

[白俄罗斯]B.A. 韦连科 著
汪福卓 译



路面变形破坏机理 与消除方法

ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ
ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ.
ПРИЧИНЫ И ПУТИ



人民交通出版社
China Communications Press

Lumian Bianxing Pohuai Jili yu Xiaochu Fangfa
路面变形破坏机理与消除方法

[白俄罗斯] B. A. 韦连科 著
汪福卓 译

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书介绍了以有机胶结料为基础的路面变形破坏的分类与分级,研究了变形破坏的机理与消除方法,特别阐述了材料在湿时场中,其结构与性能相互关联的理论基础、破损积累的动力学基础以及可靠性理论。书中还进一步阐述了运营阶段,在使用新材料和新工艺的情况下,各种变形破损的原因、评价标准以及解决变形破坏的具体方法。

本书可供公路设计、施工及运营管理的工程技术人员使用,也可供相关专业高等院校师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

路面变形破坏机理与消除方法/[白俄罗斯]B.A.韦连科著;

汪福卓译. —北京:人民交通出版社,2010.3

ISBN 978-7-114-08254-2

I. 路… II. ①韦…②汪… III. ①路面—变形—研究 IV. ①U416.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第036606号

书 名:路面变形破坏机理与消除方法

著 作 者:[白俄罗斯]B.A.韦连科

译 者:汪福卓

责任编辑:刘永超

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:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盛通印刷股份有限公司

开 本:880×1230 1/32

印 张:10.5

字 数:264千

版 次:2010年3月 第1版

印 次:2010年3月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08254-2

印 数:0001~3500册

定 价:38.00元

(如有印刷、装订质量问题,由本社负责调换)

УДК 625.85.04+625.765

评 论 者

В·В·莫兹戈沃伊：工学博士、教授、国立基辅交通大学道路建筑材料与化学教研室主任；**Я·Н·科瓦列夫**：工学博士、白俄罗斯国家技术大学道路建筑与应用教研室教授；**С·Е·克拉夫琴科**：工学副博士、副教授、白俄罗斯公路研究所所长。

В·А·韦连科：《路面变形破坏机理与消除方法》（韦连科著），2008年白俄罗斯明斯克布洛伏卡·彼得百科出版社出版发行。本书共305页。

ISBN 978-985-11-0412-9

本专著介绍了以有机胶结料为基础的路面层变形破坏的分类与分级；研究了变形破坏的机理及消除方法；特别阐述了材料在温时场中，其结构与性能相互关联的理论基础、破损积累的动力学基础以及可靠性的理论基础。路面层中所出现的塑性变形、脆性破坏及腐蚀性变形，这些均与交通荷载及逐年天气、环境气候的综合因素有关。荷载水平的提高与车流量的过快增长，促使变形破损的现状愈加突显。书中还进一步讲述了设计与运营阶段，在使用新材料和应用新工艺的情况下，各种变形破损出现的原因、评价标准、应对交通荷载的影响作用以及解决变形破损的具体采用方法。指出了如何改进路面层结构与铺装路面层所用材料的现状与前景方向。

本书对科技工作者和工程设计机构来说，可供从事公路设计、施工、运营工作的工程师与大学生使用。

©В. А. 韦连科，2008

谨以此书献给为中国公路事业辛勤工作的人们！

中国—白俄罗斯道路建设科研中心
河南省高远公路养护技术有限公司

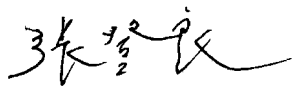
中译本序 Zhongyibenxu

改革开放以来，我国公路建设突飞猛进。截至2009年年底，全国高速公路通车里程已达6.5万多公里，位居世界第二位。

为适应公路建设与养护技术发展，促进我国公路技术国际性交流，高远路业集团汪福卓先生多年来翻译出版了多部公路路面与路面材料方面的著作。2010年新年伊始，汪先生的又一本新的译著《路面变形破坏机理与消除方法》和读者见面了。本书作者夫拉季米尔·阿多利福维奇·韦连科博士是白俄罗斯共和国国立科技大学教授、白俄罗斯共和国著名道路专家，在公路界享有盛誉。

