

大纵坡路段 半刚性基层沥青路面 病害防治技术

陈渊召 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

大纵坡路段 半刚性基层沥青路面 病害防治技术

陈渊召 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书在充分分析国内外大纵坡路段半刚性基层沥青路面病害处治技术研究成果的基础上,结合实体工程对大纵坡路段半刚性基层沥青路面病害处治技术进行了系统研究。书中详细阐述了大纵坡路段沥青路面车辙病害和滑移病害的形成机理;分析了长大纵坡沥青路面力学响应规律,研究了长大纵坡沥青路面竖向永久变形规律,提出了长大纵坡沥青路面工作状态分级;研究了半刚性基层沥青路面透层材料的层间性能,提出了透层材料评价方法与指标;研究了半刚性基层沥青路面下封层材料的层间性能,提出了下封层材料评价方法与指标;研究了半刚性基层沥青路面黏层材料的层间性能,提出了黏层材料评价方法与指标;研究了基于不同工况的沥青混合料组合结构抗车辙性能;推荐了长大纵坡沥青路面材料;进行了试验路铺筑和验证;提出了长大纵坡沥青路面施工工艺与质量控制。

本书适合公路工程技术人员、相关专业院校师生及科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

大纵坡路段半刚性基层沥青路面病害防治技术 / 陈
渊召著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2015. 8
ISBN 978-7-5170-3628-9

I. ①大… II. ①陈… III. ①半刚性基层—沥青路面
—灾害—防治 IV. ①U416.217

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第206429号

书 名	大纵坡路段半刚性基层沥青路面病害防治技术
作 者	陈渊召 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京九州迅驰传媒文化有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12.75印张 302千字
版 次	2015年8月第1版 2015年8月第1次印刷
定 价	45.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

虽然我国公路通车里程越来越多,但在地形平坦地区修筑高等级公路已不能满足地区间交流需求,在山岭重丘区修筑高等级公路已是必然趋势,大纵坡路段将非常常见。我国西部地区由于高原山脉多,地质条件复杂,新建的高等级公路存在许多长大纵坡路段沥青路面的技术难题,已建山区高速公路沥青路面的长大纵坡路段整体服务质量也不高。在长大纵坡路段,由于纵坡、车辆刹车启动和超载等因素的共同作用,沥青路面结构受到的层间切向剪应力比一般路段增大数倍,沥青面层容易产生层间剪切破坏,并且造成结构性车辙。长大纵坡路段在高温时,由于沥青材料的黏弹塑性,会产生塑性流动和永久变形,从而形成沥青混凝土的侧向流动变形,造成沥青面层的失稳性车辙。

目前,我国现行公路沥青路面规范中没有长大纵坡沥青路面的设计和施工规定,国内外这方面虽有研究,但缺乏系统的分析,因此有必要系统深入地研究长大纵坡沥青路面病害形成机理,全面分析引起路面病害的因素,提出长大纵坡沥青路面病害防治措施和施工控制标准,这样不仅可以提高长大纵坡沥青路面使用品质,延长长大纵坡沥青路面使用寿命,并且可以大大降低运营过程中的维修费用。

本书共分10章,第1章分析了国内外长大纵坡沥青路面病害处治技术的国内外研究现状;第2章分别调查分析了车辙病害和推移病害的形成机理;第3章首先分析了长大纵坡沥青路面力学响应规律,然后研究了长大纵坡沥青路面竖向永久变形规律,最后提出了长大纵坡沥青路面工作状态分级;第4章研究了半刚性基层沥青路面透层材料的层间性能,提出了透层材料评价方法与指标;第5章研究了半刚性基层沥青路面下封层材料的层间性能,提出了下封层材料评价方法与指标;第6章研究了半刚性基层沥青路面黏层材料的层间性能,提出了黏层材料评价方法与指标;第7章研究了基于不同工况的沥青混合料组合结构抗车辙性能;第8章推荐了长大纵坡沥青路面材料;第9章分析了试验路铺筑和验证;第10章研究了长大纵坡沥青路面施工工艺与质量控制。

全书由华北水利水电大学陈渊召写作完成,可供公路设计、施工、研究人员及相关专业院校师生参考使用。

由于作者水平有限,如有不妥之处,恳请读者批评指正。

作者

2015年8月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 本书主要内容	6
第2章 长大纵坡沥青路面病害调查与分析	8
2.1 长大纵坡条件下路面病害调查分析	8
2.2 车辙病害调查与分析	10
2.3 推移病害调查与分析	12
2.4 本章小结	14
第3章 长大纵坡沥青路面力学响应分析及工作状态分级	16
3.1 上、下坡时的车辆路面力学分析	16
3.2 长大纵坡沥青路面力学响应分析	19
3.3 长大纵坡沥青路面竖向永久变形分析	52
3.4 基于各因素对长大纵坡沥青路面影响的工作状态分级	60
3.5 本章小结	62
第4章 半刚性基层沥青路面透层处治技术研究	64
4.1 试验方法	64
4.2 试验结果及分析	67
4.3 透层材料性能对比分析	77
4.4 透层材料评价指标	77
4.5 本章小结	78
第5章 半刚性基层沥青路面下封层处治技术研究	79
5.1 试验方案及试验方法	79
5.2 试验结果及分析	82
5.3 下封层透水性能研究	91
5.4 下封层材料评价指标	92
5.5 本章小结	92
第6章 半刚性基层沥青路面黏层处治技术研究	94
6.1 沥青混合料配合比	94

