

西部交通建设科技项目

交通编号：

合同号：2006 318 000 07

单位编号：10710

密 级：

分 类 号：U418

# 路基灾害防治技术推广及应用示范

## 报告简本

长 安 大 学  
陕 西 省 公 路 局  
辽 宁 省 公 路 局  
云 南 省 公 路 局  
福 建 省 公 路 局  
汕头市达濠市政建设有限公司

二 〇 一 一 年 三 月

## 项目研究报告辑要

中文题名	路基灾害防治技术推广及应用示范			
英文题名	Application Research on Disaster Prevention and Mitigation in Highway Engineering			
交通编号		项目来源	西部交通建设 科技项目	
单位编号	10710		总项目合同号	2006 318 000 07
分类号	U418 ; P624		项目起止年限	2006年10月~ 2010年3月
完成单位	长安大学		密 级	
项目负责人	李家春	教授	长安大学	报告撰写人 李家春 田伟平 齐洪亮 马保成
	张东省	正高工	陕西省公路局	
	郭向前	正高工	辽宁省公路局	
主要 参 加 人	田伟平	男	长安大学	教授
	舒 森	男	陕西省公路局	高 工
	申海平	男	云南省公路局	高 工
	林国仁	男	福建省公路局	高 工
	林凯明	男	达濠市政建设有限公司	工程师
	朱 钰	男	陕西省公路局	工程师
	王振宇	男	辽宁省公路局	高 工
	马保成	男	长安大学	博士生
	齐洪亮	男	长安大学	博士生
	毛雪松	女	长安大学	副教授
	张艳杰	女	长安大学	副教授
	王亚玲	女	长安大学	教 授
	刘 伟	男	辽宁省公路局	工程师
	王福恒	男	长安大学	博士生
	万春华	男	达濠市政建设有限公司	高 工
	欧阳海霞	女	陕西省公路局	高 工
任学明	男	云南省公路局	高 工	
杨木森	男	福建省公路局	高 工	

主要 参 加 人	马 讯	男	陕西省公路局	高 工
	王富春	男	长安大学	讲 师
	张小荣	男	长安大学	高 工
	纪绍双	男	抚顺市公路管理处	高 工
	窦明健	男	长安大学	教 授
	崔世富	男	陕西省安康公路管理局	高 工
	李建新	男	辽宁省公路局	高 工
	王贤良	男	陕西省安康公路管理局	工程师
	程显刚	男	辽宁省公路局	高 工
	郭庆利	男	陕西省汉中公路管理局	高 工
	谢永才	男	辽宁省公路局	工程师
	尹 岩	男	抚顺市公路管理处	工程师
	郭 平	男	长安大学	博士生
	董卫卫	女	长安大学	硕士生
	李志强	男	长安大学	硕士生
	谢 波	男	长安大学	硕士生
	马 磊	男	长安大学	硕士生
	崔 娥	女	长安大学	硕士生
	张志国	男	长安大学	硕士生
	黄丽珍	女	长安大学	硕士生
	刘春焕	女	长安大学	硕士生
	李朋丽	女	长安大学	硕士生
	范俊英	女	长安大学	硕士生
	高 婷	女	长安大学	硕士生
	韩 敏	女	长安大学	硕士生
赵 欢	男	长安大学	硕士生	
朱晓斌	男	长安大学	硕士生	
孙启亮	男	长安大学	硕士生	
赵亚杰	男	长安大学	硕士生	
主 题 词	路基； 灾害防治； 推广； 报告简本			
关 键 词	路基； 防灾减灾； 水毁； 地质灾害； 灾害识别； 灾害评价； 灾害管理			

## 中英文摘要

**摘要:** 本项目通过现场调查、资料调研、模型试验、理论分析、依托工程等手段,研究了公路路基灾害防治技术。项目分别研究了路基洪水灾害和地质灾害的调查、识别、评价、治理技术,以及灾害预警、应急、抢险及灾害管理等方面内容。通过项目的实施,提出了路基灾害防治对策,提出了灾害识别方法,建立了灾害评价体系,并开发了灾害管理系统软件。通过项目研究基本解决了公路路基灾害防治的关键技术问题,有力地指导了公路路基灾害防治工程的设计和施工,为减小公路路基灾害的经济损失和社会影响,确保公路交通的畅通和安全提供了保障。

本项目有理论创新、技术创新、技术应用、制度创新,是对公路灾害防治技术的集成研究。提出的路基工程地质结构分析原理是灾害识别、治理方案选择的理论依据。用理论分析和离心机模型试验方法研究了路基下边坡浸水及水位升降的破坏作用,并总结了路基灾害防治技术。建立的路基灾害风险评价方法在工程得以运用,并初步开发了“公路灾害管理系统”。研究了公路地质灾害治理的信息化施工方法,指出信息化施工是路基灾害防治工程的关键技术之一,并建议在灾害治理工程中广泛推广。将预加固概念引入灾害治理中,解决了不稳定灾害体加固施工困难的问题。项目以部分试点省为重点,从灾害调查到设计施工,再到路线灾害管理,项目组全程提供技术支持,结合实际提出了合理的评价结论、治理方案及其优化、管理建议。

减轻公路灾害损失的关键在于要建立较完善的公路减灾防灾体系,这一体系包括:法律制度、标准规范,灾害管理体制,资金、物资保障,技术支持系统,宣传教育,减灾防灾工程。这一体系可通过灾害过程管理和工程管理来进行,从而实现“防灾”和“减灾”目的。

**关键词:** 公路;路基;防灾减灾;水毁;地质灾害;灾害识别;灾害评价;灾害管理

**Abstract:** Through field investigations, data researches, model tests, theoretical analysis and supporting engineering etc., this project studied disaster prevention technologies in highway engineering. Such contents as investigation, identification, evaluation, treatment technology, and disaster early warning, emergency response, rescue and disaster management for flood and geological hazards in highway engineering were studied.

