

山东半岛公路 生态建设和修复工程 技术及实践

左志武 洪波 于格 冯美军 杨杰军 等 编著



中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

ENGINEERING TECHNIQUES AND PRACTICES
OF BIOLOGICAL CONSTRUCTION AND RESTORATION
OF HIGHWAYS IN SHANDONG PENINSULA



山东半岛公路生态建设和修复工程技术及实践

编 著 左志武 洪 波 于 格 冯美军 杨杰军
参 编 孙 伟 陈修林 孙钟野 朱世峰 翟耐刚
姚 林 邹宝叶 左建伟 田冬军 董 滨
刘 伟 马奎保 魏 强 贺 亮 廖 琪
统 稿 洪 波

中国海洋大学出版社

· 青 岛 ·

内容提要

本书依托编者近年来承担的公路生态环境保护研究课题成果以及相关工程实践经验,全面阐述了公路建设及运营对路域环境、生态系统的影响,系统介绍了恢复生态学等理论基础和道路生态学研究进展,及其在生态工程技术领域、生态型公路建设中的应用。根据我国目前公路生态建设和恢复现状,详细介绍了土壤重建技术和植被建植技术,并为生态恢复工程的后期养护提供了相关保障措施。针对公路生态环境保护形势发展需求,论述了公路生态环境保护管理及生态恢复工程评价方法。同时结合荣乌高速烟威段生态建设和修复试点工程,给出了具体、实用的技术对策及设计方案。

本书基础理论与技术应用、工程实例及技术发展紧密联系,希望能够对从事公路生态恢复技术的研究、开发以及工程设计、施工建设和管理养护等人员,在理论认知与工程技术的结合上提供参考借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

山东半岛公路生态建设和修复工程技术及实践 / 左志武等编著. —青岛: 中国海洋大学出版社, 2015.9
ISBN 978-7-5670-1011-6

I.①山… II.①左… III.①山东半岛—公路—生态环境建设 ②山东半岛—公路养护 IV.①U418

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第232582号

山东半岛公路生态建设和修复工程技术及实践

出版发行 中国海洋大学出版社
社 址 青岛市香港东路23号 邮政编码 266071
网 址 <http://www.ouc-press.com>
出 版 人 杨立敏
责任编辑 孙宇菲
电 话 0532-85902349
电子信箱 1193406329@qq.com
印 制 青岛正商印刷有限公司
版 次 2017年2月第1版
印 次 2017年2月第1次印刷
成品尺寸 185 mm × 260 mm
印 张 22.5
字 数 471千
印 数 1~1000
定 价 65.00元
订购电话 0532-82032573(传真)

发现印装质量问题,请致电18661627679,由印刷厂负责调换。

前 言

2012年1月，交通运输部发布《公路水路交通运输环境保护“十二五”发展规划》，提出了“十二五”期间公路水路交通运输环境保护工作的指导思想和原则，明确了全面体现“绿色发展”理念，进一步加大行业环境保护的监管力度、建设力度，实现环境污染得到有效控制、资源集约利用与生态保护取得实质性突破的发展目标。并根据“早期建设的部分工程缺少环保设施和生态保护措施，对生态环境造成一定影响且至今仍未恢复，新建工程生态保护水平依然较低，生态保护和修复技术的针对性和有效性尚且不足”的现状，将进一步控制污染、强化生态保护与建设列入发展重点，并将公路生态保护和污染治理作为“十二五”期间的主要任务之一。正是在此背景下，贯穿山东半岛的荣乌高速烟威段的生态建设和修复试点工程随之启动。

山东半岛濒临渤海和黄海，地理区位优势明显，生态环境相对优越，半岛城市群聚集了山东省主要资源和先进生产力，是该省发展水平最高、潜力最大、活力最强的经济区域，也是我国重要的对外开放基地。近年来，山东半岛公路建设按照一体化构想优化区域路网，构建以“一连两环六纵七横”为路网主框架、普通国省道为补充、农村公路为基础的“布局合理、结构优化、衔接顺畅、功能完善、安全畅通、四通八达”的大路网体系，不断提高对地方经济社会发展的支撑保障能力。

