

“十三五”国家重点图书出版规划项目



上海出版基金项目
Shanghai Publishing Fund

丝绸之路经济带——沙漠地区公路风积沙路基研究与应用

风积沙路基公路建设关键技术与应用

过震文 主 编

张 亮 杨玉泉 副主编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书总结了风积沙路基高速公路建设的关键技术研究情况,主要包括风积沙作为高速公路填料的研究、南疆地区沥青混合料设计方法及指标研究、南疆地产集料与沥青的黏附性研究、南疆地区沥青路面施工工艺及施工质量控制研究、南疆地区高速公路试验检测方法等。这些研究都是结合工程的实际需求,在确保工程进度和质量的前提下依靠全体参建人员的辛勤工作和智慧,经过创造性实践得出的体会。本书收纳了风积沙路基公路建设过程中在料场选择、材料控制、施工机械组合及组织设计等方面的经验,可供从事高速公路科研、设计、检测、监理、教学、培训的读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

风积沙路基公路建设关键技术与应用 / 过震文主编.
—上海:上海科学技术出版社,2017.3

(丝绸之路经济带:沙漠地区公路风积沙路基研究
与应用)

ISBN 978-7-5478-3373-5

I. ①风… II. ①过… III. ①沙漠—地区—风积土—
筑路—研究—新疆 IV. ①U419.91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 289106 号

风积沙路基公路建设关键技术与应用

过震文 主编

上海世纪出版股份有限公司 出版
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行
200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co

印刷

开本 889×1194 1/16 印张 20.25

字数 500 千字

2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-3373-5/U·41

定价: 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,请向工厂联系调换

本书编委会

主 编 过震文

副 主 编 张 亮 杨玉泉

编写人员 李立新 徐振峰 周福忠 柯 欣 葛国华 王 伟 陆 罡
周锡芳 李庆新 关成江 何昌轩 孙建民 李秋申 杨 鹏
赵星亥 冯先周 杨焕科 吴胜红 李胜多 柏 明 刘蒋峰
段德峰 胡厚兰 刘玉超 张 林 李海鹏 刘荣鑫 赵 强
安少娟 康永兴 汪 洋 宋 铃 赵 飞 赵立东 王 飞
李天明 王 明 牛春香 王晓川 田刚刚 马建涛 赵国宁
石 磊 周 宾 常开祥 王善昌 李明洁 曹莉亚 赵星洁
唐银梅 周 平 曾献文 余士伟

2013年9月,国家主席习近平出访中亚提出共建“丝绸之路经济带”的重大倡议得到了国际社会的高度关注。为了落实“一带一路”总体战略部署,加强与相关国家互联互通,促进边疆地区的繁荣与发展,包括新疆在内的我国广大西部地区基础设施建设得到了国家的高度重视,公路、铁路运输快速发展,骨架网络建设取得了系列成果。

然而新疆地区地质情况复杂,气候环境变化大,多沙漠,风积沙分布广泛,高品质筑路材料匮乏。外运筑路材料运距远、造价高,为解决种种矛盾,如何就地取材,趋利避害,同时又能够经济、优质地做好工程建设,使得采用风积沙填筑路基的研究显得尤为必要。

目前系统介绍利用风积沙作为填料填筑高速公路路基工程的出版物较少,本丛书以近年来多项沙漠地区风积沙路基工程研究和实践为基础,从风积沙路基材料性能、设计参数、施工方法和检测手段等方面首次对沙漠地区高速公路风积沙路基工程进行了全面、系统的总结,尤其在风积沙长期使用性能、风积沙易溶盐含量快速测定方法等关键技术的研究和应用方面填补了国内空白。丛书的出版为推广应用风积沙填筑公路路基提供了重要的参考资料。

丛书分为《风积沙公路路基性能研究》《风积沙公路路基设计与施工》以及《风积沙路基公路建设关键技术与应用》三分册。新疆维吾尔自治区交通运输厅原总工李志农同志担纲主编了前两分册,李志农同志是交通运输部专家委员会成员,先后主持和参与了沙漠地区风积沙利用系列课题研究以及多条沙漠地区高速公路的建设管理工作,在风积沙和盐渍土研究与运用方面有较高的造诣。第三分册的主编过震文同志以援疆干部的身份主持了穿越沙漠边缘区和农灌区的S215线三莎高速公路建设项目,他和他的团队在建设期间攻克了一系列在盐渍土和软弱地质条件下大体量采用风积沙填筑路基修筑高速公路的技术难题,总结凝练形成了《风积沙路基公路建设关键技术与应用》一书。