Through the implementation of the project, highway disaster prevention measures, as well as disaster identification methods are proposed; the disaster evaluation system is established, and the disaster management system software is developed. The project basically solves key technical issues for disaster prevention in highway engineering, effectively guides the design and construction for disaster prevention engineering, which reduces the highway disasters economic losses and social impacts, and ensures the smooth flow of road traffic and safety.

Being an integration research of road disaster prevention technology, the project has theoretical innovation, technological innovation, technology application innovation and institutional innovation. Subgrade geotechnical structure analysis theory proposed here lays a foundation for hazard identification and controlling measures selection. With the theoretical analysis and centrifuge model test method, the destructive effects of flooding and the changing of water level to embankment slope is researched, and the highway disaster prevention technology is summarized. Disaster risk assessment methods established is already used in projects. And initially, a “highway disaster management system” is developed. Highway geological disaster controlling methods of information construction technology, which is one of the key technologies for disaster prevention projects, is studied. And it is recommended that this method be widely applied in disaster management projects. Moreover, this program introduces the concept of pre-reinforcement in the disaster management, in order to solve the problem of difficult reinforcement construction for unstable disaster body. Focused on some pilot provinces, from the disaster investigation to the design and construction, and to disaster management for the road line, the researchers provide technical support throughout these projects. Reasonable evaluation results, treatment programs and their optimization, and management recommendations are made based on the actual situation at the same time.

To reduce disaster losses, it is the key to build a better road disaster prevention system, which includes: legal systems, standards and specifications, disaster management regime, financial and material support, technical support systems, publicity and education, and mitigation and prevention of disaster. This system can be carried out through disaster process management and project management, so that the purposes of “prevention” and “mitigation” would be realized.

**Key words:** Highway; subgrade; mitigation and prevention of disaster; flood damage; geological hazard; hazard identification; hazard assessment; hazard management

# 目 录

<b>第1章 概 述</b> .....	<b>1</b>
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目标.....	1
1.3 技术关键与技术路线.....	1
<b>第2章 中国公路灾害分布特征及各地防治经验</b> .....	<b>2</b>
2.1 中国公路灾害分布概况.....	2
2.2 各省试点工程灾害概况.....	2
2.3 主要经验.....	4
<b>第3章 公路路基灾害识别</b> .....	<b>5</b>
3.1 研究意义.....	5
3.2 公路路基地质灾害识别.....	5
3.2.1 路基工程地质结构分析原理与灾害识别.....	5
3.2.2 路基地质灾害链式反应.....	5
3.2.3 路基地质灾害识别方法.....	5
3.3 沿河公路水毁灾害识别.....	6
3.3.1 水毁灾害区域识别.....	6
3.3.2 水毁灾害超前预判.....	6
3.3.3 水毁灾害识别.....	6
<b>第4章 公路路基灾害评价</b> .....	<b>7</b>
4.1 公路路基灾害类型及等级评价.....	7
4.2 公路路基地质灾害风险评价.....	7
4.3 公路水毁灾害风险评价.....	7
<b>第5章 公路路基水毁灾害防治技术应用研究</b> .....	<b>9</b>
5.1 路基水毁机理.....	9
5.2 路基水毁防治措施.....	9
5.3 排水系统水毁防治.....	9
5.4 小桥涵水毁防治.....	9
5.5 公路水毁防治工程的环境保护问题.....	10
<b>第6章 公路路基地质灾害防治技术应用研究</b> .....	<b>11</b>
6.1 路基滑坡类灾害防治技术.....	11
6.2 路基沉陷灾害防治技术.....	11
6.2.1 软土或新填土沉陷防治措施.....	11
6.2.2 湿陷性黄土路基沉陷防治措施.....	11

6.3 公路地质灾害治理的信息化施工及预加固技术.....	11
<b>第 7 章 公路路基灾害防治对策.....</b>	<b>12</b>
7.1 公路路基灾害防治对策系统 .....	12
7.1.1 法律制度、标准规范.....	12
7.1.2 灾害管理体制 .....	12
7.1.3 资金、物资保障 .....	12
7.1.4 技术支持系统.....	12
7.1.5 宣传教育.....	13
7.1.6 减灾防灾工程 .....	13
7.2 公路路基灾害综合防治对策 .....	13
<b>第 8 章 公路路基灾害预警及应急抢险 .....</b>	<b>14</b>
8.1 路基灾害预警 .....	14
8.2 路基灾害应急响应.....	14
8.2.1 应急预案.....	14
8.2.2 应急响应机制 .....	14
8.2.3 应急抢险措施 .....	15
8.3 公路灾害管理系统.....	15
8.3.1 系统的内容、设计目的.....	15
8.3.2 系统的结构 .....	15
8.3.3 系统的功能.....	15
<b>第 9 章 路基灾害防治技术指南.....</b>	<b>16</b>
<b>第 10 章 结论与建议.....</b>	<b>17</b>
10.1 项目研究的主要结论.....	17
10.2 主要创新点 .....	18
10.3 建 议.....	19

# 第 1 章 概 述

## 1.1 研究背景

我国西部地区地域辽阔，山川纵横，气候多变，自然地质条件复杂，因洪水、暴雨或持续降雨导致的公路灾害问题也日渐突出，公路交通受阻和中断对社会生活和经济发展影响大，成为人民群众关注的焦点。近年来，自然灾害对公路造成的损失逐年递增。仅 2005 年全国就有 4.1 万公里路基严重水毁，国道、省道交通中断 3851 处，直接经济损失 99.7 亿元。我国几乎所有的山区公路都不同程度地受到崩滑流及洪水灾害的威胁，由于历史和技术等方面的原因，我国干线公路防护设施尚不完善，抗灾能力弱，使我国公路交通抵御自然灾害的能力较低。汛期国道、省道交通中断时有发生，严重影响了公路通行能力和交通运输安全，对公路交通可持续发展提出了挑战。

