

## 摘要

本文通过对国内外水土保持研究情况及发展趋势的研究,分析了我国目前水土保持工作中存在的问题。对公路建设项目水土流失与水土保持概念进行了阐述,明确了公路建设项目水土保持方案设计的重要性及基本内容,论述了公路水土流失的类型及机理,在此基础上,论述了高速公路水土流失的成因及危害,为公路水土流失的预测及防治提出理论依据。

为了做好公路水土保持工作,首先要对公路水土流失情况进行深入的调查,并对公路水土流失进行预测,从而为公路水土保持体系的建立和优化提供依据。本论文依据《开发建设项目水土保持方案技术规范》以及公路项目水土保持方案编制的特点,提出了水土保持预测应包含的基本内容及预测方法,并阐述了公路水土保持的一些基本措施,对现有的植被水土保持的有效性研究作了简单介绍,为公路水土保持措施中大量应用生物措施提供有力的依据。以此为基础,对高速公路建设水土保持进行分区,并按划分区域提出了防治措施,为高速公路项目进行水土流失预测及防治提供依据。

论文根据高速公路项目的特点,对高速公路建设水土保持进行分区,将高速公路项目区分成了主体工程区、弃渣场区、临时工程区、取土场区、移民安置和专项改线区五个水土流失防治区,并在水土流失预测结果和初步设计文件的基础上,针对五个水土流失防治区进行了水土保持防治措施设计,将工程措施与植物措施相结合,对主体工程提出的水土保持方案基础上,对取弃土场、施工便道等临时措施提出合理有效的土保持方案。

本论文选题密切结合拟建的丹东至海城高速公路这一大型工程建设项目,针对公路建设项目中水土保持设计的若干问题进行了探讨。通过本论文的研究,一方面分析解决了丹海高速公路水土保持方案设计中的若干问题,另一方面所开展的研究工作也为其它公路工程项目水土保持方案的编制提供了参考依据。

**关键词:** 高速公路; 水土保持; 水土流失; 水土流失预测; 水土流失防治

## Abstract

This paper introduces the soil and water conservation in highway construction in China. After the study of the current technologies and future trend in soil and water conservation, the problems of soil and water conservation in highway construction in China were analyzed. The definition of soil and water conservation was restated, the importance of the basic design was raised, and the type of erosion was analyzed. Finally, the cause of the erosion and its impact is draw, and illustrated the solution of prediction and prevention from the erosion.

To maintain the stability of soil and water in highway construction, a detail investigation is required at very beginning, and then the prediction is made based on the data. Following the ‘The Technical Specification of soil and water conservation in infrastructure projects’ standards, this paper illustrates the basic methodology of prediction and prevention in soil and water erosion. By the utilization of grassing and other plants, it is proved that the biology technology plays as a key element in the soil and water conservation. An expressway always pass through various regions, therefore, a segmentation of erosion prevention is applied to accommodate the different climate in different regions.

According to the particulars of expressway project, a detail soil and water erosion prevention solution is draw for the whole project site which includes the main structures, the temporary structures, the borrow/spoil pits and the new habitat for immigrator. Based on predicting results and besac design , the method for prevention in soil and water erosion is provided for the five areas.

This paper selected Dan–Hai expressway project which located in the northeast China as a case study, the detail method of prevention from the soil and water erosion is discussed. Therefore, this paper provides the solutions for some issues in soil and water conversation in Dan-Hai expressway construction. In conclusion, this paper is a good study on the soil and water conversation in highway construction projects.

**Key words:** Expressway; soil and water conversation; soil and water erosion; the erosion prediction; the erosion prevention.

## 学位论文版权使用授权书

本人完全了解同济大学关于收集、保存、使用学位论文的规定，同意如下各项内容：按照学校要求提交学位论文的印刷本和电子版；学校有权保留学位论文的印刷本和电子版，并采用影印、缩印、扫描、数字化或其它手段保存论文；学校有权提供目录检索以及提供本学位论文全文或者部分的阅览服务；学校有权按有关规定向国家有关部门或者机构送交论文的复印件和电子版；在不以赢利为目的的前提下，学校可以适当复制论文的部分或全部内容用于学术活动。

学位论文作者签名：

2008 年 5 月 24 日

## 同济大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或者没有公开发表的作品的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者签名：

2008 年 5 月 24 日

## 第 1 章 概 述

### 1.1 研究背景及问题的提出

我国是世界上水土流失最严重的国家之一,水土流失已成为我国主要环境问题之一。据建国初期不完全统计,全国水土流失面积达 153 万  $\text{km}^2$ , 约占全国总面积的 1/6[6]。建国 40 多年来,国家先后颁布了《水土保持工作条例》和《中华人民共和国水土保持法》及《中华人民共和国水土保持法实施条例》,各省市也相应颁布了一系列地方性水土保持法规,并投入大量的人力、物力和财力开展全国范围的水土保持工作,截至 1990 年底水土保持综合治理面积已达 53 万  $\text{km}^2$ 。各项水土保持措施在减轻水土流失危害,减少入河入库泥沙,提高农业产量和改善人民生活等方面,取得了显著的成就。然而,由于开垦荒地,毁坏森林,掠夺性开发矿产资源以及高速度发展交通运输、能源、通讯等事业,大面积扰动地面,造成土地破坏和新的水土流失,使水土流失面积有增无减。边治理,边破坏,一方治理,多方破坏的现象屡禁不止。根据水利部第三次遥感普查结果(中华人民共和国水利部,2002),我国现有水土流失面积 356 万  $\text{km}^2$ ,占国土面积的 37.1%。其中,公路建设造成的水资源、土地资源的破坏已经足以令人担忧。

公路作为大规模的基础设施,无疑对促进各地沟通与交流,缓解区域客货运输矛盾,加快区域经济发展速度有极为重要的作用,有效地解决了自然资源、劳动力、生产设施等生产要素相分离的矛盾,为实现共同富裕和可持续发展发挥着重要的作用。但公路建设不可避免地要改变地形地貌、扰乱土壤结构、破坏植被,从而对生态环境产生影响,导致大量的水土流失,而且由于过多的重视发展速度和数量,个别公路的工程设计和施工期被大大地压缩以及施工阶段对环境管理的忽视,以致造成超额破坏生态环境面积、土壤侵蚀等问题。目前,我国公路建设造成的水土流失仍十分严重,主要体现在:一是水土流失面积不断扩大,一方治理,多方破坏,边治理边破坏,先破坏再治理现象十分严重;二是水土流失量不断加大,公路交通建设扰动的土石方动辄几十万立,造成的水土流失量相当惊人;三是水土流失治理成本高,生产建设过程中人为造成的水土流失比自然因素造成的水土流失更难治理,成本更大。

在我国许多地区生态环境非常脆弱的情况下,大规模的公路建设会对周围环境产生强烈的影响,如处理不当将会产生严重的水土流失,诱发一系列不良连锁反映。

有研究表明,高速公路每公里建设占地约  $5.3\text{hm}^2$ ,在平原地区会占用大量的农田,山区会占用林地和草地。建设初期由于公路线形需要根据设计要求在施工过程中需要进行大量路基挖填和土方异地运输,对原地面植被和地貌破坏较大,导致地表裸露,而在短时间内无法用植被方式进行有效覆盖,在重力、水力和风力作用下极易造成水土流失。裸露的公路边坡风速比林地大 15 倍,比草地大 8 倍,风速大,风蚀往往严重,极其不利于水分保持。由于坡度大和土壤渗透性差等原因,边坡土壤对降水截流较小,容易水土流失和不利于植物生长,阳坡或半阳坡坡面侵蚀更为严重,阳坡接受的热能辐射量较大,土壤昼夜温差变化大,干湿交替较剧烈而频繁,物理风化强烈,水分蒸发快,湿度低,不利于林草生长,植被覆盖度低,土壤中植物根系和有机质含量少,团粒结构差,土壤干燥疏松,抗冲蚀性能差,抵抗雨滴溅蚀能力弱,故极易造成土壤侵蚀。据研究表明:林地、草地和裸岩的降雨径流系数分别为 3.0% , 4.0%和 18.0%,裸岩的径流量远大于林地和草地<sup>[2]</sup>,而且裸露的边坡为降水汇流的形成提供特定边界条件和动力来源的同时,也使边坡土壤含水量降低、土质疏松、易风化;其次,阳坡为迎风坡,降雨几乎垂直作用于坡面,击溅力最大,同时风又加速了雨滴的重力加速度,加速了土壤的侵蚀。土壤侵蚀是高速公路建设所造成的最为常见环境影响之一,它起源于同受公路工程干扰的水流和土壤之间的相互作用。当自然条件一旦因公路工程而改变时,土壤侵蚀随之开始,这种侵蚀造成植被消失、山体滑坡、河流淤积、农田污染、土壤贫瘠(图 1.1),在局部地区还会造成气候条件的恶劣化趋势,严重的会造成滑坡、崩塌、泥石流以及高寒地区的雪崩等地质灾害(图 1.2)。



图 1.1 公路建设造成淤塞河道



图 1.2 土壤侵蚀造成公路边坡失稳

随着社会进步和人民物质文化生活水平的提高，以及人们对环境问题越来越清醒的认识，寻求可持续发展已成为全社会共同的目标。2002 年国家颁发了《全国生态环境保护纲要》，进一步强调了“促进自然资源的合理、科学利用，实现自然生态系统良性循环，维护国家生态环境安全，确保国民经济和社会的可持续发展”的战略目标。因此，人们对公路使用功能的多样化和服务水平的要求也发生了观念上的改变，不仅要求公路能够方便、迅达、安全、舒适、清洁，更注重公路的美观、公路与周围生态环境的和谐性，以及公路建设引起的生态可持续性问题。

公路在建设过程中所造成的生态问题，尤其是裸露的边坡靠自然界自身的力量恢复生态平衡常常需要较长时间，而陡峭的岩石边坡往往留下永久的伤痕，几乎无法自然恢复，这就要求我们在公路建设中，树立公路基础设施建设与环

境保护全面协调发展的全新思维方式，以保护生态环境为前提，合理利用生态环境为指导，将一切不利影响减少到最低程度，寻求一条公路建设与生态环境保护协调发展的道路，实现可持续发展。

因此，加强对公路建设区水土保持监督管理，开展公路建设区水土保持的科学研究和技术推广显得十分重要。本论文针对高速公路建设过程中与水土保持相关的若干问题进行探讨，旨在为我国高速公路建设走可持续发展道路服务。

## 1.2 国内外公路建设项目水土保持进展

### 1.2.1 国外研究进展

公路建设是对当地地形的改造，开挖以及填埋等扰动活动，会在原来地貌上形成不同的微地形，它们各有特点，形成不同的侵蚀特征(如图 1.3)。

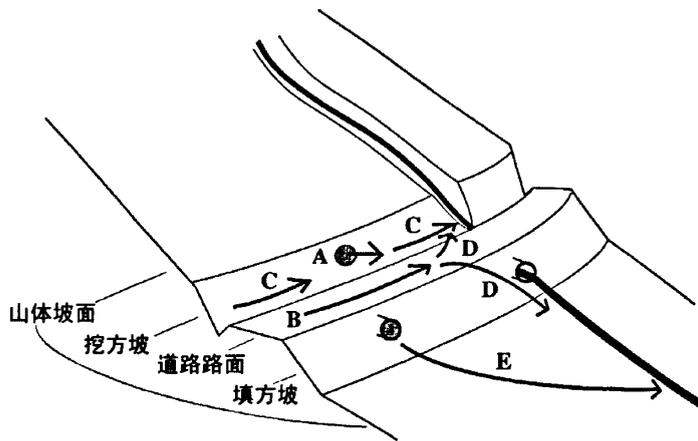


图 1.3 公路不同部位对径流的影响

(A) 截断壤中流；(B) 路面产流；(C) 通过路堑流入河流；(D) 沿路面进入河流；(E) 沿切沟汇入河流；

Arnáez (2004)在西班牙东北部通过人工降雨的方式分析对比了公路填方坡、挖方坡以及路面产流产沙的差异，研究表明公路的挖方坡产流产沙最大，路面其次，填方坡最小(如图 1.4)。

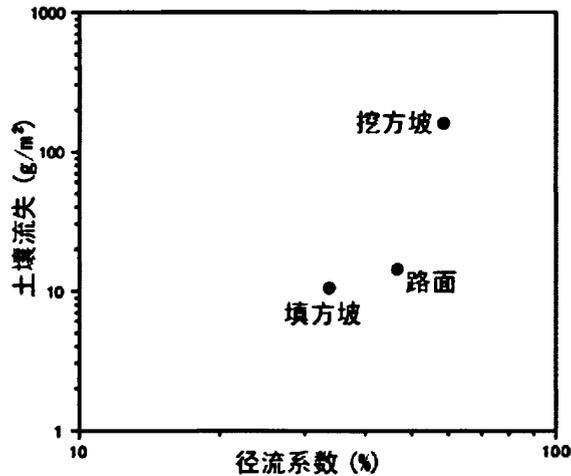


图 1.4 公路不同部位的土壤侵蚀特征

Wemple 等人调查认为，填方坡的重力侵蚀是公路侵蚀泥沙的主要来源<sup>[3]</sup>。Luce 等研究表明未铺路面侵蚀产沙与路段长度和坡度平方的乘积成正比，挖方坡的产沙量与挖方坡高度的关系不明显，而公路的运营和维护对侵蚀产沙有很大影响<sup>[4,5]</sup>。Megahan 在爱达荷州四年的观测表明，坡度、坡向、地表覆盖度，以及降雨侵蚀力是公路路面侵蚀产沙的主要影响因子<sup>[6]</sup>。Batra 和 Gill 对灌木与草本对道路的防护进行了研究，得出纯粹的灌木防护在防止侵蚀的功效上，不如草本植物的防护效果好<sup>[7]</sup>；Nyssen 通过对公路建设对沟蚀危险性的影响研究，指出道路的排水系统会改变径流流动方式，往往在道路的下坡向诱发发沟<sup>[8]</sup>。

随着高速公路建设的发展，国外在公路建设方面的水土保持问题日益受到重视。高速公路建设中的侵蚀控制、陡坡稳定技术、土地覆盖等问题已经成为国际侵蚀控制学会主要探讨的问题之一，高速公路及其建设中的水土保持技术和设计的研究已成为水土保持研究新的发展方向。

国外公路建设项目水土保持起源于土地复垦，是伴随土地复垦而不断发展的。国外土地复垦最早始于德国和美国，进入 70 年代，复垦技术逐步形成了一门多学科、多行业、多部门联合协作的系统工程，许多企业自觉地把土地复垦纳入设计、施工和生产过程中。

美国等发达国家从 20 世纪三、四十年代就意识到了保护路域生态平衡的重要性，开始在公路边坡开展保持水土、恢复生态工作，如 Morrish 和 Harrison 早在 1943 年和 1944 年就进行了公路两侧草皮种值的试验，通过不同播种时间，

不同草种及草种组合的小区试验来探讨建立草皮的方法，并比较不同草皮承受汽车碾压能力。20 世纪 50 年代后，随着公路的大量兴建，交通工程建设对环境的影响越来越受到社会的关注，为此美国制订法律要求新建公路必须进行绿化。机械化施工的喷播技术应运而生，1953 年，Finn 公司首先开发了喷播机。在卡罗利纳州北部，用这种喷播机在公路边坡上进行了种植试验，一年内植物覆盖率达到 100%。

从 20 世纪 60 年代开始，美、德、法等发达国家开始大规模修建公路。喷播技术等绿化新技术在稳定边坡、防止土壤侵蚀和恢复植被等方面得到广泛的应用。日本提出了功能栽植的概念，对于公路绿化起到了重要作用。20 世纪七、八十年代，由于公路植被生态的大量建植，如何管理和养护这些植被成为重要课题，许多人对化学除草剂和生长抑制进行了研究。

国际上有关公路防护与加固技术的研究，多年来一直是广大公路工作者关注的焦点之一。有的研究已开始将水对边坡的侵蚀冲刷定量化。根据降水侵蚀力系数，上固有的侵蚀性参数、地形分类及侵蚀控制参数等计算边坡上的平均流失，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，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均作出了详细的规定，具有很强的设计指导性。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，以期达到同时发挥防护与美化的作用。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（图 1.5）。





图 1.5 日本 1960 年—2000 年公路防护变化工程

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。例如客上技术、人工土壤技术、菌根技术、植被设计技术等在大量科学实验和理论研究的基础上不断充实和完善，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，过厚的客上和移栽会诱发灾害<sup>[9]</sup>；佐久间护分析了绿化水泥的主要问题和改进方案<sup>[10]</sup>；安保昭探讨了坡面绿化的基本原则和存在的问题<sup>[11]</sup>；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，在雨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。

总体来说，国外的研究有以下特点：①西欧和美国由于其地形及经济方面的原因，选线多顺应地形地貌走向，尽量避免高填深挖，所以公路边坡较小、坡度也不大，其土质、气候等环境差异较小，研究主体环境变异小，坡面植被建植难度不大，我们可以在中小边坡的生态防护中借鉴其技术，但在植被恢复中，要根据气候土质的差异注意物种筛选与配置；②引导生态防护先进水平的日本已研究成熟的技术手段主要有：湿式喷播技术、客上喷播技术、绿化网防护等，但其植被的生态恢复研究还不够深入，绿化品种往往较单一，长期以来的绿化偏重于植树，多应用经验模式，而且在日本客上喷播技术成本高，需要较长时间才能达到 90% 的植被覆盖度。③在植被防护理论研究方面，通过对植物

根系的加固作用、抗剪及抗侵蚀作用等建立了较为完善的试验手段和计算模型，对在生态防护下的边坡稳定性计算提供了很大的帮助，但是对植被护坡产生的附加效应—生态效应和景观效应研究的较少。

### 1.2.2 国内研究进展

我国公路水土保持源于公路边坡防护。新中国建立后，公路交通管理部门建立健全了养路机构，各地对所辖路段的路基、路面采取了一系列防护措施，如边坡防护林、护路林、排水渠、护坡工程、过水涵洞等，在滑坡、坍塌防治方面取得了一些成功的经验。但随着改革开放，国家大型公路建设项目纷纷上马，新的水土流失愈演愈烈。严重的水土流失、土地沙漠化等一系列环境问题，引起了有关部门的高度重视。1991 年颁布了《中华人民共和国水土保持法》，1993 年又出台了《中华人民共和国水土保持法实施办法》，之后各省相继颁布相应的地方法规，从中央到地方健全了水土保持监督机构，公路水土保持工作进入了崭新的阶段。1995 年 5 月 30 日水利部发布了《开发建设项目水土保持方案编报审批管理规定》，同年 6 月又发布了《编制开发建设项目水土保持方案资格证书管理办法》，进一步规范和推动了建设项目水土保持工作。公路建设项目水土保持方案的编制，对于公路设计者来说，是一项新的任务，与公路建设相适应的水土保持技术和方法的研究，是公路设计者新的工作方向。

李忠武等对内昆铁路的路堑、原地面、施工便道、施工营地和弃渣的人工模拟降雨试验表明，路堑、弃渣的细沟侵蚀明显，是最重要的泥沙来源，植被和土壤质地是重要影响因子<sup>[12]</sup>；王玉太<sup>[13]</sup>，刘长育<sup>[14]</sup>等人根据实地调查，分析总结了公路建设中水土流失的原因主要是产生于公路施工建设中取土、采石场和弃土弃渣场；李金海通过对 112 国道丰宁段的调查，分析了公路建设中水土流失主要是由于弃土物和公路边坡引起的<sup>[15]</sup>；罗时新通过对山区公路建设中水土流失的分析，指出其原因是人们在山区公路建设管理中对保护植被和保持水土的意识不强、测设不当和施工质量不高所致<sup>[16]</sup>；许晓强<sup>[17]</sup>、刘崇理<sup>[18]</sup>等人针对公路建设水土流失成因及形式，提出应采取挡土墙稳固创面和土体，工程措施与植物措施有机结合固土，植被恢复等水土保持措施进行防治；杨喜田<sup>[19]</sup>等人对高速公路的边坡调查结果表明，高速公路边坡的稳定性随坡度、坡长的增大而减少，随植被覆盖度的增大而加强；张翼<sup>[20]</sup>等人在大量调查研究的基础上，分析了三灵(三门峡至灵宝)高速公路人为水土流失主要为开挖路垫、路基填方，

弃土弃渣、取料等，人为活动造成的土壤流失具有流失强度大、发生历时短、治理要求标准高的特点；李家春等根据公路路肩的水力特点，研究了黄土地区公路路堤边坡冲刷的规律，即黄土路堤的路肩及坡顶侵蚀在路堤边坡侵蚀中最严重<sup>[21]</sup>；蒋德松等在岩质边坡生态防护植被现场进行了抗冲刷试验，通过对试验区草种生长情况的评判，对试验区草种抗冲刷能力进行测试，筛选出适宜广西寨任路边坡防护的草种<sup>[22]</sup>。

我国的公路水土保持技术，经历了从简单到多样、从传统技术到现代技术的发展过程。随着全国公路网的初步形成，水土保持的范围扩展到公路边坡综合防护、便道防治、水环境治理、取弃土场恢复治理以及公路建设直接和间接影响区的综合影响等各个层面。高等级公路的建设，促使我国公路水土保持技术开始向现代化转变，新型的水土保持技术和材料在工程中被利用，水土流失和监测技术得到了很开的发展，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使用，绿化范围也从公路边坡扩展到中央分隔带、互通立交和服务区，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水土保持生态建设的指导思想。在水土保持生态恢复的基本原则方面，很多学者提出了生态恢复应以接近自然景观为原则，以恢复植被、恢复自然景观的生态方式为主。遵循植物自然演替规律，生态效应与景观效应相结合，一方面，恢复建设工程中被损坏的自然生态系统及其生态功能，控制水土流失，保护路基边坡；另一方面，恢复和改善路域的景观环境，绿化美化道路沿线环境，改善道路交通环境，提高环境质量。将植物措施与工程措施有机的结合在一起，优势互补，以达到最佳效果。可以说，具有中国特色的现代化公路水土保持体系已经有了初步的框架结构。目前，国内有关公路建设中的水土保持防治措施研究主要有边坡防治技术、取弃土场生态恢复技术等。

我国最初的公路水土保持就是边坡防护和排水，水土保持技术主要借鉴水利部门和林业部门的防治技术。在 1940 年初，国民党政府交通部西北公路工程局和农林部天水水土保持试验站就首次联合拟定了《合作保土护路计划》，决定 1943 -1945 年间，在天水附近及天水至广元、天水至兰州等路段及沿河公路开展护路种草植树及生物工程防护试验，后由于种种原因，仅在天水附近沿线开展了修谷坊、筑坝及种树种草试验工作。

对于公路边坡综合防护措施的研究方面，我国在 20 世纪 90 年代前，一般采用撒草种、穴播或沟播、铺草皮、片石骨架植草、空心六棱草等护坡方法，

1989 年, 开始在华南地区进行液压喷播试验, 90 年代初在黄土高原首次进行了液压喷播试验研究。1993 年, 我国引进土工材料植草护坡技术, 随后土木工程界与塑料制品厂家合作, 开发研制出了各式各样的土工材料产品, 如三维植被网、土工格栅、土工网、土工格室等, 结合植草技术在公路边坡中陆续获得应用。在 90 年代中期, 交通部科研院首次将喷播技术应用于大规模的生物工程建设。2003 年, 由吉林市长白山药用植物研究所发明的“干根网状护坡法”, 既有圪工防护的优点, 又克服了植物防护的缺点, 施工方便、造价廉、效果好, 为公路坡面防护提供了又一新方法、新思路。

在对于劣质土坡及岩石边坡的植被防护技术, 目前国内研究刚刚起步, 陈振盛<sup>[23]</sup>及黄尊景<sup>[24]</sup>对台湾泥岩边坡采用播种、植苗及植生带等方法来防护。李旭光<sup>[25]</sup>、杜娟<sup>[26]</sup>分别介绍了日本的客土喷播技术和高维团 SF 绿化工法。交通部科学研究院和哈尔滨绿物产有限公司, 从日本引进客土喷附技术, 并在惠河高速公路上进行国产化试点。周颖<sup>[27]</sup>、舒翔<sup>[28]</sup>等, 在学习借鉴日本同类技术的基础上, 开展了以土壤为主要材料, 硅酸盐水泥为粘结剂的喷混植生试验, 取得一定成果。随着技术的不断引进, 最早发现三维植被网不仅有利于植被生长、草根的生长, 还能增强抵抗自然水土流失的能力<sup>[29,30]</sup>, 这种技术可应用于土质坡面、土石坡面, 石质坡面的植被恢复<sup>[31]</sup>, 并提出了技术具体的适用范围与施工工艺<sup>[32]</sup>。同时借鉴了国外的喷播技术, 研制出了适合我国国情的喷播机械、基材和技术<sup>[33,34]</sup>。针对岩石坡面, 张俊云<sup>[35]</sup>提出了喷混植草的防护方法, 即将一种含草种的有机质混合物喷射在岩石坡面上, 来达到既防护坡面又恢复植被目的的坡面处理方法, 2003 年研究的岩石坡面植生基质的 PMS 技术, 在北京五环高速公路红山口岩石坡面防护中应用效果良好。至今, 已有 6 种岩石坡面绿化的方法<sup>[36,37]</sup>。根据我国不同的坡面类型, 已建立了多种综合技术体系, 主要有开沟植草法、三维植被网施工技术、厚层基材喷播技术、土工格室护坡技术、种子袋护坡技术等, 可基本满足我国公路建设中植被恢复的需要。

