

公路施工与养护技术丛书

# 沥青路面预防性 养护实用技术

孙祖望 任 民 编 著



中国建材工业出版社

孙祖望 任 民 编著

中國建材工業出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

沥青路面预防性养护实用技术/孙祖望, 任民编著.

—北京: 中国建材工业出版社, 2017.4

(公路施工与养护技术丛书)

ISBN 978-7-5160-1763-0

I. ①沥… II. ①孙… ②任… III. ①沥青路面—公路养护 IV. ①U418.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 018640 号

## 内 容 简 介

预防性养护技术是一种材料、工艺、设备相互紧密联系的综合技术。编写本书的目的是希望从材料、工艺、设备三方面综合技术的角度来介绍预防性养护技术, 使读者能够选择正确的时间, 针对病害选择正确的养护技术, 达到保护路面、防止病害扩展、维持路面使用性能、延长路面寿命周期的目的。

本书内容包括: 预防性养护与路面维修的基本概念、预防性养护材料概述、裂缝填封、雾封层、防护性封涂层、石屑封层、稀浆封层与微表封层 (微表处)、薄层罩面和超薄层罩面、超薄磨耗黏结层、预防性养护技术的选择与实施时机。

本书可供从事沥青路面施工与养护工作的工程技术人员和管理人员学习阅读, 也可作为公路施工的培训教材使用。

## 沥青路面预防性养护实用技术

孙祖望 任 民 编著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 14.75

字 数: 360 千字

版 次: 2017 年 4 月第 1 版

印 次: 2017 年 4 月第 1 次

定 价: 46.80 元

本社网址: [www.jcbs.com](http://www.jcbs.com) 微信公众号: zgjcgybs

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

# 前言

自 20 世纪 90 年代中期起我国公路建设进入了一个快速发展的时期,经过 20 余年的建设,至 2015 年末公路通车总里程已突破 450 万公里,高速公路通车里程突破 12 万公里,形成了 12.5 万公里的国家高速公路网,60 余万公里的国道、省道干线公路网。如何使这一庞大的公路网保持良好的路面状况和服务能力,能为社会公众提供安全、快速的行驶功能,成为公路养护管理必须解决的问题。为保持和改善现有道路的服务水平,每年需要耗费大量的养护维修资金,养护资金的需求与来源之间的矛盾也愈来愈突出。

我国当前公路养护管理所面临的问题,与美国、欧洲等发达国家在 20 世纪 80 年代的情况是类似的。美国在 20 世纪 70 年代末至 80 年代初,二战后的公路重建工作已基本完成。此时美国的公路交通面临着两方面的挑战:一方面社会公众对公路交通的行驶功能提出了愈来愈高的要求,另一方面养护维修在资金的需求与来源之间的矛盾也愈加突出。如何使有限的资金科学合理地分配与使用,尽可能避免与减少资金浪费,成为养护决策中必须解决的问题。传统的沥青路面养护通常是在路面出现了某种损坏或病害后才对它们采取处理和修补的措施,这是一种反应性的、被动的养护策略。美国的公路管理部门发现采用反应性养护的对策已愈来愈不能满足现代公路交通对路面行驶功能的要求,无法解决养护资金需求和短缺之间的矛盾。预防性养护作为一种积极主动(Proactive)的养护对策正是在这样的背景下发展起来的。

今天,中国同样面临着如何更好地满足社会公众对公路行驶舒适性、安全性、快速性愈来愈高的要求与有限的养护维修资金之间的矛盾。在如何使有限的资金科学合理使用的问题上,推广应用预防性养护是一项有战略意义的养护决策。国外的许多理论研究和实践经验都表明,正确地实施预防性养护对于保持路面良好的使用性能,延长路面使用寿命,节约养护维修费用有着良好效果。我国在 20 世纪末引入预防性养护的概念后,国家在政策层面上已经有了明确的政策导向。交通部“十一五”公路养护管理事业发展纲要中第十二条明确要求:“全面推行预防性养护,牢固树立全寿命周期养护的概念,抓紧研究制订预防性养护相关制度措施,积极推广应用预防性新设备、新技术和新工艺”。交通运输部“十二五”公路养护管理发展规划进一步要求全面推行预防性养护,继续树立全寿命周期养护成本理念,制定适合我国国情的预防性养护指导政策、技术标准、探索形成一系列预防性养护技术,并列出一定比例的专项资金,全面实施预防性养护。

在推广预防性养护方面,我国的公路养护管理正处于一个转变观念、深入理解、落实政策、改变体制的阶段。如何更好地借鉴国外在道路养护维修方面的先进经验和先进技术,对于我国推广应用预防性养护技术有着重要意义。近些年来国内有许多有关路面养护技术和管理方面的交流会、研讨会,以及出版的刊物和书籍都介绍了国外“预防性养护”的发展与应用情

况,但大都还停留在国外2005年以前的发展水平上。最近十年是国外“预防性养护”发展的一个十分关键的时期,预防性养护已经从概念、理念、策略发展成一个完整的养护维修体系。“预防性养护”既是一种概念、理念和策略,又是某些养护技术的表现形式,也是路面养护维修作业按目的、性质和功能进行分类的依据。编写本书的目的之一是希望从“预防性养护”的历史发展中引导读者在认识上更为深刻地理解预防性养护的内涵以及与其他养护维修作业的关系。

在最近十年中,预防性养护技术本身也有了許多新的发展。预防性养护技术是一种材料、工艺、设备相互紧密联系的综合技术,本书编写的第二个目的是希望从材料、工艺、设备三方面综合技术的角度来介绍预防性养护技术本身近十年来的最新发展。

