

DZ-1 型地质灾害土层含水量监测仪系统的研究与应用

陈文俊, 周 策, 汤国起

(中国地质科学院探矿工艺研究所 四川 成都 610081)

摘 要 高强度降雨和岩土层含水量过高是山体滑坡等地质灾害的主要诱因,为了更好地对这类地质灾害进行有效预测预报,研制了 DZ-1 型地质灾害土层含水量监测仪,介绍了该监测仪的工作原理、主要构成、技术性能、监测工艺技术及实际应用效果。

关键词 地质灾害 岩土层含水量 监测仪 时域反射 介电常数 波导棒

中图分类号 P642.22 文献标识码 A 文章编号 1672-7428(2005)03-0039-03

Research on and Application of DZ-1 Water Content Monitor System in Geological Disaster Soil/CHEN Wen-jun, ZHOU Ce, TANG Guo-qi (Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 610081, China)

Abstract : High intensity rain and high water content in rock and soil are the main causes of massif body landslide. To better and efficiently forecast this kind of geological disasters, DZ-1 water content monitor system was developed. The working principle, main structure, technical specifications, monitor technique and application results were introduced.

Key words : geological disaster; rock and soil water content; monitor; time domain reflection; dielectric constant; waveguide staff

1 概述

国内外在 20 世纪 50 年代就开始采用大气降雨强度进行地质灾害预测预报的研究。美国、捷克、新西兰、中国(香港、四川、陕西)等都进行过这方面工作。但都只是局限在采用区域性的统计规律,并没有开展深入研究。1985 年,美国地质调查局和美国气象服务中心联合在旧金山地区建立泥石流预警系统,主要依靠降雨强度、岩土体含水量和气象变化作出综合判断,预测预报地质灾害。这一工作的开展,使原来仅局限研究降雨量大小的统计规律方式,发展到研究降雨强度对岩土体的含水量、渗透参数变化影响以及对岩土体成灾的规律研究。进一步开展这方面工作,是国内外研究地质灾害预测预报的发展趋势。

为了能够在现场实测岩土体含水量变化和渗透参数大小,国内外已开展大量的研究工作。测定含水量、渗透性的仪器按其原理来分主要有:烘干式、电阻式、电容式、负压式、红外式、核磁共振式、光纤光谱式、中子式和 TDR(Time Domain Reflectometry)时域反射式等多种。这些仪器有的只能取样在室内测量,不能在野外实现在线实时监测,有的测量范围

小,精度低,有的受温度 and 环境影响大,有的造价昂贵,有的存在安全公害污染问题,限制了进一步推广应用。

近年来,随着电子科技发展,TDR 时域反射法和采用此原理的含水量测试仪器已在农业、水利、建筑、环境监测和加工业等方面广泛应用,成为测量含水量的常规方法。国内农、林、水等有关部门也引进了美国 SEC 公司的 trase 时域反射测试仪、加拿大 ES1 公司的 MP-917 时域反射仪、瑞士 precisa 公司的 30000D 时域反射仪及各公司研发生产的便携式 TDR 水分测试仪。通过近年来大量使用,这些仪器被业内人士认为是测量土壤含水量最好的方法和仪器。以前这种类型的仪器在我国还没有成熟的产品,而要从国外购入。该类仪器主要采用微波时域测量原理,具有无公害污染、快速、准确、连续测定、自动存储、价格合理等优点。这种类型的仪器在国外主要是为测定土壤含水量设计的,而我所研制的“DZ-1 型地质灾害土层含水量监测仪系统”,除了能对土壤层进行测量外,还能对岩层较硬的层面和基岩面进行测定,除了能连续测定外,还能进行无线遥测,这对地质灾害岩土层含水量和渗透性测量

收稿日期 2004-10-10

基金项目 国土资源大调查地质灾害预警工程项目中的子项目(编号 200212400020)