6.2	黏层层间抗剪性能研究	95
6.3	黏层材料性能对比	122
6.4	黏层材料评价方法与指标	122
6.5	本章小结	122
第7章	基于不同工况的沥青混合料组合结构抗车辙性能研究	124
7.1	沥青路面车辙的产生机理和影响因素	124
7.2	路面组合结构整体车辙试验研究	130
7.3	考虑结构组合的车辙预估方法研究	141
7.4	基于车辙指标的沥青路面设计方法研究	151
7.5	本章小结	156
第8章	长大纵坡沥青路面材料推荐	157
8.1	基于各工作状态分级的长大纵坡沥青路面层间材料推荐	157
8.2	沥青混合料面层材料推荐	160
8.3	本章小结	161
第9章	试验路铺筑及验证	162
9.1	试验路概况	162
9.2	试验路铺筑	164
9.3	试验路现场检测	168
9.4	试验路验证	175
9.5	本章小结	177
第10章	邯沙公路施工工艺与质量控制	179
10.1	施工质量控制主要项目和标准	179
10.2	邯沙公路长大纵坡、交叉口处施工工艺	182
10.3	邯沙公路施工质量控制改进措施	194
10.4	本章小结	195
参考文献		197

第 1 章 绪 论

1.1 研 究 背 景

高等级公路运输是国民经济的基础性产业,是国家现代化水平的重要标志。高速公路是 20 世纪 20 年代在西方发达国家开始出现的专门为汽车交通服务的基础设施,高速公路的发展有助于合理配置资源、提高经济运行质量和效率。自新中国建立以来,我国公路建设历经 60 多年的发展历程,取得了巨大成就。截至 2014 年年底,全国公路通车总里程达 446.39 万 km,其中高速公路达 11.195 万 km,预计到 2020 年,建成基本的国家高速公路网。但是,在已建公路中存在着严重的地域不平衡性,东部和中部经济发达地区的公路占国家公路网密度很大,相对而言,西部地区就有许多不足,这就严重制约了西部地区的经济发展,因此,近年来国家将投资倾向于西部地区,以加快建设西部地区的交通体系。

我国地形复杂多样,山区面积广大。地形种类齐全,各种地形交错分布,山地约占全国土地面积的 33%。虽然公路通车里程越来越多,但是随着国民经济的快速发展,高等级公路的需求量也不断增加。在地形平坦地区修筑高等级公路已不能满足地区间交流要求,导致运输时间的浪费和运输成本的提高,大大影响了国家整体经济的发展。为加强地区间交流,加速经济发展,在山岭重丘区修筑高等级公路已是必然趋势,长大纵坡路段将十分常见。在我国的西部地区,由于高原山脉多,地质条件复杂,地理环境比较恶劣,新建的高等级公路存在许多长大纵坡路段沥青路面的技术难题,已建山区高速公路沥青路面的长大纵坡路段整体服务质量也不高。

沥青路面具有优异的使用性能和良好的行车舒适性,并且建设周期短,其养护和维修也较水泥路面简单,因此,我国高等级公路路面大部分采用了沥青混凝土路面结构。但是随着车辆轴载的不断增大、交通量的不断增加和渠化交通的形成,以及车辆重载、超载的日益严重,我国公路沥青路面出现了许多普遍性的问题。在长大纵坡路段,沥青路面的最主要的破坏形式之一是车辙破坏,且超载、重载情况越多车辙越严重。在长大纵坡路段,由于纵坡、车辆刹车启动和超载等因素的共同作用,沥青路面结构受到的层间切向剪应力比一般路段增大数倍,沥青面层容易产生层间剪切破坏,并且造成结构性车辙。长大纵坡路段在高温时,由于沥青材料的黏弹塑性,会产生塑性流动和永久变形,从而形成沥青混凝土的侧向流动变形,造成沥青面层的失稳性车辙。再者,长大纵坡路段的沥青路面混合料施工时,压实过程难以控制,路面的残留空隙率过大,通车后在行车荷载的作用下,混合料进一步地压密,造成面层的压密性车辙,严重影响行车安全。

在长大纵坡沥青路面的坡底和坡顶处极易出现层间滑移、推移、拥起等早期病害,尤其是在长大纵坡段沥青混合料桥面铺装层的推移现象非常严重。分析其原因,一方面是由



于沥青混合料的高温稳定性不足,夏季高温季节在行车荷载作用下沥青面层容易产生推移、拥包病害;另一方面是由于沥青路面的层间抗剪强度不足,在行车荷载的水平力反复作用下,发生层间滑移和推移。车辆在刹车减速和起动加速都会对沥青路面产生很大的水平荷载,该水平荷载是造成U形裂缝产生的主要原因,U形裂缝的端部在坡底时与行车方向相同,在坡顶时指向行车方向相反的方向。

