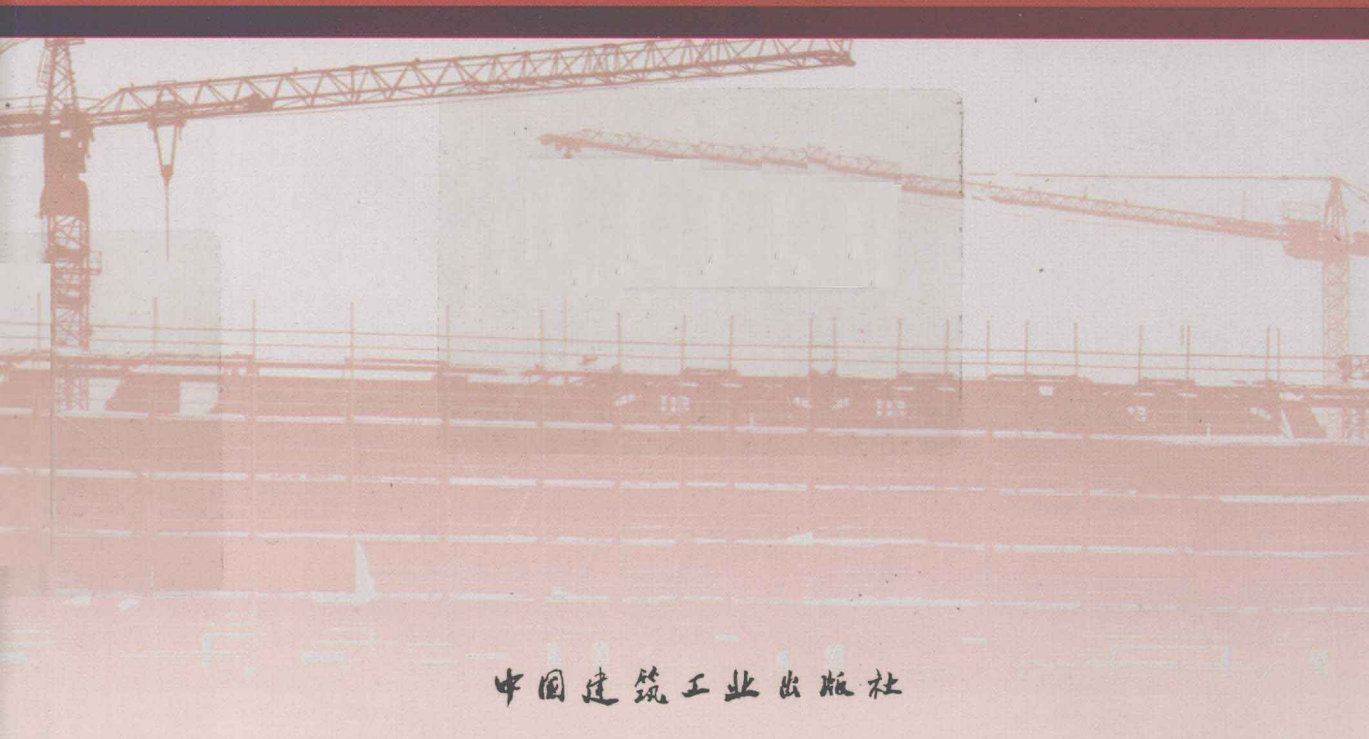




区域性工程灾害 远程监控预警一体化 综合管理系统研究及应用

何满潮 肖志强 李国峰 王永红◎主编



中国建筑工业出版社

区域性工程灾害远程监控预警一体化 综合管理系统研究及应用

何满潮 肖志强 主编
李国峰 王永红

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

区域性工程灾害远程监控预警一体化综合管理系统
研究及应用/何满潮等主编. —北京: 中国建筑工业出版社,
2012. 6

ISBN 978-7-112-14382-5

I. ①区… II. ①何… III. ①区域自然灾害-监控系统-
研究②区域自然灾害-预警系统-研究 IV. ①X43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 110974 号

责任编辑: 王 梅 刘婷婷

责任设计: 张 虹

责任校对: 王誉欣 王雪竹

**区域性工程灾害远程监控预警一体化
综合管理系统研究及应用**

何满潮 肖志强
李国峰 王永红 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京千辰公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 12¼ 字数: 306 千字

2012 年 6 月第一版 2012 年 6 月第一次印刷

定价: 36.00 元

ISBN 978-7-112-14382-5

(22451)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

何满潮 肖志强 李国峰 王永红

王 峰 庞文利 史振云 柴跃进

方利信 王 成 任喜信

前 言

“十二五”我国将进入高速发展期，其中铁路交通、工业化、城镇化建设将优先进入发展快车道。铁路沿线防灾、减灾及生态环境改善等重大民生需求日益增加，加快发展民生科技已成为“十二五”科技发展的重中之重。

我国疆域辽阔，地质环境复杂，影响地质灾害发育的自然地质条件也复杂多样，加之地质灾害具有分布广、类型多、频度高、强度大等特点，地震、崩塌、滑坡、泥石流及森林火灾等已经成为对我国危害最大的工程灾害。

