

边坡工程

理论与实践 最新发展

崔政权 李 宁 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

边坡工程

——理论与实践最新发展

Slope Engineering

——Recent Advances in Theory and Practice

崔政权 李 宁 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

边坡工程:理论与实践最新发展/崔政权,李宁编著. —北京:中国水利水电出版社,1999

ISBN 7-5084-0181-6

I. 边… I. ①崔… ②李… III. 边坡-道路工程-研究 N. U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 66013 号

书 名	边坡工程——理论与实践最新发展
作 者	崔政权 李宁 编著
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京密云县红光印刷厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 20 印张 470 千字
版 次	1999 年 12 月第一版 1999 年 12 月北京第一次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	48.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书所指“边坡”是人工边坡和自然岸(斜)坡的统称,同时也包含崩滑体。

边坡工程所涉及的领域要比地基工程或地下硐室工程涉及的领域广而深。

首先,地基工程和硐室工程基本上在有限变形理论域里实施,各自都有严格的承载力标准和应变、形变量标准;地基工程基本上不是改造初始应力场和渗流场(大坝工程除外),而是压应力场环境中的压缩或剪切问题。不同于地基工程,硐室工程首先要改造初始应力场与渗流场,而硐周是应力松弛环境中的张裂和剪切问题,硐室又是地下水的汇水域。

相比之下,边坡工程是一个开放系统,它既有有限变形问题又有无限变形问题,有瞬时变形问题又有长时变形问题,它本是自然科学问题但时有社会学问题掺杂里面,特别是边坡问题变成地质灾害时,一方面往往难以界定是自然界自身原因还是人类的干扰,另一方面是社会反响。最后,边坡问题还受制于土地资源的合理开发利用,保护生态环境以及可持续发展等重大国计民生战略。

随着人口的急速增长和土地资源的过度开发,边坡问题已变成同地震和火山相并列的全球性三大地质灾害(源)之一,也就是人们广为知晓的滑坡、泥石流。也正是这个原因,近年来滑坡、泥石流问题在地学和水土保持领域成为比以往任何时候更重要更迫切的研究课题,同时滑坡、泥石流知识已普及到了乡村,有些水电工程的库区人民只要提到滑坡就胆战心惊,因为他们因滑坡而接连搬迁多次,到了倾家荡产、无处安身的地步。

上述种种极大地触动了地学界,加上1987年联合国成立的国际减灾十年组织及其制定的国际减轻自然灾害十年活动以及我国相应法律法规的制定,进一步推动了滑坡问题的研究并取得了很大进展。

在这同时,通过实践我们还体会到诸如滑坡等地质作用的理论研究同迅猛发展的数值分析理论之间还有很大差距,建立精确的理论模型并不困难,但这类精确解是否代表着客观实际,答复并不乐观,要解决这个矛盾还有很长一段路要走。

本书第1章对边坡工程的基础性工作、边坡勘察要点进行了系统论述,并对初始预测模型的建模作了介绍;第2章对边坡工程的地质术语与地质年代进行了全新定义澄清,对滑体的稳态形式、作用动力源、后期改造形式及滑坡分类进行了系统论述;第3章对边坡的变形趋势与变形扩展轨迹提出了预测思路;

第4章就边坡稳定分析方法进行了全面的描述,从早期的简单但实用的基于刚体极限平衡理论的条分法、Sarma法、楔形块体的Hoek法到离散块体的离散单元法;对基于连续变形介质的有限元分析理论与方法进行了较全面的论述,从层状岩体的流变模型到土体—多孔介质的渗流变形耦合模型,地震动荷作用下的动力固结与震动液体模型;从大变形动力有限元分析模型到大变形流行元模型、快速拉格朗日模型;第5章对边坡工程的设计与加固思路、理论、方法进行了较全面的介绍,并重点论述了预应力锚固的机理与设计理论;第6章对边坡工程的反演分析原理与方法进行了较深入的剖析,进而提出了考虑施工方法与施工过程的仿真反演分析方法;第7章对边坡稳定分析中的新思路、新理论进行了简要介绍,包括混沌理论、分形理论、灰色系统、数学模糊理论、突变理论与神经网络等;第8章对边坡的变形监测方法与系统进行了简要介绍。

撰写本书,一方面是由于我们在边坡问题方面作了较长时间的调查研究,其工作成果不少而且基本上应用于工程实践,从中可总结出一些经验教训,这些经验教训对今后的调查研究工作会有些帮助;另一方面可系统地介绍国内外的研究动向,供生产第一线的工程师们参考。本书绪论、第1、2、3、8章由崔政权执笔,第4、5、6、7章由李宁执笔,全书由崔政权统稿,张平博士生对全书的文字、公式、图表等校核作了大量工作,特此致谢。

