

# 三峡库区地质灾害监测中几种常用方法之比较

李厚芝

(中国地质科学院探矿工艺研究所,四川 成都 611734)

**摘要:**从传统技术手段、特殊测量方法和最新测量技术等几方面入手,介绍了目前三峡库区地质灾害变形监测中几种常见的方法和技术手段,同时比较分析了不同方法和技术手段在不同的地质灾害变形监测中应用的优缺点。

**关键词:**三峡库区;地质灾害;变形监测;GPS 测量;监测方法

**中图分类号:**P642.2;TH762 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2008)07-0018-04

**Comparison of Several Common Methods for Geological hazard monitoring in Three Gorges Reservoir Region/LI Hou-zhi** (The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

**Abstract:** Starting with traditional technology method, the special measuring technology and the newest survey technology, this article introduced several common methods and technical means for geological hazard deformation monitoring in Three Gorges reservoir region nowadays. And comparison was also made on advantages and disadvantages of different methods and technical means in different geological hazards.

**Key words:** Three Gorges reservoir region; geological hazard; deformation monitoring; GPS survey; monitoring method

## 0 引言

所谓地质灾害是指各种(天然的和人为的)地质作用对人民生命财产和国家建设事业(人类的生存与发展)造成的危害。地质灾害的形成是致灾地质作用与受灾对象(人、物、设施)相遭遇的结果。致灾作用是主导因素,受灾对象是被动客体<sup>[1]</sup>。目前,在三峡库区常见的地质灾害监测主要分为高切坡变形监测和滑坡变形监测两大类。

高切坡变形监测是因为在三峡库区新县城建设过程中,对原地形地貌进行了大幅度的人工改造,因此形成了在人工高切坡、半挖半填及回填土场坪上建造设施的独特景观。而在城市建设的改造过程中破坏了原始斜坡的稳定,为使这些稳定性差的高陡边坡重新达到整体稳定,采用坡体加固或坡面支护是十分普遍的,同时,为了最大限度地防止或减轻灾害损失,为保障人民生命财产安全和政府管理决策服务,为今后的城市建设服务,需要对这些高切坡进行长期的监测。

滑坡变形监测是通过常规的监测手段来预防因为水库蓄、泄水等因素造成的斜坡上的土体或岩体在重力的作用下,沿一定的软弱面或软弱带,整体或分散地顺坡向下滑动而带来的生命财产的损失。

变形监测的作业模式可概括为周期性和连续性两种<sup>[2]</sup>。当变形体的变形速率相当缓慢,在一定的

时间和空间内可认为稳定不动时,可采用周期性变形监测。监测频率根据具体情况可分为数月、一年或更长时间。连续性变形监测采用固定监测仪器进行长时间的数据采集,获得变形数据系列,此时监测数据为连续的,具有较高的时间分辨率。

在三峡库区的两类地质灾害变形监测预警工作中,以周期性变形监测为主,它包括了大多数的滑坡监测和高切坡监测;以连续性监测为辅,连续监测主要应用在那些自动化要求高,数据采集周期短的监测项目。

就目前三峡库区地质灾害监测中最常见的几种方法可大致上概括为常规地面测量方法、特殊的测量手段、摄影测量及 GPS 测量技术等。而在不同的地质灾害监测中,它们有着各自的优缺点。

## 1 常规地面测量方法

常规地面测量方法主要是指用常规仪器(全站仪、水准仪)测量角度、边长和高程的变化来测定变形的的方法。他们是目前变形观测的主要手段。常规地面测量方法具有如下的优点<sup>[3]</sup>:

- (1) 能够提供变形体整体的变形状态;
- (2) 观测量通过组成网的形式可以进行测量结果的校核和精度的评定;
- (3) 灵活性大,能适用于不同的精度要求、不同

收稿日期:2008-05-31

作者简介:李厚芝(1980-),男(汉族),湖北荆州人,中国地质科学院探矿工艺研究所工程师,测绘工程专业,从事三峡库区的变形监测工作,四川省成都市郫县成都现代工业港港华路 139 号,iori026@126.com。

