师生及科研单位技术人员参考学习。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路路面裂缝全深度处治(裂缝焊接)成套技术/
张红春等著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司,
2014.7

ISBN 978-7-114-11502-8

I. ①高… II. ①张… III. ①高速公路-沥青路面-
路面开裂-缝焊-成套技术 IV. ①U418.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第141085号

Gaosu Gonglu Lumian Liefeng Quanshendu Chuzhi (Liefeng Hanjie) Chengtao Jishu

书 名: 高速公路路面裂缝全深度处治(裂缝焊接)成套技术

著 者: 张红春 付建红 刘澜波 代中利 李红亮

责任编辑: 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 5.25

插 页: 2

字 数: 121千

版 次: 2014年7月 第1版

印 次: 2014年7月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11502-8

定 价: 28.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

作者简介



张红春,男,46岁,工学博士,高级工程师。工作单位为河南省交通运输厅高速公路管理局。先后参与了河南省多条高速公路的建设管理。出版专著8本,发表论文十余篇。主持及参与的课题获两项河南科技进步二等奖,一项河南省交通运输厅科技进步一等奖。起草了三项国家级工法,六项省部级工法。主编了河南省地方标准《高速公路沥青路面预防性养护技术规范》、《高速公路桥涵预防性养护技术规范》、《高速公路隧道预防性养护技术规范》,主编了中华人民共和国行业标准《城市道路彩色沥青混凝土路面技术规程》。

电子信箱:Zhang_hcxx@126.com

1057669897@qq.com



探地雷达进行检测路面裂缝



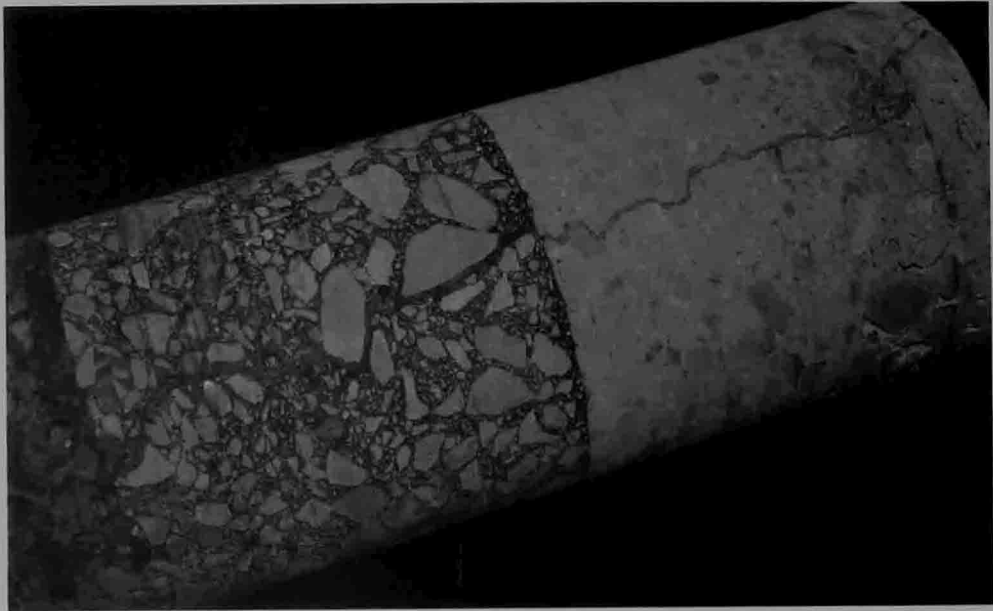
基层焊接



施工后表面图



环氧类焊接材料



反射裂缝焊接（窄缝）



反射裂缝焊接（基层有松散）



a)



b)

裂缝焊接料进入层间



反射裂缝焊接（沥青面层与基层有脱空）

前 言

20世纪60年代,石灰稳定土基层渣油路面在我国开始应用,并成为当时公路界三大重要科技成果之一。进入20世纪70年代以后,水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定粒料基层成为主流,形成了半刚性基层沥青路面技术的雏形。从20世纪80年代至今,经过“六五”、“七五”、“八五”科技攻关项目的研究,半刚性基层沥青路面结构成套技术逐渐形成,成为我国高速公路主要的路面结构形式。现在,我国已建成的高速公路95%以上都是半刚性基层沥青路面,可以毫不夸张地讲,我国高速公路的发展史就是半刚性基层沥青路面的发展史。

