

高速公路养护管理中预防性养护技术的应用

周争辉

江苏现代路桥有限责任公司, 江苏 南京 210000

[摘要] 伴随着我国高速公路通车里程的增长以及使用年限的增加, 对公路路面养护的需求越来越多。而传统的被动式矫正养护方式存在费用高、影响交通、寿命短等问题。预防性养护是在路面出现严重损坏之前进行的一种主动性养护方式, 可有效提高路面使用寿命、减少养护总费用。本论文介绍了高速公路预防性养护的技术概念及其特点, 以实例说明了它所具有的节省资金投入、提高安全性以及增加使用寿命的作用, 在此基础上重点分析了裂缝灌缝、微表处、薄层罩面、雾封层及现场热再生等主要技术的应用情况, 利用数据对比和实例证明各种技术的特点以及应用范围, 供读者借鉴使用。

[关键词] 高速公路; 预防性养护; 养护技术

DOI: 10.33142/ec.v9i2.19061

中图分类号: U412.366

文献标识码: A

Application of Preventive Maintenance Technology in Highway Maintenance Management

ZHOU Zhenghui

Jiangsu Xiandai Road and Bridge Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: With the increasing mileage and service life of highways in China, there is a growing demand for road surface maintenance. The traditional passive corrective maintenance method has problems such as high cost, traffic impact, and short lifespan. Preventive maintenance is an active maintenance method carried out before serious damage occurs on the road surface, which can effectively improve the service life of the road surface and reduce the total maintenance cost. This paper introduces the technical concept and characteristics of preventive maintenance for highways, and uses examples to illustrate its role in saving capital investment, improving safety, and increasing service life. Based on this, it focuses on analyzing the application of main technologies such as crack filling, micro surface treatment, thin layer covering, mist sealing, and on-site thermal regeneration. Through data comparison and examples, it proves the characteristics and application scope of various technologies, providing readers with reference and use.

Keywords: highway; preventive maintenance; maintenance technology

引言

高速公路是国家交通基础设施的重要组成部分, 其服务水平直接影响物流效率以及公众出行安全, 在过去很长一段时间内, 很多养护单位都是等到路面出现问题如坑槽、裂缝、松散等问题才去修补, 即所谓的“头痛医头, 脚痛医脚”, 这种方式虽然可以降低养护成本, 但是却给人们带来很大不便。近年来, 随着养护理念的发展, “被动修补”到“未病先防”已经成为共识, 而预防性养护就是在路面处于良好状态或者刚刚开始有轻微破损时, 根据对路面衰退机理的理解, 定期地、有针对性地采取一定措施来减缓路面退化过程。这种观念的变化即是把以往“马路医生”的身份提升到“道路保健师”, 以较小代价获取最大道路服务寿命, 是高速公路可持续发展所必须。

1 高速公路预防性养护技术概述

预防性养护是一种综合性的养护理念, 不同于路面已经非常糟糕才去进行的大规模修复或者重建工作。预防性养护强调的是及时性有效性的问题, 在路面技术状况还处在良好甚至优良的情况下, 对于路面表层出现的一些问题, 比如小裂缝、渗水或者是抗滑能力降低等现象,

进行一些有预防性质的保养措施。预防性养护一般不会对路面本身进行加固处理, 而主要是通过改善表面性能来阻止水分进入, 延缓材料老化的过程, 保持路基稳定。这就要求我们必须对道路的情况有一个准确的认识, 通过不断观察监测相关的信息来判断何时需要保养以及如何保养。从高速公路通车运营之日起, 在公路沥青路面无任何病害情况下对路面技术状况进行评价, 根据实际需要选择适当的预防性养护措施, 可以防止细微病害扩大, 使路面具有较好行驶条件。