公路路基突发自然灾害主要有四种：崩塌、滑坡、泥石流、沿河水毁。这四种灾害往往是群发的，降雨是重要的诱发因素。公路灾害与自然因素有关，也与公路修筑等人类活动有密切的关系。自然因素是灾害发生的基础条件，而人类活动因素有时起着关键性作用。

## 1.2 研究目标

通过项目的研究和实施，达到：

(1) 结合灾害整治工程，提高公路通行能力、提高抗灾能力、提高安全水平、提高设施耐久性、提高与自然的和谐性。

(2) 总结和提升公路灾害防治的研究成果和技术，提出公路灾害管理对策，研究防治措施的适用性，推广示范已有研究成果。

(3) 为制定适合我国国情和公路特点的公路灾害防治技术规范奠定基础，为全国干线公路灾害防治工程的开展提供技术参考，为彻底扭转公路灾害防治的被动局面提供理论依据。

## 1.3 技术关键与技术路线

- 1) 已有路基灾害防治技术集成与提升
- 2) 公路路基灾害防治对策
- 3) 路基下边坡灾害综合防治技术



## 第 2 章 中国公路灾害分布特征及各地防治经验

### 2.1 中国公路灾害分布概况

本节以分析我国自然环境条件为出发点，结合公路工程实际，对公路灾害的区域分布特点进行研究，从而有助于灾害管理以及对公路灾害的有效防治，具有重要的理论和实际指导意义。

本项目从地形、地貌、地质以及特殊地区等孕灾环境特点，结合公路修建布设规律特征，来分析公路水毁、崩塌、滑坡、泥石流、路基沉陷与塌陷的主要形态、类型及分布特点。

### 2.2 各省试点工程灾害概况

#### 1) 福建省公路灾害防治

福建省降雨量大，受台风影响显著，公路灾害类型主要有：路基缺口，路基边坡滑移，路基沉陷，路基整体坍塌，路基冲断。例如试点工程 G205 线 K2129+184~K2129+313 处，2005 年“6·17”洪灾期间发生过重大溜方事故。2007 年 9 号台风“圣帕”期间公路路基沉陷如图 2.2-1。



图 2.2-1 2007 年 9 号台风“圣帕”期间公路路基沉陷

#### 2) 安徽省公路灾害防治

安徽省 S209 和 G105 境内段公路典型灾害边坡均为土夹石及强风化岩质边坡，普遍存在坡面坍塌、岩质边坡崩塌，坡面较陡，部分坡体稳定性差等特点。同时 S209 沿河段路基下边坡由于常年受河水冲刷，存在路基冲刷问题。

#### 3) 广西壮族自治区公路灾害防治

广西壮族自治区路基灾害类型主要有：沿河路基水毁，滑坡，崩塌，路基冲断等。S304 桂平至苍梧段位于桂平市境内，路线沿线水田较多，水系发达，水源丰富，每逢



汛期公路两侧均被洪水淹没。

#### 4) 江西省公路灾害防治

江西省路基灾害类型主要有：沿河路基水毁，路基边坡滑移，路基沉陷，路基整体坍塌，滑坡等。试验工程 G319 线沿河水流冲刷严重地段，路基整体或大部分被冲垮，在河岸转角位置坍塌往往超过一个车道甚至整个路基，使公路基本丧失通行能力。

#### 5) 湖南省公路灾害防治

湖南省干线公路灾害防治工程试点项目共 3 个，试点路段主要灾害类型为边坡坍塌、落石、滑坡和沿河路基冲刷。对不同路段灾害类型不同，S229 为二级路，灾害类型主要有坍塌、滑坡、落石等；S306 为三级路，主要灾害类型为路基冲刷；S308 为三、四级路，灾害类型主要有路基冲刷、滑坡等。

#### 6) 湖北省公路灾害防治

湖北地处长江中游，境内地质环境复杂，地质灾害突出，常见的公路路基灾害有：路基沉陷、路基滑移、路基垮塌。境内的 G209 和 S305 沿线由特大暴雨洪水引发滑坡灾害突出，且沿线滑坡多数为堆积土层滑坡。

#### 7) 陕西省公路灾害防治

陕北黄土地区公路灾害类型主要有：泥石流、坡面侵蚀和边坡失稳以及路基沉陷等。关中盆地公路主要灾害为滑坡和路基水毁，并以湿陷性黄土引起的水毁为主，因灌溉等原因出现的黄土滑坡公路一般可绕避。陕南秦巴山区公路灾害主要有滑坡、坍塌、崩塌、泥石流、路基沉陷以及沿河公路水毁。

#### 8) 辽宁省公路灾害防治

主要公路路基灾害有沿河路基水毁、上边坡崩塌/坍塌、小型排水结构物水毁。G202 线路总体线形以沿溪线、高填方、深挖方为主，自然灾害频繁发生，路基严重水毁，路线多处中断，导致交通处于瘫痪状态，造成巨大的经济损失和社会影响。

#### 9) 云南省公路灾害防治

常见的公路自然灾害主要有坍塌、滑坡、泥石流、路基水毁，并以滑坡、泥石流为主，而且两种地质灾害往往联系密切，同时发生。G214、G320 沿线不少路段路基遭到破坏，大部分是由于连日降雨所致。