半刚性基层沥青路面有诸多优点,但有一个致命缺陷是裂缝无法避免。另外,前几年由于受规范的限制和对规范理解上的偏差,盲目追求半刚性基层高强度、高模量,同时,为追求取芯的过分完整和密实,拼命加大水泥剂量、增加细料含量,加剧了水泥稳定碎石基层反射裂缝的增多。

对于反射裂缝,过去一般采用灌缝或抗裂贴等,只能解决短期封水问题,而不能从根本上治愈裂缝。裂缝焊接打破了过去传统的思维模式,采用独特的施工工艺,对裂缝进行全深度处治,从而将断开的路面裂缝有效连接为一个整体,对路面的裂缝进行结构性的修复。

所以,称裂缝焊接技术为技术革命并不过分。

目前,河南省地方标准已经将裂缝焊接技术列入《高速公路沥青路面预防性养护技术规范》,但是还没有相关的行业标准或国家标准。以张红春博士为带头人的本书编写团队,致力于高速公路裂缝研究,正在申报裂缝焊接的国家工程标准和产品标准。相信不久的将来,裂缝焊接技术将在我国推广应用,从而从根本上解决我国半刚性基层沥青路面的裂缝问题。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 背景	1
1.2 国内外现状	2
1.3 本书主要研究内容	5
1.4 研究意义	6
第2章 路面裂缝无损检测技术	8
2.1 研究背景	8
2.2 探地雷达技术简介	9
2.3 理论分析、数值模拟与物理模拟	12
2.4 垂直裂缝的电磁波响应特征	13
2.5 均匀层状介质中异常“点元”的多次散射波特征	17
2.6 介质参数对探地雷达信号的影响	20
2.7 公路结构层层间脱空及裂缝检测	22
第3章 半刚性基层沥青路面裂缝发展规律	29
3.1 半刚性基层开裂及发展规律	29
3.2 我国半刚性基层沥青路面与国外全厚式沥青路面裂缝对比	33
3.3 我国高速公路路面裂缝早期破坏	35
第4章 裂缝评价	37
4.1 传统的裂缝分类方法	38
4.2 传统的裂缝分类方法存在的问题	38
4.3 新的裂缝分类方法	38
第5章 路面裂缝焊接技术	40
5.1 常规路面裂缝处理材料及技术存在的缺陷	41
5.2 路面裂缝焊接构想	41
5.3 路面裂缝焊接实施措施	41
5.4 路面裂缝焊接技术的特点	42
第6章 裂缝特殊焊接技术	44
6.1 高速公路半刚性基层沥青路面显性病害和隐性病害	44
6.2 隐性裂缝焊接技术	48
6.3 无痕焊接	48

第7章 裂缝焊接材料	49
7.1 高分子材料路面裂缝焊接料	49
7.2 非拌和微粒式双组份高分子混凝土裂缝焊接料	49
7.3 路面裂缝焊接材料的特点	50
7.4 裂缝焊接料路用性能	51
第8章 裂缝焊接设备	57
8.1 裂缝焊接主要设备	57
8.2 裂缝焊接专用设备	58
8.3 辅助设备	58
8.4 裂缝焊接设备智能控制系统	59
第9章 路面裂缝焊接施工工艺	60
9.1 路面裂缝焊接施工工艺流程	60
9.2 路面网裂和龟裂焊接施工工艺	61
9.3 沥青面层裂缝焊接工艺	62
9.4 反射裂缝及隐性裂缝焊接工艺	63
9.5 无痕热焊接施工工艺	66
9.6 无痕冷焊接施工工艺	67
第10章 裂缝焊接施工质量控制与检测	69
10.1 施工过程质量控制	69
10.2 质量检测	69
10.3 质量验收	69
第11章 裂缝焊接技术应用	71
11.1 裂缝焊接技术适用范围	71
11.2 裂缝焊接技术应用	71
11.3 存在问题及努力方向	75
参考文献	76