丛书既有先进技术的推广应用,又有施工经验的科学总结,对指导西部沙漠地区公路建设具有较大的意义,也为“丝绸之路经济带”推进重大基础设施建设提供了重要技术依据。

郑健龙

2016年12月

2013年9月和10月,国家主席习近平在出访中亚和东南亚国家期间,先后提出共建“丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”(以下简称“一带一路”)的重大倡议,得到国际社会的高度关注。李克强总理在参加2013年中国-东盟博览会时强调,铺就面向东盟的海上丝绸之路,打造带动腹地发展的战略支点。加快“一带一路”建设,有利于促进沿线各国经济繁荣与区域合作,加强不同文明交流互鉴,促进世界和平发展,是一项造福世界各国人民的伟大事业。

2015年3月,国家发改委、外交部、商务部经国务院授权发布了《推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动》。要求发挥新疆独特的区位优势 and 向西开放重要窗口作用,深化与中亚、南亚、西亚等国家交流合作,形成丝绸之路经济带上重要的交通枢纽、商贸物流和文化科教中心,打造丝绸之路经济带核心区。提出了基础设施互联互通是“一带一路”建设的优先领域。抓住交通基础设施的关键通道、关键节点和重点工程,优先打通缺失路段,畅通瓶颈路段,配套完善道路安全防护设施和交通管理设施设备,提升道路通达水平。

对于新疆而言,通过参与丝绸之路经济带建设,推进一大批交通、能源通道等重大基础设施建设项目,将为新疆区域协调发展带来重大机遇,必将破除新疆区域内经济发展不平衡的难题,实现南北疆协调发展,尤其是带动南疆等少数民族人口集中地区的发展。近年来,新疆投入数百亿元加快国际道路运输通道建设,“十二五”是新疆交通运输发展历史上投资规模最大、增长速度最快、社会效益最好、取得成效最显著的五年。截至2015年底,全疆公路总里程达到17.6万km,较“十一五”末增加2.3万km。高速公路通车里程达到4316km,达到了“十一五”末的5.1倍。普通公路技术状况显著改善,自治区县城、兵团团场通二级公路比例由“十一五”末的45%和20%增加到92%和82%,普通国道二级及以上比重达到50%。15个陆路口岸公路全部实现黑色化,新藏公路等重要国边防公路整治全面完成。农村交通条件显著改善,全疆建制村(连)通硬化路率达到88%,较“十一五”末提高了28个百分点。

“十三五”期间,新疆交通建设计划投资1800亿元以上,建设总里程4万km,通车总里程达到20万km(含兵团),其中高速公路达到5500km、农村公路达到13万km。

综合运输大通道由两种或两种以上运输方式线路组成,承担主要客货运输任务的运输走廊,构成综合交通网的主骨架,是国家“一带一路”战略、全面向西开放的运输大动脉。主要包括以高速公路、国道为主体的干线公路,含客运专线在内的干线铁路,通道内各运输方式功能互补、布局协调,充分体现大运量、高效率、多样性和集约性特征。

(1) 丝绸之路经济带北通道。

(2) 丝绸之路经济带中通道。

(3) 丝绸之路经济带南通道。

(4) 中巴经济走廊通道。

(5) 沿边开发开放战略通道。

新疆地区以及中亚地区多沙漠,公路等基础设施欠发达,阻碍了当地的发展。沿途地质情况复杂,也使得筑造材料运输难度大,一般材料不适应当地环境气候情况等,为解决种种矛盾,如何就地取材,趋利避害,同时又能够经济优质地满足建设要求,就使得风积沙路基的研究尤为必要。