汪福卓先生以其深厚的语言、文字功底和科学严谨的态度，通过数年刻苦努力和辛勤劳动完成了这本著作的翻译工作，使其与中国广大道路工作者见面。

本书对道路建筑材料破坏机理及其恢复技术进行了广泛而深入的剖析。本译著为我国广大道路工作者与道路、机场等专业的大专院校师生、研究生提供了一本宝贵的参考资料与教学读本，这必将对我国道路建设养护事业与国际技术交流起到良好的促进与推动作用。



2010年1月21日

译者的话 Yizhedehua

随着中国与白俄罗斯两国政府间科技合作的进一步发展，两国政府于2006年4月18日在北京签订的《中国与白俄罗斯政府间科技合作委员会第七届例会议定书》至今已经走过了将近4年时光。在此议定书的指导下，中白双方共同成立的“中国—白俄罗斯道路建设科研中心”与河南省高远公路养护技术有限公司所属的“河南省高等级公路养护工程研究中心”的科研人员和白俄罗斯专家共同努力，完成了《河南省沥青路面检测、可靠性评价及养护对策研究》项目。在河南省科学技术厅的组织下，该项目与2009年12月4日通过了专家的鉴定和验收，并最终被鉴定为“总体达到国际先进水平，其中，在基于内损伤检测技术的沥青路面可靠性评价与预测方面的研究达到国际领先水平”。

在此背景下，译者将白俄罗斯筑路专家夫拉季米尔·阿多利福维奇·韦连科教授所著的《路面变形破坏机理与消除方法》俄文版，译成中文并交由人民交通出版社出版发行。

书中阐述了导致路面变形破坏的机理。作者的理念表明，公路是横亘在地表的一条具有易损性的带状结构体，本书以此作为理论基础，深入地探究路面变形破坏中的规律性，科学地阐述公路养护的原则性方法，使公路养护观念在理论上有了新的发展。

作者经多年潜心研究、探讨科学养护公路的实施方案，着重从路面易损程度入手，为业内科技人员提供了宝贵、翔实的国外

实践经验。

由于译者专业学识所限，虽有俄语老师茹连海先生的具体指导，但此书仍历时一年，经数次修改后方才成文。在此过程中，得到了高远路业集团董事长刘廷国先生的大力支持以及许多专业人士的帮扶。值此付梓之日，终于译就而释然。

其间，多次请教白俄罗斯韦连科教授、维塔利博士，在长安大学张登良教授、沙爱民教授的培训课中受益匪浅，并得益于当面指教；也曾在沙庆林院士面前领教，译著中将“车辙”一词改为“辙槽”即出于此，似与规范不符，却也更显形象；参与本书审改的有：长安大学陶家朴教授、张蔚林教授、姚爱林副教授，高远公司岳学军博士、侯曙光博士，全程电子排版、打印、校正由衡明莉女士完成。在此，谨表示由衷的谢意。

书中路面易损性原理，对于公路运营管理人员来说，或可作为理论依据，从而在治理超限工作中持之以恒地执行规范要求。试想，超载几吨甚至几十吨的车辆，其单轴荷载量会对路面造成毁灭性的破坏，一次超载运行抵得上正常行驶车辆的几多万倍。

由于译者水平尚浅，书中如有错误与不妥之处，敬请各位批评斧正。

译者：汪福卓

2010年2月8日于河南新乡

序言 Xuyan

纵横交错的公路网是交通系统的重要组成部分。总的来说，它决定着国民经济、社会和文化的发展。白俄罗斯位于横贯欧洲公路干线中转运交汇的地理位置，其公路网的运营对欧洲经济、社会和文化的发展起到了积极的推动作用。

