

© 刘不兴 田建文 马保成 钱璞 李家春 编著



# 陕北黄土地区公路 边坡灾害分区与预测预警



人民交通出版社  
China Communications Press

Shanbei Huangtu Diqu

# 陕北黄土地区

Gonglu Bianpo Zaihai Fenqu yu Yuce Yujing

## 公路边坡灾害分区与预测预警

刘丕兴 田建文 马保成 钱 璞 李家春 编著

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书针对陕北黄土地区公路边坡灾害问题,结合区域自然环境条件,分析归纳了公路边坡灾害的特点、主要类型及影响因素;提出了区域边坡灾害危险性分区的指标,并基于 GIS 技术进行了陕北黄土地区公路边坡灾害危险性分区;根据区域环境特征和公路交通的实际情况,建立了公路边坡灾害的预测预警方法,有针对性地提出了防治对策,为陕北黄土地区公路边坡灾害防治提供技术支持和参考依据。

本书可供从事黄土地区公路建设、养护、管理以及公路防灾、减灾工作的技术人员和相关研究人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

陕北黄土地区公路边坡灾害分区与预测预警/刘丕兴等编著. —北京:人民交通出版社,2013. 12

ISBN 978-7-114-11039-9

I. ①陕… II. ①刘… III. ①黄土区—公路—边坡—灾害—研究—陕北地区 IV. ①U418.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 285729 号

书 名: 陕北黄土地区公路边坡灾害分区与预测预警

著 作 者: 刘丕兴 田建文 马保成 钱 璞 李家春

责任编辑: 丁润铎 张思宇

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.cpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 中国电影出版社印刷厂

开 本: 720×960 1/16

印 张: 9.25

字 数: 165 千

版 次: 2013 年 12 月 第 1 版

印 次: 2013 年 12 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11039-9

定 价: 30.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 本书编写组

## 主要编写人员：

刘丕兴 田建文 马保成 钱 璞  
李家春

## 参与编写人员：

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 张玉福 | 高 茜 | 杨 勇 | 李龙龙 |
| 贺中统 | 张生福 | 段 磊 | 胡凤燕 |
| 杨 浩 | 霍永茂 | 马玉梅 | 孙 敏 |
| 杨旭斌 | 董 伟 | 田建章 | 延喜宁 |

# 前 言

受特殊的自然环境影响,每年汛期陕西省的干线公路水毁现象频繁发生,常常导致公路交通受阻或中断,造成严重经济损失并对社会造成不利影响。据不完全统计,近20年多来,陕西省每年公路水毁损失达数亿元,严重时甚至超过10亿元,总体呈不断增长趋势。由强降雨引发的公路水毁,已经成为影响陕西省公路交通建设发展和安全畅通的关键因素之一,特别是在陕西省南部的秦巴山区和北部的黄土高原地区,显得尤为突出。

陕西省北部的黄土高原地区,黄土分布面积广且湿陷性较强,汛期的短历时强降雨引发的洪水,常常造成严重的山区公路水毁灾害,灾害点多面广、经济损失巨大,对公路建设、运营维护及区域社会经济发展影响显著。

在暴雨等灾害性天气条件下,如何减轻或避免公路水毁对人民生命财产和公路工程造成的危害,是工程技术人员亟待解决的一大科学问题。多年来,研究人员一直没有停止对黄土地区公路水毁防治技术的研究。陕西省公路交通部门与长安大学以及相关研究机构合作,针对降雨条件下公路边坡水灾害的预防和治理问题,开展了多项科研课题研究,并取得了一系列研究成果。其中,具有代表性的科研项目有“陕北黄土地区公路边坡降雨灾害预测预警研究”、“陕北黄土地区公路边坡防排水技术研究”等。这些研究成果对于指导黄土地区的公路防灾减灾工作,显著减少公路降雨灾害损失,具有重要的作用。通过相关示范工程的实践和技术推广,这些研究成果显著提升了陕北黄土地区公路灾害的防治技术水平,具有显著的社会效益、经济效益和环境效益。