目前,我国现行公路沥青路面规范中没有长大纵坡沥青路面的设计和施工规定,国内外这方面虽有研究,但缺乏系统的分析,因此,有必要系统深入地研究长大纵坡沥青路面病害形成机理,全面分析引起路面病害的因素,提出长大纵坡沥青路面病害防治措施和施工控制标准,不仅可以提高长大纵坡沥青路面使用品质,延长长大纵坡沥青路面使用寿命,并且可以大大降低运营过程中的维修费用。如能开发出利用资源再生利用的新技术、节约型新材料或者力学性能和使用性能均较好的路面结构类型,就能够大大节约建设资金,同时兼顾环保效应,加快西部和山区地区高速公路的发展,最终推动经济及社会的全面、和谐发展。

1.2 国内外研究现状

目前,国内外针对长大纵坡沥青路面的研究很少,也鲜有该方面的文献报道,大多数研究还仅限于针对一般公路和小坡度沥青路面的材料组成和结构类型。

1.2.1 国外研究现状

在美国、欧洲等发达国家和地区,私人轿车数量多并且道路交通车流量大,高速公路上小客车所占比例较高,且行驶的载重汽车性能好。其高速公路交通规划、交通管理、荷载控制等方面做得很有成效,重载、超载现象很少,在大纵坡路段采用的路面结构使用效果也很好。因此,国外只对沥青路面的高温稳定性、耐疲劳破坏、抗水损害和降噪环保等方面的研究较多,对长大纵坡路段沥青路面进行的研究很少。

1. 车辙研究现状

沥青路面车辙一直是国内外研究的焦点问题。关于车辙的研究,在20世纪60年代前,由于车辆轴载小、交通量小,因此,国外研究较少。

第一届CSDAP(国际沥青路面结构设计会议)上,壳牌公司首次提出了考虑疲劳和车辙的沥青路面结构设计方法,此方法核心思想主要是通过控制路基顶面垂直压应变来控制车辙,表明沥青路面车辙问题已开始引起重视。

Dorman对限制路基应变的标准进行了完善,其采用弹性或黏弹性层状体系来预测沥青路面结构的永久变形。

第三届CSDAP上,有关学者提出了一些测定柔性路面车辙变形量的方法,这些方法根据沥青路面材料性能,以不同模式计算车辆及环境对沥青路面车辙变形量的影响。

1987年,Eisenmann的报告指出,当路面沥青层的组成为5cm+18cm厚时,车辙病害表现为轮胎作用位置处沥青路面下沉体积要大于两侧隆起的体积,表明车辙发展的初期阶段主要是由压密过程造成;而在此以后,轮胎作用位置处沥青路面下沉体积逐渐与两侧



隆起的体积平衡,说明压密过程已经结束;车辙病害的进一步发展,主要是由沥青层内产生剪切流动变形引起。当年 AASHO 的试验路路面开挖后的研究成果和壳牌公司环道试验研究成果均验证了这一点。

1999 年,Shields 建立了沥青路面的黏弹性低温应力松弛模型。Weissman 采用小变形模型预测渠化和非渠化交通产生车辙病害的不同,该模型包含了沥青混合料对温度和荷载速率依赖性及塑性元件,并成功预测了多数沥青路面的竖向永久变形。

2003 年,美国 AASHTO 和 TRB 提出数种改扩建和新建沥青路面的车辙预估模型,在沥青路面结构设计时考虑车辙影响,并且其控制车辙指标是车辙深度。

2006 年,Fwa 等人从沥青混合料塑性流动变形原理出发,利用 $C-\phi$ 模型进行沥青路面的车辙预估分析。全面分析了车辙的各种影响因素。然而,该预估模型中各参数的意义并不明确,而且建立模型时仅限于室内试验结果,需依据工程现场数据做修正。

2. 高性能沥青混合料研究现状

近年来,国外学者研发了大量适应重交通和恶劣环境影响的沥青路面新材料,如聚合物纤维、抗车辙剂、高模量沥青混合料、硬沥青、高黏沥青等,这些新材料在道路工程中的应用,很大程度改善了路面的使用性能。

20 世纪 50 年代后期,纤维增强材料开始在沥青混合料中应用,最初采用的纤维增强材料是为预防反射裂缝。但经研究发现,纤维还能增强沥青混合料强度,并且能提高其路用性能,引起国外研究人员的重视,相继开展了许多研究工作。

AAPT(沥青路面技术协会)为评价矿物纤维、玻璃纤维、石棉网纤及木质素纤维加入沥青的效果,通过回弹模量、低温拉伸、动稳定度、疲劳等试验进行了系统研究。研究结果表明,掺入纤维可增大沥青用量,并可较大程度提高其水稳定性、抗老化、抗疲劳及抗开裂的性能。

在 Conoco 公司的大力支持下,密西根技术大学对二阶段碳纤维改性沥青混合料性能进行了深入研究。研究结果表明,加入碳纤维后,沥青的力学性能可较大程度增强,从而可得到耐久性好的沥青路面。

