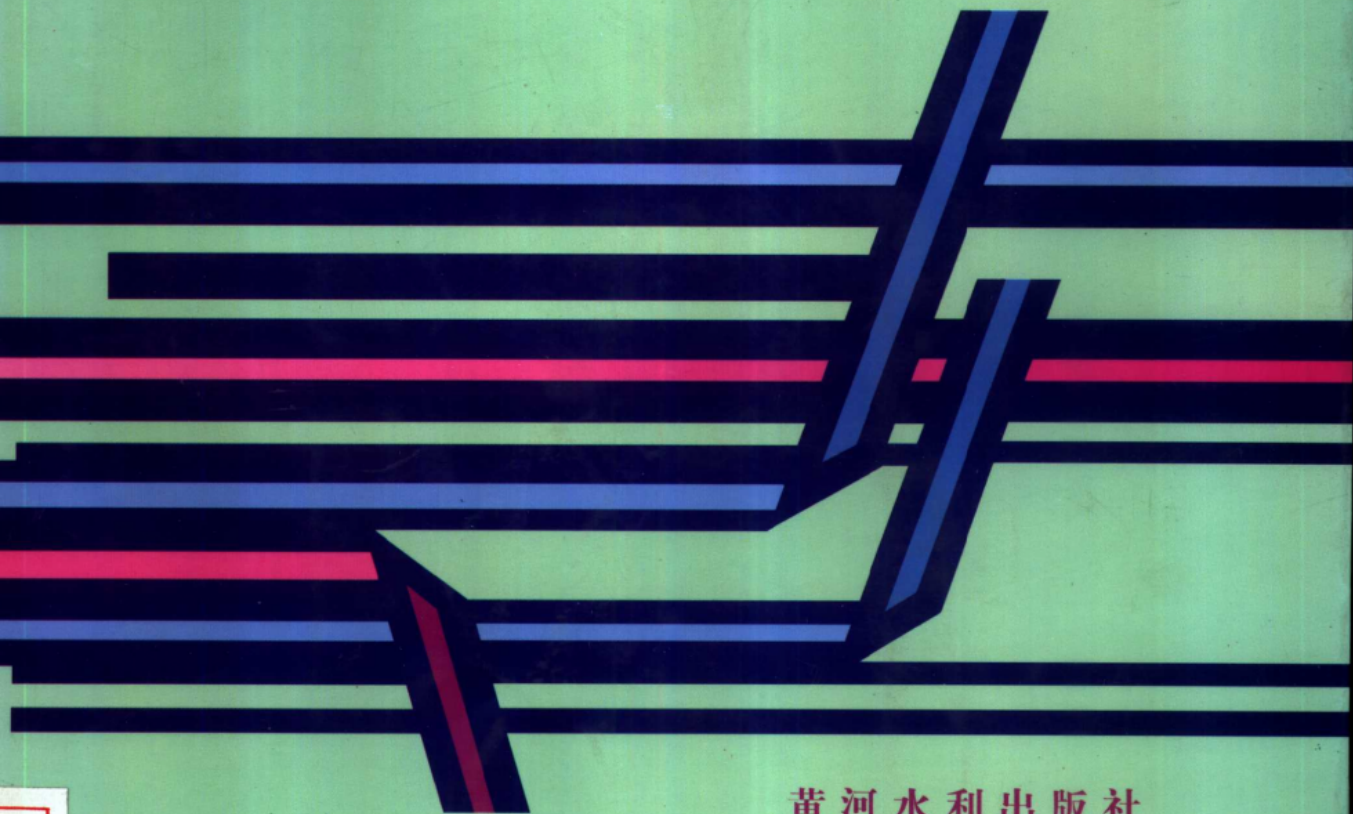


边坡失稳定时 预报理论与方法

THEORY AND METHOD OF FORECASTING
OCCURRENCE OF SLOPE FAILURE

刘汉东 著



黄河水利出版社

国家自然科学基金资助项目

边坡失稳定时预报理论与方法

黄河水利出版社

(豫)新登字 010 号

内 容 简 介

边坡失稳定时预报是减轻边坡失稳灾害的关键。本书系统地研究了边坡失稳破坏的机理和定时预报的理论,总结了边坡失稳的区域分布特征、节律性及定时预报的历史和发展阶段,定量评价了边坡失稳的影响因素,提出了确定岩体抗剪强度的分析方法。在边坡失稳定时预报理论方面,提出了等维新息外延模型、灾变预测模型、时间序列分析预报模型、几何非线性有限元预报理论和岩体断裂力学预报模型,从边坡失稳破坏机制出发,考虑多因素的影响,定时预报边坡失稳的时间。在试验方面,为研究边坡表面位移与内部位移的相关性、影响边坡变形的因素及边坡失稳前岩体中的位移矢量场,进行了工程地质力学白光散斑模型试验,并对几种工况进行了有限元分析,得出边坡失稳定时预报系统。本书涉及大量国内外工程实例。

本书可供水电、矿山、冶金、交通、环境等部门的工程地质或岩土工程勘测、设计、科研人员及大专院校师生参考。

边坡失稳定时预报理论与方法 刘汉东著

责任编辑:郇志峰

出 版:黄河水利出版社

(地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 12 层)

邮编:450003

印 刷:黄河水利委员会印刷厂

发 行:黄河水利出版社

开 本:787mm×1092mm 1/16

版 别:1996 年 5 月 第 1 版

印 次:1996 年 5 月郑州第 1 次印刷

印 张:9.75

印 数:1—1000

字 数:225 千字

ISBN 7-80621-041-5/TV·27

定 价:20.00 元

序

边坡稳定性的定时预报是减轻边坡失稳造成的地质灾害最基本、最重要的一项工作,也是一项难度很大的工作,至今国内外还没有取得较为完满的理论。《边坡失稳定时预报理论与方法》的重要贡献就是提出了系统综合分析预报,发展了定时预报的理论和方法,使边坡稳定性定时预报提到了一个新的高度。