地质灾害是由地质作用导致的地质空间与地理空间中物质成分与形态发生变化而使人类社会蒙受巨大损失的自然现象。防灾与减灾研究是人类社会生存与发展共同面临的课题。本书针对我国交通大动脉——铁路沿线滑坡与泥石流、地震灾区、地面变形与隧道塌陷、森林火灾等主要地质灾害类型的发生机制与发生规律进行综合分析，开发研制了一种远程监控预警系统，此系统通过具有自动采集与适时传输功能的集成电路芯片，进行灾害现场数据自动采集，应用3S技术（GPS、GRS、RS）构建工程灾害现场动态监测数据链网络与实时数据库中心平台，由自创三维动静态数据分析技术、灾害行为仿真技术进行工程灾害评估预警，提供适时救灾减灾决策方案。

本书详细分析研究了各种工程灾害的成灾机理，制订了相应的防灾决策，研发了一套高新技术集成系统——区域性工程灾害远程监控预警与决策一体化综合管理系统，并列举了该系统部分子系统的应用实例。编写过程中引用了施工现场提供的技术总结及各种有关文献，在此谨向原作者致谢。由于编者水平有限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

第1章 总论	1
1.1 区域性工程灾害预警的必要性	1
1.2 工程灾害监测方法	2
1.2.1 边坡稳定性监测	2
1.2.2 水的监测	6
1.2.3 地震监测	6
1.2.4 森林火灾预警系统研究	8
1.2.5 水文地质远程监控研究	9
1.2.6 私挖乱采远程监控系统	9
1.3 预测预报方法	9
1.3.1 滑坡预测预报	9
1.3.2 监测设备研究	10
1.3.3 滑坡监测和预报方法发展趋势	13
第2章 远程监控原理及预警模式	15
2.1 滑动力远程监控原理及力学模型	15
2.1.1 滑动力远程监控原理	15
2.1.2 下滑力的函数表达式	16
2.2 物理模拟实验系统	19
2.2.1 试验目的	19
2.2.2 试验系统组成	20
2.2.3 滑坡灾害全过程模拟	20
2.2.4 结果分析	22
2.3 物理模型实验系统	22
2.3.1 实验主机	22
2.3.2 液压控制系统	23
2.3.3 测试系统	23
2.3.4 实验设计	24
2.3.5 物理模型图	26
2.3.6 加载方案设计	26
2.3.7 实验结果分析	27
2.4 滑动力远程预测等级	35
2.4.1 边坡类型的分级方法	35
2.4.2 各级网络监测的主要对象	36

2.4.3	不同预警模式下曲线特征	37
第3章	北斗卫星通信技术与远程监控系统的融合设计	38
3.1	通信方式的比较与选择	38
3.2	北斗卫星系统概况	39
3.2.1	卫星通信的概念及应用	39
3.2.2	北斗卫星系统现状及发展	39
3.3	北斗卫星系统在远程监控系统中的应用	40
3.3.1	北斗卫星用户机的特点及技术指标	40
3.3.2	卫星发射机的通信接口及通信协议	41
3.3.3	滑坡监测系统接口的硬件设计	42
3.3.4	滑坡监测系统的软件设计	44
第4章	远程监控信息集中采集与传输技术	46
4.1	点-面状灾害信息传输方式	46
4.1.1	无线局域网 802.11 (Wi-Fi)	46
4.1.2	蓝牙 (Bluetooth)	46
4.1.3	红外数据传输 (IrDA)	47
4.1.4	家庭无线电射频技术 (HomeRF)	47
4.1.5	射频识别技术 (RFID)	47
4.1.6	ZigBee	48
4.1.7	几种短距离无线通信技术的性能比较	48
4.2	无线传感器网络	49
4.3	监测网络拓扑结构的设计	51
4.4	传感器网络系统的软硬件设计	54
4.4.1	硬件系统	54
4.4.2	软件系统	58
第5章	远程监控系统监测设备工作原理	61
5.1	恒阻大变形锚索的研发与试验	61
5.1.1	实验背景	61
5.1.2	恒阻器工作原理	61
5.1.3	实验内容	62
5.1.4	实验材料及加工设计	63
5.1.5	实验系统	66
5.1.6	实验设计	68
5.1.7	实验过程	69
5.1.8	实验结果	71
5.2	森林火灾预警设备设计	72
5.2.1	系统工作原理	72
5.2.2	系统硬件设计	72
5.2.3	数据传输流程	74

