

高速公路

病害分析与处治技术

封建武 温高峰 主编

Gaosugonglu

Binghaifenxi yu Chuzhi jishu



人民交通出版社
China Communications Press

高速公路 病害分析与处治技术

封建武 温高峰 主编

Gaosugonglu

Binghaifenxi yu Chuzhi jishu



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

全书共分十五章,第一章简要阐述了中修工程的内容和经验体会;第二章对沥青路面水损害的原因及过程进行了分析;第三章介绍了水损害分析的理论和方法;第四章阐述了沥青混合料水稳定性试验的方法和实质;第五章介绍了中修罩面工程中水损害的设计方法;第六章对沥青混合料的配合比设计与施工进行了介绍;第七章阐述了湖沥青在中修工程中的应用;第八、九章介绍了纤维土工织物及微表处技术在工程中的应用;第十章阐述了桥梁水损害处治技术;第十一章对路面排水系统优化进行了介绍;第十二、十三章对中修工程建设和管理及交通组织进行了介绍;第十四、十五章阐述了温拌料超薄面层和旧沥青路面热再生技术在工程中的应用。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路病害分析与处治技术 / 封建武, 温高峰主编.
北京: 人民交通出版社, 2009.7

ISBN 978-7-114-07837-8

I. 高… II. ①封…②温… III. 高速公路—病害—防治
IV. U418

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 104976 号

书 名: 高速公路病害分析与处治技术

著 作 者: 封建武 温高峰

责任编辑: 刘永芬

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 21.25

字 数: 532千

版 次: 2009年7月第1版

印 次: 2009年7月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07837-8

定 价: 46.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《高速公路病害分析与处治技术》

编写委员会

主 编	封建武	温高峰		
副主编	赵英会	李才廷		
编 委	路建印	封登科	种庚子	李如敏
	康 非	梁 宁	李胜文	张占国
	王胜来	李清泉		

前言

近年来,随着国民经济的快速增长,我国公路事业,特别是高速公路建设取得了很大的成就。其中20世纪80年代末、90年代初建成通车的高速公路相继进入全面维修期。沥青路面是我国高速公路路面的主要结构形式,沥青路面是直接承受车辆荷载和自然因素的结构层,关系着行车是否安全、快速、经济、舒适。许多高速公路建成后,受交通量迅速增长、车辆大型化、超载严重、行驶渠道化等因素影响,沥青路面远未达到使用年限即出现了裂缝、坑槽、车辙、沉陷等病害。其中大多数病害为沥青路面水损害,与水的作用有着直接或间接的关系。

目前,一些沥青路面养护的新材料、新技术逐步应用到高速公路维修工程中来,这对于提高养护工程质量、节约养护经费、延长路面使用寿命起到了很大的推动作用。本书以石黄高速公路中修工程为依托,总结了建设管理过程中的经验,结合现行的技术规范,吸取其他高速公路维修养护工程的先进技术编写而成。

全书共分十五章,第一章简要阐述了中修工程的内容和经验体会;第二章对沥青路面水损害的原因及过程进行了分析;第三章介绍了水损害分析的理论和方法;第四章阐述了沥青混合料水稳定性试验的方法和实质;第五章介绍了中修罩面工程中水损害的设计方法;第六章对沥青混合料的配合比设计与施工进行了介绍;第七章阐述了湖沥青在中修工程中的应用;第八、九章介绍了纤维土工织物及微表处技术在工程中的应用;第十章阐述了桥梁水损害处治技术;第十一章对路面排水系统优化进行了介绍;第十二、十三章对中修工程建设管理及交通组织进行了介绍;第十四、十五章阐述了温拌料超薄面层和旧沥青路面热再生技术在工程中的应用。

各章编写分工如下:

- | | |
|----------|-------------|
| 第一章、第十三章 | 李才廷、王胜来、李清泉 |
| 第二章、第三章 | 封建武、梁宁 |
| 第四章、第六章 | 温高峰、李胜文 |
| 第五章、第十一章 | 赵英会、张占国 |
| 第七章 | 种庚子、王胜来 |
| 第八章 | 封建武、李如敏 |
| 第九章 | 温高峰、李才廷、种庚子 |
| 第十章 | 路建印、康非 |
| 第十二章 | 封登科、李清泉、张占国 |
| 第十四章 | 赵英会、路建印 |
| 第十五章 | 梁宁、封登科 |

全书由封建武、温高峰统稿,由编写委员会审定。

由于时间紧,加之水平有限,书中难免有错漏、不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2009年5月于石家庄