第1章 绪 论

1.1 背景

20世纪60年代,石灰稳定土基层渣油路面在我国开始应用,并成为当时公路界三大重要科技成果之一。进入20世纪70年代以后,水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定粒料基层成为主流,形成了半刚性基层沥青路面技术的雏形。从20世纪80年代至今,经过“六五”、“七五”、“八五”科技攻关项目的研究,半刚性基层沥青路面结构成套技术逐渐形成,成为我国高速公路主要的路面结构形式。现在,我国已建成的高速公路95%以上都是半刚性基层沥青路面。

我国是一个发展中国家,经济条件有限,又要大力发展公路建设,选择半刚性沥青路面结构无疑是一个技术上可行、经济上合理的技术方案。

第一,我国沥青质量不好,主要是含蜡量高(现在含蜡量虽然降低了,但该指标一直不稳定),且产量低、价格高。

第二,我国原材料质量较差,通过采用无机结合料稳定的方法,可以降低对原材料的技术要求,并能保证一定的强度。

第三,采用半刚性基层可以减薄沥青面层的厚度,从而达到降低沥青路面造价的目的,解决初期投资短缺的矛盾。

1.1.1 半刚性基层路面的优点

(1) 强度高

半刚性基层具有较高的强度,且强度随龄期不断增长。同时,具有较小的弯沉和较强的荷载分布能力。

(2) 稳定性好

半刚性基层材料具有较高结构稳定性,随着寿命的增加,不影响半刚性基层的承载能力。

(3) 刚性大

水泥稳定碎石混合料基层抗压回弹模量值很高,因而其上沥青面层弯拉应力相应减少,从而提高了沥青面层的耐久性。

(4) 建设成本低

半刚性基层可以就地取材,水泥、石灰、粉煤灰、石料等筑路材料当地一般都能供应,所以成本较低,可节约高速公路造价。

1.1.2 半刚性基层路面的缺点

沈金安在《国外沥青路面设计方法总汇》中对半刚性基层的缺陷描述如下:

(1)半刚性基层的收缩裂缝及由此引起的沥青路面反射裂缝不同程度的存在。

(2)半刚性基层非常致密,水从各种途径进入路面并到达基层后,不能从基层迅速排走,只能沿沥青层和基层的界面扩散、积聚,造成路面破坏。

(3)半刚性基层材料的强度、模量,会由于干湿和冻融循环,在反复荷载的作用下,因疲劳而逐渐衰减。

(4)半刚性基层沥青路面对重载车来说,具有更大的轴载敏感性。

(5)半刚性基层损坏后没有自愈能力,且无法进行修补。

1.1.3 半刚性基层路面缺陷分析

从世界范围上,半刚性基层并没用“绝迹”,南非、前苏联、包括欧洲发达国家的中低交通路面,一直在使用半刚性基层,并没有发生类似我国的高速公路早期破坏现象,所以,把目前我国高速公路的早期破坏现象完全归咎于半刚性基层是不客观的。

目前,半刚性基层路面的突出问题是裂缝,其他的问题大都是由于裂缝衍生出来的。我们只要抓住问题的本质,在解决裂缝上下功夫,解决了裂缝问题,半刚性基层路面仍具有强大的生命力,完全可以与柔性基层、全厚式沥青路面抗衡,仍将继续为我国的高速公路发展作出贡献。

目前,运营时期高速公路裂缝处治主要存在以下问题:

(1)裂缝处治技术存在的缺陷

目前,高速公路处治裂缝大多采用灌缝或抗裂贴等,对于全厚式沥青路面裂缝是从上往下产生和发展的,采用灌缝技术基本上能处治好裂缝;但是,我国的高速公路基层为半刚性基层,裂缝是从下往上发展,传统的灌缝技术只能解决封水问题,而不能从根本上治愈裂缝。