本书就是在归纳已有研究成果和工程应用的基础上,总结陕北黄土

地区公路边坡灾害防治的经验,并参考借鉴了相关领域的研究成果编写而成。在此,向相关研究文献和资料的著作者表示衷心感谢。

长安大学田伟平教授对本书进行了细致地审阅,并提出了许多宝贵意见。除本书编写单位(陕西省榆林公路管理局、长安大学、西安科技大学、榆林路桥勘察设计院)列出的编写人员之外,还有许多同仁对编写工作提供了支持、指导和帮助,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中不当之处,敬请读者批评指正。

作 者  
2013 年 8 月

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第1章 概述 .....                 | 1   |
| 1.1 陕北黄土地区公路边坡灾害的现状 .....    | 2   |
| 1.2 公路边坡灾害防治的国内外研究概况 .....   | 4   |
| 1.3 基于风险管理的公路边坡灾害管理 .....    | 14  |
| 1.4 研究目标和主要内容 .....          | 18  |
| 第2章 陕北黄土地区公路边坡灾害特点 .....     | 21  |
| 2.1 自然环境特点 .....             | 21  |
| 2.2 公路边坡灾害类型及特点 .....        | 36  |
| 2.3 公路边坡灾害的主要影响因素 .....      | 44  |
| 第3章 陕北黄土地区公路边坡灾害的危险性分区 ..... | 51  |
| 3.1 公路边坡灾害分区的原则和方法 .....     | 51  |
| 3.2 公路边坡灾害的危险性分区指标 .....     | 59  |
| 3.3 公路边坡灾害的危险性分区 .....       | 63  |
| 3.4 区域路网危险性评价 .....          | 76  |
| 第4章 陕北黄土地区公路边坡灾害的预测预警 .....  | 81  |
| 4.1 灾害预测预警的方法 .....          | 81  |
| 4.2 公路边坡灾害的预测预警方法 .....      | 88  |
| 4.3 公路边坡灾害预测预警方法的工程应用 .....  | 99  |
| 第5章 陕北黄土地区公路边坡灾害防治对策 .....   | 102 |
| 5.1 概述 .....                 | 102 |
| 5.2 工程防护措施 .....             | 103 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 5.3 排水系统 .....             | 112 |
| 5.4 陕北黄土地区公路边坡灾害防治措施 ..... | 116 |
| 5.5 非工程防护措施 .....          | 120 |
| 5.6 工程案例分析 .....           | 121 |
| 附图 .....                   | 124 |
| 参考文献 .....                 | 137 |



# 第1章 概述

我国地域广阔,地理、气候条件复杂,是世界上自然灾害最严重的国家之一,其中由暴雨引发的灾害占很大比重,且具有较明显的地域性差异。例如:山区、丘陵区由于强降雨引发的山洪、泥石流、坡体失稳等灾害,平原区由于强降雨引发的渍涝灾害,长时间、大范围的强降雨导致的区域洪水灾害等。即使在同一省区,在不同的季节、不同的地形等条件下,自然灾害的发育及分布也表现出各自的特点。

陕西省位于我国中西部内陆地区,地理位置东经  $105^{\circ}29'$  ~  $110^{\circ}15'$ ,北纬  $31^{\circ}42'$  ~  $39^{\circ}35'$ ,总面积 20.56 万  $\text{km}^2$ 。全省地势总的特点是南北高、中间低,由西向东倾斜。北山山系和秦岭将陕西省分为三大自然区:北部的陕北高原、中部的关中平原,以及南部的秦巴山地(图 1.1)。

陕北黄土高原约占陕西省总面积的 45%,其北部为风沙区,南部是丘陵沟壑区。从区域上看,在榆林地区的定边、靖边、横山、神木等县的北部,长城沿线一带是风沙滩地;延安以北的地区地表切割严重,是以峁为主的峁梁沟壑丘陵区,以绥德、米脂一带最为典型;延安、延长、延川是以梁为主的梁峁沟壑丘陵区;延安以南是以塬为主的塬梁沟壑区,其中洛川塬就是保存较完整、面积较大的黄土塬;宜川、洛川、黄陵以南,则逐渐过渡到破碎塬区。