Bueno 等为研究不同用量放入乱向合成纤维对冷拌密级配沥青混合料力学性能的影响,分别进行了马歇尔、静态及循环三轴试验。研究结果表明,加入长度为 40mm、纤维用量为 0.1% 和 2.5% 的沥青混合料力学性能最好;三轴试验结果同时表明,掺入纤维的混合料力学性能会出现小的变化。

Cooley 等人为评价木质素纤维在级配沥青混合料中的应用效果,进行了大量的研究工作。研究结果表明,掺木质素纤维可阻止混合料在运输和摊铺过程中向下迁移,同时可改善混合料的性能。同时建议,由于木质素纤维具有吸水性,易产生水损害,故推荐采用不吸水矿物纤维。

Bullinger 和 Bywater 研究了聚合物纤维对沥青胶浆性能的影响,并对掺纤维稳定基层及 SMA0/11 的长期性能进行了观测分析。研究结果表明,Dolanit 矿物纤维对改善沥青混合料的高温稳定性很有帮助,0.3% 的 Dolanit 纤维掺量时沥青混合料的车辙深度为矿物纤维及木质素纤维的 50% 左右。

此外,国外一些著名研究机构和生产厂家为提高沥青路面的抗车辙能力研制出了专用



抗车辙剂,如 Rad Spunrie 抗车辙剂、粒化聚合物 PRPLAST.S 添加剂等。

3. 层间材料研究现状

在国外,公路沥青路面设计及施工过程中,层间处治技术备受关注。在许多发达国家的沥青路面施工规范或行业建议中,有关层间处理方法的具体要求存在一定的差异。

在国外,黏层油通常采用乳化沥青或改性乳化沥青,但对于采用黏层油的具体型号,各国做法各不相同。在美国路易斯安那州 2000 年发布的《道路和桥梁标准规范》中规定:透层油应使用稀释沥青 MC-30、MC-70 或 AEP 改性乳化沥青,要求其用量为 $1.15 \sim 1.35 \text{ L/m}^2$ 。而美国 AASHTO 及各州规范却都规定黏层油采用慢裂型乳化沥青。

采用路面力学计算模型,国外有几项研究分析评价了层间粘接对路面性能的影响。例如,2004 年,King 和 May 分析了沥青面层层间不同粘接条件的粘接效果,Roffe 和 Chaignon 用路面设计程序计算分析了层间从完全粘接到光滑的不同状况。研究表明,层间完全工作状态从黏结到光滑,沥青路面的使用寿命将从 20 年降到 7~8 年。

在日本,Hachiya 和 Sato 研究了沥青路面层间的洁净程度和层间黏层的作用。机场跑道易出问题的位置在飞机刹车或拐弯处。由于飞机施加的大水平力,致使跑道表面层与下卧层分离,结果是表面层失效。

2003 年,Shola 等在美国佛罗里达州研制了一种简单的直接剪切试验仪器,可与一般的测试仪器或马歇尔试验仪结合起来进行试验。

目前在美国,几个有关层间处治的重要研究课题正在进行。NCHRP(美国国家公路研究合作组织)从 2005 年开始研究确定黏层材料最佳洒铺量的方法、洒铺设备类型和校准方法步骤及黏层材料类型等。另一项研究是由美国华盛顿交通厅和华盛顿国立大学立项。该项目的研究分别在铣刨的和未铣刨沥青路面表面上进行,研究采用两种乳化沥青作黏层材料,评价层间材料采用两种洒铺量的粘接效果。另外,还要进行铣刨面的清洁度和养生时间对层间剪切强度的影响分析。

2005 年,Mariana 等对层间条件对沥青路面路用性能的作用规律进行了分析。研究结果表明,层间接触条件不好会缩短路面使用寿命达 80%;层间接触条件不好时,路面使用寿命对水平荷载很敏感,水平力会导致层间病害的发生,尤其是薄表面层。

2010 年,Kim、Hyunwook 等人对沥青面层试件进行了层间剪切试验和力学分析,他们从高等级公路上钻取路面双层芯样,通过直剪仪测得试件的抗剪强度。采用有限元法建立力学分析模型,分别模拟层间完全连续和完全光滑状态对路面结构的影响。研究认为,路面层间粘接状况对路面结构影响很大,温度是影响层间粘接状态的主要因素,温度低于 20°C 时层间接近完全连续状态。

1.2.2 国内研究现状

在国内,武汉理工大学针对长大纵坡路段沥青路面车辙病害,针对沥青路面材料组成做了一些研究。王家主等从理论上对长大纵坡路段沥青路面遭到破坏的原因进行了研究,并长大纵坡沥青路面的力学响应进行了分析,推荐了适用于长大纵坡路段的骨架密实型沥青混合料,提出了一个骨架密实型沥青混合料设计方法,并对其设计的骨架密实型沥青混合料进行一系列车辙试验验证其高温稳定性,进而通过常规路用性能指标对推荐的沥青混