目前使用的许多预防性养护技术是在提出预防性养护概念之前早就存在的传统养护技术,并非应用了这些技术的工程都属于预防性养护的范畴。只有在正确的时间,针对不同的病害、选择正确的养护技术,才能起到保护路面、防止病害扩展、延缓路面使用性能恶化速率,延长路面寿命周期,从而实现良好的费用-效益作用。如何正确评估每种预防性养护技术的工程适用性和实施的时机,是编写本书时另一个重点关注的问题。

本书定名为《沥青路面预防性养护实用技术》是希望为工作在沥青路面养护第一线的工程技术人员和管理人员提供在实施预防性养护工程工作中所必须掌握的知识和技术。对于每一种预防性养护技术都尽可能从材料的选用、处理技术的设计、性能的评估、设备的特性和使用、施工的工艺和质量控制、应用的对象和领域,预防性养护的基本环节以及它们之间相互联系和制约的关系中,来阐明实施此种预防性养护技术的实际操作过程,并附有实际工程案例,通过实例更好地了解具体的实施过程和取得的效果。

最后,在编写本书时引用了大量国内外关于预防性养护的研究成果,由于篇幅的限制不可能给出更为详细的介绍。为方便有兴趣的读者追本溯源,在每章最后都附有详细的参考文献书目。

作者

2017年2月

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一章 预防性养护与路面维修的基本概念 .....   | 1  |
| 第一节 预防性养护概念的形成与发展 .....     | 2  |
| 第二节 路面病害与养护维修作业的分类 .....    | 7  |
| 第三节 预防性养护和路面维护的战略意义 .....   | 16 |
| 第四节 预防性养护技术的分类 .....        | 18 |
| 参考文献 .....                  | 21 |
| 第二章 预防性养护材料概述 .....         | 22 |
| 第一节 预防性养护材料的技术要求 .....      | 22 |
| 第二节 传统的预防性养护材料 .....        | 24 |
| 第三节 预防性养护材料的新发展 .....       | 34 |
| 参考文献 .....                  | 43 |
| 第三章 裂缝填封 .....              | 45 |
| 第一节 裂缝的诊断和填封作业工程适用性评估 ..... | 45 |
| 第二节 材料和填封结构形态的选择 .....      | 48 |
| 第三节 填封工艺与设备 .....           | 54 |
| 参考文献 .....                  | 60 |
| 第四章 雾封层 .....               | 61 |
| 第一节 雾封层的类型与工程适用性评估 .....    | 61 |
| 第二节 材料 .....                | 62 |
| 第三节 施工工艺与设备 .....           | 69 |
| 参考文献 .....                  | 70 |
| 第五章 防护性封涂层 .....            | 71 |
| 第一节 防护性封涂层的发展和工程适用性评估 ..... | 71 |
| 第二节 材料 .....                | 72 |
| 第三节 施工工艺和设备 .....           | 75 |
| 第四节 防护性封涂层的实施时机 .....       | 78 |
| 第五节 工程案例 .....              | 79 |
| 参考文献 .....                  | 85 |
| 第六章 石屑封层 .....              | 86 |
| 第一节 石屑封层的类型和工程适用性评估 .....   | 87 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 第二节 材料与性能 .....                  | 91         |
| 第三节 石屑封层的设计 .....                | 93         |
| 第四节 施工工艺与设备 .....                | 108        |
| 第五节 施工过程中的质量控制 .....             | 117        |
| 第六节 石屑封层新技术 .....                | 122        |
| 第七节 工程案例 .....                   | 126        |
| 参考文献 .....                       | 131        |
| <b>第七章 稀浆封层与微表封层（微表处） .....</b>  | <b>132</b> |
| 第一节 稀浆封层的类型和工程适用性评估 .....        | 132        |
| 第二节 材料 .....                     | 134        |
| 第三节 稀浆混合料设计 .....                | 135        |
| 第四节 施工工艺与设备 .....                | 155        |
| 第五节 工程案例 .....                   | 165        |
| 附录 按沥青膜厚度计算稀浆混合料所需沥青用量的方法 .....  | 168        |
| 参考文献 .....                       | 171        |
| <b>第八章 薄层罩面和超薄层罩面 .....</b>      | <b>173</b> |
| 第一节 薄层和超薄层罩面的类型和工程适用性评估 .....    | 173        |
| 第二节 材料 .....                     | 176        |
| 第三节 混合料设计 .....                  | 179        |
| 第四节 混合料施工 .....                  | 188        |
| 参考文献 .....                       | 189        |
| <b>第九章 超薄磨耗黏结层 .....</b>         | <b>191</b> |
| 第一节 超薄磨耗黏结层的特点和工程适用性评估 .....     | 191        |
| 第二节 材料 .....                     | 194        |
| 第三节 混合料设计 .....                  | 206        |
| 第四节 施工工艺和设备 .....                | 208        |
| 第五节 工程案例 .....                   | 210        |
| 参考文献 .....                       | 212        |
| <b>第十章 预防性养护技术的选择与实施时机 .....</b> | <b>214</b> |
| 第一节 工程调研与评估 .....                | 214        |
| 第二节 预防性养护决策和时机之窗的选择 .....        | 217        |
| 第三节 预防性养护方案比较和费用-效益分析 .....      | 224        |
| 参考文献 .....                       | 227        |
| <b>缩略语与代号 .....</b>              | <b>228</b> |