荣乌高速烟威段位于荣乌高速公路（G18）的东段，全长49.184千米，是1994年建成通车的全封闭、全立交、四车道的高速公路。烟威段连接烟台和威海两座重要的经济、旅游、文化和生态强市，是山东半岛高等级公路网的主干交通要道。随着山东沿海城市经济的快速发展和山东半岛蓝色经济区建设上升为国家战略，此段交通量迅速增长，已经成为山东半岛各地市之间的重要纽带。荣乌高速烟威段濒临山东半岛北部黄海，并穿越沿海防护林自然保护区以及滨海湿地、河口湿地等重要生态敏感区。全线共有6处收费站，4座互通立交，4座跨线桥，5座跨河大桥，所处地理位置优越，自然生态环境独特，区域社会功能重要，路域具有良好的自然资源条件和生态景观服务



价值。经过多年系统规划和逐步建设,烟威段路域生态系统的结构及功能不断完善,生态平衡趋于稳定,路域生态景观质量逐年提升。但是,因受初建时期设计理念、经济技术水平和环境条件的制约,应有的环境保护措施不足、系统性生态保护与恢复水平薄弱等问题一直存在,特别是近年部分区域生态功能有所退化,一些重点路段和重要生态功能区域已出现通过自然演替难以迅速解决的突出问题。

在山东省交通厅公路局的组织领导下,建设单位(山东马龙高速公路有限公司)针对未来基础设施和运输装备的存量和增量都将继续走高的态势,以及山东半岛“蓝色经济区”“黄河三角洲高效生态发展战略”和烟台威海两市生态城市建设的新要求,提出对荣乌高速烟威段部分路段进行强化性生态建设和修复计划,以进一步提升路域生态环境水平和质量。2012年9月,交通运输部批复同意实施荣乌高速烟威段生态建设和修复试点工程。随后,项目建设单位以“生态、环保、低碳、安全”为理念,以优化路域生态环境、促进全线与周边生态功能区的融合为重点,统筹规划、精心组织,在2013年先后实施了以路堑边坡生态恢复、路侧裸地生态建设、受损湿地生态系统修复及穿越沿海防护林路段生态恢复为主要内容的工程建设。后经两年多的持续养护,工程项目全部内容顺利完成,较好地达到了预期目标和效果。

为了探索山东半岛沿海地区公路生态建设应用技术,以及滨海脆弱、受损生态系统的保护和修复技术,并对相关生态恢复技术的适用性和已有技术成果的可行性、有效性进行验证,努力保障试点示范工程的建设成效,山东省交通厅公路局组织项目建设单位以及中国海洋大学、交通运输部科学研究院有关人员,在项目的前期、施工期和养护期,共同开展了一系列内容、重点不同的研究、试验、监测工作,并对发现的问题及时进行修正、完善以及后期跟踪。本书即是依托荣乌高速烟威段生态建设和修复试点工程,通过基础理论与具体工程实践相结合,在梳理研究内容、整理工程方案、凝练技术成果、总结经验教训基础上编写而成。

全书由上、下篇两部分组成,共分七个章节。第一章以公路生态建设和恢复的视角,较为全面地阐述了公路对“环境与生态”的一系列影响。第二章着眼于公路生态恢复工程技术应用,系统介绍了生态学及恢复生态学理论基础、道路生态学研究进展。第三章论述、分析了公路生态恢复技术的原理及工程应用,并对我国生态型公路建设现状和发展前景进行了综述。第四章详细介绍了作为生态恢复工程重要前提的土壤重建技术和植被建植技术,并从工程实施角度分析比较了不同技术的优势及适应性。第五章根据公路生态建设工程后期养护困难的问题,提出了公路雨水集蓄利用、