作者阐述了边坡稳定性分析及失稳定时预报研究的发展阶段、基本概念和预报的基本原理、类型、参数选择和判别标准,以及影响因素的定量分析和岩体抗剪强度指标的确定,提出了各种边坡失稳定时预报的方法,系统地研究了边坡失稳破坏的机理和定时预报的理论。在边坡失稳定时预报理论方面,依据灰色系统预报的基本原理,提出了用预测值作为系统内值的新概念,用等维新息外延模型预报了瓦依昂滑坡发生过程中的位移速度,其精度比全数列灰色预测模型和二次曲线回归预测均高,而且还可以超前预报。由此可见,这一创新性的理论和方法,是既具有巨大理论价值又有重大实际意义的成就。灾变预测模型、时间序列分析预报模型,对边坡失稳中长期时间预报是有效的。以边坡地质条件、环境因素和边坡失稳过程分析为基础的工程地质力学系统综合预报方法,是运用几何非线性有限元预报理论和岩体断裂力学预报模型,从边坡失稳破坏机制出发,考虑多因素的影响,预报边坡失稳的时间,提出预报边坡失稳时间的新概念和新途径。

作者还进一步试验研究边坡表面位移与内部位移的相关性及影响边坡变形的因素,进行了工程地质力学白光散斑模型试验,研究边坡失稳前岩体中的位移矢量场,以工程实例为基础,得出边坡失稳定时预报系统。

本书涉及到很多新的理论和技术方法,提出了很多新的见解,在边坡失稳定时预报研究方面达到了较高的水平,具有较大的启发意义。相信本书对边坡失稳定时预报及防治地质灾害研究方面的发展将起到很好的推动作用,可供工程地质或岩土工程勘测、设计、科研人员及大专院校师生参考。

王思敬

1995年10月

前 言

边坡失稳是生态环境和工程建设中经常遇到的广泛且严重的地质灾害(王思敬等, 1984)。边坡失稳在区域分布上是世界性的,它不仅影响着国民经济建设,而且威胁着人民的生命。我国是世界上边坡失稳灾害严重的国家之一,边坡失稳是仅次于地震灾害的第二大地质灾害。1949~1990年,我国至少发生了850次以上危害和影响重大的边坡失稳灾害,至少造成9645人死亡。

1980年在巴黎召开国际第26届地质大会期间,工程地质分会发表了《关于参与解决环境问题的国际工程地质协会宣言》,指出工程地质学家应当承担起地质环境保护的重任,号召工程地质专家对人类活动及自然地质过程对环境的影响进行空间、时间和强度的定量预测。因此,减灾、防灾,造福于人类,是工程地质界仁人志士义不容辞的职责。对边坡失稳而言,定时准确的预测预报,是减轻边坡失稳灾害的首要任务。

20多年来,特别是80年代以来,国内外许多学者投身于边坡失稳定时预报的研究,但还没有一完善、成熟的理论,该项研究仍处于探索阶段。

本书结合国家自然科学基金项目“山体失稳的突发过程和定时预测研究”和笔者的博士论文《边坡岩体滑动变形破坏机制及定时预测预报研究》,在国内外边坡失稳定时预测预报研究的基础上,总结了边坡失稳全球区域分布特征及边坡失稳爆发的节律性;阐述了边坡失稳定量预报的基本概念和范畴;划分出边坡失稳定时预报的四个阶段;定量评价了边坡失稳的影响因素;确定边坡岩体抗剪参数的正、反分析方法。提出了等维新息外延模型、灾变预测模型、大变形有限元分析和岩体断裂力学模型等边坡失稳定时预报的新方法,进行了边坡岩体表面及其内部位移相关性实验研究和边坡岩体位移矢量场工程地质力学模型试验研究;最后得出了边坡失稳定时预报系统。作者希望这一系列的研究能发展边坡失稳定时预报的理论,在工程实践中起到一定的推动作用,为人类减轻边坡失稳灾害增添一种工具或手段。

本世纪最后十年即1990~2000年,定为“国际减轻自然灾害十年(International Decade for Natural Disasters Reduction)”,随着联合国第169号决议的实施,使得边坡失稳灾害的研究进入一个崭新时代,将会开创边坡失稳定时预报研究的新局面。

边坡失稳预报,是应用自然科学的理论和现代化的技术手段,开展综合研究的边缘课题。它涉及到大地构造学、区域地质学、构造地质学、工程地质学、水文地质学、岩体力学、连续介质力学、非线性动力学、岩石断裂力学、实验力学、地震工程学、地球物理学、建筑工程学、电子计算机技术、数值分析方法、现场及室内试验方法、野外监测技术等多门学科。因此,其难度是不言而喻的,而且最理想的研究实验客体,也就是即将发生滑动的潜在性的失稳边坡,在自然界中很难找到,这些都影响着边坡失稳定时预报研究的进程。

本书在研究和撰写过程中得到了中国工程院院士、中国科学院地质研究所所长王思敬教授的指导和帮助。王思敬教授认真审阅了初稿并为本书作序,提出了许多宝贵意见和建议;杜永廉教授在研究过程中给予了大力支持和关心,在试验过程中给予了悉心的指