(2)灌缝材料存在的缺陷

目前的灌缝材料基本上是沥青材料或沥青材料的复合品,没有渗透性和膨胀性,封水效果差。

(3)灌缝后寿命短,要反复灌缝

由于裂缝处治技术和材料存在缺陷,灌缝后只能维持很短的时间,一条缝要反复处理,要耗费极大的人力、财力。

(4)灌缝设备存在的缺陷

目前的灌缝设备还处于产品的初级阶段,极少使用先进的智能技术、液压技术、控制技术 etc。

1.2 国内外现状

1.2.1 国内半刚性基层沥青路面裂缝技术的研究主要在两个方面:

第一,建设期,应尽最大努力减少裂缝。

第二,使用期,应尽早、科学、合理地处治裂缝。

(1)高速公路建设期

近期,我国半刚性基层技术取得了如下突破性进展。

①水泥稳定碎石基层混合料振动成型技术的诞生,有效地解决了水泥稳定碎石基层裂

缝问题。

②骨架密实结构研究和应用日趋成熟。

据测算,采用上述两种技术:水泥稳定碎石基层干缩裂缝能减少70%,温缩裂缝能减少40%~60%,早期裂缝约能减少60%。反射裂缝爆发期至少会推迟2~3年,通车8~10年裂缝总量较过去要减少30%~60%。

(2)高速公路使用期

由于振动成型技术和骨架密实结构的使用,在建设期半刚性基层的裂缝得到了有效控制,但是基于半刚性基层的本质特性,裂缝无法杜绝,进入运营后仍会继续产生裂缝。我国的半刚性基层高速公路路面一般从通车后的第3~4年开始出现反射裂缝,第5年大面积暴发,随后不停地出现新裂缝,直到基层寿命到期为止。

我国目前对半刚性基层沥青路面裂缝的处治方法主要有灌缝和贴抗裂贴。这两种传统的高速公路处治裂缝方法科学吗?裂缝病害得到有效控制了吗?我们可以通过了解国内外裂缝处治现状回答这些问题。

1.2.2 国外现状

由于国外发达国家的路面结构大多为全厚式沥青路面,路面裂缝主要是从上往下发展的疲劳裂缝。所以,国外对裂缝的研究主要是针对疲劳裂缝,在理论上和处治方法上都是围绕疲劳裂缝进行。

1.2.3 国内现状

我国的高速公路主要结构形式是半刚性基层沥青路面,裂缝主要是从下往上发展(Top-Down),即从半刚性基层产生裂缝,然后向沥青面层发展,俗称反射裂缝。

(1)目前我国的裂缝处治工艺大多是从国外引进的,比如开槽灌缝、压力灌缝、抗裂贴等。对于全厚式沥青路面,裂缝是从上往下产生和发展,采用灌缝技术基本上能处治好裂缝;但是,我国的高速公路基层为半刚性基层,裂缝是从下往上发展,传统的灌缝技术只能解决封水问题,而不能从根本上治愈裂缝。

(2)目前,我国对裂缝处治的研究主要偏重于材料研究,自主开发了许多新材料,也从国外引进了许多新材料,但是并没有解决我国高速公路的裂缝病害,主要原因是没有考虑国情,没有针对半刚性基层沥青路面的反射裂缝,如果变革施工工艺,可能解决裂缝的结构破坏问题。

(3)传统的路面裂缝分类方法存在问题,《公路技术状况评定标准》(JTG H20—2007)对裂缝的分类存在下列问题:传统的裂缝分级标准,仅考虑裂缝宽度,没有考虑裂缝的位置、深度、危害程度,没有反映裂缝产生的原因。

(4)裂缝检测技术滞后,目前雷达技术发展很快,但我国对路面裂缝的检测研究很少,不能有效指导施工。

(5)常规的灌缝施工不对裂缝病害进行无损检测,对裂缝的深度及所处的层位不明确,不对裂缝病害进行分类,采用统一的灌缝工艺,施工效果差。

(6)灌缝施工结束后,只对灌缝的表面进行检测,不检测灌缝料灌入的深度和密实度,施工质量检测不全面。

(7)由于常规的灌缝材料为沥青材料、沥青材料的复合品、珪酮胶(玻璃胶)等,与沥青路面的沥青混凝土和半刚性基层的水泥稳定碎石材料差别较大,灌入的灌缝材料与路面沥青面层和基层热胀冷缩不一致,灌好的缝易开裂,灌缝后只能维持很短的时间,一条缝要反复处理,要耗费极大的人力、财力。