新疆深居亚欧大陆腹地,是地球上距海洋最远的一块陆地,属于典型的大陆性气候特征,昼夜温差和季节变化很大,夏季短而炎热,极端高温时可达 40°C 以上,沥青路面温度可达 60°C ;冬季长而严寒,极端低温时可达 20°C 以下,同一地方冬夏温差可达 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$,昼夜温差达 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。气温变化剧烈,降水稀少,蒸发强烈,气候极为干燥。植被稀疏,人口分布极不均衡,沙漠面积占全国沙漠面积的近60%,境内有40%的土地是不毛之地,42%的荒漠有植被覆盖,但覆盖率很低,北疆地区覆盖率为5%~10%,南疆地区仅为5%左右。该地区特别是沙漠地区的突出特征是地域广阔、人口稀少、交通相对闭塞、经济发展水平较为落后。

结合上述特殊的原材和气候条件,通过国内外资料调研与实际工程调研相结合、室内试验与现场试验相结合、理论分析与数值分析相结合、试验与工程应用相结合等技术手段,作者团队以南疆地区S215高速公路项目为依托,开展了以下关键技术研究:① 风积沙填筑高速公路施工技术;② 砾石土中易溶盐总盐含量测定方法研究;③ 沥青混合料设计方法与技术标准研究;④ 沥青与南疆碎石集料的黏附性试验研究;⑤ Thiopave 沥青混合料温拌改性技术;⑥ 南疆地区沥青路面施工工艺及质量控制研究。

作为国内高等级公路建设史上首条大量使用风积沙填筑的沙漠高速公路,S215三莎高速公路全线80%线路应用风积沙填筑,途经塔克拉玛干沙漠区、盐渍土等复杂地质,是新疆迄今为止投资规模最大的交通工程之一,为沙漠高速公路建设风积沙路基应用的成功实践,成为新疆首条达到六通标准的代建公路,工程历时4年,节约概算近20亿元,是上海对口支援新疆工作项目内容,上海派出的代建指挥部带领全线参建单位经受住了建设环境复杂、管理跨度大、施工环境苦、技术难度高等严峻考验,以管理出效益,发挥代建引领作用,体现“上海”管理特色,以高质量完成了各项建设任务,创出了上海品牌。项目团队把研究、试验、施工和检测过程中积累的大量的试验数据和资料,进行了缜密分析研究,把掌握的先进技术与施工经验进行了整理,为丝绸之路经济带建设连接西部与中亚国家提供可复制可推广重要依据。

本书即是由这些研究成果整理而成,同时也归纳总结了风积沙路基公路建设过程中料场选择、材料控制、施工机械组合和组织设计等方面的成功经验。书中不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

第 1 章 南疆地区道路建设调研	1
1.1 南疆地区路面使用状况调研分析	1
1.1.1 阿和沙漠公路破损调查	1
1.1.2 阿和沙漠公路路面破损调查结果与评价	3
1.1.3 阿和沙漠公路路面结构性能评价	3
1.1.4 阿和沙漠公路路面行驶质量	6
1.1.5 阿和沙漠公路路面安全使用性能调查	7
1.2 南疆地区路用原材料情况调研分析	7
1.2.1 石料质量控制措施调研分析	7
1.2.2 沥青质量控制措施调研分析	23
1.3 高速公路混凝土建设经验	31
1.3.1 加强水泥质量控制的措施	31
1.3.2 对混凝土表面气泡问题的研究和对策	32
1.3.3 关于原材料碱含量问题的对策	36
1.3.4 关于不同标准对钢筋安装和保护层厚度允许误差的比较分析	38
1.4 高速公路路面建设经验	41
1.4.1 封层碎石优化	41
1.4.2 沥青路面施工接缝处理	41
1.4.3 金石改性沥青路面泛黄分析与处理措施	42
1.4.4 桥头路面产生裂缝调查分析与处理措施	43
1.4.5 无核密度仪快速检测沥青路面压实度	44
1.4.6 高精度黏结强度拉拔检测仪检测层间和混合料黏结强度	45
第 2 章 风积沙作为高速公路路基填料的研究	48
2.1 风积沙性能研究	50
2.1.1 矿岩组成	50
2.1.2 化学成分	50
2.1.3 颗粒级配	50
2.1.4 击实特征	51