在公路生态恢复植物筛选方面, 最初是以单一的坡面植草护坡运用最多<sup>[38]</sup>, 在南方地区高速公路坡面植被恢复中, 应用效果较好的草种有野生狗牙根<sup>[39,40]</sup>、弯叶画眉草<sup>[41]</sup>、类芦<sup>[42]</sup>等。1999 年, 云南省地理研究所根据土壤学、生态学和植物生理学的有关原理, 在国内引入了坡面生态工程 (Slope Eco-Engineering, 简称 SEE) 的概念。这些研究成果在高速公路的生态防护的设计、施工与管理起了有益的指导作用<sup>[43]</sup>; 同年, 赵惠萍从水土保持林草措施的概念、作用与分

类基础上,提出公路林草品种的选择<sup>[44]</sup>;2001年,江玉林对我国不同气候带公路坡护常用植物进行了筛选试验,筛选出了我国不同地区的常用植物品种,但总体上看,由于草本植物退化严重,重点已向木本植物发展<sup>[45]</sup>;2002年,苏兴矩、陈善棠对象草在公路中应用进行了研究<sup>[46]</sup>。周德培针对劣质土坡及岩石边坡的植被护坡做了大量调查,发现目前采用的方法护坡效果并不理想<sup>[47]</sup>。随着研究的深入,开始对坡面植草草种的配比与播种量进行研究,为坡面植被恢复确定适宜的种植密度和配置,彭燕发现狗牙根十百喜草混播组合的护坡,可减少土壤侵蚀  $7200 \text{ t/km}^2$ <sup>[48]</sup>。

### 1.3 我国公路水土保持存在的问题

近年来,我国公路水土保持方面已经做了很多的工作,公路水土保持经历了从普通绿化到生态绿化、从单纯的主体工程防护到全方位的防治水土流失的发展过程,与之相对应的工程技术也从传统的水土保持防治技术阶段,发展到公路水土保持综合措施配置体系形成和水土资源综合利用技术阶段。但是公路水土保持作为水土保持的一个分支,一门新兴的跨学科的研究领域,整个体系尚不够成熟和完善,在公路开发建设项目水土保持还存在一些亟待解决的一些问题,主要体现在公路水土保持的监管及公路水土保持技术两个方面。

公路水土保持的监管的问题主要体现在一些参建单位水土保持观念淡漠,存在重经济效益、轻生态保护,重方案申报、轻组织实施现象;有些项目不能有效落实水土保持“三同时”制度,一些地方“边治理、边破坏”情况严重;有些水土保持监管部门监督不到位、服务不规范、甚至行政不作为。

公路水土保持技术的问题一是缺乏水土保持目标体系,缺乏公路建设过程中水土流失规律的基础理论研究,不能依据具体基础理论分析、判断、预测公路沿线水土流失发展状况,制定相应的水土保持综合措施;二是缺乏成熟的边坡综合防护技术,公路边坡防护工程设计、植被恢复设计与施工长期脱节,至今没有比较成熟的边坡综合防护技术,公路生态环境未达到理想效果;三是重视主体工程的水土保持措施,缺乏取弃土场、施工便道等水土保持措施;重视运行阶段的水土保持措施,缺乏施工阶段水土保持措施。取弃土场是公路建设水土保持的敏感点,有必要对其流失机理及防治措施进一步研究,目前对施工运行阶段的水土保持措施已经基本得到重视,但在施工期的保持措施还不够完

善；四是乡土植物的开发利用不足，目前乡土植物为主的草灌混交植被作为南方广大地区的植被重建目标日益得到重视，但乡土植物研发还比较滞后。这导致大量外来草种被采用，植被退化迅速，边坡重新裸露。

#### 1.4 本论文的研究内容、选题依据及技术安排

本论文在对公路将水土保持理论研究总结的基础上，结合拟建的丹海高速公路水土保持方案的编制，针对高速公路建设过程中的若干水土保持问题进行研究。本论文确定研究内容如下：

1. 公路水土流失的类型、机理及危害性研究；
2. 公路水土流失的预测及防治理论研究；

3. 在与本项目相类似的沈大高速公路改扩建工程水土保持设计及相关数据成果基础上，有效地运用类比的方法，针对项目不同区域进行了水土流失预测和分析，为水土保持措施的设计提供了定量依据；

4. 针对丹海高速公路，将该项目划分为五个水土流失防治区，从项目运行期和施工期两个阶段进行较为完善的水土保持防治措施设计，将工程措施与植物措施相结合，对主体工程提出的水土保持方案的基础上，对取弃土场、施工便道等临时措施提出合理有效的水土保持方案。

通过本论文的研究，将对高速公路水土保持方案的编制起到参考作用。同时，本论文立足于减少或减缓公路建设引起的水土流失，总结出适用于辽宁省高速公路建设中水土流失预测的有效方法，提出切合实际、科学合理的水土保持方案，使水土保持方案设计更加便于操作，将有利于恢复和再造生态环境，促进地域经济协调发展，最终实现可持续发展。

## 第2章 公路水土流失的类型、机理及危害

### 2.1 公路建设项目水土流失与水土保持的概念

公路建设项目水土流失是在区域自然地理因素即水土流失类型区的支配和制约下，由于各种自然因素包括气候、地质、地形地貌、土壤植被等的潜在影响，通过人为生产建设活动的诱发、引发、触发作用而产生的一种特殊的水土流失类型，它既具有水土流失的共性，也具有自身的特性。因为公路建设是线性项目，对地面的扰动特点表现为多种多样，因此施工过程中对水资源和土地资源的破坏是多方面的，公路施工过程中要开挖山体、削坡、修隧道、架桥，高处要削低、低地要填高，因此其对土地资源的破坏不仅仅是表层土壤，往往破坏至深层土壤，深者可达几十米，水土流失形式表现为岩石、土壤、固体废弃物的混合搬运。从这一点看，公路建设水土保持和其他一般性的人为水土流失是有区别的。公路建设水土流失应根据其自身的特点确定水土流失防治范围。

水土保持是防治水土流失，保持、改良与合理利用山区、丘陵区 and 风沙区水土资源，维护和提高土地生产力，以利于充分发挥水土资源的经济效益和社会效益，建立良好生态环境的综合性科学技术。而公路建设项目水土保持则是在公路施工过程中公路主体工程、取弃土场、临时工程等范围内预防和治理水土流失的综合性技术。公路建设工程量大，引起的水土流失也较为严重，这不仅影响公路自身的安全运行和周边环境、沿线城镇、村庄、农田及公共设施，而且会影响水土资源和生态环境。公路建设水土保持主要是在工程措施和生物措施等方面把水土保持和公路建设充分考虑进来，处理好局部治理和全线治理、单向治理措施和综合治理措施的关系，相互协调，使施工及运营过程中造成的水土流失减小到最低限度，从而保证工程建设的顺利进行，促进项目区的社会、经济和环境协调统一发展。它涉及公路防护工程、绿化工程、土地复垦、排水工程、固沙工程等多种水土保持技术，是一门与土壤、地质、生态、环保、土地复垦等多学科密切相关的交叉学科。因此公路建设水土保持总体上看是环境恢复和整治问题，它属于公路建设与区域环境保护和水土保持的交叉范畴。

## 2.2 公路建设中的土壤侵蚀发生环境

公路建设的水土流失部位主要是由于开挖路堑和桥涵工程基础、填筑路基、桥涵施工、路面排水系统、路基防护等工程的施工，以及取弃土、采石采砂、修筑施工便道和临时设施等活动过程，人为破坏原地貌平衡后出现大面积的裸露地表，在降雨作用下造成的水土资源破坏和损失。因此，其影响范围包括路基及边坡、弃土场、取料场、临时占地和移民安置区等，施工区域不仅涉及公路本身的占地范围，还包括路基两侧一定范围的区域。

(1) 高深路堑。挖方路基使原坡面发生变化，产生新的坡面，且这些坡面较陡。同时，在开挖削坡时剥离了原有的抗侵蚀能力较强的地表，使表层结构受到扰动，岩土变得松软，土体抗蚀能力降低，且植被遭到破坏，使表土与植被的平衡关系失调，表土层抗蚀能力减弱，土壤侵蚀从天然状态下较为缓慢地自然侵蚀过程在极短的时间内迅速转化为强烈的工程性加速侵蚀。

(2) 路堤边坡。路堤填料沙土、石料等在施工过程中，经过搬运，土体结构被破坏，应将路基夯实到一定程度，才能满足工程要求。但由于施工工艺和技术限制，边坡土体无法夯实，结构松散、粘性差、密度低于该种土质的天然密实度，加之植被尚未形成，在雨水作用下边坡经常出现严重冲刷，发生片蚀、浅沟蚀等侵蚀，大量土石方涌入农田，阻塞道路，同时也影响施工进度。

(3) 取土场。取土场施工过程中，取土场开挖后形成坡前空地和挖损边坡两个部分，坡前空地一般为土质，表层土体结构比较疏松，土壤侵蚀为片蚀、细沟侵蚀等水力侵蚀形式，侵蚀强度中度；挖损边坡陡峭，有的近于直立状态，边坡质地有土质、石质和土石混合质。由于边坡坡度大，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，造成极强度或剧烈侵蚀。

(4) 弃土场。在公路建设中，要求废弃方的处理做到填挖平衡或移挖作填，高原山区地形复杂，地势起伏多变，由于山高坡陡，加之路线平纵线性要求又较高，施工过程中存在大量隧道和深挖地段，产生大量土石方，这些土石方一部分就近用作路堤填料，但不宜用作路堤填料，或多余的土石方由于运输条件以及各标段施工单位之间难以配合等原因不便运往填方段，就被当作弃渣就近堆放。弃渣场土体结构松散，表面裸露，透水性强，不均匀沉降剧烈。自然形成的松散边坡，稳定性差，坡度较陡，为 $30^{\circ}$ - $40^{\circ}$ ，接近天然休止角，抗蚀性极差，如果防护不善，在雨滴打击及地表径流的冲刷下，极易发生剧烈的水土流

失。

(5) 临时占地。临时占地分布在公路沿线,主要包括原料场、生活区、仓库、拌合场、预制场、弃土临时存放地等,这些区域破坏原有植被,且得到了不同程度的夯实,土壤入渗率降低,径流量增加,在一定程度上加剧了水土流失。尤其山区公路建设过程中,原料场及废弃土临时存放地管理不当时,容易发生片蚀、浅沟蚀等形式的水土流失。

(6) 移民安置区。在居民迁建过程中,平整土地,开挖边坡必将产生新的土石方量,新开挖地带因岩土裸露,雨水冲淋也将产生少部分水土流失。

## 2.3 公路水土流失的类型和机理

根据公路水土流失研究及其防治的侧重点不同,公路水土流失的划分方法有不尽相同,按导致水土流失的外营力种类划分是一种比较常用的方法。公路水土流失类型按导致水土流失的外营力种类划分为水力侵蚀、重力侵蚀、混合侵蚀、风力侵蚀、化学侵蚀和特殊侵蚀。

### 2.3.1 水力侵蚀

水力侵蚀是在降水、地表径流作用下,土壤、土体或其他地面组成物质被破坏、搬运和沉积的过程。根据水作用于地表物质形成不同的侵蚀形态,水力侵蚀可进一步分为溅蚀、面蚀、沟蚀等。水力侵蚀分布最为广泛,在山区、丘陵区 and 一切有坡度的地面,暴雨时都会产生水力侵蚀,它的特点是以地面的水为动力击溅并冲走土壤。

由于公路建设区地质、植被、地形、植物以及土地利用等因素不同,使公路建设所引起的水土流失表现出不同的外部形式、发展程度和潜在危险性:

#### (1) 溅蚀

公路溅蚀主要发生在取、弃土(渣)场和开挖坡面、路堤坡面、未硬化路面等工程施工扰动地上,对于表层有疏松土覆盖的情况,溅蚀比较强,对于石质表层溅蚀的作用很微弱。

#### (2) 面蚀

公路面蚀主要发生在因建设形成的各类坡面上。层状面蚀、砂砾化面蚀和鳞片状面蚀主要分布在土粒含量比较高的均质边坡上,包括开挖和填筑形成的边坡、取土场和弃土场边坡以及采取覆土恢复后的坡面。细沟侵蚀分布的范围更

广一些,除石质坡面外都可能发生,主要发生在弃土(渣)体坡面和各类土质边坡上。石质坡面几乎无面蚀发生,但采取植被恢复措施,覆盖基材会导致面蚀的发生。

细沟侵蚀是公路边坡土壤侵蚀重要的一种形式。主要是由于细沟侵蚀发育比较快,通常一场大雨就可以导致细沟侵蚀的发生,在坡面上形成细沟网。而主体工程坡面(路堑、路堤)通常暴露的时间不会太长,在细沟继续发展成浅沟前,一般都会采取防护措施,否则就会严重影响主体路基的安全。边坡在植被恢复后和地被枯落物层形成前,也主要以面蚀和细沟侵蚀为主。另外,在取土场和弃土场边坡上,细沟侵蚀也占有重要地位。

### (3) 沟蚀

由于公路边坡的限制因素,如公路坡长与自然地形相比比较短等,公路沟蚀一般都以浅沟侵蚀为主,切沟和冲沟发育很少。公路路堤和路堑边坡一般都在竣工后采取了相应的防护措施,除一些浅沟侵蚀外,很少进一步发展,但在高挖深填边坡地段,如果防护措施不到位、不够或遭到破坏的情况下,路基边坡可发生切沟甚至冲沟发育,严重影响主体工程安全。

弃土(渣)场由于其组成物质的特殊性和差异性,水力侵蚀表现的形式多样,尤以土多石少的弃渣场为典型,侵蚀方式在地表特性改变后转变为沟蚀为主。无上方汇水时易形成细沟和浅沟侵蚀,有大量上方来水时进一步发育成切沟和冲沟,侵蚀量大、速度快,危害严重。

溅蚀一面蚀一沟蚀的发育过程和不同分布特点,决定了在防治公路土壤侵蚀中采取相应的措施。公路弃土(渣)场较其它部位的土壤侵蚀发育程度最深,因此也是最重要的水土流失源,是重点防治对象。

## 2.3.2 重力侵蚀

重力侵蚀是地面岩体或土体物质在重力作用下失去平衡而产生位移的侵蚀过程。根据其形态可分为崩塌、崩岗、滑坡、泻流等。重力侵蚀主要分布在山区、丘陵区的沟壑和陡坡上,在陡坡和沟的两岸沟壁,其中一部分下部被水流掏空,当遇土壤水分变化或震动时,由于土壤及其成土母质自身的重力作用下,不能继续保留在原来的位置,分散或成片地塌落。

公路建设活动堆置或构筑形成的非稳定体是重力侵蚀潜发的主要场所。公路工程诱发的重力侵蚀产生的原因包括人工挖损、固体废弃物堆置、人工边坡构

筑、采空塌陷等，形式比一般地貌条件下发生的重力侵蚀更为复杂。由于公路建设不仅限于山丘区，而普遍存在于河谷盆地和平原区，因此公路工程重力侵蚀广泛分布于多种地貌类型区，形式主要有泻溜与土砂流泻、崩塌、滑坡三种类型。

### (1) 泻溜

泻溜是指岩壁和陡坡的土石经风化形成的碎屑，在重力作用下，沿着坡面下滑的现象。泻溜主要发生在公路建设边坡开挖过程中。首先，工程开挖破坏岩土表面覆盖的植被，使易风化的岩土坡变成泻溜坡，或者使已固定的泻溜坡再次复活；其次，边坡开挖使埋藏在地下深层的易风化岩土暴露出来，以惊人的风化速度形成泻溜坡面，项目区一些路段砾岩风化物易形成泻溜面。

### (2) 崩塌

边坡上部岩土体被裂隙分开或拉裂后，突然向外倾倒、翻滚、坠落的破坏现象称为崩塌。公路建设过程中，主要是由于开挖和削坡造成的岩土体悬空，在重力作用下沿裂隙倾倒、翻滚和坠落。此外，如果在弃土(渣)场采取水土保持措施不及时或防护方法不当，基础被水流冲刷也会导致崩塌的发生。

### (3) 滑坡

滑坡是指斜坡岩土体在重力作用下，沿一定滑动面发生位移的现象。

公路建设过程中，滑坡属于人为扰动岩土层而诱发的重力侵蚀范畴，在项目区也具备一些滑坡基本要素，属于易发区，主要原因是：①路堑开挖，破坏山体支撑部分，改变地下水运动条件，并增大水力坡度，促使滑坡产生；②公路施工在陡峭的坡面上堆积了大量的土壤和岩石物质，如路基的填筑，在边坡上堆填岩土加载，使斜坡应力改变，引起滑坡；③弃渣堆置容易引起滑坡。大量弃渣堆积在边坡上，使基底承受荷载增加。这些堆积的物质没有被压实或含有易分解的有机质，远比坡面上原有的自然土壤不稳定，并且这些松散固体物质会因为径流要素改变很容易聚集水分。这样，在外部因素的触发下，容易产生新的滑坡和使老滑坡复活。

## 2.3.3 混合侵蚀

混合侵蚀是发生在山区沟谷、坡地上的含有大量泥砂石块的流体，是由于降水（暴雨、融雪、冰川等）形成的一种特殊洪流，是水力侵蚀和重力侵蚀共同作用的结果，也称为泥石流侵蚀。泥石流形成必须具备的三个条件：一是丰富

的松散固体物质，二是短时间内有大量水的来源，三是陡峭的地形和沟床纵坡。

公路建设中剥离、搬运和堆置岩土为泥石流的产生提供了多种有利条件，特别是剥离地表和深层物质加速改变地面状况和地形条件，使尚处于准平衡状态的斜坡向不稳定状态转变。废弃固体物质随意堆置沟谷坡面，为泥石流的形成提供了固体松散物质，剥离和堆置岩土破坏原有的水文平衡条件，增加暴雨径流或使雨水迅速沿松散岩土中下渗，从而间接地改变泥石流爆发的外因条件。

#### 2.3.4 风力侵蚀

风力侵蚀是在气流冲击作用下，土粒、砂粒或岩石碎屑脱离地表，被搬运和堆积的过程。由于风速和地表组成物资的大小质量不同，风力对土、沙、石粒的吹移、搬运出现悬移、跃移和蠕移 3 种运动形式。它的特点是以风为动力扬起沙粒，离开原来的位置，随风移动到另外的地方降落。

公路所经地区多风时，在施工过程中及工程结束几年内，由于地表植被尚未完全恢复，使得施工区内地表裸露，在风力作用下产生剥蚀使表土流失。

#### 2.3.5 化学侵蚀

化学侵蚀包括降雨和地面径流冲刷，造成离子的迁移和岩土体中水分运动引起的离子的溶移过程两部分。进入土壤中的降水，当水分达到饱和以后受重力作用沿土壤孔隙向下层运动，使土壤中的易溶性养分和盐类发生化学作用，引起土壤养分的损失和土壤理化性质恶化，导致土壤肥力下降。化学侵蚀通常分为岩溶侵蚀、淋溶侵蚀和土壤盐渍化三种。

在公路生态恢复工作中，化学侵蚀是一个值得注意的问题，因为其作用比较缓慢，开始阶段不易察觉，但危害却不可忽视。该过程不仅使土壤肥力降低，农作物产量下降，还会污染水源、恶化水质，影响到饮用水和工农业用水。我国个别地区土壤盐渍化严重，化学侵蚀会给植被建设带来不利影响。

#### 2.3.6 特殊侵蚀

公路建设期间的水土流失形式较为复杂，形成的原因和机制也不尽相同。有些形式是自然界本来就存在的，工程建设活动仅是诱发或加剧了其发生发展进程，但形成机制是基本相同或类似的，如面蚀、沟蚀、崩塌、滑坡、混合侵蚀等。有些则是与工程建设活动密切相关的特殊形式，它是伴随着工程建设活动而产生的，其侵蚀机制不同于一般的水土流失形式，而是与工程建设活动的

强度和范围、所采用的技术等相联系的，如地面下沉、开采沉陷、土砂液化、地下水位下降引起的地面沉降等，都可能产生地面变形、建筑物变形，并引起多种特殊类型的水土流失形式，这些特殊原因产生的水土流失形式，综合称之为工程型侵蚀类型。

## 2.4 高速公路建设水土流失成因及危害

### 2.4.1 高速公路建设水土流失的成因

高速公路的开发建设一般不可能做到土石方的完全平衡，水土流失的影响呈现出带状分布，对周边环境的影响也表现为带状分布。公路建设过程中人为活动集中，强度也大，且存在大面积的开挖、回填面，弃土、弃渣量较大。工程施工期间，路基的开挖、填筑、取土场、筑路料场的开挖，弃渣的堆放、施工的占地等，对原地貌、水土资源以及植被等产生一定程度破坏，使原生水土流失的形式、数量及发生发展规律发生变化，形成新增水土流失，具体表现在以下几个方面：

#### (1) 平整场地

工程施工进场前，施工场地的平整对水土流失也有影响，主要体现在对原有植被的破坏和土石方开挖与填筑土，若排水处理不当，会加大土壤水力侵蚀。

#### (2) 开挖取土

路基和取土场开挖形成的高陡边坡，容易形成滑坡、崩塌等边坡破坏现象，在排水设计不当和汛期集中降雨的共同作用下，边坡容易由相对稳定状态向非稳定状态改变，从而产生滑坡、崩塌等边坡破坏造成的水土流失。

#### (3) 路基回填

路基填方区在没有及时碾压的情况下形成的松散堆积地貌是路基发生局部沉陷、泻流、小规模滑坡的基地。

#### (4) 地形地貌的再塑

首先是地形坡度的变化。由于弃渣和弃料的堆放，所形成的坡度一般都大于原地地面坡度，在不采取防护措施的情况下，水流动力会加剧土壤的水力侵蚀和重力侵蚀。其次是坡型。弃渣和弃料的堆放会形成许多直线型斜坡，这类斜坡坡度较大，距分水线越远，汇集的地表径流就越多，水土流失就越严重。因此对地形地貌的再塑是工程施工产生水土流失的主要原因。

(5) 对其所在区域产汇流条件的改变

以隧道开挖为例，高速公路隧道开挖产生弃渣的主要成分是隧道弃渣，碎屑或砾石比例大，水分下渗速率较原地貌快，储蓄和贮存水分能力差，一般不易产流，表层分化物常因水分垂直迁移而产生潜蚀，水分下渗至深层后可导致滑坡，极易使区域的产汇流条件发生变化，危及下游的安全。

## 2.4.2 高速公路建设水土流失的危害

高速公路公路建设项目工程量大，路线长，造成的水土流失影响较大，其危害主要体现在以下几个方面：

(1) 对水文和水域的影响

由于公路建设过程中破坏了原地貌状态和自然侵蚀状态下的水文网络系统，植被也受到破坏，极易诱发水土流失；在开挖、回填、碾压等建设活动中，对原有坡面排水沟渠造成不同程度的破坏。开挖面积增加，扰动了原土层和岩层，为溅蚀、面蚀、细沟侵蚀等土壤侵蚀的产生创造了条件。因公路建设使不透水地面增加，产流历时缩短，流量曲线急升急降，峰值出现时间提前，对河道和排水沟造成较大的压力，且土壤水分补给减少，影响地下水位。

(2) 增加下游河道淤积，促进灾害天气形成

施工中弃渣得不到及时有效的防护治理，在降雨及人为因素作用下产生大量泥沙，泥沙随着水流进入下游河道，在流速小的地方，特别是河口进行沉积，因此，易造成下游河道、水库泥沙淤积，抬高河床，形成洪水隐患或降低防洪、灌溉效能。

在高速公路建设施工期，路基边坡、取土场、弃渣场、预制场等大量沙物质直接暴露，为风蚀准备了充分的沙物质，促进扬尘灾害性天气的发生。

(3) 破坏土地资源，加剧周边水土流失

公路水土流失能造成项目区土地的沙化、退化现象，还会影响到项目区周边的环境。公路施工所产生的水土流失对农田的影响方式有两种：一种是在通过农田的路段，特别是在路堤、桥梁或交叉点，降雨侵蚀所产生的泥沙会直接流入工程区域外的农田，由于地势变缓，其中大部分泥沙沉积下来，形成“沙田农田”；另一种方式是泥沙中细小的部分会随水流往下游以“黄泥水”的形式流入农田，对农田产生进一步的影响，此外，线路工程取土场和弃渣场选址不当也会对农田产生不利影响。

路基边坡、取土场、弃渣场易受风蚀和径流的冲刷，特别是取土场、陡峭的边坡和弃渣场松散堆积物，极易产生崩塌、滑坡等重力侵蚀和冲蚀，水土流失将加剧扩展。

#### (4) 缩短公路寿命，影响公路安全运营

路面、路基的形成，改变了下垫面，使水流汇集，引发路基的冲刷和吹蚀，增加公路正常维护的压力，影响公路安全运营。另外，公路穿行在平原、丘陵、山谷之间，对一些阻挡性的丘陵谷地必然要进行夷平、削切、充填，产生新的坡面、断面，使原本的地貌形态发生改变，容易破坏山体稳定，诱发崩塌、滑坡等地质灾害。尤其是施工期间，路基边坡在重力作用下松土散落严重，极易发生坍塌、滑坡，危害公路安全。