作者简介 陈文俊(1977-)男(汉族),四川西充人,中国地质科学院探矿工艺研究所,测控及核技术专业,从事地质灾害仪器仪表的研制及软件开发工作,四川省成都市一环路北二段 1 号;周策(1965-)男(汉族),四川成都人,中国地质科学院探矿工艺研究所高级工程师,探矿工程专业,从事机电仪器、仪表及设备的研制开发工作。

具有极大优势。

2 DZ-1型监测仪系统的原理

岩土层是一种由水、空气、岩土固态颗粒组成的混合物,其含水量是影响其介电常数变化的主要因素。其中空气介电常数为1,岩土固态颗粒介电常数为3~5,而水的介电常数为80,三者介电常数相差甚大。因此,在岩土层混合物中的水含量及水的介电常数对岩土层混合物的介电常数影响大,只要能测出岩土层的混合介电常数,通过一定的模式换算,就能计算出土壤的体积含水量。

将已知长度的波导棒探针插入被测岩土体中,采集仪通过电缆线向波导棒探针发射电磁波,电磁波入射岩土层,向岩土层发射上升沿很陡的阶梯状脉冲(采用专门时间标志作为波导的起始点,通过对末端反射的检测作为传播终点)。测量脉冲从波导棒的起点传播到末端所用的时间即为传播时间(时间可由仪器测得),此时间又与岩土层介电常数有关,这样可计算出岩土层介电常数,岩土层介电常数又与岩土体本身含水量有关,因此经过一定计算模式转换可测知某测点岩土体含水量。

岩土层渗透性能测试原理是在自然降雨情况下分层动态测试岩土体含水量达到饱和(100%)或其它某一含水量时所需时间,该时间长短表示岩土层可渗透性能的大小。在同一降雨条件下,岩土层含水量达到饱和或其它某一含水量所需时间越短,则该岩土层可渗透性能越大,反之,其可渗透性能越小。

岩土层含水量的计算与测定:采用高频时域反射法测量岩土层含水量主要依靠测量岩土层介电常数的大小,国外专家在采用TDR时域反射法测量岩土层介电常数方面作了大量工作。即一个电压的阶梯状脉冲波沿着放置在土壤层探管的金属发射导环(或金属棒)发射电磁波电压的阶梯状脉冲波沿导环(或金属棒)传播,并在导环(或金属棒)末端反射回来,土壤含水量由延时的传播时间决定。得出:

$$K_a = \{CT/(2L)\}^2$$

式中: K_a ——土壤的介电常数; C ——真空中的光速或脉冲波速率, 3×10^8 m/s; T ——传播时间; L ——金属导环(或金属棒)长度。

1980年和1985年,美国人托普(Topp)和戴维斯(Davis)用TDR法测定了脉冲波的传播时间,得出该传播时间在大部分土壤中与土壤传播含水量(θ)成正比,而起决定作用的因素是土壤介电常数

K_a 大小。他们得出计算土壤含水量的经验公式:

$$\theta = -5.3 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-2} K_a - 5.5 \times 10^{-4} K_a^2 + 4.3 \times 10^{-6} K_a^3 \quad (\text{当 } \theta \leq 0.6 \text{ 时})$$

岩土层的容积含水量 θ_v 可以通过建立 θ_v 与 K_a 的经验方程来计算。也可采用建立 $K_a - \theta_v$ 关系曲线,并将其分段按直线拟合的方程求测岩土层含水量。

3 DZ-1型监测仪系统主要构成与技术性能

3.1 系统构成

(1)地下探管(2)地面采集仪(3)PDA(掌上电脑)或笔记本电脑(4)无线数传台(5)电源。

监测仪外观如图1所示。



图1 DZ-1型地质灾害土层含水量监测仪

3.2 性能指标

3.2.1 测量范围和精度

岩土层含水量 0~100%(容积含水量),精度 $\pm 2\%$

岩土层可渗透性 0~30 min 精度 $\pm 5\%$

工作温度: -45~45℃;

测量脉冲(频率): 1~12 GHz

电源: DC12V/TAH 免维护电池及10 W 太阳能电池板

输出: RS-230 数据接口无线数传台传发,并口输出存卡

调制方式: FSK;