2.1.5	承载比	52
2.2	风积沙路基设计技术	53
2.2.1	南疆地区自然地理特征	53
2.2.2	风积沙路基设计方案	55
2.3	风积沙路基施工技术	58
2.3.1	施工方案的确定	59
2.3.2	试验参数及碾压工艺的确定	68
2.3.3	洒水方式的确定	74
2.3.4	压实系数的确定	75
2.3.5	施工区段长度的确定	76
2.3.6	检测时间的确定	77
2.3.7	施工总结	78
2.4	风积沙填筑路基施工作业指导意见	78
2.4.1	一般规定	78
2.4.2	施工准备	79
2.4.3	路基压实标准及填料强度要求	80
2.4.4	施工工艺及技术要求	81
第3章	土壤中易溶盐含量测定方法研究	85
3.1	土壤中易溶盐含量测定研究	85
3.1.1	研究背景与必要性	85
3.1.2	研究现状	86
3.1.3	研究内容	89
3.2	实验方案	89
3.2.1	仪器及试剂	89
3.2.2	检测依据	90
3.2.3	实验方案	91
3.3	实验结果与分析	92
3.3.1	土样浸提液制备过程的影响因素控制	92
3.3.2	各影响因素对电导率影响力的重要程度分析	94
3.3.3	分类方法及线性回归模型的建立	107
3.4	方法可行性验证	109
3.4.1	实验耗时比对	109
3.4.2	实验室间比对	110
3.4.3	方法间精准度比较	111
第4章	南疆地区沥青混合料设计方法与技术标准研究	113
4.1	沥青混合料的研究背景和内容	113
4.1.1	研究背景	113

4.1.2	研究内容	115
4.2	不同设计方法下沥青混合料性能对比研究	116
4.2.1	高温稳定性室内试验研究	117
4.2.2	低温抗裂性能试验研究	118
4.2.3	混合料水稳定性性能试验研究	119
4.2.4	力学性能试验研究	121
4.3	南疆地区沥青混合料设计方法优化研究	135
4.3.1	Superpave 配合比设计现状	135
4.3.2	设计级配优化研究	136
4.3.3	室内设计次数优化研究	140
4.3.4	限制区对 Superpave 性能的影响	145
4.3.5	设计空隙率优化研究	149
4.3.6	粉胶比选择优化研究	151
4.4	Thiopave 沥青混合料温拌改性技术	153
4.4.1	Thiopave 沥青改性机理及性能研究	155
4.4.2	Thiopave 改性沥青混合料温拌特性和降温效果	161
4.4.3	Thiopave 改性沥青混合料性能评价	168
4.4.4	Thiopave 改性沥青混凝土施工工艺	188
第 5 章 南疆地产集料与沥青的黏附性试验研究		191
5.1	沥青混合料抗水损害性能研究概况	193
5.1.1	水损害机理分析	193
5.1.2	水敏感性影响因素	195
5.1.3	最不利空隙率范围假设	196
5.2	沥青混合料水稳定性机理分析	197
5.2.1	沥青混合料水稳定性影响因素分析	197
5.2.2	适度老化对混合料水稳定性的改善机理分析	202
5.2.3	消石灰(生石灰)对沥青混合料水稳定性的改善机理分析	203
5.2.4	非材料因素分析	204
5.3	沥青混合料抗水损害性能评价方法的试验研究	207
5.3.1	试验方法的分类	208
5.3.2	评价方法的设计理论	210
5.3.3	国内外主要评价方法的介绍	214
5.4	抗剥落剂与南疆地区石料配伍性研究	216
5.4.1	沥青混合料水稳定性方案的比较	218
5.4.2	针片状颗粒含量对沥青混合料水稳定性的影响	220
5.4.3	不同添加条件对抗剥落效果的影响	221
5.4.4	抗剥落剂选择与应用方案确定	221

