

# 地质灾害监测方法技术现状与发展趋势

韩子夜 薛星桥

(中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所 河北保定 071051)

**[摘要]** 20 世纪末期以来,监测理论和技术方法有长足发展,常规技术方法趋于成熟,设备精度、设备性能已具较高水平,并开发了部分高精度(微米级位移识别率)自计、遥测、自动传输的监测设施。未来,将充分综合运用光学、电学、信息学、计算机和通信等技术(诸如光纤技术—BOTDR、时域反射技术—TDR、激光扫描技术、核磁共振技术、NUMIS、GPS 技术、合成孔径干涉雷达技术—InSAR 及互联网通讯技术等),进一步开发经济实用、有效可行的地质灾害监测新技术,提高精度、准确性和及时性,最大程度地减少地质灾害造成的损失。

**[关键词]** 地质灾害 监测 技术方法 新技术 优化集成

20 世纪 80 年代以来,我国地质灾害时空分布特点呈现新的变化。[随着人类工程活动越来越强,人为地质灾害日趋严重,规模、数量和分布范围呈增加趋势;人口密集、经济发达地区地质灾害造成的损失越来越大。](#)崩塌、滑坡和泥石流等突发性地质灾害发生频度和造成的损失不断加大,地面沉降、海水入侵等缓慢性地质灾害的范围逐渐增加;据相关统计资料显示,1995-2002 年,地质灾害共造成 9000 多人失踪或死亡,突发性地质灾害共造成直接经济损失 524 亿元,缓慢性地质灾害造成直接经济损失 590 亿元,间接经济损失 2700 亿元。地质灾害已经成为严重制约我国经济发展的重要因素之一。

为了摸清我国地质灾害的分布情况,先后系统的开展了地质灾害调查工作。先后出台了《地质灾害防治管理办法》和《地质灾害防治条例》,明确指出:防治地质灾害,实行“以人为本,防治结合,统筹规划,突出重点,分期实施,逐步到位”的方针。并于 2003 年 4 月启动了全国性地质气象预报。对已经查明的地质灾害体,特别是对生产建设、人民生命财产安全构成严重威胁的地质灾害,若能运用适当的、有效的和经济可行的监测措施,做出科学的监测预报,则可最大程度地减小灾害损失。

滑坡监测在不同条件、不同时期其作用不同,但总的为以下几个方面:

- 1、通过综合分析多种监测方法的监测数据,确定地质灾害稳定状态及发展趋势,及时做出预测,防止或减轻灾害损失。
- 2、研究导致灾害体变形破坏的主导因素、作用机理,为防治工程设计提供依据。
- 3、在防治工程施工过程中,监测、分析灾害体变形发展趋势及工程施工的[扰动](#),保障施工安全。
- 4、施工结束后,进行工程效果监测。

5、综合利用长观监测资料，分析灾害体变形破坏机制和规律，检验在防治工程设计中所采用的理论模型及岩土体性质指标值的准确性，对已有的监测预报理论及模型进行验证改进，改善、提高监测预测预报技术方法。

### 1、地质灾害监测技术综述

地质灾害监测的主要任务为监测地质灾害时空域演变信息（包括形变、地球物理场、化学场）、诱发因素等。最大程度获取连续的空间变形数据，应用于地质灾害的稳定性评价、预测预报和防治工程效果评估。

地质灾害监测是集地质灾害形成机理、监测仪器、时空技术和预测预报技术为一体的综合技术。地质灾害的形成机理是开展地质灾害监测工作的基础，监测仪器是开展工作的手段；更为重要的是只有充分利用时空技术，才能有效发挥地质监测的作用；预测预报是开展地质灾害监测的最终目的。

崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害，具有爆发周期短、威胁性及破坏性显著、成因复杂等特点，因此，当前地质灾害的监测技术方法的研究和应用多是围绕突发性地质灾害进行的。