# 第一章 预防性养护与路面维修的基本概念

路面的敷设承担着两方面的基本职能：一是功能性地提供平整、抗滑的路表面，以便车辆可以安全、舒适地在其上行驶；二是结构性地承受车辆和环境作用的载荷，并将车辆行驶时的交通载荷传递和分布到路基上。路面的使用性能和服务能力则是反映实际路面能在多大程度和水平上体现出路面基本职能的两个概念。

沥青路面在交通载荷和环境因素的作用下，随着时间的推移会出现各种各样的病害，路面会变得凹凸不平起来，它们的抗滑能力和承载能力也会逐渐衰减和下降。伴随着路面使用性能的逐渐变坏，路面的服务能力也将变得愈来愈差。图 1-1 展示了美国 Kandhal P. S. 在宾夕法尼亚州所做的沥青路面中沥青老化程度与路面使用性能相关关系的研究结果<sup>[1]</sup>。在图 1-1 中可看到，随着路面使用年限的增长，从路面混合料中抽提所得沥青的延度在不断地下降。当延度下降到 20cm 左右时路面开始出现细料的失散；下降至 15cm 左右时，开始出现松散；下降至 10cm 左右时开始出现裂缝；下降至 5cm 左右时，裂缝明显扩展；下降到 3cm 左右时，路面严重龟裂而开始破坏和失效。在路面病害的发展进程中，将伴随着路面服务能力的不断下降直至完全丧失它的使用性能。

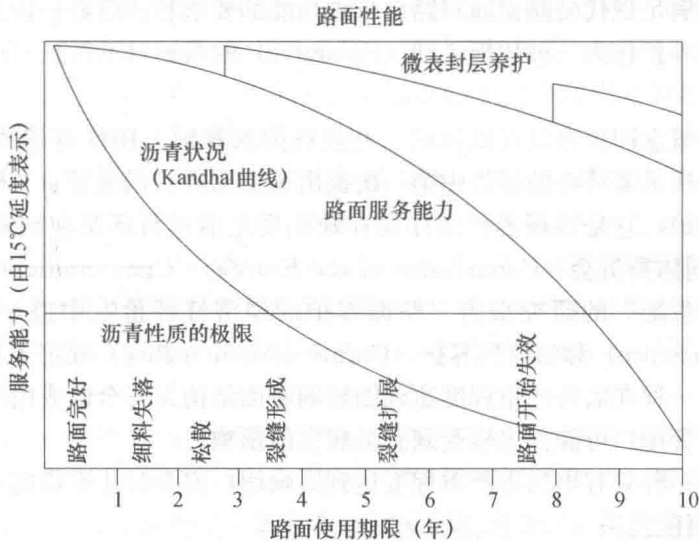


图 1-1 沥青路面服务能力的下降和沥青性能的衰减与路面病害之间的关系

为了保持沥青路面良好的使用性能和延长它的使用寿命，在路面寿命周期的各个阶段需要采用不同的养护维修措施来恢复和保证它的服务能力。分析病害的形成机理和原因、科学地对养护维修作业进行定义和分类是决定正确的养护维修对策的前提，也是沥青路面养护管理的基础。



本章将从讨论沥青路面病害和养护维修作业的定义和分类开始,概要地介绍路面预防性养护的基本概念和它的战略意义以及在技术上的分类和发展。

## 第一节 预防性养护概念的形成与发展

预防性养护的概念是美国在 20 世纪 80 年代中期提出的。20 世纪 70 年代末至 80 年代初美国“二战”后的公路重建工程已经基本完成,至 1979 年美国的公路总里程已达 610 万公里,并有 60% 的州已经建立或基本建立了路面管理系统。在大规模的公路交通网建成之后,如何使这一庞大规模的公路网保持良好的路面状况和服务能力,能为道路使用者提供安全、快速、舒适的行驶功能,就成为路网管理系统的首要任务。在进入 20 世纪 80 年代后美国的新建道路减少(据 2013 年的统计数字美国的公路总里程为 635 万公里)而现有道路的养护维修问题日益突出,为了保持和改善现有道路的服务水平,每年需要耗费大量资金在道路的养护维修上。美国在 20 世纪 70 年代中期路面养护维修的费用约占联邦公路总经费的 1/3 左右,但到 20 世纪 80 年代已占总经费的 50% 并以每年 6 亿美元的速率增长<sup>[2]</sup>。此时美国的公路交通面临着两方面的挑战:一方面社会公众对公路交通的行驶职能提出了愈来愈高的要求,而另一方面养护维修在资金的需求与来源之间的矛盾也愈来愈突出。如何使有限的资金科学合理地分配与使用,尽可能避免与减少资金的浪费,则成为养护决策中必需解决的问题。传统的沥青路面养护通常是在路面出现了某种损坏或病害后才对它们采取处理和修补的措施,这是一种反应性的、被动的养护策略。美国的公路管理部门发现采用反应性养护的对策已愈来愈不能满足现代公路交通对路面行驶功能的要求和适应养护资金的需求和短缺之间的矛盾。预防性养护作为一种积极主动(Proactive)的养护对策正是在这样的背景下发展起来的。

类似的背景和概念同样可以在欧洲的一些发达国家看到,1987 年第十八届世界道路会议道路管理与养护技术委员会的报告中第一次提出了主动养护的建议:“养护可以分为预防性养护或治疗性养护,它是根据养护工作是在缺陷发生前进行还是在缺陷发生后进行而定的”<sup>[3]</sup>。由欧洲共同体委员会(Commission of the European Communities)资助的研究项目“路面与结构管理系统”的研究报告“路面养护的经济性评价”中进一步对预防性养护(Preventive Maintenance)和治疗性养护(Curative Maintenance)规定了相应的定义:

预防性养护是一种在病害严重程度达到能影响路面结构、安全性或用户舒适性之前就安排的养护作业,尽管用户可能并未感受到有关病害的影响。

治疗性养护是一种只有当病害严重程度达到影响用户安全时才安排的养护作业,因而是管理部门应尽的责任<sup>[4]</sup>。

石屑封层、稀浆与微表封层、薄层罩面等沥青路面的表面处理技术很早就存在了,并已成功地应用在道路的养护上,但预防性养护作为一个完整的概念则是在总结大规模公路网养护维修经验教训的基础上提出来的。美国在 20 世纪 80 年代末期面对未来公路交通日益强化的挑战于 1987 年启动了一个庞大的战略性公路研究项目(SHRP),其中第三个子项目“养护费用-效益(Maintenance Cost-Effectiveness)”就是专门从改善费用-效益的角度来研究养护技术的,它包括了一系列研究课题,其中 H-101 课题(Pavement Maintenance Effective-

ness)的研究对象就是裂缝填封、稀浆封层、石屑封层、薄层罩面等四种预防性养护技术。

H-101 课题“路面养护效益”包括了四个方面的研究内容:

- (1) 预防性养护对延长路面使用寿命的效果;
- (2) 四种预防性养护技术在不同的气候、原路面、交通量和路基条件下,路面服务能力的衰减规律;
- (3) 四种预防性养护技术在上述不同使用条件下的费用-效益比较;
- (4) 四种预防性养护技术在上述不同使用条件下的最佳实施时机。

在 1993 年 SHRP 计划结束之后,SHRP 第 2 个子项目“路面长期性能”的研究,仍在 FHMA 的支持下成为一个新的为期 20 年的路面长期性能研究计划(Long Term Pavement Performance Program, LTPP)继续进行,其中有关柔性路面预防性养护的专项课题 SPS-3 作为 H-101 课题的延伸和 LTPP 计划的一部分已于 1995 年完成了五年的跟踪研究。

SHRP 计划 H-101 和 LTPP 计划 SPS-3 课题的一个重要研究成果是提出了按目的、性质与功能对养护作业的分类方法,将养护作业分为预防性养护和矫正性养护两大类,并将预防性养护定义为:“预防性养护是指对路面实施的,以防止损坏扩展或降低损坏发展速率为首要目的的表面处理”<sup>[5]</sup>。

与此类似的还有文献 [6] 在 1989 年给出的定义:“预防性养护作为一种计划性的策略,其意图是抑制轻微的损伤,延缓损坏的进展并降低日常养护和维修的需求”。

各种表面处理技术本来早就存在,它们之所以能对路面起到预防作用与这些技术应用的时机有很大关系,当它们在不同的时机实施时,路面养护的费用-效益是不一样的,当实施时机不当时,就会失去预防性养护的作用。H-101 和 SPS-3 课题的另一个重要的研究成果是指出了实施预防性养护措施在时机上的重要意义,并对各种预防性养护技术在不同的使用条件下的费用-效益进行了比较,并对它们在不同使用条件下的最佳实施时机以及它们在何种使用条件下能获得最佳的费用-效益进行了评估<sup>[7]</sup>。

因此,获得良好的费用-效益是预防性养护的重要前提,如果不能获得良好的费用-效益,预防性养护也就失去了意义。在进入 20 世纪 90 年代后期,预防性养护概念的一个重要发展就是增加了费用-效益的元素,美国 AASHTO 在 1997 年对预防性养护的定义表述为“预防性养护是有计划地对原路面系统及其附属物进行的一种费用-效益良好的处理策略,它维护系统,延缓其进一步的损坏,并保持或改善系统的功能而不会显著地增加其承载能力”<sup>[8]</sup>。这一定义是迄今为止在美国最为普遍应用的定义。

预防性养护概念在 21 世纪的一个重要进展是明确了预防性养护与路面维护两个概念之间的关系。路面保持(Pavement Preservation)是美国公路网为保持其服务能力而设立的一个概念,最初的定义是“路面保持是一旨在保持国家公路网资产,提高路面性能,延长路面寿命和满足用户需求的工作计划”,联邦政府根据计划拨款用于路面的翻修、重建。这一计划原来是不包括路面养护活动的,1995 年后美国的冰茶法(ISTEA)等法案允许将联邦资金用于州公路和联邦助建公路(Federal-aid Highway)的路面养护业务,将其纳入到这一计划中,并将路面保持定义为:“路面保持是一旨在保持国家公路网资产,提高路面性能,延长路面寿命和满足用户需求的工作计划,它包括了预防性养护、矫正性养护以及小修和大修,但不包括路面的改建和新建或重建”<sup>[9]</sup>。由于路面保持的定义包含了预防性养护的含义,

而且这两个术语又常常互换使用,虽然它们的含义是有差别的。这在美国公路界引起了某些混乱和它们用法上的不协调<sup>[9]</sup>。在 2000 年左右 AASHTO 下属的路面保持州领导小组(Lead States Team on pavement preservation)试图澄清两者之间的关系,并对“路面保持”给出了以下的定义:“路面保持是有所为提供和保持道路服务能力而从事的业务活动的总和,包括保持国家公路网资产,延长路面寿命,提高路面性能,确保好的费用-效益和降低用户在时间上的延误。它包括预防性养护和路面小修的业务,而不包括新建路面和改建路面或路面的大修和重建”<sup>[10]</sup>。为进一步理清各种养护维修作业的关系,美国联邦公路管理局 FHWA 于 2005 年 12 月公布的“路面维护定义”备忘录中将路面维护(Pavement Preservation)定义为:“路面维护是一种适用于路网级的长期战略计划,它利用一整套费用-效益良好的综合措施来延长路面的寿命,改善其安全性和满足行车人员的需求”<sup>[8]</sup>。这一定义除去了“路面保持”原定义中公路网保值的成分,强调了路面维护的含义,因此翻译成“路面维护”更为合适。FHWA 还进一步将路面维护分解为三类不同性质与目的的养护作业(图 1-2),并指出预防性养护应是这三个成分中的主体<sup>[8]</sup>。