目 录

第一章 概述	1
第一节 目的与意义	1
第二节 国内外研究现状	2
第三节 实体工程背景及主要工作内容	4
第四节 工作经验体会与存在问题	5
第二章 水损害原因及过程分析	6
第一节 水损害定义及表现形式	6
第二节 沥青与集料的黏附—剥落理论	7
第三章 水损害分析理论与方法	24
第一节 沥青与集料界面相互作用理论	24
第二节 动水压力理论	30
第三节 水损害微观力学理论	44
第四章 沥青混合料水稳定性评价及配比设计	49
第一节 混合料水稳定性的试验方法简介	49
第二节 冻融劈裂强度试验的实质	57
第三节 试验方法综合评价及对混合料配比设计的影响	64
第五章 中修罩面处治水损害设计方法	66
第一节 原路面使用性能检测及分析	66
第二节 路况调查	68
第三节 旧路面病害处治	75
第四节 旧路高程测量及纵横断设计程序和方法的研究	78
第五节 沥青混凝土路面施工	84
第六章 沥青混合料配合比设计与施工	98
第一节 沥青混合料原材料技术要求及性质分析	98
第二节 GTM 在中修路面面层混合料设计中的应用	104
第三节 热拌沥青混合料施工	113
第七章 湖沥青在石黄高速公路中修罩面工程中的应用	121
第八章 纤维土工织物在防治路面水损害中的应用	131
第一节 聚酯玻纤布特性研究	131
第二节 聚酯玻纤布复合混合料路用性能研究	135
第三节 聚酯玻纤布防治反射裂缝研究	149
第四节 聚酯玻纤布复合沥青混合料疲劳特性研究	158
第五节 聚酯玻纤布在石黄高速公路水损害防治中的应用	170
第九章 微表处在桥面维修工程中的应用	174
第一节 概述	174

第二节	微表处的材料及技术要求·····	175
第三节	改性乳化沥青·····	177
第四节	改性乳化沥青的技术标准和检验方法·····	179
第五节	微表处混合料的配合比试验·····	184
第六节	微表处的施工要求和在我国的应用前景·····	189
第七节	石黄高速公路××桥微表处罩面设计与施工·····	191
第十章	石黄高速桥梁水损病害处治 ·····	196
第一节	桥梁的检查与技术状况评定·····	196
第二节	水对桥梁的破坏分析·····	203
第三节	濠阳新河特大桥病害处治·····	210
第十一章	路面排水系统优化设计研究 ·····	230
第一节	目前国内排水系统应用现状·····	230
第二节	水力计算·····	231
第三节	旧沥青路面边缘排水设施优化设计·····	233
第十二章	中修罩面处治病害建设管理 ·····	236
第一节	中修工程组织实施与管理·····	236
第二节	工程质量进度控制·····	253
第十三章	中修交通组织与安全施工 ·····	261
第一节	施工单位安全生产管理·····	261
第二节	建设单位安全生产管理·····	265
第十四章	温拌沥青混合料在超薄罩面层中的应用 ·····	271
第一节	概述·····	271
第二节	超薄沥青混合料设计·····	274
第三节	温拌沥青用于超薄沥青混合料研究·····	285
第四节	施工工艺·····	301
第十五章	沥青热再生技术的应用 ·····	304
第一节	概述·····	304
第二节	沥青混合料的再生机理概述·····	306
第三节	施工段路况检测与分析·····	307
第四节	材料性能测试·····	312
第五节	再生沥青混合料设计·····	315
第六节	经济效益和社会效益分析·····	319
第七节	路面再生段施工·····	320
参考文献	·····	328

第一章 概 述

第一节 目的与意义

改革开放以来,我国公路事业进入了以建设高速公路、一级公路等高等级公路为主的新时代。在高等级公路建设中,由于沥青路面具有无接缝、低噪声、易维修等优点,因此在已建成的高速公路中有 90% 以上采用的是沥青混凝土路面。

伴随着沥青路面结构在我国高等级公路中广泛使用的同时,其日益突出的各种问题对我国道路工程界提出了严峻的挑战。沥青路面工程普遍存在的两大问题,耐久性(使用寿命)和路面结构的早期损坏问题都亟待解决。在高速公路建设之初,大家对高速公路车辆分道行驶,以及超载车、重载车增加有可能导致车辙严重损坏,半刚性基层沥青路面有可能出现严重的裂缝等有充分的认识和思想准备,对高速公路的抗滑性能也特别重视,但对高速公路沥青路面会出现水稳定性不足、坑槽等在中低级公路上常见的现象几乎没有料到。有一些高速公路在建成通车后不久,短的几个月,长的 2~3 年,就出现了水损害。在对路面破坏现象广泛调查、统计的基础上,道路科研工作者通过反复地分析、论证发现,沥青路面的早期破坏现象大多与水有关。在各种类型的沥青路面早期破坏现象中,水损害已成为最主要、危害最大的损坏类型。

许多高速公路通车一至两年以后,其沥青面层就产生了大量麻面、松散、掉粒、唧浆、坑洞、网裂等破坏现象,结构内部剥蚀相当严重。这一切都严重削弱了沥青路面的使用性能,大大缩短了其使用寿命,同时也带来了巨大的经济损失,阻碍了沥青路面结构及其应用技术的进一步推广。沥青路面的早期水损害也是一个世界性的问题。在美国、加拿大、英国、日本等国家也同样出现了沥青路面早期水损害问题。许多国家投入了大量的人力物力对水损害问题进行了专题研究,如 SHRP 路面长期性能研究专家小组和加拿大运输协会都曾经对沥青路面早期水损害进行了专题研究,并取得了许多研究成果。但由于沥青路面早期水损害的影响因素极其复杂,至今没有一个国家能从根本上解决早期水损害,还有许多问题需要继续不断地深入研究。