形式的变形体和不同的外界条件。

但是,常规的地面测量方法也存在着一些缺点,主要是外业工作量大,作业时间长,不易于实现连续监测和测量过程的自动化。

### 1.1 电子经纬仪和全站型仪器

电子经纬仪的出现是地面测量技术的一项显著进步,它最重要的优点是使实现从野外测量到室内数据处理过程的自动化成为可能。而把由微处理机控制的跟踪设备加到全站仪后,就能对目标进行自动测量,这种系统称为测量机器人。

全站仪在三峡库区的高切坡监测中应用较为广泛,它的优点是自动化程度高,测量精度高,但测量受通视条件和气候因素较大,因而在滑坡变形监测中应用较少。全站仪在高切坡中的应用见图 1。



图 1 全站仪在高切坡监测中的应用

### 1.2 精密水准测量

精密水准测量是观测垂直方向变形的最主要手段,其作业过程在过去的几十年没有明显的变化。水准测量的作业过程劳动强度大,进度慢,特别是在山区,而它的另一个缺点是系统误差(特别是折光误差)累计严重。在目前三峡库区的地质灾害变形监测中,主要适用于小范围内的高切坡监测,该方法不适用地形条件较为复杂的高切坡变形监测和滑坡变形监测。

## 2 特殊的测量手段

特殊的测量手段包括应力测量、应变测量、倾斜仪测量和地下水位测量、裂缝监测等。和常规的地面测量方法相比,它们具有如下共同的特点:

- (1) 测量过程简单;
- (2) 容易实现自动化观测和连续监测;
- (3) 提供的是局部的变形信息。

### 2.1 应力测量

目前三峡库区地质灾害监测中应力测量主要是利用传感器测量应变。应力测量又分为高切坡变形

监测中的钢筋计、压力盒、锚索预应力计等和滑坡变形监测中的光纤推力监测等。其优点是能直观反映变形体内部应力变化,可自动化观测和连续监测,缺点是只能提供局部的变形情况,需预先安装仪器,设施损毁后基本无法修复。图 2、3 为推力监测系统及其在三峡库区滑坡监测中的应用。

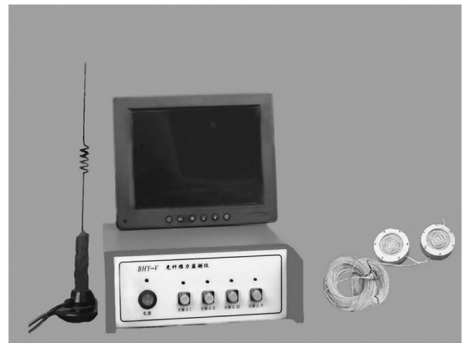


图 2 光纤推力监测系统



图 3 光纤推力监测系统的应用

### 2.2 应变测量

应变计测量根据工作原理可分为 2 类:一类是通过测量两点间距离的变化来计算应变;另一类是直接利用传感器来测量应变。

精密测量距离的变化有机械法和激光干涉法。机械法用因瓦丝、石英棒等作为长度测量的标准,精度一般为几十微米,激光干涉法的测量精度一般在  $10^{-7} \mu\text{m}$  以上。

应变传感器实质上是一个将导体埋设在变形体中,由于变形体中的应变使得导体伸长或缩短,从而改变导体的电阻。通过测量电阻值的变化就可以计算应变。

应变测量目前在三峡库区变形监测中应用较少,一般应用于大坝监测或重点高切坡监测。

### 2.3 测斜仪测量

测斜仪是通过测量测斜管轴线与铅垂线之间夹角变化量,来监测土、岩石和建筑物的侧向位移的高精度仪器。测斜仪有常规型和固定型 2 种。常规型

测斜仪习惯称之为滑动型测斜仪。带有导向滑动轮的测斜仪在测斜管中逐段测出产生位移后管轴线与铅垂线的夹角,分段求出水平位移,累加得出总位移量及沿管轴线整个孔深位移变化情况。固定型是把测斜仪固定在测斜管某个位置上连续、自动、遥控测量仪器所在位置倾斜角的变化。它不能测量沿整个孔深的倾角变化,但可以安装在滑坡滑带或观测人员难以到达的高切坡上。