鉴于作者知识水平所限,书中难免有不妥之处,欢迎读者批评指正。最后,还要指出,本书引用了不少边坡工程科研工作者与工程师们的研究成果和资料,作者除在相关章节注明外,或许尚有一些漏注的,谨在此一并表示谢意和歉意。

作 者

1999年11月

目 录

前 言	
绪 论	1
第 1 章 边坡工程的勘察	9
1.1 综述	9
1.2 坡体地形地质环境	10
1.3 坡体形变—渗流场	15
1.4 初始预测模型的构成法	25
1.5 边坡工程勘察要点	25
第 2 章 滑坡与崩塌的地质机制与分析	34
2.1 滑坡与崩塌的定义与基本概念	34
2.2 边坡失稳破坏的时间因素	51
2.3 崩滑作用动力源	57
2.4 崩滑体的后期改造形式	58
2.5 崩滑体的稳态	59
2.6 崩滑作用区划	60
第 3 章 边坡的变形失稳预测模型	64
3.1 边坡的变形趋势预测	64
3.2 变形域扩展轨迹与临滑起跳点（域）	69
第 4 章 边坡稳定分析的理论与方法	81
4.1 刚体极限平衡分析法	81
4.2 节理化岩质边坡的离散单元法	88
4.3 变形介质边坡的有限元法	99
4.4 层状介质边坡的流变分析	102
4.5 渗流场—形变场耦合分析	108
4.6 固—液两相介质动力耦合分析	113
4.7 边坡大变形有限元分析	118
4.8 动荷下边坡大变形有限元解析	129
4.9 大变形问题的流形元方法	132
4.10 快速拉格朗日法（FLAC 法）	137
4.11 最危险滑动面随机模拟	139
第 5 章 边坡工程的设计与加固	148
5.1 顺应性与协调性准则	148
5.2 边坡的设计与支护思路	152

5.3	岩质边坡的设计与施工	159
5.4	预应力锚索的加固机理与设计理论	174
第6章	边坡工程中的反分析方法	185
6.1	反分析的基本原理	185
6.2	一般情况下的反分析原理	187
6.3	考虑施工方法与施工过程影响的仿真反分析	191
6.4	反分析的信息理论	199
第7章	边坡工程中的新理论与新方法	208
7.1	滑坡系统非线性动力学	209
7.2	滑坡系统的自组织	215
7.3	滑坡预测中的分形分维理论	218
7.4	岩质边坡稳态灰色统计判别法	222
7.5	边坡稳态分析的模糊极值理论	225
7.6	节理化边坡的失稳突变模型	229
7.7	神经网络法	235
7.8	信息优化处理法	242
第8章	边坡的变形监测系统	246
8.1	综述	246
8.2	自动化监测网——3S工程	248
8.3	GPS网及监测实例	264
8.4	常规监测网	270
附录	277
参考文献	312

绪 论

一

自然岸坡或斜坡要同时考虑以下两个方面的问题：

一是岸坡的稳态决定人类的生存条件与环境，它们的变形、失稳是对人类的直接性灾害；

二是如何合理地改造利用斜坡地带 不合理的改造，有些是在改造阶段即诱发斜坡的变形甚至失稳，有些则潜伏下来，而潜伏下来的地质隐患最终暴露成灾，其潜伏期可能较长。比如在长江三峡地区，20世纪50年代滥伐乱砍森林所诱发的地表二次改造于80年代开始暴露，水土流失、泥石流和崩滑作用频繁发生。

上述两个方面的问题指出：以人类的生存和发展条件与环境为核心展开的地质问题即所谓的环境地质问题，一方面来自自然地形、地质环境，其中的不稳定成份可直接转化为环境地质问题；另一方面，即使是稳定的地形、地质环境，一旦施加人类活动干扰之后也会诱发新的地质问题。这两个方面的转化往往交织在一起，一旦发生灾害性地质事件，是自然界自身原因还是人类的干扰，竟达到难解难分的程度。

在有些地区，比如长江三峡地区，自然科学同社会学也交织在一起。这个问题也表现在两个方面：

一是地方上坚持要在某地建设新城镇，但地质专家认为该部位不宜进行建设，二者相持不下，最后若决策者忽视了地质专家的意见，必遭自然界的报复，这样的事例可举很多；

二是一旦出现了灾害性地质事件，反响首先是社会学的问题，也就是社会动乱。

二

就全球而言，地震、火山和崩滑、泥石流以及水土流失等地表改造作用，是自然灾害中的主要方面。诸如暴雨和特大洪水等，除了它们自身所造成的水灾之外，还伴有两岸岸坡的崩滑、泥石流或大面积水土流失。