该地区的黄土主要是风成黄土,粉粒占黄土总质量的 50% 左右,具有结构疏松、富含碳酸盐、孔隙度大、透水性强、遇水易崩解、抗冲抗蚀性弱等特点。围绕该地区的地理学、地质学研究一直不断。随着经济社会的全面发展,各类工程建设项目相继展开,与各类工程相关的黄土地质问题也成为国内外研究的热点之一。

以公路工程为例,由于陕西省三大自然区环境条件差异悬殊,区域内公路建设水平、灾害类型、灾害发生频率及危害程度等也有着较大的差别。北部的黄土高原,海拔 900 ~ 1 500m,黄土湿陷是典型的公路工程地质问题,黄土滑坡、崩塌等是主要边坡灾害类型,多年来给当地社会经济发展带来了严重危害,成为影响社会生活和制约经济发展的因素之一。

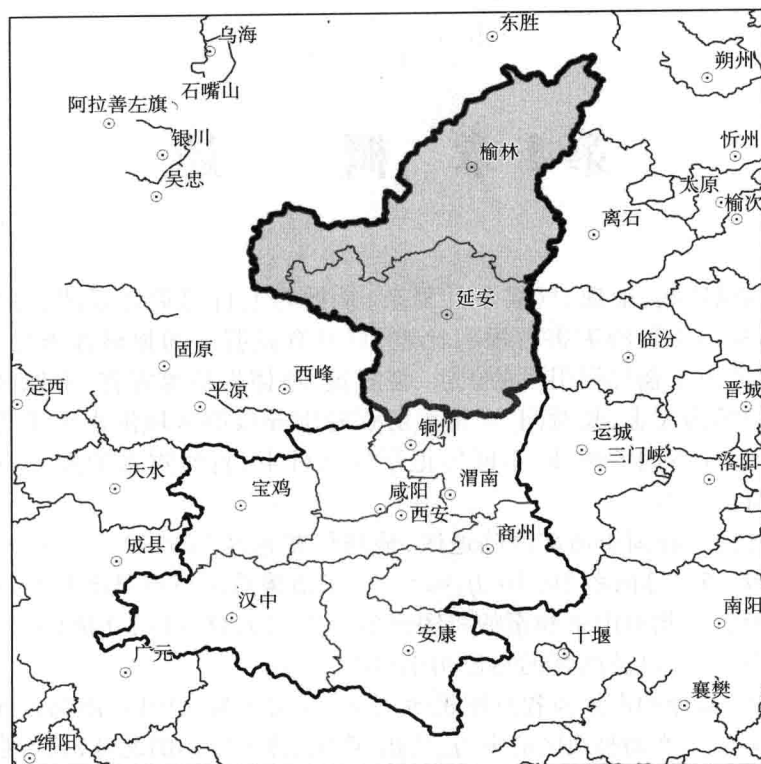


图 1.1 陕西省地形图及陕北黄土地区的地理位置

## 1.1 陕北黄土地区公路边坡灾害的现状

危害人类生命财产和生存条件的事件通称为灾害。自然灾害是由自然事件或自然力量为主因造成人员伤亡和人类社会财产损失的事件。随着经济社会的快速发展,自然灾害的破坏性也引起了全社会的广泛关注。

2000 年以来,我国突发地质灾害平均每年造成死亡、失踪约 1 100 人,经济损失 120 亿~150 亿元。《全国地质灾害防治“十二五”规划》提到,黄土高原黄土覆盖层厚,沟谷切割深,属于滑坡、崩塌、泥石流地质灾害高、中易发区;本世纪前期气候变化趋于活跃,强降雨引发的滑坡、崩塌、泥石流灾害将加剧,未来 5~10 年仍是地质灾害的高发期。