第6章 南疆地区沥青路面施工工艺及施工质量控制研究	223
6.1 沥青混合料离析的原因及防治措施研究	224
6.1.1 离析的种类	224
6.1.2 沥青路面离析的测定及判别	225
6.1.3 离析的防治措施	227
6.2 沥青路面压实工艺研究	229
6.2.1 压实的设备类型	229
6.2.2 影响路面压实的因素	231
6.2.3 碾压工艺	233
6.2.4 压实度的检查	237
6.3 沥青路面质量控制的研究	237
6.3.1 设备和施工要求	237
6.3.2 动态质量控制图的应用	238
6.3.3 沥青路面的优质优价	242
6.4 S215线三莎高速公路底基层施工工艺及施工质量控制	249
6.4.1 施工工艺及方法	250
6.4.2 质量保证措施	252
6.4.3 安全保证措施	252
6.4.4 文明施工措施	253
6.4.5 环境保护措施	253
6.5 S215线三莎高速公路路面基层施工工艺及施工质量控制	253
6.5.1 施工准备	253
6.5.2 施工工艺及方法	254
6.5.3 质量保证措施	257
6.5.4 安全保证措施	258
6.5.5 环境保护措施	258
6.6 S215线三莎高速公路路面封层、黏层施工工艺及施工质量控制	259
6.6.1 施工准备	259
6.6.2 施工方案	259
6.6.3 质量控制	260
6.6.4 安全生产及文明施工	261
6.6.5 环保、水保主要措施	262
6.6.6 其他事项	262
6.7 S215线三莎高速公路沥青混凝土面层施工工艺及质量	262
6.7.1 材料	262
6.7.2 沥青混合料技术要求	266
6.7.3 主要工程机械	267
6.7.4 施工工艺	268
6.7.5 试验段铺筑	271

6.7.6 质检项目和频率	272
6.7.7 施工过程质量控制重点环节	274
附录 I 南疆地区高速公路试验检测方法研究	279
附录 II Thiopave 改性沥青混凝土试验段铺筑	298
参考文献	303

第 1 章 南疆地区道路建设调研

1.1 南疆地区路面使用状况调研分析

阿和沙漠公路位于沙漠边缘且在沙漠中穿越,是极具代表性的南疆地区道路,因此专门收集了阿和沙漠公路的路面使用状况,并进行了分析。

1.1.1 阿和沙漠公路破损调查

阿和沙漠公路建成并投入运营后,在交通荷载和环境因素的交互作用下,路面逐渐出现各种损坏现象。破损状况既反映了路面结构的完好程度,又直接影响道路的服务水平,一方面,破损的产生与路面承载能力的下降两者相互推动,造成路面结构寿命呈加速衰减趋势;另一方面,多数破损现象直接对车辆行驶的舒适性和安全性产生不良影响。

阿和沙漠公路的主要破损形式有以下五种:

1) 横向裂缝(图 1-1) 阿和沙漠公路路面的横向裂缝很普遍,基本遍布全路段,其中近一半的横向裂缝都贯通了路面结构,有的延展到路中与纵向裂缝交汇后在交汇处形成局部的网裂。尤其在 K34、K408 等路段横向开裂比较多。

根据横向裂缝调查结果,贯穿面层表面的横向裂缝的间距最小的为 6 m,最大的有 30 m,大部分的横向裂缝等间距分布在 10~20 m,由此可以判断横向裂缝主要是沥青面层的温缩裂缝,造成温缩裂缝的原因和沙漠公路温差较大有关。另外,由于在施工时透层油洒布不规范,也有可能加剧了温缩裂缝的生成。

2) 纵向裂缝(图 1-2) 阿和沙漠公路上的纵向裂缝主要有两种形式:一种是通行车辆在行驶过程中轮胎爆裂后得不到及时维修,导致轮毂侧沿直接剪切破坏路面产生的纵向开裂;另一种是由于疲劳破坏产生的开裂。在路表很容易判断区分这两种不同类型的纵向裂缝,由轮毂压裂的裂缝特点是长且直,最长的纵向裂缝长度可达数十千米,在路面表面有明显的轮毂印迹。

由于阿和沙漠公路上的车辆行驶速度高,加上公路所处的地区年平均气温较高,因此车辆在高速



图 1-1 阿和沙漠公路横向裂缝

行驶过程中极易爆胎,爆胎后驾驶员难以觉察,导致轮毂继续碾压路面,当然也可能是阿和沙漠公路沿线无修车点,在屡次爆胎后,无法进行维修处理,只得继续行驶,从而造成沙漠公路全线普遍产生了路表轧断型纵向裂缝。这种裂缝有的已经贯通沥青面层,有的尚未贯通,但在不利季节,比如气温突然下降或冬季时,裂缝会进一步发展,最终贯通沥青面层。