1.2.4 裂缝检测研究

裂缝是路基路面等构筑物最常见的安全隐患,所以有必要从裂缝检测入手,因此必须研究探地雷达的理论与应用。诸多学者在裂缝检测方面做了大量的研究和探索。

牛永田等(2004年)对混凝土坝裂缝产生的机理进行分析时提出了三大类不同的裂缝。

夏惠芬等早在1996年就以拟三维模型对垂直裂缝几何形态进行数值模拟,并对影响因素进行了分析。该文利用拉格朗日公式并结合虚功原理,推导出了反映裂缝长度的能量方程,建立了拟三维模型。这方面的研究有三个前提条件:①裂缝的两翼需要对称;②裂缝在垂直平面内符合平面应变条件;③压裂液在裂缝内的流动为一维流动。而这三个条件在实际中很难得以满足,从检测的角度分析,其实用价值受到了很大的影响。

刘江平等(2002年,2004年)在建立垂直裂缝反射波运动学数学模型的基础上,对垂直裂缝模型进行了数值模拟和超声波物理模拟,并对计算结果作了综合讨论和分析。该方法从射线理论的角度充分阐述了裂缝在地震波场中所形成的特征及其本质,并在实际运用中起到一定的效果。但是,该方法需要一个比较苛刻的前提,即需要一个深度适中的底界面,这大大地影响了实际运用的推广。

聂立新(2000年)研究了深部垂直裂缝方位的确定原则。

贺振华等(2001年)利用垂直定向裂缝模型和MTS岩石物性测试系统,测试了不同材料和不同状态裂缝模型的地震特征响应,结果表明,利用地震波的振幅衰减等属性参数检测裂缝特征比利用速度参数更有效。

罗杰等(2004年)利用探地雷达检测技术,对壁可法修补裂缝的效果进行了评价。

曾昭英等(2004年)对矩形油藏垂直裂缝试井,进行了数学模拟及应用分析,为油藏垂直裂缝井试井资料的解释提供了理论依据和分析方法。

另外,李成香等(2004年)阐述了探地雷达在宜黄高速公路路面裂缝检测中的应用,并对公路路基变形程度提出四种划分标准。

薛国新等(2003年)实现了基于最小矩理论的计算机裂缝自动识别方法。

岳建华等(1999年)利用超吸收边界条件在探地雷达剖面正演中能有效地减小截断边界的伪反射,提高计算精度。

何兵寿等(2000年)在探地雷达正演中得到的结论表明,理想频散关系能真实地反映雷达波在地下介质中的传播规律,超吸收边界条件能有效减小截断边界的伪反射,提高正演精度。

孟美丽等(2002年)采用回波模拟法对探地雷达脉冲波在路面结构层介质中的反射波进行了模拟合成。

孙洪星等(1999年)从电磁波传播的麦克斯韦方程出发,较为系统地研究和分析了雷达脉冲电磁波在有耗介质中传播的衰减特性,对研究雷达脉冲电磁波在地下有耗介质中的传播机制有一定的指导意义。