2 预防性公路养护技术的特点

2.1 降低公路养护成本

预防性养护最突出的优点就是经济性良好, 从全寿命周期成本来看, 在一条道路修建之后, 在其早期路面性能降低速度较慢, 而当路面已经产生大量问题时, 路面性能降低的速度非常快, 在这种情况下对道路进行修复需要花费大量的费用远远高于预防性养护, 预防性养护是在路面性能尚好时进行, 所用材料少、工艺简单、施工快, 大大节约成本。以一个具体项目为例, 在与传统 4cm SBS AC-13C (含有玄武岩) 77 元/m² 的成本比较下, 2cm ZTS

超薄罩面仅需 42 元/m²，减少近一半，而在某一段试验路施工中节省约 22 万元，节约了一多半成本。这就是所谓的“小投入换取大收益”。如下表一所示的各种不同保养方式的成本对比情况：

表 1 不同养护模式成本与效益对比表

养护模式	典型措施	单方造价 (元/m ²)	交通影响	预期延长年限	单方造价 (元/m ²)
预防性养护	微表处/薄层罩面	40~80	短时封闭或借道通行	3~5 年	低
矫正性养护	铣刨重铺 4cm	80~120	较长,需大型机械	5~6 年	中
结构性大修	翻挖基层/加铺补强	>200	严重影响,需分流	>8 年	高

2.2 提高公路安全性

预防性养护有利于提高道路安全性。由于路面老化造成集料表面变得较为平滑，导致构造深度变小，抗滑性减弱，尤其是在下雨时容易发生水滑现象。另外，裂缝、松散等问题也会给行车带来不便以及影响控制车辆的能力。而预防性养护方法比如微表处、薄层罩面等可以恢复路面粗糙的抗滑构造。如在河南商丘养护中，研究表明，经过稀浆封层处理之后，路面抗滑性提高 40%，并且其透水性小于 50ml/min。平整密实封层可以有效阻止雨水渗透到基层，也可以避免由于修补而产生的颠簸感，节省汽车油耗，通过对路面平顺度提高给乘客带来更舒适、更安全的行驶条件。

2.3 延长公路使用寿命

预防性养护的目的在于尽可能地延长公路整体寿命，达到所谓“长寿命路面”。路面材料受到紫外线、氧气、水等自然环境以及车轮荷载的共同影响而逐步发生老化、微裂缝及磨细，如果任其发展，则水会顺着这些裂缝进入下面的结构层中使基层软化从而产生唧泥、脱空等问题最终造成路面损坏。而预防性养护就是给路面穿上一件有效的保护衣，即在路面上形成一个有效的保护层起到像“衣服”一样的作用。它阻止空气和水对老化的沥青进行进一步侵蚀，减缓沥青的老化进程，同时也把集料包裹住不让它掉出来。在 G75 兰海高速都安至南宁段上，大力推行以预防性养护为主、修复性养护为辅的方法，使得该路段达到 20 年无需大修的效果，在近几年中多次被评为养护管理示范路，有“路坚强”的美称，这也表明合理有效的预防性养护可以使公路使用寿命翻一番甚至更长的时间，最大限度地发挥公路建设投资效益。

3 主要预防性养护技术及其应用

3.1 路面裂缝填补与灌缝技术

裂缝是沥青路面最常见的一种早期病害，有横向裂缝、纵向裂缝及网状裂缝等。如果对裂缝不管不顾，那么雨水渗入会使路基承载力大大下降。裂缝填充以及灌缝是较常用的预防性养护方法，即用专门密封材料塞满裂缝，使路面恢复整体防水作用。根据裂缝类型及其活动特点一般使

用热灌式改性沥青或者冷灌式乳化沥青。而在施工过程中，养护工人就像做一次精细“微创手术”一样，在携带新式灌缝机来到工作地点后，对着一道蜿蜒曲折裂缝进行精确灌缝。一般步骤为开槽（对于较宽裂缝进行扩缝以便增大灌缝胶与基层之间的黏结面积）、清理干燥、灌注材料并养生。经过灌缝处理后可以防止水向下渗透，减缓裂缝的发展，是最经济的一种改善道路状况的方法。

