

水文工程地质 与环境保护

晏同珍 著



中国地质大学出版社

2

P642
26

312460

水文工程地质 与环境保护

晏同珍 著



中国地质大学出版社

水文工程地质与环境保护

晏同珍 著

中国地质大学出版社

· (鄂) 新登字第 12 号 ·

内 容 简 介

本书系水文工程地质及环境保护领域的科学研究成果。作者集多年科研与实践于一体,较全面地反映了该学科与相邻学科互相渗透的现代方法和原理。该书观点新颖,思维精细,内容适度,方法先进。全书具有较高层次学术水平和实际应用价值。

全书论述了该学科科学方法论,包括类比法则、确定性数学物理模型与非确定性统计模型及其互补模式的研究方法,以及前沿热点研究进展。进而按几个部分展开,分别讨论工程地质作用过程的机理、规律,时空预测原理、预测方法及全球环境变化与环境保护。最后讨论了以研究系统网络工程体系中工程地质作用为目标的地下建筑与铁道工程地质问题。

本书可供从事水文工程和环境保护科学研究者、勘察工作者以及高等院校师生参考;亦可作为高等院校有关专业研究生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

水文工程地质与环境保护/晏同珍著. —武汉:中国地质大学出版社, 1994. 6

ISBN 7-5625-0957-3

I. 水…

I. 晏…

Ⅲ. ①工程地质-水文; ②环境保护

N. P642

中国地质大学出版社出版发行(武汉市·喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 贾晓青

印 刷 中国地质大学出版社印刷厂

1994年6月第1版 1994年6月第1次印刷 印数 1—1000册

开本 787×1092 1/16 印张 14.375 字数 368千字

定价: 15.00 元

Yan Tongzhen

Hydro — Engineering Geology and Environment Protection

前 言

本书主体是工程地质,相当岩土工程覆盖的内容(土力学、岩石力学及工程地质)。著者意欲涉及三门学科的交叉渗透,并通过本学科扩充研究,达到环境保护的目的。

全书共分六个部分,分列如下:

- 一、总论(方法论)
- 二、机理、规律(包括第一、二、三章)
- 三、时空预测(第四章)
- 四、环境保护工程措施(第五章)
- 五、地下建筑工程地质(第六章)
- 六、铁道工程地质(第七章)

方法论是各门类学科必不可少的高层次研究内容。它包括概要评述研究及重要热点课题进展,以及侧重反映物理实质的确定性数学物理模型与反映统计理论规律的非确定性数学模型互补的研究方法,后者还涉及统计模型和信息论模型。它们虽实质不同,但在特定条件下是互通的。内容突出了国内外尚未解决的高速远程巨型滑坡的机理等问题。

机理、规律是各门类学科共同的研究内容,也是工程地质作用过程或环境地质灾害机制研究的极为重要方面。地质作用也可理解为各类地质灾害发生、发展乃至达到顶峰以及衰退、消亡的内在本质过程。当然,也涉及作用过程的分类,特别是洪水及滑坡的分类等。在此著者建立了易滑动理论。它是易滑坡概念的扩展,涉及地壳深部走滑断裂与地震及地质作用的时空预测原理。它基于各态遍历性平稳假说,处理地质作用的空间预测原理问题,认为时空等位(效)观是可取的。在空间预测结果的基础上,选定重点灾害监测点进行时间预测及检验。后者多借助确定性数学模型和灰色控制系统理论中的微分方程之非线性动态解。著者提请读者共识:灾害的预测都是有前提条件的;任何与工程事例有关的预测本身就是一种非工程的防治措施(软措施);当灾害过程进入混沌而出现随机性时,原确定性也就失效。

环境变化与环境保护工程措施是当今全球重点研究的课题。它与一般防治工程在概念上有所扩充,包括必须涉及的水土流失等环境资源保护以及环境的物理污染及化学污染。如果根据预测结果,人们提前采用有效工程措施(硬措施)的话,则预测就可起到防患于未然的良好效用。

地下建筑与铁道工程地质两章是以研究系统网络工程体系中的工程地质作用为目标的。其共同点是:某一点发生变形破坏或灾害,将影响到工程整体体系,相当于城市地面管线或生命线工程。地下建筑也是山区铁道工程和都市地下铁道的组成部分,在现代全球人口持续增长条件下,具有开发地下空间、节约地面空间的积极意义;但地下工程地质作用研究难度较大,且其规律与前述时空预测要求精度更高。