就灾害性地质事件而言，一次高强度地震可以造成几千、几万甚至几十万人的伤亡，相应的经济损失十分惊人。但地震事件毕竟是在特定的地质构造背景下发生的或然性事件，而崩滑事件则遍及全球，其发生频率远远大于地震或火山事件的发生频率，而如果对全球崩滑事件进行统计，所造成的经常性和持久性的损失要比地震事件所造成的损失大得多。

作为自然界自身作用的结果，或者更确切地说岸坡在自身应力场、渗流场的不断调整以求稳态条件过程中出现大型崩滑事件可举出很多。比如，1970年秘鲁 Huascarán 山区因地震而触发的一起山崩，造成1.8万人死亡的惨剧 (Schuster R. L., 1986)。1963年的意大利 Vaiont 水库近坝地段滑坡致使当时世界上最高的双曲拱坝失效，涌浪夺去了坝下游

2600 多人的生命。在我国发生了多起大型崩滑事件,如长江三峡地区 1976 年 7 月 16 日巫山县长江南岸的鲤鱼沱 ($180 \times 10^4 \text{m}^3$)、1982 年 7 月 18 日云阳县城下游长江北岸的鸡扒子 ($1916 \times 10^4 \text{m}^3$, 其中 $230 \times 10^4 \text{m}^3$ 推入长江,河床堆积高 30~40 m、长 700m,水面宽度由 120m 减小到只有 40m),1985 年 6 月 12 日秭归县新滩(长江北岸, $3000 \times 10^4 \text{m}^3$, 其中 $200 \times 10^4 \text{m}^3$ 推入长江),1988 年 1 月 10 日巫溪县下堡乡中阳村 ($1000 \times 10^4 \text{m}^3$, 堵江筑坝高 30m) 等。正在变形的岸坡如秭归县新滩镇对岸(长江南岸)的链子崖 ($250 \times 10^4 \text{m}^3$) 等。中小型者则更多。

三

岸坡的变形、失稳,从根本上来说是岸坡自身求得稳定状态的自然调整过程,而协助它趋于稳态的作用因素有自然因素和人类的活动因素。

就自然因素而言,地震动是导致岸坡变形、失稳的直接因素,1995 年 1 月 17 日日本神户地震诱发崩滑达 630 处之多;1989 年 11 月 20 日重庆市渝北区统景地震 ($M_s=5.2$ 及 5.4 双震) 也诱发出几处崩滑。

自然因素的第二个主要方面是大气降雨与洪水。

在长江三峡地区,可导致松散堆积层,特别是土质堆积体变形、失稳的 1 日降雨量 100~140mm、2 日降雨量 200~245mm、3 日降雨量 300~315mm、4 日降雨量 350~360mm,但因地质体的类型不同而变形、失稳的启动降雨量也就不同。

洪水,特别是近百年一遇洪水效应也是明显的,仅长江重庆市~宜昌市段,近 100 余处松散堆积体的变形是 1981 年 7 月近百年一遇洪水所诱发,嗣后,1982 年 7 月特大暴雨又加剧了这些变形体的进一步变形甚至失稳,1982 年 7 月 18 日云阳鸡扒子滑坡就是在这样的环境下发生的。

人类为了生存和发展,一方面依赖自然界,另一方面又要改造自然界,但不合理的工程活动和对自然界的过分改造又孕育或诱发出新的地质问题。

现今地球上生活着的 50 亿人口,已经构成了地球环境中前所未有的地质灾害的人为因素。这种人为因素的作用,无时不在冲击着人类自身赖以生存的地球环境。全世界每年因翻耕土地、建筑爆破移动的土石量多达 4000km^3 ,从地下开采出的矿石和建材达 1000 多亿 t,由于砍伐森林,导致水土流失现象加剧,滑坡、崩塌、泥石流等灾害日趋严重。工业化的发展,导致大气中 CO_2 含量迅速增长,空气受到严重污染,气候变得反复无常,温室效应日见明显,各种自然灾害频率加快。人类在创造文明的同时,却又在迈向更大的危险区。劳埃德、廷伯莱克在《人世间最大的威胁》一文中指出,生存环境遭受破坏所带来的灾难,将取代核战争的恐怖而成为下个世纪人类面临的最大的危险。在过去的 20 年中,全世界有 280 万人死于各种自然灾害,有 8.2 亿人受到严重影响 (Schuster R.L., 1988)。

就全球而言,自然灾害中涉及面积最大的是洪水和风暴,如 1970~1981 年间灾害损失超过 460 亿美元,其中洪灾和风灾所造成的损失分别占 $1/3$ 和 $1/4$ 左右,而一次性人员伤亡最多的是地震,其损失据称超过 185 亿美元。