陕西省自然条件复杂,强降雨时空分布具有独特的规律性,公路水毁灾害频发,是我国公路水毁灾害较为严重的省份之一。陕北是典型的以塬、梁、峁、沟壑等地貌

为主的黄土高原地区,生态系统十分脆弱,加上公路等级总体偏低,抵御自然灾害的能力较差,使该地区成为我国西部地区公路暴雨灾害发生最频繁的地区之一。

黄土高原抵御自然灾害的能力总体较低,其原因是多方面的。首先,黄土高原的地理位置特殊,即处于从平原向山地高原过渡、从沿海向内陆过渡、从湿润向干旱过渡、从森林向草原过渡、从农业向牧业过渡的地区,各种自然要素相互交错,自然环境条件较为复杂,水、旱以及水土流失等自然灾害较为严重。其次,随着社会和经济的发展,尤其是近代以来,人类的工程经济活动日益加剧,对自然环境的改造和利用行为越发频繁和强烈,特别是其中的不合理开发利用活动,如乱砍滥伐、过度放牧、环境污染、资源过量开采、未经合理论证的弃土弃渣以及大规模工程建设时支护力度不够或环境恢复措施不力等,均导致局部或区域自然环境条件的恶化,使得自然灾害发生频度增大。

交通是社会经济发展的重要支撑条件之一,我国各地、各级政府都十分重视公路交通的建设和发展。近年来,特别是改革开放以来,我国公路建设走上了快速发展之路,实现了各等级公路里程的显著增长,以及公路建设和维护科技水平的提高。在公路自然灾害的防治工作中,黄土地区的公路工程实践具有特殊性与地域性,引起工程技术人员的广泛重视,并进行了长期的深入研究。

“十一五”以来,榆林市委、市政府坚持将交通运输优先作为发展方向,着力构建统筹各种运输方式的“大交通”体系。至2012年年底,公路总里程达到28377km,公路密度达到60km/百km<sup>2</sup>,其中高速公路通车里程860km,居陕西全省首位;干线公路1358km,全部大修改造为三级以上公路,干线公路安全运营和通行能力明显提高;同时,全市农村公路总里程达到26158km,其中县道2640km、乡道3479km、专用公路261km、村道16707km、简易村道3071km;等级公路达到22640km,占公路总里程的87%。全市实现了乡乡通油路、建制村村通公路,55%的建制村实现了通油(水泥)路。

按照《榆林市“十二五”综合交通运输发展规划》,到2015年,榆林全市将基本建成“四纵四横”高速公路网,实现市县连接高速化、县际公路二级化、县乡公路等级化、乡村公路黑色化,并建成连接西安、太原、呼和浩特、兰州、银川、北京、石家庄、郑州等城市“一日到达”和榆林周边市县之间“一日往返”的交通圈。

近年来,革命圣地延安的路网改造、干线公路和农村公路建设得到上级公路部门的大力支持。“十一五”期间,延安市公路交通建设事业实现了快速发展。公路里程增至20156km,二级公路在路网中的比重达到6.8%,公路网密度达到54km/百km<sup>2</sup>。7个县通了高速公路,13个县城通了二级以上公路,所有乡镇通了油路,所有行政村通了公路。延安高速公路通车里程位居陕西省第二,“两纵两横”高速公路网基本形

成;二级公路总里程达到1387km,位居全省第一。通村公路的大规模建设为农业增效、农民增收提供了便捷的交通服务。

公路里程的快速增长,对加快区域经济社会又好又快的发展起到了积极的推动作用。但值得注意的是,陕北黄土地区自然条件比较差,区内交通以公路为主,且大部分公路地处山区,公路边坡灾害等公路水毁问题突出,严重制约着当地交通和经济的发展。每年因公路水毁而导致该地区国、省道交通中断的事件不胜枚举,直接经济损失巨大。

近年来,受全球气候变暖等自然与人为因素的多重影响,暴雨等自然灾害对公路造成的危害和影响有逐年递增的趋势。暴雨及其引发洪水对公路基础设施的破坏力和影响范围较大,还易引发崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害,进而破坏公路路基、路面及其他公路设施,致使交通中断;有的边坡塌方虽未对公路本身造成破坏,但阻塞公路,导致车辆无法通行。根据研究资料和相关媒体报道,暴雨洪水灾害及其诱发的地质灾害每年都有程度不同的发生,给交通运输乃至区域经济、社会稳定和生态环境带来严重威胁。2012年7月下旬的连续强降雨,造成榆林各地公路水毁严重,其中,7月26~28日的暴雨,致使S302(佳榆线)道路全幅冲毁8处,半幅冲毁50多处,累计冲毁长度1200m(按全幅路基折算),冲毁涵洞16道计330m;冲毁边沟28950m;冲毁急流槽42处计1250m;冲毁挡土墙20处计360m,多处边坡坍塌,并出现了大量的发生失稳破坏可能性较大的不稳定边坡。2013年7月份,延安地区遭遇了百年不遇的持续强降雨,引发大面积滑塌、泥石流等地质灾害,对公路工程造成严重损坏。