目前三峡库区地质灾害监测中,以滑坡监测中利用常规型测斜仪测量较多。该法测量的优点是能直观的反映出滑体深部的位移变形情况,缺点是当滑坡的变形达到一定的程度后,测斜钻孔会被破坏而造成无法采集测量数据。图 4 为常规型测斜仪目前在三峡库区滑坡监测中的应用。



图 4 常规型测斜仪在滑坡监测中的应用

## 2.4 地下水位测量

水是产生滑坡的最主要外因之一。其作用一是渗透水进入土体孔隙或岩石裂缝,使土石的抗剪强度低;二是渗透水补给地下水后,使地下水位或水压增加,对岩土体产生浮托作用,土体软化、饱和,结果也造成抗剪强度的降低。所以,变形监测中,地下水位监测这一环节显得尤为重要。

地下水位测量主要用在滑坡变形监测中,是利用自动化设备对地下水的水位和水温的动态变化进行连续、长期的自动监测。其优点是测量简单,可自动观测和连续监测,缺点是仅能对引起地质灾害的地下水这一因素进行测量,不能直观反映出变形体的动态变化情况。图 5、6 为两种水位计在三峡库区滑坡监测中的应用。

## 2.5 裂缝监测

裂缝监测是指直接对变形体上的裂缝的宽度、长度加以测量。该方法在三峡库区地质灾害监测中应用较为广泛,可利用在高切坡变形中,也可用在滑坡变形监测中。缺点是反映的变形情况较为单一,



图 5 自动存储式水位计

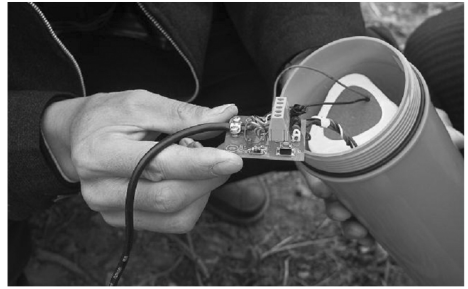


图 6 自动传输式水位计

需结合其他的监测方法才能在全局上判断出变形体的整体变形情况。图 7 为应用于高切坡上的自动裂缝监测计。



图 7 自动裂缝监测计

## 3 摄影测量方法

摄影测量是对研究对象进行摄影,根据所获得的构像信息,从几何方面和物理方面加以分析研究,从而对所摄对象的本质提供各种资料<sup>[4]</sup>。随着近十多年来摄影测量点位测量精度的提高,摄影测量在变形测量中也有着较为广泛的应用。在变形监测中,摄影测量具有如下优点:

- (1) 可以同时测定变形体上任意点的变形;
- (2) 提供完全和瞬时的三维空间信息;
- (3) 大量减少野外的测量工作;
- (4) 可以不需要接触被测物体;
- (5) 有了摄影底片,可以观测到变形体以前的形态。

摄影测量应用在变形监测中最显著的缺点就是精度较低,不易达到监测要求。

#### 4 GPS 测量技术

目前在三峡库区应用最为广泛的的就是 GPS 测量技术。该方法因其测站点之间无需通视、全天候观测、三维信息、测量范围大等特点,已成为现代测量的主要技术手段。图 8 为 GPS 在滑坡监测中的应用。在变形监测方面,GPS 可以提供点位基于全球坐标系统的变化,不受局部变形的影响<sup>[5]</sup>。



图 8 GPS 在滑坡监测中的应用

GPS 技术用于变形监测中存在如下不足之处:

(1)GPS 接收机在高山峡谷、地下、建筑物密集地区和密林深处,由于卫星信号被遮挡及多路径效应的影响,其监测精度和可靠性不高,无法进行监测;

(2)GPS 用于动态变形监测时,由于动态测量的精度只能达到厘米级,对微变形量,GPS 测量误差成为强噪声,从受强噪声干扰的序列观测数据中提取微弱的变形信息,是 GPS 动态监测应解决的一个关键技术问题;

(3)与一般的全站仪、测斜仪等监测设备相比,GPS 成本较高,一般需要 3 台以上 GPS 接收机;

(4)GPS 误差源多,与传统大地测量手段相比,GPS 数据处理过程中任一环节处理不好都将影响最终的监测精度。

#### 5 常见的变形监测设计方案

目前三峡库区地质灾害监测主要为高切坡监测和滑坡监测。由于变形监测需要在时间、空间上直观反映出变形体的变形情况及其诱发因素,因而,在三峡库区的变形监测中,一般是几种监测手段相结合,以从不同的方面反映出变形体的变形情况,达到监测预警的效果。下面就高切坡监测和滑坡监测为例,介绍目前变形监测常见的监测设计方案。

##### 5.1 高切坡监测

高切坡一般分布在建筑物较密集处,以三峡库区奉节县新县城高切坡监测为例,整个县城内部分

高切坡 GPS 接收机搜星条件有一定的限制,而以全站仪等监测则通视条件又受较大的限制。所以通常监测设计方案是整个县城监测基准网采用 GPS 测量作控制,搜星条件较好的高切坡采用 GPS 进行水平位移监测,同时采用水准测量对高切坡垂直方向上的位移变形进行监测。搜星条件较差的高切坡采用全站仪进行监测。同时,还对部分重点监测的高切坡辅以锚杆应力监测。

##### 5.2 滑坡监测

三峡库区滑坡一般分布在长江及其支流两岸,大部分滑坡交通极为不便。因此滑坡变形监测设计方案一般是以 GPS 测量为主,对滑坡进行地表位移监测,同时在滑坡的一条或几条剖面上以测斜孔监测、推力监测和地下水位监测为辅,对滑坡进行地表变形与深部变形关系研究,探索滑坡体的空间变形特征,并对监测数据进行多种渠道的校核,以达到防治地质灾害的目的。

#### 6 结语

本文所介绍的在三峡库区常用的变形监测方法和技术各有优缺点。常规地面观测方法测量精度高,能提供变形整体的信息,但外业工作量大,不容易实现连续监测和实时监测。一些特殊的观测方法如应力测量、倾斜测量、地下水位测量、裂缝监测等最大的特点是容易实现连续、自动监测,精度也高,但所提供的只是局部的变形信息。摄影测量方法野外工作量较少,但精度较低,有时满足不了变形监测要求。GPS 测量能大范围提供变形体的变形资料,且不受测点间通视的限制,但是在选点时易受多路径效应影响,测量误差来源较多,且连续监测目前成本较高。因此,在三峡库区变形监测中,要综合考虑和应用各种测量方法和技术,取长补短,才能有效的对各种地质灾害进行监测,以达到监测预警的目的。

#### 参考文献:

- [1] 国土资源部地质环境司,国土资源部宣传教育中心. 地质灾害防治知识[DB/OL]. <http://www.mlrj.net.cn/information.asp?sort=82>.
- [2] 胡友建,梁新美,许成功. 论 GPS 变形监测技术的现状与发展趋势[J]. 测绘科学,2006,31(5).
- [3] 陈永奇,吴子安,吴中如. 变形监测分析与预报[M]. 北京:测绘出版社,1998.
- [4] 钟孝顺,聂让,贺国宏. 测量学[M]. 北京:人民交通出版社,1997.
- [5] 余学祥,徐绍铨,吕伟才. GPS 变形监测数据处理自动化[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2004.