目前，白俄罗斯公路干线网的改造已基本形成，路网总长度为 70 000 多公里，有铺装面层的国家级公路总长度为 15 400km。无大修路面的平均寿命约为 16 年。这就需要耗用大量的物力财力来应对路面的养护与维修。因此，《路面变形破坏机理与消除方法》这一专著的问世对公路部门是及时的。

专著中介绍了有机胶结料路面层破坏的分类；研究了破损的发生与消除的方法；特别阐述了在温时场中，材料结构与性能间相互关系的理论基础、破损积累的动力学基础和可靠性理论。塑性、脆性、腐蚀性变形与交通荷载及气候因素的综合作用有直接关系，荷载水平与车流量的快速增长愈加促使破损变形现象进一步恶化。书中对设计、运营阶段采用新材料、新工艺的过程中，对各类破损变形产生的原因、评价标准、交通荷载的影响及解决破损变形而采取的方法均分别作了阐述，提出了改进路面面层结构与材料铺装的发展方向。这一切都说明了该著作所具有的现实性。

在白俄罗斯，公路上行驶着各种载重量不同的汽车，它们有

着不同结构的轮胎并承载着不同的轴压。大载重量的汽车轮胎，其内压在 0.45~0.9MPa 之间。从 2000 年起，大多数载重汽车后轴的载重量已达到甚至超过 11.5t。随着汽车载重量的加大，轮胎结构也随之发生变化：轮胎承受的单位压力上升，其内外分布特征发生改变。因此，研究交通荷载的参数对路面变形破坏发展的影响也是本专著非常重要的一项内容。

除了交通荷载参数外，书中主要涉及材料学问题。白俄罗斯最为常见的路面层的类型为沥青混凝土路面。沥青混凝土具有许多优点：能进行薄层摊铺、减振缓冲性能好、易于修复、行驶噪声较低、施工工艺性能好等。不过，和其他任何材料一样，沥青混凝土在可靠性与耐久性方面也存在着不可避免的局限性。

路面层材料的组合成分是由多种原材料构成的，其中包括碎石、砂（天然砂、人工砂）、矿物粉末、胶结材料以及各种添加剂。在各种原材料的基础上，可以选配出几千种能够满足现行标准的级配组合。每种级配都会有自己的优缺点，重要的是要制定好选择方法，选出具有最大使用可靠性的集料级配组合方案，才能显现出较好的效果。

建议使用可靠性理论对可能出现的变形与变形大小进行量的评估。现在已经有了确定结构层材料可靠性水平与储备系数的比例关系。

重要的是要注意到，该书是按统一的原则编写的，对每种变形都刻意地研究了路面材料的特性、交通荷载参数以及路面结构所形成的影响。解决变形的办法分为设计、运营两个阶段，这便于设计人员了解变形发生的深层原因。

本书的实际价值在于，确定了路面层抵抗各类变形的评估及用以查清检测诊断变形的办法；找到了解决变形的现代手段与工艺。

在研究本书资料时，应考虑到该书并非标准规范，不可不加

批判地将所述方法盲目地用于实际，尤其是仅限属于防止出现裂缝、结构破坏改性添加剂的应用、路用沥青质量还有待进一步提高的诸多问题。

总之，该专著的问世无论对科技工作者还是对设计机构的工程技术人员、现场施工人员和管理人员都将会有较大的帮助。

白俄罗斯公路司第一副司长

Г·В·切普措夫

前言 Qianyan

社会经济的发展促使客货运输量在不断地增长。这会导致现代化运输工具的增长力度与单轴承载量的加大，结果致使路面的破损更加明显地呈现在我们面前。从气候因素对路面使用影响的观点来看，由于白俄罗斯处于交通繁忙地区，道路表面状况表现得尤为突出。夏季，路表温度甚至可达到 60°C ，冬季为 -30°C 。穿越 0°C 的频率为 $150\sim 200$ 个循环。总体来说，在交通荷载和气候因素的综合作用下，材料的寿命大大下降，大修提前进行，因此尤其需要提高材料与资金的投入量。