污水处理回收利用及边坡植被微灌等配套技术的实施方案。第六章以荣乌高速烟威段生态建设和修复试点工程为例,介绍了路堑边坡生态修复、路侧裸地生态建设、受损湿地生态系统修复及穿越沿海防护林路段生态恢复等内容的设计方案。第七章针对目前国内公路环境管理存在的问题,论述了公路生态环境管理现状和生态恢复工程效果评价方法,首次提出“公路生态环境保护管理”概念,并对其含义进行了初步解析。本书基础理论与技术应用、技术发展、工程实例紧密联系,可望对从事公路生态恢复技术的研究、开发以及工程设计、施工建设和管理养护等人员,在理论认知与工程技术的结合上提供参考借鉴。

本书由山东省交通运输厅公路局、中国海洋大学、山东马龙高速公路有限公司,以及山东省有关地市公路管理局、相关协作单位的研究、技术和管理人员共同编写。在工程研究、项目实施和本书编写过程中,得到了交通运输部科学研究院孔亚平研究员、刘学欣工程师以及山东马龙高速公路有限公司烟台管理处和威海管理处有关人员的大力支持和帮助;徐嘉欣、陈绪营做了部分章节数据资料的整理、校核工作,陈绪营还为相关章节做了大量的图件绘制工作;青岛中源野生态环境工程科技有限公司协助进行了相关的实地试验工作。在此一并表示衷心感谢!本书相关内容参考引用了国内外许多专家学者的专著、论文和行业内专家的技术资料,在此特表诚挚感谢!

目前,我国公路生态恢复技术研究和应用仍处于起步阶段,总体工作的深度、广度和创新力度还有待提升,许多关键问题尚需开展持续、深入的研究。受编者理论水平、实践经验所限,本书不足之处在所难免,而且有些观点和问题尚需进一步探讨,敬请各位读者不吝斧正、赐教,使本书更臻完善,以共同对我国公路生态环境保护事业发展做出应有贡献。

编 者

2016年11月

目 录

上篇 公路生态建设和修复理论基础

第一章 公路对环境生态的综合影响	2
第一节 公路对土壤环境的影响	2
一、公路对水土流失的影响	3
二、公路对土壤性状的影响	4
第二节 公路对空气环境的影响	5
一、公路施工对空气环境的影响	5
二、公路运营期对空气环境的影响	6
三、公路对小气候的影响	7
第三节 公路对水环境的影响	8
一、公路对地表径流的影响	8
二、公路对水环境及水质的影响	9
第四节 公路对植被的影响	10
一、公路对植被的直接影响	10
二、公路对植被的间接影响	11
三、形成裸露边坡	12
第五节 公路对野生动物的影响	12
一、公路的接近效应	12
二、公路的动物致死效应	13
三、公路的阻隔效应	13
四、公路的动物回避效应	13
五、公路对野生动物的间接影响	13



第六节 公路对自然景观的影响	14
一、公路对景观环境的影响	14
二、公路的廊道与分割效应	15
三、公路对景观格局的影响	16
四、公路对环境视觉景观美学价值的影响	16
第七节 公路对自然生态系统的影响	17
一、生态系统的概念	17
二、生态系统的组成	18
三、生态系统的结构与功能	19
四、公路对自然生态系统的影响	20
第八节 公路对水生生态系统(湿地)的影响	23
一、水生生态系统及湿地	23
二、公路对湿地面积的影响	25
三、公路对湿地生态环境的影响	25
四、公路对湿地水环境的影响	26
第二章 生态恢复理论基础及道路生态学	28
第一节 生态学基础	28
一、生态因子理论	29
二、生态位理论	33
三、生态适应性原理	33
四、群落演替理论	34
五、生物多样性原理	35
第二节 恢复生态学基础	36
一、生态恢复的概念及特点	36
二、恢复生态学理论基础	37
三、恢复生态学应用——退化生态系统的恢复与重建	39
第三节 景观生态学基础	41
一、景观生态学基本概念	41
二、景观生态学基本理论	42
三、景观生态学理论应用	45

