



公路路域科学系列丛书

公路路域生态工程技术

ECOLOGICAL ENGINEERING
TECHNOLOGY OF ROAD REGION

沈 毅 晏晓林 编著



人民交通出版社
China Communications Press



公路路域科学系列丛书

公路路域生态工程技术

ECOLOGICAL ENGINEERING
TECHNOLOGY OF ROAD REGION

沈 毅 晏晓林 编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书是公路路域科学系列丛书之一,以交通运输部西部交通建设科技项目“公路路域生态工程技术研究”课题为依托,全书共分九章。第一章介绍了公路路域生态工程实施范围和国内外公路路域生态工程技术发展概况;第二章介绍了公路路域生态工程技术研究的主要内容;第三章至第八章具体阐述了:边坡与中央分隔带生态设计研究、边坡和中央分隔带植被建植技术研究、乡土植物筛选研究、边坡综合防护技术研究、公路水土流失规律及水土保持技术研究和公路路域生态工程效果评估研究;第九章介绍了典型公路路域生态工程案例。本书将科研与具体工程实践紧密结合,具有较强的实用性,对其他开发建设工程的生态环境保护有一定借鉴作用。

本书可供公路、铁路及相关工程建设行业从事生态环境保护研究、设计和施工等人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路路域生态工程技术/沈毅,晏晓林编著.-北京:
人民交通出版社,2009.3

ISBN 978-7-114-07546-9

I.公... II.①沈...②晏... III.公路—路侧地带—
—生态环境—研究 IV.U418.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第004654号

书 名:公路路域生态工程技术
著 作 者:沈 毅 晏晓林
责任编辑:韩亚楠
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, 85285656
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:北京鑫正大印刷有限公司
开 本:787×960 1/16
印 张:16.75
字 数:256千
版 次:2009年3月第1版
印 次:2009年3月第1次印刷
书 号:ISBN 978-7-114-07546-9
印 数:0001-3000册
定 价:42.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

交通运输是国民经济的基础性、先导性产业。1998年以来,国家加大了对公路建设的投资力度,公路建设进入前所未有的飞速发展时期。“十五”期间,共建成高速公路2.8万公里,超过过去15年的总和;新改建农村公路130万公里,超过过去53年的总和。然而,由于目前我国交通增长方式还比较粗放,资源消耗较多,与环境友好型的发展要求还有一定差距,因此,交通建设要在不断满足我国经济、社会、人民群众生活需要的同时,需充分考虑资源和环境等制约因素,切实保护、合理开发和节约使用各种自然资源。

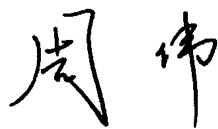
高速公路是国家交通建设中最重要运输动脉,在《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中,明确把交通运输定位为服务业,并作为服务业中优先发展的领域,可以预见交通基础建设特别是高速公路建设的任务依旧会十分艰巨。由此联系到我国正在实施的西部大开发计划,交通建设将进一步向中西部地区特别是西部地区倾斜,然而西部地区生态环境脆弱,水土流失面积的80%在西部,每年新增荒漠化面积的90%以上也在西部,若无法对西部自然生态环境的可持续发展做出缜密的思考,那么越是大规模的公路建设越容易造成对地理景观和生物栖地的分割,更有可能造成对西部自然生态环境不可逆的破坏。

为了不走西方“先破坏,后治理”的老路,国家提出西部地区开发要与生态保护并举的方针,交通环境保护工作已提到了一个十分重要的位置。交通行业自1973年开展行业环境保护工作以来,随着经济发展与时代进步,交通环保在交通可持续发展战略中的地位进一步加强,越来越多的人认识到交通环保不仅关系到交通自身发展,也关系到国民经济和社会的全面进步。交通环保开展20多年来,交通环保理念和环保技术逐渐得到了认可和广泛的应用,道路建设相关的设计准则与考虑的重点也随之转变,从以前以人为中心、以人类获得最大利益为公路建设的出发点,转变到重视自然环境与公路和谐,谋求两者之间的平衡,建设资源节约和环境友好的道路工程。