如果说康乃尔大学 H. Rise 和维吉尼亚大学 T. L. Waltson 两地质学教授合著的《工程地质学》1914 年第一版为工程地质学科之始点的话(当时正值巴拿马运河竣工),那么在 80 年之后的今天,正逢国际工程地质协会(IAEG)第 7 次学术大会(Lisboa, 1994)召开之时,其意向不仅仅是谋求单一学科领域的扩大与发展,同时也包括相邻学科之间的相互渗透。一个

IAEG 是工程地质学覆盖岩土力学；一个岩土工程是工程地质学被覆盖；另一个是地质工程（30~40 年代在前苏联），其工程地质学被削弱；等等。这些学科的覆盖和被覆盖现象，是学科与学科间相互交流的正常结果，并不奇怪，重要的是，80 周年的工程地质学科，大概还远未完成它的历史使命。工程地质学科会不会消亡？何时消亡？这个问题只能留给读者自己去思考。

耐人寻味的是，50 周年之际的 1964 年，还是在康乃尔大学，工程地质学及构造地质学家乔治 A. 凯尔西（G. A. Kiersch）在《岩石力学与工程地质》杂志发表“工程地质学发展趋势”一文，认为当时的工程地质学是强调定量化。今天看来，本学科仍在发展。

关于环境保护问题，罗马俱乐部发表的《增长有极限》，从全球范围预测到人类即将面临的五大挑战性问题：①人口增长；②工业发展；③粮食供应；④资源能源利用；⑤环境危害。它预言若保持当代此类问题的发展趋势，则全球在百年之内其增长极限即会到来，即人口和工业非常可能遭到一个急剧萎缩而失控的状态！显然，环境质量降低及其危害是前四个问题所导致的必然产物。合理开发和保护环境是国际环境宣言的共同目标，也是我国国土开发合理规划与城乡环境保护的研究课题。著者正是从保持地质环境质量免遭快速恶化的角度出发撰写本专著的。

假若本书对同行能起到抛砖引玉的作用，那是著者所希望的。由于许多问题带有探索性，还需在科研中深化及改进。著者欢迎来自各方面的批评和建议。

本书著述过程中得到许多同志热心支持和协助。为本书提供资料的有：王智济、杨裕云教授，张健仪、王恭先研究员，孟高头、唐辉明、伍法权、陈荣、殷坤龙副教授，傅传元高工，杨顺安、吴光、余宏明、张聪辰副教授及周萃英博士，计雅筠高工，李智毅、匡有为、沈孝宇教授。土工试验和地下水化学分析由王伯桢工程师完成。协助整理资料和稿件校核的有石玲、王建锋讲师和吴益平老师。图件由潘丽清绘。著者对所有付出辛勤劳动并给予协助的同志致以衷心感谢。

著 者

1993. 9

目 录

总论 工程地质作用：方法论·····	(1)
一、工程地质作用·····	(1)
二、滑坡与岩土工程·····	(3)
三、滑坡研究的技术理论·····	(6)
四、滑坡预测模型·····	(15)
五、环境地质问题·····	(17)
六、全球人口增长与环境压力·····	(20)
第一章 工程地质作用过程——机理与规律（一）·····	(23)
第一节 洪水·····	(23)
一、我国洪水地学规律·····	(23)
二、全球洪水地学特征与报警控制原理·····	(25)
第二节 易滑动理论与地震时空预测原理·····	(28)
一、全球水库诱震统计规律·····	(29)
二、地震·····	(34)
第三节 错落性质·····	(35)
一、国内外资料简述·····	(35)
二、错落属性及探索方法·····	(35)
三、错落与崩塌、滑坡对比·····	(40)
第二章 工程地质作用过程——机理与规律（二）·····	(41)
第一节 滑坡地层、滑坡分解与水化学·····	(41)
一、易滑坡地层·····	(41)
二、滑坡分解·····	(43)
三、滑坡水化学特征·····	(44)
四、滑坡类型与讨论·····	(46)
第二节 滑坡机理·····	(46)
一、概述·····	(46)
二、九种滑坡机理·····	(48)
三、讨论·····	(53)
第三节 滑坡构造力学·····	(53)
一、几个典型滑坡构造·····	(53)
二、滑坡构造发展的应力应变规律·····	(57)
三、滑坡推力计算分析·····	(60)
四、讨论·····	(66)
第四节 地下水富集滑坡的稳定性·····	(66)
一、地下水富集滑坡的分析模型·····	(66)