#### 1.1 监测方法：

监测方法按监测参数的类型为四大类，即变形、物理与化学场、地下水和诱发因素监测（见表1）。

##### 1.1.1 变形监测

主要包括以测量位移形变信息为主的监测方法：如地表相对位移监测、地表绝对位移监测（大地测量、GPS 测量等）、深部位移监测。该类技术目前较为成熟，精度较高，常作为常规监测技术用于地质灾害监测。由于获得的是灾害体位移形变的直观信息，特别是位移形变信息，往往成为预测预报的主要依据之一。

##### 1.1.2 物理与化学场监测

监测灾害体物理场、化学场等场变化信息的监测技术方法，如应力监测、地声监测、放射性元素（氡气、汞气）测量、地球化学方法以及地脉动测量。目前多用于监测滑坡等地质灾害体所含放射性元素（铀、镭）衰变产物（如氡气）浓度、化学元素及其物理场的变化。地质灾害体的物理、化学场发生变化，往往同灾害体的变形破坏联系密切，相对于位移变形，具有超前性。

##### 1.1.3 地下水监测

地下水监测主要是以监测地质灾害地下水活动、富含特征、水质特征为主的监测方法。

删除的内容：，

如地下水位（或地下水压力）监测、孔隙水压力监测和地下水水质监测等。大部分地质灾害的形成、发展均与灾害体内部或周围的地下水活动关系密切，同时在灾害生成的过程中，地下水的本身特征也相应发生变化。

1.1.4 诱发因素监测

诱发因素类主要包括以监测地质灾害诱发因素为主的监测技术方法：气象监测、地下水动态监测、地震监测、人类工程活动等。降水、地下水活动是地质灾害的主要诱发因素；降雨量的大小、时空分布特征是评价区域性地质灾害（特别是崩、滑、流三大地质灾害的判别）的主要判别指标之一；人类工程活动是现代地质灾害的主要诱发因素之一，因此地质灾害诱发因素监测是地质灾害监测技术的重要组成部分。

表 1：主要地质灾害监测方法一览表

| 种 类      |         | 适 用 性  |
|----------|---------|--|
| 变形监测     | 宏观地质调查  | 各种地质灾害的实地宏观地质巡查。                                   |
|          | 地表位移监测  | 崩塌、滑坡、泥石流和地面沉降等地质灾害的地表整体和裂缝位移变形监测。                 |
|          | 深部位移监测  | 用于监测具有明显深部滑移特征的崩滑灾害深部位移监测。                         |
| 物理与化学场监测 | 应力场监测   | 用于崩塌、滑坡、泥石流地质灾害体特殊部位或整体应力场变化监测。                    |
|          | 地声监测    | 适用于岩质崩塌、滑坡，以及泥石流地质灾害活动过程中的声发射事件特征。                 |
|          | 电磁场监测   | 适用于监测灾害体演化过程中的电场、电磁场的变化信息。                         |
|          | 灾害体温度监测 | 适用于监测滑坡、泥石流等地质灾害在活动过程中的灾体温度变化信息。                   |
|          | 放射性测量   | 用于监测裂缝、塌陷等灾害体特殊部位的氡气异常。                            |
|          | 汞气测量    | 用于监测裂缝、塌陷等灾害体特殊部位的汞气异常。                            |
| 诱发因素监测   | 气象监测    | 适用于明显受大气降水影响的地质灾害诱发因素监测，如：崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝等地质灾害。 |
|          | 地震监测    | 适用于明显受地震影响的地质灾害诱发因素监测，如：崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降等。           |
|          | 人类工程活动  | 用于监测人类工程活动对地质灾害的形成、发展过程中影响。                        |
| 地下水监测    | 地下水动态监测 | 适用于监测滑坡、泥石流、地面沉降等地质灾害的地下水位的动态变化。                   |
|          | 孔隙水压力监测 | 适用于滑坡、泥石流地质灾害体内孔隙水压力监测。                            |
|          | 地下水水质监测 | 适用于监测滑坡、泥石流、地面沉降、海水入侵等地质灾害的地下水水质的动态变化。             |