#### 10) 贵州省公路灾害防治

通过对贵州省试点工程的调查，试点工程的主要路基灾害类型为沿河路基水毁和上边坡坍塌。

## 2.3 主要经验

- 1) 加强灾害管理，确保灾害防治目标实现
- 2) 完善勘察设计，合理选择设计方案
- 3) 规范组织实施工程项目，确保项目施工质量
- 4) 加强资金监管，对完工项目一律进行审计
- 5) 注重学习培训，认真总结灾害防治经验。

注重对工程技术人员的学习培训工作，积极组织相关人员进行业务培训和学习，并互相交流学习灾害防治工程方面的新技术、新材料、新工艺等。

## 第3章 公路路基灾害识别

### 3.1 研究意义

公路路基地质灾害识别技术是指不借助勘探技术手段，主要通过对地质地貌特征、路基几何形态、岩土体性质及一些地表和建筑物的变形和破坏迹象的分析，依据路基工程地质结构做出灾害的大致判断，再根据地质灾害预判特征和识别技术指标做出具体路基地质灾害的判断，并能识别其危险性的一种技术方法。这一判断虽是初步的，但对相继开展的勘探、评价、治理和施工等有非常重要的意义。

公路灾害识别的内容主要包括：灾害类型识别、灾害影响因素识别、灾害危险性识别。

### 3.2 公路路基地质灾害识别

本研究对于路基地质灾害的识别方法主要基于以下两种原理：

- 1) 灾害演化链式理论。
- 2) 路基工程地质结构分析原理。

#### 3.2.1 路基工程地质结构分析原理与灾害识别

路基工程地质结构包括路基结构、地质构造面及工程结构面、路基填料及基底、边坡岩土性质以及排水及支挡结构物形成的结构体系。路基工程地质结构决定了破坏方式、破坏规模，也是病害治理措施选择的主要依据。

公路路基地质灾害不同于自然界的一般地质灾害。公路相关地质灾害不仅仅是岩土体与自然环境影响因素的相互作用，人类工程活动对灾害形成的影响不可忽视。因此，公路路基地质灾害的识别该是对路基工程地质结构的研究。

#### 3.2.2 路基地质灾害链式反应

公路路基地质灾害链式反应是指包括一组灾害元素的一个复合体系，链中诸灾害要素之间和诸灾害系统之间存在着一系列自行连续发生发应的相互作用，其作用的强度使该组灾害要素具有整体性。

在对公路路基地质灾害识别的过程中，用灾害链式效应来反映不同性质灾害的类型特征和灾害的阶段特性，也成为公路地质灾害识别的理论依据。

#### 3.2.3 路基地质灾害识别方法

公路路基地质灾害识别包括了对灾害类型的预判、灾害所处阶段识别和灾害危险程度识别。

### 1) 路基地质灾害类型识别

首先根据路基断面类型判别灾害可能发生的位置, 然后根据路基工程地质结构, 对路基可能发生的破坏形式做出初步判定, 最后再从提取的识别标志和类型识别指标对灾害类型进行具体类型判别, 为灾害的后续识别奠定基础。

### 2) 路基地质灾害链式反应阶段识别

链式阶段性是灾害发育过程的重要反映, 从灾变一般规律出发, 可将其演变过程划分为早、中、晚期的时间区段, 拟通过链式阶段演化的外因特征、指标变态反映、载体信息转化特征、作用力破坏效应等界定的基础上, 对各影响灾变的形态特征进行层次细分, 形成综合测评体系, 即构成灾变阶段的影响因素。

## 3.3 沿河公路水毁灾害识别

### 3.3.1 水毁灾害区域识别

沿河公路水毁区域识别, 采用以公路网为基础, 叠加影响因素的方法。沿河公路水毁是气候因素和下垫面共同作用的结果, 通过分析, 气候因素选择降雨, 下垫面选取植被覆盖度、河网密度、沟谷占坡面面积比四个因素进行识别。

### 3.3.2 水毁灾害超前预判

水毁灾害超前预判是通过对水毁路段的实地调查, 根据路基、路面、防护工程的毁坏情况及水流形态来判别水毁灾害, 从而实现对水毁灾害的超前判别的目的。水毁灾害发生前若有明显的迹象, 则可作为水毁预测的参考。

### 3.3.3 水毁灾害识别

水毁灾害的识别是在对沿河公路水毁灾害预判的基础上, 结合沿河公路自身的特点, 经过对水毁灾害致灾因子和水毁机理的研究, 利用水毁灾害的识别指标, 达到对水毁识别的目的, 识别主要解决的问题为: 此地发生水毁的可能性大小、可能发生水毁的具体部位、水毁的形态类型等。

## 第4章 公路路基灾害评价

### 4.1 公路路基灾害类型及等级评价

本项目结合公路交通所发生自然灾害的特点，按照灾害成因条件及灾害动力来源将公路主要自然灾害分为两大类：地质灾害和气象灾害。公路自然灾害只针对作用于公路这个承灾体的常见主要自然灾害进行类型划分，以使灾害类型划分更具有实用性和针对性。

灾情等级主要是针对区域灾害总体损失及影响程度的宏观描述，不是各具体灾种的强度与规模的反映，因此各类灾害的灾情等级应该是统一的，通常以人员伤亡和经济损失数量为指标，参照国土资源部门关于灾情等级划分如下：

- (1) 小型：死亡失踪人数 $<3$ 人，或直接经济损失 $<100$ 万元
- (2) 中型： $3$ 人 $\leq$ 死亡失踪人数 $<10$ 人，或 $100$ 万元 $\leq$ 直接经济损失 $<500$ 万元
- (3) 大型： $10$ 人 $\leq$ 死亡失踪人数 $<30$ 人，或 $500$ 万元 $\leq$ 直接经济损失 $<1000$ 万元
- (4) 特大型：死亡失踪人数 $\geq 30$ 人，或直接经济损失 $\geq 1000$ 万元

