

地质灾害的监测及监测系统

廖椿庭

摘要：概要介绍地质灾害的监测与监测系统的总体构思。即：地质灾害监测系统应具有数字化、自动化和网络功能；将灾害发生前的特征信息通过传感器转化为数字化信息、数字化传输、数据库存储并提供使用。文中还介绍了位移传感器的实验研究和在长江三峡链子崖危岩体监测中的应用情况。

关键词：地质灾害；监测系统；位移传感器

中图分类号：P694

文献标识码：A

GEOLOGICAL HAZARD MONITORING AND MONITORING SYSTEM

LIAO Chun-ting

(*Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China*)

Abstract : Geological hazard monitoring and monitoring system are outlined in this paper. Geological hazard monitoring system should have functions of digitalization, automation and network. The characteristic information prior to geological hazards is transformed digitized information by transducer to transmit and store it. The experimental study of displacement transducer and an application of deformation monitoring system to Lianziya danger rock in the Three Gorges on the Yangtze River are given in this paper also.

Key words : geological hazard; monitoring system; displacement transducer

0 引言

我国是世界上地质灾害特别严重的国家之一。地质灾害的种类多，分布面积广，活动频次高，危害程度大。特别是70年代以来，人类活动日益加剧了自然环境的恶化，地质灾害造成的破坏和损失呈现急速增长趋势^[1]。为了实现国家经济建设和发展战略，保护人民生命财产安全和社会稳定，必须对地质灾害采取必要的防治措施。我国已经建立了全国性的地震预报监测台网，为地震预报提供信息，但除地震外的其它地质灾害造成的损失也是巨大的。建立地质灾害监测系统是国家减灾防灾的重大举措^[2]。捕捉灾害前兆特征信息，为预测和预防灾害的发生或减少灾害的损失有重要的现实意义。区域地壳稳定性评价，岩体稳定性分析，环境地质和灾害地质的理论和

实践大大丰富了地质力学的基础和方法；高新技术的运用、智能化测试仪器的研制，使定量分析研究得以深入。

1 地质灾害监测系统的总体结构

随着高新技术的发展，地质灾害监测系统应具有数字化、自动化和网络功能。也即是将灾害发生前的特征信息通过传感器转化为数字化信息，自动采集或汇集，数字化传输，数据库存储并提供使用，在全国范围内通过互联网实现前兆数据的分布式共享；建立多维地质灾害监测系统，即三维空间和不同的时间尺度，可分为大时间尺度的面上扫描和小时间尺度的单体突发性地质灾害的实时监测。

1.1 大时间尺度的监测

该项监测主要是以遥感为主，配合中长距离的GPS监测，主要了解大范围生态环境演变过程，为灾害危险性区划服务。通常数月或几年复测一次，以便掌握在不同阶段生态环境的演变过程。

1.2 小时间尺度的监测

主要监测单体突发性地质灾害，以实时自动监测手段为主，辅以个别间断监测手段(如三角测量、水准测量、钻孔倾斜仪测量)。根据灾害体的具体情况，选定监测内容。主要手段有位移、地电、地应力、微震、地下水位、地下水温、水化学等，但各单体地质灾害所选用手段不一定相同，要根据实际情况有效地组合达到最佳效果。仪器的选用，尽量采用自动监测的智能型仪器，以便实现实时快速捕捉前兆特征信息。

2 数字化监测网的布设构想

数字化地质灾害监测台网由子台、主台、台网中心组成。在一定的观测技术系统支持下，有机地把经传感器输出的前兆信息进行自动采集、数字化传输、数据库存储并提供使用。

2.1 单体突发性地质灾害监测台站的建立

在地质调查的基础上，进行地质灾害危险性评估，对危险程度大的单体地质灾害进行详查，并建立有效的监测系统，即单体突发性地质灾害监测台站(即子台)。根据现场情况设计所需的监测手段，各种手段采用智能型监测仪实现自动监测和存储数据，配有计算机监控各智能化监测仪器的工作状态及提取监测数据、存储、汇总(图1)。