## 2.5 高速公路水土流失特点

(1) 由人为活动造成。公路工程产生的水土流失不是由自然灾害引起的，而是由人类在公路建设过程中大量砍伐地表植被、大面积的开挖土石方使公路沿线生态环境遭到破坏而带来的后果。

(2) 危害集中在公路沿线。公路工程的水土流失主要有公路路基开挖裸露面、取土场、采石场、弃渣场等区域、场地都位于公路沿线，因此它们所造成的水土流失危害也在公路沿线。

(3) 水土流失主要由弃土弃渣造成。一般公路建设的直接水土流失绝大部分由弃土弃渣和路基及边坡引起，其中以弃土弃渣引起的流失量为最大，其次为路基及边坡，其中弃土弃渣造成的水土流失量一般占上程总流失量的 50% 以上，有的甚至占到施上过程中总流失量的 85% 以上<sup>[49]</sup>，因此弃土弃渣的水土保持是公路建设设计规划的一项重要内容。

(4) 线路长，防治难度大。公路工程的特点就是线路较长，它所产生的水土流失并不是集中在几个点，而是集中在一条线上，凡是公路经过的区域都会带来水土流失。

(5) 治理标准要求较高。公路是人类活动比较频繁的区域，每时每刻都有车辆通过，一旦公路附近发生泥石流、坍方等灾害，必然造成严重的交通事故。此外，公路也是区域生态环境概况的一面镜子，公路沿线的绿化情况能够反应当地的生态环境质量，为此公路的水保防治措施相对于其它行业，标准较高。

### **本章小结:**

本章通过对公路建设项目水土流失与水土保持概念的阐述，明确了公路建设项目水土保持方案设计的重要性及基本内容，阐述了公路水土流失的类型及机理，论述了高速公路水土流失的成因及危害，最后总结了高速公路水土流失的特点，为水土流失的预测及防治提出理论依据。

## 第3章 公路水土流失的预测及防治

为了做好公路水土保持工作，首先要对公路水土流失情况进行深入的调查，并对公路水土流失进行预测，从而为公路水土保持体系的建立和优化提供依据。公路水土流失的调查和预测是公路水土保持重要的基础工作，在此基础上根据项目情况提出有针对性的水土流失防治措施。

### 3.1 开发建设项目水土流失预测内容和方法

开发建设项目水土流失预测是水土保持措施的布局和设计的基础，是对主体工程提出修正意见的重要依据。由于我国开发建设项目水土保持的研究起步较晚，对水土流失预测的概念、内容还存在着不同的理解。本文仅根据《开发建设项目水土保持方案技术规范》以及公路项目水土保持方案编制的特点，提出几点看法。

#### 3.1.1 开发建设项目水土流失预测的概念、内涵和外延

预测（Predict）是应用过去和现在对某一事物的认识（Knowledge）实验或试验（Experiment or test）、经验（Experience）及掌握的规律（Laws）和判断力（Judgement）来预估和推测某一事物的未来。开发建设项目水土流失预测就是应用已有的人们对水土流失的认识和掌握的规律，根据开发建设项目的总体布局、生产工艺和施工工艺，特别是地面扰动和破坏、弃土弃渣及占压土地等情况，在全面调查的基础上，经过综合分析，采用特定的方法，对可能产生的水土流失作出预估和推测。水土流失预测的内涵实质上是对开发建设项目可能造成水土流失形式、原因、程度、危害和水土流失量进行预估和推测，目的是为水土保持措施布局提供依据。同时，通过对可能破坏（亦或降氏）的水土保持设施数量、面积或工程量进行预测，为水土流失补偿费的计算提供依据。水土流失预测的外延就是对开发建设项目可能造成具有较大危害的水土流失进行定性和定量的分析，为项目主体选线、选址、总体布局和局部工程设计提供修正意见。如果由于水土流失可能造成难以挽回的重大经济损失或重大环境危害，水土流失预测应为主体可行性研究或设计的修改或否决提供充分的理由<sup>[50]</sup>。

### 3.1.2 不同阶段水土流失预测的内容和重点

#### 3.1.2.1 可行性研究阶段的水土流失预测内容和重点

(1) 对开发建设项目不同方案可能造成水土保持设施破坏进行预测, 并分析比较。对方案涉及的重大水土保持工程设施如大型淤地坝、河道整治工程、水土流失地段的大片水土保持林或水源涵养林等作较为详细的调查, 分析利弊, 提出避免破坏或可能采取措施, 如果破坏严重, 影响大, 又无法补救的方案应考虑提出否决性意见。

(2) 对开发建设项目不同方案可能造成地貌、植被和景观破坏进行预测。特别是涉及国家级或省级重点名胜风景区、森林公园、自然保护区、文物保护单位等的预测, 应有翔实的预测基础资料, 为修改主体可行性研究和设计提供修改或否决依据。

(3) 开发建设项目不同方案可能造成水土流失危害的预测, 包括对周边或下游的工农业和民用设施、水工程、水土保持设施及对项目本身的危害。

(4) 对不同方案的弃土弃渣量和新增水土流失量作出初步估算。

总之, 可行性研究阶段水土流失预测实质上是水土流失影响的预测评价, 侧重点是对由于开发建设可能导致的重大水土流失危害进行预测评价, 如河道行洪及沿岸可能的淹没危害预测; 对大型水工程构成的潜在危害及由此引发的严重后果的预测; 可能诱发的泥石流和大型滑坡的危险性评价; 有关国家水土保持和生态环境可持续发展的植被和景观生态系统遭受破坏及其带来严重后果的分析评价。

#### 3.1.2.2 初步设计阶段的水土流失预测内容和重点

(1) 较为准确的预测水土保持设施破坏的面积和数量, 为计算水土流失补偿费提供依据。

(2) 预测弃土弃渣数量、堆放场地、堆放高度及可能造成的危害, 为拦渣工程、土地整治工程、防洪排水工程的布设安排提供重要依据。

(3) 根据相关资料和试验数据较为准确地预测新增水土流失量, 为布设水土保持措施和计算水土保持效益提供依据。

(4) 对可能造成重大危害的水土流失区域, 特别是泥石流、大型滑坡, 应进行详细调查和勘测, 预测其危害范围和程度, 为预测可能造成的经济损失及从设计角度提出控制的可能性和防范措施依据。

初步设计阶段水土流失预测的重点是从定量方面较为准确地预测弃土弃渣和水土流失量，为水土保持措施布设提供充分的依据。

### 3.1.2.3 技施设计阶段的水土流失预测内容和重点

水土保持工程多系小型工程，一般不进行单独的技术设计和施工图设计，而是合并为技施设计一个阶段。技施设计阶段的主要任务是对初步设计未解决的关键技术问题进行深入细致的研究，补充和深化初步设计，并作出具体的施工组织设计、施工图、工程量、所需人工和建筑材料及施工图预算。该阶段的水土流失预测内容和重点与初步设计阶段基本相同，但精度要求更高。

### 3.1.3 水土流失预测方法

水土流失预测的方法与预测内容有关，主要有类比预测法、实地测试法和数理模型法等多种方法<sup>[51]</sup>。

#### 3.1.3.1 经验预测法

经验预测法，又称为专家法，就是利用专家的知识 and 经验进行预测，当拟建公路所在区域有关水土流失资料十分短缺，无法采取其他预测方法时，可采用之。

#### 3.1.3.2 实地测试法

主要对已建、在建项目的水土保持方案编制工作所应用。此类项目所造成水土流失在相当的范围内和程度上已变为事实，有条件、也应该以实地调查测试为主要手段对项目区进行水土流失及其影响的测试和预测。如果可能的话，甚至可以在编制方案过程中临时布设监测站网进行阶段性实测，取得资料，进行预测。

#### 3.1.3.3 数学模型法

利用项目所在地区已有的水土保持综合治理、水土流失规律研究的成果，包括降水、地形、植被、地面物质及管理措施等因子预水土流失的定量关系，结合开发建设项目对以上诸因子的影响程度进行分析，建立起适用于项目区特点的水土流失预测预报数学模型，进行预测。

在数学模型法中，利用通用土壤流失方程(Universal Soil Loss Equation,

USLE)进行水土流失预测最为常见,该法对土壤侵蚀量的预测过程为:

$$A = RKLSCP \quad [3-1]$$

式中,  $A$ —单位面积多年平均土壤流失量,  $t/(km^2 \cdot a)$ ;

$R$ —降雨和径流侵蚀因子,  $MJ \cdot mm/(hm^2 \cdot h)$ ;

$K$ —土壤可蚀性因子,  $t/(km^2 \cdot a)$ ,表示在标准小区的情况下,每个  $R$  单位的土壤流失量;

$LS$ —地形因子,其中  $L$  为坡长因子,表示在其他因子相同的条件下,一定坡长的土壤流失量与标准小区坡长下土壤流失的比值; $S$  为坡度因子,表示已知坡度与标准小区坡度条件下土壤流失量的比值;

$C$ —作物经营管理因子,表示在其它因子相同的条件,特定植被和经营管理地块上的土壤流失量与标准小区土壤流失量之比值;

$P$ —水土保持措施因子,表示采用某种措施与标准小区流失量的比值;

公式[3-1]中  $R$  表示在标准条件下降雨对土壤的侵蚀能力。标准小区是人为选定的,张科利<sup>[52]</sup>通过分析土壤侵蚀发生的地形特点,已有资料的坡度变化范围,以及土壤流失量估量中的误差变化规律,提出我国土壤侵蚀研究中的标准小区为  $15^\circ$ , 20m 坡长, 5m 宽的清耕休闲地。

降雨径流因子可以通过公式组 3-2 进行计算:

$$\begin{cases} R = \sum EI_{30} \\ E = E_0 I_i \\ E_0 = 0.29(1 - 0.72e^{-0.05I_j}) \end{cases} \quad [3-2]$$

公式中,  $I_{30}$  为一次降雨过程中连续 30min 最大降雨强度,  $mm/h$ ;

$E$  为一次降雨中某时段降雨所产生的动能,  $MJ/hm^2$ ;

$E_0$  为一次降雨中某时段单位面积上每毫米降雨所产生的能量,  $MJ/(hm^2 \cdot mm)$ ;  $I_i$  为一次降雨过程中某时段的降雨量,  $mm$ ;

$I_j$  为一次降雨过程中某时段降雨强度,  $mm/h$ 。

美国学者威斯奇迈尔(Wischmeier)认为暴雨动能与 30 分钟最大降雨强度的乘积是判断土壤流失量的最好指标,故用数学表达式为  $R = \sum EI_{30}$  来代表降寸侵蚀力因子,但由于我国幅员面积辽阔,加之公路建设过程中狭长线型特性,以 30 分钟最大降雨强度与暴雨动能的乘积是否可以代表降雨侵蚀力特征,需要进

一步检验，寻找出适合公路建设所在区域的降雨侵蚀力计算方法。

公式 3-1 中  $K$  为土壤可蚀性因子( $t/hm^2$ )，可以用公式 3-3 进行计算<sup>[53]</sup>：

$$K = \{0.2 + \exp[-0.256SAN(1.0 - SIL/100)]\} * [SIL/(CLA + SIL)]^{0.3} * \{1.0 - 0.025C/[C + \exp(3.72 - 2.95)]\} * \{1.0 - 0.7SN_1/[SN_1 + \exp(-5.51 + 22.9SN_1)]\}$$

[3-3]

公式中， $SAN$ 为砂粒含量(%)；

$SIL$ 为粉粒含量(%)；

$CLA$ 为粘粒含量(%)；

$C$ 为有机碳含量(%)；

$SN_1 = 1 - SAN/100$ 。此

公式看起来复杂，但只要有土壤有机碳和土壤颗粒分析资料，即可计算出土壤  $K$  值。

公式 3-1 中， $LS$ 为地形因子可以过公式组 3-4 进行计算完成<sup>[54,55]</sup>：

$$\begin{cases} L = (\lambda/22.13)^{0.44} \\ S = -1.5 + \frac{17}{(1 + e^{2.3-6.1 \sin \theta})} \end{cases}$$

[3-4]

而余下的作物经营管理因子 ( $C$ ) 与水土保持措施因子 ( $P$ ) 可以通过参考美国农业部农业手机进行相应取值<sup>[56]</sup>。

### 3.1.3.4 类比法

类比预测方法是借助与开发建设项目邻近地区或类似的已建、在建项目已经取得的水土流失研究预测成果，通过分析比较，进行适用性引进、改进进行预测，这种方法对多数新建项目适用。

类比法进行水土流失量预测的计算公式如下：

$$W_{扰} = \sum_{i=1}^N (F_i \times M_i \times T_i)$$

[3-5]

式中： $W_{扰}$ ——扰动地表水土流失量， $t$ ；  
 $M_i$ ——土壤侵蚀模数， $t/km^2 \cdot a$ ；

$F_i$ ——扰动地表面积,  $\text{km}^2$ ;  
 $T_i$ ——水土流失预测时段, a。

该方法要选择的类比工程区应与拟建工程区属同一类型,其生产工艺流程、规模、对地面的扰动程度、废弃物的排放方式等尽可能相近或相似,同时类比工程区应与预测的拟建工程区属于同一个自然地理区域,地质、地貌气候、土壤植被等条件应具有相似性,也就是从距离上讲,靠得越近,预测的精度越高。如果难以找到具备区域上、工程类别上相似的工程区,也可以选择较为相似的某些工程区,但是在引用资料时必须对其中一些因子进行修正后使用。

整体上看,专家法常用于缺少资料下的预测,如今信息化社会,对于绝大部分常规资料的获取已不再是难事,且专家法带有一定的主观性,当前已基本不再应用;实地测试法,得到的结果精度最高,但由于公路项目独特的线型分布特征,加之实地测试法监测要求较高,当前利用实地测试法进行水土流失量预测的案例也不多;以通用土壤流失方程为代表的模型法,虽然在国外被越来越多的学者推崇,其模型参数取值是否可以直接应用于国内,还有待验证,而且由于其复杂的参数需求,当前在国内跨幅较大的线型项目而言,应用起来难度较大;而类比法具有简单易行、节省时间、节省费用等特点,如果运用得当,能较准确地进行定性或准定量预测,因此目前国内越来越多开发建设项目均使用类比法进行水土流失量预测。

## 3.2 公路水土流失的防治

### 3.2.1 公路水土流失的防治措施

公路建设水土保持根据其工程特点采取分区分期防治,工程建设前期水土保持以工程措施为主,因地制宜,辅以生物措施相结合,快速有效地遏制水土流失,后期主要以植物措施为主,防止水土流失,改善生态环境。

公路主体工程的水土保持措施主要有排水系统、路基防护措施、路堑坡面防护措施、水土保持临时措施等。

排水系统主要包括路基排水设施和排洪设施。路基排水设施主要是排除路基、路面范围内的地表水和地下水,保证路基和路面稳定,防止路面积水影响行车安全。路基地表排水包括边沟、截水沟、排水沟、跌水及急流槽、拦水带、蒸发池等设施。当路基范围内出露地下水或地下水位较高,影响路基、路面强

度或边坡稳定时，应设置暗沟、暗管、渗沟、检查井等地下排水设施，高速公路、一级公路应设置路面排水设施。路面排水设施由路肩排水和中央分隔带排水组成。对于修建在山区、丘陵区、受到洪水威胁的公路应设置排洪设施，排洪设施有排洪明渠和排洪暗渠两种形式，一般为了节省工程费用，应尽量采用明渠的形式。

路基防护措施主要包括坡面防护和冲刷防护两种方式。坡面防护包括抹面、喷浆、勾缝与灌浆等方式。冲刷防护包括护面墙、挡土墙，砌石护坡、混凝土预制板，土工织物抛石、梢料和石笼等方式。

路堑边坡防护措施主要包括坡面防护措施、落石防止工程。坡面防护措施有灰浆、三合土等抹面、喷浆片石护墙、锚杆喷浆护坡、挂网喷浆护坡等。常用的落石防止工程有防护石棚、挡墙加栏石栅、囊式栅栏、落石网和金属网覆盖等。

水上保持临时措施主要包括临时拦挡措施、临时排水措施、临时覆盖措施等。

弃渣场水土保持措施包括拦渣措施、护坡措施和排水措施等。弃渣场水土保持体系分弃渣前、弃渣过程中、弃渣后三个阶段，在弃渣前完善弃渣场周边的排水系统，渣场周围布设排水沟（沟道弃渣、坡面弃渣、填洼弃渣），设置挡渣墙，根据需要，在弃渣场附近设置临时堆置表层腐殖土的临时堆放场；在弃渣过程中采取表层腐殖土的剥离，表土临时堆放场的临时覆盖，表土临时堆放场的挡护等措施；在弃渣后，进行场地填凹、迹地平整，场内布设排水土沟和沉沙池，场地内营造高密度水土保持林、草。

拦渣措施主要有拦渣坝、拦渣墙、拦渣堤。当弃渣堆置于沟道内包括堆放于沟头、沟中、沟口或将整个沟道填平时，应修建拦渣坝；当弃渣堆置于易发生滑塌的地点或堆置在坡顶及坡面时，应修建拦渣墙，拦渣墙的设计必须同时兼顾抗滑、抗倾覆、抗塌陷三个方面的能力。俯卧式拦渣墙应用最为广泛。当弃渣堆放于沟道岸边或河滩及河岸时，应修筑弃渣堤。

护坡措施包括削坡和反压填土及工程护坡等方式。

排水设施包括弃渣场四周排水和弃渣场坡面排水。弃渣场四周排水主要由挡水坝、排水沟、急流槽、墙前边沟和沉沙池组成。弃渣场坡面排水包括坡面径流引流措施和排引地下水措施。

施工便道主要采用简单的生物措施进行防护，在临时便道挖、填方坡面撒播草籽，形成覆盖层，永久便道还应栽植行道树进行绿化。边坡条件差时还应采

取工程护坡措施。临时施工便道应修建临时排水设施，永久施工便道应采取永久排水设施。排水设施修建应与便道路面同时进行。在高边坡端或路基两侧建排水沟，来控制并顺引坡面下冲水流，结合地形在排水沟出口处设沉沙池，并在沉沙池出水口处设土工布围栏，在次拦截泥沙，水流经沉沙池沉淀和土工布围栏过滤后，排向附近的自然沟道。

### 3.2.2 植被保持水土的有效性研究

植物措施在水土保持上的主要作用表现在有效拦截雨滴、调节地表径流，改良土壤性状、降低坡体孔隙水压力、根系的锚固作用、减低风速、防止风害等多方面，同时植物措施又具备了经济实用、后期效果、生态效益显著、提高公路综合服务功能的优点，应该说植物措施是进行水土流失治理的最为有效的措施，但如何保证设计方案中的生物措施能够有效地控制水土流失，还必须对植被保持水土的有效性进行分析研究。

#### 3.2.2.1 植被对水土流失的影响

众所周知，植被是防止水土流失的积极因素，破坏地表植被，必将导致水土流失的进一步加强。植被覆盖层减小了雨滴对地面的打击，并由于增加地面糙率而减小了流速，气流或者水流的作用力被分散在覆盖物之间，地表的覆盖因素完全承受了原来作用于地表土粒上的力，并且植被覆盖物腐烂后可以增加土壤中有机的含量，进一步改善了土壤的化性质<sup>[57-59]</sup>。

自从土壤侵蚀研究开始，人们就认识到植被对于防治土壤侵蚀的重要作用<sup>[43]</sup>。1877年，德国土壤学家 Wolly 利用植被及覆盖建立了第一个防止侵蚀的试验小区，该方法迅速传到欧美及世界其它国家，成为人们研究土壤侵蚀的有效方法和手段之一。1947年，美国学者 Musgrave G.W 首次提出了植被作用系数，并引入了美国东部和中部土壤流失方程中。1954年，经过 D.D Smith 等人的努力，通用土壤流失方程问世，其中，作物等植被的作用系数更加系统而明确。随着该方程的不断修改和完善，该方程的应用范围不断扩大，植被因子一直是影响土壤侵蚀的重要因子而受到科研人员的重视。由研究认为，当地表植被的覆盖率达到 70%以上时，才能起到明显防止土壤侵蚀的作用，在植被覆盖达到临界覆盖度之前，随着植被覆盖度的减小，侵蚀作用急剧增加，大概地表覆盖度低于 35%时，侵蚀作用更加剧烈。Hudson 在津巴韦布地区的研究表明，植被

密度对于土壤侵蚀也具有明显的作用，在植被密度不足的地方，土壤侵蚀作用也会明显增加。

国外学者从恢复生态学的观点和原理出发，对植被恢复过程中，植被的水沙效应和水文效应等方面的问题进行了大量的研究，并证实灌草植被的存在，可以增加入渗，减少地表水土流失。A.cerda 通过对退化土地生态系统恢复的研究提出，土壤的侵蚀特征和水动力学特征不仅可以作为生态系统退化程度的指标，而且可以作为土地生产力的重要参数。通过对不同演替阶段不同植被类型覆盖下坡地水土流失特征的研究发现，随着植被恢复阶段的发展，其对地表的防护功能、土壤的持水性能和渗透性能得到不断加强。Carrol<sup>[61]</sup>等人通过对矿区土壤与弃土上的植被恢复过程的研究发现，在不同类型的土地上，植被对侵蚀的影响是占主导地位的，植被覆盖的存在可以保护土壤团聚体免遭降雨的破坏，减弱雨滴击溅侵蚀，避免土壤大孔隙的堵塞，防止地表结皮的形成，减少地表径流形成造成的水土流失。这些研究揭示了植被恢复过程中，植被对地表径流和侵蚀产沙特征的动态作用过程，为评价林草植被的水土保持效应提供了科学依据。

#### 3.2.2.2 植被覆盖度与水土流失的关系研究

在大量关于植被与水土保持效益的研究中，研究人员对植被覆盖度与水土保持效益之间的关系进行了大量的研究。对植被的水土保持作用而言，起关键作用的是植被的有效覆盖度<sup>[29]</sup>。长期以来由于研究人员研究角度和对象的不同，对有效覆盖度概念的理解也存在着较大的差异，张光辉等人在研究中指出<sup>[62]</sup>，有效覆盖度指在一定区域内，草地或者林地保持土壤并且使土壤侵蚀量降低到土壤最大允许侵蚀量以内所应该达到的植被覆盖度。大量的研究证实，只有当林草对地面覆盖到一定程度时，才能起到防治土壤侵蚀的作用，令人满意的水土保持措施时其土壤侵蚀量小于该土壤流失的允许值。在不同的坡度条件下，对不同降雨、不同植被而言，其有效覆盖度应该是不一样的。有效覆盖度应该是降雨因子、地形因子、土壤因子和植被因子的函数。对于给定的草地或者林地而言，有效覆盖度是介于临界覆盖度和 1 之间的数字。

沈冰等人重点研究了植被覆盖条件下的降雨漫流中影响有效糙率的因素<sup>[63]</sup>，尽管由于实验条件的限制，所得的结果表明植被度与有效糙率之间的相关性较差，但是作者指出，由于植被度是一个可以直接观测的量，应用这一指标

深入研究植被对降雨侵蚀动力以及水土流失的影响,有助于推动植被覆盖下土壤侵蚀研究从定性描述向定量计算发展。张光辉等人通过模拟降雨实验<sup>[62]</sup>,研究了人工草地的产沙产流过程,结果表明:土壤侵蚀量随着草地植被覆盖度的增大呈指数下降趋势,并分析认为,70%的植被覆盖度可以作为实验条件下的有效植被覆盖度。王秋生通过对观测资料的分析<sup>[64]</sup>,从定量的角度探讨了植被控制土壤侵蚀的规律,运用指数回归分析,建立了不同类型区的侵蚀模数与植被覆盖度的关系方程:

$$M = ae^{-bF} \quad [3-6]$$

式中:  $M$ —侵蚀模数 ( $t/km^2 \cdot a$ );

$e$ —自然对数的底;

$a$ 、 $b$ —回归系数;

$F$ —植被覆盖度。

在此基础上,进一步建立了植被控制土壤侵蚀的一般方程,并用有关结果进行了验证,证明该方程具有较好的适用性,对于定量研究植被控制土壤侵蚀的作用具有重大意义。

植被控制水土流失的效益是明显的,但是由于植被生长发育等状况的不同以及人为等因素的不同影响,不同植被的冠层、地表层以及地下根系分布层等都出现较大差异,因此其水土保持效益也就有所不同。

### 3.2.2.3 公路水土保持适用植物

公路水土保持采用植物措施主要是为消除公路建设对环境的影响和破坏,同时也为改善行车环境和满足一定的交通功能。植物种选择是公路植物措施的关键环节,应从生态适应性、和谐性、抗逆性和自我维持性等方面选择适宜的物种,选用的植物不仅要满足生态、形态和景观的要求,还要与建植目标相一致,应需具备以下基本条件:

(1) 以当地适生植物为主,包括乡土植物种以及驯化成功并已得到广泛应用的植物种,选择抗性强、根系发达、防护性能好的种类。

(2) 宜树则树、宜草则草。公路护坡植物可以是低矮乔木、灌木、竹类、花草,植被的建群种宜以灌木为主体。在选择乔木时应保证公路车辆通行安全。

(3) 种源于易于获取或易繁殖,利于大面积的推广应用,遵循乔、灌、草相结合,先锋种、速生种与慢生种相结合,豆科与禾本科相结合、深根植物与浅

根植物相结合的原则。

(4) 植物的生态习性与种植地区的生态条件相适应,能克服当地风沙、盐碱、干旱等不利条件,适应公路边坡的土质、坡向、坡度、坡位等立地条件,能适应采取的种植方式。

(5) 植物的选择应满足建植区域功能要求。固坡植物根系发达、固土能力强;生物围栏分枝多、带枝刺,空间阻隔能力强;行道树树形高大饱满、抗病虫、少维护,观赏效果佳;立交区植物景观表现力强;中央隔离带植物耐修剪,耐污染,防眩效果好。

(6) 植物无污染环境的特性,不会对当地农、林、畜牧也产生损害,不会危害当地生态环境及生物多样性。

### 3.3 高速公路建设水土保持分区及防治

根据高速公路工程水土流失的特点、危害程度和防治目标,水土保持设计应采取分区、分期防治,新增水土流失防治时应根据不同防治分区、地形地貌、地表扰动情况和工程布局、施工特点等,结合高速公路综合防护和道路沿线绿化美化的特殊要求,因地制宜,实施综合治理,保障公路安全,建设绿色生态高速公路。

高速公路建设水土流失主要是由于开挖路堑和桥梁基础、填筑路基、桥梁施工、路面排水系统及路基防护等工程的施工,以及取弃土、采石采砂、修筑施工便道和临时设施等活动。人为破坏原地貌后出现大面积的裸露地表在降雨作用下产生的水土资源的破坏和损失。故水土流失的影响部位包括路基及边坡、弃土场、取料场、临时占地和移民安置区等<sup>[49]</sup>。

#### 3.3.1 主体工程防治区

主体工程防治区包括路基工程区、桥涵工程区、隧道工程区、交叉工程区及沿线设施工程区。主体工程区主要根据挖方、填方情况,对路基边坡防护、路基排水系统、路基压实和绿化工程进行防护,从而保护路基的稳定,排除路基路面积水,美化公路运行环境,保证公路的安全稳定运行。

##### 3.3.1.1 路基工程区水土保持措施

###### (1) 施工期水土保持措施

在主体工程的边沟、排水沟等排水设施修建以前，采取临时排水措施。在路堤填筑及路堑开挖施工之前，坡底两侧先修筑临时性的排水沟和边埂，以拦截因降水带来的坡面水土流失，及时排导坡面径流。所筑边埂采用排水沟挖出的土方堆砌、拍实。施工结束后，将边埂回填至排水沟。

对于工程区内的表土层，在工程施工前预先对其进行剥离，沿线进行调运，尽量利用。不能利用的表土，集中在临近弃渣场内堆放。表土剥离厚度视具体施工路段土壤情况而定，当前国内公路在建设过程中，考虑到土壤养分多集中在土壤表层的缘故，故其剥离深度一般取值为30cm。施工过程中注意尽量不扰动征地范围以外的土地，以免引起新的人为水土流失。

#### (2) 运行期水土保持措施

运行期具有水土保持工程的措施主要包括：路基路堑护坡、边坡防护工程、地表排水工程、公路沿线绿化工程。

##### ① 路基路堑护坡

填方路堤防护：大部分填方路段的路堤边坡均采用植草的防护形式。对主线跨越国、省干道的位置在构造物两侧一定范围内采用路堤拱型防护或六角网格防护，当前国内公路的该范围取值多采用50m。

挖方段防护：对于土质挖方路段，路堑边坡均采用植草绿化的防护形式。对于硬质全风化、强风化岩石挖方路段，当挖方边坡高度大于10m时，采用路堑挡土墙的防护形式。当挖方路段边坡高度大于24m，除采用路堑挡土墙防护外，同时采用SNS网防护。

##### ② 边坡防护工程

在填方路段采用植草护坡、路堤挡墙防护、浸水路基石防护等形式；挖方路段采用植草护坡、路堑矮挡墙等防护形式。

##### ③ 地表排水工程

全线的地面排水系统主要由泄水槽、边沟、截水沟、排水沟、急流槽等与沿线各种桥梁和众多涵洞构成。路基地表排水设施由边沟、排水沟、截水沟、急流槽，地下排水设施主要包括暗沟、渗沟等，路面排水设施主要由路肩沟、中沟、集水井、急流槽、横向排水管等构成。施工方法为砂浆砌砖预制块、砌片石及现浇砼。

##### ④ 公路沿线绿化工程

在中央分隔带、非实体防护的填方边坡及土质挖方边坡等部位进行绿化设

计,起到稳定路基、保持水土、美化路容、诱导行车视线、隔离噪音、改善大气质量等作用。同时对沿线砍树挖根进行及时补植。

### 3.3.1.2 桥梁工程区水土保持措施

在桥梁设计时,特大桥的设计洪水频率为300年一遇,其余桥涵为100年一遇加0.5m高程值,特大桥、大桥的桥位尽量选择在河道顺直、稳定、河床地质条件好的地段,确保不压缩河道。在桥位两侧、涵洞的进出口采用砌石防护护坡防护。

### 3.3.1.3 隧道工程区水土保持措施

项目隧道弃渣纳入路线整体土石方平衡。对于隧道的裸露开挖面,进行仰坡防护,采用综合护坡、挂网植草或喷砼技术。

### 3.3.1.4 交叉工程区水土保持措施

#### (1) 施工期水土保持措施

交叉工程区包括互通式立交、分离式立交和天桥。由于施工工艺较相似,水土保持防治措施相似,不分别叙述。

#### (2) 运行期水土保持措施

交叉工程区施工结束后,进行微地形整治,对于有裸露开挖面的地段进行实体护坡或拱形护坡。交叉工程区空地上进行覆土,选择适合当地生长,并有一定美化绿化效果的乔木、灌木、草皮,在不影响视线的前提下,进行绿化。

### 3.3.1.5 沿线设施工程区水土保持措施

沿线设施工程区主要包括服务区、收费站、监控通信所及养护工区等

沿线设施主要包括服务区、收费站等服务、维护场所,主要是土建施工。施工过程中做到表土剥离,施工结束后,场地大部分为建筑物和硬化处理,空地部分铺设草坪。施工期水土保持措施主要为布设临时排水沟。临时排水沟布设于沿线设施工程施工占地两侧,施工前先修筑临时性排水沟和边埂,施工结束后,将边埂回填至排水沟。

## 3.3.2 取土场防治区

根据取土场的地理位置及地形条件进行综合治理。因取土场在取土中破坏了

原有地表的自然坡度，形成了裸露坡面，所以应对其进行治理改造，对裸露坡面进行削坡，再开挖坡面、坡顶截水沟，防治水土流失，恢复植被，覆土造田，充分利用土地资源。要实现水土流失防治由被动控制到治理开发的根本转变，确保工程建设及运营期不发生大的水土流失。

取土场水土保持措施主要有表层土临时防护措施（含施工便道区和施工生产生活区剥离表土）、临时排水措施、取土场周边临时排水措施及开采结束后的土地整治和植被恢复措施等，具体防治措施如下：

#### （1）周边截水措施

工程取土场主要为未开发利用的山地，土层较厚，为避免取土地受上游汇水的冲蚀，取土前在取土范围外缘设置截水沟，以疏导上游来水。

#### （2）剥离表土的防时防护

在对取土场进行取土石料之前，应对取土场表层土壤进行剥离，尽量利用，一般剥离厚度 30cm，进行集中堆放后，对其设置临时排水沟等临时水保措施。

#### （3）土地整治

取土结束后，取土场经过覆土、推土机整平后可使被损毁的土地恢复到可开发利用状态。

①表土回填：对平整后的土地进行均匀覆土。覆土来源为堆放在取土场内的施工便道剥离表土、施工生产生活区剥离表土、取土场剥离表土。取土场开挖坡面不进行人工覆土。对于边坡平台需采用栽植植被处，只在栽植坑内覆土。

②推土机整平：首先根据地块大小和平整程度，沿等高线方向标示地埂线，利用推土机分块将各单元的土地整平。整平后的土地达到土壤中无大粒径颗粒，土质较松软，可满足植物生长要求。

#### （4）植物措施

进行土地整治后直接采用撒播草籽的方式进行绿化。

#### （5）取土施工要求及组织管理建议

①土场开挖顺序要坚持先低后高、先近后远的原则，做到高土高用，低土低用，缩短运距，避免爬坡，在料场取土前，应先将耕作表土、草皮、树根等杂物清除干净。取土过程中要做到取土迹地尽量平整。

②开挖面坡度小于土体天然稳定角，断面高度不大于 6m，否则做削坡升级处理，同时在坡脚开挖排水沟。对开采形成的边坡进行修整，为保持边坡稳定，取土场边坡坡度应不大于 1: 1。对于高度大于 10m 的取土边坡，可每隔 8m 设

一边坡平台，平台宽1~2m，设横向排水沟，平台向内呈2%倒坡，以阻留坡面汇水，顺坡面平台排水沟排走，避免对下方边坡形成冲刷。

③开采过程中，要求分区开挖，尽量做到挖完一片，覆土恢复一片，绿化改造一片。防止开挖造成大面积裸露面，导致严重的水土流失。

④对于个别在平地取土的取土场可修成养鱼池，并在做好稳定、防渗处理后，在周围栽植不影响养鱼的植被，提高地表植被覆盖率。

### 3.3.3 弃土场防治区

弃渣场区水土流失主要发生在坡面上，经常发生的水土流失形式有沟蚀、滑坡和坍塌。影响弃渣流失的因素主要与弃土弃渣放置的地理位置、地形条件、汇流区径流的动力条件、弃渣的颗粒组成等物理特征以及防治措施状况等因素有关。对弃土场进行水土保持措施布设时，应对挡渣墙的设计、截水工程、土地整治、植被恢复等方面进行综合考虑：

#### (1) 挡渣墙设计

##### ①挡渣墙选址

根据工程施工组织设计，弃渣场占地主要为山地，挡渣墙布设选择“口小”地段，并避开不良地形地质地段。

##### ②挡渣墙稳定及应力分析计算

抗滑稳定计算公式：

$$K_c = \frac{f \sum V}{\sum H} \quad [3-7]$$

式中： $K_c$ —抗滑稳定安全系数；

$\sum V$ —作用于墙身上全部竖向荷载总和；

$\sum H$ —作用于墙身上全部水平荷载总和；

$f$ —底板与基础摩擦系数。

抗倾覆稳定计算公式：

$$K_0 = \frac{\sum My}{\sum Mo} \quad [3-8]$$

式中： $K_0$ —抗倾覆稳定安全系数；

$\sum My$ —作用于墙身上各力对墙前趾的稳定力矩；

$\sum Mo$ —作用于墙身上各力对墙前趾的倾覆力矩；

基底应力计算公式:

$$\sigma_{\min}^{\max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \quad [3-9]$$

式中:  $\sigma_{\min}^{\max}$ —挡渣墙基底应力最大值及最小值;

$B$ —墙底宽度;

$e$ —墙底压力的偏心矩。

### (2) 截水工程

弃渣场周边修建截水工程, 拦截坡面上方来水及引排周边集水。为防止坡面洪水直接排入弃渣场, 在渣场周边布设截洪沟与原排水系统连接, 对出口和排水系统连接高差较大的需设置台阶式跌水消能设施。

#### ① 洪峰流量的确定

坡面洪峰流量按《开发建设项目水土保持方案技术规范》公式 3-10 确定:

$$Q_B = 0.278 k \times i \times F \quad [3-10]$$

式中:  $Q_B$ —最大洪水洪峰流量,  $m^3/s$ ;

$k$ —径流系数, 按当地水文手册中的有关参数确定;

$i$ —平均 6h 降雨强度,  $mm/h$ ;

$F$ —山坡集水面积,  $km^2$ 。

#### ② 截洪沟断面尺寸确定

一般采用梯形断面, 断面尺寸按明渠均匀流公式计算确定。渠道纵坡采用 1/1000~1/2000, 内坡比均采用 1:0.75, 外坡比采用 1:1, 安全加高按  $\Delta h = 1/4 \cdot h + 0.2$  确定,  $h$  为通过洪峰流量时的水深。

#### ③ 护砌

弃渣场区土体较疏松, 易崩塌, 故对截洪沟进行护砌保护。

### (3) 土地整治

弃渣结束后, 对所有弃渣场进行土地整治。首先, 将弃土中集中堆放的剥离表层土覆盖于弃渣顶部, 使之覆土厚度达到 30cm 以上; 其次, 采用推土机将覆土推平, 整平坑洼地面; 最终, 使之达到可种植植被状态, 无大粒径块石, 土质较松软。

#### (4) 植物措施

对弃渣场进行土地整治后, 在平台区域内, 栽植适生物种。

#### (5) 弃渣堆放要求

弃渣场堆放的一部分弃土为清基表土。为满足弃渣结束后表土回填要求，最大限度利用施工剥离表土，堆放时要求放在渣场一侧，待弃渣结束后，在弃渣顶部堆放，以供渣场后期土地整治覆土所用。

为避免弃渣堆置不当产生水土流失，破坏公路沿线的自然景观，影响公路施工以及旅游交通，出渣必须严格按主体工程施工图设计制定的渣场集中堆放，不得沿途、沿河或沿沟随意倾倒。在施工过程中，若承包商提出更为经济可行的弃渣方案，也必须进行水土保持设计，报相关部门批准后实施。

对于施工中不能利用的石质弃渣，在堆放过程中，尽量将粒径较大的块石堆置在渣体前缘，使渣体排水良好，降低渣体浸润线。施工弃渣过程中，应对弃土弃渣分层碾压，渣体密度不小于80%。

#### 3.3.4 临时工程用地防治区

在施工中的临时占地，应将原有的地表有肥力土壤堆至一旁，待施工完毕后，再将这熟土恢复原有表层，以利于今后耕种。根据当地的自然情况，对裸露地除应覆盖外，还应绿化栽植，防止产生新的水土流失源。植物防护措施配置要求土地整治与造林种草措施相结合，对树种选择要做到适地适树，并结合生活及美化要求，可适当选择具有观赏价值的树种，在具体布设防护林带上要合理密植，注意乔、灌、草合理搭配，绿化与美化有机结合，形成综合性防护体系。

施工过程中若不采取有效的防护措施，将造成新增水土流失，对周边的农业生产带来不利影响。根据对外交通和项目区内地形条件，采取水土保持措施如下：

##### (1) 表土剥离及临时防护

在项目施工前，建议首先剥离表层熟土。剥离的表土和施工生产生活区以及附近取土场剥离的表土集中堆放在取土场角落，并用填土草袋临时挡护，以备该区后期整治过程中覆土之用。后期土地复垦部分，表土剥离及回填、整平投资计入土地复垦费，不重复计列。表土临时防护的工程量和投资在取土场区计算。

##### (2) 土地整治

施工结束后，对临时道路根据占用土地类型，分别采取复垦和植被恢复措施。其中，复垦措施列入占地补偿中，不再重复布置。

(3) 植物措施

对于不复耕山地，应进行全面植被恢复。

(4) 临时排水沟

为防止雨季水土流失对临时工程用地周围造成影响，在施工便道两侧设置临时排水沟。

### 3.3.5 移民安置和专项改线区水土保持措施

#### 3.3.5.1 移民安置区水土保持措施

公路选线过程中考虑到环境保护因素，尽量远离村庄，经过多方比选，拆迁少量房屋，在移民安置过程中，侵占水土保持设施的需另外进行水土流失治理或交纳水土流失防治费用。

#### 3.3.5.2 专项改线区水土保持措施

线路沿线涉及到改河、改路、改沟、改渠工程，均为建设单位经与当地政府协商后，补偿费用一次性付给，水土流失治理责任由当地政府负责。

在改线工程实施过程中，要严格控制弃渣的排放和堆置，严禁向河道、农田等基础设施排放建筑垃圾和弃土弃渣。在施工过程中还要尽量不损坏沿途其它设施，避免人为破坏，造成水土流失。

### 本章小结：

本章介绍了公路水土流失预测应包含的内容及基本方法，并阐述了公路水土保持的一些基本措施，对现有的植被水土保持的有效性研究作了简单介绍，为公路水土保持措施中大量应用生物措施提供了有力的依据。在此基础上，对高速公路建设水土保持进行了分区，并按划分区域提出了防治措施。为高速公路项目进行水土流失预测及防治提供了依据。

## 第 4 章 丹海高速公路项目水土流失预测及防治

本文以辽宁省丹东至海城高速公路为例，对丹海高速公路水土流失进行分析预测，阐述了高速公路建设项目水土流失的特点及防治对策，将工程措施与植物措施相结合，重视主体工程以外及施工建设期的水土保持措施，对该项目提出全面系统的水土保持措施，以期达到有效地改善公路沿线的生态环境的效果。

### 4.1 丹海高速公路项目概况及特点

#### 4.1.1 项目简介

丹东（东港）至海城高速公路起于丹庄高速公路（K77+920 东港市大孤山镇北），终点为沈大高速公路与盘海高速公路连接处，并通过海城枢纽立交与沈大、海盘两条高速公路相连接。线路总体走向呈东南～西北方向，路线经过两市三县（市）：丹东市（东港市）、鞍山市（岫岩县、海城市），全长 143.16km。是“国家高速公路网规划”中的丹东至锡林浩特高速公路的重要组成部分。

本项目全线采用四车道高速公路标准，计算行车速度 100 公里/小时，路基宽度 26 米；中间带 3.5m（含左侧路缘带和中央分隔带）；行车道  $2 \times (2 \times 3.75\text{m})$ ；硬路肩  $2 \times 3.0\text{m}$ （含右侧路缘带）；土路肩  $2 \times 0.75\text{m}$ 。全线采用全封闭、全立交，同时设有相应的安全设施、通讯和服务设施。

工程沿线共设置大桥 35 座，总长 10748.5m；中桥 17 座，总长 1268.5m；小桥 19 座，总长 229.5m；高架桥 4 座，总长 1747.6m；涵洞 121 道；隧道 15648.00m/8 座；路线交叉互通式立交 10 座（其中 2 座为枢纽立交）、分离式立交主线上跨 3284.28m/36 座、主线下穿 249.01m/3 座；通道 2978m/136 道；天桥 246m/3 座；沿线安全设施 143.16km；服务区 2 处、收费站 6 处、监控通信所及养护工区 2 处。工程土石方开挖  $1151.96 \text{万 m}^3$ （其中土方  $523.33 \text{万 m}^3$ 、石方  $628.63 \text{万 m}^3$ ），填土方  $1971.92 \text{万 m}^3$ ，排水及防护工程  $21.86 \text{万 m}^3$ （其中浆砌片石  $13.79 \text{万 m}^3$ 、浆砌块石  $1.0 \text{万 m}^3$ 、砼  $7.07 \text{万 m}^3$ ），沥青砼路面  $237.7 \text{万 m}^2$ 。工程总占地  $1301.88\text{hm}^2$ ，其中永久占地  $974.77\text{hm}^2$ ，临时占地  $327.11.11\text{hm}^2$ 。

本工程概算总额为 72.92 亿元。

## 4.1.2 项目区自然状况及社会经济概况

### 4.1.2.1 地形、地貌、地质状况

路线自东南部滨海区向西北横跨构造剥蚀低山及丘陵，逐渐进入冲积平原区。区内地形中间高，两侧低。山脉走向多呈北东向，线路左右各10km范围内最高山峰海拔960m。

线路通过区地层主要为下元古界辽河群片岩、片麻岩、大理岩、变质岩、浅粒岩及侵入岩、混合岩等，侵入岩分布广泛，岩性复杂，主要分布于项目区K26~K60+400、K79~K104段。

#### (1) 不良地质现象：

滑坡、崩塌、泥石流：据区域灾害地质资料，岫岩至海城孤山段为具有发生泥石流、滑坡地质灾害背景区。构造断块侵蚀中低山区，山体多为圆顶、尖顶状，坡角一般20-40°，局部地段大于40°，岩层倾角一般大于30°，存在滑坡、崩塌等地质灾害发生、发展的条件，且区内沟谷多为“V”或“U”字形狭窄山谷，其表层松散岩类易在雨季随洪水涌动，形成泥石流。尤其对工程的挖方段和隧道区有影响。

土质崩塌：区内山前、坡洪积扇地上，地表冲沟极发育，呈树枝状、鸡爪状，其断面多呈“V”字形，沟壁近直立，堆积较厚的坡洪积物，雨季沿陡坎处易形成坍塌，对工程建设有一定影响。

#### (2) 活动断裂与地震

线路大部处于构造剥蚀低山丘陵区，第三纪以来长期处于缓慢上升阶段，为相对地震多发区，断裂构造发育，存在四条大的活动断裂，因此整体为地壳相对稳定区——次不稳定区。大孤山至岫岩地区具有Ⅶ级发震背景，段内有三条活动断裂通过。

### 4.1.2.2 气候、水文特征

项目区属半湿润大陆性气候区，东部沿海气候较为湿润，西部山区较为干旱，四季分明，温差变化大。年平均降雨量在700~900mm，雨季多集中于7~8月份，降水量可达350~500mm，占全年降水量50~60%。年平均气温6.5℃~9℃，由11月中旬至翌年4月中旬为冰冻期，最低气温在12月至翌年1月，最高气温在7~8月，无霜期150天左右，年平均风速3.1m/s，最大冻深1.40m左右。

项目区内河流发育, 主要为大洋河、雅河、汤池河、偏岭河、海城河。线路通过区以低山丘陵及山间谷地为主, 地下水类型较简单。地下水按赋存条件可分为基岩裂隙水、碳酸盐岩类裂隙岩溶水、碎屑岩裂隙孔隙水和松散岩类孔隙水。大气降水入渗为主要补给方式, 排泄方式以地下水径流、河水排泄及人工开采排泄为主。地下水径流条件较好, 总体从线路中部向两头流出项目区, 分别汇入渤海及黄海。

项目区典型的地带性土壤为棕壤, 占土壤类型 42%以上。本区非地带性土壤相当发育, 沿线地区的耕作土为水稻土。东港市境内分布面积较大的是棕壤土类棕壤型土亚类; 岫岩县土壤以棕壤为主, 草甸土次之, 还有少部分水稻土和沼泽土; 海城市土壤主要类型为棕壤土类和草甸土, 水稻土和沼泽土数量较小。

项目区位于华北植物区系, 属暖温带落叶阔叶林带。隶属辽东半岛低山丘陵赤松麻栎落叶阔叶林地区(二级)中的丹东——庄河低山丘陵松林、麻栎林、赤松林区(三级); 岫岩县柞树为主要树种, 森林覆盖率 44.15%; 海城市有乔、灌木树种 210 余种, 主要植物群落为油松及落叶阔叶混交林, 阔叶林和草本群落。项目区植被主要品种有杨树、槐树、柞树、水曲柳、花曲柳、五角枫、红松、落叶松、柏类、紫穗槐、枫杨等, 林草植被覆盖率约 30%。

### 4.1.3 施工组织、主要施工工艺、场区布置

#### 4.1.3.1 施工组织

辽宁省高等级公路建设局为本工程的业主, 对全段的施工计划、财务、外购材料, 施工机具设备、施工技术、质量要求, 施工验收及工程决算统一管理。采用公开招标的方式, 分标段组织施工力量进场施工。本项目计划于 2008 年 5 月开工建设, 2011 年 5 月结束, 预计总工期为 3 年。

#### 4.1.3.2 施工工艺

##### (1) 路基工程

路基填筑: 土方路基以机械施工为主, 在路基及取土场、弃渣场两侧红线范围内沿线开挖临时排水设施。路基填料取自路堑挖方及取土场, 机械开挖并由自卸汽车运输。土方路基用推土机初平, 平地机精平, 振动压路机碾压成型。路基填到设计标高后, 人工刷坡, 按设计坡度将边坡和平台刷整齐; 对于石方

路基，石料在路堑段用挖掘机或装载机装车，自卸汽车运至填筑地点，采用渐进式摊铺法施工，填石路基的压实采用重型压路机进行压实，采用大型冲击夯进行复压。

挖方路堑：土方路堑开挖采用机械自上而下分层纵向开挖。人工配合机械边开挖边刷坡，开挖出来的土方用自卸汽车运至路基填筑点或弃渣场。路堑分段成型后，整平坡面，及时施工坡面防护工程。开挖前坡顶做好截水沟及吊沟；深挖路基施工经过雨季时，对已开挖的边坡用塑料薄膜进行覆盖。土方使用165KW以内推土机、10m<sup>3</sup>以内铲运机、配2m<sup>3</sup>以内装载机，利用料及土料场取土用10t自卸汽车运输至填筑段填筑，弃料用10t自卸汽车运输至弃渣场。施工便道土石方亦以机械施工为主，要求挖填土石方平衡，少量的弃土、石渣就近选择凹坑、洼地埋填处理。