二、稳定性系数的敏感度分析	(69)
三、滑动带顶板趋势面分析	(69)
第三章 工程地质作用过程——机理与规律 (三)	(72)
第一节 滑坡运动动力学规律	(72)
一、观测及其数据分析	(72)
二、滑动面为单一倾斜平面的滑坡动力学规律	(72)
三、滑动面为多个单一倾斜平面组合的折线时滑坡动力学规律	(74)
四、滑动面近似某些二次曲线或对数螺线的滑坡动力学规律	(76)
五、水库滑坡涌浪估算检验	(76)
第二节 易滑动理论与高势能滑坡预测原理	(77)
一、滑坡工程地质测绘、制图及数据处理	(77)
二、滑程计算式推导	(80)
三、实例	(82)
四、讨论	(83)
第三节 滑坡系统静动态规律	(84)
一、区域滑坡系统静动态规律	(85)
二、斜坡不稳定性空时定量预测原理	(87)
第四节 滑坡分类	(96)
一、滑动面成因及岩土组合分类	(96)
二、联合滑坡分类系统	(98)
三、滑坡形成时代的分类	(98)
第五节 地质构造与地应力场	(102)
一、葛洲坝大江坝段地质结构与地应力	(102)
二、黄土构造与地应力场	(106)
三、讨论	(109)
第四章 工程地质作用过程的时空预测	(110)
第一节 洪水预测	(110)
一、我国洪水整体趋势预测	(110)
二、国外典型洪灾趋势类比预测	(114)
第二节 地震预测	(114)
一、地震预测预报	(114)
二、唐山市 1976 年地震预测检验	(114)
三、台湾省及近区地震统计预测	(116)
第三节 滑坡空时预测的基础	(117)
一、滑坡预测基础及主要滑坡岩组	(117)
二、易滑坡岩组概率统计与预测	(125)
第四节 滑坡空间预测及区划	(129)
一、滑坡丛集性与再生性预测	(129)
二、滑坡分布与空间预测及区划	(132)
第五节 滑坡时间预测	(142)

一、滑坡群体或斜坡变形破坏时间预测·····	(142)
二、滑坡单体临滑时间预测·····	(144)
三、滑坡个体中、短期预测检验·····	(151)
第五章 环境变迁与环境保护工程·····	(152)
第一节 环境变迁·····	(152)
一、全球城市人口发展与我国环境变化·····	(152)
二、德国能源及环境地质·····	(154)
三、地面沉降规律及其预测·····	(160)
四、西安地面沉降及地裂缝预测·····	(165)
第二节 环境保护工程·····	(170)
一、斜坡加固·····	(171)
二、滑坡防治工程措施·····	(171)
第六章 地下建筑工程地质·····	(177)
第一节 地下建筑场地位置选择·····	(177)
一、场地位置选择工程地质·····	(177)
二、洞口仰坡及边坡稳定性·····	(179)
三、地下建筑围岩工程地质稳定性·····	(181)
第二节 围岩压力·····	(190)
一、围岩压力分析的一般原理·····	(190)
二、关于散体介质理论·····	(190)
三、连续介质理论·····	(190)
四、喷锚支护原理与围岩稳定性分析·····	(192)
第三节 地下建筑中的水压力及地应力·····	(195)
一、外水压力·····	(195)
二、内水压力与围岩承载力·····	(196)
三、围岩地应力分析·····	(196)
四、岩爆问题·····	(199)
第四节 地下建筑中地温及有害气体·····	(199)
一、地温·····	(199)
二、有害气体·····	(201)
第七章 铁道工程地质·····	(202)
第一节 山区铁道选线工程地质·····	(202)
一、选线工程地质的规划性·····	(202)
二、选线工程地质的基本内容·····	(203)
三、滑坡及其有关作用地段的选线工程地质·····	(205)
四、地震活动断裂及河谷区选线工程地质·····	(206)
五、线路最佳方位选定·····	(206)
第二节 铁道路基工程地质·····	(209)
一、路基边坡稳定性·····	(209)
二、路基基底稳定性·····	(211)

第三节 桥梁工程地质.....	(212)
一、桥址选择工程地质勘察.....	(213)
二、桥梁设计中的主要工程地质问题.....	(214)
主要参考文献.....	(221)