本书作者沈毅等长期工作在交通环保第一线,从事交通环保科研和推广应用,在

不断总结提高的基础上，他与其他参编人员参阅了大量有关科研文献资料，吸取了国内外交通环保科研方面的新成就，并结合我国西部公路建设中的实践创新，编著了《公路路域生态工程技术》一书。我认为，他们编著此书有着丰富的实践基础和一定的理论依托，难能可贵，值得一读。

本书以公路路域生态工程技术为主线，从国内外公路路域生态工程技术发展回顾、植被群落选择、植被建植技术适用性、乡土植物资源筛选和利用、路域土壤改良技术、边坡和中央分隔带植被建植技术、边坡综合防护技术、公路水土流失规律及水土保持技术、公路路域生态工程效果评估等方面，全面系统地研究了各种公路生态工程技术，为我国公路，特别是西部公路生态建设提供了技术支撑。本书既有对我国交通环保工作者多年实践经验的总结，也有对路域生态工程技术的创新。这些经验和成果的推广，势必会对我国公路生态建设起到积极的借鉴意义和推动作用。当然，科学技术的发展是没有终点的，摆在我国交通环保工作者面前的任务依旧十分艰巨复杂，许多新问题需要我们进一步去发现、去探索、去解决。当代社会经济的可持续发展越来越依靠科学技术的进步，公路路域生态工程作为综合性极强的应用技术也不例外。相信本书的出版，将有益于交通环保战线上的广大工作者，并对促进我国交通又好又快发展，实现公路建设与环境保护之间的双赢发挥应有的作用。



交通运输部公路科学研究所所长

2009年2月1日于北京

《公路路域生态工程技术》编写组名单

主 编：沈 毅 晏晓林

编 委：顾 卫 江 源 李一为 孟 强 王 丹
 杨志峰 戴泉玉 梁爱学 江玉林 陈学平
 王新民

统 稿：沈 毅 晏晓林

前 言

随着我国改革开放事业的进一步深入和西部大开发战略的逐步实施,我国公路交通建设进入了高速发展的快车道。经济要发展,交通基础设施应先行,公路的建设营运对促进西部地区经济又好又快发展无疑起着举足轻重的作用,更是实施西部大开发的重要保障。但同时,公路建设对公路沿线自然环境和生态系统会造成不同程度的负面影响,如生境分割、水土流失加剧、生物多样性降低、植被类型与结构改变、土壤结构与质地改变、大气与水体污染和噪声污染等。公路工程对沿线自然环境的破坏和生态环境的影响范围在路线两侧300m左右,而且一般来说,路线越长,通过地区生态系统越复杂,其影响和破坏的程度就越大。因此,若不实施相应的保护措施,不仅公路行车安全得不到保障,还将对周边地区生态环境带来不利影响,因此路域生态环境的恢复与重建,将成为今后公路工程中不可缺少的重要内容。

植被的恢复与重建是西部公路生态建设最突出的问题,如果西部公路沿线的生态环境能够得到很好的治理,与之相关的水土流失问题、行车环境问题、道路灾害问题等就能基本得到解决。要达到这个目标,就要坚持“科技兴交”战略,把握国内外公路科学技术的发展潮流,开发西部交通建设亟需的边坡保护及植被恢复技术,积极推广应用先进成熟的新材料和新工艺。另外,我国西部地区从西南到西北横跨多个自然带,生态环境十分复杂,只使用某种单一的生态工程技术并不能解决所有西部公路建设中遇到的生态环境问题,究竟哪些生态工程技术可以用于西部公路建设,还需要开发或引进哪些新技术,这些都需要通过对比研究筛选才能搞清。因此,建立适用于西部公路建设的生态工程技术体系,是解决西部公路生态环境问题的当务之急。

本书以交通部西部交通建设科技项目“公路路域生态工程技术”课题为依托,系统分析了目前国内公路建设中存在的主要生态问题,结合西部不同区域、不同路域条件,重点阐述了公路路域生物工程和路域生态工程效果评价等相关技术,提出了适合西部不同生态环境区域的公路路域生态工程技术体系和工程技术指南,并通过示范工程,为西部地区公路环境保护与生态建设的实施提供技术支持。