在所见的疲劳裂缝中,还有一部分可能是基层施工过程中缺陷造成整体承载能力不足,而引起荷载型裂缝。当然因为施工期间采用半幅施工,施工缝也可能加剧了纵向裂缝的生成,导致路面表面形成纵裂。

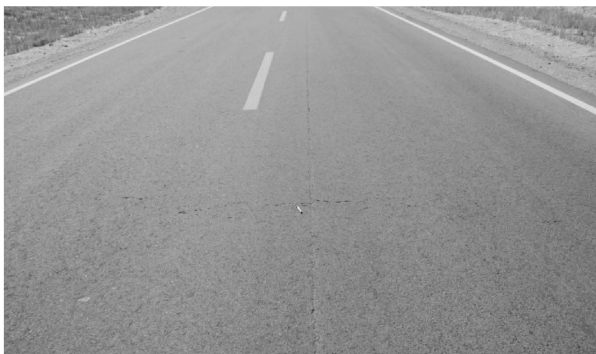


图 1-2 阿和沙漠公路纵向裂缝

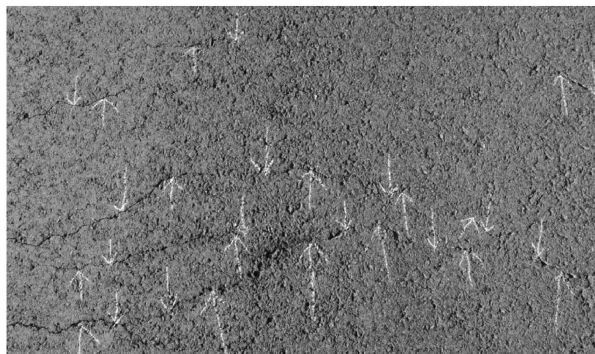


图 1-3 阿和沙漠公路网裂

3) 网裂(图 1-3) 阿和沙漠公路上的网裂有两种形式:一种是由于路面结构强度不足引起的局部网裂,这种网裂较破损,还有一定的沉陷,可以判断为荷载型网裂;另一种是在纵向裂缝和横向裂缝交汇处出现的网裂,这种网裂比较普遍,而纵向裂缝基本上都是轮毂轧裂的,这种网裂没有沉陷,可以判断不是荷载型网裂,在 K34 段较多。

网裂不完全是荷载作用的结果,有的是温度和荷载两方面共同作用的结果。

4) 局部推移 阿和沙漠公路形成推移的一个主要原因是沥青面层与基层之间黏结不好,这与施工中透层油铺洒不均匀有关(图 1-4)。另一个原因是路基含沙量,在重车车辆的水平力作用下产生沥青面层的推挤,从而产生拥包,这种推移形成典型的纵向月牙形裂缝和变形,这种局部推移多发生在坡道、弯曲线拐弯处或易引起驾驶员频繁制动路段(图 1-5)。阿和沙漠公路的面层设计厚度为 4 cm,沙漠公路上通行的车辆中常常有轴载大的油田特种车辆和荷载较大运输物资的货车,当气温较高时,如果紧急制动,重车车辆轮胎作用于路面的水平力如超过了沥青混凝土的黏结力,就会产生推



图 1-4 阿和沙漠公路路面层间结合状况

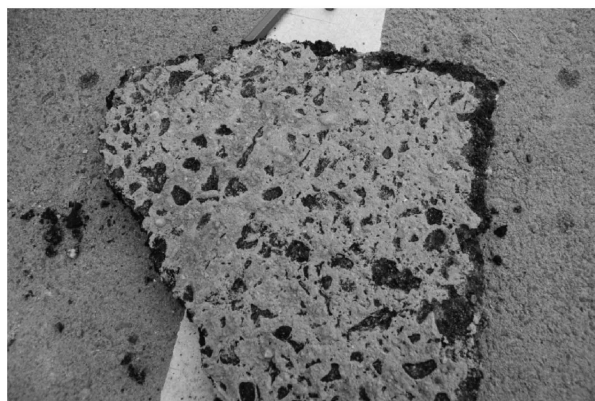


图 1-5 阿和沙漠公路路面推移