总 论

工程地质作用：方法论

一、工程地质作用

(一) 前沿、方法论及特点

工程地质作用(王继光, 1993), 研究内容方法和原理的第一个特点是密切与环境地质学相互结合和渗透。其重点前沿课题是着眼于“未来”地质灾害作用预测。预测未来的基本原理是事件的过去、现在发展演变的继续延伸规律、因果规律和类比法则。第二个特点是研究方法论开始采用系统科学的思维方式。从传统的确定论模式走向确定性与随机性相互补充和结合的思维模式及研究途径。其原因在于拉普拉斯确定论只有在简单或简化后的有限条件下才是正确的; 而在更为复杂的与四大圈(气、水、生、岩)紧密相关的地质灾害系统条件下, 不可逆性和随机性及概率论才能反映这类自然规律。有的学者发现: 即使是确定性系统本身仍内潜有随机性和混沌, 典型例证是生态学中的生物繁衍模型, 包括虫口方程或 Verhulst 非线性动态微分方程, 当其待定参数 $\alpha=b=\mu$, 且 $\mu \geq 3.45$ 时, 确定性模型即出现随机性而进入混沌。混沌中还具有 Feigenbaum 常数规律, 类似自然界中的如圆周率 π 的普适常数等。故而, 系统演变的未来还可藉助于混沌中正常和非正常(怪)吸引子的集合所构成的可能性空间去表达。地球科学发展与思维的现今方式(赵鹏大、王亨君, 1992), 支持和深化了地学的科学方法论。第三个特点是地质灾害作用的动态过程或机理的研究越来越受到重视。旧的时空从属观让位于其等位(效)观, 认为各种系统只有在时间动态过程中即可呈现其空间存在, 呈现其平稳性、随机性分岔、混沌以及渐变和突变的特征。第四个特点是作为自然科学门类的地质灾害研究已涉及到社会科学门类的社会经济系统领域。这是由于人类工程活动营力作用于地壳表层, 促使其更为加速演化。过去视之为自然地质灾害的许多类型, 诸如洪水、水土流失、地震、山崩滑坡、泥石流、岩溶、沙漠化、盐碱化、地面沉降等, 当今已并非全属自然营力所致, 人类活动已可激发甚至“制造”出这些灾害。地球上可观的人口增长速度及其密度正在促进世界人口环境容量的饱和。即其现今翻一番的速度较之公元起始时的 2.5 亿到公元 1650 年才翻一番(5 亿)的速度要高 26.2 倍。有鉴如此, 联合国提出“减轻灾害十年(1990~2000)”计划。为此, 除研究各类灾害的环境地质演化规律、预测预报和防治对策外, 尚应对某些特定地区、国家乃至全球研究并制定相应的法规, 缓减开发和合理有效地保护环境免遭恶化, 最大限度地减缓社会经济损失和人口伤亡以及全球大环境系统失调。

(二) 某些研究进展

1. 地质灾害区域性规律研究的进展

我国国土面积广阔而山地面积占 70%。不同的区域地质环境和区域地质条件即可决定我国地质灾害具有显著的地域性和地区性。我国的地震概属板块内地震, 绝大多数强震都发生在一些稳定断块边缘的深大断裂带或断陷盆地边缘。稳定断块的内部很少有或基本没有强震分布。山崩滑坡主要分布在西南、西北, 部分中南和东南地区, 分布特点是成群、成片, 呈带状发育; 西部多于东部, 南部多于北部。泥石流分布范围广达 18 个省(区), 尤以川西南

和西北山区为最。云南省小江和大盈江流域、川西山地、西北陇西和陕南山区及黄土高原泥石流的分布十分密集,发生频繁。地面沉降一般发生在滨海和三角洲平原、河流冲积平原地区和新构造沉降带。

区域性、地区性规律研究可以概括分为三种尺度:第一级是全国性地域性的研究。就是从区域地质构造、自然地理环境、岩土组合类型、灾害地层分布、地壳变形规律、地震活动状态和人类生产活动方式等多方面综合地开展地域性规律的研究。这一级的研究可谓是“软科学”的基础研究,可为重大国民经济开发规划提供宏观决策的依据,具有重大的战略意义。第二级是地区性研究。按大江河流域、西南、西北、华南、中南等大地貌地质单元的各自独特地区性地质条件、地貌岩性、工农业生产活动方式等方面开展的研究。这一级的研究可为地区、省际之间,交通线路的经济开发和工程建设规划提供区域性规律的灾害信息。第三级是城镇建设的规模和场地范围内的具体灾害的研究。这一级的研究为城乡建设和具体建筑物及建筑场地布置,选择避免灾害的安全地带提供依据,具有现实的战术意义。微观尺度级的研究,主要是为灾害发生机理研究提供一种途径。