全书共九个章节，第一章界定了公路路域及其生态工程技术的范围，回顾了国内外公路路域生态工程技术，提出了我国公路路域生态工程技术存在的问题。第二章介绍了公路路域生态工程技术研究的目的、意义、主要研究内容，研究实施方案和主要研究成果。第三章概括了当前生态设计的一些新理念及主要理论，从路域植被群落设计、路域土壤改良和调控技术以及路域植被建植技术适用性等三个方面，论述了边坡与中央分隔带生态设计技术。第四章系统地论述了边坡和中央分隔带植被建植技术。第五章提出了西南区、西北黄土高原及干旱与半干旱区、青藏高原区路域生态恢复适用的乡土植物种。第六章分别论述了边坡防护技术的适用性、边坡灌木化技术、硬岩和软岩边坡综合防护技术。第七章分析了公路边坡水力和风力侵蚀规律以及公路取弃土场水土流失特点，提出了公路建设水土资源管理的综合措施。第八章分析了路域小气候特点及小气候效应、路域土壤改良效果、路域护坡植被恢复效果和路域植被护坡工程表土保护效果，对公路路域生态工程及行车环境景观改善效果和路域植被护坡工程生态效果进行了综合评价。第九章介绍了内蒙古草原区、黄土高原区、青藏高原区和西南区等四个地区典型公路路域生态工程案例。

参加本书编写工作的单位有交通运输部公路科学研究院、北京师范大学资源学院和交通部科学研究院。全书由交通运输部公路科学研究院沈毅教授级高级工程师和晏晓林副研究员主编。其他参加编写工作的人员主要有：顾卫、江源、李一为、孟强、王丹、杨志峰、戴泉玉、梁爱学、江玉林、陈学平、王新民等。

本书的出版得到了交通运输部公路科学研究院、人民交通出版社相关领导的大力支持，同时本书在编写过程中参考了许多专家、学者的理论、研究成果及资料，在此一并表示诚挚的感谢！

由于作者水平有限，疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作 者

2009年1月于北京

目 录

第一章 公路路域生态工程技术概述	1
第一节 公路路域生态工程技术范围界定	1
第二节 国内外公路路域生态工程技术回顾	2
第三节 我国公路路域生态工程技术存在的问题	4
第二章 公路路域生态工程技术研究	7
第一节 公路路域生态工程技术研究的目的和意义	7
第二节 公路路域生态工程技术主要研究内容	8
第三节 公路路域生态工程技术研究实施方案	12
第四节 主要研究成果	12
第三章 边坡与中央分隔带生态设计研究	14
第一节 生态设计新理念及主要理论	14
第二节 路域植被群落设计研究	20
第三节 路域土壤改良和调控技术	37
第四节 路域植被建植技术适用性研究	43
第四章 边坡和中央分隔带植被建植技术研究	52
第一节 边坡植被建植技术	52
第二节 中央分隔带植被建植技术	84
第五章 乡土植物资源筛选研究	92
第一节 西部地区路用乡土植物资源筛选方案	92

第二节 西南区乡土植物资源筛选	93
第三节 西北黄土高原及干旱与半干旱区乡土 植物资源筛选	112
第四节 青藏高原区乡土植物资源筛选	124
第五节 乡土植物资源筛选研究结论	125
第六章 边坡综合防护技术研究	128
第一节 研究方案	128
第二节 边坡防护技术适用性调查	128
第三节 边坡灌木化技术研究	132
第四节 硬岩边坡综合防护技术研究	145
第七章 公路水土流失规律及水土保持技术研究	154
第一节 公路边坡水力侵蚀规律及水土保持技术研究	154
第二节 公路边坡风力侵蚀规律及水土保持技术研究	167
第三节 公路取弃土场水土流失特点及水土保持技术研究	170
第四节 公路水土流失规律与水土保持技术研究小结	173
第五节 公路建设水土资源综合管理措施	174
第八章 公路路域生态工程效果评估研究	178
第一节 路域小气候特征研究	178
第二节 路域土壤改良效果研究	186
第三节 路域护坡植被恢复效果研究	188
第四节 路域植被护坡工程表土保护效果研究	193
第五节 公路路域生态工程对行车环境景观改善效果评价	198
第六节 路域植被护坡工程生态效果综合评价	204
第九章 典型公路路域生态工程案例析	215
第一节 内蒙古草原区公路路域生态工程案例析	215
第二节 黄土高原区公路路域生态工程案例析	224
第三节 青藏高原区公路路域生态工程案例析	231
第四节 西南区公路路域生态工程案例析	246
参考文献	257