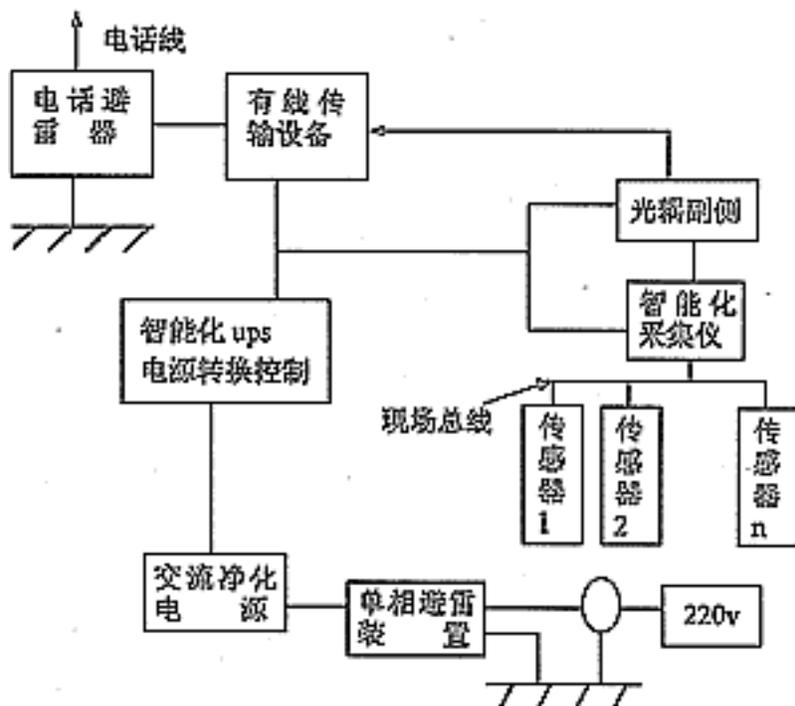


图1 监测站原理框图

Fig.1 Schematic figure of the monitoring station

2.2 中心监测站的建立(即主台)

在大区的中心城市建立一个中心监测站。如三峡库区建在宜昌，管理湖北省内的子监测站，各子监测站的数据都传输到中心监测站汇总，并可遥控子监测站。通过国际互联网或通讯线路与北京分析预报中心联系(图2)。

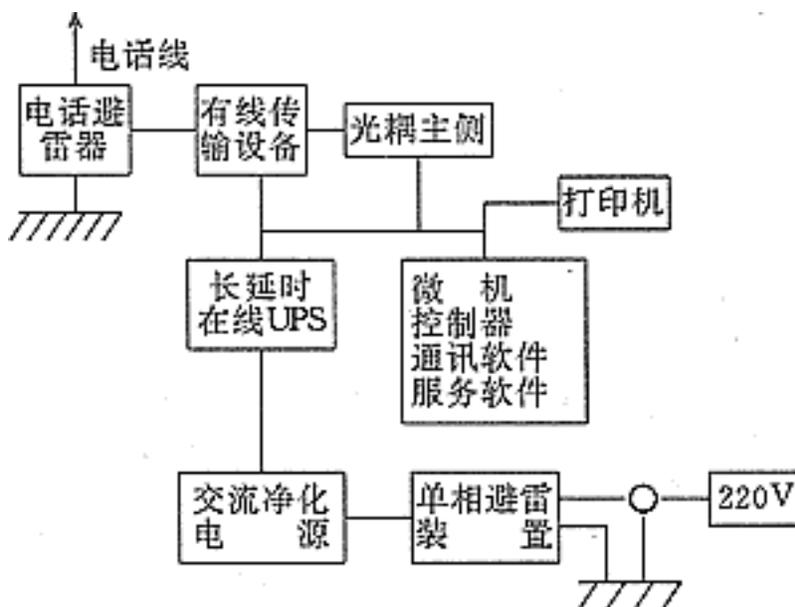


图2 控制中心原理框图
Fig.2 Schematic figure of the monitoring control center

2.3 全国地质灾害数据库及分析预报中心的建立

数据库及分析预报中心(即台网中心)设在中心城市(如北京)。它可通过国际互联网或有线通讯与各中心监测站联系并提取数据,为今后建立全国性地质灾害监测网打基础。如扩展监测区域,随时都可并网,形成统一的网络。要达到上述目的,数字化公用技术的设计、数字化公用设备的选型与配置、数据库与台网运行管理等都非常重要。