一次性滑坡损失不一定造成类似强震所造成的损失那样巨大,但滑坡灾害的出现频度

和广度又远远大于地震事件,而且又多涉及生命财产,如美国任20世纪70年代,年滑坡损失达10亿美元(Schuster R. L., 1978)。进入80年代,这种损失增至15亿美元/年(Schuster R. L., 1985)。日本同类灾害的经济损失为15亿美元/年(Ohhira N., 1982)。在由联合国教科文组织(UNESCO)组织调查的资料中,意大利在20世纪70年代的滑坡损失为11.4亿美元/年(Arnould, 1982);印度因交通干线滑坡所造成的滑坡损失达10亿美元/年(Mathur, 1982)。

四

我国也是滑坡泥石流多发国家,滑坡泥石流损失也十分惊人。据中科院特别支持领域“山地灾害——泥石流、滑坡基础研究专家委员会”办公室资料,中科院编目的具有一定规模的泥石流沟5万余条,其中危害严重的8500条;滑坡30万个,其中灾害性滑坡1.5万个(乔建平, 1988. 6),近10余年来泥石流、滑坡造成的经济损失达25亿~40亿元,每年有500~1000人丧生。

以长江三峡地区为例,重庆市1992年的统计资料显示^①,以市中区为中心的200km²范围内发生地质灾害300余处,其中滑坡130余处、崩塌60余处、危岩80余处、变形体500余处,几年来因地质灾害造成的直接经济损失19亿元,其中1989年为2.69亿元。

万县市将山地灾害列为11种自然灾害中的第四位。根据“万县地区五百年灾害研究”报告,近五百年来,发生中型以上的滑坡、岩崩、泥石流等山地灾害(含地陷)共419次(处),其中建国前38次(处)占9.07%,建国后381次(处)、占90.93%。

在建国前的38次(处)山地灾害中,岩崩16次(处)、占42.1%,滑坡17次(处)、占44.7%,泥石流5次(处)、占13.15%。分朝代看,明代1次(处)、清代16次(处)、民国21次(处)。

建国后的381次(处)山地灾害中,滑坡257次(处)、占67.45%,岩崩81次(处)、占21.25%,泥石流43次(处)、占11.3%。

上述事件多发生在雨季,如在419处事件中,1月3处、2月8处、3月7处、4月15处、5月34处、6月69处、7月205处、8月30处、9月27处、10月9处、11月1处和12月3处等,其中4~9月间380处,占总次数的90.7%,而7月份约占一半。

又如梁平县11处山地灾害中有4处系人为诱发;全区除云阳县以外的9个县市437处山地灾害中,人为诱发150余处。

我国自70年代末80年代初开始,以地表改造为主体的地质灾害明显增加,特别是水土流失和泥石流,河床逐年提高和江口冲、洪积扇的形成或扩大,基本上是从这个时候开始的。究其原因,根本上要归结到50年代的毁灭性乱砍滥伐。岩、土二次风化开始孕育着新的地质作用,经过20余年后爆发成灾,湖北省巴东县城后山坡1991年8月5~6日泥石流(降雨量182.9mm,最大雨强75.2mm/h,直接经济损失1000万元)就是典型的

^① 庞举. 统筹规划,团结协作,为深入开展重庆市地质灾害防治工作而奋斗. 重庆地质灾害研究(试刊). 重庆地质灾害研究会, 1992. 9.

实例。

人类的活动促使或加剧坡体变形或直接诱发坡体变形的事例也可举出很多。长江的链子崖坡体的变形(体积 $250 \times 10^4 \text{m}^3$)可追溯到更新世中、晚期,但近代坡下采煤(采空面积达70%)促使坡体变形加剧;重庆市渝北区的华蓥山主脊西麓~皮家山一带80年代开始的变形,变形域宽度(向山体)0.8~1.2 km、顺坡长11 km、面积 13.2km^2 ,变形裂缝30余条,单个裂缝长度200~1950 m,另伴生陷坑9处。变形体是三叠系下统飞仙关组(T_{1f})灰岩,下伏二叠系龙潭组(P_{2l})含煤岩组,临华蓥山基底深大断裂带及其影响带。

据调查,天府矿务局三汇三矿310主平硐延伸达850 m,南巷延伸1500 m,北巷延伸3200 m,现已开拓了363、310、240、170 m和100 m五个水平巷道。一、二矿280主平硐延伸4250 m,并穿越了 F_4 断层。920斜井1030 m、950茅口总回风巷1250 m,桃家岩至官家坪南风井长2430 m,还有桃家岩770专用放水平硐等。各类巷道和煤层采空区已进入到了江北县皮家山乡五马、桃垭、七星和田湾村等地地下深处,再加上各地小煤窑甚多和私挖乱采现象严重等,破坏了山体斜坡地下深处岩层结构,煤层采空区顶板塌陷,诱发了山体斜坡变形、位移、开裂,形成地裂缝和地陷坑。