第一章

公路路域生态工程技术概述

第一节 公路路域生态工程技术范围界定

一、公路路域的界定

公路路域是指公路永久性征地和临时占地范围内的所有区域，包括公路路基边坡、中央分隔带、取弃土场、互通立交、公路沿线附属设施等。

二、公路路域生态工程技术范围的界定

公路路域生态工程技术是指根据公路建设和养护的特点，遵循系统优化原理和生态学原理，综合运用工程措施、生物措施与农艺措施，在完成公路工程建设的同时，对路域生态环境进行保护、恢复或重建，使公路基础设施作为一种人文景观与周围环境在更大范围内融为一体的工程方法。公路路域生态工程是以路域的植被恢复为核心，以路域生态系统的保护和恢复为目的，以公路景观的美化和与周边自然环境的融合为特色，通过生态技术和土木工程技术的有机结合，使公路路域生态系统得到保护，使公路交通服务功能和交通安全得到保障。



第二节 国内外公路路域生态工程技术回顾

一、发达国家公路路域生态工程技术

生态保护与建设研究是世界各国的热门研究领域。在20世纪50年代,发达国家就开始关注公路建设所造成的影响。到20世纪80年代后期,开始重视公路沿线自然资源的保护和生态系统的恢复,并建立了相应的公路环保法律体系和管理机制。近10年来,人们开始重新审视公路施工过程中对环境影响和破坏,建立了融于公路工程建设过程中的环境保护技术。例如,美国的《地面交通效率方案》(1991年)和《21世纪交通权法案》(1998年)均要求在公路设计、施工和运营过程中充分考虑环境保护问题。在相关的公路工程施工规范中,也明确提出了环境保护的技术措施和施工工艺,这样既有利于《森林法》、《草原法》、《湿地保护法》等自然资源保护法律、法规的贯彻落实,也使施工过程中的生态保护有可能变成施工单位的自觉行动。1992年,在《美国土木工程施工指南》中增加了生物工程技术篇章,从而促进了植物在公路工程中的推广和应用。

1995年以来,美国开发了一批适用性的生态工程技术,强调了乡土植物和野外植物的生态景观功能。为了减少外来物种的入侵,美国交通部规定:凡是在公路生态恢复中,采用乡土植物的项目,将追加相当于工程总额0.05%的补助费用于生态工程建设。日本也将公路边坡的生物防护作为水土流失治理的重点,在客土喷播技术和乡土植物利用方面很有特色,强调生物工程技术与公路工程技术的有机结合。

国际上有关道路防护与加固技术的研究,多年来一直是广大道路工作者关注的热点之一。有的研究已开始将降水对边坡的侵蚀定量化,根据降水侵蚀力系数,土壤固有的侵蚀性参数、地形分类及侵蚀控制参数等计算边坡的平均土壤流失,从而更科学地选择合适的边坡防护措施。日本、美国等国家在相关设计规范中明确了防护设计和公路园林的设计重点、原则和具体措施,如日本《高等级公路设计规范》中用比较大的篇幅对护坡的方法、分类、方案设计,以及公路园林设计的基本原则、不同物种在本地区的适应性作了详细的规定,具有很强的设计指导作用。在边坡防护的系统设计中,国际上特别是发达国家尤为重视植物防护或植物与圬工防护相