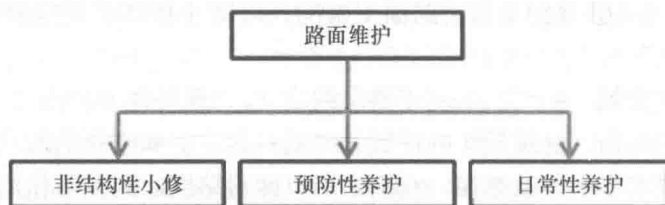


图 1-2 路面维护的组成

FHWA 对预防性养护概念的扩充,使路面维护的概念更加完整,并确立了预防性养护在路面维护作业中的主体地位。

预防性养护与路面维护概念在 21 世纪的另一个重要进展是从概念延伸到分类,进一步明确了按养护维修活动在路面寿命周期各个阶段的目的与功能进行分类的方法。在 FHWA 的备忘录<sup>[8]</sup>中明确将路面整个寿命周期内的养护维修活动分为路面维护、路面结构性翻修(大修)、路面改建三大类,并将路面维护分解为预防性养护、日常性养护、非结构性小修三类不同性质与目的的养护作业。FHWA 的备忘录还进一步明确了日常性养护、矫正性养护和非结构性小修的定义。

日常性养护是指按日程计划实施的旨在保持和维护道路系统的路况条件处于满意的服务水平的逐日性养护活动(清扫、标志线维护、裂缝密封、小坑洞修补等)。

矫正性养护是当路面出现未预见到的损坏时,对病害做出的旨在修复路面至可接受的服务水平的反应性养护活动,诸如坑洞修理、路面的局部修补等。

非结构性小修是指对原路面实施的非结构性的提高措施,其目的是消除那些与老化有关的,由环境辐射导致的自上而下的裂缝等路表面的损坏,诸如薄层罩面、铣刨后加铺薄层罩面等。

2007 年 FHWA 在其培训课程 FHWA-NHI-08-007 中进一步解释了不同类型的路面养护维修活动与路面状况条件之间的关系,并指出矫正性养护(Corrective Maintenance)作为一种修复路面局部性损坏的反应性养护措施在路面寿命周期的各个阶段内都可以进行<sup>[11]</sup>。

在 20 世纪末、21 世纪初国内外许多文献都将矫正性养护作为路面寿命周期养护维修作业的一个阶段来看待<sup>[12]</sup> (图 1-3)，这就模糊了积极主动的养护概念与被动反应的养护概念之间的差别。在国内的不少技术资料中还常常将矫正性养护等同于路面翻修的修理作业，或者认为路面翻修和路面重建等都属于矫正性养护的范畴。产生这些误解的原因主要是由于对图 1-4 和图 1-5 这两张图的不正确理解引起的。