第四节 湿地生态学基础	46
一、湿地生态系统概述	46
二、湿地生态系统结构组成	48
三、湿地生态系统服务功能	50
第五节 道路生态学及路域生态系统	53
一、道路生态学的形成	54
二、道路生态学的基本概念	56
三、道路生态学的研究内容	57
四、公路路域生态系统	60
第三章 公路生态恢复技术及生态型公路建设	65
第一节 退化生态系统概述	65
一、退化生态系统的概念	65
二、路域退化生态系统的特征	66
第二节 公路生态恢复技术及应用	68
一、公路生态恢复技术的概念	68
二、公路生态恢复技术的类型	69
三、公路生态恢复工程的应用范围及措施	72
第三节 公路生态恢复技术原理及工程实施	73
一、植被恢复过程	73
二、生态恢复技术原理	75
三、设计手法	77
四、公路生态恢复的要求	79
第四节 生态型公路建设与发展	81
一、生态型公路建设背景	81
二、生态型公路概念及内涵	82
三、生态型公路的特征	83
四、生态型公路建设方略	84
五、生态型公路建设要求及措施	87



下篇 公路生态建设和修复技术及工程实践

第四章 土壤重建与植被建植技术	100
第一节 土壤重建技术	100
一、土壤特性及重建要求	101
二、重建土壤的种类	103
三、人工土壤配置及重建类型	106
第二节 植被建植技术	111
一、液压喷播	111
二、客土喷播	121
三、厚层基质喷播	132
四、植被混凝土喷播	140
五、高次团粒喷播	145
第五章 公路雨水集蓄利用与污水处理技术	153
第一节 公路雨水集蓄利用	153
一、公路雨水集蓄利用需求	154
二、公路雨水集蓄利用现状	154
三、公路雨水集蓄利用技术	155
四、公路雨水集蓄利用工程设计	158
第二节 公路污水处理技术	163
一、服务区污水水质特征	163
二、服务区污水排放特点	164
三、服务区污水处理现状	165
四、服务区污水处理方法	166
五、污水处理工艺选择原则及设计要点	171
第三节 公路边坡植被微灌系统	174
一、微灌技术原理及特点	174
二、微灌系统组成	174
三、微灌技术在公路边坡植被灌溉中的应用	176
四、边坡植被微灌系统方案设计	176

第六章 荣乌高速烟威段生态建设与修复试点工程设计	179
第一节 工程区基本情况	179
一、工程背景	179
二、工程概况	180
三、自然概况	182
第二节 设计说明	184
一、设计依据	184
二、设计原则	185
第三节 设计方案及施工技术要求	186
一、路堑边坡生态恢复	186
二、互通立交区生态建设和路侧裸地生态修复	198
三、受损湿地生态系统修复	223
四、穿越沿海防护林路段生态恢复	227
五、收费站污水生态处理	230
第七章 公路生态环境保护管理及生态恢复工程评价	236
第一节 环境管理与生态管理	237
一、环境管理概念及其内容	237
二、生态管理的概念	240
第二节 公路生态环境保护管理	244
一、公路环境管理任务及内容	244
二、公路环境管理存在的问题	248
三、公路生态环境保护管理	248
第三节 公路生态恢复工程效果评价体系的建立	256
一、评价目的及体系目标	257
二、体系建立的原则	258
三、体系指标的确定	259
四、评价指标含义、阈值及考测方法	261
五、评价方法及流程	269
参考文献	273
附 录	285