结合的方法，以使其同时发挥防护与美化的作用。

在公路路域生态工程技术研发方面，日本做了大量的工作。日本是一个多山的国家，第二次世界大战结束后大部分的国土处于荒芜的状态，加之公路多数修建在山岭之间，绿化国土、保护坡面就成为国土建设的重要组成部分。从20世纪50年代仓田益二郎首次提出“绿化工程”的概念，到20世纪80年代山寺喜成等对绿化工程理论和技术体系的不断发展和提高，大量绿化新技术在工程实践中不断涌现，例如：吹附工法、擁壁工法、筋袋工法、网垫工法、连续纤维工法等。这些新技术不仅具有绿化速度快、坡面保护效果好等特点，还强调了道路与自然的协调、景观与生态的统一。近年来，日本又开发出了厚层基质挂网喷附、水泥混凝土框格喷附和生态水泥喷附等技术，使以往难以解决的高陡岩石边坡的绿化问题也得到解决。

日本在发展绿化工程技术时，并不只是单纯地追求施工技术的改变，而是在施工技术创新的同时，与之相配套的生态技术也在研究中同步发展。例如在大量理论研究和科学实验的基础上，客土技术、人工土壤技术、菌根技术、植被设计技术不断完善和充实，使绿化工程质量得到保证。山寺喜成指出绿化工程要以恢复木本群落为目标，要以播种为主、移栽为辅，要积极使用先锋树种，过厚的客土和移栽会诱发灾害；佐久间护分析了绿化水泥的主要问题和改进方案；笹原则之研究了不同地带所适用的绿化技术；安保昭探讨了坡面绿化的基本原则和存在的问题，这些研究成果对日本绿化技术的发展起到了重要的指导作用。绿化工程技术在日本不断提高进步的原因之一是重视对施工效果的监测和评价。例如喷播技术在施工初期有较快的绿化效果，20世纪80年代曾在日本被广泛使用，但经过后期的监测研究发现，喷播的基质层自身的稳定性有限，在水蚀和风化作用下会逐渐流失，最终难以防治土壤侵蚀，造成坡面裸露。这一研究结论对施工技术的改进起到了促进作用，棉网状植生带技术就是在这种背景条件下产生的。

总之，从当今国外发达国家公路生态环境保护与恢复的先进技术来看，主要有两个类型：一是以美欧为代表的最小破坏型。公路生态工程着重在于“防”，公路建设避免高填深挖，对环境破坏小，生态恢复难度小，景观建设效果好，充足的养护经费使路域生态环境建设质量具有了雄



厚的经济保障。二是以日本为代表最大恢复型。公路建设对环境破坏较大,恢复难度大,边坡生态防护率高,植被建植投资大、建成时间长。

二、我国公路路域生态工程技术

我国的公路路域生态工程技术,经历了从简单到多样、从传统技术到现代技术的发展过程,这种发展变化与公路绿化的模式和公路建设规模直接相关。我国最初的公路绿化模式就是种行道树,绿化技术主要借鉴林业部门的造林技术。随着全国公路网的初步形成,绿化的范围扩展到公路边坡,园林部门的种草和铺草皮技术被引入公路领域,并与植树技术相结合,形成了公路绿化的传统技术模式。高等级公路的建设,促使我国公路路域生态工程技术开始向现代化发展,以机械喷附为代表的新型植被建植技术在国内许多高速公路建设中被尝试应用,绿化范围也从公路普通土质边坡延伸到岩石边坡,从边坡绿化扩展到中央分隔带、互通立交和服务区景观美化,全方位、立体式、多功能、景观生态的设计理念和绿化模式正成为我国公路路域生态建设的指导思想。可以说,具有中国特色的公路路域生态工程技术体系已经初步形成。

第三节 我国公路路域生态工程技术存在的问题

一、针对公路路域生态环境的影响机理及其退化、演变、恢复与重建过程缺乏系统、全面的研究

虽然各行各业的有识之士针对西部大开发对宏观生态环境的影响机制、恢复和重建技术进行了各种各样的研究,但现有的研究成果大多集中在区域性或点状建设工程(如农业开发、水利建设、矿山开采、城镇建设等)的生态环境演化及其恢复重建中,研究对象的生态环境特征要么过于宏观,要么囿于单一。由于公路线路长,跨越多种地形、地貌、气候、水文,生态环境涉及面广、研究难度大,因而直至目前尚没有对公路路域生态环境的影响机理及其退化、演变、恢复与重建过程进行系统、全面的研究。正是由于缺乏路域生态环境退化、演变过程的系统研究成果,导致了现有路域生态系统恢复和重建技术的片面性和盲目性,生态工程技术水平大大落后于国外发达国家,生态工程投资过大,而环境效应低下。