3.2 微表处与稀浆封层技术

微表处及稀浆封层是预防性养护重要方法，它们的技术优点不仅在于材料本身，而且在提高道路使用品质方面也有很大帮助。就材料而言，稀浆混合料中的各种成分相互配合决定最后的道路使用性质：乳化沥青作为黏结剂起包裹作用，级配集料构成骨架，矿粉改善工作性能，而外加剂用来控制破乳时间以及施工性能。微表处之所以被认为是稀浆封层的升级版，在于它使用了聚合物改性乳化沥青，这样形成的薄层不但有更高的黏结力、耐磨性，而且在低温下也有较好的柔韧性，可以防止反射裂缝的发生。而从实际应用来看，该技术最大的亮点就在于施工速度快以及效果好这两点上。当混合料摊铺到原有路面上后，随着乳化沥青破乳、水分挥发，集料颗粒被牢牢地固定在路面上，形成一层耐磨防水的保护层，在 1~2h 即可完成养生开放交通，对车流量巨大的高速公路来说，大大减少了因施工而造成的通行费用损失及社会负面影响。而且微表处修复路面抗滑能力十分明显，它粗糙的表面能使摆值很快提高，减少雨天湿滑的情况发生。表 2 列出了微表处的主要技术指标，在抗滑性、防水性、施工速度以及抗裂耐磨性方面都具有明显的优势，有利于指导公路养护工作。从质量管理角度来看，微表处能否顺利实施决定于是否能正确选择合适的材料及合理的施工工艺。稀浆混合料的稠度、乳化沥青与集料的黏附程度、摊铺厚度的一致性都会影响工程质量，都需要进行实验室测试和现场检查来保证。正是由于其技术成熟可靠、性能可量测、质量可控的特点，使得微表处在我国高速公路预防性养护中发挥了巨大的作用。

表 2 微表处技术关键性能指标与优势分析表

指标维度	具体性能表现/参数	技术优势说明
抗滑性能	摆值 (BPN) 提升 20%~40%，构造深度达标	迅速恢复路面宏观构造与摩擦力，降低雨天事故风险
防水性能	渗水系数 ≤ 50 ml/min (成型后)	有效封堵路面孔隙，防止水分下渗侵蚀基层，提高耐久性
施工效率	单台设备日摊铺量可达数百吨，1~2h 通车	机械化程度高，常温作业，节能减排，对高峰期交通运营干扰小
抗裂与耐磨	添加改性聚合物，柔韧性及耐磨性强	能适应基层微小变形，抵抗车轮磨耗，延缓反射裂缝产生

3.3 薄层罩面技术

薄层罩面是铺筑厚度在 1.5cm~3cm 范围内热拌或者

温拌沥青混合料的一种罩面类型。它是介于传统微表处以及普通罩面之间一种既有一定功能又有一定结构补强作用罩面方式。薄层罩面可以恢复路面抗滑性能,也可以提高行车舒适性、减小噪声以及修正轻微车辙及凹陷等。当前薄层罩面注重高黏结性、高抗裂性要求来满足重型车辆需求^[1]。比如 ZTS 高弹抗裂超薄罩面利用添加 VE 高弹抗裂颗粒,这种材料具有高黏高弹、宽温度范围、温拌等优点大大改善其低温性能,减少施工难度,达到绿色环保目的。在襄阳 G207 国道应用上,冷拌冷铺超薄罩面技术开发出一种特种高粘高弹乳化沥青,该产品 5℃延度为 55cm,弹性恢复率达 96%以上,主要性能提高约 40%,保证罩面与老路良好黏结。此工艺节约材料,而且由于可以在低温环境下施工,增大养护施工时间窗口期。