5.3 水文地质预警监控设备	76
5.3.1 降雨量远程监测设备	76
5.3.2 地下水位远程监测设备	77
5.3.3 边坡涌水量监测设备	78
5.4 发震断层预警监控设备	79
5.4.1 室外监测设备	80
5.4.2 室内监测设备	82
第6章 区域性工程灾害远程监控预警一体化综合管理系统	83
6.1 滑坡远程监控子系统	83
6.1.1 系统组成电子原理	83
6.1.2 监控锚索的选型及设计内容	84
6.1.3 传感、采集、发射系统组成及工作原理	84
6.1.4 接收分析系统组成及工作原理	85
6.1.5 滑坡远程监控内容	87
6.2 隧道防塌及地震断层远程监控子系统	91
6.2.1 主要监测设备	91
6.2.2 隧道防塌远程监控	92
6.2.3 发震断层远程监控	96
6.3 森林火灾及私挖乱采远程监控子系统	98
6.3.1 森林火灾预警子系统	98
6.3.2 私挖乱采预警子系统	101
6.4 水文地质远程监控子系统	102
6.4.1 水文地质远程监控子系统组成	102
6.4.2 降雨量远程监控	102
6.4.3 地下水位远程监控	103
6.4.4 边坡涌水量远程监控	103
第7章 远程监控预警一体化综合管理系统关键问题	105
7.1 监测锚索设置最佳位置及角度分析	105
7.1.1 MSARMA 分析系统原理	105
7.1.2 分析模型及计算参数	109
7.1.3 角度敏感性分析	110
7.1.4 位置敏感性分析	111
7.2 远程监控点设置密度分析	112
7.2.1 拉格朗日有限差分程序原理	112
7.2.2 计算模型	117
7.2.3 计算结果及分析	117
7.2.4 监测锚索设置间距与长度关系分析	119
7.3 监测设计原则	121
7.3.1 监测角度、垂向位置及密度原则	121

7.3.2	不良地质因素重点监测原则	121
第8章	滑坡及水文地质远程监控工程实例	122
8.1	南芬露天矿边坡远程监控系统	122
8.1.1	工程概况	122
8.1.2	岩性结构场特征	123
8.1.3	地质构造场特征	123
8.1.4	环境物理场特征	124
8.1.5	节理分布规律及对边坡稳定性的影响	128
8.1.6	滑坡体特征	128
8.1.7	监测点布置方案设计	134
8.1.8	设计参数	137
8.1.9	施工过程设计	138
8.1.10	监测设备安装与调试	140
8.1.11	无线网络监控系统设计与安装	145
8.1.12	边坡监测预警中心建立	147
8.2	南芬露天矿水文地质远程监控	148
8.2.1	降雨量监控系统安装与调试	148
8.2.2	地下水水位监测系统	149
8.2.3	边坡涌水量监测系统	149
8.3	滑坡及水文地质远程监控网络构建	150
第9章	发震断层远程监控工程实例	152
9.1	张家口断裂活动性地质分析	152
9.1.1	张家口断裂特征	152
9.1.2	张家口断裂的几何结构与构造变形	155
9.1.3	张家口断裂第四纪活动性研究	156
9.2	断裂发震机理物理模型实验分析	158
9.2.1	地震全过程模型实验模拟	158
9.2.2	发震断层近期活动性分析	163
9.2.3	人工激震实验及地震前兆分析	164
9.3	张家口断裂远程监控现场实验分析	168
9.3.1	系统设计与施工	168
9.3.2	张家口断裂活动性室内监测系统建立	173
9.4	发震的阶段性及其防灾对策	175
9.4.1	提高基础设施耐震强度	175
9.4.2	提高地震预测水平	178
9.4.3	建立灾情速报和救援机制	179
9.4.4	灾后重建和次生灾害防治	179
	参考文献	180

第1章 总 论

1.1 区域性工程灾害预警的必要性

“十二五”我国将进入新的发展阶段，城镇化进度加快，铁路交通高速发展，人民生活水平和消费需求提升，工业化、城镇化和农业现代化同步发展等对民生科技工作将提出更高的要求，生态环境改善及防灾减灾等重大民生需求将日益紧迫，加快发展民生科技已成为“十二五”科技工作的重中之重。

2010年6月18日，国土资源部、交通运输部和铁道部在“关于加强公路和铁路沿线地质灾害防范工作的通知”中明确提出，我国部分地区在建或已建铁路沿线崩塌、滑坡、泥石流、隧道塌方、森林火灾等工程灾害仍呈多发频发趋势，严重影响铁路的运营、建设和沿线人民群众生命财产安全的事件时有发生。通知中要求各铁路单位要切实做好铁路沿线地质灾害的防范措施，重点工程加设监测体系，提高监测预警预报水平，要从监测系统、预警手段、避险措施等方面来控制铁路沿线地质灾害的发生。

根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006~2020年）》和《国民经济和社会发展规划第十二个五年规划纲要》，国家科技部指出在“十二五”期间，加快民生科技的工作重点为：

一是提高健康水平。加快医疗健康科技发展，突破重点疾病防治技术，发展现代医学、药物创制技术，提高疾病防治水平。

二是促进公共安全。大力提升生产安全能力和公共安全保障水平。加强核心技术突破、技术系统集成和重大装备研发，全面提升我国公共安全的科技支撑能力。

三是提高防灾减灾能力。针对突发性重大事故和灾难等，开发重大自然灾害预测预报技术和应急救援重大装备，加强防灾减灾技术研究，全面提高应对能力，保障人民生命财产安全。加快地震、滑坡、泥石流等重大地质灾害的预测监测和应急技术创新，增强抵御重大地质灾害的能力。加快发展应急救援技术与装备的研究与开发，加快防灾减灾技术装备产业化。建立完善的防灾减灾应急管理网络，提高重大自然灾害风险管理能力。