导;中国水利水电科学研究院结构所孙志恒高级工程师在模型试验过程中给予了真诚的合作;张镜剑教授、张咸恭教授、傅冰骏教授、李华晔教授、曲永新教授、杨志法教授、丁恩保教授等给予了很大的支持和鼓励;汪文英女士清绘了图件并将手稿录入计算机;在此表示衷心感谢。

这是第一本关于边坡失稳定时预报理论与方法的专著,由于作者经验不足,水平有限,书中定有不妥和错误之处,恳请前辈和同仁不吝赐教。

著 者

1995 年 10 月于郑州

目 录

序	
前 言	
绪 论	(1)
0.1 边坡失稳灾害及其预报研究的意义	(1)
0.2 边坡失稳突发的节律性	(5)
0.3 边坡稳定性分析及失稳定时预报研究的发展阶段	(11)
第一章 边坡失稳定时预报的基本概念及原则	(20)
1.1 边坡失稳预测预报的概念	(21)
1.2 边坡失稳预报的基本原则	(21)
1.3 边坡变形的时间效应	(22)
1.4 边坡失稳预报的分类	(27)
1.5 定时预报的参数选择和判别标准	(27)
第二章 边坡稳定性影响因素的定量分析	(36)
2.1 计算模型	(36)
2.2 正交试验设计原理	(38)
2.3 边坡稳定性影响因素的定量评价	(39)
第三章 边坡岩体抗剪强度指标的确定	(42)
3.1 选取 C 、 φ 值的点群中心法	(42)
3.2 岩体工程分类	(43)
3.3 最小二乘法原理及其计算公式	(43)
3.4 抗剪参数 f 、 C 的数字特征分析	(47)
3.5 工程实例分析	(49)
3.6 边坡岩体滑动面抗剪强度指标的反分析	(52)
第四章 等维新息外延模型及其应用	(61)
4.1 灰色系统预测理论	(61)
4.2 等维新息外延模型	(64)
4.3 等维新息外延模型的应用及与其他模型的比较	(65)
附录 等时距、非等时距灰色预测模型计算程序 GS. FOR	(69)
第五章 灾变预测方法及时间序列预报模型	(78)
5.1 灾变预测方法	(78)
5.2 灾变预测在新滩滑坡中长期预报中的应用	(79)
5.3 时间序列预报模型	(86)
5.4 时间序列预报与统计回归预报模型比较	(91)
第六章 边坡失稳预报大变形有限元分析	(93)

6.1	概述	(93)
6.2	基本原理	(93)
6.3	大变形有限元分析	(96)
6.4	应用实例	(96)
第七章	岩石断裂力学边坡失稳时预报模型	(99)
7.1	概述	(99)
7.2	节理尖端断裂分析	(99)
7.3	亚临界裂纹扩展和滞后断裂理论	(102)
7.4	边坡失稳最险滑移面确定	(103)
7.5	岩石断裂力学预报模型应用实例	(107)
第八章	边坡岩体滑动破坏和位移发展过程关系的模拟试验研究	(109)
8.1	概述	(109)
8.2	模型试验	(109)
8.3	边坡变形破坏的发展过程	(111)
8.4	影响边坡变形破坏的因素分析	(113)
第九章	边坡岩体位移矢量场及失稳预报模型试验研究	(115)
9.1	概述	(115)
9.2	散斑照相法原理	(116)
9.3	模型试验安排及位移量测系统	(120)
9.4	试验成果分析	(122)
9.5	数值分析	(126)
9.6	模型破坏定时预报	(128)
第十章	边坡失稳时预报系统	(131)
10.1	工程地质测绘	(131)
10.2	空间预测	(132)
10.3	长期观测和试验	(132)
10.4	边坡失稳预报系统	(132)
参考文献		(134)
边坡失稳时预报理论与方法关键词汉英对照表		(137)

TABLE OF CONTENTS

Perface	
Foreword	
Introduction	(1)
0.1 Harzards of slope failure and significance of research	(1)
0.2 Regularity of worsened suddenly stability of slope	(5)
0.3 Development of research on slope stability and prediction of slope failure	(11)
Chapter 1. Basic Concepts and Principals of Forecasting Occurrence of Slope Failure	(20)
1.1 The essential concepts prediction	(21)
1.2 The basic principals of prediction	(21)
1.3 The time effects of slope deformation	(22)
1.4 Classification of forecasting slope failure	(27)
1.5 Selection and criterion of prediction parameters	(27)
Chapter 2. Quantitative Analysis of the Factors Influncing Slope Stability	(36)
2.1 The computation model	(36)
2.2 Theory of orthogonal test design	(38)
2.3 Quantitative assessment of the factors influncing slope stability	(39)
Chapter 3. Determination of Shear Strength of Rockmass on Slope	(42)
3.1 Method of mean point of group	(42)
3.2 Rockmass engineering classification	(43)
3.3 Principle of lest-square method	(43)
3.4 Characteristic analysis of the shear strength parapmeters	(47)
3.5 Practical engineering examples	(49)
3.6 Back analysis of the shear strength parameters	(52)
Chapter 4. The Equi-dimensional New Information Model and Its Application	(61)
4.1 Grey system prediction theory	(61)
4.2 The equi-dimensional new information method	(64)
4.3 Application of the equi-dimensional new information Model and comparison with other Models	(65)
Appendix 1. A computer program(GS. FOR)	(69)
Chapter 5. The Catastrophe Prediction Method and Time Series Analysis Prediction Model	(78)
5.1 The catastrophe prediction method	(78)