河北省降雨量虽然不如南方地区那么多,但是降雨比较集中,雨季雨量充沛。在公路投入运营后,随着交通量的日益增长,重车、超重车行驶率的不断增加,在水的动力作用下,致使沥青混合料沥青膜剥落,引起裂缝、松散等病害;并且水对半刚性基层和底基层持续地冲刷,导致其变软,路面强度降低,出现唧浆、沉陷、坑槽等病害,最后导致基层强度的丧失,引起整个路面发生结构性破坏。同时我国华北地区冻深一般在 50cm 左右,高等级公路路面的大部分恰处在冻深范围内,当路面区冰冻后,如果路基中含水量丰富,即会形成对冰冻区的水源补给,形成更大范围的冻胀,造成面层开裂、松散,进而破坏整个路面强度。因此,水损害也正逐步成为河北沥青路面早期破坏的主要形式之一。

由于经验不足,过去对路面水损害的危害性缺乏足够的认识,未对沥青路面水损害问题进行系统而深入的研究,导致在高速公路新建时,已经为今后水损害的产生埋下伏笔。一旦路面出现因水造成的唧浆、坑槽、沉陷和小面积网状裂缝等病害,在采用一般挖补等病害处治手段

后,仍无法从根本上解决水损害的问题,甚至路面上出现了多处的“补中补”现象。正是在路面出现水损病害后,没有甚至无法解决,导致路面大中修时间提前。

国内外对水损害做的研究主要集中在原材料例如级配或者抗剥落剂等方面,仍不能很好地解决问题,这说明我们对路面水损害的机理仍不清楚。虽然有不少学者对损害机理做过研究,但得出的大都是定性的分析结果,并没有太多实际意义。为了能找到处理路面水损病害的合理方法,延迟路面大中修时间,并为今后旧路面大中修乃至新建路面如何进行防水损病害设计提供有价值的参考,因此亟须对目前高速公路沥青路面水损病害处治技术进行深入系统地研究,特别是加强分析水损害的原因及破坏机理,具有重大现实意义与工程实用价值。

第二节 国内外研究现状

目前国内外研究者对于水损害的研究主要集中在水损害的机理研究以及对水损害的防治两方面上。

一、对破坏机理的研究

从力学角度来看,沥青路面结构内部的孔隙水在高速行车荷载的作用下造成瞬时的孔隙水压力,是造成路面水损害的重要原因。由于路面是层状结构,层间结合处易于出现空隙,进入空隙内的自由水在行车荷载下,会成为高孔隙水压力和高流速的水流,冲刷层面材料并从缝隙处向外喷射出带冲刷材料的泥浆,促使沥青面层出现剥落和松散,从而使整个路面结构的使用性能迅速变坏。

对此,同济大学对沥青路面的孔隙水压力进行了测试。测试结构表明,层间结合处的孔隙水压力比路表面大,说明了沥青路面的水损害很多是从下面层破坏开始的。大连理工大学的钟阳等利用刚度矩阵法推导了动荷载作用下路基路面层状弹性体孔隙水压力的解析解,通过计算结果得知,由于水的影响,使得路基路面结构内部产生了附加的孔隙水压力,比没有水影响的路基路面结构更容易产生破坏。

华南理工大学交通学院的王端宜等认为水分进入沥青路面结构层内削弱了沥青与石料间的黏结力,在汽车荷载的作用下很快导致破坏。其在分析了沥青混合料空隙率对水敏感的影响及空隙率和渗透之间的关系后提出了用吸水率指标来评价沥青混合料的设计空隙率和水敏感性,并用数字图像技术加轮迹试验预测沥青路面的水损害及其程度。

长沙交通学院的罗志刚首次从微观角度尝试性地提出了沥青路面的水损害模型,并在运用有限元方法对模型进行求解的基础上,重点分析了沥青路面在饱水状态下其内部孔隙水压力的变化规律以及孔隙水压力对沥青路面受力状态的影响。分析结果表明,沥青面层内的孔隙水压力与面层的空隙率、空隙大小、空隙位置、所承受荷载的大小以及结构组合、材料参数等有密切关系。同时孔隙水的存在,致使路面在荷载作用下其内部孔隙边缘顶部及底部出现拉应力集中,且拉应力较无水状态时大得多。

华中科技大学的李之达等人通过对超孔隙水压力的分析和疲劳试验研究,探讨了孔隙水对路面结构的破坏形式和疲劳寿命的影响。研究表明,在车载作用下将产生较高的孔隙水压力,对沥青面层形成冲刷,最终可能导致路面水损害,证实了沥青路面在车载下的超孔隙水压力是引起早期水损害的重要因素。