合料同 AC 和 SMA 进行对比,说明该骨架密实型沥青混合料的优越性。

长安大学韩森、张宜洛、许银行等针对 SMA 在长大纵坡路段沥青路面中的使用效果进行了研究,提出了长大纵坡路段沥青混合料抗剪强度试验方法,推荐采用单轴贯入试验进行抗剪测试;比较了在 SMA 混合料中加入聚酯及木质素纤维后的抗剪切及抗车辙性能,并分别分析了集料类型、粗集料用量及最大公称粒径等对 SMA 路用性能的影响。

黄尧庆、魏南云等依托上三高速,对长上坡路段沥青路面主要病害进行了研究,并参考工程处理病害经验,推荐了长上坡路段沥青路面病害处理措施。长安大学申爱琴等人分析山区高速公路沥青路面车辙形成机理,并从原材料选择、配合比设计、路面结构组成、施工技术等方面推荐了提高山区沥青路面高温稳定性的措施。

山西道合公路监理公司闫红伟等人分别对运三高速、侯运高速、运风高速的纵坡坡度、纵坡坡长及车辙深度进行了系统调查分析,提出了导致长大纵坡路段沥青路面出现破坏的因素。

长安大学杨琳针对长大纵坡路段沥青路面的病害特点、结构受力情况,结合沥青混合料的性能及各路面结构层的功能提出长大纵坡段合理沥青路面结构组成,针对长大纵坡沥青路面结构受力特点及路面病害与普通沥青路面的差异,分析了现行公路沥青路面设计方法的不足,推荐了相应的控制指标。

由以上研究可知,长大纵坡沥青路面永久变形的本质在于,由于坡度的影响使得在长大纵坡路段车辆荷载水平分力较一般路段大很多,加之超载车辆在爬坡时跳跃式前进产生的水平冲击力影响,造成上坡路段车辆荷载对路面的切向作用力比一般路段大很多,并且对沥青面层内拉应力产生较大影响,使得拉应力处于较高水平,路面极易出现车辙、推移、坑槽等病害。再者,由于沥青混合料是黏弹性材料,符合时温等效原理,当车辆在纵坡路段上行驶时,由于纵坡的影响,稳定行驶时车速会降低,如一般路段以 80km/h 行驶的车辆,上坡时车速会降到 40km/h 甚至更低,这样车辆对路面的作用时间就会增加 87.3% 左右,根据时温等效原理,相当于沥青路面承受的温度升高,破坏概率就提高了。长大纵坡段沥青路面层间剪应力随坡度的增大而增大,但影响不显著。纵坡的影响主要体现在:车辆荷载匀速行驶时,沥青路面结构层最大竖向位移、最大竖向剪应力及最大水平剪应力均有所减小;汽车制动时,沥青路面结构层最大竖向位移、最大竖向剪应力增加不显著,但层间最大水平剪应力增加显著,且随着切向力系数及轴载的增大而增大,由于长大纵坡段纵坡过长,汽车加减速频繁,尤其对于超载严重路段,会产生很大的切向力,此时,如仍按匀速行驶模式来设计沥青混合料的抗剪强度,将会导致沥青混合料抗剪强度不足而使路面出现车辙、拥包及推挤等早期损坏。

综上所述,尽管国内外许多学者对长大纵坡沥青路面进行了一些研究,并取得了一定的成果,但在实际工程中,只是在修建高速公路时提高了长大纵坡路段的线性指标,并没有对长大纵坡路段沥青病害进行系统调查分析,对长大纵坡路段沥青路面病害机理进行研究,没有从层间抗剪、路面抗车辙和耐磨性等方面进行分析,以提出针对长大纵坡特点的沥青路面设计方法和路面病害防治措施,从而保证路面具有足够的耐久性和使用品质。因此,本书将在系统深入的研究长大纵坡沥青路面病害形成机理,并全面分析引起路面病害因素的基础上,采用有限元法对行车荷载作用下的长大纵坡沥青路面力学响应进行全面分



析。对层间及路面材料性能进行系统研究,从而提出长大纵坡沥青路面病害防治措施和施工控制标准,进而推荐适用于长大纵坡沥青路面的设计方法。

1.3 本书主要内容

在分析国内外研究现状的基础上,以长大纵坡沥青路面病害为研究对象,以邯沙公路试验路为依托,分析确定长大纵坡沥青路面层间工作状态,对层间材料性能、沥青路面水平推移及竖向永久变形、抗车辙技术和长大纵坡沥青路面设计方法等方面进行了深入研究。

1. 长大纵坡沥青路面病害调查分析

系统研究了车辙、层间滑移、推移、波浪、拥包等长大纵坡沥青路面病害产生的原因,提出了为预防这些病害应采取的措施;分析长大纵坡沥青路面在不同纵坡度、不同坡长路段车辙病害的特点,找到产生车辙病害的原因;提出长大纵坡沥青路面层间滑移病害主要是U形裂缝和纵、横向推移变形所致,并对其产生机理进行了分析。