5.2	Application of the catastrophe prediction method to forecast mid-long term occurrence of Xintan Landslide	(79)
5.3	The time series prediction model	(86)
5.4	The time series prediction model compared with the quadric curve prediction Model	(91)
Chapter 6.	The Large Deformation Finite Element Analysis for Forecasting Occurrence of Slope Failure	(93)
6.1	Intruduction	(93)
6.2	The basic principle of slope stability analysis	(93)
6.3	Analysis of the large deformation FEM	(96)
6.4	Applied example-case study	(96)
Chapter 7.	The Rock Fracture Mechanics Model for Prediction Slope Failure	(99)
7.1	Introduction	(99)
7.2	Fractural analysis of joint tip	(99)
7.3	Theory of subcritical crack growth and delayed failure	(102)
7.4	Determination of the optimal slide surface	(103)
7.5	Application of Rock Fracture Mechanics model	(107)
Chapter 8.	Experimental Study of Relationship between Deformation Development and Slope Slide Failure	(109)
8.1	Introduction	(109)
8.2	Model test of slope failure	(109)
8.3	The failure processes of slope deformation	(111)
8.4	Analysis of factors influencing slope deformation	(113)
Chapter 9.	Experimental Study on Displacement Vector Field and Failure Prediction of Slope by the Engineering Geomechanics Model Test	(115)
9.1	Introduction	(115)
9.2	Principle of the speckle photography	(116)
9.3	Model test design and displacement measuring system	(120)
9.4	Analysis of experimental results	(122)
9.5	Numerical analysis	(126)
9.6	Forecast occurrence of model failure	(128)
Chapter 10.	The system of Forecasting occurrence of Slope Failure	(131)
10.1	Engineering geological survey	(131)
10.2	Spatial prognosis of slope failure	(132)
10.3	Long-term monitoring and rock mechanic experiment	(132)
10.4	The system of forecasting occurrence of slope failure	(132)
References		(134)

绪 论

边坡包括自然边坡和人工边坡,是岩石圈表面的天然地质和工程地质的作用范围内,具有露天侧向临空面的地质体,是广泛分布于地表的一种地貌形态。它的形式与演变,与人类生产、生活有着极为密切的关系。

边坡失稳破坏有多种形式,其分类也不尽统一。按照国标工程地质协会滑坡及其他块体运动委员会建议的分类方法(Cruden, D. M. 1991),边坡失稳分为崩落、倾倒、滑动、侧向扩张和塑性流动 5 种形式。滑动形式,即边坡岩体变形破坏,是指沿特定的面或组合面产生的剪切破坏的斜坡移动。滑坡(Landslide)一词的定义与其范畴不太确切,张咸恭(1983)定义滑坡为整体的、缓慢的(有时先缓后急)、长期的、间歇性的沿滑动面向下滑动;R. L. Schuster(1978)定义滑坡为形成的斜坡的物质——天然的岩石、土、人工填土或这些物质的结合体,向下和向外的移动;而 D. M. Cruden(1991)和 D. J. Varnes(1978)在分类中包括上述 5 种形式,Varnes 还建议加上第 6 种形式即复合型。作者针对边坡滑动失稳现象,研究其变形破坏机制及失稳定时预报。

0.1 边坡失稳灾害及其预报研究的意义

边坡失稳是山区和丘陵地区以及平原地区深基础开挖建设中经常遇到的斜坡变形现象。它产生于特定环境,并有其自身的发生、发展、演化以至消亡的生态过程和规律。边坡失稳破坏作为一种地质灾害,与地震、泥石流和洪水等自然灾害一样,它可以中断交通、堵塞江河、掩埋村庄、摧毁厂矿等,给人民的生命财产和经济建设带来重大的损失。

滑坡在岩石圈表面广泛分布,陆地和海洋都有滑坡存在,世界上许多国家在经济建设中都遭受不同程度的危害。美洲的加拿大、美国、智利和巴西是滑坡较多的国家。据文献报道,美国每年因滑坡而造成的损失达 10 亿多美元。在加利福尼亚洲 1970~2000 年各种地质灾害的预测费用的研究中,加州矿山与地质局估计,整个加州在此期间内,由于斜坡移动破坏所需的各种费用预计将达到 99 亿美元,也就是平均每年超过 3 亿美元。这个估计数字是以假定 1970 年加利福尼亚州边坡破坏的损失实际保持不变作为计算依据的。图 0-1 所示为一个损失估计比较图,包括斜坡移动造成的损失和其他地质灾害及城市化造成的矿产损失。图示表明,受斜坡移动造成的损失大于洪水灾

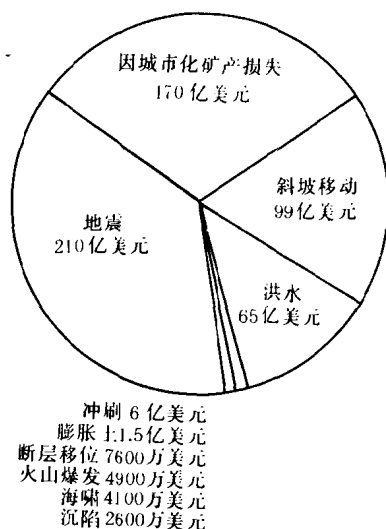


图 0-1 美国加州 1970~2000 年地质灾害及城市化建设造成的经济损失预测图

害的损失,而不及地震灾害造成的损失。不过,在加州是特别容易产生地震活动的。因此,在美国其他大部分地区和加拿大斜坡移动灾害的损失可能会大于地震灾害。美国联邦公路管理局所作的调查指出,国家公路系统内联邦财政部分用于整治较大滑坡每年耗费约5000 万美元。图 0-2 为 1973 年联邦公路管理局管内美国主要滑坡的直接费用的分布状