### 4.2 公路路基地质灾害风险评价

公路地质灾害风险评价包括危险性评价、易损性评价和破坏损失评价三方面的内容，三者是相互联系的。在同一级别的灾害破坏条件下，由于承灾体的易损性不同导致灾害造成的后果不同，因此本项目通过承灾体易损性分析，判断在不同损毁等级下灾害发生的概率以及灾害造成的损失（期望损失或实际损失），并在此基础上，对损毁的程度与损毁的可能性（即风险）进行评价。

风险评价就是在研究灾害评价区风险分析的基础上，把各种风险因素发生的概率、损失幅度及其他因素的风险指标值，综合成单指标值，以表示该地区发生风险的可能性及其损失的程度，并与可接受的风险标准进行比较，确定风险等级，由此决定是否应该采取相应的风险处理对策。

### 4.3 公路水毁灾害风险评价

沿河公路水毁的危险性是指在路域范围内的路产有遭到洪水损害的可能性大小，是山区河流洪水的固有特性，多用于灾前评估（灾害评价）。

对公路路基及其水毁防护设施进行易损性评价，是为了发现沿河公路抵抗水毁能力的优劣、强弱，以便及时采取有效的预防、补救措施。因而它是判断公路是否需要采取水毁防护措施的依据，也是防护措施选择和设计的主要技术基础。在易损性评价的指导下，对需要防护的路段增设一定防护设施以后，确保公路能抵御它将面临的新的水力条

件，使得所采取的治理措施和设计方案（类型选取和尺寸设计）能满足设计洪水的要求，保证公路基础设施在汛期免于水毁。

公路水毁灾害风险评价是在危险性评价、易损性评价和破坏损失评价的基础上，计算不同强度水毁灾害可能造成的损失大小。

通过分析孕灾环境和致灾因子的危险性、承灾体的易损性及灾情的破坏损失，建立路基水毁灾害点的风险评价模型。结合沿线路基灾害点对整个路段交通的影响程度等其他因素，最终分析评价路段的总体抗灾能力，将为公路规划、选线、公路防灾减灾等提供依据。

## 第5章 公路路基水毁灾害防治技术应用研究

### 5.1 路基水毁机理

沿河公路受河水的冲刷是造成公路水毁的主要原因，其次为淹没。冲刷与河流中的水流、泥沙运动以及沿河路基及其防护构造物的型式密切相关，其中最主要的和最活跃的因素是水流。

山区河流的河湾受河岸地形限制，属于强制性河湾；平原河流两岸和河床由颗粒很细的泥沙组成，为冲积性河流，河床在水流和泥沙的相互作用下自由变形，河湾由河道自由弯曲而成。水流方向的改变伴随着产生离心惯性力，作曲线运动的弯道水流，在重力及离心力的共同作用下，形成一系列特有的水力现象。

### 5.2 路基水毁防治措施

灾害防治工作要以预防为主，选线是最重要的环节。根据灾害易发路段的特征，选线时尽量减少公路通过这些易发路段，特别是减少凹岸侧路线长度，凹岸路基避免侵占河道。

沿河公路路基冲刷防护工程的型式有多种，大致可分为：

(1) 作为路基直接组成部分的石砌护坡和挡土墙（沿河的浸水挡土墙）以及边坡植物防护等，其主要作用是提高路基的抗冲能力保持路基稳定。(2) 路基边坡、挡土墙的坡脚、基础的护脚工程。(3) 各种类型的导治构造物。

### 5.3 排水系统水毁防治

完善路基排水系统是防治其水毁的前提。应从以下几方面注意完善排水系统：

- (1) 调查水源和补给的水量对路基的危害程度，分清主次，采取相应设施。
- (2) 流向路基的地表水或地下水，须在路基以外适当地点设置截水沟或截水渗沟拦截，直接引离路基，或汇集起来用沟管引离路基，或降低地下水位。
- (3) 在局部排水困难或地质不良地段，应做好单独的排水设计，并重视与整个排水系统的连接与配合。
- (4) 重视排水沟渠的进出口处理，防止局部冲刷破坏。

### 5.4 小桥涵水毁防治

小桥涵的涵底（或桥下）以及进出口段应铺砌，以提高抗冲能力，必要时应设置适当的导流和消能构造物。当涵洞进出口易滞水时，若黄土疏松、湿陷、有陷坑时，应深挖、分层回填夯实，引水入涵，使水流不能下渗造成路基沉陷、塌陷。



## 5.5 公路水毁防治工程的环境保护问题

水毁是公路最大的自然灾害，同时公路水毁往往对沿线生态环境造成破坏，尤其是滑坡、泥石流以及坡面泥流等。随着社会进步对工程结构物的环保要求越来越高，在公路水毁防治中也要注重环境保护，合理设计施工，力求实现公路与自然环境相协调，因此，工程决策和设计必须从工程本身效益和社会生态总体效益相统一为出发点，才能实现防灾减灾的最大效益。现就沿河公路路基冲刷防护建筑物形式的选择、新材料的使用两方面展开讨。

## 第6章 公路路基地质灾害防治技术应用研究

### 6.1 路基滑坡类灾害防治技术

滑坡形成的内在条件有：(1) 岩土类型。(2) 地质构造条件。(3) 地形地貌条件。(4) 水文地质条件等。外在条件有：(1) 地震。(2) 融雪、降雨。(3) 地表冲刷、浸泡。(4) 不合理的人类活动等。其防治措施主要有：1) 排水工程；2) 削方减载工程；3) 回填压脚工程；4) 抗滑桩工程；5) 重力式抗滑挡土墙；6) 预应力锚索（杆）；7) 格构锚固；8) 边坡坍塌灾害处置-坡率法。