3 地质灾害趋势分析与预报

在调查研究的基础上,结合地质灾害监测数据进行地质灾害危险性评价和地质灾害趋势的综合分析,建立不同时间尺度的地质灾害预测预报理论,建立地质灾害分析预警预报信息系统。

由于地质灾害分布面积广,危害程度各不相同,专业化的监测站不可能全面覆盖,只能在重点地区安装监测设备。对于比较分散的危害程度较低的危害监测,就要建立较完善的群策群防组织,配备专业人员给予定期培训指导,配备一些便携式仪器随时监测。此外,还要加强人们的防灾减灾和保护生态环境的意识。

4 传感器的实验研究

岩体变形包括岩体的表面和内部变形,测量的关键部件是位移传感器。而要实现位移的实时监测,监测系统总体要达到如下条件:即现场电源要稳压供电,最好有直流后备电源;位移传感器要有足够的测量精度和分辨率;监测系统要具有数据自动采集和存储功能;断电自动保护功能;复电后自动恢复原工作状态和具有线性化处理功能。此外,还应有多种显示和输出打印方式,可与计算机联机,可远距离传输且抗干扰性能强等。

长江三峡链子崖危岩体于60年代就开始监测。在1995年开始的防治工程中,我们应用了电感调频式位移监测系统监测危岩体裂缝的变化(图3)。

表1 电感调频式位移传感器标定表

Table 1 Results of calibration for displacement transducers

序号	位 移 mm	第一次 Hz	第二次 Hz	第三次 Hz
1	0	19659	19659	19660
2	2.5	19301	19302	19302
3	5.0	18934	18934	18934

4	7.5	18570	18570	18570
4	10.0	18215	18215	18215
6	12.5	17867	17867	17867
7	15.0	17522	17522	17522
8	17.5	17181	17181	17182
9	20.0	16842	16842	16842
10	22.5	16507	16507	16507
11	25.0	16178	16178	16179
12	27.5	15853	15853	15853
13	30	15527	15527	15527
14	32.5	15200	15201	15201
15	35	14869	14869	14869
16	37.5	14534	14534	14534
17	40.0	14202	14202	14202
18	42.5	13870	13870	13870
19	45.0	13533	13533	13533
20	47.5	13192	13192	13192
21	50.0	12853	12853	12852