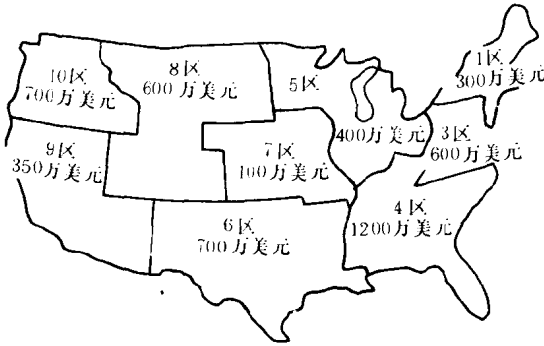


图 0-2 1973 年美国联邦政府资助的公路滑坡整治费用分布图

况,该系统仅包括联邦的和各州的公路,不包括大多数郡、城镇的公路和街道、私营的公路和街道,也不包括其他的政府机构如美国森林部门修建的道路。上述是滑坡整治的直接费用,与滑坡危害有关的间接费用很难精确计算。美国联邦公路管理局的 G. R. Chassie 等认为:美国公路和道路因受滑坡危害每年所需费用总额超过 1 亿美元。1971 年在加拿大魁北克省发生一起斜坡破坏,毁灭了 40 户人家,31 人死亡。早期的巴拿马运河两岸的滑坡是世界闻名的。在南美洲,

1962 年 1 月,在秘鲁的安第斯山脉,随着浩斯卡兰山(Huas—Caran)北峰高处冰川的冰崩,导致了下部碎屑崩落,并且迅速地变成了冰、水、岩石和土的混合物,咆哮声响彻了整个山谷村落,吞食了 4000~5000 人的生命。8 年后,一场更加惨绝的悲剧再次重演,当时,在秘鲁海岸爆发了 7.75 级地震,引起了浩斯卡兰山坡上又一场灾难性的碎屑崩塌,碎屑物质以 320km/h 的速度下降到同一山谷并越过一个较大的区域,伤害了 18000 人的生命。

欧洲的前苏联、捷克、意大利、挪威、瑞典和英国等滑坡也是较多的。前苏联的高加索、黑海沿岸和西伯利亚是滑坡危害严重的地区,每年给经济建设造成的损失达数亿卢布,铁路每年防治滑坡的费用也达几千万卢布。捷克境内的波希米亚、摩拉维亚和斯洛伐克均有不少滑坡,尤其在喀尔巴阡山附近更为严重,1961~1962 年期间曾登记的滑坡超过 9000 处,甚至有一条铁路因支付不出整治滑坡等病害的费用而废弃。意大利东北部 1963 年 10 月 9 日发生的瓦依昂水库库岸大滑坡,是欧洲历史上最大的灾难性滑坡,也是世界上最大的水库失事事件。共约 2.5 亿 m^3 的岩石和土体从托克山滑入水库,几乎填满了 265m 高的拱坝构成的水库,波浪冲上对岸山坡 260m 高,高出坝顶至少 100m 的水流入下游河谷,冲毁了五个村镇和 Longarance 城,吞没了 2000~3000 人的生命。

澳大利亚和新西兰也有一些滑坡。非洲的资料较少,埃及和尼日利亚也有这方面的报道。

亚洲的中国、印度、日本和伊朗是滑坡较多的国家。日本滑坡主要集中在新潟县附近的几个县中。据报道,1952 年防治滑坡所需费用,建设省为 3.89 亿日元,农林省为 2.23 亿日元,1972 年分别上升为 54.3 亿日元和 49.72 亿日元。就日本国铁路而言,1966~1976 年间,每年平均灾害件数为 6400 件,其中最多者达 8900 件。1974 年日本建设省公布的资料列入表 0-1。表中列举了日本自 1969 年到 1972 年四年间遭受边坡失稳破坏所伤亡

的人数和损毁的房屋,值得特别注意的是,有时死于边坡失稳破坏的人数比死于所有其他自然灾害包括地震灾害的人数还高。印度 1893 年在 Garhwal 发生的滑坡是人类历史上的大滑坡之一,滑下的土体形成一个天然坝,长 3km 多,宽 1.5km,高 295m,约 1 年后,水越顶而过,放出约 100 亿 m^3 的水,冲毁了洪水流经的所有城市和村庄。

表 0-1 日本遭受斜坡破坏死亡的人数与损坏的房屋统计表

年 份	毁坏房屋 (间)	死亡人数	
		人 数	占全部自然灾害百分比
1969	521	82	50
1970	38	27	26
1971	5205	171	54
1972	1564	239	44