我国疆域辽阔，地质环境复杂，影响地质灾害发育的自然地质条件也复杂多样，加之地质灾害具有分布广、类型多、频度高、强度大等特点，地震、崩塌、滑坡、泥石流等已经成为对我国危害最大的地质灾害。尤其是近年来，随着矿产资源开采及山区工程开发活动的增强，崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害更为严重。据统计，目前全国共有较大型崩塌、滑坡、泥石流灾害点7000余处，近十年来，每年造成众多人员伤亡和严重经济损失，已成为影响我国城乡建设人民生存环境的重大问题。“十一五”期间，地质灾害给我国造成的直接经济损失为212亿元，死亡和失踪人数达4000余人。

2010年是中国地质灾害多发年，国土资源部资料显示，全国上半年共发生地质灾害2

万起,比去年同期几乎增长10倍。这些地质灾害共涉及12条铁路主干线,累计中断行车500多小时,直接经济损失高达5亿多元人民币。因此,对铁路重点工程进行滑坡预警预报以及铁路两侧近距离内的森林火灾预警、铁路下矿产的私挖乱采的预警、构造地震预警、居民区地质灾害预警等是非常必要的。

由于早期装备条件的限制,我国铁路滑坡、地震灾害及火灾等监测主要是根据人工观测地表变化特征、地下水异变以及周围动植物的异常来推断确定其发生的可能性。国土资源部一份材料表明,全国绝大多数城市、县只有极少数地质灾害监测专职技术人员,且观测频率低。之后,随着时代发展和科技进步,表面位移监测法的一些常规仪器,包括全站仪、经纬仪、水准仪、GPS监测以及新近发展的GPS手机监测等,也逐渐得到应用。这类方法由于表面位移和滑面位移的不一致性,预测预报准确度十分有限。而通过深部位移监测法,即钻孔倾斜仪进行监测,虽然能够确定滑面位置,但产生较大错动后,倾斜位移监测失效,后期滑坡位移数据无法获得。

随着新技术的不断应用,滑坡灾害预测预报的技术水平有所提高,但仍难以实现准确预报。究其原因,一是局部地区气象预报的准确率依然是个问题,由于地质灾害预警的模型是根据气象预报做出来的,所以地质灾害的预报准确率低;二是由于位移、裂缝等现象只是滑坡的必要条件,并不是充分条件。滑坡前一定会产生位移和裂缝,但有位移、裂缝的产生并不一定会发生滑坡。只从“现象监测”难以实现对滑坡的超前准确预报,因此,要超前预报地质灾害,必须找到滑坡发生的超前信息。

科学的铁路重点工程地质灾害预警综合管理系统应具备以下优点:

(1) 监测现场一般远离技术人员的工作区,人员到现场去进行监测较为困难,进行远程监测可以弥补人员到达现场困难的不足;

(2) 监测数据的采集实现自动化,可以避免降雨(雪)天气中断监测的现象,提高监测数据的连续性;

(3) 对于数据的采集频度实现智能化,数据变化速率较小时可延长数据采集时间间隔,数据变化速率较大说明边坡岩体稳态有较快变化,自动缩短数据采集时间间隔使监测密度加大;

(4) 技术人员工作的室内监测中心对现场远程数据的获得具有实时性;

(5) 监测的数据内容应该对边坡的稳态做出科学的预报,对可能发生的工程灾害做到超前预报;

(6) 在对滑坡灾害远程监控的同时,还能对该区域的地震、森林火灾、铁路下矿产的私挖乱采、居民区的地质灾害、铁路隧道的稳定性、降雨量、温湿度及地下水位进行远程监控。

因此,具有区域性、超前性、远程性、实时性、智能性和高集约化的工程灾害预警预报综合管理系统的研发是非常有必要的。

1.2 工程灾害监测方法

1.2.1 边坡稳定性监测

边坡稳定性监测研究是近代新兴的滑坡地质灾害预报及控制课题,回顾国内外对边坡

稳定性监测的内容,主要有变形监测、应力监测、水的监测、岩体破坏声发射监测等,其中应用最为广泛的是变形监测。

(1) 变形监测

变形监测的内容主要有地表变形和边坡体内部变形两方面。地表变形监测包括位移监测和岩体倾斜监测。

位移监测又分为绝对位移监测和相对位移监测。绝对位移监测,以监测滑体的三维位移量、位移方向、位移速率为主;相对位移监测,监测滑体重点变形部位、裂缝、滑带等点与点之间的相对位移量,包括张开、闭合、错动、抬升、下沉等内容。