1.2 监测仪器：

1.2.1 从监测仪器同灾害体的相对空间关系来分为接触类和非接触类。

接触类：是指必须安装于灾害体现场或进行现场施测的监测仪器系列。如滑坡[地表或深](#)

部位位移监测、物理和化学场监测等；该类仪器所获得的信息多为灾害体细部信息，信息量丰富。

非接触类：是指于现场安装简易标志或直接于灾害体外围施测的监测仪器系列。该类监测方法多以获得灾害体地表的绝对变形信息为主，易采用网式施测；特别是突发性地质灾害的临灾前后，具有安全、快捷等特点。如激光微位移监测、测量机器人、遥感雷达监测等。

2、从监测组织方式，监测仪器可以分为简易监测、仪表监测、控制网监测、自动遥测。

(表)

简易监测：采用简易的量测工具（皮尺、钢尺、卡尺）对灾害体地表的裂缝等部位进行监测；

仪表监测：采用机测或电测仪表（安装、埋设传感器）对滑坡进行地表及深部的位移、应力、地声、水位、水压、含水量等信息监测；

控制网监测：在滑坡变形破坏区及周边稳定地带，布设大地测量或 GPS 卫星定位测量控制点网，进行滑坡绝对位移三维监测。

自动遥测：利用有线和无线传输技术，对仪表监测所得信息进行远距离遥控自动采集、传输，可实现全天候不间断监测。

## 2、地质灾害监测方法技术现状

地质灾害监测技术是集多门技术学科为一体的综合技术应用，主要发展于 20 世纪末期。伴随着电子技术、计算机技术、信息技术和空间技术发展，国内外地质灾害调查与监测方法和相关理论得到长足发展，主要表现在：

(1) 常规监测方法技术趋于成熟，设备精度、设备性能都具有很高水平。目前地质灾害的位移监测方法均可以进行毫米级监测，高精度位移监测方法可以识别 0.1mm 的位移变形。

(2) 监测方法多样化、三维立体化。由于采用了多种有效方法结合对比校核，以及从空中、地面到灾害体深部的立体化监测网络，使得综合判别能力加强，促进了地质灾害评价、预测能力的提高。

(3) 其它领域的先进技术在逐渐向地质灾害监测领域进行渗透。随着高新技术的发展和应用的深入，卫星遥感、航空遥感等空间技术的精度逐渐提高，一些高精度物探（如电法、核磁共振等技术）的发展，使得地质灾害的勘查技术与监测技术趋于融合，通过技术上的处理、提升，该类技术逐渐适用于区域性的地质灾害和单体灾害的监测工作。

“八五”以来,我国在地质灾害监测技术研究方面取得了丰硕的成果,并积累了丰富的经验,使我国的地质灾害监测预警水平得到很大程度的提高;但是还存在一定的局限性,主要表现在:

(1) 地质灾害监测技术、仪器设施多种多样,应用重复性高,受适用程度、精度、设施集成化程度、自动化程度和造价等因素的制约,常造成设备资源浪费,效果不明显。

(2) 所取得的研究成果多侧重于某一工程或某一应用角度,在地质灾害成灾机理、诱发因素研究的基础上,对各种监测技术方法优化集成的研究程度较低。

(3) 监测仪器设施的研究开发、数据分析理论同相关地质灾害目标参数定性、定量关系的研究程度不足,造成监测数据的解释、分析出现较大的误差。

因此,要提高地质灾害预警技术水平,必须在地质灾害研究同开发监测技术方法相结合的基础上,进行地质灾害监测优化集成方案的研究。

### 3、地质灾害监测技术方法发展趋势

#### 3.1、高精度、自动化、实时化的发展趋势

光学、电学、信息学及计算机技术和通信技术的发展同时,给地质灾害监测仪器的研究开发带来勃勃生机;能够监测的信息种类和监测手段将越来越丰富,同时某些监测方法的监测精度、采集信息的直观性和操作简便性有所提高;充分利用现代通讯技术提高远距离监测数据信息传输的速度、准确性、安全性和自动化程度;同时提高科技含量,降低成本,为地质灾害的经济型监测打下基础。