我国是世界上滑坡较多的国家之一。滑坡灾害严重影响着我国的国民经济建设,威胁着人民生命财产和安全。1920 年举世闻名的甘肃大地震,发生了很多滑坡,其中最大的一次发生于陕甘地区,处在黄土地震区域中,滑坡的旋涡像瀑布似的,裂缝吞下了房子和骆驼队,有 10 座城市和许多小的城镇、村庄被掩埋或受到严重的破坏,整个地形发生了变化,影响面积约为 $160 \times 480 \text{km}^2$,相当于爱尔兰大小,共死亡 10 多万人。80 年代以来,我国也发生了数次较大的边坡失稳。1980 年 6 月 3 日湖北省远安县盐池河崩滑,100 万 m^3 岩石从 300m 高处突然崩滑,掩埋了磷矿厂,死亡 200 余人,损失极为惨重。1982 年 7 月 17 日四川省云阳县鸡扒子发生滑坡,1500 万 m^3 土石体滑动,致使云阳县冷冻库、饲养场、卫生院、食品站、机砖厂及供销社等单位的建筑物及设备全部被毁,滑坡前缘部分有百余万立方米的土石滑入长江,造成长江鸡扒子航道的巨大险滩,给航运造成了极大困难。1983 年 3 月 7 日甘肃省东乡族自治县洒勒山发生了一次罕见的高速滑坡,下滑体积 6000 万 m^3 ,破坏面积达 3km^2 ,3 分钟内坡体滑至对岸山下,阻断了巴谢河,掩埋了 4 个村庄、1 条公路和 2 个水库,毁坏良田 20hm^2 ,死亡 237 人。1989 年四川省华莹山市溪口镇发生滑坡,死亡 221 人,直接经济损失 660 多万元。1991 年云南省昭通市头寨沟滑坡,死亡 216 人,直接经济损失 100 多万元。在水电工程中,三峡库区链子崖崩落体、黄腊石大滑体;龙羊峡水电站库首及库区一系列滑坡体;雅砻江二滩水电站库区金龙山滑坡;五强溪水电站右坝肩滑体;红水河龙潭水电站左坝肩蠕变体;天生桥水电站厂区滑坡群等都严重影响着工程的安全运营和施工建设。在铁路运输方面,边坡失稳是山区铁路主要的地质灾害,约占铁路地质灾害的 80%。据统计,铁路沿线较严重的大、中型滑坡就有 1000 多处。在近 50 条铁路上存在着崩塌落石约 3400 处,其中宝成线 387 处,川黔线 239 处,襄渝线 222 处,成渝线 133 处,鹰厦线 114 处最为严重。新中国成立以来,全国铁路由于边坡失稳造成的损失累计已达数十亿元,其中仅整治费达 10 多亿元。据不完全统计,1949~1990 年,我国至少发生了 850 次以上危害和影响重大的边坡失稳,至少造成 9645 人死亡。

由此可见,滑坡分布是世界性的。但边坡失稳作为一种地质现象,它的地域分布取决于所处的地质环境。而地质环境是由各种环境因素组成的。这些环境因素可分为岩土物理力学性质、地质构造、地形地貌、地表水文、地下水活动、气象气候、植被状况和人类活动

等。各类环境因素都有各自的活动规律,而同时又彼此影响,相互作用。有些环境因素在滑坡的形成和激发过程中起着主导的、决定性的作用。另一些环境因素则处于次要的、从属的地位。地质环境就是这些复杂的、有机地组合在一起的环境因素体系或环境系统。滑坡区域的分布特征就是环境因素体系作用的结果。

中国边坡失稳区域的分布有如下特点:

(一)分布的不均衡性

- (1)分布在新构造活动的频度和强度大的地区。
- (2)分布在中新生代沉积厚度大的地区。
- (3)分布在暖湿气候与温湿气候区。
- (4)集中于湿润气候与干旱气候的交界地区。
- (5)分布在地表水侵蚀切割强烈的地区。
- (6)分布在人类活动强度大,对自然环境破坏严重的地区。

(二)形成机制的地域差异性

(1)以岩土物理力学性质差异为主要特征的差异,黄土高原滑坡、半成岩巨型滑坡、中新生代红层滑坡、冻土区滑坡,无不具有明显的地域分布上的差异。

(2)以构造活动性为主导因素的滑坡,更表现出地域的差异性。中国大陆存在着三级大地地貌单元。中国滑坡的70%~80%集中在青藏高原东部斜坡带—黄土高原和太行山东麓、巫山、武陵山脉第二斜坡带(图0-3)。在第一斜坡带发育了大型、超大型规模的滑坡30多个,全部分布在东经100°~105°的南北向条带上(表0-2)。这两个斜坡带上之所以滑坡规模大、密度高,从环境因素来看,其主导因素是大地构造。如青海高原东部,强烈隆起的青藏板块缘,在与华北板块和华南板块的过渡带,地形的差异升降,孕育和发生了中国单体规模最大、数量最多的自然滑坡。

(3)气候对滑坡的形成机制影响明显。

(三)人类活动对滑坡发展趋势的影响日趋严重

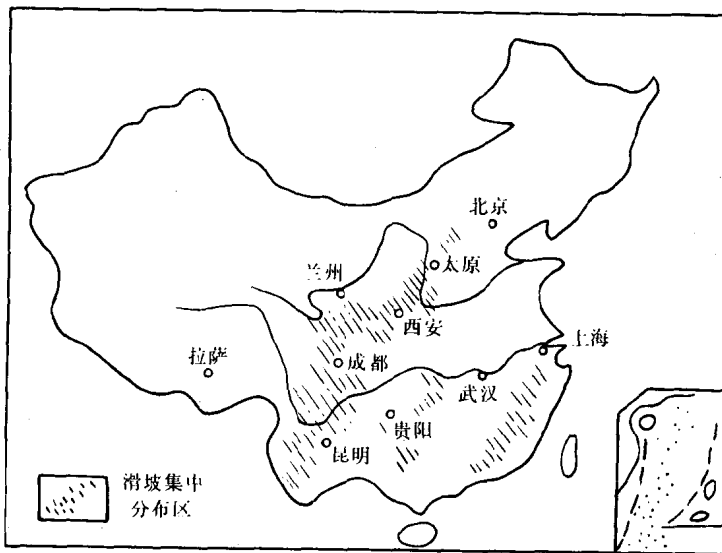


图0-3 中国滑坡区域分布示意图

表 0-2

中国第一斜坡带大型、超大型滑坡

滑坡地点	经纬度	滑坡规模	处数
青海省黄河上游	N36.1°	$>1.0 \times 10^7 \text{m}^3$	6
野狐峡—阿什贡峡	E100.6°	$1.0 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^7 \text{m}^3$	8
甘肃省舟曲县泄流坡 大滑坡	N33.7° E104.5°	$>4.0 \times 10^7 \text{m}^3$	1
四川省雅砻江右岸 唐古栋山崩塌型大滑坡	N28° E101.8°	$6.8 \times 10^7 \text{m}^3$	1
云南省禄劝县普福河 支流大滑坡	N25.5° E102.7°	$2.5 \times 10^8 \text{m}^3$	1
甘肃省临夏县巴谢河 流域洒勒山等处	N35.7° E103.3°	$>3.0 \times 10^6 \text{m}^3$ 其中洒勒山滑坡 $>3.5 \times 10^7 \text{m}^3$	15