类型：BWG2-50；编号：95025；量程：50 mm

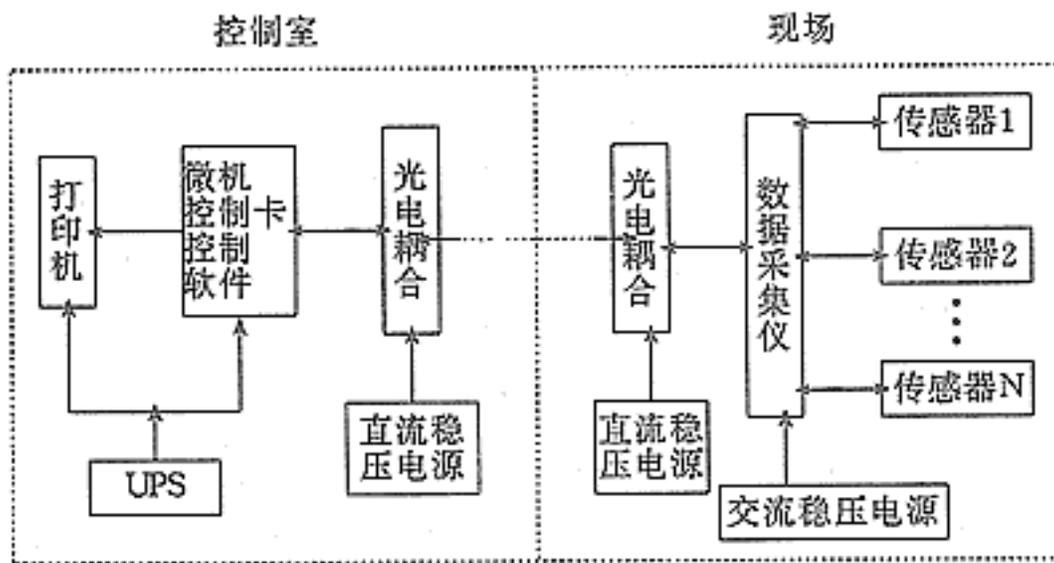


图3 监测系统原理框图

Fig.3 Schematic figure of the monitoring system

位移传感器是测量岩体变形的核心部件，它的性能直接影响整体测量精度。位移传感器的种类较多，有电阻式的、电感式的、弦振式的。根据不同的用途和场合，结合野外工作环境，选择不同的位移传感器。在实际工作中，我们经过调研、测试、比较，决定选用电感调频式位移传感器。该传感器具有灵敏度高、抗干扰性能强、耐冲击强度高，信号可以长线传输，工作可靠，性能稳定这样一些独特的优点。

主要技术指标：(1)量程：0~10 mm；0~20 mm；0~50 mm；(2)非线性误差： $< \pm 0.1\% F.S \sim \pm 3\% F.S$ ；(3)重复性误差： $< \pm 0.1\% F.S$ ；(4)频率温度系数： $< 5\text{Hz/}$ ；(5)适用温度： $-10 \sim +50$ ；(6)分辨率： $\pm 0.2\text{ Hz}$ 。

4.1 传感器的线性、重复性、灵敏度试验

将传感器安装于率定架上，利用光栅测距仪(或用百分表)测量传感器实际位移量，将传感器输出与数据采集仪连接，每位移2.5 mm测读一次，测量结果列于表1。

从表中的实测结果表明：该传感器具有较高的灵敏度，线性和重复性也较好，测值稳定。

4.2 传感器的温度试验

将传感器置于恒温控制箱中，在 -10 至 $+50$ 温度范围内测量其读数随温度变化的情况。在达到热平衡的条件下，每5 测读一次，测量结果列于表2。

从表中可以看出：a)不同的传感器其温度系数不同，这是由于器件加工工艺不完全一致所致；b)同一传感器，当其处于量程不同位置时，其温度系数有所变化。这是由于传感器在进行温度补偿时，重点考虑中点位置，兼顾两端。所以，在前后两端位置，其温度系数偏差较大，中间位置偏差较小。这样，在实际安装时，要考虑选择合适量程的传感器，还要注意该传感器初始值的选择及变化范围的估算。此外，该温度系数影响还可以通过校正加以消除。因此，在现场传感器安装之前，必须进行温度试验，以便今后修正；c)传感器在 $-10 \sim +50$ 温度范围内能够保持正常工作，表明该传感器可以在野外恶劣环境下正常工作。

表2 电感调频式位移传感器温度试验结果

Table 2 Results of temperature coefficient measurements for displacement transducers

编号	95010	95010	65012	95012	95017	95017	95020	95020	温度
读 数	13732	16395	13450	16083	13534	15930	13746	16122	-10
	13726	16392	13447	160811	13527	15926	13742	16119	-5
	13718	16389	13440	16078	13517	15921	13733	16116	0
	13711	16386	13433	16075	13508	15916	13726	16113	5
	13705	16384	13427	16073	13500	15912	13719	16111	10
	13699	16382	13421	16070	13491	15908	13712	16109	15