2. 长大纵坡沥青路面力学响应分析及工作状态分级

通过对比分析提出了基于防治长大纵坡沥青路面病害的路面结构参数取值原则,系统研究并得到了超载、纵坡、行车速度、转弯半径、超高、纵向切向力系数及温度等不同因素对长大纵坡沥青路面结构应力、推移变形和竖向永久变形的影响规律,确定了各因素作用下长大纵坡沥青路面工作状态,首次提出了基于不同工况因素组合的长大纵坡沥青路面工作状态分级。

3. 透层材料层间性能及评价指标

进行常规透层油和PSP高渗透乳化沥青渗透试验和层间剪切试验,得到了不同透层材料渗透性能变化规律,确定了不同透层材料的最佳洒布量,研究了透层材料在不同类型及养生龄期半刚性基层顶面的渗透性能,提出了透层材料评价方法、指标和技术要求。

4. 下封层材料层间性能及评价指标

通过层间剪切试验确定了下封层材料的最佳洒布量,得到了下封层材料的抗剪性能排序;通过层间剪切疲劳试验对比分析下封层材料的层间剪切抗疲劳性能,得到沥青路面基层面层间的剪切疲劳方程;提出了下封层材料的评价方法、指标和技术要求。

5. 黏层材料层间性能及评价指标

通过层间剪切试验和渗水试验,得到了不同黏层材料的最佳洒布量,研究了不同工况下层间抗剪性能及路用性能变化规律;通过层间剪切疲劳试验对比分析黏层材料的层间剪切抗疲劳性能,得到沥青路面面层间的剪切疲劳方程,提出了黏层材料评价方法、指标和技术要求。

6. 基于不同工况的沥青混合料组合结构抗车辙性能研究

分析沥青路面车辙形成的机理和影响因素,系统进行了常规、高温、变载、变坡及浸水车辙试验,得到了沥青混合料抗车辙性能随温度、荷载、坡度及冻融循环作用的变化规律,得到沥青混合料和沥青混合料结构组合抗车辙性能排序,确定了合理的路面结构组合。



7. 考虑抗剪及层间剪切疲劳的长大纵坡沥青路面设计方法

针对现行公路沥青路面设计方法不适合长大纵坡沥青路面进行分析；计算各工况分级对应最不利组合条件下长大纵坡沥青路面各结构层层间最大剪应力范围，结合有垂直荷载的层间抗剪强度试验结果，推荐了适合于各分级的层间材料；根据不同层间材料的层间剪切疲劳方程，综合考虑各种影响因素，修正确定沥青路面层间抗剪强度结构系数，提出了层间容许剪应力的计算方法，分析确定了沥青混合料面层材料的容许剪应力的计算方法；系统研究了沥青路面面层材料及层间抗剪设计思路，提出了长大纵坡沥青路面结构设计方法，并给出了长大纵坡沥青路面设计步骤及流程图。

第 2 章 长大纵坡沥青路面 病害调查与分析

对不同地区具有代表性的长大纵坡段沥青路面使用状况进行详细调查，重点调查长大纵坡段沥青路面常发生的车辙和滑移等病害形式和病害特征，分析发生病害的原因，以便本书进行长大纵坡沥青路面病害防治技术研究。

2.1 长大纵坡条件下路面病害调查分析

为了进一步研究长大纵坡道路合理的沥青路面结构和材料组成，首先对现有长大纵坡沥青路面的破坏情况进行了详细的调查，结果见表 2.1。

表 2.1 长大纵坡道路路面的破坏情况调查表

路段名称	路 面 结 构	通车日期 /(年,月)	调查日期 /(年,月)	破坏情况
汾阳至离石 高速	4cm 改性 AC-13+6cm 改性 AC-20+ 6cm AC-20+32cm 水泥稳定碎石+20cm 水 泥稳定砂砾或综合稳定土+15cm 天然砂砾 (潮湿)	2005.9	2008.10	车辙严重基本深度大于 10mm,出现坑槽、推移等 病害
京珠高速(粤 境大镇至佛冈段)	4cmAK-16A+6cmAC-20I+6cmAC- 25I+1cm 下封层+20cm 6%水泥稳定碎石+ 36cm 4%水泥稳定碎石	2002.2	2005.12	K229+000~K230+000 (左主)车辙一般,K234+ 400~K235+400(左主车辙) 较严重
莱新高速	4cm SMA-16+5cm AC-20+6cm AC- 25+18cm 水泥稳定碎石+16cm 水泥稳定碎 石+16cm 水泥稳定砂砾或级配碎石	2002.9	2006.12	上坡路段车辙较严重,拥 包、推移等病害严重
漯平高速	4cm AC-16I+6cm AC-20I+7cm AC- 25I+34cm 水泥稳定碎石+18cm 水泥综合稳 定土	2005.12	2006.6	车辙严重
深圳某口岸新 建双向行车桥北 引道工程	7cm AC-20I+7cm AC-30I+30~57cm 水泥稳定石粉基层(采用两层施工,厚度分 别为 15~29cm 和 15~28cm,水泥含量分别 为 6%和 4%)+40cm 级配碎石底基层+ 15cm 厚天然砂砾垫层	2005.2	2007.2	在上下坡转弯处出现相对严 重的车辙
杭金衢高速新 岭隧道口	4cm AK-13+6cm AC-20I+7cm AC- 25I+30~34cm 水泥稳定碎石基层+20cm 水 泥稳定碎石底基层	2002.12	2004	有多处长上坡路段,最大车 辙深度达到 60mm