在采煤地下工程活动中,长期放炮,在频繁的人工地震和三次强烈瓦斯煤岩突出影响下,引起山体强烈振动,岩层松动和边坡失稳,这也是地裂缝、地陷坑形成的原因之一,而且新增大量导水裂隙,串通和扩大了各含水裂隙、岩溶系统之间的水力联系,加速了地裂带中地下水的疏干进程,是造成山坪塘开裂、稻田龟裂、沟谷水体断流、泉水掉落、暗河水断流、地下水位下降等的主要原因。如1979年三汇三矿310主平硐排泄的地下水量为 106.5万 m^3 ,而到1989年上升到 389.3万 m^3 ;三汇一、二矿主平硐在1983年排泄的地下水量为 80.1万 m^3 ,到1989年上升到 301.8万 m^3 ;桃家岩770专用放水平硐年排泄地下水量 435.5万 m^3 。总之,1989年仅天府矿务局三汇各煤矿排泄的地下水量达 1126.6万 m^3 。

其他如湖北省宜昌盐池河磷矿崩毁,死280余人;1994年4月30日重庆市武隆县白马鸡冠岭崩塌($325 \times 10^4 \text{m}^3$)(乌江断航数月、死伤9人、12人下落不明,损失惨重)等,均属人类活动干扰型。

五

自然灾害对人类的威胁已经引起了全世界的极大关注。1987年联合国通过决议,成立国际减灾十年组织,把本世纪最后十年定为国际减轻自然灾害十年(IDNDR),主要研究地震、风暴、海啸、洪水、滑坡、火山爆发、森林火灾等灾害给人类带来的损失及其防治措施。这标志着人类面对自然灾害已经从单一的、局部的认识水平发展到综合的、区域性的高度,人类对自然灾害的认识水平提高了。

由于土地开发与滑坡灾害是紧密相关的,故有些国家相继开展了滑坡灾害研究成果的立法工作,如美国、法国、瑞典、意大利等(Brabb E. E., 1979; Besson L., Tachker Y., 1990; Ahlberg P., et al., 1988; Govi M., 1990)。其一般原则是,在高滑坡灾害区禁止土地使用,中等灾害区可有条件地使用土地,低灾害及无灾害区不限制土地的使用。不同灾害等级的区域是以颜色或符号来表示的。

172022

我国在地质灾害研究方面也作了很多工作,如早在1974~1976年,铁道部就成立了“滑坡分类与分布”专题协作组,对全国铁路沿线滑坡进行了普查。“六五”期间,地质矿产部立专题“西南西北崩滑灾害山区斜坡稳定性研究”;1991年中科院编绘了“中国泥石流灾害分布与危险区划图”,1996年编制了“四川省滑坡危险度分区”;国家水土保持委员会在“八五”期间进行了“长江上游水土保持重点治理区三峡库区片滑坡泥石流预警系统选点详查”(1989~1990年)和“长江上游水土保持重点治理区滑坡泥石流发育程度区划研究”(1991~1994年)。

为配合国际减灾十年计划,中国地质灾害研究会于1990年成立出版《地质灾害与防治》学报。国家地质灾害防治与地质环境保护专业实验室也同时出版《地质灾害与环境保护》学报。

有些县市还拟定了具体措施,如重庆市针对华蓥山一带的地质灾害拟定了三个原则、三个分阶段防治目标和十大措施,而八个项目和防治工程是:

- 1) 重庆市华蓥山南段地区灾害防治规划;
- 2) 重庆市华蓥山南段山地灾害区移民安置规划和移民安置工程;
- 3) 重庆市华蓥山南段山地灾害区人畜饮水工程;
- 4) 重庆市华蓥山南段山地灾害隐患区排水工程;
- 5) 重庆市华蓥山南段山地灾害监测、预报工程;
- 6) 重庆市华蓥山南段山地灾害勘察评价和重灾区防治工程;
- 7) 重庆市华蓥山南段地区国营煤矿和乡镇小煤窑环境地质管理工程;
- 8) 重庆市华蓥山南段地区农业综合开发工程(含“长防”、“水保”、“中低产田土改造”和“资源开发与生态保护工程”等)。

总之,我国已经进入了地质灾害的全面、系统研究和防治阶段。

(一) 崩滑作用空间预测

崩滑作用预测可分为空间和时间两大类。有人主张灾害的空间和时间预测应是并存的,即脱离时间预测的空间预测是不可取的。但也有人认为两者是可以相互独立而又互为补充的。事实上,空间预测是时间预测的先决条件,只有在明确了预测的对象之后,方可有目的地开展滑坡灾害的时间预测。因而,一般地讲,滑坡灾害空间和时间预测有先后序次关系,但从减灾的角度考虑,两者又具有相对的独立性,即可以在时间预测之外进行空间预测。空间预测能够为人类活动选择稳定性较好的地段,以保障生命和财产尽可能免遭滑坡的袭击。