上 篇

公路生态建设和修复理论基础

第一章 公路对环境生态的综合影响

公路建设属于典型的大规模人造工程，从起初的开山凿岩、削高填低、取土堆填，到路基、桥隧、立交等设施的构筑，最终形成长距离、廊道状的构筑物，所有工程活动无不改变了沿线区域的自然资源、地形地貌、水文植被乃至社会空间等环境状况，并且对自然生态系统造成一定的破坏和产生不同程度的负面影响。另外，公路运营过程中也存在一系列不同种类的环境污染问题。一个时期以来，公路建设与运营对环境的影响日趋突出，且影响范围越来越广，影响类型不断增多，影响机理愈加复杂。

从本质上讲，公路对环境的影响不仅局限于通常所谓“环境影响”的范畴，还涉及更重要的“生态影响”层面，公路建设表现出来的主要环境影响其实是对自然资源的破坏，即通过改变土地资源利用方式而最终影响生态系统平衡、造成生态破坏。故可认为公路建设和运营对沿线环境与周边自然生态系统的影响既有微观性、局地性，也有宏观性、整体性。为此，本章基于公路生态建设和生态恢复的视角，梳理归纳公路对“环境与生态”的一系列影响。

第一节 公路对土壤环境的影响

由于公路建设彻底改变了原有土地的使用方式，从而对地表土壤造成严重的破坏，并由此引起公路建设对土壤环境条件的重大改变，即完全改变了原有土层的层理

和质地特点,致使土壤产生侵蚀、退化和污染的可能性大大增加,同时从物理、生物、化学、水土流失等方面来影响路域生态环境。

一、公路对水土流失的影响

水土流失是指在水力、风力、重力等外营力的作用下,水土资源和土地生产力的破坏和损失,它包括土地表层侵蚀及水的损失,水土流失通常也称为“土壤侵蚀”。这是公路建设造成的最为常见的影响之一。

(一) 水土流失产生的原因

(1) 公路建设中,路基工程将对公路征地范围内的原地面进行填筑或挖方,由于施工造成了地表的破坏,使土表与植被的平衡关系失调,土壤表层裸露,抗蚀能力减弱,原地表的坡度、坡长也被改变,破坏了原有的平衡,降雨时发生水土流失,且在开挖削坡时土质松动,表层岩土的结构变得松散,土体抗侵蚀能力降低,加大了水土流失量。

(2) 公路施工是对原生土壤的强烈扰动,并破坏了原有植被形态,从而减弱了植物茎叶对降雨的截留作用和植物根系对土壤的锚固加筋作用,增强了土壤的侵蚀程度,加之风力、重力、水力等外力的作用,就会使得土壤侵蚀加剧。

(3) 公路建设中产生的大量取土或弃土、弃渣,尤其是弃土、弃渣由于受运输条件的限制,经常被就近倾倒入沟谷、河坎岸坡上,这些松散的岩土空隙大,结构疏松,若不采取有效的措施,就极易产生水土流失;填方路基由沙土、石料堆垫并经分层压实后形成,虽然内部结构密实,但坡面表层结构仍较为松散,易产生片蚀、浅沟蚀等形式的水土流失。

(4) 挖损边坡(如挖方路基产生新的坡面,取土场的边坡等)陡峭,有的近于直立状态,由于边坡坡度大,在雨点打击和冲刷以及风蚀作用下产生水土流失,暴雨时极易产生剧烈水力侵蚀,且在降雨作用下很容易诱发小型崩塌、滑塌、滑坡等,造成严重的土壤侵蚀,侵蚀强度可达极强烈或剧烈等级。

(5) 弃土场一般为土质、土石和混合质,并以堆山或填凹方式堆置,上表面一般比较平整或有一定斜坡。土壤侵蚀形式为片蚀、细沟侵蚀等,侵蚀强度为中度或强度等级;自然形成的松散边坡稳定性差、坡度较陡,故抗蚀性极差,土壤侵蚀形式为面蚀或沟蚀,侵蚀强度为剧烈等级。