3.4 雾封层与还原剂封层技术

雾封层是用雾状乳化沥青或者专用再生剂喷洒在已经老化的沥青路面上,利用它渗透与固结作用对路面已老化的沥青胶结料进行修复的一种预防性养护措施。这种方法适用于路面轻微老化、贫油、微细裂缝增加但未出现严重破坏如开裂或沉陷等路段^[2]。养护材料进入路面空隙内可补充沥青中由于老化而损失的轻质组分,使沥青恢复其弹性和活性,在路面上形成一层连续紧密的保护层。专用再生剂要求进入路面约 6mm 深度,以达到更新和还原路面已老化的沥青膏体目的。该方法优点是施工简便快捷,不会影响路面原有高度和平整度,而且费用较低。但是雾封层对喷洒量有严格要求,如果喷洒过量会造成路面形成一层油膜使得其抗滑性显著降低,在施工完毕之后一般会撒一层细砂保证行车安全,所以只适用于低速路段或者作为综合处治的一种补充措施。

3.5 就地热再生技术

就地热再生技术最大的优点是它使养护施工由传统的“废料外弃”变为“原位循环”。从技术层面讲,就地热再生是一个封闭的现场循环系统:加热墙将旧路面上部一定厚度加热到预定温度,耙松机将加热后的路面打散,然后适量的比例再生剂及少量的新沥青混合料加入并和旧料拌匀,在此之中,再生剂的作用是用来给老化沥青补充由于长期氧化而损失的小分子物质,改善其黏性和组成比例,使已经变质的老沥青重新变得有活力并且具有较好的黏性;而新料则是用来调剂再生混合料的粒径组成以及油石比,以弥补旧料在长期使用中造成粒径组成变差以及沥青的损耗。就地热再生技术是否适合以及何种工艺类型对其影响很大。对于表层沥青老化严重、有细小疲劳裂纹

但整体强度仍较好的路段一般使用复拌再生方式,在改善旧料状况后直接摊铺即可达到恢复其表面作用的目的^[3]。而对于抗滑性差或者原有路面粗糙的路段应采用加铺再生法,在复拌混合料上方同时铺设一层新热拌磨耗层以提高其抗滑性和平顺性等效果。因此这种方法具有很大的灵活性,可以使就地热再生适应各种各样的道路问题。从整体上来看就地热再生的优点主要体现在节省资源及保证交通这两个方面。这项技术实现旧料全部就地利用,免去废旧料运输、堆放所造成的环境污染问题,同时也大量节约了新石料及沥青用量,符合绿色环保理念,在施工组织上,一般情况下一台套机械车辆只需占用一条车道进行施工,另外两条车道可以正常通行,大大降低养护施工给繁忙高速公路造成的影响。而由于现今施工机械设备已经普遍配备智能化温度检测以及自动找平装置,所以就地热再生施工质量和平整度不断提高,也逐渐成为高速公路表面层翻修以及延寿的重要手段。

4 结语

高速公路预防性养护技术是现代公路养护管理发展到一定阶段产物,也是体现绿色低碳、节能环保可持续发展思想一种表现形式。通过裂缝填封、微表处、薄层罩面、雾封层以及就地热再生等手段结合使用,可以有效利用少量资金达到最大效果,在保证路面良好服务功能基础上大大延长道路使用寿命。而成功预防性养护需要有准确路况信息支持、合理时机把握以及严格施工过程监督。同时随着新技术、新设备、新材料出现以及数字化检测技术应用,未来预防性养护将会越来越智能、精确。该成果广泛应用于养护管理当中,将形成监测-评价-决策的一体化流程,使养护方案制定智能化、资源分配合理化以及警报发布及时化等。高速公路养护管理工作要不断改进理念,在坚持预防为主、防治结合的基础上做好工作,给公众提供更为安全、便捷、舒适的行车条件,做到由被动抢险向主动施策转变。

[参考文献]

- [1]任彦.高速公路养护管理中预防性养护技术的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025(30):138-140.
 - [2]金国钧.高速公路预防性养护技术应用及安全管理[J].科技创新与生产力,2024,45(7):74-76.
 - [3]张智杰,晋亚丽.高速公路施工中预防性公路养护技术实际应用[J].汽车周刊,2025(4):144-146.
- 作者简介:周争辉(1995.2—),男,毕业院校:长沙理工大学,所学专业:交通运输工程,当前就职单位:江苏现代路桥有限责任公司。