倾斜监测,主要是监测滑体的角变位与倾倒。边坡体内部的变形观测,即用岩体内钻孔等技术手段进行量测岩体内部的变形,包括张开、闭合、错动、抬升、下沉等。

人们用于边坡变形监测的手段,随着科技的进步而不断发展,滑坡及边坡稳定性监测技术、方法也在不断地发展进步,回顾以往对地表变形的监测方法,主要有地质宏观形迹观测法、简单观测法、设站观测法等^[1-14]。

1) 地质宏观形迹观测法

地质宏观形迹观测法,是用常规地质调查方法,对崩塌、滑坡的宏观变形迹象和与其相关的各种异常现象进行定期的观测、记录,以便随时掌握崩塌、滑坡的变形动态及发展趋势,达到科学预报的目的。该方法具有直观性、动态性、适应性、实用性强的特点。宏观形迹包括滑坡发育过程中的各种迹象,如地裂缝、房屋和树木的倾斜、泉水动态等。在滑坡的形成过程中,地面裂缝现象有不同的显现,在滑坡后缘出现弧形拉裂,在前部出现臃丘及膨胀裂缝;对降雨诱发滑坡研究发现,滑坡体前部的泉水,观察地下水动态也能预示滑坡的状态。

2) 简单观测法

简单观测法是通过人工直接观测边坡中地表裂缝、鼓胀、沉降、坍塌、建筑物变形及地下水变化等现象。该方法在边坡稳态监测上应用较早也很广泛,对于正在发生病害的边坡进行观测较为有效,也可结合仪器监测资料进行综合分析,用以初步判定滑坡体所处的变形阶段及中短期滑动趋势。即使采用先进的仪表观测,该法仍然是不可缺少的观测方法。

3) 设站观测法

设站观测法是指在充分了解现场工程地质背景的基础上,在边坡上设立变形观测点(成线状、网络状)。在变形区影响范围之外稳定地点设置固定观测站,使用经纬仪、水准仪、测距仪、摄影仪及全站型电子速测仪、GPS接收机等仪器定期测量变形区内网点的三维(X, Y, Z)位移变化的一种监测方法。其优点是远离变形区,且无主观成分,比简单观测法客观、精密;观测、比较的范围大,选点方便。这种方法的缺点是需人执守,仪器贵重,且连续观测能力较差。设站观测法进一步又可分为大地测量法、GPS测量法和近景摄影测量法。

① 大地测量法,常用的大地测量法主要有两方向(或三方向)前方交会法、双边距离交会法、视准线法、小角法、测距法、几何水准测量法以及精密三角高程测量法等。武汉长江勘测技术研究所原有大地测量法的基础上研制了高精度大地测量监测自动化系统,针对大地测量法以往存在的问题而研究的成果主要包括:变形监测网优化设计的理论

与方法,数据记录、处理软件的内容、功能和特点,数据通讯的两种接口及测量的配套设施和方法。

② GPS 测量法,这种方法是近年来受到普遍关注的一种方法,该方法的基本原理是用 GPS 卫星发送的导航定位信号进行空间后方交会测量,确定地面待测点的三维坐标,根据坐标值在不同时间的变化来获取绝对位移的数据及其变化情况,GPS 方法由于采用了自动化远距离监测,节省了大量的人力物力,可实时获取位移量值。但该技术应用之初一套 GPS 仪器只能监测一个点位,大量点位监测需要较大投入,应用成本较大。针对这一问题,香港理工大学开发了多天线 GPS 系统,该系统一套 GPS 仪器可以监测多点位置,使应用成本大大降低的同时,开发了自动化集成边坡监测预警系统。GPS 在我国用于边坡稳态监测的较典型例子是对三峡巴东库区滑坡的监测,国外报道了利用 GPS 监测建筑物位移及潜在滑动山体变形的成功例子。近年来,GPS 在露天矿边坡变形监测的应用比较广泛,见诸文献报道也较多,该项监测技术对露天矿山安全生产起到很大的积极作用。

③ 近景摄影测量法,该方法是把近景摄影仪安置在两个不同位置的固定测点上,利用立体坐标仪量测相片上各观测点三维坐标的一种方法。解放军测绘学院自 1982 年以来致力于此项技术和方法的研究,此外中南工业大学测绘所进行了数字化近景测量系统的研制,中国矿业大学进行了近景测量技术在矿区地表沉陷的观测研究。

地质宏观形迹观测法、简单观测法和设站观测法均是对地表变形或位移的观测方法。

4) 钻孔测斜法

边坡的变形监测除了进行地表变形监测外,还包括边坡岩体内部的变形监测,代表性的方法主要是钻孔测斜法。

钻孔测斜技术就是采用某种测量方法和仪器相结合,测量钻孔轴线在地下空间的坐标位置。通过测量钻孔测点的顶角、方位角和孔深度,经计算可知测点的空间坐标位置,获得钻孔弯曲情况。钻孔测斜技术主要的仪器设备是钻孔测斜仪器,生产钻孔测斜仪器的厂家、仪器的种类型号也很多,但大体的工作原理基本相似。目前科研和生产人员仍然在不断地进行原有仪器的改良和新型仪器的研制。