根据有关资料统计,陕西省公路灾害中,陕北黄土地区公路边坡灾害占有较大比例,而降雨是公路边坡灾害的主要致灾因素之一。为了降低灾害发生率,最大限度减轻或避免灾害造成的人员伤亡和财产损失,工程技术人员和科研工作者在陕北黄土地区公路边坡灾害的成灾机理、防治对策等方面进行了大量的科学研究和工程实践,逐步积累了行之有效的理论技术和工程措施体系,提升了灾害防治的科学认识水平。

综上所述,陕北黄土地区公路边坡灾害防治的形势十分严峻,研究人员从不同角度开展了相关研究,并取得了一系列的研究成果。理论研究和实际工程均已表明,降雨对公路边坡灾害有诱发作用,且降雨条件与边坡灾害发生具有较明显的统计相关性,相关研究资料及基础数据也较为充分。因此,本书主要针对由降雨引发的公路边坡灾害问题进行相关专题的论述。

## 1.2 公路边坡灾害防治的国内外研究概况

公路地质灾害是由地质作用或与人类工程活动共同作用导致公路及其周围地质

环境条件发生变化,对公路建设或运营造成严重影响的灾害。由于各种原因,我国公路(尤其是山区公路)沿线地质灾害点多面广,严重影响公路设施安全和公路畅通。从公路地质灾害的统计资料看,影响较大的灾害类型主要有崩塌、滑坡(含坍塌)、泥石流和路基沉(塌)陷4大类。公路边坡灾害主要包括崩塌、滑坡、泥石流3类。

工程调查和研究表明,边(滑)坡灾害具有明显的地域性特点,受地形和地质因素影响,且与降雨因素关系密切。在不同的降雨条件下,边坡的稳定性存在差异,这是因为,具有特定地质环境条件(如,地形坡度、岩性组合、岩体结构和水文地质等)的边坡可能发生失稳破坏的难易程度是不同的。因此,要充分考虑降雨、区域地质环境等因子,对边坡灾害做出较为准确的分析判断,最终实现灾害的风险估计、预测预报以及防灾决策。

多年来,边坡灾害的研究工作一直是工程技术界的热点之一。所取得的研究成果,在灾害分区、预测预报、防治措施等方面均有体现,促进了边坡灾害防治科学技术的发展。

### 1.2.1 灾害分区研究

灾害分区的研究和实践由来已久。分区或者区划,指的是按照特定目的、指标或工作需要,将某一地区根据地域性差异划分成不同区域。

危险是指有遭到损害、破坏损失的可能。危险的定量表达即危险度,定性表达即危险性。张梁、罗元华等(1996年)认为,地质灾害危险性分析是度量地质灾害体的活动程度、活动特征、地理分布及其对影响区的威胁程度,是评价地质灾害破坏损失程度的基础。地质灾害危险性评价的主要内容是评价地质灾害的活动程度,反映地质灾害的破坏能力,有点评价、面评价和区域评价之分(表1.1)。

地质灾害危险性评价内容和方法

表 1.1

| 危险性评价 | 基本目标                                        | 评价方法                      |
|-------|---------------------------------------------|---------------------------|
| 点评价   | 确定灾害活动概率或发展速率,确定成灾范围以及不同程度的危险区              | 经验法、条件分析法等                |
| 面评价   | 分析评价突发性地质灾害活动数量、发生概率或缓发性地质灾害发展速率、危险面积及划分危险区 | 专家评判法(地貌分析法)、因子叠加法、指标综合法等 |
| 区域评价  | 根据地质灾害危险性构成,进行危险性区域划分                       |                           |