续表

路段名称	路面结构	通车日期 (年,月)	调查日期 (年,月)	破坏情况
运(城)三 (门峡)高速	4cm AC-13I+5cm AC-20I+6cm AC-25I	2000	2003	车辙沿行车方向延伸逾 10km,平均变形深度达到 50mm,最大的变形深度达 60mm以上
嘉浏高速	SMA-13(改性)+AC-19C(改性)+ AC-25C	2004.9	2007.9	沥青路面存在裂缝、唧浆、 坑槽、沉陷、车辙等病害。其 中主要表现为裂缝、唧浆
110国道昌平 至延庆段	2.5cm 表面处治+7cm 沥青渣油稳定碎石 +20cm 石灰砂砾+15cm 石灰土(1982)+ 20cm 二灰砂砾+5cm 沥青碎石(1986)+5~ 10cm 沥青碎石+5cm 粗粒式沥青混凝土 (1992)		2004.11	裂缝普遍麻面近全长的 50%坑槽最深达15cm,基层 外露车辙深度可达13cm 啃边
昌九高速	30cm 干压级配碎石垫层+20cm 水泥粉煤 灰稳定碎石基层+6cm 沥青碎石下面层+ 4cm 中粒式沥青混凝土上面层		2005	裂缝、壅包、推移、浅度车 辙、泛油等
京沈高速宝坻 至山海关段	SMA 路面结构,沥青面层全部采用 SBS 散装改性沥青	2000	2003	坑槽、翻浆、破损
石黄高速	4cm SAC-16+5cm SAC-20+6cm SAC- 25+18~20cm 水泥稳定碎石+19~20cm 二 灰稳定碎石+20cm 二灰土	2000	2003	该路段的病害形式主要表现 为横缝、纵缝、坑槽、唧浆、 网裂、沉陷等,且主要集中在 行车道和超车道上
石安高速	4cm 多碎石沥青混凝土(SLH-20)+粗粒 式沥青混凝土(LH-30I)+粗粒式沥青混凝 土(LH-35II)		2004	泛油、车辙、变形、裂缝、 坑槽、推移等
唐津高速	—	2003	2007	局部路段车辙超过25mm, 最大车辙为44~45mm。现场 观察:车辙断面轮迹处下陷, 轮迹间隆起,呈W形,是典 型由剪切变形引起的失稳性车 辙,少部分路段由路基沉降 引起
保沧高速	—	2006	2007	出现轻微车辙和拥包现象
保津高速	4cm AC-13F+5cm AC-20C+6cm AC- 20C+两层9cm ATB-25 沥青稳定碎石基层	1999	2008	翻浆、坑槽、严重裂缝、沉 陷、拥包、松散、车辙
京沪高速河 北段	4cm AC-13IAC+5cm AC-20IAC+6cm AC-25IAC+19cm 水泥稳定级配碎石+ 19cm 石灰、粉煤灰稳定碎石+20cm 石灰土	2000	2010	破损严重,车辙病害迅速 发展

分析表 2.1 可以看出:

(1) 大部分的大纵坡路段在通车一段时间后,均会出现较严重的车辙,车辙深度甚至达 60mm。究其原因,从受力分析,主要是由于在大纵坡路段,车辆在上坡时速度低,易使路面承受的切向力增大;下坡时,由于车辆刹车,路面也会受到较大的切向力,这些都



导致沥青路面承受的最大剪应力增加,当其超过沥青混合料的抗剪强度时,就会产生车辙病害。从结合料的角度上分析,车辆上坡时速度缓慢,这样就增大了作用于沥青路面的时间,按照沥青混合料的“时温等效”原理,等效于提高了沥青混合料的瞬时温度,增加了沥青混合料的黏塑性,增加了沥青混合料的塑性变形,再加上重载和高温,因此,大纵坡路段沥青路面比一般路段产生车辙等病害的概率更大。

(2) 改性沥青混合料面层结构的道路产生车辙的严重程度比采用普通沥青混合料面层路面结构的要轻得多,且从上三高速的4次维修效果可看出,要在长时间内缓解车辙问题,应在上、中面层尽量采用抗剪切、耐高温性能较好的改性沥青混合料。如有条件,最好在下面层采用改性沥青混合料。

(3) 很多大纵坡路段在通车一段时间后,均出现了推移、拥包、波浪等层间滑移的病害。究其原因,从受力角度分析主要是在大纵坡路段,车辆在上坡时需要克服重力做功,需要较大的牵引力,这样就使路面承受的较大切向力;下坡时,由于车辆需要刹车制动,也会使路面承受较大的切向力;加之施工时沥青路面结构层间受到污染,未采取有效地层间处治措施,就极易使沥青路面产生滑移破坏,出现推移、拥包、波浪等路面病害。