### 6.2 路基沉陷灾害防治技术

#### 6.2.1 软土或新填土沉陷防治措施

1) 综合防排水措施。2) 换土复填法。3) 复合地基加固法。4) 挤密桩法。5) 其它方法。

#### 6.2.2 湿陷性黄土路基沉陷防治措施

1) 综合防排水措施；

2) 黄土路基沉陷的处理方法：(1) 土垫层；(2) 重夯法；(3) 强夯法；(4) 灰土挤密法；(5) 灰土基础加深；(6) 注浆充填法。

### 6.3 公路地质灾害治理的信息化施工及预加固技术

信息化施工法就是将在施工过程中发现的工程地质条件、施工工艺存在的问题等信息及时反馈到设计、施工中，并据此对原设计进行修正，以保证设计和施工更符合现场实际情况，使灾害治理工程更加合理。

新开挖的路堑边坡，应力调整过程延续时间长，即时所作的防护加固，亦可认为是预加固措施。开挖后在短时间内可能变形较大，如滑坡体，为避免施工中遭受破坏，在开挖大变形之前施工支挡防护，称为预加固。

边坡预加固的基本结构形式为坡面加固和坡脚加固，在实际工程中由坡面和坡脚预加固技术衍生出多种预加固技术。

## 第7章 公路路基灾害防治对策

本章重点研究以下三方面的内容：1) 公路路基灾害防治对策系统；2) 各灾种的防治对策；3) 公路路基灾害管理系统。

### 7.1 公路路基灾害防治对策系统

公路路基灾害防治系统包括灾害防治方面的法律制度、标准规范，灾害管理体制，资金、物资保障，技术支持系统，宣传教育，减灾防灾工程。对灾害防治对策系统的应用体现在灾害过程管理和灾害工程管理两个环节，两个环节包括了应对路基灾害的“防灾”和“减灾”两大范畴。

#### 7.1.1 法律制度、标准规范

##### 1) 法律制度

具体的针对路基灾害的法律制度体系包括以下几方面内容：

(1) 路基灾害预防及救助组织法律制度；(2) 灾害应急预案法律制度；(3) 路基灾害预防法律制度；(4) 灾害应对法律制度；(5) 灾后保障法律制度；(6) 法律责任制度。

##### 2) 标准规范

对于灾害治理工程构造物的设计与建设，应形成系统、可行的标准与规范，在灾害治理设计施工中应有章可循，根据不同等级的灾害和设防标准进行相应的设计。这为灾害防治工作的规范化提供了依据。

#### 7.1.2 灾害管理体制

建立完善的灾害管理体制，通过各种制度和程序来进行灾害防治工作，使得公路灾害的管理系统化、程序化。

#### 7.1.3 资金、物资保障

近年来，多发的公路路基灾害造成了巨大的人员伤亡和财产损失。灾后抢通和路基、路面以及防护设施的重建任务艰巨。资金和物资的筹集、使用至关重要。当地财政部门如何用好用足这些支持政策，多渠道筹集资金、管好用好资金，对灾后恢复重建工作有着重大影响。

#### 7.1.4 技术支持系统

灾害的防治中技术支持占了很重要的地位。建立完善的技术支持系统能够为路基灾害防治提供有力的保障。

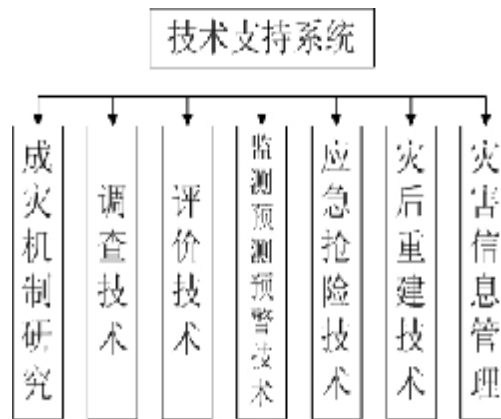


图 7.1.4-1 技术支持系统

路基灾害技术支持系统应从图 7.1.4-1 所示的几个方面建设，逐项完善、提高技术，为防灾工作做好技术保证。

公路路基灾害信息管理服务对象不仅包括从事路基灾害研究和生产实践的部门，同时要为相关政府部门决策提供服务。因此，此系统利用先进的 WebGIS 技术、计算机技术、网络技术，采用通用的软件设计标准和 Browse/Server 模式。

#### 7.1.5 宣传教育

各部门应共同合作做好防灾工作，提高防灾的科技实力，重视防灾科技和知识的普及教育，整体提高公路工作人员的灾害防治水平。

#### 7.1.6 减灾防灾工程

路基灾害防治的工程措施针对不同灾种都有各自不同的工程措施。同种灾害不同的危害程度采用的工程措施不同，要达到不同的治理效果时工程措施也不同。工程措施在对路基灾害进行防治时涉及到技术、经济、环境等几个方面。在选取工程构造物时应综合考虑这些因素。防治工程是灾害治理最终要实施的手段，是灾害治理的必要环节。

### 7.2 公路路基灾害综合防治对策

路基灾害的工程防治方法较多，根据各自不同的特点、灾害所处的阶段和危害程度，由一种或几种工程措施组合，从线位选择、工程措施、方案优化等方面对路基灾害进行防治。在工程措施的选择方面要考虑防治工程的特点、组合防治的效果和经济因素。在防治效果和经济上选择平衡点。