迄今见于报导的滑坡灾害空间预测评价方法可归纳为统计学方法、敏感性制图方法、信息论方法以及各种经验方法(Jones F. O., et al., 1961; Haruyama M., 1984; Kawakami H., Saito Y., 1984; Einstein H. H., 1988; Brabb E. E., 1984; Nilsen T. H., et al., 1979; Brand E. W., Yan Tongzheng, et al., 1987; Wiecaorek G. F., et al., 1990; Hartcen J., Viberg L., 1988; Romana M., 1989; Wang Sijing, Yu Suolong, 1987; 卢鑫栖, 1984; 黄润秋等, 1988; Wangner A., et al., 1988; Stevenson P. C., 1977)。滑坡灾害评价技术较先进的国家和地区有美国、法国、意大利、澳大利亚、西班牙、瑞典、瑞士、捷克和香港(Brand E. W., 1988),我国在这方面的近期研究也有了很大进展。

尽管各国所采用的滑坡灾害评价方法不同,但在根本上它们又具有某种共同之处,那就是充分考虑各种地质因素的共同叠加作用,评价某特定地质环境中滑坡的可能性。各种方法之间的差异在于叠加方式的不同。基础资料通常包括滑坡分布图、构造地质图、地形地貌图、水文图、植被图、人工活动方式图等。作为滑坡灾害评价不仅要确定已有滑坡范围,而且还要预测尚未产生滑坡而今后可能产生滑坡的位置,或者圈定具有产生滑坡的不利地质因素组合的位置。确定已有滑坡的范围主要是编绘滑坡分布图,其手段包括遥感图像解释和地表地质调查。然而,对于后者的预测则应遵循类比原则,即具有相似因素组合的地质环境,应具有相似的斜坡稳定性状况及相应的破坏方式。

国际上在区域性滑坡灾害评价方面的研究多限于对滑坡发生可能性程度的估价,方法是采用多种因素图件的综合叠加。研究趋势可概括为:①趋于对滑坡灾害评价的系统研究,即自然因素→预测分区→损失估价→成果管理的研究程序(Einstein H. H., 1988);②重视概率方法的应用以及人文因素(土地使用方式)在灾害评价中的作用;③重视计算机技术在数据处理和制图方面的应用;④努力倡导专业研究成果在行政决策过程中的作用。

(二) 崩滑作用时间预测

崩滑作用时间预测较之空间预测难度大,之所以困难,是由于两个概率事件的重叠:一是认识论的随机性,也就是我们对可能变形、失稳的地质体的认识程度;二是地震、洪水、降雨以及人类活动等可导致地质体变形、失稳的诱发因素的出现也是不确定的,称为概率过程。

崩滑作用的长期预测的目的是确定某地区或某一具体滑坡在今后可能活动的年份范围,这种预测只能是一种近似的。长期预测的依据主要是一定范围内的地质背景和重大气候变化的规律。因为,对于一特定地质环境的区域来讲,历史上滑坡的活跃年份往往对应于气候变化异常(多雨)的年份和地震活跃年份。然而,气候对滑坡的影响较之地震活动的影响更加频繁。所以,了解气候变化与滑坡活动规律之间的关系对崩滑作用的长期预测更具意义。

大气圈、水圈、地壳表面乃至地壳内部的变化与星体间的相对位置似乎有一定的关系,崩滑作用长期预测也自然涉及太阳和其它星体的运动和循环周期。Sheko A. I. (1976)在苏联高加索黑海沿岸地区的研究结果认为,崩滑作用的时间预测可依据太阳1980~1990年11年的太阳黑子活动周期规律进行,所采用的方法是调和函数周期分析和相关回归分析。Fussganger E. (1976)通过对欧洲动力地质作用历史资料的统计分析,认为这种作用的循环周期与土星的30年周期相一致。崩滑作用的活跃年份对应于该行星处于其椭圆轨道的 $240^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 位置。

暴雨与崩滑作用时间的一致性关系也被充分研究和认识,一个地区滑坡往往集中发生在多雨或暴雨季节,滑坡季节集中性已被大量事实验证。

Fussganger E. (1976)的统计分析表明,滑坡主要发生在降雨量为平均降雨量的250%~300%且为无植被期的10月~次年3月份之间。

Guidicini G. (1976)等人的研究结果也认为,暴雨期间雨量超过250~300mm时,降雨和滑坡之间存在单一的对应关系,即在此雨量下,无论在任何情况下,都会诱发大量滑坡的产生。Endo T. (1970)对日本北海道1955~1968年间滑坡资料的分析也得出类似的