Hz	13694	16382	13416	16070	13486	15906	13708	16109	20
	13689	16381	13410	16068	13479	15904	13702	16108	25
	13683	16381	13404	16065	13472	15901	13697	16107	30
	13677	16380	13398	16062	13465	15898	13691	16106	35
	13671	16379	13391	16059	13459	15896	13684	16105	40
	13665	16378	13384	16057	13452	15893	13678	16104	45
	13658	16377	13378	16056	13446	15891	13672	16102	50
温度系数 Hz/	-1.23	-0.30	-1.20	-0.46	-1.46	-0.66	-1.23	-0.33	
备注	测杆置 于端头	测杆置 于中间	测杆置 于端头	测杆置 于中间	测杆置 于端头	测杆置 于中间	测杆置 于端头	测杆置 于中间	

注：测杆置于端头是指传感器处于量程的起始端；测杆置于中间是指传感器处于量程的中点。

5 数据采集仪性能

数据采集仪是采用单片机技术研制而成，是与调频式传感器配套使用的仪器。该仪器是一种智能型仪器，它具有多通道(16或32通道)、定时自动采集、显示、存储、传输、打印输出、与计算机联机控制等功能。

监测系统通过室内的实验研究还要在现场试验过程中不断调整，使其更加完善达到满足现场监测的目的，以便能准确、可靠地捕捉灾害特征信息。

为了检验监测结果的可靠性，我们开展了部分的人工机械测量，电测(通过监测系统测量)与现场人工机械测量对比(表3)。

从表3可看出，两者的一致性比较好，说明电测系统的可靠性。表中少量偏差是由于人为的测量误差和测量时间的不完全同步以及温差引起的。

长江三峡链子崖危岩体裂缝变化监测表明：该系统测量灵敏度高，抗干扰性能强，长期稳定性好，测值可靠，经受了现场恶劣环境的考验，取得了连续、可靠的第一手资料。

表3 电测与机械测量比较

Table 3 Comparison of results obtained with electrometry and machinery

通道号	位移计编号	测试时间	电 测			机 测	
			频率/Hz	相对变化量 /Hz	相对位移 /mm	测量值 /mm	相对变化 /mm
1	95022	10月26日	13823	+35	0.27	119.79	0.32
		11月6日	13858			120.11	
		10月26日	13706			120.37	

2	95020	11月6日	13722	+16	0.13	120.54	0.17
3	95017	10月26日	13461	+7	0.05	121.97	0.02
		11月6日	13468			121.99	
4	95023	10月26日	13975	+7	0.05	119.19	0.04
		11月6日	13982			119.23	
5	95025	10月26日	13915	+9	0.07	122.71	0.11
		11月6日	13924			122.82	
	95016	10月26日	13552	-8	-0.06	120.09	-0.01
		11月6日	13544			120.08	
7	65024	10月26日	13277	+13	0.10	119.11	0.09
		11月6日	13290			119.20	
8	95019	10月26日	14058	+21	0.16	132.14	0.14
		11月6日	14079			132.28	
9	95007	10月26日	13592	+22	0.17	124.01	0.22
		11月6日	13614			124.23	
10	95005	10月26日	14044	-20	-0.15	124.40	-0.14
		11月6日	14024			124.26	
11	防水50	10月26日	13974	+2	0.02	140.43	0.07
		11月6日	13976			140.50	

6 监测系统的改进

上述监测系统在供电、防雷技术、数据采集、远距离数据传输系统、温度自动补偿系统等方面仍需进一步完善。

6.1 数据采集器的功能增强

数据采集器在保留原有功能的基础上，新增如下功能：远端传感器工作在可寻址方式；数据采集器输入端备有公共的信号规一化处理器，零自检和满度自检，测量前对规一化处理器和模拟数字转换器进行零自检和满度自检；将测量的自检结果同内存中指定的原始值进行对比，以确定是否有修正量，如果有修正量时，自动采用该修正量对本次测量的各通道数据进行修正，将修正后的结果作为原始数据保存下来，确保原始数据的可靠性，还可实现无人值守状态，即可用通讯方式启动，实现数据的自动采集和传输。数据采集器的工作方式设定软件化，数据采集器中备有专用的存储器，存放采集器工作方式命令，可以方便的在便携机上按实际要求设定，然后将结果写入采集器的专用存储器。例如：采样间隔、工作周期、通道数量、测量范围等诸如此类的要求，均可方便的实现，并可随时更改。