## 第 8 章 公路路基灾害预警及应急抢险

公路路基灾害预警是在公路路基发生灾害之前根据观测信息，或者在灾害发生之后根据实际造成的损失情况，向有关部门发出预警信息，有关部门根据不同的预警等级，启动相应的应急响应，以提高公路路基灾害突发事件的应急保障能力，确保交通安全，减少公路和人民生命财产损失。

### 8.1 路基灾害预警

根据受灾原因的不同，公路路基灾害可以分为路基水毁灾害和地质灾害。公路灾害预警是以路基水毁灾害和地质灾害为预警目标，以灾害控制为目的，在灾变规律、灾变监测信息准确分析的基础上，考虑自然、社会和经济等因素，从时间和空间上对灾变过程进行预测预报，并对可能发生的路基灾害采取必要的预防措施，减少灾害发生时的损失及对社会、经济的影响，保护人民生命财产和公路设施的安全。

公路边坡地质灾害预警就是一种包括预测和警报全过程的广义的预警，在时间尺度上包括了预测、预警和发出警报等几个阶段，每一个阶段都是一个公共管理、科学技术与公众社会共同参与的综合体系。

具体包括如下步骤：(1)分析诱发地质灾害的地形、地貌、气象、水文等几个方面的因素，并根据这些因素对灾害影响的重要度将进行其量化处理。(2)选取研究区域内发生地质灾害的典型样本，分析计算各个因素引发地质灾害的权重指数，及各监测站点的灾害易发级别。(3)基于 GIS 技术，可以采用插值方法将站点的易发级别转换成面的易发级别。(4)运用有效降雨量模型和抗灾雨量法计算出地质灾害发生的概率。(5)将灾害易发区等级图与降雨图进行叠加分析，采用地质—气象耦合方法，进行边坡地质灾害的预测。

### 8.2 路基灾害应急响应

#### 8.2.1 应急预案

公路水毁应急预案是指面对公路水毁灾害的应急管理、指挥、救援计划等，是应对突发灾害的行动方案、行动指南、行动导向。它一般应建立在综合防灾规划之上。

#### 8.2.2 应急响应机制

##### 1) 应急响应启动

一旦发生公路突发灾害，由事件发生地应急机构先行响应，及时启动应急预案，加紧道路抢修工作，各级应急响应为：

2) 应急保障：组织保障、队伍保障（①群众抢险队伍；②机动抢险队）、物资设备保障、通信保障。

### 3) 交通组织和应急便道

指挥协调相关部门加紧交通疏导、管制，及时进行路网交通流调度。

### 4) 应急响应终止

## 8.2.3 应急抢险措施

抢修方案要遵循先路基、桥涵构造物，后路面工程；先抢通、后恢复的原则，根据不同的灾害类型，制定不同的抢修措施，缩短断道时间，同时还要考虑确保行车安全和将来正式修复的工程条件。

## 8.3 公路灾害管理系统

公路路基灾害管理系统是从管理的角度，在决策的层面上把握灾害防治的总体方向。而且通过管理可以降低公路路基灾害发生的频率，控制公路路基灾害造成的损失。灾害管理是对灾害防治全过程的管理和控制。公路灾害管理的实质是工程风险管理，包括风险识别、评价和预测、对策选择与实施、后评估等内容。

### 8.3.1 系统的内容、设计目的



图8.3.1-1 公路灾害管理系统

整个系统由系统管理、数据管理、灾害识别、灾害评价、预测预警、防灾决策六部分组成，遵循公路灾害管理的基本流程，使灾害的管理更加严谨、有序。

### 8.3.2 系统的结构

基于系统需求分析，结合依托工程灾害信息的特点，本系统主要包括五个子系统：系统管理子系统、数据管理子系统、灾害识别子系统、灾害评价子系统、预测预警子系统、处置方案和辅助决策子系统。

### 8.3.3 系统的功能

系统主要功能有：1) 图文互查；2) 图层控制；3) 属性管理；4) 视窗管理；5) 工程风险管理功能；6) 输出功能。



## 第9章 路基灾害防治技术指南

根据西部交通建设科技项目“路基灾害防治技术推广及应用示范(200631800007)”的研究成果,并结合已有研究成果和工程经验,进行广泛现场调查和深入分析研究,编制了路基灾害防治技术指南。

本指南旨在构建公路交通防治自然灾害的体系,包括制度建设、灾害管理、交通安全管理、防治工程措施等防灾减灾对策。

详见本项目成果之一《路基灾害防治技术指南》,此处仅将总则列出:

9.1 本指南适用于干线公路灾害防治工程。

9.2 为全面提高干线公路的抗灾能力,按照“安全、耐久、节约、和谐”的原则,贯彻“预防为主、防治结合、因地制宜、综合治理”的方针,指导灾害防治工程的勘察、设计、施工及管理。

9.3 由于公路灾害具有点多面广的特点,防治工程应按照灾害点的灾害特征、工程规模、危害程度,根据“先急后缓”原则,合理安排治理次序。

9.4 公路灾害防治工程设计必须重视调查、勘察和试验工作,充分的基础资料是工程方案选择及设计的可靠依据。

9.5 地质灾害防治工程的方案选择,应在准确掌握不良地质条件的前提下进行,特别是对软弱结构面、不利产状结构面以及特殊岩土条件,在调查的基础上配合必要的勘探和试验,方可根据灾害的类型、规模、稳定性以及环境条件,选择经济、合理的综合治理方案。

9.6 地质灾害防治工程设计荷载包括:灾害体的自重及地面荷载;降雨入渗形成的地下水压力;地震荷载。考虑降雨时,设计暴雨强度重现期为20年。

9.7 沿河路基水毁灾害防治工程,本着“因势利导,治早治小”的原则,经过水文计算和冲刷计算,确定治理方案。河流洪水设计重现期遵照技术标准。

9.8 公路灾害防治工程设计基准期为:二级及以上公路为50年,二级以下公路为25年。灾害防治工程抗滑安全系数一般取1.15,崩塌治理中倾倒破坏工程安全系数取1.4。