结论,即日降雨量超过 200mm 大多数地区将产生滑坡。

由此可以看出,建立滑坡作用与降雨量之间的相关对应规律,是开展区域性滑坡时间预测的有效手段。但其关键在于降雨与滑坡作用相对应规律在未来预测时期内的有效性如何,因为过分久远的历史资料和太短的历史资料还不足以建立时间预测模型。

总之,国内外在崩滑作用长期预测方面的研究进展缓慢,成果少见系统报道,研究成果缺乏连续性且尚无系统规律可循,仍处于一种探索性研究阶段。

美国加利福尼亚州矿山及地质办公室对加州 1970~2000 年的滑坡灾害损失作了估计,如果采取地质调查、合适的工程措施以及有效的土地利用控制手段,其灾害损失将减少 90%以上,而相应的效益/费用之比大于 9:1 (Schuster R. L., Krizek R. L., 1978)。滑坡灾害空间预测分区可作为土地规划的宏观决策依据并可成为滑坡灾害中长期预测基础。

近 20 年来,滑坡研究已由过去的单个滑坡的现象描述、分类治理发展到以定性定量描述为基础的定量预测预报研究阶段。但作为灾害来研究则是近 10 年的事。目前,要准确地预测滑坡灾害可能发生的位置和时间却是相当困难,除非滑坡的发展过程始终得到监测。因而,人们从经验中得到更深的认识,即减少滑坡灾害的重要措施必须从区域滑坡灾害分布规律研究开始,从宏观上控制在微观上补救,而宏观研究所带来的实际效益通常是显著的。从 20 世纪 60~70 年代开始,一些多滑坡国家,如美国、法国、意大利、捷克、日本、苏联等,开始了大区域的滑坡灾害规律的研究,认为滑坡灾害的减少必须与国土开发规划结合在一起考虑。一段时间的实践结果表明,所采取的预测研究对策是有一定成效的。就单个滑坡的预测预报研究而言,早期的斜坡稳定性工程地质分区和安全系统计算方法也暴露出某些缺陷,如工程上出现的安全系数大于 1 的斜坡产生了滑坡,小于 1 的斜坡却稳定等。随着电子计算机模拟技术的发展,70 年代初提出的破坏概率分析法成了重要的分析方法。大量的岩土工程实验亦已证明,同类岩土体的强度参数往往是符合某种概率分布的,因而,计算的安全系数必然也是一种概率分布形式。这样就从确定的预测模型发展到随机的概率模型。

也就是说,我们进行的数值分析或模型试验,都是建立在概率论基础上的确定性模型,分析结果只能达到一定的置信度,而这个问题我们往往忽略。

最后还必须提到人工边坡的设计与崩滑体的治理方案设计。

无论是人工边坡还是崩滑体,设计思路的第一条是要遵循顺应性准则与协调性原则。

现在我们所见到的稳定边坡,是自然界各种作用营力长时间作用的结果,而正在变形的岸坡,是自然界自身调整作用的一个过程,调整的结果是求得岸坡新的稳态。

当人们在那些已经处于稳态的自然斜坡中开避新的边坡或者治理那些不稳定的甚至是正在变形的自然斜坡时,首先要充分把握可保持边坡稳态的基本或首要条件是什么,也就是说要最大限度地依托或利用自然界自身的有利条件,协助自然界增加稳定成分。这叫做顺应性原则。

其次,边坡的变形、失稳型式将因坡体类型不同而不同。作为极端,先可划分为脆性岩质边坡与软性土质边坡两大类进行讨论。

脆性岩质边坡自变形开始至失稳,其间变形量很小,或者说一旦超过允许应变量即可失稳,并不一定反映在变形量上。

土质边坡自变形开始至失稳，其间变形量很大，或者说其变形量达到米级也不一定导致整体性失稳。

针对上述两种类型的边坡设计或治理，稳态坡形的选择或补强方案的拟定，必须考虑新建边坡的稳态或被加固体的稳态要同自然坡体的稳态相互协调。这就是协调性原则。

协调性原则必然要提出新的问题，即人工边坡或被加固坡体的稳态识别标准是什么？这是没有人曾经考虑过的新的空白。

第1章 边坡工程的勘察

1.1 综 述

从人类的生存条件及对该条件的制约环境立论，边坡、特别是自然岸坡问题实质上是预测问题。

当我们对某一岸坡的稳定状态(简称稳态)进行评估时，考虑问题的思路应该是如图 1-1-1 所示。

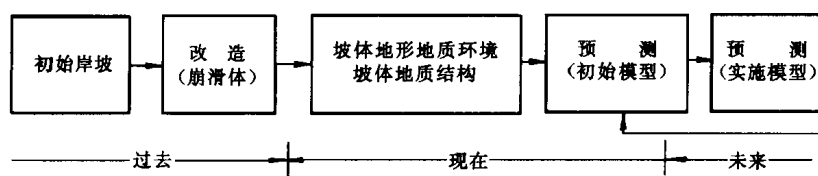


图 1-1-1 岸坡的稳态评估思路

这里，初始岸坡是指在各侵蚀旋迴期经河流下切而形成而且未曾发生过大规模崩滑(“崩滑”一词是广义的，是岸坡的各类型变形、失稳的总称，而“崩、滑”则指崩塌与滑坡两种型式)事件的岸坡。这类岸坡也经历了后期的地质营力改造，但基本上保留或代表着岸坡形成初期的基本形态。