### (2) 桥涵工程

水上桥梁施工工序为搭建施工平台—基础施工—桥梁上部构造施工；旱地桥梁施工工序为平整施工场地—基础施工—桥梁上部构造施工。

跨越水体的桥梁基础施工在枯水期进行，桥、涵基础水下部分采用在土石围堰、钢板桩围堰，钢筋砼板桩围堰、双壁钢围堰等内施工，水中围堰高度高出施工期间可能出现的最高水位0.5-0.7m。开挖料除用作基础回填外，弃渣用自卸汽车运至分散弃渣场处理；水上部分和一般土石方施工相同。

### (3) 隧道工程

隧道施工的主要工序为：施工准备—施工测量—洞口工程—隧道开挖、施工支护、施工期防水排水—衬砌—永久性防水排水设施—路基与路面施工—附属设施施工。

隧道洞口开挖土石方工程中，在进洞前完成洞口排水系统，开挖前清除洞口上方有可能滑塌的表土、灌木及山坡危石，洞口施工避开雨季。洞口衬砌拱墙与洞内相连的拱墙同时施工，连成整体。洞口的节水排水设施与洞口工程配合施工，并与路堑排水系统连通。

隧道装渣设备选用能在隧道开挖面内发挥高效率的机械，其装渣能力与每次开挖土石方量及运输车辆的容量相适应，妥善布置装渣线，并有专人指挥卸渣、平整。

### (4) 交叉工程

本项目与沿线各等级公路、主要乡村道路及铁路交叉修建成分离式立交、

互通式立交、天桥，在乡村道路十分密集的地方考虑了适当的合并。

互通式立交的桥梁和分离式立交的桥梁根据跨越的公路的宽度以及斜交角度而定，上部构造采用预应力空心板及连续梁结构；下部构造采用钻孔灌注桩或天然基础、柱式墩台或钢筋砼轻型墩台等。

#### 4.1.3.3 施工生产生活区布置

本工程共布置施工生产生活区 52 处，占地 146.83hm<sup>2</sup>，占地类型为耕地、山地。其布置原则如下：施工前期进行征地拆迁。各标段根据自身承担的工作量和完成工期，计划安排好应投入的劳动力，按投入的劳动力选择适当位置临时租用，顺地形平整场地搭建工棚，采用定型角钢屋架，压木顶棚和板壁进行拼装，并可多次重复。预制场、拌合场、堆料场可结合工程就地平整场地，以方便施工，工棚不得搭建于公路用地或边沟内侧，以防阻碍交通。

#### 4.1.3.4 施工便道布置

丹东（东港）至海城高速公路工程与现有省道大盘线(S312)、海岫铁路基本并行，相交叉的公路主要有丹庄高速公路、沈大高速公路、国道黑大线（G202）、省道张庄线(S203)、省道桓盖线(S309)、省道岫水线(S321)，此外区域内还有国道鹤大线(G201)、省道吉高线(S322)以及发达的县乡道路，运输条件整体较好，交通便利，个别山区路段需修建施工便道。

工程共布置施工便道 13.8km，占地 8.28hm<sup>2</sup>，占地类型为耕地、山地。其布置原则如下：施工时各路段可就近连接修筑施工便道至各施工点，便道应铺设简易路面，并加强经常性的养护。

#### 4.1.3.5 取土场布置

本工程共布置取土场 18 个，占地 172hm<sup>2</sup>，占地类型主要为山地。其布置原则是：按路段设置取土场，并且在该路段内取土运距小于 8km；取土量严格根据主体工程土石方调运情况确定；取土场应选择土层较厚的山地，避免在基本农田中取土。

#### 4.1.3.6 弃渣场布置

本工程共布置弃渣场 12 个，占地 49.27hm<sup>2</sup>，占地类型为山地。其布置原则是：遵循就近、方便、尽量减少水土流失的原则；各弃渣场平均运距保证在 5km

之内；路基土石方调运严格按设计进行，按设计要求进行弃渣。

## 4.2 项目区水土流失现状

项目区位于长大铁路以东，属辽东低山丘陵区，区内植被状况较好，分部有大面积的天然林和人工次生林，土壤侵蚀主要以水力侵蚀为主，线路所经三市（县）水土流失总面积 3081km<sup>2</sup>，土壤侵蚀强度以轻度侵蚀为主，占 61%，其次为中度侵蚀，占 28%，局部地段有强度、极强度甚至剧烈侵蚀。根据《关于划分国家级水土流失重点防治区的公告》（2006 年第 2 号，中华人民共和国水利部公告），项目区属国家级水土流失重点监督区；根据《辽宁省人民政府关于确定水土流失重点防治区划分公告》（辽政发[1998]48 号），丹东(东港)至海城高速公路，在东港市境内属水土流失重点预防保护区；岫岩县境内属水土流失重点治理区，其中在岫岩县偏岭镇属水土流失重点监督区；在海城市境内属水土流失重点监督区。

路线 K1+000~K18+980 段属东港市，根据《东港市水土保持规划》（2006 年—2020 年），全市现有水土流失面积 451km<sup>2</sup>，占全市总面积的 18%。其中，轻度侵蚀面积 344km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 76%；中度侵蚀面积 106km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 24%；强度侵蚀面积 0.6km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 0.1%。路线经过区域属辽宁省东部低山丘陵中度水土流失区。经咨询当地水土保持工作人员，并通过路线经过乡镇土壤侵蚀模数加权平均计算，路线经过区域土壤侵蚀模数为 1188t/(km<sup>2</sup>·a)。

路线 K18+900~K91+985 段属岫岩县，根据《岫岩满族自治县县水土保持规划》（2006 年—2020 年），全市现有水土流失面积 1825km<sup>2</sup>，占全市总面积的 40%。其中，轻度侵蚀面积 984km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 54%；中度侵蚀面积 615km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 34%；强度侵蚀面积 89km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 5%；极强度侵蚀面积 71km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 4%；剧烈侵蚀面积 67km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 4%。路线经过区域属辽宁省水土流失重点治理区和水土流失重点监督区。经咨询当地水土保持工作人员，并通过路线经过乡镇土壤侵蚀模数加权平均计算，路线经过区域土壤侵蚀模数为 1500t/(km<sup>2</sup>·a)。

路线 K91+985~K143+769 段属海城市，根据《海城市水土保持规划》（2006 年—2020 年），全市现有水土流失面积 805km<sup>2</sup>，占全市总面积的 29%。其中，

轻度侵蚀面积 549km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 68%；中度侵蚀面积 151km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 19%；强度侵蚀面积 25km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 3%；极强度侵蚀面积 55km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 7%；剧烈侵蚀面积 25km<sup>2</sup>，占水土流失总面积的 3%。路线经过区域属辽宁省水土流失重点治理区。经咨询当地水土保持工作人员，并通过路线经过乡镇土壤侵蚀模数加权平均计算，路线经过区域土壤侵蚀模数为 1500t/(km<sup>2</sup>·a)。

根据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190~96)，项目区所属土壤侵蚀类型区为东北黑土区(低山丘陵和漫岗丘陵区)，确定本项目土壤容许流失量为 200t/km<sup>2</sup>·a。项目区各市县水土流失强度分级统计见表 4.1。

表 4.1 项目区水土流失现状情况表

项目		东港市	岫岩县	海城市
微度侵蚀	面积 (km <sup>2</sup> )	—	—	—
	占水土流失面积比重%	—	—	—
轻度侵蚀	面积 (km <sup>2</sup> )	344	984	549
	占水土流失面积比重%	76	54	68
中度侵蚀	面积 (km <sup>2</sup> )	106	615	151
	占水土流失面积比重%	24	34	19
强度侵蚀	面积 (km <sup>2</sup> )	1	89	25
	占水土流失面积比重%	0	5	3
极强度侵蚀	面积 (km <sup>2</sup> )	0	71	55
	占水土流失面积比重%	0	4	7
剧烈侵蚀	面积 (km <sup>2</sup> )	0	67	25
	占水土流失面积比重%	0	4	3
轻度侵蚀以上	面积 (km <sup>2</sup> )	451	1825	805
	占全县土地总面积比重%	18	40	29
平均侵蚀模数 (t/km <sup>2</sup> ·a)		979	1500	1500
沟壑密度(km/km <sup>2</sup> )		0.15		0.45

## 4.3 丹海高速公路水土流失预测

### 4.3.1 预测分区

根据高速公路建设特点，将项目区划分为主体工程区[包括路基工程区（其中包括桥涵工程和隧道工程）、互通式立交区、分离式立交区、天桥、沿线设施工程区（其中服务区、收费站、监控通信所及养护工区）]、取土场区、弃渣场区、临时工程区（包括施工便道区、施工生产生活区）、移民安置和专项改线区，并分区进行预测。

### 4.3.2 预测时段

根据丹东（东港）至海城高速公路工程实施计划，工程建设期3年，水土流失预测时段根据项目施工区域和影响区域的特点，对不同的区域采取不同的预测时段，以路基工程建设时间为主，将本项目的水土流失预测时段分为工程建设期3年，工程运行初期（植被恢复期）1年。

### 4.3.3 水土流失预测内容

#### 4.3.3.1 扰动原地貌、损坏土地和植被的面积

本工程对原地貌扰动主要是由主体工程区[包括路基工程区（其中包括桥涵工程和隧道工程）、互通式立交区、分离式立交区、天桥、沿线设施工程区（其中服务区、收费站、监控通信所及养护工区）]、取土场区、弃渣场区、临时工程区（包括施工便道区、施工生产生活区）、移民安置和专项改线区施工建设引起的。根据工程调查报告和实地查勘，对项目建设区开挖扰动地表、占压土地和林草植被的面积分别进行测算，经统计工程建设期、运行初期共扰动地表、占压土地和林草植被面积为1301.88hm<sup>2</sup>。扰动地表、占压土地和林草植被面积汇总见表4.2。

表 4.2 建设期扰动地表、占压土地和林草植被面积汇总表

项目		面积 (hm <sup>2</sup> )				
		合计	东港	岫岩	海城	
主体工程区	路基工程区	749.42	79.47	386.81	283.14	
	桥涵工程区					
	隧道工程区					
	交叉工程区	互通式立	84.54	26.28	30.57	27.69
		分离式立	2.10	1.18		0.92
		天桥	0.64	0.35		0.29
	沿线设施工程区	服务区	8.00		4.00	4.00
		收费站	1.80	0.32	0.90	0.59
监控通信		2.63		1.29	1.34	
弃渣场区		49.27	10.12	22.95	16.20	
临时工程区	施工便道区	8.28	0.96	4.50	2.82	
	施工生产生活区	146.83	12.79	84.30	49.75	
取土场区		172.00	16.67	78.67	76.67	
移民安置及专项改线	移民安置	14.40	0.60	8.25	5.55	
	专项改线	61.98	11.68	36.59	13.71	
	小计	76.38	12.28	44.84	19.26	
合计		1301.88	160.41	658.82	482.65	

#### 4.3.3.2 损坏水土保持设施数量预测

根据辽宁省有关规定,包括各类水土保持工程和旱地、水地、菜田、林地、果园、荒地、山地、滩涂、其它农地等,丹东(东港)至海城高速公路项目建设损坏水土保持设施的总面积为 1222.11hm<sup>2</sup>,详见表 4.3。

#### 4.3.3.3 工程弃渣量预测

工程总挖方 1151.96 万 m<sup>3</sup>,其中挖土方 523.33 万 m<sup>3</sup>,挖石方 628.63 万 m<sup>3</sup>;总填方 1971.92 万 m<sup>3</sup>,其中回填土方 336.48 万 m<sup>3</sup>,回填石方 555.90 万 m<sup>3</sup>,借土方 1009.30 万 m<sup>3</sup>、透水性材料 70.24 万 m<sup>3</sup>;总弃方 246.36 万 m<sup>3</sup>,其中弃土方 129.16 万 m<sup>3</sup>,弃石方 117.20 万 m<sup>3</sup>。总计产生弃渣量为 246.36 万 m<sup>3</sup>。

表 4.3 损坏水土保持设施面积表

项目	征 地 种 类 及 数 量 (hm <sup>2</sup> )												合计
	基本农田			农村集体耕地			林地	果园	荒地	其他农用地	山地		
	水田	旱田	菜田	水田	旱田	菜田							
路基工程区													
桥涵工程区													
隧道工程区													
主体工程区	互通式立交	9.88	72.19										84.54
	分离式立交		2.10										2.10
	天桥		0.59										0.59
沿线设施工程区	服务区				8.00								8.00
	收费站				1.80								1.80
	监控通信所及养护工区				2.63								2.63
小计	41.18	529.42	4.76	0.14	36.66	12.60	100.30	31.01	7.88	5.41		769.35	
弃渣场区		18.37						1.89			29.01	49.27	
施工便道区		7.98									0.30	8.28	
施工生产生活区	4.00	138.60									4.23	146.83	
小计	4.00	146.58									4.53	155.11	
取土场区											172.00	172.00	
移民安置区											14.40	14.40	
专项改线区		61.98										61.98	
总计	45.18	756.34	4.76	0.14	36.66	12.60	100.30	32.90	7.88	5.41	219.94	1222.11	

### 4.3.4 水土流失量预测方法及结果

根据水土流失实际情况，不同区域采取不同的水土流失预测方法，具体如下：

(1) 对弃渣堆(场)根据弃土的堆置形式、形态、断面、坡度、周边来水等情况，分别考虑不同坡度(包括平台和斜坡)，通过实测和类比法相结合等获得相应的土壤侵蚀模数，并按垂直投影面积分类计算流失量。

(2) 对主体工程区[包括路基工程区(包括桥涵工程和隧道工程)、互通式立交区、分离式立交区、天桥、沿线设施工程区(包括服务区、收费站、监控通信所及养护工区)]、临时工程区(包括施工便道区、施工生产生活区)、取土场区、移民安置和专项改线区，可能造成水土流失量采用类比法进行估算。

#### 4.3.4.1 类比工程

经过对工程概况、项目区自然环境状况、水土流失特点等的综合分析，已建成的沈大高速公路改扩建工程与本工程项目临近，而且其工程特性、施工工艺、项目区的气候条件、地形地貌、地质条件、土壤、植被、水土流失情况及水土保持状况等方面与本项目比较相似，建设过程中的水土流失状况等对本工程水土流失预测具有较好的可类比性，采用类比法能够较准确地进行定性或定量预测。因此，本项目选择以沈大高速公路改扩建工程为类比调查对象进行预测。详见表4.4。

通过对类比工程的调查、分析，得出类比工程建设过程中各区域的土壤侵蚀模数，利用类比工程原生的以及建设过程中的水土流失情况，在对本工程资料进行分析的基础上，结合项目区的降水、地形、地貌、植被、土壤、水土流失现状及水土保持状况等进行分析，拟定的土壤侵蚀模数，进行水土流失预测。

表 4.4 类比工程基本情况比较表

项目	沈大高速公路改扩建工程	丹海高速公路
地理位置	<p>沈大高速公路改扩建工程全线纵贯辽东半岛，位于东经 123°19'13"~121°33'34"，北纬 41°48'10"~38°57'14"，总方位由东北向西南延伸。</p>	<p>丹东(东港)至海城高速公路连接丹庄高速公路和沈大高速公路改扩建工程，并与盘海高速公路相对接。项目起于东港市孤山镇，经岫岩满族自治县进入海城市，终止于沈大高速公路改扩建工程与盘海高速公路连接处—海城枢纽立交，与现有省道大盘线(S312)走向基本一致，地理坐标位于东经 123°34'03"~122°36'31"，北纬 39°55'41"~40°49'28"。</p>
工程概况	<p>沈大高速公路改扩建工程起点为沈阳市苏家屯区金宝台收费站，里程桩号 K15+485，终点为大连市甘井子区后盐收费站，里程桩号 K363+540。改扩建里程 347.96km。</p>	<p>本项目是《国家高速公路网规划》中的丹东至锡林浩特高速公路的重要组成部分，连接东港和海城。项目起于东港市孤山镇北丹东至庄河高速公路 K78+396.70，项目终点——沈大高速公路改扩建工程与盘海高速公路连接处，并通过海城枢纽立交与两条高速公路相连接。途经东港市、岫岩县、海城市共 2 个市（县）。公路主线全长 143.16km。</p>
地形地貌	<p>沈阳至瓦房店市李官镇（营口盖州市与大连瓦房店市交界处）之间处于辽河东侧，路线位于东部山前倾斜平原与下辽河和滨海平原的过渡带上，地形较平坦，以平原地貌为主，地形起伏不大，地面高程一般在海拔 9~34m。其中营口老边区至盖州市熊岳镇一带靠近沿海地区，地势低洼，因受潮汐和洪涝影响，地表呈沼泽化和盐渍化。李官镇（营口至大连市交界处）至大连段位于东部低山、丘陵区，以低丘、山间谷地为主。该段属于千山山脉，走向呈北东及近东西向，路线经过地区地面高程一般在海拔 34~200m。局部临海地段，由于海进海退形成了沿滨海平原分布的海相或海陆交互的沉积带，但分布有限，厚度不大。</p>	<p>路线走廊带自东南部滨海区向西北横跨构造剥蚀低山及丘陵，逐渐进入冲积平原区。区内地形中间高，两侧低。山脉走向多呈北东向，设计带左右各 10km 范围内最高山峰海拔 960m。起点至岫岩南段 K0+000~K8+000 为海蚀台地地貌，地面标高 20~60m，顶部平坦，边坡陡立；K8+000~K47+250 为低山~河谷地貌，地形起伏较大，低山地面标高一般 500~900m，地形坡度 20°~40°。岫岩南至偏岭段低山地面标高一般 500~700m，地形坡度 20°~30°。偏岭至牌楼段 K68+500~K79+000，地面标高一般 500~700m，地形起伏较大，低山成尖顶状 20°~30°；K79+000~K89+000 河谷~低山地貌，地形起伏较大；K89+000~K101+500 河谷~边坡地貌，地面起伏较大；K101+500~K117+212 河谷~边坡地貌，地面起伏较大。牌楼至终点段 K116+400~K139+994 丘陵~河谷平原地貌地面标高一般 300~500m，坡度 10°~20°，线路 500~1000m 局部为低山丘陵区，地面略有起伏。</p>

续表 4.4 类比工程基本情况比较表

项目	沈大高速公路改扩建工程公路改扩建工程	丹海高速公路
地质条件	沈大高速公路改扩建工程位于大地构造上的新华系一级沉降带和新华系一级隆起带过渡地带。沿线工程地质分区：下辽河冲积平原区，K15~K141+000地势平坦、第四系沉积巨厚、工程地质条件较好；山前冲积倾斜平原区，K141+000~K151+500地势平坦、第四系沉积较薄、工程地质条件较好；滨海沉积平原区，K151+500~K190+000地势平坦、上部6m左右土质较弱、工程地质条件较差；山前冲积倾斜平原区，K190+000~K231+400地势平坦、第四系沉积较薄、工程地质条件较好；剥蚀低山丘陵区，K231+400~K363+540地势起伏大、基岩出露风化、工程地质条件较好；滨海泻湖相沉积区，K318+000~K321+000近海沉积、上部厚达12m淤泥粘性土、软弱、工程地质条件较差；K321+000~K357+500近海沉积、上部厚达3m近海淤积砂土、软弱、工程地质条件较差。	线路通过区地层主要为下元古界辽河群片岩、片麻岩、大理岩、变质岩、浅粒岩及侵入岩、混合岩等，侵入岩分布广泛，岩性复杂，主要分布于推荐方案 K26~K60+400、K79~K104 段。
气候条件	设计带位于暖温带半湿润半干旱季风区。根据气象资料，7月平均最高气温为27.9℃~29.4℃，极端最高气温35.3℃~38.3℃，发生在每年7月份；全年月平均最低气温为-8.1℃~-17.2℃，极端最低气温为-21.1℃~-34.9℃，发生在每年的1月份。全年最大冻土深为0.93m~1.48m，最大积雪深为21~37cm；最大风速为21.0~29.7m/s，每年的4月份偶有发生，有风天数少；年降水量为620mm~730mm，7~8月份降水量约占全年的50%；多年平均24小时最大降雨量——沈阳：84.2mm、辽阳：89.9mm、鞍山：90.4mm、营口：95.2mm、大连：102.5mm。项目区水土流失以水力侵蚀为主。	设计带属半湿润大陆性气候区，东部沿海气候较为湿润，西部山区较为干旱，四季分明，温差变化大。年平均降雨量在700~900mm，雨季多集中于7~8月份，降水量可达350~500mm，占全年降水量50~60%。年平均气温7.1℃~8.3℃，由11月中旬至翌年4月中旬为冰冻期，最低气温在12月至翌年1月，最高气温在7~8月，无霜期140天左右，年平均风速3.1m/s，标准冻深1.40m左右。
水文条件	沈大高速公路改扩建工程经过五大城市。沈阳、辽阳、鞍山地区隶属太子河及辽河流域，主要河流为：北沙河、太子河、南沙河、五道河、及海城河。本地区河流均为平原区宽滩性河流，河底纵坡较小，表现为季节性河流的特点。营口、大连地区临近辽东湾，河流流水直接注入渤海，主要河流为：淤泥河、大清河、熊岳河、华铜河、复州河及岚固河等。该地区河流具有山丘区和山前区河流特点，河流长度段比降大，水流流速急，除洪水季节外平时水量很小，大部分为次稳定河段。因丘陵植被不良，往往易出现水患。线路通过区域地下水分为松散盐类孔隙水、碎屑类孔隙水、基岩裂隙水。	设计带内河流发育，主要为大洋河、雅河、汤池河、偏岭河、海城河。线路通过区以低山丘陵及山间谷地为主，地下水类型较简单。地下水按赋存条件可分为基岩裂隙水、碳酸盐岩类裂隙岩溶水、碎屑岩裂隙孔隙水和松散岩类孔隙水。大气降水入渗为主要补给方式；排泄方式以地下水径流、河水排泄及人工开采排泄为主。地下水径流条件较好，总体从线路中部向两头流出设计带，分别汇入渤海及黄海。

第 4 章 丹海高速公路项目水土流失预测及防治

续表 4.4 类比工程基本情况比较表

项目	沈大高速公路改扩建工程公路改扩建工程	丹海高速公路
土壤概况	项目区位于辽东山地丘陵棕壤、暗壤区及辽东半岛棕壤亚区。	项目区典型的地带性土壤是棕壤，占土壤类型 42% 以上。本区非地带性土壤相当发育，沿线地区的耕作土为水稻土。
植被概况	项目大部分路段处于辽东半岛暖温带湿润的赤松栎林矮林区，属华北植物区系。代表植物有：赤松、油松、麻栎、栓皮栎、槲栎等，主要植被类型有针阔混交赤松栎林、落叶阔叶林、次生灌丛、人工林等。公路沿线多为水浇地、旱田及果园。	项目区位于华北植物区系。项目区植被主要品种有杨树、槐树、水曲柳、花曲柳、五角枫、红松、落叶松、柏类、紫穗槐、枫杨等。植被覆盖率约 30%。
水土流失情况	沈大高速公路改扩建工程路段经过地区土壤侵蚀情况分三个路段：①沈阳市苏家屯区至海城市感王镇（K15+495~K144+904 即鞍山海城市与营口市交界处）路段长 129km，该段处于辽河东侧，路线位于东部山前倾斜平原区，地形平坦，以平原地貌为主，地形起伏不大，地面高程一般在海拔 9~20m，地表植被以旱田、水田等农作物为主，土壤侵蚀模数 200~2500 t/(km <sup>2</sup> ·a)；②鞍山市海城市感王镇至瓦房店市李官镇（K144+904~K238+541 即营口市与大连瓦房店市交界处）路段长 94km，该段处于东部山前倾斜平原与下辽河和滨海平原区的过渡带上，地形较平坦，以平原地貌为主，地形起伏不大，地面高程一般在海拔 9~34m，地表植被以旱田、水田、果树等农作物为主，高速公路沿线每侧 100 米范围内于 2001 年间种植绿化幼林，土壤侵蚀模数为 500~3000t/(km <sup>2</sup> ·a)；③李官镇（营口与大连市交界处）至本项目重点地大连市境段（K238+541~K363+540）路段长 125km，该段位于东部低山、丘陵区，以低丘、山间谷地为主。该段属于千山山脉，走向成北东及近东西向，路线经过地区地面高程一般在海拔 34~200m。地表植被以旱田、果树等农作物为主，高速公路沿线每侧 100 米范围内于 2001 年间种植绿化幼林，土壤侵蚀模数为 500~3500t/(km <sup>2</sup> ·a)。	项目区土壤侵蚀类型主要为水力侵蚀。具体为：①路线 K0+000~K19+400 段属东港市，根据《辽宁省人民政府关于确定水土流失重点防治区的公告》（辽政发[1998]48 号），项目区所在地属低山丘陵中度流失区，土壤侵蚀类型以水蚀为主根据东港市水土保持规划结果，项目区土壤侵蚀模数为 1187.55t/(km <sup>2</sup> ·a)；②路线 K19+400~K91+530 段属岫岩县，为辽宁省水土流失重点治理区和水土流失重点监督区，土壤侵蚀类型以水蚀为主，土壤侵蚀模数为 1500.00t/(km <sup>2</sup> ·a)；③路线 K91+530~K143+769 段属海城市，为辽宁省水土流失重点治理区，土壤侵蚀模数为 2033.33t/(km <sup>2</sup> ·a)。