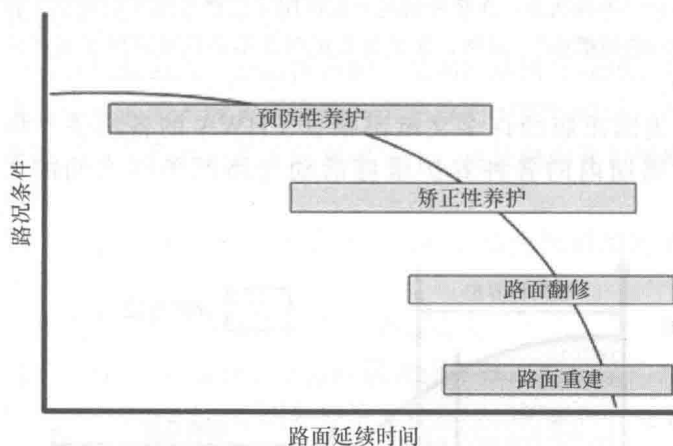


图 1-3 矫正性养护作为养护维修作业的一个阶段

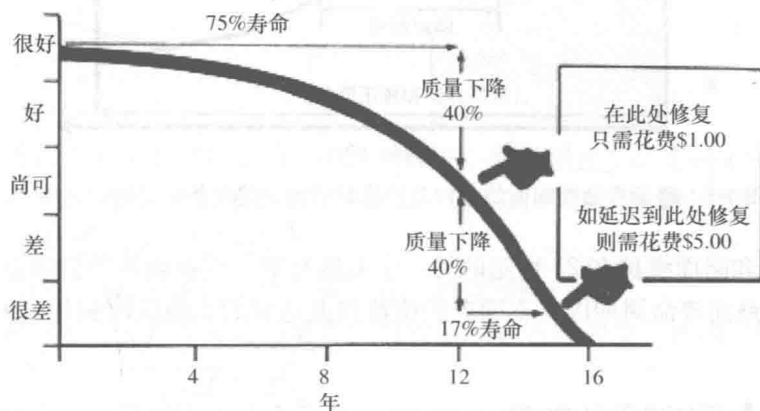


图 1-4 养护作业的时机与费用的关系<sup>[2]</sup>

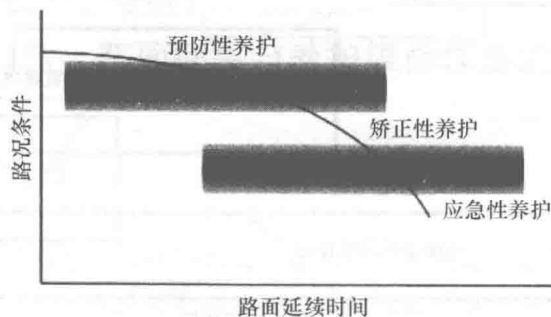


图 1-5 预防性养护应在路况良好时进行<sup>[13]</sup>

注：图 1-4 最早出自美国 1985 年 Stevens 的一篇报告“Road Surface Management for Local Governments”<sup>[14]</sup>，当时尚未提出预防性养护的概念，2000 年后美国已对此图做了修改，将预防性养护时机上移至路况良好阶段（图 1-26）。图 1-5 来源于 1996 年美国 FHWA 的一份报告 SA-96-027<sup>[15]</sup>，作者在解释此图含意时的原文为：“预防性、矫正性、应急性养护的区别不在于它们的类型，而在于它们应用在怎样的路况条件下。例如同一种表面处理技术，它可以用在良好的路况条件下，其功能是延长路面寿命和防止路面老化，也可用来修复较小和中等的病害，在某种情况下也可用于已严重损坏的路面上作为一种维持路面至等待安排路面翻修或重建的临时措施”。显然，作者是在说明并不是只要应用了某种预防性养护技术的工程都可以称为预防性养护。

在 2008 年以后美国出版的许多文献都根据 FHWA 的备忘录<sup>[8]</sup>和 2007 年的培训课程<sup>[11]</sup>，对路面寿命周期内的各种养护维修活动与路况条件之间的关系重新做了调整（图 1-6）。

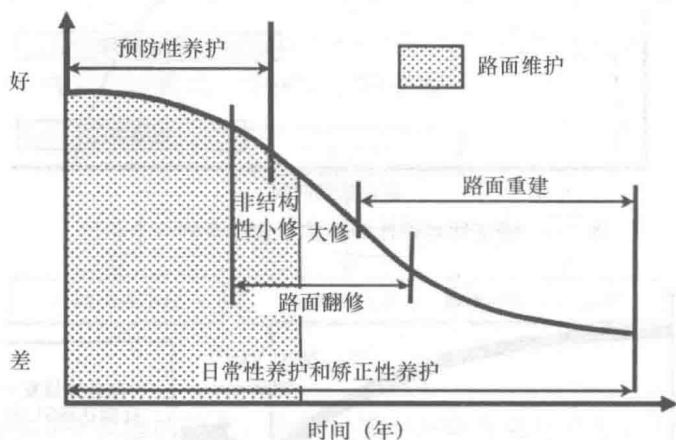


图 1-6 路面寿命周期内的各种养护维修活动与路况条件之间的关系<sup>[11]</sup>

预防性养护和路面维护在 21 世纪的另一个发展是进一步明确各类措施合理的实施时机。图 1-7 展示了在路面寿命周期内，不同养护维修作业适宜的实施阶段和相应的路面状况指数范围<sup>[16]</sup>。

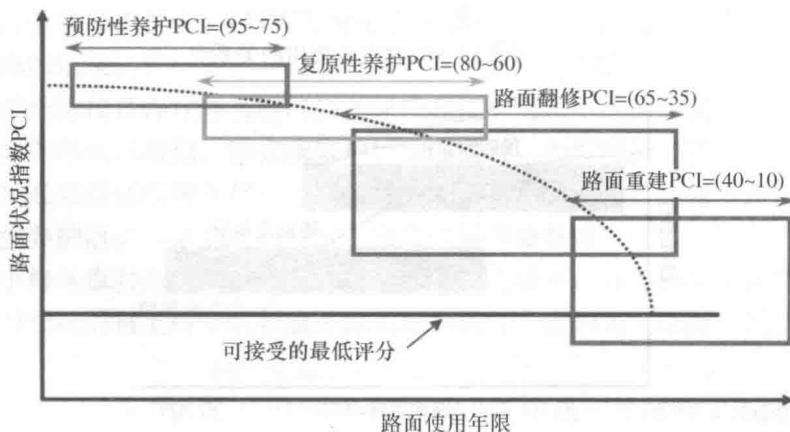


图 1-7 路面状况与使用年限及所需进行的养护维修作业的关系

从图 1-7 中可清楚地看到,预防性养护应该在沥青路面的路况条件处于很好至良好的阶段实施(以 PCI 表示的路面状况指数在 95~75 的范围内),复原性养护应在良好至较好的阶段实施(以 PCI 表示的路面状况指数在 80~60 的范围内)。如果路面没有及时地进行预防性养护,则路面将出现较大的表层损坏而必需采用复原性养护的措施来恢复路面的服务能力到可以满足的水平。如果路面没有采取任何维护措施,路面将出现全局性的严重损坏而不得不采用费用昂贵的路面翻修和重建作业。

在以上的讨论中可看到在美国“预防性养护”是如何从概念和理念,通过逐步明确其内涵以及与其他养护维修作业的关系而发展成为一个完整的养护维修体系的。预防性养护既是一种概念、理念和策略又是某些养护技术的表现形式,也是路面养护维修作业按目的、性质和功能进行分类的依据。

经过 20 余年的发展。预防性养护在概念上也具有了更为深刻和清晰的内涵。预防性养护的内涵包含三个要素:

(1) 原路面的轻微病害已被处理,它包括了两层含义:

1) 病害是轻微的,只涉及路表面的功能性病害而不是路面的结构性损坏;病害发生在路表面或表面层;引起病害的第一位原因是环境老化作用的因素,交通载荷则是次要因素。

2) 由于路表面的功能性病害获得了处理,路面的行驶和安全性功能相应得到改善。

(2) 预期可能出现的病害已被防止或延缓,这是预防性养护最主要的目的,它包括了三方面的含义:

1) 防止表面层的病害扩大化;

2) 延长了路面使用寿命;

3) 寿命的延长不是由于增强了路面的结构强度,而是阻止了病害向下层发展。

(3) 取得最佳的费用-效益,它体现了养护 3R 的原则,即在正确的时间对正确的路面实施正确的处理技术,它包括三方面的含义:

1) 正确的时间——是指实施预防性养护有一最佳时机;

2) 正确的路面——是指路面的路况恶化的程度和病害的类型、性质、轻重最适合于进行预防性养护;

3) 正确的处理——是指选择了最适合的预防性养护技术。

做到了 3R 的原则就能获得最佳的费用-效益。

## 第二节 路面病害与养护维修作业的分类

### 一、沥青路面的病害

路面病害是一种降低或导致降低路面服务能力的路面状况,它是各种病害机制表现出的可见结果<sup>[2]</sup>。按照对路面基本职能的不同影响,路面病害可分为主要与路面性状衰减有关的病害和主要与路面结构损坏有关的病害两大类,前者主要影响路面在车辆行驶安全性、舒适性、快速性方面的功能,也可称为功能性病害,后者则主要影响路面承受交通和环境载荷的



能力与耐久性，也可称为结构性病害<sup>[16]</sup>。与路面性状损坏有关的病害又可分为局部裂缝（非荷载裂缝）、崩解、磨耗、泛油、错台等五类，与路面结构性损坏有关的病害则可分为全面裂缝（龟裂和网裂）、唧浆、冻胀（翻浆）等三类。

导致各种病害产生的原因各不相同，沥青路面发生病害的基本原因可归纳为以下四方面的因素：

- (1) 交通荷载作用的因素；
- (2) 路面材料特性的因素；
- (3) 环境荷载作用的因素（主要是温度和水损害）；
- (4) 施工质量的因素。

各种病害形成的机制也各不相同，沥青路面的各类病害，根据形成机理的不同还可以进一步分解成多种不同的表现形式。

### 1. 裂缝类 (Cracking)

裂缝首先可分为荷载裂缝和非荷载裂缝两类。荷载裂缝（疲劳裂缝）是由于交通和环境荷载的反复作用，因失去耐久性而形成的。由交通荷载形成的裂缝通常表现为小块间隔紧密的龟裂形式（图 1-8）。由环境荷载形成的裂缝通常发生在车流量小，而路面在长时间气候因素的影响下，沥青老化发脆的场合，表现为小块间隔更加细密的网裂形式。荷载裂缝也可由于路面下层结构层的强度下降，弯沉过大而导致表面层超载，被车轮压陷形成龟裂。

非荷载裂缝则可分为横向裂缝、纵向裂缝、反射裂缝、块状裂缝和滑移裂缝等五种形式。

#### (1) 横向裂缝（低温裂缝）

低温裂缝通常表现为与路面纵轴垂直的横向裂缝，而且常常以近似等间隔的形式出现（图 1-9），低温裂缝形成的机理是由于沥青路面表面温度下降而引起的温度收缩应力超过了沥青混凝土的拉伸强度而导致路表面的断裂。

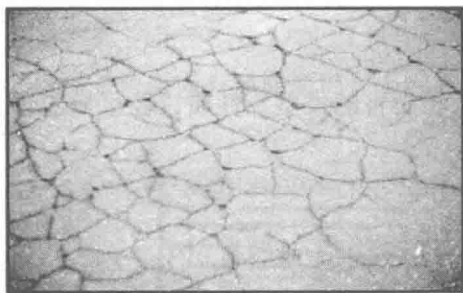


图 1-8 由交通荷载引起的疲劳裂缝

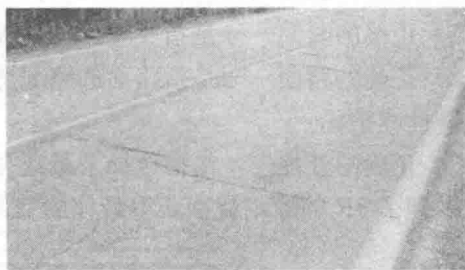


图 1-9 横向裂缝

#### (2) 纵向裂缝

纵向裂缝表现为平行于路面纵轴方向的裂缝（图 1-10），导致纵向裂缝的原因多种多样，其形成机理也各不相同。纵向裂缝可以发生在摊铺的纵接缝处，尤其是发生在纵向的冷接缝处，纵向裂缝也可以发生在有严重车辙和侧向推移的混合料鼓起部位，这是由过高的轮胎压力和负荷造成的。纵向裂缝还可能由于基层或路基发生纵向的不均匀沉降而导致，也可由于下承层的断裂向上反射所致，纵向裂缝还可发生在缺少侧面阻挡的路面边缘，由重车碾压所致。