二、对水损害的防治

在国外,对于水损害的防治主要从三个方面来入手:一是从结构上来防治,如采用良好的排水系统,这主要是让水不侵入结构层;二是从材料上来防治,如有使用聚合物改性沥青结合料、采用良好的级配和石料、添加抗剥落剂等,即通过对材料的改进和完善来提高沥青混合料本身的性能;三是从预防性养护来防治,如通过预防性养护措施来减缓水损害的进一步发展。

美国在 1973 年由联邦公路局制定了路面结构内部排水系统设计指南,以引导和推动公路部门采用路面内部排水系统。到 1986 年,美国又进一步在路面结构设计方法中把路面结构的排水质量(以排除渗入路面结构内水分所需的时间和 1 年内路面结构处于水饱和状态的时间比例为指标),作为一项设计因素考虑在内。

我国在排水结构层方面的研究也有一定的成果:同济大学在大量试验的基础上,提出了满足排水基层使用性能要求的多孔隙水泥碎石和多孔隙沥青碎石混合料组成,并研制了两种测试多孔隙排水混合料渗透系数的渗透仪。东南大学结合锡澄高速公路磺塘试验路在沥青路面的水渗透特性和排水基层的排水性能方面做了大量试验,指出对于所含无塑性细料的处治碎石,其渗透系数主要取决于粒径分配与密实度(空隙率)。长沙交通学院结合临长高速公路路面结构排水设计,对水泥碎石排水混合料的组成设计方法进行了深入研究。

在影响沥青路面水损害的因素中,沥青路面的设计空隙率是最主要的原因。研究表明,当路面实际空隙率为 7% ~ 12% 时,水容易进入并滞留在混合料内部,不容易排走且容易在荷载作用下形成动水压力。

规范所列的级配类型在实践中都有使用。近年来许多单位对表面层级配进行了调整,不再走中值,而是将最粗的粗集料和最小的细集料适当减少,级配调整成 S 型,使空隙率明显改善,效果较好。

国外也从改善混合料级配和进行有效的压实出发,寻找改善措施,特别是新型级配(如 SUPERPAVE 等)的出现,使得对沥青混合料的渗水性研究更为重视。因新型级配一般都比较粗,设计不合理渗水的可能性很大,需对其进行深入研究。

很多学者还对沥青与石料的黏附性进行了研究,提出了力学理论、化学反应理论、表面能理论以及分子定向理论等。其中表面能理论近些年发展较快,采用 Wilhelmy 吊片法和吸附法可以测得沥青与集料的表面自由能,从而可以计算得到沥青的黏结作用以及沥青集料间的黏附作用,以此评价沥青混合料的水稳定性。

三、目前的研究存在的问题

从国内外的研究概况来看,对水损害的认识、研究基本上都是沿两大方向去开展工作的:一方面是如何消除病害之源,即如何防止水进入面层;另一方面是如何增强沥青和集料的黏结性能以达到改善沥青路面水稳定性的目的。这些工作基本上都是以试验为基础的,都只是定性分析。虽然科研人员提出了不少理论,如机械黏附理论、表面能理论、极性理论等来解释沥青与集料的剥离现象,但都存在一定的局限性。沥青路面发生水损害的影响因素繁多,任何一个因素都可能导致水损害的发生,水损害的机理至今仍不明了。对沥青路面水损害机理的认识,只是停留在一个描述表象的阶段。

国内外研究者们已经意识到进入到沥青路面的自然水,在车辆交变荷载的作用下产生的

超孔隙水压力是一个不可忽视的因素。车辆高速行驶时车轮压迫路表面积水形成高速射流,它不仅对沥青面层产生冲刷作用,强烈的脉动水流在沥青混凝土内部缝隙里形成较大的脉动水压力并沿缝隙传播,使面层沿着内部裂隙发生水力断裂,裂隙扩大,导致水分进一步侵入,产生新的集料剥离,并逐渐形成错综复杂的裂隙,最终造成路面局部龟裂及松散类破损。目前公路工程科研人员已经认识到这种脉动水压力对沥青混凝土路面的破坏过程有着重要的影响,但限于学科的限制,对其微观破坏规律研究还不是很深入。究竟多大的孔隙水压力会造成路面结构的破坏,还是没有一个定量的概念。在水压力的作用之下,如何改变沥青路面的破坏形式,目前还没有建立起一个完整的数学模型对这一现象进行分析。

第三节 实体工程背景及主要工作内容

一、项目概况

1. 项目背景

石黄高速公路作为晋煤东运的主要通道之一,是我国“三纵三横”国道主干线的重要构成部分,对于带动沿线经济发展、繁荣经济起到了至关重要的作用。石黄高速公路起于石家庄,途经衡水、沧州,东至黄骅港,石家庄至沧州段全长 187.08km,路基宽度 27m,路面宽度 22.5m,全封闭、全立交、双向四车道。路面结构如下:

沥青路面上面层为 4cmSAC-16(调整)中粒式沥青混凝土,中面层为 5cmSAC-20(调整)中粒式沥青混凝土,底面层为 6cmSAC-25(调整)粗粒式沥青混凝土;基层为 20~36cm 水泥稳定碎石,底基层为 20cm 石灰稳定土。