据统计,边坡失稳与人类活动有关的要占 60% 以上。在铁路沿线,至少有 1/3 的滑坡是不适当地开挖山坡造成的。由于森林乱砍滥伐和开山垦田,使全国森林覆盖面积正以每年 1.8% 的速率递减,与此相应,滑坡的数量正以每年 20% 的数量增长。高坝大库的兴建,使库区环境因素改变,诱发滑坡复活或造成山坡失稳。

0.2 边坡失稳突发的节律性

边坡失稳受地质环境因素的制约,是多种内外、动静因素相互作用的结果。在时间上,边坡失稳具有一种节律性,其原因主要是控制边坡失稳的环境因素随时间变化的动态特征。

由于环境恶化和人类活动频繁的加剧,边坡失稳具有逐年上升的规律。Cruden, D. M 统计了加拿大 Alberta 地区 1900~1989 年发生的滑坡(图 0-4)清楚地说明了这一点。

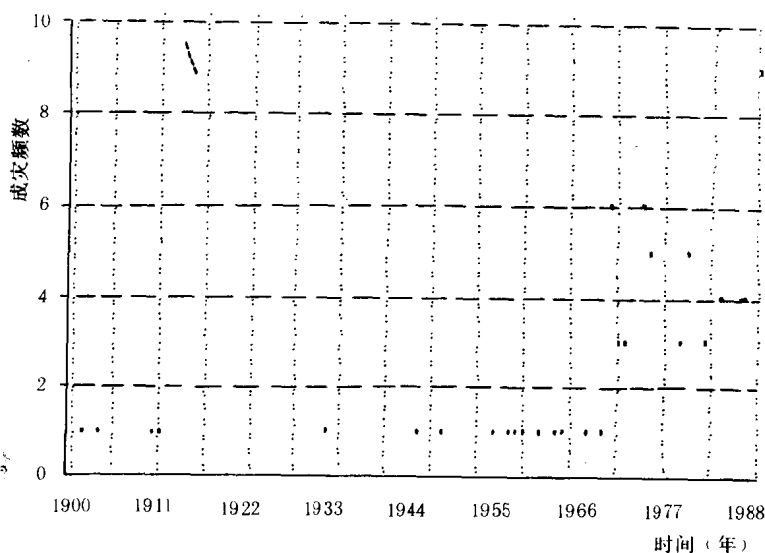


图 0-4 加拿大 Alberta 地区滑坡年变化图

文宝萍调查了中国 1949~1990 年和各年中重大崩、滑灾害成灾频次变化(图 0-5), 图中清楚地显示边坡失稳逐年呈现波状起伏的趋势上升规律, 即逐年波动, 总体趋势上升。1981 年为 42 年中成灾频次最高的年份, 1981 年后各年成灾频次又呈波状下降趋势。42 年中出现三个成灾节律旋回。以 1951~1964 年, 1964~1977 年, 1977~1987 年, 其节律性具有非均匀、对称的特征。1958 年、1971 年、1981 年分别为 3 个节律的峰值年段, 且节律波动幅度逐期上升, 各期起点初值以 2~4 的倍率逐期上升, 峰值逐期增大, 1981 年为 42 年中的最高峰值, 各期区段有逐渐缩短之势。图 0-5 显示出, 1987 年后, 崩、滑灾害又进入另一节律演变之中, 以此推论, 1987~1997 年可能为未来边坡失稳灾害又一成灾节律段。

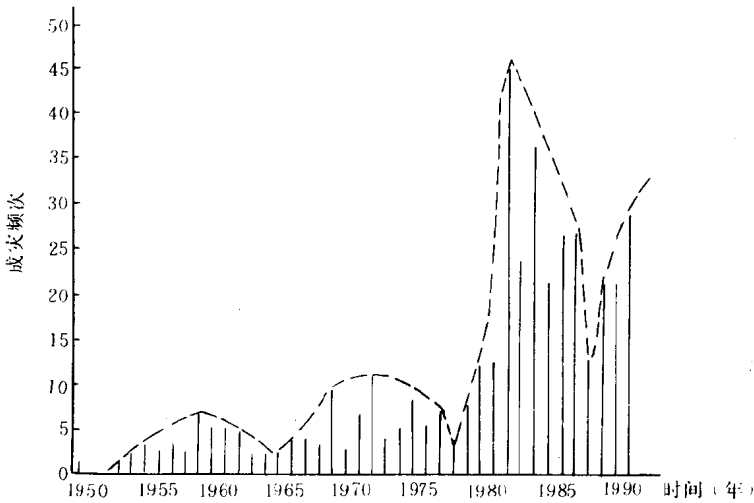


图 0-5 重大边坡失稳灾害成灾频次年变化图

各年累计成灾频次显示极为明显的指数上升规律(图 0-6), 上升速率 80 年代后急剧增大。尤在以 10 年为单位的年代时间段中变化趋势更为明显(图 0-7), 自 50 年代到 80 年代, 崩、滑灾害的成灾频次不断增多, 且年代间重大崩、滑灾害以 1.4~4.8 的速率呈急剧上升趋势。