在诸多决定路面，尤其是面层使用可靠性的因素中，交通流量强度的影响作用占据着重要地位。白俄罗斯目前的路面承重量是按单轴荷载 10t 来计算的，而正在运营的沥青混凝土面层荷载量却出现了各种不同的数据。尽管如此，我们仍然没有对运输车辆、轮胎特点、单轴承载量进行过系统地分析。本书在某些章节中对解决上述问题均作了阐述。

白俄罗斯对单轴承载量与运输工具的总重量有着比欧洲其他邻国更加严格的限制。这样，就要求本国和外来运输业者们要么减轻货物总量，要么为超载而受罚，要么发货人只好绕过白俄罗斯的边境线。过高的交通荷载量无形中会使面层，以至整个路面遭受损害，使得面层的变形速度加快，特别是辙槽的形成尤为突出。总之，会迫使路面破损增多、状况不良。据此，必须在当前

市场上采用提高白俄罗斯许可的单轴承载量的方法，以利于保持运输企业和汽车制造业持续竞争能力的同时，使路面各层能够保持完好状态，并与提高公路交通运输能力保持平衡。为达此目标，必须收集、研究与沥青混凝土路面各层相关的检测数据，确定当前交通荷载对路面各层的作用状况，以便能够预先检测、收集并确定出塑性变形积累过程中的一些基本因素。

除交通荷载评价标准及参数外，这里还存在着一些有关材料性能的难题。白俄罗斯分布最常见的道路类型是沥青混凝土路面。沥青混凝土具有许多优点：能进行薄层摊铺、减振缓冲性能好、铺装面层易修复、车辆行驶噪声低、工艺性能好。然而，正如其他任何一种材料一样，沥青混凝土在可靠性与耐久性上也有其不可逾越的临界参数。例如，50℃时的路面最大抗剪切强度不超过 0.3~0.4MPa。而满负荷时，某些制动区段的剪切强度甚至能达到 2MPa。路面疲劳耐久性周期约为 10^6 次循环，相当于仅能使用 4~6 年。这就意味着路面结构会过早地出现裂缝、形变等破损而失去使用价值，否则就要加大路面厚度，这也同时加大了材料的消耗量。

路面是由多种材料以不同的集料级配组合形式构成的，其中包含碎石、砂（天然砂、人工砂）、矿物粉末、胶结物质及各种添加剂。在各种原材料的基础上，可以选配出数千种级配组合形式以满足现行标准的要求。不过，每种级配组合成分都有各自的优缺点。因此，重要的是要研究、找出一种选择级配组合形式的方法，使我们能方便地选择出在使用上具有最高可靠性的级配组合方案。

本专著中介绍了有机胶结料路面出现破损变形的分类、分级，研究了产生破损变形的原因及其相应的解决途径。路面各层上出现的塑性、脆性与腐蚀性变形所产生的原因均与交通荷载和气候因素的综合作用有关。荷载水平与车流强度的增大都会促使

破损率和变形量上升。本书就采用新材料与新工艺在进行设计、施工与应用阶段，对各种破损变形生成的原因、评价标准、交通荷载的影响作用及消除破损变形的的方法分别作了阐述，并且提出了改进路面结构及铺装路面各层所用材料的发展方向。

书中涉及了在温度及时间范围内，材料的结构和性能间的基本概念、破损积累的动力学构架和可靠性理论。

本书可供科研与设计机构的工作人员使用，也可供从事公路设计、施工的工程师与大学生参考。

作者感谢对本书作出评审的专家和白俄罗斯公路司第一副司长 Г·В·切普措夫提出的宝贵意见与建议。审校本书时，这些意见和建议已部分被采用并将作为该领域进一步研究的资料。