从表 4-4 中可以看出本工程和类比工程自然地理特性及工程情况基本相似，因此认为“丹东（东港）至海城高速公路”各分区的土壤侵蚀模数可类比“沈大高速公路改扩建工程”各分区的侵蚀模数。

根据 2004 年 6 月对沈大高速公路改扩建工程进行水土流失监测试验及 2005 年 9 月实地查勘结果，量测分析施工建设期土壤侵蚀模数如表 4.5。

表 4.5 对类比工程的实地查勘和量测分析表

序号	查勘位置	现状	典型量测	土壤侵蚀模数(t/km <sup>2</sup> .a)				
				沈阳段	辽阳段	鞍山段	营口段	大连段
1	路基、桥涵、隧道工程区	工程基本完成	勘测样方 10m×10m, 样方土体松散状态, 有明显流失痕迹, 经调查和估测, 流失总量可达到 0.36t/a。	3671	3588	3613	3603	3693
2	互通式立交							
3	分离式立交							
4	天桥							
5	沿线设施工程区							
6	弃渣场区	平台	选取其中一个单元弃渣, 总方量约 200m <sup>3</sup> , 堆渣坡度 30°左右, 经调查和实地估测总量可达到 5966t/a。	11990	11408	11586	10550	11907
		斜坡						
7	施工便道区	工程基本完成	勘测样方 10m×10m, 样方土体松散状态, 有明显流失痕迹, 经调查和估测, 流失总量可达到 0.26t/a。	3648	4565	3591	2477	3795
8	施工生产生活区							
9	取土场区	工程基本完成	选取其中一个单元弃渣, 总方量约 200m <sup>3</sup> , 堆渣坡度 30°左右, 经调查和实地估测总量可达到 5966t/a。	5876	3793	5819	3706	3795
10	移民安置区	工程基本完成		3421	5430	6500	2956	3710
11	专项改线区	工程基本完成		1500	1453	2006	1798	200

## 4.3.4.2 原地貌水土流失量预测

根据线路的分布情况，结合沿途对项目建设区实地调查及收集资料整理分析，考虑植被、地形地貌、降雨量等因素，与沈大高速公路改扩建工程进行类比，确定项目区原地貌的土壤侵蚀模数背景值，详见表4.6。

表4.6 原地貌土壤侵蚀模数背景值

土地类型	地类特性	地貌类型	侵蚀强度	土壤侵蚀模数背景值 (t/km <sup>2</sup> .a)
耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	丘陵区	轻度	300
	5°<坡度<15°,覆盖度>40%	低山丘陵区	轻度	700
	15°<坡度<25°,覆盖度<40%	低山丘陵区	轻度	1500
林地	坡度<25°,覆盖度<10%	丘陵区	中度	2000
	坡度<25°,10%<覆盖度<20%	丘陵区	中度	1700
	坡度<25°,20%<覆盖度<30%	丘陵区	轻度	1400
	坡度<25°,30%<覆盖度<40%	丘陵区	轻度	1100
	坡度<25°,覆盖度>40%	丘陵区	轻度	800
山地	坡度>25°,覆盖度<10%	低山区	中度	2500
	坡度>25°,10%<覆盖度<20%	低山区	中度	2300
	坡度>25°,20%<覆盖度<30%	低山区	中度	2100
	坡度>25°,30%<覆盖度<40%	低山区	中度	1900
	坡度>25°,覆盖度>40%	低山区	中度	1700
荒地	坡度>25°,覆盖度>40%	低山丘陵区	中度	2200
	坡度<25°,覆盖度>40%	低山丘陵区	轻度	1800
果园	5°<坡度<15°,覆盖度>40%	低山区	微度	200
工矿及住宅地	建筑物覆盖	平原区	微度	200
旧路	路面	低山丘陵区	轻度	1000
河流沟渠	沟道	沟壑区	轻度	1000
养鱼池	坡度<5°	平原区	微度	—

根据原地貌土壤侵蚀模数背景值，计算得到原地貌水土流失量为 52613t，详见表 4.7。

表 4.7 按土地类型统计的不同场地的水土流失量背景值

地 类		面积 ( $\text{hm}^2$ )	土壤侵 蚀模数 ( $\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ )	预测 时段 (a)	水土 流失 量 (t)
耕地	坡度 $<5^\circ$ ，覆盖度 $>40\%$	400.12	300	4	4801
	$5^\circ<$ 坡度 $<15^\circ$ ，覆盖度 $>40\%$	200.57	700	4	5616
	$15^\circ<$ 坡度 $<25^\circ$ ，覆盖度 $<40\%$	260.39	1500	4	15623
林地	坡度 $<25^\circ$ ，覆盖度 $<10\%$	9.28	2000	4	742
	坡度 $<25^\circ$ ， $10\%<$ 覆盖度 $<20\%$	12.57	1700	4	855
	坡度 $<25^\circ$ ， $20\%<$ 覆盖度 $<30\%$	33.65	1400	4	1884
	坡度 $<25^\circ$ ， $30\%<$ 覆盖度 $<40\%$	28.00	1100	4	1232
	坡度 $<25^\circ$ ，覆盖度 $>40\%$	16.80	800	4	538
山地	坡度 $>25^\circ$ ，覆盖度 $<10\%$	9.60	2500	4	960
	坡度 $>25^\circ$ ， $10\%<$ 覆盖度 $<20\%$	15.99	2300	4	1471
	坡度 $>25^\circ$ ， $20\%<$ 覆盖度 $<30\%$	129.88	2100	4	10910
	坡度 $>25^\circ$ ， $30\%<$ 覆盖度 $<40\%$	50.00	1900	4	3800
	坡度 $>25^\circ$ ，覆盖度 $>40\%$	14.47	1700	4	984
荒地	坡度 $>25^\circ$ ，覆盖度 $>40\%$	6.00	2200	4	528
	坡度 $<25^\circ$ ，覆盖度 $>40\%$	1.88	1800	4	135
果园	$5^\circ<$ 坡度 $<15^\circ$ ，覆盖度 $>40\%$	32.90	200	4	263
工矿及住宅地	建筑物覆盖	26.38	200	4	211
旧路	路面	19.66	1000	4	786
河流沟渠	沟道	31.80	1000	4	1272
养鱼池	坡度 $<5^\circ$	1.94	—	4	—
合计		1301.88			52613

#### 4.3.4.3 新增水土流失量预测

##### (1) 不同预测分区及预测时段

根据水土流失因子分析、水土流失防治责任范围界定，结合施工布置将项目区分为13个预测区的面积和预测时段，详见表4.8。

##### (2) 扰动地貌土壤侵蚀模数的确定

采用沈大高速公路改扩建工程水土流失实测资料，结合项目区经过各市（县）提供的水土保持规划资料，根据地貌类型对实测资料进行修正，项目区扰动地表后土壤侵蚀模数详见表4.9。

##### (3) 新增水土流失量预测

经预测，预测时段内水土流失总量为181445t，其中新增水土流失量为128847t。工程扰动地表水土流失量详见表4.10。

表 4.8 各分区预测时段划分

预测分区	地类	地类特性	面积 (hm <sup>2</sup> )	预测时段 (a)					
				未扰动期	施工准备期	工程建设期	工程运行初期		
主体工程区	路基、桥涵、隧道工程区	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	220.12	0	0	3	1	
			5°<坡度<15°,覆盖度>40%	200.57	0	0	3	1	
			15°<坡度<25°,覆盖度<40%	109.81	0	0	3	1	
		林地	坡度<25°,覆盖度<10%	9.28	0	0	3	1	
			坡度<25°,10%<覆盖度<20%	12.57	0	0	3	1	
			坡度<25°,20%<覆盖度<30%	33.65	0	0	3	1	
			坡度<25°,30%<覆盖度<40%	28.00	0	0	3	1	
			坡度<25°,覆盖度>40%	16.80	0	0	3	1	
			坡度>25°,覆盖度>40%	6.00	0	0	3	1	
		荒地	坡度<25°,覆盖度>40%	1.88	0	0	3	1	
		果园	5°<坡度<15°,覆盖度>40%	31.01	0	0	3	1	
		工矿及住宅地	建筑物覆盖	26.38	0	0	3	1	
		旧路	路面	19.60	0	0	3	1	
	河流沟渠	沟道	31.80	0	0	3	1		
	养鱼池	坡度<5°	1.94	0	0	3	1		
	交叉工程区	互通式立交	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	84.54	1.92	0.08	1	1
			耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	2.10	1.92	0.08	1	1
		天桥	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	0.59	1.92	0.08	1	1
			旧路	路面	0.05	1.92	0.08	1	1
			服务区	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	8.00	2.67	0.08	0.25
沿线设施工程区	收费站	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	1.80	2.67	0.08	0.25	1	
	监控通信所及养护工区	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	2.63	2.67	0.08	0.25	1	
小计			849.12						
弃渣场区	弃渣场平台	山地	坡度>25°,覆盖度<10%	1.20	0	0	3	1	
			坡度>25°,10%<覆盖度<20%	1.27	0	0	3	1	
			坡度>25°,20%<覆盖度<30%	11.80	0	0	3	1	
			坡度>25°,30%<覆盖度<40%	8.26	0	0	3	1	
			坡度>25°,覆盖度>40%	3.35	0	0	3	1	
		耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	16.39	0	0	3	1	
	果园	5°<坡度<15°,覆盖度>40%	1.69	0	0	3	1		
	弃渣场斜坡	山地	坡度>25°,覆盖度<10%	0.15	0	0	3	1	
			坡度>25°,10%<覆盖度<20%	0.15	0	0	3	1	
			坡度>25°,20%<覆盖度<30%	1.43	0	0	3	1	
			坡度>25°,30%<覆盖度<40%	1.00	0	0	3	1	
			坡度>25°,覆盖度>40%	0.41	0	0	3	1	
		耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	1.98	0	0	3	1	
果园		5°<坡度<15°,覆盖度>40%	0.20	0	0	3	1		
临时工程区	施工便道区	耕地	15°<坡度<25°,覆盖度<40%	7.98	2.83	0.08	0.08	1	
		山地	坡度>25°,覆盖度<10%	0.30	2.83	0.08	0.08	1	
	施工生产生活区	耕地	15°<坡度<25°,覆盖度<40%	142.60	2.83	0.08	0.08	1	
		山地	坡度>25°,覆盖度<10%	4.23	2.83	0.08	0.08	1	
小计			155.11						
取上场区	山地	坡度>25°,覆盖度<10%	3.72	0	0	3	1		
		坡度>25°,10%<覆盖度<20%	0.17	0	0	3	1		
		坡度>25°,20%<覆盖度<30%	116.65	0	0	3	1		
		坡度>25°,30%<覆盖度<40%	40.74	0	0	3	1		
		坡度>25°,覆盖度>40%	10.72	0	0	3	1		
移民安置和专项改线区	移民安置区	山地	坡度>25°,10%<覆盖度<20%	14.40	2.83		0.17	1	
	专项改线区	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	61.98	2.83		0.17	1	
		总计		1301.88					

表 4.9 丹东（东港）至海城高速公路工程扰动地表后土壤侵蚀模数表

项目		原地貌特性		土壤侵蚀模数 ((t/km <sup>2</sup> .a))				
				未扰动期	施工准备期	工程建设期	工程运行初期	
主体工程区	路基、桥涵、隧道工程区	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	300	300	4000	240	
			5°<坡度<15°,覆盖度>40%	700	700	5500	550	
			15°<坡度<25°,覆盖度<40%	1500	1500	8000	1200	
		林地	坡度<25°,覆盖度<10%	2000	2000	9000	1500	
			坡度<25°,10%<覆盖度<20%	1700	1700	9000	1200	
			坡度<25°,20%<覆盖度<30%	1400	1400	8000	1300	
			坡度<25°,30%<覆盖度<40%	1100	1100	7000	900	
		荒地	坡度<25°,覆盖度>40%	800	800	6000	600	
			坡度>25°,覆盖度>40%	2200	2200	5500	1700	
		果园	坡度<25°,覆盖度>40%	1800	1800	5000	1400	
			5°<坡度<15°,覆盖度>40%	200	200	3500	150	
		工矿及住宅地	建筑物覆盖	200	200	3500	150	
		旧路	路面	1000	1000	6000	800	
	河流沟渠	沟道	1000	1000	6000	800		
	养鱼池	坡度<5°	—	—	3500	150		
	交叉工程区	互通式立交	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	300	1000	2000	240
			荒地	坡度<5°,覆盖度>40%	300	1000	2000	240
		天桥	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	300	1000	2000	240
			旧路	路面	1000	1700	3000	800
	沿线设施工程区	服务区	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	300	1000	2000	240
收费站		耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	300	1000	2000	240	
监控通信所及养护工区		耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	300	1000	2000	240	
弃渣场区	弃渣场平台	山地	坡度>25°,覆盖度<10%	2500	2500	5400	2000	
			坡度>25°,10%<覆盖度<20%	2300	2300	5000	1800	
			坡度>25°,20%<覆盖度<30%	2100	2100	4600	1600	
			坡度>25°,30%<覆盖度<40%	1900	1900	4200	1500	
		坡度>25°,覆盖度>40%	1700	1700	3800	1400		
	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	300	300	1000	240		
	果园	5°<坡度<15°,覆盖度>40%	200	200	800	150		
	弃渣场斜坡	山地	坡度>25°,覆盖度<10%	2500	2500	11000	2000	
			坡度>25°,10%<覆盖度<20%	2300	2300	10000	1800	
			坡度>25°,20%<覆盖度<30%	2100	2100	9000	1800	
			坡度>25°,30%<覆盖度<40%	1900	1900	8500	1500	
		坡度>25°,覆盖度>40%	1700	1700	7500	1300		
		耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	300	300	2000	240	
果园	5°<坡度<15°,覆盖度>40%	200	200	1500	150			

续表 4.9 丹东（东港）至海城高速公路工程扰动地表后土壤侵蚀模数表

项目		原地貌特性		土壤侵蚀模数 (t/km <sup>2</sup> .a)			
				未扰动期	施工准备期	工程建设期	工程运行初期
临时工程区	施工便道区	耕地	15°<坡度<25°,覆盖度<40%	1500	2200	4000	1200
		山地	坡度>25°,覆盖度<10%	2000	2700	6500	1600
	施工生产生活区	耕地	15°<坡度<25°,覆盖度<40%	1500	2200	4000	1200
		山地	坡度>25°,覆盖度<10%	2500	3200	6500	2000
取土场区		山地	坡度>25°,覆盖度<10%	2500	2500	6500	2000
			坡度>25°,10%<覆盖度<20%	2300	2300	6000	1800
			坡度>25°,20%<覆盖度<30%	2100	2100	5500	1600
			坡度>25°,30%<覆盖度<40%	1900	1900	5000	1500
			坡度>25°,覆盖度>40%	1700	1700	4500	1300
移民安置及专项改线区	移民安置区	山地	坡度>25°,10%<覆盖度<20%	2300	3000	6000	1800
	专项改线区	耕地	坡度<5°,覆盖度>40%	300	1000	2000	240

第 4 章 丹海高速公路项目水土流失预测及防治

表 4.10 丹东（东港）至海城高速公路工程扰动地表水土流失量预测表

项目	面积 (km <sup>2</sup> )	未扰动区			施工准备期			工程运行初期			扰动地 表后水 土流失 量 (t)	新增水 土流失 量 (t)		
		时段 (a)	水土流 失模数 (t/km <sup>2</sup> a)	水土流 失量 (t)	时段 (a)	水土流 失模数 (t/km <sup>2</sup> a)	水土流 失量 (t)	时段 (a)	水土流 失模数 (t/km <sup>2</sup> a)	水土流 失量 (t)				
主体工程区	耕地	坡度<5°，覆盖度>40%	0	300	0	0	3	4000	26415	1	240	528	24302	
		5°<坡度<15°，覆盖度>40%	0	700	0	0	3	5500	33094	1	550	1103	28581	
		15°<坡度<25°，覆盖度<40%	0	1500	0	0	3	8000	26355	1	1200	1318	21084	
		坡度<25°，覆盖度<10%	0	2000	0	0	3	9000	2506	1	1500	139	1902	
		坡度<25°，10%<覆盖度<20%	0	1700	0	0	3	9000	3394	1	1200	151	3545	
	林地	坡度<25°，20%<覆盖度<30%	0	1400	0	0	3	8000	8076	1	1300	437	6629	
		坡度<25°，30%<覆盖度<40%	0	1100	0	0	3	7000	5680	1	900	252	4900	
		坡度<25°，覆盖度>40%	0	800	0	0	3	6000	3024	1	600	101	3125	
		坡度>25°，覆盖度>40%	0	2200	0	0	3	5500	990	1	1700	102	1092	
		坡度<25°，覆盖度>40%	0	1800	0	0	3	5000	282	1	1400	26	308	
主体工程区	果园	5°<坡度<15°，覆盖度>40%	0	200	0	0	3	3500	3256	1	150	47	3302	
		31.01	0	200	0	0	3	3500	3256	1	150	47	3302	
	路基、桥梁、隧道工程区	工矿及住宅地	建筑物覆盖	0	200	0	0	3	3500	2770	1	150	40	2599
			26.38	0	200	0	0	3	3500	2770	1	150	40	2599
		旧路	路面	0	1000	0	0	3	6000	3529	1	800	157	3685
			19.60	0	1000	0	0	3	6000	3529	1	800	157	3685
		河流沟渠	沟道	0	1000	0	0	3	6000	5723	1	800	254	4706
			31.80	0	1000	0	0	3	6000	5723	1	800	254	4706
		养鱼池	坡度<5°	0	—	0	0	3	3500	204	1	150	3	207
			1.94	0	—	0	0	3	3500	204	1	150	3	207
交叉工程区	耕地	坡度<5°，覆盖度>40%	1.92	300	486	0.08	1000	70	1	2000	1691	203	2430	
		84.54	1.92	300	12	0.08	1000	2	1	2000	42	5	36	
	2.10	1.92	300	3	0.08	1000	0	1	2000	12	1	10		
	0.59	1.92	300	1	0.08	1700	0	1	4000	2	0	4		
	0.05	1.92	1000	1	0.08	1000	7	0	4000	80	19	170		
设施工程区	服务区	8.00	2.67	300	64	0.08	1000	1	0	4000	18	4	38	
	收费站	1.80	2.67	300	14	0.08	1000	1	0	4000	26	6	56	
	2.63	2.67	300	21	0.08	1000	2	0	4000	6	6	24		
小计	849.12	602	83	127568	4898	132951	108461							

第4章 丹海高速公路项目水土流失预测及防治

续表 4.10 丹东（东港）至海城高速公路工程扰动地表水土流失量预测表

项目	原地貌特性	面积 ( $\text{hm}^2$ )	未扰动期			施工准备期			工程施工期			工程运行初期			扰动地 表原水 土流失 量(t)	新增水 土流失 量(t)
			时段 (a)	水土 流失 量(t)	水土 流失 失模数 ( $\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ )											
弃渣场区	弃渣场平台	坡度 $>25^\circ$ 、覆土度 $<10\%$	0	2500	0	0	2500	0	3	5400	195	1	2000	24	19	99
		坡度 $>25^\circ$ 、 $10\% \leq$ 覆土度 $<20\%$	0	2100	0	0	2100	0	3	5000	190	1	1800	23	213	96
		坡度 $>25^\circ$ 、 $20\% \leq$ 覆土度 $<30\%$	11.80	2100	0	0	2100	0	3	4600	1629	1	1600	189	1817	826
	耕地 果园	坡度 $>25^\circ$ 、 $30\% \leq$ 覆土度 $<40\%$	8.26	1900	0	0	1900	0	3	4200	1041	1	1500	124	1165	537
		坡度 $>25^\circ$ 、覆土度 $>40\%$	3.35	1700	0	0	1700	0	3	3800	381	1	1400	47	428	201
		坡度 $<5^\circ$ 、覆土度 $>40\%$	16.39	300	0	0	300	0	3	1000	492	1	240	39	531	334
弃渣场斜坡	山地	坡度 $>25^\circ$ 、覆土度 $<10\%$	0	200	0	0	200	0	3	800	40	1	150	3	43	30
		坡度 $>25^\circ$ 、 $10\% \leq$ 覆土度 $<20\%$	0.15	2500	0	0	2500	0	3	11000	48	1	2000	3	51	36
		坡度 $>25^\circ$ 、 $20\% \leq$ 覆土度 $<30\%$	1.43	2300	0	0	2300	0	3	10000	46	1	1800	3	49	35
	耕地 果园	坡度 $>25^\circ$ 、 $30\% \leq$ 覆土度 $<40\%$	1.00	1900	0	0	1900	0	3	8500	255	1	1500	15	270	194
		坡度 $>25^\circ$ 、覆土度 $>40\%$	0.41	1700	0	0	1700	0	3	7500	91	1	1300	5	96	69
		坡度 $<5^\circ$ 、覆土度 $>40\%$	1.98	300	0	0	300	0	3	2000	119	1	240	5	124	100
施工便道区	耕地	坡度 $<5^\circ$ 、覆土度 $>40\%$	0	200	0	0	200	0	3	1500	9	1	150	0	9	8
		坡度 $>25^\circ$ 、 $15^\circ \leq$ 覆土度 $>40\%$	0.20	1500	339	0.08	2200	15	0	8000	53	1	2500	200	606	128
		坡度 $>25^\circ$ 、 $20\% \leq$ 覆土度 $<40\%$	7.98	2100	17	0.08	2700	2	1	6500	2	1	2000	6	25	1
	山地	坡度 $>25^\circ$ 、覆土度 $<10\%$	0.30	283	2000	0.08	2200	261	0	4000	475	1	2000	2852	9649	1093
		坡度 $>25^\circ$ 、 $15^\circ \leq$ 覆土度 $<40\%$	142.60	283	2500	0.08	3200	11	0	6500	23	1	2500	106	440	17
		坡度 $>25^\circ$ 、覆土度 $<10\%$	4.23	155.11	6717	0.08	288	553	0	3163	10721	1239	799	427	18	
临时工程区	小计	坡度 $>25^\circ$ 、覆土度 $<10\%$	3.72	0	2500	0	0	2500	0	3	6500	725	1	2000	74	34
		坡度 $>25^\circ$ 、 $10\% \leq$ 覆土度 $<20\%$	0.17	0	2100	0	0	2100	0	3	6000	31	1	1800	3	18
		坡度 $>25^\circ$ 、 $20\% \leq$ 覆土度 $<30\%$	116.65	0	2100	0	0	2100	0	3	5500	19247	1	1600	1866	21114
	取土场区	坡度 $>25^\circ$ 、 $30\% \leq$ 覆土度 $<40\%$	40.74	0	1900	0	0	1900	0	3	5000	6111	1	1300	611	6722
		坡度 $>25^\circ$ 、覆土度 $>40\%$	10.72	0	1700	0	0	1700	0	3	4500	1448	1	1300	139	1587
		坡度 $>25^\circ$ 、 $10\% \leq$ 覆土度 $<20\%$	14.40	2.83	2300	938	0	3000	0	0	6000	144	1	1800	259	1342
移民安置及专项改线区	耕地	61.98	2.83	300	527	0	1000	0	0	2000	207	1	240	149	882	
	小计	1301.88	8784	371	160627	11663	128847	181445	128847							

### 4.3.5 预测结论与综合分析

#### 4.3.5.1 预测结果

(1) 工程建设共扰动地表、占压土地和林草植被面积为 1301.88hm<sup>2</sup>；损坏水土保持设施的面积为 1222.11hm<sup>2</sup>；

(2) 预测期内共产生弃土 129.16 万 m<sup>3</sup>，弃石 117.20 万 m<sup>3</sup>，总计产生弃渣量为 246.36 万 m<sup>3</sup>；

(3) 预测期内，可能造成的水土流失总量为 181445t，新增水土流失量为 128847t。

#### 4.3.5.2 综合分析及建设性意见

##### (1) 综合分析

在工程建设中，若不采取科学的、有效的水土流失防治措施，将导致区域生态环境恶化，制约区域经济的可持续发展。

分析项目区内水土流失类型、强度和时段得出，在工程建设期随着表面细小颗粒前期流失、植被的逐年恢复，扰动地表水土流失量会逐年递减，水土流失呈现先强后弱的特点。水土流失重点年份为 2008 年、2009 年、2010 年、2011 年。水土流失重点区域为主体工程区[包括路基工程区（包括桥涵工程和隧道工程）、互通式立交区、分离式立交区、天桥、沿线设施工程区（包括服务区、收费站、监控通信所及养护工区）]、弃渣场区、临时工程区（包括施工便道区、施工生产生活区）、取土场区。详见表 4.11。

表 4.11 预测结果及综合分析表

时段	重点流失区域		重点防治区段	
工程建设期间	主体工程区	路基工程区	路基边坡两侧	
		桥涵工程区		
		隧道工程区		
		交叉工程区	互通式立交	施工扰动区域两侧
			分离式立交	施工扰动区域两侧
			天桥	施工扰动区域两侧
		沿线设施工程区	服务区	施工扰动区域四周
	收费站		施工扰动区域四周	
	监控通信所及养护工区		施工扰动区域四周	
	弃渣场区		弃渣斜坡和平台	
	临时工程区	施工便道区	施工扰动区域	
施工生产生活区		施工扰动区域		
取土场区		取土开挖区域		