地质灾害区域性研究目前应从资料调查走向灾害编录和灾害制图学的研究,这方面有的国家先于我国,如意大利、前捷克斯洛伐克、日本、美国等国。这项工作不但可以使灾害的区域性分布规律研究成果以统一、系列、标准、规范化的形式表达,更重要的是为国土开发、利用、保护以及制定减轻灾害的对策和防治提供有科学根据的文件。

2. 灾害发生机理研究

目前已着眼于灾害形成的环境条件、成因因素分析,依据灾害形成、演化动态规律建立特定的模式,并作出稳定性分析评价。

对于地震灾害,现在的研究主要是地震学和地质学两个途径,地球物理勘探则为两者的桥梁。地震发生机理的研究有震源机制理论、活动断裂和发震断层概念、洋陆板块碰撞、板内缝合线理论以及地震预报中的扩容学说等。扩容学说也碰到困难。

崩塌滑坡发生机理仍处于认识各异众说不一的水平。国内从不同角度比较系统的论述有:①斜坡变形破坏地质力学模式;②以岩土组合类型和易滑坡地层分布特征而概括的九类滑坡发生机理;③以滑带(面)的成因和形态将滑坡发生机理归为五类等。许多学者从多方面进行了更为深入细致的探索工作,提出了暴雨滑坡、地震滑坡及泥石流滑坡机理。

地面沉降机理在国内外均采用经典的一维固结理论,但对地下水采灌条件下各土层的变形机理并不清楚,沉降量的计算有理论方法和半经验半理论方法。从理论研究的总趋势看,目前的沉降机理理论、沉降计算公式、承压水土层变形模型还不能很好拟合实际监测数据。地面沉降模型试验更是个弱点。应将机理理论研究和模型试验结合,运用综合的量测手段,对岩土体的成因和天然固结历史、粘性土的先期固结压力、固结状态和沉降量计算等方面进行探讨,选择切实可行的计算模型,为控制地面沉降研究中的地下水合理开采、回灌方案的计算和沉降预测提供理论依据。许多学者认为,研究城市的地面沉降决不能局限于城市本身区划的范围内,应该从一个完整的自然地质单元来查明它们的水文地质和工程地质条件,这种见解无疑是十分正确的。

3. 地质灾害预测预报研究进展

地质灾害产生于特定环境,并有其自身发生、演化和消亡的规律。在人类活动影响下,不但其发生演化过程速率与日俱增,而且其频率增长也是总的趋势。近年空间预测制图技术有了明显进展。区域分区采用了新生界沉积层等位线、明胶材料模型模拟的应变能等值线以及

地面运动加速度反应波谱分析不同区域的稳定性。有的应用模拟技术并以有限元法计算卸荷后应力场分布。超声地震模型国内外已取得相当的进展,对城市抗震、工程选址有好的应用前景。滑坡空间预测首次应用矿床统计预测中信息量法和新的系统模型法,以及数量化理论模型和聚类模型回归模型的预测分区制图(安康,火石岩,洵阳),后者提出了预测精度评估的半理论半经验表达式,检验表明预测精度在1:5万图幅上可达75%左右。25%的误差来源与信息的重复使用和漏用有关。而区域地质灾害空间预测制图的工程地质意义是把极不稳定和不稳区从一般区中划分出来,对环境开发利用有潜在的宏观决策功能。

60年代中期 M. Saito 发表于第6届 ICSMFE 2 的斜坡破坏发生时间的预测模型仅适用于灾变事件的某些特例。我国地震部门根据现代统计物理学研究,表明突变事件发生前系统有一共性,即其内部出现涨落加剧,大为偏离原先平稳态而进入非平稳态的事实(秦保燕),提出了大地震中长期预报及临震预报方法。岩体失稳前,其系统内部的非平稳态也普遍记录到,张倬元等提出了时间预报的黄金分割数法或 0.618 法。0.618 也是类似于 π 的普适常数,据此法所作的国内外若干斜坡破坏时间预测检验,表明其结果均与实际时间颇为近似;还提出了非线性工程地质学(1993)。根据滑坡的“生态过程”,酷似生物生长演化的时间系列,引用生物数学模型和回归二次曲线方程去预测滑坡发生时间。监测数据经过灰色控制系统逆过程处理,可削弱随机因素的干扰。两种模型建立后,对国内外天水黄龙西村等3个典型滑坡进行对比预测检验,结果颇趋近实际发生时间。灰色动态模型在分析秭归周坪地震台跨断层水准质量评估方面也取得好结果,模型不仅内拟合好,外推预测也好,识别出了两次异常(周硕愚,1988),提前一月预测到1979年5月22日发生的秭归 M_s5.1 级地震。