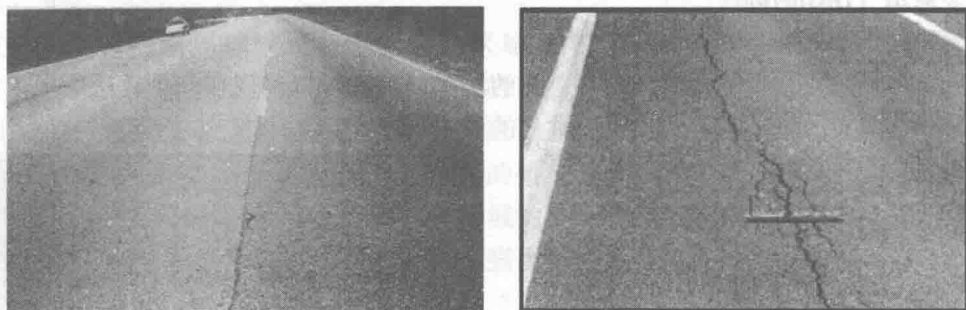


图 1-10 纵向裂缝

### (3) 反射裂缝

反射裂缝是由于下承层的不连续性扩张到面层结构而引起的(图 1-11),它的形成机理是下承层不连续的部位发生相对位移而导致沥青混凝土中的应力超过其拉伸强度而发生断裂。反射裂缝的一个重要特征是完全复制下承层的断裂(不连续)模式,所以它可以是横向的、纵向的、对角的、块状的裂缝。

### (4) 块状裂缝

块状裂缝一般表现为一系列互相连接的 1 至 3m 的大块(图 1-12)。除了由于反射导致的块状裂缝外,引发块状裂缝最常见的原因是温度应力加上混合料变硬、发脆,尤其在使用针入度低而含量高的沥青与细集料的场合。正是基于这一原因,块状裂缝最常发生在车流量低的道路和停车场等广场上,低的车流量提供了在其他病害出现之前,沥青硬化、变脆的可能性。

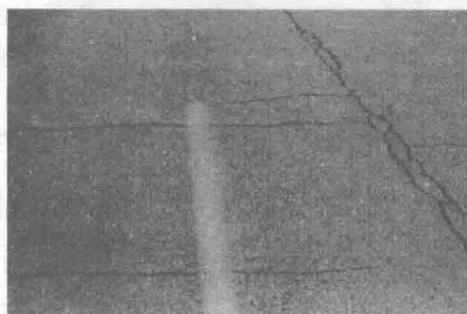


图 1-11 反射裂缝

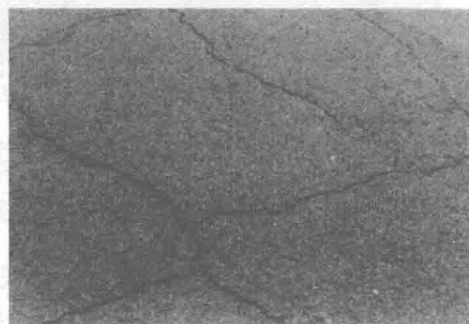


图 1-12 块状裂缝

### (5) 滑移裂缝

滑移裂缝通常呈现为一种表面材料的 U 形运动,并伴随着一系列的皱折和裂缝(图 1-13)。滑移裂缝形成的机理是车辆在制动、加速、转向时产生的水平推力超过了表面结构层与下承层之间的黏结强度,使两层之间发生滑移所造成的,其 U 形的顶点通常指向水平力的作用方向。

严重的推挤作用,会导致表层的应力过大而造成月牙形的坑洞,而在雨水侵入下会很快形成更大的坑槽。从机理上来看,导致滑移裂缝的主要因素是重载车辆在制动、加速时产生过大的水平推力和结构层之间层间黏结不良两个方面的因素。因此,在施工过程中结构层之间受到污染、没有喷洒粘层油或局部漏洒粘层油都有可能导致滑移裂缝的产生。

## 2. 变形类 (Distortion)

### (1) 车辙

车辙是沿着轮迹带上发生的纵向渠道化的沉陷变形,可以呈现在一个轮迹带上,也可出现在两个轮迹带上,是变形类病害中最常见的形式(图 1-14)。



图 1-13 滑移裂缝

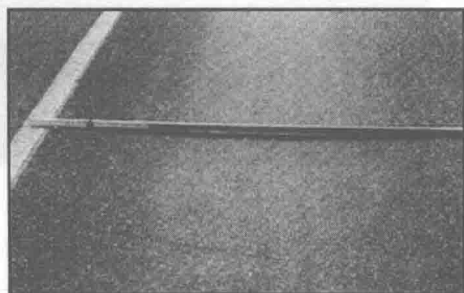


图 1-14 车辙

车辙是由于在渠道化交通中车轮反复碾压沥青路面和推挤沥青混合料而形成的。在正常情况下仅仅是沥青面层的混合料在车轮的继续压实下发生轻微的变形。通常经过 2~3 个夏天,混合料中空隙率减少 2%~3% (例如从 7%~8% 降至 4%~5%) 是完全可能的,但这仅仅会引起 3mm 左右的轻微车辙。

造成 1cm 以上较大车辙的原因是沥青面层混合料的稳定性不足。混合料的塑性流动可发生在表面层,也常发生在中面层,因为这里的拉应力通常最大,车辙也可由于下面层,甚至基层的变形引起。

### (2) 推挤和拥包

推挤是由车轮在制动、转向、起步时的水平推力引起的,它造成材料的水平推移而使路面凸起、形成拥包。此类病害多发生在市区交通繁忙、行驶缓慢的路段,尤其是在交叉路口和公共车辆的停车场(图 1-15)。

导致混合料发生剪切流动的原因是沥青混合料的稳定性不足,而导致结构层之间发生相对滑移的原因则是结构层之间的黏结不良。

### (3) 搓板

搓板也称波浪,是一种紧挨而呈步长规律的纵向起伏,波长通常小于 2m (图 1-16)。搓板是推挤的一种形式,它是由于连续的推挤形成的,有着与推挤相同的成因,这种连续的推挤常常发生在交叉路口和公共车辆的停车场。



图 1-15 推挤和拥包



图 1-16 搓板