## 4.4 丹海高速公路水土流失防治措施

### 4.4.1 水土流失防治目标

本工程项目区属于国家级水土流失重点监督区，根据生产类项目水土流失防治标准适用条件和工程的特点，确定本工程水土流失防治适用一级防治标准，防治责任范围水土流失防治应达到以下六项指标，并作为本项目水土保持设施竣工验收的依据。

本工程具体的防治目标包括扰动土地整理率、总治理度、土壤流失控制比、拦渣率、植被恢复系数、林草覆盖率等6项指标。具体为：

(1) 在工程建设过程中，严格控制扰动土地面积，采取有效措施保护水土资源，尽量减少对植被的破坏，尽可能恢复因工程建设和生产过程中破坏的耕地和林草植被，恢复土地生产力。对建设过程中扰动的土地面积进行综合治理，竣工验收时扰动土地治理率达到95%以上。

(2) 在工程建设和生产过程中对防治责任范围内施工活动造成的水土流失

进行防治，竣工验收时防治责任范围内水土流失总治理度达到95%以上。

(3) 在施工过程中采取有效预防和控制措施，对开挖、排弃、堆垫等场地进行防护、整治，并采取必要的护坡、截排水措施。并对扰动土地及时整治，恢复植被和土地生产力。通过水土保持监测，严格控制施工过程中的水土流失。土壤侵蚀控制比在竣工验收时控制在1.2以内。

(4) 严格按设计要求弃土弃渣，做到先拦后弃，弃土弃渣结束后平整覆土恢复植被，竣工验收时拦渣率控制在98%以上。

(5) 对生产和建设过程中形成的裸露地表、具备绿化条件的尽可能恢复植被。工程竣工验收时植被恢复系数达到98%以上。

(6) 防治责任范围内宜林宜草地，尽量种植林草绿化。在竣工验收时防治责任范围内林草植被覆盖率达到25%以上。

水土流失防治目标采用建设类项目一级标准，各分区按设计水平年防治目标见表4.12。

表4.12 水土流失防治目标表

序号	项目		扰动土地治理率	水土流失治理度	土壤侵蚀模数控制比	拦渣率	林草覆盖率	植被恢复系数
1	分区防治目标	主体工程区	96%	95%	1.2	98%	20%	100%
2		弃渣场区	95%	96%	1.2	98%	90%	98%
3		临时工程区	95%	94%	1.2	96%	20%	97%
4		取土场区	95%	95%	1.2	98%	50%	98%
综合防治目标			95%以上	95%以上	1.2	98%以上	25%以上	98%以上

#### 4.4.2 水土流失防治责任范围

本工程水土流失防治责任范围共1771.04 hm<sup>2</sup>，包括项目建设区1225.51hm<sup>2</sup>和直接影响区545.54hm<sup>2</sup>。

#### 4.4.2.1 项目建设区

项目建设区，包括工程永久占地和临时占地。本工程项目建设区包括主体工程区（路基工程区、桥涵工程区、隧道工程区、交叉工程工程区、沿线设施工程区）面积 898.39hm<sup>2</sup>；弃渣场区面积 49.27hm<sup>2</sup>；临时工程区（施工生产生活区和施工便道区）面积 155.11hm<sup>2</sup>；取土场区面积 172.00hm<sup>2</sup>。项目建设区总面积为 1225.51hm<sup>2</sup>。

#### 4.4.2.2 直接影响区

直接影响区指公路建设整地范围以外，由于公路建设造成的水土流失对周围的农田、道路、河流、村庄等可能直接产生危害的区域。本工程直接影响区包括：主体工程项目直接影响区（路基工程直接影响区、桥涵工程直接影响区、隧道工程直接影响区、交叉工程直接影响区、沿线设施工程直接影响区）面积为 447.30hm<sup>2</sup>，弃渣场直接影响区面积 0.66hm<sup>2</sup>，临时工程直接影响区面积 16.86hm<sup>2</sup>，取土场直接影响区面积 4.34hm<sup>2</sup>，移民安置区面积 14.40hm<sup>2</sup>，专项改线工程区面积 61.98hm<sup>2</sup>。

直接影响区确定范围具体依据如下：

##### （1）路基工程直接影响区

路基工程填方、半填半挖路段下边坡暂时按公路用地外 3m 范围以内计算。

##### （2）桥涵工程直接影响区

桥涵工程下游影响区按河流下游 100m 计算。

##### （3）隧道工程直接影响区

隧道洞门下方影响范围最大暂按 50m 计，至所在山坡脚不足 50m 的按实际距离计算，影响区宽度按洞口宽度的 3 倍计算。

##### （4）交叉工程直接影响区

交叉工程对周围的影响主要集中在两侧各 3m 范围以内。

##### （5）沿线设施工程直接影响区

沿线设施对周围的影响主要集中在两侧各 3m 范围以内。

##### （6）弃渣场直接影响区

弃渣场下边坡影响范围暂时按用地外 3m 范围以内计算。

##### （7）施工便道直接影响区

按施工便道两侧各 1m 范围计算。

(8) 施工生产生活直接影响区

预制场、施工现场对周围的影响一般在周围 4m 范围内。

(9) 取土场直接影响区

按取土场周围 5m 范围计算。

(10) 移民安置区

移民安置区面积按实际安置移民占地面积计算。

(11) 专项改线工程区

专项改线工程区面积按改线实际占地面积计算。

水土流失防治责任范围面积汇总详见表 4.13。

表 4.13 水土流失防治责任范围表

项目		面积 (hm <sup>2</sup> )				备注		
		合计	东港	岫岩	海城			
项目 建设区	主体工程区	路基工程区	749.42	79.47	386.81	283.14		
		桥涵工程区						
		隧道工程区						
		交叉工程 区	互通式立 交	84.54	26.28	30.57	27.69	
			分离式立 交	2.10	1.18	0.00	0.92	
			天桥	0.64	0.35	0.00	0.29	
		沿线设施 工程区	服务区	8.00		4.00	4.00	
			收费站	1.80	0.32	0.90	0.59	
			监控通信 所及养护 工区	2.63		1.29	1.34	
	弃渣场区		49.27	10.12	22.95	16.20		
	临时工 程区	施工便道区	8.28	0.96	4.50	2.82		
		施工生产生活区	146.83	12.79	84.30	49.75		
	取土场区		172.00	16.67	78.67	76.67		
	小计		1225.51	148.13	613.98	463.40		
直接 影响区	主体工程直接 影响区	路基工程填方、半填半 挖路段下边坡	86.26	11.39	43.50	31.37	按公路用地外3m范 围内	
		桥涵工程跨河桥位下 游	138.50	15.39	85.92	37.19	河流下游100m范围 内	
		隧道工程洞门下边坡	220.50	31.50	189.00	0.00	隧道洞门下方50m (不足50m的按实 际距离计算),宽度 为洞口宽度3倍	
		交叉工程直接影响区	0.89	0.23	0.15	0.51	两侧各3m范围内	
		沿线设施工程直接影 响区	1.15	0.07	0.57	0.51	两侧各3m范围内	
	弃渣场下边坡		0.66	0.13	0.34	0.18	用地外3m范围内	
	临时工 程直接 影响区	施工便道直接影响区	2.76	0.32	1.50	0.94	两侧各1m范围内	
		施工生产生活直接影 响区	14.10	1.32	8.35	4.43	周围4m范围内	
	取上场直接影响区		4.34	0.82	1.77	1.75	周围5m范围内	
	移民安置及专 项改线区	移民安置区	14.40	0.60	8.25	5.55	按实际面积	
		专项改线区	61.98	11.68	36.59	13.71	按实际面积	
	小计		545.54	73.44	375.95	96.15		
	总计		1771.04	221.57	989.93	559.55		

### 4.4.3 水土保持措施总体布局

针对工程建设中各分区各部位的水土流失具体情况，因地制宜采取防治措施。

项目区水土流失防治，实行水土保持“三同时”制度，以项目建设区为重点防治区域，采取系统的防治措施。项目区水土保持措施布设总的指导思想为：工程措施和植物措施有机结合，点、线、面上水土流失防治相辅佐，充分发挥工程措施控制性和时效性，保证在短时期内遏制或减少水土流失，再利用水土保持林草和土地整治措施涵水保土，保护新生地表，实现水土流失综合防治。

本项目水土流失防治措施体系及总体布局见表 4.14。

表 4.14 水土保持措施总体布局表

序号	分区		措施	工程	方案层次	
1	主体工程区	路基工程区	工程措施	表土剥离	表层土为耕植土, 剥离厚度为 0.3m	主体工程设计
				防护工程	路堤挡墙防护、路堑矮挡墙、网格护坡	主体工程设计
				排水工程	边沟、泄水槽、排水沟等	主体工程设计
			植物措施	植物防护工程	植草护坡	主体工程设计
				绿化美化工程	中央分隔带绿化设计	主体工程设计
			施工临时工程	临时排水沟	在坡底两侧距离路基 50cm 处修筑临时排水沟	水土保持方案设计
		边埂		边埂为排水沟挖方堆砌、拍实	水土保持方案设计	
		桥涵工程区	工程措施	砌石防冲护坡	10 号浆砌块石	主体工程设计
		隧道工程区	工程措施	护坡	10 号浆砌块石	主体工程设计
		交叉工程区	工程措施	表土剥离	表层土为耕植土, 剥离厚度为 0.3m	主体工程设计
				土地整治工程	微地形整治、场地平整	主体工程设计
				防护工程	实体护坡或拱形护坡、浆砌石沉沙池	主体工程设计
			植物措施	绿化美化工程	植树、种草等	主体工程设计
				植物恢复工程	撒播草籽	主体工程设计
			施工临时工程	临时排水沟	在互通式立交、分离式立交和天桥施工占地两侧修筑临时排水沟	水土保持方案设计
		边埂		边埂为排水沟挖方堆砌、拍实	水土保持方案设计	
		沿线设施施工区	工程措施	表土剥离	表层土为耕植土, 剥离厚度为 0.3m	主体工程设计
				土地整治工程	场地平整	主体工程设计
			植物措施	绿化美化工程	植树、种草等	主体工程设计
			施工临时工程	临时排水沟	在沿线设施工程施工占地两侧修筑临时排水沟	水土保持方案设计
				边埂	边埂为排水沟挖方堆砌、拍实	水土保持方案设计
2	弃渣场区	工程措施	挡渣墙	在弃渣场出口处修建半重力式浆砌块石挡渣墙	水土保持方案设计	
			截水工程	在弃渣场外缘修建截洪沟, 浆砌石护砌, 沟底水泥砂浆抹面	水土保持方案设计	
			土地整治	表土回填、整平	水土保持方案设计	
		植物措施	平台	行状栽植刺槐	水土保持方案设计	
			斜坡	行状栽植胡枝子	水土保持方案设计	

续表 4.14 水土保持措施总体布局表

序号	分区		措施	工程	方案层次	
3	临时工程区	施工便道区	工程措施	表土剥离	表层土为耕植土, 剥离厚度为0.3m	主体工程设计
				表面硬化	铺垫碎石, 形成泥结碎石层	主体工程设计
				土地整治	0.3hm <sup>2</sup> 的山地表土剥离、表土回填、推土机整平	水土保持方案设计
			植物措施	耕地	复垦	主体工程设计
				山地	行状栽植紫穗槐	水土保持方案设计
		施工临时工程	临时排水沟	在施工便道两侧设置临时排水沟。	水土保持方案设计	
		施工生产生活区	工程措施	表土剥离	表层土为耕植土, 剥离厚度为0.3m	主体工程设计
				土地整治	4.23hm <sup>2</sup> 的山地表土剥离、表土回填、推土机整平	水土保持方案设计
			植物措施	耕地	复垦	主体工程设计
				山地	行状栽植紫穗槐	水土保持方案设计
施工临时工程	临时排水沟		在施工生产生活区施工占地两侧设置临时排水沟。	水土保持方案设计		
4	取土场区	工程措施	表土剥离	表层土为耕植土, 剥离厚度为0.3m	主体工程设计	
			土地整治工程	覆土、场地平整	水土保持方案设计	
			周边截水措施	截水沟	水土保持方案设计	
		植物措施	取土边坡	撒播沙打旺草籽	水土保持方案设计	
			取土迹地	带状混交小叶杨和紫穗槐	水土保持方案设计	
		施工临时工程	表土临时防护	填土草袋压脚、堆土周围挖临时排水沟	水土保持方案设计	
5	移民安置及专项改线区					

根据丹海高速公路建设特点, 水土流失可划分为五个区域: 主体工程区、取土场区、弃渣场区、临时工程区、移民安置和专项改线区。针对五个不同的防治区域, 提出有针对性的水土流失防治措施。

#### 4.4.4 各分区水土保持防治措施

##### 4.4.4.1 主体工程水土保持措施

丹海高速公路建设的主体工程防治区面积为  $849.13\text{hm}^2$ ，共包括路基工程区、桥涵工程区、隧道工程区、交叉工程区及沿线设施工程区。

项目主体工程水土保持措施在布设过程中主要根据本文第三章第三节中主体工程防治区的水土保持措施布设方法。

项目工程路线长  $143.16\text{km}$ ，路基宽  $26\text{m}$ ，占地面积为  $749.42\text{hm}^2$ 。施工期水土保持措施以临时排水措施为主。本项目在路堤填筑及路堑开挖施工之前，坡底两侧距离路基  $50\text{cm}$  处先修筑临时性的排水沟和边埂，按  $3\sim 6\text{h}$  最大降雨标准计算，排水沟断面尺寸为高  $0.3\text{m}$ ，顶宽  $0.75\text{m}$ ，底宽  $0.3\text{m}$ ，边坡  $1:0.75$ 。边埂、坡底临时排水沟断面见图 4.1。

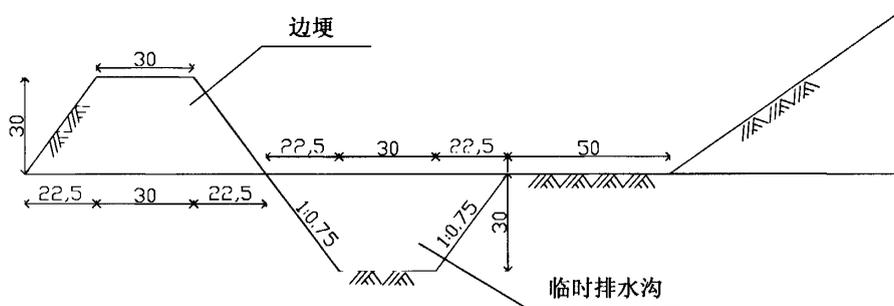


图 4.1 临时排水沟、边埂典型断面设计图（单位：cm）

项目隧道采用钻爆法施工，采用全断面开挖。对于隧道的裸露开挖面，进行仰坡防护，采用综合护坡、挂网植草或喷砼技术。

项目交叉工程区占地共  $87.28\text{hm}^2$ ，水土保持措施主要为施工期临时排水措施，其边埂、坡底临时排水沟断面见图 4.1。在主体工程施工前，需对交叉工程区的表土进行剥离。

项目沿线设施工程区主要包括服务区、收费站、监控通信所及养护工区等。占地共  $12.43\text{hm}^2$ 。

项目沿线设施主施工前先修筑临时性排水沟和边埂，施工结束后，将边埂回填至排水沟。按  $3\sim 6\text{h}$  最大降雨标准计算，排水沟断面尺寸为高  $0.3\text{m}$ ，顶宽  $0.75\text{m}$ ，底宽  $0.3\text{m}$ ，边坡  $1:0.75$ 。边埂、坡底临时排水沟断面见图 4.1。在主体工程施工前，需对沿线设施工程区的表土进行剥离。

#### 4.4.4.2 取土场水土保持措施

本项目共需借土方 1030.2 万  $m^3$ 。规划取土场 18 处，占地 172  $hm^2$ ，平均取土深度 6m。取土场现状基本为未开发山地，土层较厚，开采后可形成平地或浅凹地。

##### (1) 周边截水措施

按 3~6h 最大降雨标准计算，对取土场周边布设截水沟，截水沟断面尺寸为高 0.3m，顶宽 0.75m，底宽 0.3m，边坡 1:0.75。工程量为截水沟长 15845m，挖方 2495.57  $m^3$ ，取土场截水沟断面见图 4.2。

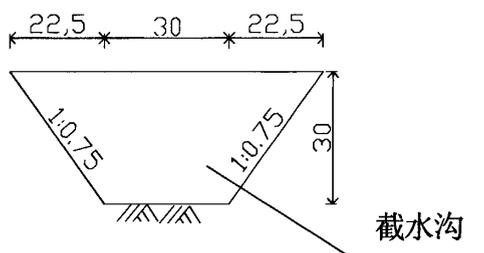


图 4.2 取土场截水沟典型设计断面图 (单位: cm)

##### (2) 剥离表土的临时防护和排水措施

本工程取土场共清理表层土 51.60 万  $m^3$ ，另有施工便道区表层土 2.48  $m^3$ ，施工生产生活区清理表层土 46.62  $m^3$ ，合计 100.71  $m^3$ ，分别堆放于 18 处取土场征地边缘，堆高 6m。土堆下部用填土草袋护脚进行临时性防护。填土草袋临时防护高度为 1.0m。共需填土草袋 1455  $m^3$ ，周边布设土质临时排水沟，临时排水沟长 11642m。设计标准采用 3h 最大降雨标准计算，排水沟断面尺寸为深 0.3m，底宽 0.3m，边坡 1:0.75。临时排水沟断面见图 4.3。

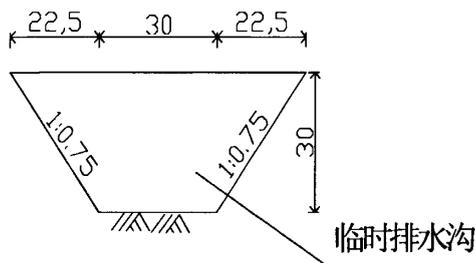


图 4.3 取土场临时排水沟典型断面设计图 (单位: cm)

### (3) 土地整治

#### ①表土回填:

鉴于本项目覆土来源较充分,将覆土厚度定为50cm。

#### ②推土机整平:

采用74kW推土机分块将各单元的土地整平。

### (4) 植物措施

#### ① 取土边坡植物措施

选用须根较粗壮,固土效果较好的多年生草本植物沙打旺,采用撒播不覆土的方式栽植。沙打旺用量为 $80\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

#### ② 取土迹地植物措施

取土迹地采取乔木和灌木相结合的方式进行绿化。选择栽植枝繁叶茂的乔木树种小叶杨和改良土壤效果明显的灌木树种紫穗槐,树种规格为2年生苗,小叶杨地径达到8cm以上,两树种呈带状混交,带宽10m,乔木株行距为 $2\text{m}\times 2\text{m}$ ,灌木株行距为 $1.0\text{m}\times 1.0\text{m}$ 。小叶杨和紫穗槐苗木用量分别为22.9万株和45.9万株。

造林绿化典型设计见图4.4。

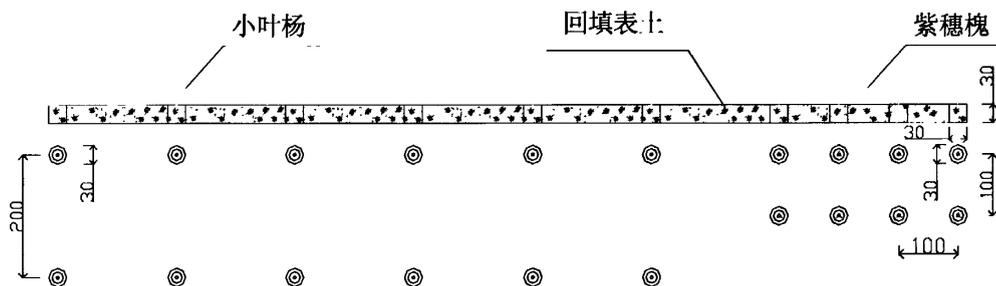


图4.4 取土场小叶杨、紫穗槐造林绿化典型设计图(单位:cm)

#### 4.4.4.3 弃土场水土保持措施

丹东(东港)至海城高速公路建设总计弃土石方 $246.36\text{万}\text{m}^3$ ,其中土方 $129.16\text{万}\text{m}^3$ ,石方 $117.20\text{万}\text{m}^3$ 。共布设12处弃渣场集中堆放弃渣,占地面积 $49.27\text{hm}^2$ 。原地貌类型多为山地,占用少部分旱田。

##### (1) 挡渣墙设计



表 4.15 弃渣场实际占地及挡渣墙一览表

序号	弃渣范围	弃渣地点	分层排放(层)	平均堆渣高度(m)	堆渣最大高差(m)	实际占地面积(hm <sup>2</sup> )	挡渣墙长度(m)	挡渣墙高度(m)	斜坡面积(m <sup>2</sup> )	平台面积(m <sup>2</sup> )	弃渣量(m <sup>3</sup> )
1#	K1+000--K6+000	东港市四门张村西南 0.1km	1	5.00	8	2.11	149	5.00	0.23	1.88	105588
2#	K6+000--K9+000	东港市庙岭村西南 0.6km	2	5.00	11	1.89	141	5.00	0.20	1.69	94521
3#	K9+000--K19+000	东港市鹿圈沟村西南 0.9km	6	5.00	33	6.12	415	5.00	0.66	5.46	306120
4#	K19+000--K29+000	岫岩县何家堡村东北 0.5km	2	5.00	11.2	2.99	73	5.00	0.32	2.67	149417
5#	K29+000--K38+000	岫岩县葛家堡村东南 0.3km	2	5.00	10	6.29	112.22	5.00	0.68	5.61	314439
6#	K38+000--K51+000	岫岩县仙人咀村东北 0.6km	3	5.00	17	2.51	47.49	5.00	0.27	2.24	125339
7#	K51+000--K59+000	岫岩县五道河子村西北 0.5km	5	5.00	26	4.50	118.00	5.00	0.49	4.01	224794
8#	K59+000--K66+000	岫岩县二道河子村西南 0.6km	7	5.00	38	1.87	22.2	5.00	0.20	1.67	93360
9#	K66+000--K90+000	岫岩县丰源村东北 0.4km	3	5.00	17.5	4.80	131	5.00	0.52	4.28	240128
10#	K90+000--K108+000	海城市龙凤峪村西南 0.8km	9	5.00	47	5.97	95	5.00	0.64	5.32	298462
11#	K108+000--K122+000	海城市缸窑岭村西北 0.7km	5	5.00	25	5.00	106	5.00	0.54	4.46	256125
12#	K122+000--K143+769	海城市秀甲村东南 0.6km	1	5.00	5	5.23	121	5.00	0.56	4.66	261279
合计											2463573

## ② 挡渣墙稳定性及应力分析

主要参数计算结果：弃渣料容重  $22\text{kN/m}^3$ ，挡渣墙填料容重  $18\text{kN/m}^3$ ，填料内摩擦角  $40^\circ$ ，挡渣墙与基底摩擦系数 0.5，抗滑稳定性系数 1.75，抗倾覆稳定性系数 1.89。利用第三章公式 3-7、3-8，经计算，各挡渣墙墙体稳定性分析结果见表 4.16。

表 4.16 挡渣墙稳定性分析

弃渣场	挡墙高 (m)	抗滑稳定性系数	抗倾覆稳定性系数	备注
1#	5.0	1.75	1.89	ks>=1.3,kt>=1.5
2#	5.0	1.75	1.89	
3#	5.0	1.75	1.89	
4#	5.0	1.75	1.89	
5#	5.0	1.75	1.89	
6#	5.0	1.75	1.89	
7#	5.0	1.75	1.89	
8#	5.0	1.75	1.89	
9#	5.0	1.75	1.89	
10#	5.0	1.75	1.89	
11#	5.0	1.75	1.89	
12#	5.0	1.75	1.89	

## (2) 截水工程

## ① 洪峰流量的确定

以 1#弃渣场为例，从弃渣场地形图上量得场地上游最大山坡集水面积，根据当地水文资料确定 K、I 取值分别为 0.8、60，计算得到最大清水洪峰流量约为  $0.39\text{m}^3/\text{s}$ 。

## ② 截洪沟断面尺寸确定

若取截洪沟断面底宽  $b=0.5\text{m}$ ，坡比 1.0，排水沟深 0.5m，下底面宽 1.5m，则由上式可计算得到：

$$Q_{\text{截}} = A \cdot C \sqrt{Ri} = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \approx 1.78\text{m}^3/\text{s} > 1.60\text{m}^3/\text{s}$$

由计算结果可知，当截洪沟底宽取  $b=0.5\text{m}$ ，高  $h=0.5\text{m}$  时，即可满足本项目弃渣场上游截排水的要求。各渣场截洪沟设计参数及工程量见表 4.17。