4. 斜坡“安全差数”与“最高熵原理”相结合的方法(Read and Harr)

此法巧妙地将信息熵与概率统一起来。Jaynes 20 余年来先后多次指出熵的通用性,强调了申农和波尔茨曼两人有关熵的表达式在概念上是相同的,其基本概念是表示概率分布的不确定性的一种量度。L. Brillouin 在“信息的负熵原理”一文中论证了任何系统的变换中,“负信息熵”必定会增高,强调熵定律并非仅限于热力学和信息学,而是任何系统通用的。既然如此,斜坡稳定性分析法以及滑坡空时预测已引用和待发展的信息量法应该是有生命力。

二、滑坡与岩土工程

滑坡与岩土工程并非单一的学科,其着眼点越来越显示其逐步发展为多学科相互交叉与渗透;研究方法进一步发展了宏观、微观、实验论证或相互结合的途径;机理、理论研究涉及到节理岩体和土体本构关系探讨;数理描述模型由确定性向非确定性方向发展;遥感模式识别与制图原理、方法、技术及稳定性分析与预测预报理论方法等突破了原来的概念而有所新的发展,概括为下述四个方面来论述。

(一) 熔合点、势能面及块体理论

1. 熔合点

在场地工程地质勘察研究和土力学、岩石力学发展与城乡工农业建设有关的边坡开挖、硐室掘进以及高大建筑物地基基础等工程设计、施工和监测过程中,滑坡及岩土工程找到了它们之间的熔合点,促进了它们的发展。

在建设不断发展期中,人类工程活动已成为重要营力。提出了技术成因、工程致灾与人类圈的概念与论点。地壳表层陆域环境优良区几乎已开发殆尽,剩余的而不是总面积不断缩减的农作区便是欠良乃至不良的待开发区。规划和开发难度较大是其共同特点。如何将人类建

设区位、场地选择合理与配置适当,避免或减轻滑坡及岩土工程致灾现象的出现,将是今后工程地质与岩土工程界的一项长期研究目标。

2. 潜势能面与滑坡概念扩展

斜坡岩土体运移及滑坡的根源是地壳表层组成物质分布的非均一性和重力的非稳定性,包括其密度与结构的非均一性,这是潜势能面孕育的原因。当某势能面之上的岩土体产生相当规模的明显水平运动时,就是我们理解的滑坡,包括陆域及水域的滑坡以及“重力滑动构造”和板块级超巨型滑坡。P. Antoine (1990) 所称的未预计到的滑坡,其实质是地质史期滑坡的某些特例。R. Bertocci 论证的意大利亚平宁山北深部重力斜坡变形与滑坡机理演化,提供了欧洲陆域典型滑坡的证例。由于其上下岩体的结构非均一性,而导致上部块状岩体以差异沉降模式“飘浮”并部分沉入下部软弱塑性粘土杂岩。首先产生垂向块体与不完全承压页岩的侧向鼓胀,继而出现转动滑坡、崩塌及倾倒,随后是侧向扩展及页岩群的塑流。随谷坡深切和斜坡侵蚀而导致大型滑坡的形成。该类塑性地层上的坚实块体滑坡同样出现于亚平宁山南 Sinni 河岸以及希腊西部与北部,可相互对比。

3. 块体理论与滑坡监测

块体理论是岩体结构面赤平面投影原理的扩充,是近 20~30 年来岩石力学与几何学相结合的产物(石根华, Goodman),它把赤平面投影在工程地质与岩土工程中的应用提高到一个新的水平。在开发块体理论和关键块体分析以优化岩石边坡工程的安全监测系统以及三维监测方面(朱瑞赓等),圈定了危险块体空间、空间类型、模式及稳定性分析并可予以必要的预先锚固处理,在块体滑动及优化滑坡监测技术方面迈出了新的一步。利用计算机模拟随机搜索最危险滑面分析法,或许是近年出现的新技术(宋昆仑,周萃英),与块体理论及滑动面分析相结合时,将会产生出人意料的发展前景。

(二) 方法论问题

一般,方法论或学术思维方式是首要的研究层次。学术研究的方法论可基本划分为强调西方传统问题分解分析法与侧重传统东方思维方式的问题宏观综合归纳法两大类,亦即:前者强调基于微观剖析描述而后演绎出系统或问题的属性;后者则相反,即当系统的宏观属性发生质变获得新结构,而后研究其机理。但是,东(中)、西文化既是均具优点,又是皆有不足的,人类学术思维方式还需注意互补,这正是协同学创始人 H. Haken 先后采用过的东西方思维方式互补的研究方法。当面临诸多复杂滑坡系统研究时,侧重于整体性的传统中国研究方式或许更为重要。整体宏观研究方法中,如前所述信息及最大信息熵理论具有特别重要的作用。耗散结构理论只处理非平衡相变,而协同学既处理非平衡相变,也处理平衡相变,故后者具有更大的普适性(周硕愚, 1988)。