二、各种生态工程技术在公路路域应用的适应性研究不够

目前,公路边坡植被防护的技术多种多样,但大多数措施的采用均存在一定的盲目性,缺乏不同防护措施在不同生态环境区域应用的适用性分析和评价,缺乏边坡防护中生态技术与工程技术的综合系统研究,缺乏系统的防护方案、措施研究和综合设计,由此造成工程防护不当,引发工程病害,影响行车安全。

再者,路域生态恢复工程是在公路施工后期进行,随着通车日期的临近,路域生态工程往往面对工期短、任务重、标准高的问题,这使得传统的道路植物防护措施很难满足现代化公路建设的需要,如何开发、引进、完善新的路域生态工程技术,已成为我国公路建设亟待解决的问题。

三、缺乏对各种单一技术综合应用的集成研究

目前各种生态工程技术在国内一些高速公路建设中已经得到比较广泛地应用,但也存在着许多问题。例如:片面强调机械植草技术,而对与之配套的植被设计问题、客土养分配比问题缺乏系统研究;片面强调短期效果,大量使用进口草种,忽略植物群落的稳定性、自我更新能力;不考虑区域差异、路段差异,盲目使用某种技术,造成工程返工或后期养护困难;不能将扦插、移栽等传统技术与现代技术有机地结合,造成景观单一,水土流失防治效果不理想等等。面对这些实际问题,有必要通过专门的研究对各种技术进行总结、归纳和整合,建立针对不同自然地带的路域生态工程技术体系,并通过示范工程使之进一步完善,并与公路建设更好地结合,增强实用性。

四、对路域生态工程实施后的效果缺乏系统的评价、分析与研究

目前我国公路路域生态工程正处在大发展时期,许多路域生态工程技术方兴未艾,其中不少已应用到实际公路工程当中,并取得了良好的应用和示范效果。如道路边坡防护技术、声屏障技术等。但是如何评价这些生态工程的实施效果,究竟这些生态工程在何种程度上改善了路域和行车环境,目前尚无明确的研究结果。已有研究大都集中于定性评价,而在定量评价方面指标选择都希望面面俱到,导致指标选取过多、数据获取困难,指标叠置性较高;在具体的评价方法方面,目前尚无统一的评价方法,而



且评价过程较为复杂。以上这些问题，导致评价结果不能较好的反映生态工程效果，也不利于实际操作。由于缺少生态效果评估体系，导致验收标准单一，难以有效衡量路域生态工程的生态效果并保证路域生态工程效益的最大发挥。因此，提出适合我国西部公路路域生态工程效果评价的指标体系及评价方法是十分必要和迫切的。

第二章

公路路域生态工程技术研究

第一节 公路路域生态工程技术研究的目的和意义

一、研究目的

通过综合考察和调研把握西部公路生态建设中具有普遍意义的主要技术问题,从坡面保护、生态恢复和后期养护三方面提出解决坡面保护与水土流失防治、植物群落设计与土壤养分供给、植被养护与节水抗旱技术、不同自然地带路域生态工程技术体系与生态恢复效果评价等问题的技术原则、设计标准和施工工艺,并通过典型路段工程展示工艺流程和工程效果,进而提出有关技术参数和施工技术指南,以推动西部公路路域生态建设水平的提高,促进西部公路建设的优化实施。

二、研究意义

如果在公路工程建设的同时,也确定相应的生态建设目标并予以实施,变单一的公路建设工程为复合的公路生态建设工程,则可以收到提高交通工程质量,美化和保护生态环境的双重效果。公路路域生态工程作为实现公路交通、社会经济与生态环境可持续发展目标的战略措施,具有广泛与深刻的内涵。在公路基础设施建设与养护工程中,生态工程不再是作