1.3 本书主要研究内容

1.3.1 研究的主要内容

(1) 裂缝无损检测技术研究

利用探地雷达和三维成像技术,开发裂缝无损检测分析软件,实现对基层和沥青面层裂缝的精确检测。

①从电磁波的散射理论出发,研究裂缝等异常体在不同情况下的波场特征和识别方法,指导数值模拟和物理模拟。

②建立裂缝等大量的数学和物理模型,进行数值模拟和物理模拟,系统总结电磁波的波场特征。

③现场试验,与数值模拟和物理模拟结果进行对比,了解实际裂缝、脱空等的电磁波响应特征和识别方法。

(2) 半刚性基层沥青路面裂缝发展规律研究

利用裂缝无损检测技术,开展半刚性基层沥青路面裂缝的产生及发展规律研究,探寻不同条件下、不同结构的半刚性基层沥青路面裂缝的产生及发展规律。

(3) 裂缝评价研究

传统的裂缝评价仅以裂缝宽度为标准进行评价,没有考虑裂缝的深度、危害程度。拟研究的裂缝评价方法考虑了裂缝产生的原因、裂缝的深度、危害程度等。

(4) 路面裂缝焊接技术研究

路面裂缝焊接技术与传统的灌缝技术最大的区别是,采用路面裂缝焊接技术可将裂缝两端断开的道路连接为一个整体,而传统的灌缝技术只有封水的作用,不能治愈裂缝,只治标不治本。新的路面裂缝焊接技术,既治标又治本,是一种革命性的处治路面裂缝的新技术。

(5) 隐性裂缝处理技术研究

在基层已开裂,但裂缝没有反射到沥青面层的情况下,对基层裂缝进行处理。

(6) 焊接材料研究

开展新的裂缝处治材料研究,该裂缝处治材料——焊接材料,不但有封水的作用,更重要的是,裂缝处治材料具有治愈裂缝的功能,通过一次裂缝处理,使断开的路面有效成为一体整体,大大提高路面结构性能,延长路面寿命。

(7) 焊接设备研究

新的焊接设备,大量采用智能和液压控制技术,设备性能更优秀,施工效果更佳。

1.3.2 技术路线

研究主要采用理论分析和现场试验数据研究相结合,互为补充的方法。通过理论分析,在新施工理念的基础上,针对目前常规裂缝处治存在的问题,从裂缝检测入手,通过研发裂缝焊接材料和设备,采用新的施工工艺,解决裂缝结构问题。

(1) 理论研究

通过裂缝无损检测技术理论研究,利用探地雷达和三维成像技术,开发裂缝无损检测分析软件,实现对基层和沥青面层裂缝的精确检测。

- ①以电磁场散射理论为基础,研究分析各种情况下裂缝等异常体的电磁波响应特征。
- ②建立数学模型,采用时间域有限差分方法,编制相应的软件,进行正演模拟,同时进行物理模拟。以理论分析为基础,结合数值模拟和物理模拟结果,剖析裂缝波场特征形成的物理机制,并对其动力学特征进行分析探讨。
- ③以高速公路基层裂缝等的检测为例,讨论具体的检测方法和参数选取原则。
- ④通过现场检测试验和对资料的解释、对比,论证探地雷达检测裂缝等异常体的可行性、可靠性和实用性,探索采用探地雷达进行生命探测的可能性。

通过对半刚性基层沥青路面裂缝发展规律研究,利用裂缝无损检测技术,探寻不同条件下、不同结构的半刚性基层沥青路面裂缝的产生及发展规律。

(2) 试验方法

通过焊接材料试验,找出适合路面裂缝焊接技术的材料。

(3) 技术路线

研究技术路线图,见图 1-1。



图 1-1 研究技术路线

1.4 研究意义

我国高速公路 95% 为半刚性基层沥青路面,这种路面有诸多优点,但也有一个致命缺陷,就是半刚性基层易开裂,从半刚性基层产生裂缝,然后向沥青面层发展,俗称反射裂缝。路面一旦出现裂缝,就很容易导致水的下渗,当外荷载作用时,在结构层内部产生冲刷,从而导致裂缝发展加快,而半刚性基层稳定性较差,极易产生水损害,造成基层松散破坏,最后导致路面结构性破坏。所以,与车辙等病害相比,裂缝对路面的破坏更严重。裂缝严重影响路面的寿命,但是,裂缝病害没有引起大家足够的重视。

高速公路裂缝焊接技术,适用于半刚性基层沥青混凝土路面、柔性基层路面、复合路面

等各种高速公路的路面网裂、沥青面层裂缝、半刚性基层隐性裂缝、反射裂缝的处治。高速公路裂缝焊接技术,可对路面的裂缝进行结构性的修复,路面裂缝焊接料能与沥青面层和基层有效结合形成整体,焊接好的缝结构稳定,寿命长,不需要反复处理,节约人力、财力。高速公路裂缝焊接技术,不受季节和气温限制、施工速度快、成本低、外形美观,是一种理想的裂缝处治技术,在国内有广阔的应用前景。