自然灾害危险性分析是风险评估、灾情预测的重要基础。灾害危险性(或危险度)分区是在基本掌握区域灾害分布与发育发展规律的基础上,根据灾害发生的自然环境背景和动力诱发因素而进行的高层次地、科学概括地区域划分。

灾害分区的目的在于更全面系统地认识自然灾害的区域规律和发展趋势,以

便为制定区域灾害的减灾防灾综合规划、工程建设项目的选址布局、合理实施和自然环境保护提供重要的科学依据和宏观决策意见。

灾害危险区是指发生灾害可能性较大的区域。在对区域灾害易发程度分析评价和易发区划分的基础上,对灾害进行危险性的定性或定量评价和分区,对于指导区域防灾减灾工作至关重要。

在分区评价的过程中,关键是建立一套较为全面合理的分区评价指标体系,并且采取可靠的分析工具,以便提高分析的精度和工作效率。

灾害危险性分区的关键是危险性评价。常用的分区方法主要分为:现场调查判断法、区域宏观统计分析法(该方法不深入关注灾害成因机理)、灾害遥感制图法、数学模型方法等。其中,数学模型方法是国内外研究的热点之一,主要方法有层次分析法、神经网络法、模糊综合评价法、多元统计分析法和信息量法等。

模糊综合评价法是数学模型方法中较为常用的一种。它是对不能准确定义、归类的多因素事件进行定量分析时采用的方法,其核心是通过计算模糊隶属度,将某些定性描述和人的主观判断用数字形式予以表达,以此进行分类、分级,广泛应用于多因素复杂评价系统的研究中。该方法的关键在于评价因素的选取及其权重的确定。马平等(2007年)对地形地貌、易滑岩组、地质构造复杂程度、河流切割密度、年平均降雨量及地质灾害分布密度6个主要评价因子,用黄金分割法确定各因子的权值,对贵州省地质灾害危险性进行了模糊综合评价分区。

朱静等(1996年)应用数理统计方法,对云南省进行了泥石流灾害危险度分区评价,为云南省泥石流总体减灾规划的制定和灾情预测预报提供了科学指导。

对于国内外研究较多的滑坡灾害来说,滑坡发生的空间预测和分区具有重要意义。其实质是识别、判定未来哪些地区容易发生滑坡,以及发生滑坡的可能性大小。

由于滑坡致灾的复杂性,目前学术界仍难以在空间上建立滑坡灾害与其影响因素之间的定量函数表达。滑坡的空间预测和分区主要有5种方法:①基于滑坡编录的概率分析方法。这种方法认为,曾经发生滑坡的地方,未来仍是滑坡的敏感区,需要较详细的滑坡编录。②基于经验的定性推理方法。相关专家运用经验知识,依据已有的地形地貌图、工程地质图等,直接或间接地分析绘制滑坡易发性分区图,其缺点是主观性和非量化。③基于数据的数学模型评价方法,如证据权重法、逻辑回归统计法、信息量法、聚类分析法、人工神经网络法等。近年来的研究热点在于将这些方法与GIS技术相结合,通过对滑坡灾害资料和地质环境条件的叠加分析,获得易发性图。这种方法的缺点是需要大量数据,且对原始数据的精度要求较高,否则会影响分析计算的结果。④确定性模型方法。这种方法采用边坡稳定性计算的物理力学模型,根据岩土体物理力学、水文、水文地质等参数,进行区域

的稳定性计算,得到定量评价成果图,但由于滑坡机理和地域条件的复杂性,需要做出多种假定和简化,计算结果与实际情况存在差异。⑤不确定性模型方法。这种方法主要是基于可靠度的概率模型,其计算方法主要有统计矩法、一次二阶矩法、可靠性法,以及基于试验模拟的 Monte Carlo 法等。在应用于斜坡系统的稳定性分析时,由于地质模型的复杂性和不确定性,以及计算方法假设条件和适用条件的限制,使得该类模型存在一定的局限。