(2) 应力监测

应力监测主要是测量边坡岩体内不同部位的应力变化和地表应力变化情况,分为拉力区和压力区。这些物理量能反映变形强度,可配合其他监测资料分析和预测变形动态。根据测量原理的不同,地应力测量方法可分为直接法和间接法两大类。应力解除法、松弛应变测量法、地球物理方法等均属间接法,其中应力解除法是目前国内外应用最广泛的方法。水压致裂法是适合于较硬岩体的地应力测量直接法典型代表^[15-28]。

1) 应力解除法

应力解除法能够比较准确地确定岩体中某点的三维应力状态。目前,应力解除法已形成了一套标准化的程序。由套孔应力解除引起的钻孔应变和变形可由孔径变形计、孔底应变计、孔壁应变计和空心包体应变计进行测量。其中,孔径变形计和孔底应变计是一种二维应力测量方法,要确定一点的三维应力状态需进行交会于一点的、互不平行的三个钻孔的应力解除测量。孔壁应变计和空心包体应变计则只要通过一个孔的应力解除测量就能确定一点的三维应力状态,因而得到了广泛的应用。在三维应力场作用下,一个无限体中钻

孔表面岩石及其周围的应力分布状态可以由现代弹性理论给出精确解。通过应力解除测量钻孔表面的应变,即可求出钻孔表面的应力,进而精确地计算出原岩应力的状态。

2) 水压致裂法

水压致裂地应力测试方法是近年来发展起来的一种测试方法。Hubbert等(1957)曾报导过水压致裂的理论研究成果; Haiimson等分析了压裂液渗入的影响,并应用于实际地应力测量。由于它具有能够测量深部应力(可达地下数千米)、操作方便、经济实用、不需要精密仪表、测试周期短、测量直观,适用条件比较广泛等优点,已经在国内外得到广泛应用。

3) 声发射方法

岩石或岩体受力作用时发生破坏,主要表现为裂纹的产生、扩展及岩体断裂。裂纹形成或扩展时,造成应力松弛,贮存的部分能量以应力波的形式释放出来,产生声发射,据此可推断岩石内部的形态变化,反演岩石的破坏机制。声发射技术的研究开始于上世纪50年代,我国声发射技术的研究开始于上世纪70年代。

岩体声发射技术是当今国际上工业发达国家积极开发、应用于岩质工程稳定性评价或失稳预测预报的有效办法。早在上世纪80年代初期,已有文献报导:美国、加拿大、苏联、波兰、南非、瑞典、印度等国,应用岩体声发射技术,成功地预报了矿井大范围岩体冒落、露天边坡岩体垮落等事故的来临,并进行了岩质工程的稳定性监测、安全性评价。1998年煤炭科学总院抚顺分院进行了声发射监测与预测边坡变形可行性的研究,取得一定的研究成果并提出了进行边坡稳态预测的构想,中国矿业大学进行了边坡稳定声发射监测的实验研究。目前应用较多的声发射测试设备有声发射仪和地音探测仪,适用于岩质边坡变形的监测及围岩加固跟踪安全监测,为预报岩石的破坏提供依据。具有可连续监测、灵敏度高,测定的岩石微破裂声发射信号比位移信息超前3~7天的优点。

地应力监测在井工煤矿巷道支护、隧道工程、地震预报等方面具有很好的实际意义,但应用于滑坡地质灾害的预测预报较少。边坡稳定性监测和滑坡灾害的预测预报,应用最为广泛的是各种手段的变形监测和相关的预测预报。

4) 其他综合监测方法

① 时域反射法(TDR)

时域反射技术(TDR)是一种雷达探测技术。发射的电磁波在电缆传输中,传播的速度与周围介质的介电常数有关,信号的衰减与介质的电导率有关,接收器接收到的反射信号可以显示电缆的阻抗特征。在电子工业中用于检测通讯电缆的故障,因此又称为“电缆探测仪”。上世纪80年代开展了TDR在土壤方面的测量研究。研制出TDR探针后,主要用于测量土壤的含水量和电导率。近年来,时域反射技术已广泛用于农业地质、环境地质和地质灾害等方面的研究。许多研究者开展了TDR技术在地学领域的应用研究。该监测技术20世纪70年代起开始应用于岩土工程领域,主要应用于测定土体含水量和渗流,监测岩体和土体变形、边坡稳定性以及结构变形等方面。在监测边坡稳定性方面,TDR技术的应用始于20世纪90年代,并以方便、安全经济、数字化及远程控制等优点而受到广泛关注。

目前,TDR技术在国内边坡监测领域的应用还处于起步阶段,还需要对其基本理论进行分析和大量的室内试验。TDR监测系统主要由电脉冲信号发生器、传输线(同轴电

缆)、信号接收器三部分组成。时域反射法对边坡进行监测,需要在边坡岩体的变形或位移的敏感部位埋置同轴电缆,边坡岩体发生变形,电缆受到剪切或拉伸并同时发生形变,测试仪器可以测试到电缆的形变从而获得边坡岩体变形的参数。Connor 等用时域反射仪开展了矿山陡坡的研究,采用多路数据采集系统,实现了多路时域反射技术监测。Dowding 等也应用时域反射仪开展了岩土位移的早期监测研究。我国现已应用 TDR 开展了大规模西部滑坡的监测网络。陈赞等曾对边坡监测系统进行了理论研究,并提出了边坡监测系统的计算模型。