6.2 控制器

控制器是智能型测试仪器的核心。该控制器实际上是一部高档的便携机，用它来完成原始数据的处理、通讯网络(可以是电话线路，也可以是光缆)的连接等都是非常方便。所以它可以完成下面几项基本功能，以及用户提出的任何其它要求。基本功能如下：(1)外部数据传送和接收功能。用调制解调器同外部信道连接，实现点对点通讯或英特网信息交换。(2)内部数据通讯功能，主要是传送控制命令给采集器，对其进行工作方式的设定和操作，同时要求采集器传送各传感器的测量原始数据。(3)各测量通道的认定功能，是定义各测量通道的参数性质、物理意义和计数公式，以便准确认定各测量通道参数的性质(采集器送来的通道号、测量时间和测量值的原始数值，必须在处理器中认定)。(4)对数据采集器的设置功能。各种特性参数都是在处理器上设定后传送至采集器的永久性存储区的，使数据采集器按设定的模式工作。(5)数据处理功能。由于采集器可以同时接有许多种传感器，而各传感器所测的物理参数也不相同，因此具体处理要求拟根据用户的技术要求来完成。例如：瞬时值、给定时间内的均值、测量时间内的极大或极小值、单位换算、温度修正、曲线拟合等处理功能。(6)数据输出功能。该设备除了将保存的测量数据传送给上一级的管理中心外，也可以实现数据打印、曲线或图表方式输出(配打印机即可)。

6.3 数据传输

数据传输功能是将现场采集到的数据从存储器中取出，然后传送至上一级管理中心，可以采用有线传送或无线传送。有线传送是通过电话线路和调制解调器及相应的控制设置来完成。无线传输是采用超短波通信设备来完成，一般由管理中心发指令来实现这个传输过程(可以是编程中的指令或随机指令)。

6.4 监测系统的供电和防雷技术

为了确保监测系统在野外恶劣环境下正常运行，仪器的供电电源和防雷措施是至关重要的。它既要准确及时的保证各部件的供电，又要管理后备电池，监测本部件的各种工作状态；既要保证在强雷电下设备的安全和可靠，同时还必须限制远端传感器、通讯器带来的干扰；既要按程序设定的时间供电，又可以由上级通讯命令来实施随机指令供电。因此，它具有市电网供电和后备电源间的快速切换功能；后备电源的监测和控制管理功能；程序定时供电和随机指令供电控制功能；相互独立的多组直流电源输出功能；以及市网交流输入和直流供电输出端的防雷保护功能。

7 结语

岩体变形测量是目前工程上和地质灾害监测中较常用的监测手段，它具有简便、直观、易于操作，测量精度高，性能价格比优，长期稳定性好等优点。目前使用的方法有多种，根据不同的服务对象，选择不同的方法，以达到最佳的效果。本文介绍的这种监测系统是目前测量方法较优的一种。它的智能化程度高，具有数据远距离传输及遥控等功能，是目前实现实时监测的首选。

在室内和现场试验中，区明益、赵金生、董诚、乔子江等同志参与了工作；在监测系统结构改进、功能增强方面邹鹏程同志给予了有益的帮助，在此一并致谢。

原地质矿产部地质灾害防治工程勘察设计院·长江三峡链子崖危岩体防治工程初步设计报告，1994.

作者简介：廖椿庭(1942—)，男，研究员，1964年毕业于厦门大学物理系，主要从事岩石力学与工程应用方面的研究工作。

作者单位：中国地质科学院地质力学研究所，北京 100081

参考文献

- [1] 高庆华，马宗晋.再论减轻自然灾害系统工程 [J] .自然灾害学报，1995，(2).
- [2] 何建邦.中国重大自然灾害监测与评估信息系统的建立与应用 [A] .中国地理信息系统协会首届年会论文集 [C] .1995.

收稿日期：1999-07-20