9.9 防治工程施工严格按相关规范执行,符合项目管理程序和制度。

9.10 本指南中未涉及的问题可参考有关现行规范。



## 第 10 章 结论与建议

### 10.1 项目研究的主要结论

项目研究中有以下主要结论：

1) 我国公路地质灾害和洪水灾害的分布与相应的自然影响因子分布一致，受灾损失程度还取决于公路等级和公路网密度。

2) 项目根据调查和理论分析，总结了 10 个试点省的灾害防治工程，分别就各地的路基灾害类型、成因、典型灾害治理工程及获得的灾防经验进行了总结。

3) 通过对路基几何形态、内部结构面、岩土工程性质三部分的研究，分析了路基工程地质结构。分析了路基灾害的链式反应过程。基于以上两种原理本研究提出了路基地质灾害的识别方法。

4) 通过调查、分析和研究，提出了水毁的宏观和微观识别指标，建立了沿河公路水毁识别程序。

5) 通过研究沿河公路水毁区域识别，提出水毁区域识别、水毁初判、超前预判以及危险性识别的方法。

6) 按照灾害成因条件及灾害动力来源将公路主要自然灾害分为两大类：地质灾害和气象灾害。根据对依托工程的灾害调查数据分析，针对滑坡类、崩塌类、路基沉陷、沿河路基水毁，结合灾害自身特点按照不同标准将灾害规模进行划分。

7) 从灾害影响因素分析中提取合理因子作为危险性评价指标，利用层次分析法和模糊综合评价方法确定各评价指标权重；根据影响因素指标分级标准确定评价指标的作用强度指数，最终建立危险性评价数学模型。

8) 提出了灾害影响区损失率和工程易损系数两个评价指标，定性与定量相结合，建立了易损性评价数学模型。

9) 风险评价综合了危险性评价和易损性评价的结果，按照风险的定义，建立了风险评价计算模型，即风险值是将灾害发生的概率大小与灾害的破坏损失值相乘而得到。本项目还对风险标准和风险等级进行了划分，为公路灾害风险管理提供参考。

10) 从常见的河流形态弯道水流特征角度，分析了沿河公路水毁机理，系统总结了沿河路基防护的结构类型及其适用条件、主要设计参数计算方法。分析了公路排水系统及小桥涵水毁一般规律及防治措施。

11) 研究了路基地质灾害治理技术，提出了滑坡易发条件，滑坡防治的原则，并总

总结了滑坡坍塌治理的工程措施及其适用条件。研究了公路地质灾害治理的信息化施工方法，提出信息化施工是路基灾害防治工程的关键技术之一，建议在灾害治理工程中广泛推广。

12) 结合地质灾害和水毁灾害防治技术研究，提出了 10 条基于灾害防治的线位选择原则。

13) 将预加固概念引入灾害治理中。预加固方法是解决处于不稳定状态灾害体加固施工困难的方法。

14) 在公路防灾中应重点建设这几项法律制度：①临时决策权制度；②隐患点备案制度；③应急交通管制制度；④灾害监测制度。这样才能最大限度地减少灾害带来的损失。

15) 项目以部分试点省为重点，从灾害调查到设计施工，再到路线灾害管理，项目组全程提供技术支持和技术研究，结合实际提出了合理的评价结论、治理方案及其优化、管理建议。

16) 开发了“公路灾害管理系统”，基于 GIS 实现了灾害识别、评价等功能。

17) 研究了公路地质灾害和洪水灾害的预警方法，提出了边坡灾害预警模型及洪水灾害、地质灾害预警方法，并提出了相应的预警等级划分，并总结了主要路基灾害的抢险措施。

## 10.2 主要创新点

由于本项目为技术开发和推广应用，整体上属集成和应用创新。创新点分四个方面：

### 1) 技术创新

(1) 在灾害防治中，除运用常规治理措施外，还结合工程实际，积极探索新的灾害治理措施和方法。

(2) 对陕西、辽宁部分路段进行了灾害识别和风险评价。

### 2) 理论创新

(1) 建立了路基灾害等级划分标准。提出了灾情评价标准、灾害规模等级标准。

(2) 提出路基工程地质分析原理。该原理为灾害识别和方案制定奠定了理论基础。

(3) 分别建立了公路路基地质灾害和洪水灾害识别方法。

(4) 建立了路基灾害评价方法。

### 3) 技术创新

(1) 开发了“公路灾害管理系统”。

(2)在路基灾害的防治对策中,当路线通过灾害体或灾害易发路段时,提出了线位选择的10条原则,为灾害易发路段的路基选线提供一定参考。

(3)提出了陕南路基地质灾害和洪水灾害预警方法,制定了相应的应急预案。

#### 4)制度创新

提出减轻公路灾害损失的关键在于要建立较完善的公路减灾防灾体系。

### 10.3 建 议

由于路基灾害是自然环境因素与人工结构物及人类社会相互作用的结果,其实质是自然变异造成的公路交通损失,表现出多样性和复杂性。要实现防灾减灾的目的,建议做以下工作:

(1)重点建设四项法律制度:①临时决策权制度;②隐患点备案制度;③应急交通管制制度;④灾害监测制度。

(2)开展灾害调查,建立公路灾害数据库,进行防灾减灾规划。

(3)除继续研究灾害治理技术,还应花大力气研究防灾方法,实现对灾害全过程的信息化管理。

(4)本项目初步研究了灾害预警,还可对重大灾害点进行监测,进一步深入研究灾害预警方法。