据初步统计, 中国重大崩、滑灾害中约有 94% 是由降雨和人类活动诱发而成, 其中二者分别占 47% 左右, 其余 6% 的重大崩、滑灾害由地震、融雪、河流侵蚀等因素影响而成。尤为重要的是, 人类活动的诱发频次从 50 年代的 12 递增到 80 年代的 73, 表明人类活动对崩、滑灾害的影响作用越来越大。

边坡失稳不仅在年际变化中有一定的节律性, 而且在年内随月份、季节变化, 也有一定的规律性。Cruden, D. M 统计了 1989 年加拿大 Alberta 地区月内边坡失稳成灾次数(图 0-8), 在 1~12 月中, 1 月、2 月、12 月没有发生一次滑坡, 5 月、8 月为成灾频次最高月份, 均为 7 次。4、5、6、7、8 五个月累计的灾频次占全年的 76.6%。因此, 边坡失稳多发生于春末、夏季, 冬季几个月基本不发生。文宝萍统计 1949~1990 年期间中国重大崩滑、泥石流灾害成灾频次年内月变化曲线(图 0-9), 得出与 Cruden 相当一致的结论。由图 0-9 可

见,成灾频次在年内随季节、月份变化,呈现出极为明显的以7月份为轴的正偏态变化规律。年内1~12月均有崩、滑成灾,但自1月起,成灾频次逐月增多,7月为一年中成灾频次最高的月份,7月后,成灾频次逐月减少,至12月降至最低值。6、7、8三个月累计成灾频次占全年的56.8%,5、6、7、8、9五个月累计成灾频次占全年的73.9%。可见,夏季是崩、滑灾害的多发季节,春末、夏、秋初为一年内主要成灾阶段,冬、春初和秋末少发生边坡失稳灾害。

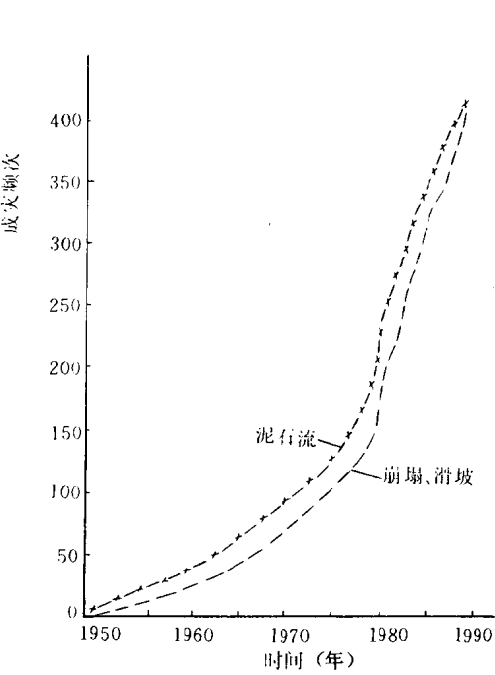


图 0-6 重大边坡失稳灾害累计成灾频次变化曲线

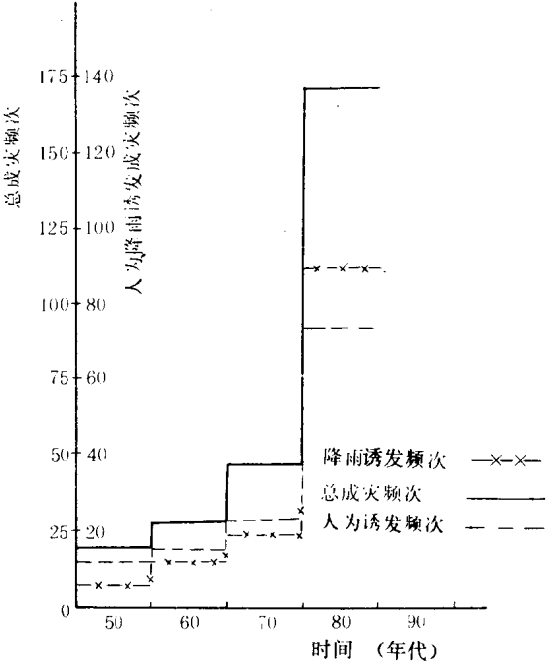


图 0-7 重大崩滑灾害成灾频次年代变化图

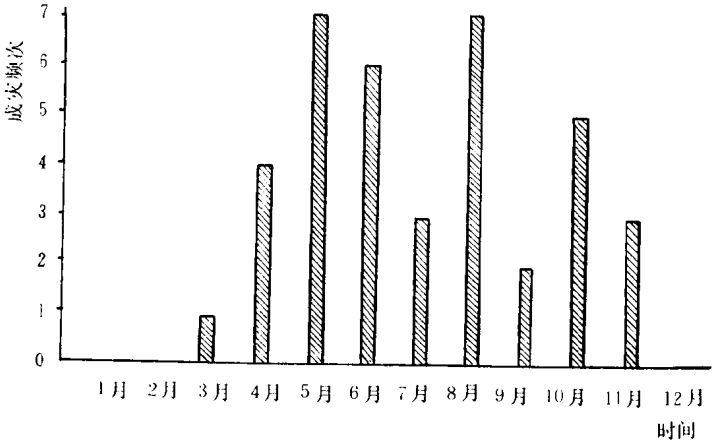


图 0-8 加拿大 Alberta 地区边坡失稳成灾频次月变化图

边坡失稳年变化有一定的节律性,月变化有一定的集中突发的规律,这与多种地质环