2.2 车辙病害调查与分析

2.2.1 病害调查

(1) 三门峡至运城高速公路 K17+320~K26+820 为山岭重丘高速公路,弯急、坡陡,路线平均纵坡 4.2%,最大纵坡 4.9%,缓坡 3%,最短坡长为 300m。从表 2.2 可以看出通车运营 5 年来车辙的变化发展情况。

表 2.2 三门峡至运城高速长大纵坡段不同通车年路面车辙病害

序号	桩号	纵坡坡度/坡长/(%/m)	车辙最大值/mm			车辙平均值/mm		
			1 年	3 年	5 年	1 年	3 年	5 年
1	K18+600~K19+050	+3.0/450	15	30	75	11	26	48
2	K19+050~K19+650	+4.8/600	20	35	115	15	30	67
3	K20+850~K21+550	+4.8/700	12	26	40	9	20	32
4	K22+826~K23+426	+4.8/600	11	27	37	8	21	31
5	K24+326~K24+926	+4.9/600	10	31	43	8	24	35
6	K25+226~K25+537	+4.9/311	14	32	76	10	26	46

(2) 山区某高速公路沥青路面车辙的调查统计结果表明,车辙病害比较严重的路段多是大纵坡路段,大部分车辙病害深度超过 10mm,车辙病害路段的纵坡坡度均在 2.5%~5% 范围内。该路地形复杂,沟壑纵横,平均纵坡度较大,加之坡长长,大纵坡段坡长在 600m 左右,所以,长大纵坡是引起车辙病害的重要原因之一,如图 2.1 所示。

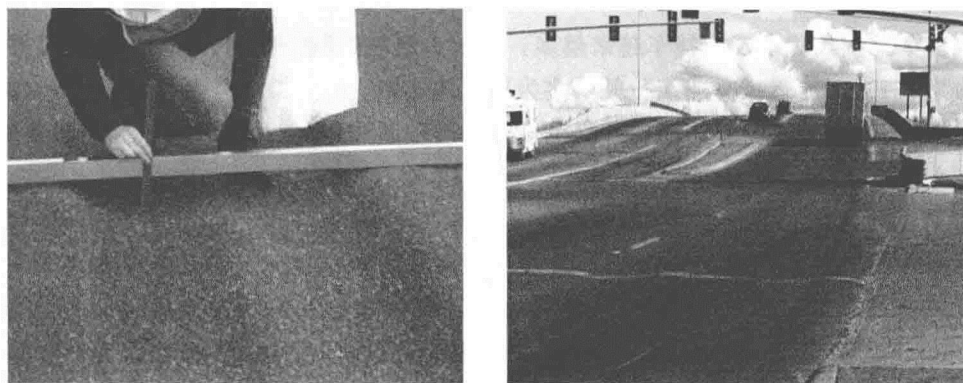


图 2.1 长大纵坡路段车辙调查实测图片

(3) 滨博高速胶王路连接线, 该路路面结构采用 4cm AC-16+6cm AC-25, 调查时, 选取 4 段连续上坡的大坡度路段, 每个调查段长 95m 左右, 每 5m 取一个点, 每 20m 求均值, 车辙深度调查计算结果见表 2.3。

表 2.3

车辙深度调查计算结果

调查桩号	纵坡坡度/%	纵坡坡长/m	平均车辙深度/cm	病害位置
K236+763~K236+668	3.86	505	4.796	纵坡坡底
K236+200~K236+105	2.20	250	3.410	纵坡坡中
K236+800~K236+705	3.80	730	4.154	纵坡坡中
K236+500~K236+405	3.80	730	5.926	纵坡坡顶

分析表 2.3 可知, 在长大纵坡的坡底与坡顶位置附近车辙病害非常严重, 再者, 随纵坡坡度的增加车辙病害越来越严重; 在长大纵坡的上坡路段, 车辆爬坡时需要的牵引力不断增加, 行车速度不断下降, 行车荷载作用于路面的时间一直增加, 导致推移变形量不断增大, 特别是在坡顶位置病害会更严重。

2.2.2 原因分析

行驶在长大纵坡路段沥青路面的重型车辆受纵坡坡度的影响很大, 很难以正常车速上坡, 速度会降低, 作用于沥青面层的时间会增加很多, 导致该路段更易出现车辙; 再者, 行驶在长大纵坡路段的车辆车轮是跳跃式滚动, 这样就会对沥青路面产生水平冲力, 使得车辙病害更易发生。引起长大纵坡路段车辙病害的因素有以下几个。

1. 纵坡坡度

在长大纵坡路段, 载重车辆随路面坡度与坡长的增大车速会明显降低。载重货车在上坡路段的速度一般为 20km/h, 根据感温性材料沥青的时稳等效法则, 如果车辆行驶速度为 100km/h, 车轮对路面的作用时间是 0.02s, 如果车辆以 20km/h 速度行驶时, 则车轮对路面的作用时间就变为 0.1s, 也就是说, 20km/h 速度使沥青路面产生的永久变形相当于以 100km/h 速度 5 遍产生的永久变形。