2. 交通量调查

石黄高速公路自竣工通车以来,至今已经运营了近 6 年的时间,随着交通量的不断增长,尤其是重载超载现象严重,致使路面出现了不同程度的病害,严重影响了行车舒适与安全,并且路面性能衰减和病害的发生有不断扩大的趋势,因此,必须对石黄高速公路路面进行全面及时的检测与养护设计,恢复路面服务水平,减少交通事故的发生。

石黄高速公路近年交通量(石家庄东站)的统计资料见表 1-1。

2001~2005 年石家庄东主线站(上下行)交通量统计表

表 1-1

序号	方向	统计时间	按车型分类统计交通量(辆)						合计
			小型	中型	大型	重型	特一	特二	
1	上行	2001	506789	260423	66886	1924	241	65	836340
2		2002	669156	374781	258453	7915	1984	735	1313140
3		2003	898002	478064	232677	8260	1380	748	1619246
4		2004	1097040	710288	582218	54677	18961	8105	2476949
5		2005	1750497	463652	279572	343342	257046	27874	3124222
6	下行	2001	498115	279933	58405	2098	211	62	838838
7		2002	688639	378315	168539	6448	1373	262	1243616
8		2003	853631	428700	196254	10681	939	277	1490535
9		2004	1114141	662290	435838	51922	13370	4938	2285334
10		2005	1642527	403907	249526	260305	198087	28465	2784081

从表 1-1 石家庄东站历年交通量统计资料来看,石黄高速公路交通量年平均增长率为 38%,其中 2002 年、2005 年交通量年增长率达到了 53%,交通量分别较前一年增加了 50% 以上。此外,表 1-1 的统计数字同时也反映出石黄高速公路近年大、重型车所占的比重也在不断增加;2004 年、2005 年重型车增加了将近 5 倍。

随着周边路网的日趋完善,交通量增长不可避免对路面承载能力提出新的挑战。及时处理路面出现的各种病害,采取积极有效的预防性养护措施,是道路服务能力维持在一个较高水平的有力保证。

二、主要工作内容

根据石黄高速公路路面病害的类型、成因以及病害的范围、程度的多样性,此次病害的治理应针对不同病害分门别类采用了具有较强针对性的治理方案,在罩面施工之前,对原路面各种病害进行彻底地处理,同时对桥梁病害进行处治。

第四节 工作经验体会与存在问题

经过对石黄高速公路中修工程施工和管理,我们的体会是:

(1)领导重视、各部门配合、政府支持,良好的建设环境是建设项目取得胜利的根本保证。省委、省政府对公路建设非常重视,各级领导多次到工地视察指导,沿线各市县政府在本项目工程建设过程中给予了大力支持,为工程的顺利建设保驾护航。

(2)以人为本,树立质量意识。不断对参与建设的人员进行质量教育,使每个人真正树立牢固的质量意识,树立“争创最佳工程”的思想,总结经验教训,提高管理水平。

(3)以工程质量为中心,完善各项管理机制,进一步强化工程管理手段是建设项目取得胜利的关键。本项目采用竞争性招标,监理也采用公开招标方式选择,在建设中执行承包商自检、驻地监理现场检测、总监办和管理处抽检、省质检站代表政府监督四级质量保证体系,使石黄高速公路的建设水平和建设质量有了质的飞跃。

(4)不同时期,分别成立督察小组,对工程建设实时检查,及时发现解决建设过程中的技术质量问题。对特殊技术问题,组织专家专门会议进行研究,提出解决方案,为工程建设提供了技术保障。

(5)大胆应用新工艺、新技术,解决技术难题。石黄高速公路建设过程中应用了多项新科技成果,并在应用过程中进行创新和突破,多个研究课题通过鉴定,对延长公路使用寿命、节省养护资金起到了积极作用。

第二章 水损害原因及过程分析

从力学角度来看,沥青路面结构内部的水在高速行车荷载的作用下造成瞬时的动水压力,是造成路面水损害的重要原因。沥青路面在水或冻融循环的作用下,由于汽车车轮动态荷载的作用,进入路面空隙中的水不断产生动水压力或真空负压抽吸作用,水分逐渐渗入沥青与集料的界面上,使沥青黏附性降低并逐渐丧失黏结力,沥青膜从石料表面剥离,沥青混合料掉粒、松散,继而形成沥青路面的坑槽、推挤变形等损坏现象。关于其损害形成机理,将在下一章详述,本章就其表现形式及成因作简要分析,并针对石黄高速公路的病害作专门论述。