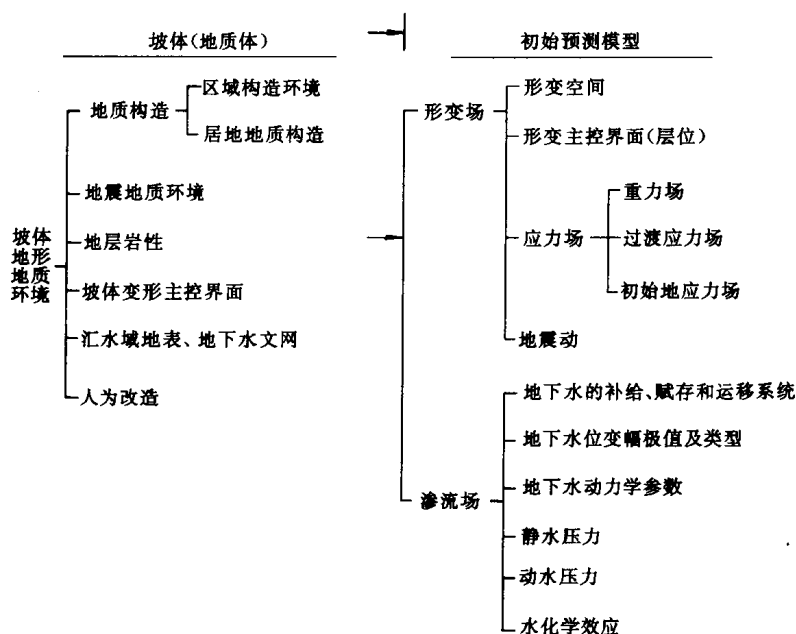


图 1-1-2 坡体地质结构向形变—渗流场的转化

当初始岸坡以诸如滑坡等型式改造时，那里的地形、地质环境和坡体结构则截然不同于初始岸坡，而滑坡堆积体又构成可独立运动的新的地质体，对它的分析思路又是另外一回事。现在我们所看到的就是改造后的岸坡，对初始岸坡到现在的岸坡的改造过程（历史）的回顾就是从现状看过去，从中理出那些在预测未来改造过程中仍起主导作用的条件和因素并将它们引入到初始预测模型中去。

初始预测模型，实际上是将坡体地形、地质环境与坡体结构转化成形变—渗流场，如图 1-1-2 所示。

初始预测模型转入预测实施模型的依据是坡体的动态信息，若没有动态信息就不可能实施预测。

实施预测模型的建立及预测实施过程将在第 3 章专述。

本书就是按图 1-1-1 和图 1-1-2 思路撰写的。

1.2 坡体地形地质环境

1.2.1 地形地貌

地形是制约岸坡稳态的第一控制要素。岸坡变形的第一个起因是地形的改造，而变形易发部位是地形坡度陡变部位，变形域规模则取决于岸坡的高度。

1.2.2 区域构造与地震地质环境

在边坡工程中，区域构造环境问题可涉及四级构造单元及其后续各级构造。这个问题并没有怎么引起工程师们的注意，特别是土木工程师们。

当我们看到有些部位集中分布多个崩滑体时，第一个要想到的是区域构造环境和地震地质环境。

区域构造环境的分析要点是自老至新构造应力场的转化，包括主应力的偏转（移）、压（剪）应力场向张（剪）应力场的转化、初始应力释放环境、蠕（流）变环境以及对渗流场和风化作用的制约作用（优势面）等。

1.2.3 居地地质构造

居地地质构造是判断独立变形、运动单元的根本依据。具体要点如下。

1. 节理裂隙序次

比如一处岸坡坡体很破碎，似基岩又疑不是，这时至少要进行以下三个序次的统计分析：

第一序次——周边完整基岩的节理裂隙和劈理；

第二序次——破碎岩体各独立块体的节理裂隙和劈理，含微构造、显微构造系列；

第三序次——新近出现的变形裂隙（缝）。

2. 坡体结构

控制岸坡的稳态或变形的地质构造效应有以下两层意思：

（1）刚度效应 坡体的整体刚度取决于节理裂隙的发育程度（当然还有风化程度）；