前3种方法适用于区域性滑坡的易发性分析和预测;后两种方法适用于单体滑坡的稳定性分析,而随着与 GIS 技术的结合,也可实现区域性的滑坡分析,但限制因素较多。由于机理研究、计算模型以及参数的复杂性,滑坡的空间预测仍是世界性的难题之一。

滑坡空间预测及分区是时间预报、预警的前提,滑坡灾害空间预测有很多常用的方法,如表 1.2 所示。

常用的滑坡灾害空间预测方法

表 1.2

| 名 称     | 方 法 要 点                                                                                                                                                          | 适用性及特点                               |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 稳定系数法   | 滑坡体安全系数 $F_s = F_{\text{抗滑力}} / F_{\text{下滑力}}$<br>当 $F_s < 1.0$ 时边坡处于不稳定状态                                                                                      | 多适用于单体滑坡的预测                          |
| 神经网络法   | 用研究程度较高的斜坡地段作为已知样本对网络进行训练,直到网络掌握数据间的非线性映射关系为止,然后用该地区其他稳定性未知的地段作为预测样本,输入已训练好的网络,通过网络的联想记忆功能直接预测稳定性;神经网络能通过对已知样本的训练,掌握输入与输出间复杂的非线性映射关系,并对这种关系进行存储记忆,直接为预测提供知识库     | 具有高速运行处理能力、自组织学习能力、高速容错性、灵活性和适应性等优点  |
| 信息量法    | 把各种滑坡因素在滑坡作用过程中所起作用的大小程度用信息量表达,主要研究“滑坡最佳因素组合”                                                                                                                    | 预测精度较高                               |
| 灾变模型预测法 | 灾变理论避开了岩土性质的不确定性和离散性参数的影响,它假定系统在任何时刻的状态都可完全由给定的几个状态内部量( $x_1, x_2, \dots, x_n$ )的值来确定,同时系统还受到 $m$ 个独立的控制量( $u_1, u_2, \dots, u_m$ )的控制,通过数学方法研究系统状态的稳定与否及与各量值的关系 | 综合考虑各边坡要素对边坡稳定性不同程度的影响,较真实地描绘边坡系统的状态 |
| 模糊综合评价法 | 对边坡稳定性等级进行分类,通过专家评分或构造隶属函数确定对同一等级各因素以及某一因素在不同等级中对边坡稳定性的隶属度,建立模糊评判矩阵,确定边坡的稳定性对各等级的隶属程度,最后按择优原则预测其稳定性                                                              | 其最终结果是否可靠,受单因素的选择和隶属度的确定的影响较大        |



通过多年的实践和探索,人们认识到灾害调查与区划(分区)是灾害时间预报、预警的重要条件,分区工作的深度和精度很大程度上决定着灾害预报预警的准确性。随着国内外地质灾害风险调查与区划工作的不断深入,能够分辨地质灾害高风险区,为气象预报预警、防灾减灾、灾害管理提供科学依据,成为防治地质灾害的有效手段之一。

在国外,从20世纪70年代开始,用在公路斜坡灾害管理和滑坡危险性划分上的风险评估及管理方法大多数还是定性的,80年代以后逐步使用定量方法。地质灾害风险评估、区划等仍是地质灾害研究的前沿课题。对地质灾害风险区划研究的系统性不断加强,在区划尺度、风险分析的基本单元、区划原则及方法等方面,还有待逐步深入。

目前,国内外地质灾害风险调查与区划研究主要集中在单一地质灾害隐患点的精细化风险评价方面,在区域层面上的风险区划仍在不断探索之中。

陕西省已进行过两次地质灾害区划工作。2001~2005年,陕西省完成了全省第一轮地质灾害普查与区划工作,针对全省107个县开展了1:10万地质灾害普查与区划,初步摸清了陕西省地质灾害现状,划分了地质灾害易发区,编制了地质灾害防治规划。由于这一次大规模的普查与区划工作的主要目的是初步摸清情况,以群众报灾、专业队伍核查为主,因此对于地质灾害易发区的划分、地质灾害易损性等研究工作不够系统。在第一轮调查的基础上,第二轮地质灾害普查与区划工作是在国土资源部支持下进行的,重点针对陕西省山地丘陵区的陕北黄土地区和陕南秦巴山区的重点县,并对新发现的地质灾害隐患点进行了核查,重新划分地质灾害易发区,调整了地质灾害防治规划,完善了群策群防网络。但是,以上区划工作仍然存在一些不足。