作 者

目 录 Mulu

1 路面结构变形破坏机理	1
1.1 路用复合材料的结构类型与性能间的相互关系	1
1.2 路面材料结构破损累积动力学研究	22
1.3 路面材料与可靠性参数间的相互关系	34
2 路面变形基本概念与分类	42
3 路面塑性变形机理及消除方法	51
3.1 路面塑性变形的类型与分级	51
3.2 材料性能决定塑性变形及评估方法	57
3.3 路面塑性变形稳定性标准	70
3.3.1 面层材料塑性变形稳定性条件	70
3.3.2 塑性变形积累对交通荷载参数的影响	88
3.3.3 路面材料及其结构性能对塑性变形积累的 影响	96
3.4 预防路面塑性变形的基本措施	115
3.4.1 设计阶段对预防塑性变形应采取的措施	115
3.4.2 运营期间消除塑性变形应采取的方法	123
4 路面脆性变形原因及消除方法	131
4.1 路面裂缝的分类与分级	131
4.2 材料易出现脆性变形的特征及评估方法	135
4.3 路面出现裂缝的原因与标准	144

4.3.1	裂缝形成的条件与标准	144
4.3.2	交通荷载对温度和疲劳抗裂的影响	160
4.3.3	路面结构和材料性能对裂缝形成的影响	166
4.4	防止路面脆性变形的基本措施	182
4.4.1	设计阶段出现脆性变形的预防措施	182
4.4.2	运营期间消除脆性变形的的方法	194
5	路面腐蚀变形破坏原因与消除方法	199
5.1	路面腐蚀变形破坏类型与分级	199
5.2	承担腐蚀变形的材料性能	202
5.3	造成腐蚀变形的原因和标准	204
5.3.1	路面材料的腐蚀变形稳定性及抗破坏标准	204
5.3.2	腐蚀变形积累对交通荷载参数的影响	209
5.3.3	路面结构和材料性能对腐蚀变形过程的影响	217
5.4	腐蚀变形的消除方法	227
5.4.1	设计阶段腐蚀变形的消除方法	227
5.4.2	运营阶段腐蚀变形的消除措施	229
6	提高路面材料可靠性和耐久性的方法	243
6.1	提高路面可靠性和耐久性的一般原则	243
6.2	提高路面材料可靠性和耐久性的结构措施	244
6.2.1	路面层与路面整体结构设计的新原则	244
6.2.2	推荐适于白俄罗斯条件路面的有效结构和材料	251
6.3	提高路面材料可靠性和耐久性的材料学措施	259
6.3.1	提高路面材料质量的基本方法	259
6.3.2	新型高性能材料的使用与施工工艺	270
结论.....		296
参考文献.....		301

1 路面结构变形破坏机理

1.1 路用复合材料的结构类型与性能间的相互关系

路面材料是由多种材料配制而成的,即同类性质的矿物骨料为主架结构,与另一类具有黏结性能的材料充填于其中形成介质、且以各自不同的特性构成的复合体。结构是指,组成这种复合材料的各个元素所处位置被固定后形成的状态。根据文献 [1],结构是能保持自身完整与性能不变的一种稳定结合体,也就是说,在受到各种内外变化力的作用时,它仍能保持其基本特性不变。就沥青混凝土及类似沥青混凝土材料而言,此定义需要有更准确的说明。根据文献 [2],结构的特性取决于矿物颗粒的大小、分布状态以及它们所处的相互位置、沥青在混凝土中的分布特点和矿物颗粒表面裹覆沥青膜的性状;材料的空隙率及在矿物颗粒间的分布、形成结构的封闭性空隙与相通空隙的对比关系等。

简单地说,沥青混凝土结构中各种各样的材料都有着各自不同的表现形式,大体上可将材料的组合结构划分为三种类型(图 1-1)。

碎石构成了起骨架作用的粗结构;矿粉糅合在沥青中形成了细结构;砂填充于其中称为中结构。这三种不同结构混合在一起就组成沥青混凝土。

看来,对沥青混凝土的力学性能、流变性能和强度性能所产生的主要影响不仅在于结构,而且还有将结构中的单独成分相互制约而结合在一起的结构黏结特性。目前,Π·A 列宾杰尔的关系分类已得到认同,按此分类可划分为以下三种:

(1) 由流体膜建立的凝聚状结构关系,其强度由表面张力来