当今协同学方法论应用于物理、化学、生物等方面是已经认可的发展趋势, J. Zvelebil (1988) 用以探索波希米亚 NNW 部岩崩演化的韵律,提出了其演化子系统的时空分异作用和内部韵律,是一新的尝试。

(三) 斜坡岩体破坏机理、模型试验与预测制图

1. 斜坡岩体破坏机理

斜坡岩体孕破(滑)源机理研究^①得到发展。其重点内容是斜坡变形破坏与应力场宏观探索、孕破(滑)源变形与古应力场的微观观察与测算、孕破(滑)源岩石力学试验及其预

^① 吴光博士论文。

测。考察了环境应力强度及刚度效应以及低应力循环效应孕滑过程。涉及到长江中上游斜坡稳定性分析,取得了若干值得重视的预期结果。在滑坡源机理和边坡破坏研究方面迈出了新的一步。

用发展的斜坡岩体统计断裂力学的强度理论,建立了其三维本构模型、破坏判据及其破坏概念表达式。其理论应用于中国东部连云港区古文物斜坡岩体变形和破坏概率分析(伍法权),表明其较传统弹性理论计算者为优。

2. 模型及离心模型试验

已有重点滑坡类型、长江西陵峡链子崖危岩体以及高坝模拟,取得了重要的相应试验和模拟结果,是滑坡或斜坡变形破坏机理研究的重要补充。其试验目标:一是已知问题产生的结局,通过模型模拟试验,探索导致问题发生的某种或某类主因素;二是问题尚在演进并无结局,据已观察到的若干主因素,探索其演化的结果。

应用离心模型试验对危岩体应力变形机理的研究,在我国大约是首次。通过模型试验反映出的重要特性,当反演到危岩体的地质原型时,发现可以吻合或相似。离心模型试验历史约半个世纪,由于造价高和近代电子计算机的数学模拟有取代物理模拟的趋势,但发展十分缓慢。实际岩土工程的地质(材料)力学属性是非常复杂的,很难找到与原型相似的材料。因此,近10~20年来,以原型材料为试件的离心模型试验得到较快的发展,这是有诱人前景的研究手段。

3. 滑坡及斜坡不稳定性预测制图

斜坡岩体孕破(滑)源机理试验及模型模拟试验大体是针对某单一斜坡或滑坡单体或其某一类型而言,一般用于滑坡群体的机理、规律研究尚须进一步探索。而滑坡及斜坡不稳定性群体预测制图的原理根据:一是滑坡的丛集性再生性二项分布律统计理论;二是滑坡各态平稳的遍历性假说。后者实质可表述为滑坡在大面积上的短期研究等效于在小面积上进行长期研究的结果(В. К. Кучай, 1975)。

据上述滑坡预测制图和原理,可以建立其空间预测的某些模型,并引入类比法外推至类同的易滑坡目标区予以预测。其滑坡空间预测及制图的信息分析系统(IAS,殷坤龙等)已编制计算机程序框图,自动输出了重庆市中区及云阳—奉节段的多色预测分区图(伍法权等)以及斜坡开发利用的适宜性分区图。预测分区图的意义是将斜坡不稳定区或开发利用的不适宜区从一般斜坡区划分出来,为指导城乡建设环境规划服务。

滑坡群体随时间的动态趋势预测,发展了灰可公度性法及体积流量法等,分别作了若干频率年一遇的预测,涉及的区位是长江三峡东部(晏同珍,1991)。结果表明:随着频率年的增加崩塌滑坡灾害数目有准线性增长趋势。重要滑坡单体发生时间的预测,引入泊松巡回非线性模型(翁文波,1984)并予以灰色系统数据处理,用非线性动态微分方程而建立的白化预测方程对已经发生的(长江西陵峡新滩等)滑坡事件预测检验,结果表明与实际颇为接近。据报导,秭归鸡鸣寺滑坡及虎丘山(蔡跃军)等滑坡用上述方法实际预测成功。