在分析水损害产生的原因和发展机理之前,我们有必要对水损害的定义进行一下探讨,并了解相关的沥青与集料的黏附—剥落理论,以便能更好地认识水损害现象的本质所在。

第一节 水损害定义及表现形式

一、水损害定义

水对路面造成的危害除了上节所述的几种水损害现象以外,另一个主要方面还表现在水对路表服务性功能的影响,如:使路表抗滑能力降低,产生水漂、反光、溅水、水雾等。本文中不讨论后者,即水损害仅涉及水对路面结构功能方面的影响因素,强调的是因水而带来的路面结构力学性能的变化。因此所谓水损害,是指:沥青路面处于存在孔隙水的工作条件下,由于行车动态荷载或(及)水的冻融循环的作用,导致路面孔隙中的水不断产生动水压力或真空负压抽吸的反复循环冲刷力或冰冻膨胀力,致使水分逐渐侵入沥青与集料的界面,造成沥青膜从集料表面脱落、沥青混合料内部逐渐丧失黏结力、路面结构性能下降并伴随麻面、松散、掉粒、坑洞、唧浆、网裂、辙槽等病害的发生,同时诱发其他路面病害的损坏现象。

从以上这个描述性的定义,我们可以看出造成水损害的根本原因在于水的作用致使沥青对集料的黏附性能丧失,而造成这种结果的两个关键性因素或者说是先决条件表现为:一个是水的存在,一个是有外力的存在(交通荷载的反复作用及冰冻作用),并且认为“力”是导致集料表面沥青膜脱落的本质所在。

二、早期水损害的表现形式

经过多年的研究和生产实践,我国高速公路沥青路面多采用强基薄面结构形式即由半刚性基层作为汽车荷载的主要承重层,沥青面层主要起功能层作用。高速公路沥青路面中常见的水损害破坏形式有以下几种。

1. 唧浆

水透过沥青面层(两层或三层)并滞留在半刚性基层的顶面,在大量快速行车作用下自由水产生很大压力,成为动水。在动水的冲刷作用下,基层表面的粉质部分如水泥、石灰、粉煤灰

及土质变成稀浆,在荷载的作用下稀浆通过路面的各种缝隙被挤出至路表,即产生唧浆破坏。这种破坏现象是水损害最为明显的标志,通常发生在雨后或雪融后且基层采用二灰碎石、水泥类半刚性基层上。唧浆几乎在每条高速公路都有发生,在南方潮湿多雨地区尤为突出。

2. 形变和网裂

滞留在表面层和中面层的水,在大量行车荷载的作用下,使得这两层部分碎石上的沥青剥落。石料上的沥青一旦剥落,在荷载的作用下表面层就会产生形变和网裂。现场开挖也能看到,在网裂下面的沥青混合料中许多碎石上的沥青已经剥落或仅残留一点无黏结力的油膜。

3. 松散

存留在面层的水分侵入到沥青与集料的界面,由于水的剥离作用使得沥青和集料之间的黏结力和黏附作用下降甚至完全丧失,导致强度急剧下降甚至完全丧失,混合料中的碎石呈松散状。

4. 坑洞

沥青集料一旦松散,在大量的快速行车荷载作用下松散的石料被车轮甩出或被雨水带走,就会产生坑洞,而且坑洞一旦产生,很快就从小坑洞发展成大的坑槽。

以上的早期水损害现象有时是单独出现的,但大多数是组合出现的。比如产生唧浆的地方通常会出现网裂和形变,并随着时间的推移很快会出现松散和坑洞。

第二节 沥青与集料的黏附—剥落理论

沥青与集料的黏附—剥落理论是目前认识水损害作用机理的主要依据。就国内外来看,常见的黏附—剥落理论有以下几种。

一、物理化学吸附理论

按照物理化学的观点,沥青与集料间的黏附作用是一个相当复杂的、多方式的吸附过程,它包括沥青与集料界面的物理吸附过程、化学吸附过程,以及沥青组分对集料的选择性扩散吸附过程。

1. 物理吸附

物理吸附是指沥青与集料之间因为范德华力作用(包括取向力、诱导力和色散力)而产生的一种吸附过程。它普遍存在于沥青与集料之间,其吸附程度取决于各相物质接触界面的表面性质(主要是表面自由能的作用)。物理吸附作用较弱,在一定条件下,它是可逆的,即集料表面的沥青膜会在水的作用下产生剥落。

2. 化学吸附

化学吸附是指沥青中的某些物质(如沥青酸、沥青酸配)与集料表面的金属阳离子发生化学反应,生成沥青酸盐,并在集料表面形成化学吸附层的过程。这种化学反应的作用强度,超过分子力作用许多倍。该过程产生的热量为数百焦耳/克分子以上,而物理吸附作用产生的热量最大时仅为数十焦耳/克分子。因此,当沥青与集料之间形成化学吸附层后,相互间的黏附力远大于物理吸附时的黏附力。也只有产生化学吸附,沥青混合料才可能具有良好的水稳

定性。

化学吸附发生与否以及吸附程度,取决于沥青及集料的化学成分。例如石油沥青中因含有沥青酸及沥青酸配能与碱性集料中的高价金属盐产生化学反应,生成不溶于水的有机酸盐,与低价金属盐反应生成的有机酸盐则易溶于水,而与酸性集料之间则只能产生物理吸附。煤沥青中既有酸性物质(如酚类),又有碱性物质(如吡咭类),因而与酸性集料及碱性集料均能起化学吸附作用,当然其吸附程度和生成物的性质还与集料的化学成分密切相关。