(6) 临时占地分布在公路沿线,主要为原料场、生活区、仓库、弃土临时存放地、施工便道等,这些区域破坏原有植被,使当地水土流失加剧。尤其是在山区公路建设过程中,若原料场地及废弃土存放管理不当,容易产生片蚀、浅沟蚀等形式的水



土流失。

（二）水土流失的危害

水土流失的危害主要是造成土壤侵蚀，不同地表结构类型的土壤侵蚀条件有明显差异。路面的坡度很小，渗透率很低，地表坚实不易被侵蚀，主要侵蚀方式为面蚀，具有高产流低产沙的特点。填方坡和路面相连，坡度很大，受路面、坡面汇流的冲刷作用强，若没有植被或其他措施的保护，在降雨较多的地方，坡面沟蚀、重力侵占会占很大比例。挖方坡的情况与填方坡相仿，但是其往往会受到上方自然坡面的水的冲刷作用。弃土弃渣一般是土石混合物，结构松散，渗透性强，受沟蚀作用强。施工营地和便道的土壤被压实，土壤侵蚀强度相对于其他部位来说不大。另外道路的等级不同，水土流失情况也不同。对于路面裸露，边坡很短的公路来说，路面的侵蚀可能占主要部分；而对路面条件很好的公路，边坡的侵蚀更为重要。公路土壤侵蚀必须进行有效治理，否则其过程会逐渐加剧，甚至成为区域径流泥沙的重要来源。

二、公路对土壤性状的影响

土壤是岩石圈表面的疏松表层，是陆生植物生活的基质，由气候、生物、母质、地形、时间和人类活动等要素长期共同作用而形成。土壤是植物生长的重要生态因子，植物的根系与土壤有着极大的接触面，二者之间进行着频繁的物质交换，土壤为植物提供必需的养分和水分。土壤在形成过程中会逐渐发生分异，形成自上而下并有内在联系的土壤剖面层状结构特征。

公路土壤属于工程扰动土壤，它包括机械挖掘所暴露出来的原生土壤的母质、填埋碾压所形成的回填土、绿化所移入的客土以及部分未受工程扰动的原生土壤。由于人工多次无序侵入土体和地下施工翻动，使原有的表土层和腐殖质层遭到破坏，形成了一种独特的土壤类型。

在公路建设期，路基开挖填筑、取土场开挖取土、便道营地碾压、弃土弃渣等施工活动使得植被与土壤同时受到破坏，土壤形态发生重大变化，使原有表土层和腐殖层遭到破坏，成为表土与母质的混合物，土壤层状结构完全丧失。同时，土壤性质发生物理性、化学性和生物性退化，主要表现在以下方面：土壤物理性退化表现为土壤紧实化、粗骨化或黏重化；化学性退化表现为有机质和氮素明显下降，土壤养分贫化；生物性退化是伴随着土壤物理性、化学性退化的产生而产生，并导致土壤微生物和活性酶等出现不同程度的降低。

根据相关研究总结发现，在公路运营期中，土壤环境的变化主要受汽车排放的重金属和有机物等的直接影响和路面径流等的间接影响。汽车排放的化学污染物（重金属、盐、有机物等），机油，滴漏的汽油和被剥蚀的沥青等，会渗入土层并改变土壤理化性质，并在一定程度上降低了公路周边动植物的生境质量。

此外，通过大气的迁移和扩散、水迁移和机械迁移等途径，不同的污染物会对公路周边较大范围内区域造成一定程度的土壤污染，主要表现在土壤理化性质和结构的改变，土壤微生物数量减少，土壤重金属、有毒有害元素含量增加，土壤肥力和保水力降低等。

第二节 公路对空气环境的影响

公路建设过程中，施工、运输活动产生的扬尘、沥青烟以及运营过程中汽车尾气的排放，会对沿线空气环境质量产生一定影响，筑路引起的地表地形改变和建筑材料的大规模使用，还会改变地表热力学性质而使局地小气候发生变化。工程材料及其施工过程排放的烟尘可加剧有害物质的空气污染，以致影响人们的健康和动植物的正常生长。汽车排放的烟气含有多种成分的污染物，且具有排放部位低、不易扩散、污染状态复杂的特点，已成为公路运营期影响路域空气环境质量的流动污染源。