(四) 斜坡稳定性分析与滑坡治理

1. 斜坡稳定性分析

从总体趋势看,有两大特点:在传统的刚体平衡二维平面分析的基础上向弹塑性有限元分析以及三维稳定性计算方面扩展;已逐步引入概率模型并尝试将确定模型与概率模型融合起来。事实上,对于复杂的地质体来讲,其本身就具有灰色性、复杂性等特点,不可能得到其确定解、最优解,理想的结果是求取基于确定模型与概率模型相结合的满意解(唐辉明)。

认为这将是今后斜坡稳定性分析的一个趋势。目前,在地学领域中已开始应用人工智能领域的专家系统进行预测和评价,应用专家的理性知识和经验知识及各种数学、数学物理模型等建立适于各种类型斜坡稳定性分析的专家系统或许显得更为必要。

2. 滑坡治理

过去几十年的滑坡防治工作中,治理工作占了较大的比重,而预防工作相对薄弱。认为应该提倡“防”“治”结合。近十年来的研究表明:滑坡预防工作已经得到了普遍重视。在大区域中,运用多种统计模型或半定量模型以及定性与定量相结合模型进行区域宏观预测,缩小目标范围,使得在国土开发中尽量避开其危险地带,在安全区进行工程建设,或者是在缩小的目标范围中对具有重大工程意义的滑坡进行长期监测并预测预报,及早采取措施,避免重大损失,缩减经济消耗。预计运用各种新的技术方法进行预测预报提高预测精度将是今后预防工作的重点之所在。在滑坡治理方面,过去多采用桩、排、支、挡、护、砌、锚等措施,以改善坡体内部应力条件或提高岩体强度等,已经完成了许多卓有成效的工作,发挥了其应用效益。认为今后的治理工作不仅要结合其地质环境条件,而且要结合具体的工程,特别是吸收相邻学科的新技术、方法进行综合治理,例如在三维空间用计算机模拟坡体内应力条件等;同时,发展更多的监测手段,监测滑坡体本身及其治理效果,得到信息反馈,优化监测技术。以最小的代价取得最为满意的治理效果。

三、滑坡研究的技术理论

滑坡是在以重力为主的自然营力或与其与人类工程建设活动相互作用下而发生和发展的。随着现代各类工程活动的大力开展,国内外越来越多地涉及到性质和规模不同的滑坡。如前述意大利、前捷克斯洛伐克、美国、日本、加拿大、前苏联、西班牙以及我国等的铁道、坝库岸边、水道及露天采场的滑坡,可见诸有关书刊。这些都是发生于现今的地表滑坡,而不同地质历史时期的滑坡,也已逐渐发现并进行研究,这包括构造地质学中的一部分“重力滑动构造”。由于它与古滑坡构造特性在许多方面近似于掩覆体,所以就引起了构造地质界的争论,而且事实上两者很容易相互混淆。贾柯贝(Jacoby, 1978)对岩石滑坡与板块构造两者的机制异同点做过对比,他认为:板块可视为巨大范围的岩石滑坡,两者都是由于物质分布的非均一性和重力的不稳定性而导致位移的,移动的相似基础是软弱“导向面”。对岩体滑坡而言,那就是软弱地层面或不连续面系统;而对板块则为低粘滞度的岩流圈。而且,滑坡和海底扩张两者之中,流体压力是很重要的。所谓重力的不稳定性概念是指物质分布有着过剩的位能,而该位能可以通过运动得到释放。所以滑坡也可理解为斜坡岩土体能量释放的特定表现形式。

(一) 巨大滑坡的假说和形成机制——跨世纪课题热点

如果滑坡释放的面波能量 E 用地震震级 M 关系式 $\log E = 12 + 1.8M$ 表示,当 $M \geq 4.4$,即 $E \geq 10^{13} \text{J}$ 时,则滑坡内摩擦系数之倒数有逐渐增大之趋势。内摩擦系数即全部滑面上的平均摩擦系数,就是海姆(Heim)所称的“架空坡斜率”(滑坡垂直最大位移与水平最大位移的比值)。这个比值往往低于碎石块的休止角,且随滑体的增大而减小,所以巨大滑坡的滑动面倾角或架空坡角往往是极为平缓的(如 3° 左右)。假如某个地区存在倾角平缓的地质结构面的斜坡,就应联想到,如果产生滑坡,其规模将会是巨大的。根据国内外已有巨大滑坡的实际资料,大体可以得出一种经验,即:滑体愈大,其剧滑阶段的滑速也愈大,总的滑程也会愈远。这种高滑速及远滑程对于其滑面间内摩擦系数是不相称的。古滑坡构造虽滑速无法推测,但