监测预测预报信息的公众化和政府化。随着互联网技术的发展普及,以及国家政府的地质灾害管理职能的加强,灾害信息将通过互联网进行实时发布,公众可通过互联网了解地质灾害信息,学习地质灾害的防灾减灾知识;各级政府职能部门可通过所发布信息,了解灾情的发展,及时做出决策。

#### 3.2、新技术方法的开发与应用

##### 3.2.1 调查与监测技术方法的融合

随着计算机的高速发展,地球物理勘探方法的数据采集、信号处理和资料处理能力大幅度提高,可以实现高分辨率、高采样技术的应用;地球物理技术将向二维、三维采集系统发展;通过加大测试频次,实现时间序列的地质灾害监测。

##### 3.2.2 智能传感器的发展

集多种功能于一体的、低造价的地质灾害监测智能传感技术的研究与开发,将逐渐改变

传统的点线式空间布设模式,由于可以采用网式布设模式,且每个单元均可以采集多种信息,最终可以实现近似连续的三维地质灾害信息采集。

### 3.3、新技术新方法

#### 3.3.1 光纤技术 (BOTDR)

光导纤维监测技术又称布里渊散射光时域光纤监测技术(BOTDR),是国际上二十世纪七十年代后期才迅速发展起来的一种现代化监测技术,在航空、航天领域中已显示了其有效性。在土木、交通、地质工程及地质灾害防治等领域的应用才刚刚开始,并受到了各发达国家研究机构的普遍重视,发展前景十分良好。

通过合理的光纤敷设,可以监测整个灾害体(特别是滑坡)的应变信息。

#### 3.3.2 时域反射技术 (TDR)

时间域反射测试技术(Time Domain Reflectometry)是一种电子测量技术。许多年来,一直被用于各种物体形态特征的测量和空间定位。早在 30 年代,美国的研究人员开始运用时间域反射测试技术检测通讯电缆的通断情况。在 80 年代初期,国外的研究人员将时间域反射测试技术用于监测地下煤层和岩层的变形位移等。90 年代中期,美国的研究人员将时间域反射测试技术开始用于滑坡等地质灾害变形监测的研究,针对岩石和土体滑坡曾经作过许多的试验研究,国内研究人员已经开始该方法的研究工作,并已经在三峡库区投入[试验](#)应用阶段,同时开展了与之相关的定量数据分析理论研究。

所埋设电缆即是传感器,又可传输测试信号;该方法相对于深部位移钻孔倾斜仪监测具有安装简单、使用安全和经济实用等特点。

#### 3.3.3、激光扫描技术

该技术在欧美等发达国家应用较早,我国近期开始逐渐引进。主要是用于建筑工程变形监测以及实景[再现](#),随着扫描距离的加大,逐渐向地质灾害调查和监测方向发展。

该技术通过激光束扫描目标体表面,获得含有三维空间坐标信息的点云数据,精度较高。应用于地质灾害监测,可以进行灾害体测图工作,其点云数据可以作为地质灾害建模、地质灾害监测的基础数据。

#### 3.3.4、核磁共振技术 (NUMIS)

核磁共振技术是国际上较为先进的一种用来直接找水的地球物理新方法。它应用核磁共振系统,通过由小到大改变激发电流脉冲的幅值和持续时间,探测由浅到深的含水层的赋存状态。我国于近期开始引进和研究,目前已经在三峡库区的部分滑坡体进行了应用试验,效果较好。