一、公路施工对空气环境的影响

公路在施工阶段对环境空气的污染主要来自以下环节：一是施工活动中的灰土搅拌、沥青混凝土拌和以及车辆运输产生的扬尘，二是沥青混凝土制备过程及路面沥青铺设产生的沥青烟气。

（一）施工期扬尘

在公路建设项目的施工期，土地平整、打桩作业、路面铺筑、材料运输及装卸、搅拌物料等环节都有扬尘发生，其中最主要的是运输车辆的道路扬尘和施工现场的作业扬尘。

1. 运输车辆道路扬尘

施工区内车辆运输引起的道路扬尘约占场地扬尘总量的50%以上。道路扬尘的起



尘量与运输车辆的车速、载重量、轮胎与地面接触的面积、路面含尘量、相对湿度等因素有关。根据同类项目建设经验,施工期施工区内运输车辆大多行驶在临时性土路便道上,路面含尘量高,道路扬尘比较严重。特别在混凝土工序阶段,灰土运输车引起的扬尘对道路两侧影响更为明显。据有关资料显示,干燥路面在距路边下风向50 m处,TSP的浓度约为 10 mg/m^3 ;距路边下风向150 m处,TSP的浓度约为 5 mg/m^3 。

2. 施工作业扬尘

各种施工扬尘(平整土地、取土、筑路材料装卸、灰土拌和等)中,以灰土拌和所产生的扬尘最为严重。灰土拌和有路拌和站拌两种方式:在采用路拌方式时,扬尘对周围环境空气的影响时间较短,影响程度也较轻,但影响的路线较长;而采用站拌方式时,扬尘影响相对集中,但影响的时间较长,影响程度较重。

(二) 施工期沥青烟气

沥青烟气污染主要出现在沥青熬炼、搅拌和路面铺设过程中,其中以沥青熬炼过程中沥青烟气排放量最大。沥青烟气是一种特殊污染物,主要由液态烃类颗粒物和气态烃类衍生物组成,是含有大量PAHs和少量氧、硫、氮等原子的复杂混合物,通常以气溶胶的形式存在于空气中。沥青烟气中主要的有毒有害成分是吡啶类、吡啶类、蒽萘类、酚类和苯并芘类,它们均对人体健康有强烈危害性。据有关资料记载,沥青铺筑路面时所排放的烟气污染物影响距离为下风向100 m左右。

二、公路运营期对空气环境的影响

在公路运营期,空气污染的主要来源为机动车排放的尾气和汽油的自然挥发。机动车尾气目前是我国大气复合污染的重要来源之一,其成分复杂,既包括 NO_x 、 VOC_s 、 CO 、 CO_2 、 SO_2 等气态污染物,又包括 $\text{PM}_{2.5}$,甚至纳米粒子在内的颗粒态污染物。其中, NO_x 是 $\text{PM}_{2.5}$ 的主要前体物之一,其在气候变化以及酸雨的形成、雾霾的形成中有重要作用。据报道,通过对我国不同地区的空气污染物监测,发现空气中65%~80%的一氧化碳,50%~60%的二氧化氮,80%~90%的铅是由汽车排放造成的。随着我国公路建设规模和车辆保有量的增加,这些污染物的排放量亦呈现上升趋势。

近年来,根据相关研究发现,公路运输产生的氮氧化物对大气的污染不容忽视,氮氧化物在阳光的作用下,与碳氢化合物结合(包括挥发性有机化合物)后,可形成光化学烟雾。光化学烟雾会危害人体健康,同时也会影响各种农作物和林木的生长,并使某些植物群落和自然生态系统退化。