② 光时域反射法 (OTDR)

用于光纤测量的时域反射法,称为光时域反射法,英文缩写 (OTDR)^[38-41]。所有类型的 OTDR 系统都有一个发射脉冲的光源和一个探测头。光源向光纤发出脉冲,探测头用来记录和观察从光纤中反射回来的光。传感器输出信号反映了被测参数(如裂缝)在空间上的变化情况,考虑光波的传输速度,即可确定光源到被测点的距离。1989年, Mendez 等人首先提出了把光纤传感器用于混凝土结构的检测并进行了实践应用,之后逐渐被人们用于边坡的监测。高俊启等采用该项技术进行了锚索预应力测试的研究。光时域反射技术可以快速确定滑坡中变形、应力的的大小,以及失效面的位置,真正实现多点准分布式测量。

1.2.2 水的监测

水是对边坡稳定性影响较大的因素之一,以边坡稳定性监测为目的的水的监测分为大气降水监测、地表水的监测和地下水的监测^[42-48]。

(1) 大气降水和地表水监测

大气降水监测主要是降雨量的监测。地表水监测包括与边坡岩体有关的江、河、湖、沟、渠的水位、水量、含沙量等动态变化,还包括地表水对边坡岩体的浸润和渗透作用等信息。观测方法分为人工观测、自动观测、遥感观测等。

(2) 地下水监测

地下水监测内容包括地下水位、孔隙水压、水量、水温、水质、土体的含水量、裂缝的充水量和充水程度等。大多数滑坡都与地下水作用有密切关系,地下水的水位、孔隙水压、土体的含水量、裂缝的充水量和充水程度等监测可以作为滑坡变形和稳定性分析的重要参数,地下水水量、水温、水质等参数主要用于查明地下水补给来源,以便采取排水措施。观察滑坡体前部的泉水等地下水动态也能预测滑坡的状态。边坡工程对地下水位的观测有的采用常规的工程地质调查手段,通过勘测点的地下水位以及出水点等信息,推测和判断地下水位和浸润线在边坡岩体内部的分布情况,也可采用水位自动记录仪自动观测记录。对孔隙水压的观测采用的仪器方法主要有孔隙水压仪和钻孔渗压仪。

1.2.3 地震监测

目前,国内外地震预测方法主要分为四种^[49]:

(1) 地球物理方法

是地球物理学从西方引进的预测方法,就是用地震报地震。这种方法对于有前震的地震还是有用的,但需要使用高精尖仪器,俗称洋办法^[49]。

(2) 地应力方法

所谓地应力,就是指存在于地壳中的应力,它包括由地热、重力、地球自转速度变化

及其他因素产生的应力,李世光教授研究地质力学,就是用测量地应力变化的方法来研究地壳运动规律。并运用地应力的观测和分析解读地震来临的信息。而地应力台站就建立在岩石圈地应力变化反应最敏感的地方。

如果地应力台站足够多,中国大地上的地应力变化就能被充分感知。地应力台站也可以装备简易的便于群众观测的仪器,从而成为“群测群防”的手段之一。

(3) 地球物理场代用指标的变化

如次声波、土地电、地磁异常、大地微动等,这些可以运用简单原始的观测手段进行监测。还有一类属于肉眼可见的宏观前兆现象,如地下水的水位、水质、微量元素含量、氡含量、天气中的异常现象、动物异常行为、地声、地光等异常现象,也都是群众可以直接观测到的。这些方法是上面两种方法的辅助手段。

(4) 预测学理论

即利用预测学的理论来研究地震发生规律从而预测地震。这种方法也可借用简易自制的仪器来观测。

所有那些可以被公众直接参与的监测活动被当今主流地震学界称为“土办法”。而它们正是30多年前中国进行地震预测时“群测群防”策略的基础。1975年海城地震之前,国内活跃着各路预测地震的方法派别,海城地震之后,群测群防就开始不太受重视了。唐山地震后,国家支持地震局的专家们继续以地震预测地震,而对其他方法不太关注,地应力台站也相继取消了。取而代之的是用高精尖仪器布设的国家地震台网。于是,国内地震界有了使用洋办法的“正规军”和使用土办法的“游击队”。

随着人类社会更加关注地球资源的开发利用,更加重视防御和减轻地震灾害,多震国家的地震监测现代化呈发展之势。

20世纪70年代,世界上的一些国家就开展地震预警技术研究并建立相应的地震预警技术系统,如墨西哥的“Mexico City Early Seismic Alarm System”,日本的“Urgent Earthquake Detection and Alarm System”等。我国台湾地区也在花莲建立了类似的预警系统,对台北提供地震预警。