3. 选择性扩散吸附

选择性扩散吸附亦称微孔吸附,它是指一相物质中的某一特定组分由于扩散作用沿着另一相的微孔渗入到其内部的过程。当沥青与集料相互作用时,选择性扩散吸附产生的可能性以及其作用大小,取决于集料的表面性质、孔隙状况及沥青的组分与活性。

集料对沥青的选择性吸附作用,主要产生于其表面具有微孔(孔隙直径小于 0.02mm)的集料,如石灰岩、泥灰岩、矿渣等。此时沥青中活性较高的沥青质吸附在矿料表面,树脂吸附在矿料表层小孔中,而油分则沿着毛细管被吸收到矿料内部。因此,矿料表面的树脂和油分相对减少,沥青质增多,结果沥青性质发生变化——稠度提高、黏附性增加,从而在一定程度上改善了沥青混合料的热稳性与水稳定性。沥青与多孔材料相互作用的特点,一方面取决于表面性质和吸附物的结构(孔隙的大小及其位置),另一方面与沥青的特性有关(主要是活性和基因组成)。集料表面上如有微孔,就会大大改变其与沥青相互作用的条件。微孔具有极大的吸附势能,因而孔中吸附大部分的沥青表面活性组分。当沥青与结构致密的集料(如石英岩)相互作用时,上述过程就失去了必要的条件,因而其对沥青的选择性吸附不显著。

目前关于微孔吸附行为的理论或模型主要有:毛细管凝聚作用理论、用来解释吸附滞后现象的 Zigmondy 接触角滞后模型和 MCBain 墨水模型以及 Cohan 圆筒形吸附模型。由于这些理论模型比较复杂,牵涉较多的化学知识,在此不详述。

综上所述,在黏附过程中微孔吸附和化学吸附起主要作用,而沥青和集料的性质以及水的作用是影响沥青—集料黏附性的主要因素。

二、力学理论

力学理论又称为机械黏附理论,它认为沥青与集料的间黏附力主要来源于沥青对集料表面的嵌锁咬合作用。集料表面通常是粗糙和多孔的,从微观角度来看都有一定的纹理构造,这种构造增加了集料的表面积,使沥青和集料的嵌锁黏附面积增大,提高了两者之间的黏附性能。因此,集料表面越粗糙,沥青膜越厚,沥青与集料的黏附性就越好。其次,集料的表面存在着各种形状、各种取向与各种大小的孔隙和微裂纹,由于吸附与毛细作用,沥青渗入孔隙与微裂纹之中,两者结合的总内表面积增加,并发生强烈的力学嵌挤作用,进一步提高了两者之间总的黏附力。再者,沥青在高温时以液相渗入集料孔隙与微裂纹中,当温度降低后,沥青则在孔隙及微裂纹中发生胶凝硬化,这种楔入与锚固作用,亦增强了沥青与集料之间的机械黏附力。应该说这种机械嵌锁作用在沥青和集料的黏附过程中是一种普遍存在的结合力。但认为沥青与集料之间仅存在机械嵌锁力,就把复杂问题过分简单化了。

1. 表面能理论

表面能理论以经典的润湿理论为基础,认为沥青与集料的黏附性主要由表面能决定。沥

青和集料表面黏附牢固的先决条件是沥青对集料具有良好的浸润性,而浸润的程度又受相邻相的表面能影响。当沥青浸润集料表面时,会产生能量交换,这种交换要求沥青与集料紧密接触和相互吸引。

位于固体或液体内部的分子在各个方向上受到其他分子的作用力是均衡的,故可以认为所受合力为零。而在两相界面上的分子则不然,它从两相中受到的作用力并不均衡,其作用结果是表面分子受到一个垂直于表面、指向体相内部的合力,试图将它拉入体相内部,所以对于液体而言,其表面有自动收缩趋势。

由于液体、固体表面层分子受到内压力的作用,显然,要使体相分子变为表面层分子(即扩大表面积),必须外界对其做功。根据化学热力学,在等温等压条件下,外界对系统所作的“非膨胀功”等于系统 Gibbs 函数的增加,因此表面积增大,必将引起系统 Gibbs 函数增大。把增加单位表面积所引起的 Gibbs 函数的变化称为比表面 Gibbs 函数,用 σ 表示:

$$\sigma = dG/dA \quad (2-1)$$

式中 G 指 Gibbs 函数, A 为表面积。这即是说 σ 也可以看作单位长度上的作用力,在这个意义上,又被称为表面张力。 σ 的另一种意义是作为单位面积上的功来表征表面自由能,简称表面能。

(1) 沥青对集料表面的浸润

在空气中,当沥青与集料相互接触发生浸润时会发生图 2-1 所示的三种情况。

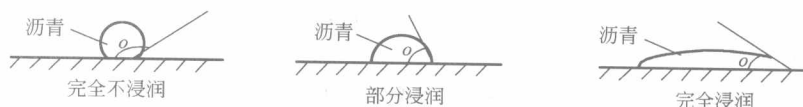


图 2-1 沥青对集料表面的浸润

在这一浸润过程中,相接触的三相:集料、沥青、空气在一定的温度下会发生体系的表面能降低现象,并且最终达到平衡状态,如图 2-2a) 所示。



图 2-2 表面张力平衡图

a) 集料—沥青—空气体系; b) 集料—沥青—水体系

由图 2-2a) 可以看出,集料—沥青—空气体系平衡的条件是:

$$\sigma_{(s-a)} - \sigma_{(s-b)} \sigma_{(b-a)} \cos \theta = 0 \quad (2-2)$$

式中: $\sigma_{(s-a)}$ ——集料—空气的表面张力;