应用于地质灾害监测,可以确定地下是否存在地下水,含水层位置,以及每一含水层的含水量和平均孔隙度。进而可以获知如滑坡面的位置、深度、分布范围等信息,从而对滑坡体进行稳定性评价,并对滑坡体的治理提出科学依据。

#### (5) 合成孔径干涉雷达技术(InSAR)

运用合成孔径雷达干涉及其差分技术(InSAR 及 D-InSAR)进行地面微位移监测,是上世纪 90 年代逐渐发展起来的新方法。该技术主要用于地形测量(建立数字化高程)、地面形变监测(如地震形变、地面沉降、活动构造、滑坡和冰川运动监测)及火山活动等方面。

同传统地质灾害监测方法相比,具有如下特点:

- a、覆盖范围大;
- b、不需要建立监测网;
- c、空间分辨率高,可以获得某一地区连续的地表形变信息;
- d、可以监测或识别出潜在或未知的地面形变信息;
- e、全天候,不受云层及昼夜影响。

但由于系统本身因素以及地面植被、湿度及大气条件变化的影响,精度及其适用性还不能满足高精度地质灾害监测。

为了克服该技术在表面形变监测方面的不足,并提高其精度,国内外技术人员先后引入了永久散射点(P S)的技术和 GPS 定位技术,使 InSAR 技术在城市及岩石出露较好地区地面形变监测精度大大提高,在一定的条件下精度可达到mm级。永久散射(PS)技术通过选取一定时期内表现出稳定干涉行为的孤立点,克服了许多妨碍传统雷达干涉技术的分辨率、空间及时间上基线限制等问题。

随着卫星雷达系统资源的改进和发展,及相应数据处理软件的提高,该技术在地质灾害监测领域的应用将趋于成熟。

### 3.4 地质灾害监测技术的优化集成

#### 3.4.1 问题的提出

(1) 监测方法的适应性。对于各种监测方法所使用的监测仪器设施,均有各自的应用方向和使用技术要求;针对不同地质灾害灾种、类型,其使用技术要求(包括测点布设模式、安装使用技术要求等)不同。

(2) 地质灾害不同的发展阶段。对于崩塌、滑坡等突发性地质灾害,不同发展阶段所适用的监测方法和仪器设施各异,监测数据采集周期频度不同。

(3) 监测参数与监测部位。实践证明,一方面,不同的监测参数(地表位移、深部位

移、应力、地下水动态、地声等)在不同类型的灾害体监测中具有不同程度的表现优势;另一方面,同一灾害体不同部位的监测参数随时间变化趋势特点并不相同,即存在反映灾害体关键部位特征的监测点,又存在仅反映局部单元(不具有明显的代表性,甚至是孤立的)特征的监测点。因此,监测要素(监测参数、监测部位)的优化选择,是整个监测设计工作的基础。

(4)自动化程度。决定于设备的集成度、控制模式、数据标准化程度和信息发布方式。

(5)经济效益。决定于地质灾害的规模、危害程度、监测技术组合、设备选型等因素。

#### 3.4.2 设计原则

地质灾害监测技术优化集成方案遵循以下原则:

(1)监测技术优化原则:针对某一类型地质灾害,确定优势监测要素,进行监测内容、监测方法优化组合,使监测工作高效、实用。

(2)经济最优原则:首先,不过于追求高、精、尖的监测技术,而应选择发展最为成熟、应用程度较高的监测技术;其次,对于危害程度较大的大型地质灾害体,可选择专业化程度较高的监测技术方法,由专业人员进行操作、维护,对于危害程度低,规模小的灾害体,可选择操作简单、结果直观的宏观监测技术,由群测群防级人员进行操作。

#### 3.4.3 最终目标

根据不同种类地质灾害和不同类型地质灾害的物质组成、动力成因类型、变形破坏特征、外形特征、发育阶段等因素,研究适用于不同类型地质灾害的监测要素(监测参数、监测点位的集合)、监测方法、监测点网的时空布置模式、监测技术要求,建立典型地质灾害监测的优化集成方案。