流动地震观测系统,特别是由大量宽频带数字地震仪组成的流动地震观测台近年来也得到了迅猛发展。

自20世纪90年代以来,以GPS为代表的空间对地观测技术也获得了快速发展,并在大地形变测量和地震监测预报研究中获得了日益广泛的应用。台湾地区最近计划在地震断裂带附近,进行一系列深孔综合观测,以探测在断层活动区域,地下介质热动力条件、应力环境、断层活动的热效能转换和物质活动特性的数据。

目前国内外传统的地震监测技术,都是建立在用仪器采集地震波,然后根据地震频率来推测地震发生的可能性,实质上起不到预警的作用。

由于早期装备条件的限制,我国深部滑面监测主要是根据人工观测地表变化特征、地下水以及周围动植物的异常来推断确定其发生的可能性。之后,随着时代发展和科技进步,表面位移监测法的一些常规仪器,包括全站仪、经纬仪、水准仪、GPS监测以及新近发展的GPS手机监测等,也逐渐得到应用。这类方法由于表面位移和深部滑面位移的不一致性,预测预报准确度十分有限。而通过深部位移监测法,即钻孔倾斜仪进行监测,虽然能够确定滑面位置,但产生较大错动后,倾斜位移监测失效,后期滑坡位移数据无法获

得, 故其数据带有“一孔之见”而有失准确。

随着最新技术的不断应用, 深部灾害预测预报的技术水平有所提高, 但仍难以实现准确预报。究其原因, 是由于位移、裂缝等现象只是滑坡的必要条件, 并不是充分条件。地震和滑坡前一定会产生位移和裂缝, 但有位移、裂缝的产生并不一定会发生滑坡。表面位移和裂缝的产生与很多因素有关, 除滑坡外还与降雨、温度和湿度的变化有关。只从“现象监测”难以实现对深部灾害的超前准确预报, 因此, 要超前预报深部灾害, 必须找到深部灾害发生的超前信息。

作为一个天然的力学系统, 滑坡(地震)发生与否决定于“下滑力(错动力)”和“抗滑力(抗剪强度)”之间的平衡状态变化。而滑坡(地震)过程是由渐变增加到最终破坏的过程, “超前剪切滑动力”(超前滑动力), 即滑动前的剪切滑动力变化可以作为预测滑坡(地震)的充分必要条件。然而, 下滑力作为天然力学系统是无法被测量的。为了解决滑动力不可测的技术难题, 中国矿业大学(北京)何满潮(2004)提出“2+1”模式, 成功地解决了边坡滑动力不可测的难题。所谓“2+1”模式是指: 通过引入天然力学系统与人为力学系统两大系统和“摄动力”的概念, 实现滑动力的间接求解, 该理念成功应用于工程实践^[50-54]。

滑动力作为天然力学系统的一部分是不可测的, 而人为力学系统是可以测量的。因此, 采用“穿刺摄动”技术, 把传统预应力锚索穿过滑动面, 固定在相对稳定的下盘之上, 施加一个小的预应力扰动 P , 力学上称之为“摄动力”, 将可测的人为力学系统插入到不可测的天然力学系统中, 组成一个新的部分力学量可测的复杂力学系统, 即: 人为力学系统+天然力学系统=复杂力学系统。进而推导出可测力学量和非可测力学量之间的函数关系, 根据可测的力学量计算出不可测的滑动力, 这样就解决了天然力学系统不可测的难题。

1.2.4 森林火灾预警系统研究

由于全球气候异常发展趋势等原因, 森林火灾频繁发生, 常导致全球性生态灾难。国内外专家学者对森林火灾监测预警研究取得了长足进步, 森林火灾预警系统技术得以快速发展。但国内森林火灾预警一直存在着设备原始、方法落后等缺点, 许多林区主要采用人工瞭望塔方式进行, 此法虽然简单易行, 但浪费大量人力、财力、物力, 同时易受人为主观因素与自然因素限制, 观测与预报准确率极低; 卫星监测系统因其扫描周期长、分辨率低、扫描期间易受云层遮挡等因素影响, 限制了卫星探测技术的使用范围, 从而降低森林火灾的监测效果。

在预报方法研究上, 宋卫国在2006年研究了森林火险与气象因素的多元相关性。田晓瑞于2006年评述了森林火险等级预报系统。无线远程监控预警系统在环境监测、生态监控等领域应用日益广泛, 尤其是在恶劣气象条件下, 具有传统检测技术不可比拟的优势。

森林火灾预警系统研究关键内容在于林火机制与蔓延行为分析。实践表明影响森林火灾的主要因素来自于枯枝落叶层长期积累而成的地被可燃物, 地被可燃物自燃点及地理空间分布形态, 地形林相带与地表界面耦合关系是森林火灾的必要条件, 风力、风向及突发性引火行为是森林火灾的充分条件; 森林火灾早期预警不仅要及时发现着火点, 重要的是依地被可燃物空间分布与气象变化双重因素分析作出蔓延趋势预测, 一切阻火救援决策均