$\sigma_{(s-b)}$ ——集料—沥青的表面张力;

$\sigma_{(b-a)}$ ——沥青—空气的表面张力;

θ ——集料—沥青—空气三相间的接触角,即在这三相物质的交界处,沿沥青表面的切线与沥青和集料接触面所成的夹角。

若 $\sigma_{(s-b)} + \sigma_{(b-a)} < \sigma_{(s-a)}$, 则 θ 趋近于零, 沥青完全浸润固体表面;

若 $\sigma_{(s-b)} > \sigma_{(s-a)}$, 则 $\theta = 180^\circ$, 沥青完全不浸润集料。

通常情况下,由于固—液界面上未满足的结合键较少,因此经常处于固—液表面能小于相应的固—气或液—气表面能,即 $0 < 90^\circ$, 处于部分浸润状态。所以干燥的集料在高温条件下容易被沥青浸润,沥青能在集料表面铺展为薄层。但是,能良好地浸润干燥集料表面的沥青,并不意味着其对集料一定有良好的黏附力。黏附情况的优劣还取决于集料与沥青间的表面张力和浸润角的大小。表面张力越大,浸润角越小,沥青与集料的黏附性能越好。

(2) 水对沥青膜的“剥落”作用

沥青薄膜在集料表面铺展开后,当遇到水时,水对沥青膜的置换作用如图 2-2b) 所示。对于集料—沥青—水平衡体系有:

$$\sigma_{(s-w)} - \sigma_{(s-b)} - \sigma_{(b-w)} \cos \theta = 0 \quad (2-3)$$

式中: $\sigma_{(s-w)}$ ——集料—水的表面张力;

$\sigma_{(b-w)}$ ——沥青—水的表面张力;

θ ——集料—沥青—水三相间的接触角。

在不加抗剥落剂的一般情况下,通常是 $\sigma_{(s-b)} > \sigma_{(s-w)}$, 即沥青容易被水置换,因此大多数沥青与集料黏附后易被水剥落。

下面从能量的角度来解释。水从集料表面取代单位面积的沥青所需做的功为:

$$W = \gamma_{(s-b)} - \gamma_{(s-w)} + \gamma_{(b-w)} \quad (2-4)$$

为了达到平衡,必须符合 Young 和 Dupre 方程:

$$\gamma_{(s-b)} = \gamma_{(s-w)} + \gamma_{(b-w)} \cos \theta \quad (2-5)$$

所以得到:

$$W = \gamma_{(b-w)} (1 + \cos \theta) \quad (2-6)$$

式中: $\gamma_{(s-w)}$ ——集料—水的界面能;

$\gamma_{(b-w)}$ ——沥青—水的界面能;

$\gamma_{(s-b)}$ ——集料—沥青的界面能。

由式(2-6)可知, W 取决于 $\gamma_{(b-w)}$, 且 $W = f(\theta)$, 也就是说 W 是与沥青和水的界面能及接触角有关的。当 θ 越小时, W 越大, 即水取代沥青所需做的功越多, 也就越难取代沥青。之所以在沥青中加入抗剥落剂, 目的就在于其可以减小接触角 θ , 从而降低沥青膜被水取代的可能。

2. 分子定向理论

分子定向理论又称为极性理论, 它认为沥青与集料的黏附性是由沥青中表面活性物质对集料表面的定向吸附形成的。表面活性物质的分子是由极性基和非极性基组成的不对称结构, 极性基带有偶极矩, 所以能表现出力场。从石油沥青的元素组成可知, 碳和氢的含量为 90% ~ 95%, 其余部分为氧、硫、氮。沥青的活性部分可能含有下列基团, 例如 $-OH$ 、 $-COOH$ 、 $-NH_2$ 等。沥青可被视为表面活性物质在非极性碳氢化合物中的溶液, 且因所含表面活性物质数量的不同而具有不同的活性。沥青黏附于集料表面后, 沥青在集料表面首先发生极性分子定向而形成吸附层, 与此同时, 在极性力场中的非极性分子, 由于得到极性的感应而获得额外的定向能力, 从而构成致密的表面吸附层。因此认为, 沥青的极性是黏附的本性, 是导致集料吸附沥青的根本原因。沥青分子的偶极矩越大, 其与集料的定向吸附力越大, 黏附性也越好。由于水是极性分子且有氢键, 因此水对集料的吸附能力很强。当低极性石油沥青与亲水性集料黏附时, 因为沥青与集料基本上只有物理吸附, 故容易被水剥落。而含极性物的石油沥