黄润秋等在区域地质灾害风险评价与管理方面进行了大量研究,结合实地调查,建立了区域地质灾害危险性评价与地质灾害风险管理的技术方法体系。

近年来,区域自然灾害的理论研究越来越多,主要集中在灾害区划原则与原理、灾害综合区划方法、灾害风险评价及其区划等方面。国内先后开展了全国地质灾害风险区划、西部地区地质灾害风险区划等实践工作。中国地质调查局则在延安市开展了风险调查试点。灾害防治的理论和技术水平随之得到提高。

在公路领域,针对全国或地区的行业自然区划(例如,公路气候、公路岩土、公路水文、公路地貌、公路生态等)、灾害区划(例如,公路地质灾害等)也开展了不少。长安大学主持的西部交通建设科技项目“中国公路自然区划体系框架研究”在现行《公路自然区划标准》(JTJ 003—1986)的基础上,利用全新的数据和方法,建立了中国公路自然区划体系框架,根据公路自然区划的原则、方法,完成了公路



综合自然区划、单项区划、专项区划和特殊区划和省际区划的基本方案及系列图件。该研究为公路建设维护提供了重要的基础资料,便于查明全国各地气候、水文、地质、地形等基本条件及对公路工程的影响。

基于降雨、公路网、公路工程地质条件等基础资料,进行边坡灾害危险性评价、分区研究,对于区域公路防灾减灾具有实际的指导作用。实践证明,通过对研究区进行灾害危险性分区,有助于提高灾害时间预测预警的精度。

黄土高原地质灾害具有群发性、易发性,且点多面广、危害严重的特点,但是现有的经济技术条件尚不足以对所有单个灾害隐患点进行全面整治。所以,开展区域性公路边坡灾害风险调查与分区等研究工作,区分出边坡灾害危险区,具有重要的工程指导意义,可为防灾减灾工作打下良好的基础并提供可靠的依据。

### 1.2.2 预测预警研究

目前,国内外关于地质灾害预测、预警的研究,重点在滑坡、边坡稳定性的分析和预测预报、区域地质灾害评价及预警等方面。

滑坡是世界上十大自然灾害之一,是仅次于地震和洪水的一种严重地质灾害。我国山区占国土面积近70%,滑坡发生密度大、频率高、危害严重。对滑坡进行预测预报是防灾减灾的关键环节。这是因为,只有以足够精度成功预测、预报出滑坡发生的时间、地点、规模(强度)和发展趋势等,才能真正达到防灾减灾的目的。但是要实现这一目标,难度较大。

边坡发生失稳破坏不仅与工程地质条件有关,还与降雨等诱发因素关系密切。因此人们逐渐认识到,气象预报预警是提高防灾减灾能力的重要手段之一。

近年来,随着科学技术的发展,滑坡的气象预报预警研究受到越来越多的关注,许多国家和地区已经开展滑坡气象预报预警的实际应用工作。在现有的降雨型滑坡预报的研究中,主要是从降雨的角度入手,通过对降雨因子(包括雨强、雨量以及降雨历时)与滑坡事件的关系进行统计分析,从而得出经验的滑坡预报模式。由于气象因素的复杂性,且较少考虑地形地质因素,滑坡预报的可靠性和准确性还不够高。

这种方法实际上是利用触发因素(即降雨、地震、火山爆发、冻融作用等)的重现期来确定滑坡发生的可能性,其假定滑坡的重复发生概率就等于其触发因素的重复发生周期。通过分析历史降雨与滑坡事件的关系,确定一个阈值,可作为滑坡发生的一个判据。这只能确定某个区域滑坡发生的总体概率,但不能指出在区域范围内何处将会发生滑坡。

作为滑坡等边坡灾害的重要诱发因素之一,降雨成为地质灾害监测预警的重