## ③护砌

对弃渣场区土体沟底采取 0.1m 厚度的水泥砂浆抹面进行截洪沟护砌。

表 4.17 截洪沟设计参数及工程量表

序号	集水面积 (km <sup>2</sup> )	Q 设 (m <sup>3</sup> /s)	长度 (m)	下底宽 (m)	沟深 (m)	边坡 比(m)	浆砌石 (m <sup>3</sup> )	水泥砂浆 (m <sup>3</sup> )	最大洪峰 流量(m <sup>3</sup> )	备注
1#	0.13	0.98	476	0.40	0.40	1: 1	133.28	14.28	0.47	Q <sub>设</sub> >Q <sub>最大</sub>
2#	0.10	0.46	501	0.30	0.30	1: 1	110.22	10.02	0.38	
3#	0.71	2.90	1388	0.60	0.60	1: 1	555.20	69.40	2.61	
4#	0.27	1.78	834	0.50	0.50	1: 1	283.56	33.36	1.02	
5#	0.55	2.90	1059	0.60	0.60	1: 1	423.60	52.95	2.05	
6#	0.10	0.46	603	0.30	0.30	1: 1	132.66	12.06	0.37	
7#	0.28	1.78	690	0.50	0.50	1: 1	234.60	27.60	1.04	
8#	0.28	1.78	561	0.50	0.50	1: 1	190.74	22.44	1.02	
9#	0.39	1.78	787	0.50	0.50	1: 1	267.58	31.48	1.44	
10#	0.23	0.98	916	0.40	0.40	1: 1	256.48	27.48	0.85	
11#	0.22	0.98	1047	0.40	0.40	1: 1	293.16	31.41	0.82	
12#	0.87	4.37	998	0.70	0.70	1: 1	459.08	59.88	3.21	

## (3) 土地整治

将弃土中集中堆放的剥离表层土覆盖于弃渣顶部，使之覆土厚度达到 30cm 以上；采用 74kW 推土机将覆土推平，整平坑洼地面，最终使之达到可种植植被状态。

## (4) 植物措施

对弃渣场进行土地整治后，在平台区域内，栽植适合当地生长的乔木树种刺槐，利用其豆科树种提高地力的优势，进行先期绿化。刺槐采用 2 年生苗，栽植方式为株行距 2.0m×2.0m。

由于设计堆渣坡比为 1: 3，较稳定，故对堆渣斜坡采用植物护坡方式。考

虑到弃渣大多为土石混合，有一定土壤含量，采取不覆土，行状栽植灌木胡枝子，株行距为 1.0m×1.0m。

(5) 防护措施工程量

根据弃渣场水土保持要求及各弃渣场弃渣特点、地形条件，确定各弃渣场水土保持措施量，弃渣场水土保持措施量见表 4.18。

弃渣场典型水土保持措施布置详见图 4.5。

表 4.18 弃渣场区水土保持措施数量

名称	工程措施												植物措施	
	弃渣场回填土量 (m <sup>3</sup> )	推土机整平 (m <sup>2</sup> )	挡渣墙浆砌石量 (m <sup>3</sup> )	挡渣墙压顶混凝土量 (m <sup>3</sup> )	挡渣墙基础土方量 (m <sup>3</sup> )	反滤层 (m <sup>3</sup> )	土工布 (m <sup>2</sup> )	PVC管 (m)	截洪沟挖方量 (m <sup>3</sup> )	截洪沟浆砌石量 (m <sup>3</sup> )	截洪沟水泥砂浆量 (m <sup>3</sup> )	刺槐 (株)	胡枝子 (株)	
1#	5651.11	1.88	2065.14	10.73	768.84	134.10	480.65	149.00	299.88	133.28	14.28	4709	2281	
2#	5058.77	1.69	1954.26	10.15	727.56	126.90	454.84	141.00	210.42	110.22	10.02	4216	2042	
3#	16383.64	5.46	5751.90	29.88	2141.40	373.50	1338.71	415.00	1623.96	555.20	69.40	13653	6612	
3-1	7531.01	2.51	942.48	4.90	350.88	61.20	219.35	68.00	316.26	140.56	15.06	6276	3039	
3-2	3560.46	1.19	401.94	2.09	149.64	26.10	93.55	29.00	156.24	81.84	7.44	2967	1437	
3-3	5292.16	1.76	4407.48	22.90	1640.88	286.20	1025.81	318.00	601.38	205.60	25.70	4410	2136	
4#	7996.83	2.67	1011.78	5.26	376.68	65.70	235.48	73.00	417.00	283.56	33.36	6664	3227	
5#	16828.87	5.61	1555.37	8.08	579.06	101.00	362.00	112.22	1239.03	423.60	52.95	14024	6792	
6#	6708.17	2.24	658.21	3.42	245.05	42.74	153.19	47.49	253.26	132.66	12.06	5590	2707	
7#	12031.01	4.01	1635.48	8.50	608.88	106.20	380.65	118.00	607.20	234.60	27.60	10026	4855	
8#	4996.65	1.67	307.69	1.60	114.55	19.98	71.61	22.20	493.68	190.74	22.44	4164	2017	
9#	12851.71	4.28	1815.66	9.43	675.96	117.90	422.58	131.00	692.56	267.58	31.48	10710	5187	
10#	15973.77	5.32	1316.70	6.84	490.20	85.50	306.45	95.00	577.08	256.48	27.48	13311	6447	
11#	13386.73	4.46	1469.16	7.63	546.96	95.40	341.94	106.00	659.61	293.16	31.41	11156	5402	
12#	13983.74	4.66	1677.06	8.71	624.36	108.90	390.32	121.00	1497.00	459.08	59.88	11653	5643	
合计	131851.00	45.95	21278.41	110.25	7899.50	1577.82	4958.42	1530.91	8020.80	3212.96	371.16	109676	55211	

#### 4.4.4.4 临时工程的水土保持措施

施工临时占地区包括施工便道和施工生产生活区,占地面积分别为  $8.28 \text{ hm}^2$  和  $146.83 \text{ hm}^2$ , 占地类型多为耕地, 少部分为山地。

##### (1) 施工便道区水土保持措施

根据工程施工组织设计, 丹东(东港)至海城高速公路各路段均布设了临时施工便道, 总长  $14.7 \text{ km}$ , 占地面积  $8.82 \text{ hm}^2$ , 其中耕地(旱田)  $8.52 \text{ hm}^2$ 、山地  $0.30 \text{ hm}^2$ 。

##### ① 土地整治

施工结束后, 主要针对占用山地的  $0.3 \text{ hm}^2$  进行土地整治, 具体措施包括表土回填  $900 \text{ m}^3$ , 采用  $74 \text{ kW}$  推土机整平  $0.3 \text{ hm}^2$ , 使之达到可种植植被状态。

##### ② 植物措施

对于不复耕的  $0.3 \text{ hm}^2$  山地, 进行全面植被恢复。植被的恢复方式为: 行状栽植灌木紫穗槐, 增加地表植被覆盖率。紫穗槐采用 2 年生苗, 株行距设计为  $1.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$ 。植物措施典型设计见图 4.6。

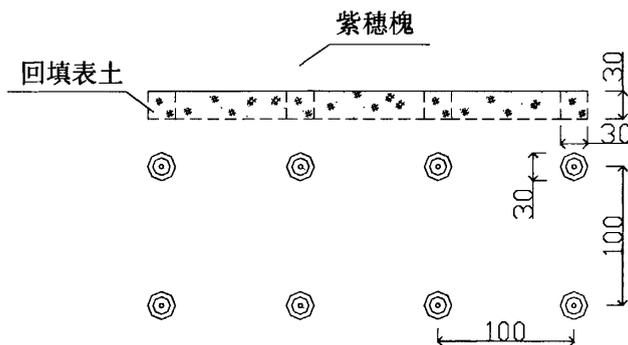


图 4.6 紫穗槐造林绿化典型设计图(单位: cm)

##### ③ 临时排水沟

经统计排水沟总长  $27600 \text{ m}$ 。设计标准按 3~6h 最大降雨标准计算, 排水沟断面尺寸为高  $0.3 \text{ m}$ , 顶宽  $0.75 \text{ m}$ , 底宽  $0.3 \text{ m}$ , 边坡 1: 0.75。边埂、临时排水沟断面见图 4.1。

##### (2) 施工生产生活区水土保持措施

根据本项目设计文件, 该工程沿线施工场地、预制场、拌和站和施工临时住

所等临时工程占地共 146.83hm<sup>2</sup>，其中占用耕地（旱田）142.60hm<sup>2</sup>，占用山地疏林地4.23hm<sup>2</sup>。该区的防治措施以施工期的临时防护和施工后期的植物恢复为主。

#### ①表土剥离及临时防护

施工过程中预制场、拌和站和施工现场等处需堆放大量的砂石料。对于堆料场地和施工场地，在使用前，建议首先剥离表层熟土，剥离表土临时堆放在附近取土场，防护措施同施工临时道路。

#### ②土地整治

主要针对占用山地的 4.53hm<sup>2</sup> 进行土地整治，具体措施包括表土回填 13600m<sup>3</sup>，采用 74kW 推土机整平 4.23hm<sup>2</sup>，使之达到可种植植被状态。

#### ③植物措施

对于不复耕的 4.23hm<sup>2</sup> 山地，进行全面植被恢复。植被的恢复方式为：行状栽植灌木紫穗槐，增加地表植被覆盖率。紫穗槐采用 2 年生苗，株行距设计为 1.0m×1.0m。具体可参考施工便道区植物措施典型设计进行。

#### ④临时排水沟

经统计，排水沟总长 20350m。设计标准按 3~6h 最大降雨标准计算，排水沟断面尺寸为高 0.3m，顶宽 0.75m，底宽 0.3m，边坡 1: 0.75。边埂、临时排水沟断面见图 4.1。

### 4.4.5 防治效果及效益分析

#### 4.4.5.1 防治效果分析

本方案水土流失防治责任范围 1771.04hm<sup>2</sup>，扰动地表面积 1301.88hm<sup>2</sup>，经计算分析得出扰动土地治理率为 96%；水土流失总治理度为 98%；本工程可绿化面积为 848.9hm<sup>2</sup>，实际绿化面积 831.95hm<sup>2</sup>，植被恢复系数为 98%；林草覆盖率为 67.9%。

本水土保持方案实施并发挥效益后，土壤侵蚀模数基本可达到220t/km<sup>2</sup>·a左右，水土流失控制比在1.1左右。本工程弃渣流失量基本得到有效控制，拦渣率可达98%。本工程水土流失防治效果分析见表4.19。

表4.19 水土流失防治效果表

项 目		方 案 目标值	方案实施 后预测值
扰动土地整治率	水保措施防治面积+永久建筑物面积+水面面积/扰动表面积	95%	96%
水土流失治理度	水保措施防治面积/造成水土流失面积 (不含永久建筑物及水面面积)	95%	98%
土壤流失控制比	治理后的平均土壤流失量/容许土壤流失量	1.2	1.1
建设期间拦渣率	实际拦挡弃渣量/弃渣总量	98%	98%
林草覆盖率	林草总面积/项目建设区面积	25%	67.9%
植被恢复系数	植物措施面积/可绿化面积	98%	98%

#### 4.4.5.2 防治效益分析

本防治方案中工程措施和植物措施相结合，必然会大大降低新增的水土流失量，按本方案设计、实施，坚持水土保持工程与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用，将会很大程度地改善工程建设过程造成的水土流失加速侵蚀现状。

在工程建设期实施的水土保持工程措施、植物措施及临时工程措施目的是控制工程建设造成的新增水土流失，防治扰动面的土壤大量流失，维护工程的安全运行，绿化、美化环境，恢复改善工程占地区因压占、挖损、扰动破坏的土地及植被资源，其效益主要体现在生态效益、经济效益和社会效益上。

#### 本章小结：

本章在第二、三章水土保持基本理论基础，对丹海高速公路项目的水土流失情况作出预测并提出有针对性的水土保持措施。首先对丹海高速公路建设项目概况、项目区自然及社会概况、施工特点、项目区水土流失现状与水土保持现状等进行了详细的调查，为下一步的水土流失预测及水土保持措施设计奠定了坚实的基础。运用实测法、类比法对丹海高速公路建设项目区可能产生的新增水土流失量进行了预测，并根据预测结果进行了分析，为水土保持措施设计提供了量化依据。在水土流失预测结果的基础上，对丹海高速公路项目区的

水土流失防治目标和水土流失防治责任范围进行了确定，并以此确定了项目区的水土保持措施总体布局和各分区水土保持措施，最终对水土保持措施的防治效果和效益进行了分析。

## 第5章 结论及展望

### 5.1 结论

(1) 本论以公路水土保持基本理论为基础,对高速公路水土流失的成因及危害、高速公路水土流失预测的基本内容与方法及防治措施的进行了系统的研究。在水土保持设计中,坚持工程措施和生物措施相结合的原则,结合我省即将建设的丹东至海城高速公路项目,对该项目的水土流失进行预测并提出有效的防治措施。

(2) 本论文广泛收集了大量资料,选择了适用于辽宁省高速公路建设项目水土流失预测的科学方法,较为准确地预测了丹海高速公路建设可能带来的水土流失量。根据丹海高速公路水土流失预测结果及高速公路项目特点,把项目区分为主体工程区、弃渣场区、临时工程区、取土场区、移民安置和专项改线区五个水土流失防治区。项目分区合理、准确、有针对性。针对不同水土流失防治区的特点,并结合高速公路建设的工程要求,进行了丹海高速公路水土保持措施的设计,重视施工期间的水土流失防治,重点加强了取弃土场的水土保持措施。设计方案均经过实践检验,既能满足高速公路安全、美观的工程要求,又具有较好的水土保持功能。通过本项目水土流失预测及防治措施的研究,将对高速公路水土保持方案的编制起到参考作用。同时,本论文立足于减少或减缓公路建设引起的水土流失,总结出适用于辽宁省高速公路建设中水土流失预测的有效方法,提出切合实际、科学合理的水土保持方案,使水土保持方案设计更加便于操作,将有利于恢复和再造生态环境,促进地域经济协调发展,最终实现可持续发展。

由于高速公路水土保持工作在我国开展较晚,整个体系尚不够完善,限于本人的知识水平和实践经验,对公路水土保持的理论涉猎的还不够深入,缺乏水土流失研究的数理模型研究,在理论水平与实践经验都有待于进一步的提高,希望以本人的粗浅的研究能够给水土保持设计者一些借鉴与启发。

### 5.2 展望

公路建设中的水土保持方案设计是我国可持续发展目标实施的一个重要组

成部分，本论文的研究只是抛砖引玉，随着高速公路建设中水土保持工作的深入开展和水土保持意识的逐步提高，在土壤侵蚀量影响因子量化研究不断发展的基础上，对于公路建设中的水土流失预测将更为细化、量化，提出更为有效的、便于操作的、经济合理的水土保持措施，对方案的设计将更具指导意义。

## 致谢

本论文是在同济大学交通工程学院方守恩教授、张兰芳老师和辽宁省高等级公路建设局何通海教授级高级工程师的悉心指导下完成的，在此作者谨向导师的精心培养表示衷心的感谢。

在几年的学习中，得到了同济大学交通工程学院的各位领导、老师的大力帮助，同时辽宁省高等级公路建设局的领导和有关部门为本人的学习创造了良好的条件和环境，我的家人也对我给予了充分的理解和支持，在此一并表示诚挚的谢意。

## 参考文献

1. 吴海燕. 高等级公路建设与管理[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
2. 赵焕胤, 朱劲伟. 林带和牧草地径流研究[J]. 水土保持学报, 1994, 5: 30-32.
3. Wemple B C, Swanson F J, Jones J A. Forest roads and geomorphic process interactions, Cascade Range, Oregon[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2001, 26: 191-204
4. Luce C H, Black T A. Sediment production from forest roads in western Oregon[J]. Water Resources Research, 1999, 35: 2561-2570
5. Luce C H, Black T A. Spatial and temporal patterns in erosion from forest roads. In influence of urban and forest land uses on the hydrologic-geomorphic responses of watershed, edited by M.S.Wigmosta and S.J.Burges. Water Resources Monographs[M], American Geophysical Union, Washington, D.C. 2001, 165-178
6. Megahan W F, Wilson M, Monsen S B. Sediment production from granitic cutslopes on forest roads in Idaho, USA[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2001, 26: 153-163
7. Batra P C, Gill G S. Comparison of Ipomoea for Checking Erosion on Road Embankments[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1968, 16(3): 156-159
8. Nyssen J, Moeryersons J. Impact of road building on gully erosion risk: a case study from the northern Ethiopian highlands[J]. Earth Surface Process and Landforms, 2002, 27: 1267-1283
9. 山寺喜成. 坡面绿化方法的基本[M]. 坡面绿化的最前线专辑, 1999, 44.
10. 佐久间护. 绿化混凝土开发内容和施工案例[M]. 坡面绿化的最前线专辑, 1999, 44.
11. 安保昭. 坡面绿化的原则和问题[M]. 坡面绿化的最前线专辑, 1999, 44.
12. 李忠武, 蔡强国, 吴淑安, 等. 内昆铁路施工期不同下垫面土壤侵蚀模拟研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 6-8
13. 王玉太, 王维平, 刁希全. 浅谈公路建设的水土流失原因及其防治措施[J]. 水土保持通报, 1999, 19(1): 61-62
14. 刘长育, 原彩萍. 长治市公路建设的水土流失防治对策[J]. 山西水土保持科技, 2001(3): 23-25
15. 李金海, 杨莉琳. 国道 112 线丰宁县城至千松梁段扩建对水土流失的影响及对策[J]. 水土保持通报, 2001, 21(3): 32-34
16. 罗时新. 略论山区公路建设与水土保持[J]. 中国水土保持, 1992(9): 13-15
17. 许晓强. 金丽温高速公路建设中的水土流失及防治对策[J]. 浙江水利科技, 2000, 5: 41-42
18. 刘崇理, 刘元和. 高速公路建设中的水土流失与防治对策[J]. 山西水土保持科技, 2000, (4): 44-45
19. 杨喜田, 董惠英, 黄玉荣, 等. 黄土地区高速公路边坡稳定性的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 77-81
20. 张翼, 王桂萍, 汪有科, 等. 河南三灵高速公路水土流失特点及防治措施体系[J]. 西北林学院院报, 2000, 15(3): 29-35
21. 李家春, 田伟平. 黄土路堤坡顶及土路肩暴雨冲蚀破坏机理试验[J]. 长安大学学报(自

- 然科学版), 2004, 24(2): 27-29
22. 蒋德松, 陈昌富, 赵明华, 等. 岩质边坡植被抗冲刷现场试验研究[J]. 中南公路工程, 2004, 29(1): 55-58
  23. 陈振盛. 泥岩边坡植生技术研究[J]. 水土保持研究, 1995, 2(3): 68-75.
  24. 黄尊景, 陈孟达. 台湾特殊地质区水土保持工法之运用[J]. 水土保持研究, 1995, 2(3): 76-82.
  25. 李旭光, 毛文碧, 徐福友. 日本的公路边坡绿化与防护—1994年赴日本考察报告[J]. 公路交通科技, 1995, 2: 596.
  26. 杜娟. 客土喷播施工法在日本的应用发展[J]. 公路, 2000, 7: 72-73.
  27. 周颖, 曹映泓, 廖晓瑾. 喷混植生技术在高速公路岩石边坡防护和绿化中的应用[J]. 岩土力学, 2001, 3: 33-35.
  28. 舒翔, 杜娟, 曹映泓. 生态工程在高速公路岩石边坡防护工程中的应用[J]. 公路, 2001, 7: 86-89.
  29. 席嘉宾, 杨中艺. 西安地区高等级台睡坡面护坡绿化草种的引种栽培试验[J]. 草业科学, 1998, 15(5): 53-58.
  30. 陈宏荣, 林芬, 夏卫平. 福厦高速公路坡面稳定和绿化技术研究[J]. 草业科学, 2001, 18(5): 50-52.
  31. 顾晶. 三维植被网喷播植草技术在高速公路坡面上的应用[J]. 生态环境, 2003, 12(2): 155-156.
  32. 朱锐, 陈宇晖. 惠河高速公路 II 期坡面防护效果与分析[J]. 广东公路交通, 2003, 23(5): 86-89.
  33. 关杰雄. 三维植被网防护在高陡及碎石质土坡面上的应用[J]. 中南公路工程, 2001, 26(3): 21-22.
  34. 王晓东, 刘晔, 王晓春. 坡面绿化喷播技术应用[J]. 公路, 2004, 4: 46-49.
  35. 张俊云, 周德培, 李绍才. 岩石坡面生态种植基试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20, 3: 239-242.
  36. 赖世桂. 漳龙高速公路九砂溪石质坡面的生态治理技术[J]. 草业科学, 2002, 19(7): 58-60.
  37. 申新山. 岩石坡面植生基质生态防护工程技术的研究与应用[J]. 中国水土保持, 2003, 10: 26-28.
  38. 蒲智. 植物措施在公路工程护坡中的应用[J]. 甘肃水利水电技术, 2003, 39(4): 335-338 .
  39. 常根柱, 杜天庆, 王朝凌. 野生狗牙根栽培利用试验研究[J]. 公路, 1999, 4: 8-10.
  40. 陈迎辉, 罗怀斌, 朱开明. 用野生狗牙根草绿化湖南高速公路石方坡面的试验研究[J]. 中南林业调查规划, 2004, 23(2): 53-56.
  41. 胥晓刚, 杨冬生, 胡庭兴. 公路区域生态破坏及植被恢复技术应用与研究进展[J]. 中国林业, 2005, 21(1): 106-108.
  42. 孙发政, 胡荣, 张艺东, 等. 类芦的固土护坡性状及其生产应用价值[J]. 草原与草坪, 2004, 1: 66-69.
  43. 周跃, Watts D. 坡面生态工程及其发展现状. 生态学杂志, 1999, 18(5): 68-73.
  44. 赵惠萍. 公林林草种品种选择[J]. 公路交通科技, 1999, 4: 43-46.
  45. 江玉林. 公路生物环境工程技术研究进展[J]. 中国园林, 2001, 3: 13-15.
  46. 苏兴矩, 陈善棠. 象草在公路边坡防护及弃方区绿化中的应用[J]. 公路交通科技, 2002, 5: 171-172
  47. 周德培. 植被护坡工程技术[M]. 人民交通出版社, 2003
  48. 彭燕. 高速公路草坪建植初探[J]. 中国草地, 2001, 23(5): 52-55
  49. 张秀海. 公路建设要切实防止水土流失[M]. 中国公路, 2002, 5: 70-71

50. 刘震等. 开发建设项目水土流失防治技术研究[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
  51. 赵永军. 开发建设项目水土保持方案编制技术[M]. 北京: 中国大地出版社, 2007
  52. 张科利, 刘宝元, 蔡永明. 土壤侵蚀预报研究中的标准小区问题论证[J]. 地理研究, 2000,19(3): 297-303
  53. United States Department of Agriculture. EPIC-erosion/productivity impact calculator 1. Model Documentation. Technical Bulletin Number 1768[R]. Washington.D.C: USDA-ARS.1990
  54. Liu B Y, Nearing M A, Shi P J, et al. Slope length effects on soil loss for steep slopes[J]. Soil Science Society of America Journal.2000, 64: 1759-1763
  55. Nearing M A. A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss[J]. Soil Science Society of America Journal.1997, 61(3): 917-919
  56. Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Prediction soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation(RUSLE)[M]. Handbook No.703. U.S.1997. Department of Agriculture, Washington D.C.
  57. Carrol C, Halpin M, Burger P, et al. The effect of crop type, crop rotation, and tillage practice on runoff and soil loss on a Vertisol in central Queensland [J]. Aust. J. Soil Res, 1997, 35: 925-939.
  58. Gilly J E, Risse L M. Runoff and soil loss as affected by the application of manure[J]. Transaction of the ASAE. 2000, 43 (6): 1583-1588.
  59. (英)哈德逊. 土壤保持. 窦葆璋译. 北京: 科学出版社, 1980.
  60. 陈奇伯, 费希亮. 土壤侵蚀预报的新进展[J]. 中国水土保持, 1996, 22(2): 20-23.
  61. Carroll C, Merton L, Burger P. Impact of vegetation cover and slope on runoff, erosion, and water quality for filed plots on a range of soil and spoil materials on central Queenlands coal mines[J]. Aust. J. Soil Res, 2000, 38: 313-327.
  62. 张光辉, 梁一民. 植被覆盖度对水土保持功效影响的研究综述[J]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 104-110.
  63. 沈冰, 王文焰. 植被影响下的黄土坡地降雨漫流数学模型[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 23-28.
- 王秋生. 植被控制土壤侵蚀的数学模型及其应用[J]. 水土保持学报, 1991, 5(4): 68-72.

## 个人简历 在读期间发表的学术论文与研究成果

### 个人简历:

姜帆, 女, 1974年1月出生

1992.09~1997.07 就读于哈尔滨建筑大学交通土建工程(含国际工程管理专门化)专业  
获学士学位

1997.07 至今 于辽宁省高等级公路建设局 从事高速公路工程招标管理

### 已发表论文:

- [1] 姜帆, 崔利. 增强履约能力, 提升监理服务品质. 《北方交通》, 2006, Vol. 12 (12)  
72-74
- [2] 崔利, 姜帆 长螺旋钻孔压灌混凝土桩施工及质量控制技术 《北方交通》, 2006, 增刊  
(12) 52-53
- [3] 姜帆, 完善工程招标投标管理, 防止围标、串标行为 《北方交通》, 2007, Vol. 2 (2)  
78-79