申请频率: 220 MHz

数据速率: 1200 bps 或 2400 bps;

信道误码率: $\leq 10^{-4}$

3.2.2 工作方式

自报或应答召测,自动无人值守,实时数据采集,无线遥测遥控。

4 监测工艺技术方法

(1)选择监测点面:据监测区地形地貌特点和地质灾害监测要求,选择和布置监测系统的监测点

面,一个监测面至少要选 15 个以上的监测点。

(2)打监测钻孔:据监测区布点情况,按布点采用轻型便携钻机钻孔,打钻孔时要按表土残坡积层、粘土、第三系粘土岩、砂岩夹煤层和砂岩分层进行。

(3)分层埋设波导棒探头:分层钻孔完成后,将系统仪器的波导棒探头分层埋设,探头前面的探针直插所测岩土层位,固定好波导棒探头,孔口要封堵作防雨处理,防止雨水流入孔内,在波导棒探头未下入之前,钻孔中非测量段要做好堵漏防渗处理。

(4)在监测区监测孔遇到坚硬地层时,波导棒探头探针无法直接插入地层,要采用波导棒其他形状探头进行测量。

(5)建小型防雷雨小屋:为防雨防雷,地面系统测试设备必须放置于房屋内,并设有太阳能电池和防雷装置。

(6)试机:安装波导棒探头,连接电缆和微波发射采集仪结线,联机试验,如正常工作方可进行下面工作,如不正常工作要及时排除故障。

(7)埋设电缆:试机正常后将微波电缆挖槽埋好,以免裸露地表造成损坏。

(8)开机测试:按设计要求进行监测系统实时采集自动记录和无线发送。

5 实时采集无线自动监测系统

实时采集无线自动监测系统由发射采集仪发射电磁波阶梯状脉冲经测量电缆送至波导棒,波导棒前两针状探头针插入岩土层中,通过岩土层介质反射波由发射采集仪采集并在 LCD 显示屏幕显示,按计算模式转换为数字量,显示出含水量和渗透参数数据,由存储器存储,发射采集仪内设 RS-232 串口把采集的数据传送到无线数传台,由数传台将数据信号调制后,经天线发射到中心站,由天线接收进入数传台解调送入计算机处理打印记录显示。整个系统可双向控制,可掉电处理无人值守。为使系统长期连续工作,采用了充电电池和太阳能电池组合工作,为防雷、雨损坏仪器,专门修建了防雷雨小屋和无线避雷器,保证了系统安全正常工作。

6 DZ-1 型监测仪系统的实际应用

该监测仪系统的研究是为中国地质环境监测院承担的《典型地区突发性地质灾害时空预警示范区建设》总项目提供监测示范区地质灾害岩土层含水量变化和渗透参数,以便进行地质灾害成因及区域万方数据

规律综合分析。监测仪已应用在雅安市雨城区李坝乡,监测效果十分明显。

6.1 测试地区地层情况和测试钻孔实际剖面情况

测点安排在雅安市雨城区李坝乡桥沟镇桑树坡一居民家门前空地。该地区地层岩性为蓬莱镇组(J2P),自上而下为棕红色泥岩和粉砂岩。采用钻孔法进行分层测试,钻孔实际剖面从地表面起划分为 4 层:第一层为 200 mm 段,第二层为 400 mm 段,第三层为 600 mm 段,第四层为 800 mm 段。第四层孔深 800 mm 已进入基岩,实钻深度为 1000 mm。

6.2 测试人员

周策、陈文俊、汤国起、周永刚。

6.3 探头埋设情况

仪器的测试探棒上,每隔 200 mm 布设传感器探头一个,共设置 4 个传感器探头,埋设在已打好的直径为 48 mm、深度为 1000 mm 钻孔内。因此,在钻孔剖面上 200 mm 位置为第一层测试点,400 mm 位置为第二层测试点,600 mm 位置为第三层测试点,800 mm 位置为第四层测试点。钻孔 800 mm 位置见基岩,第四层测试点是在基岩位置上。含水层监测曲线见图 2。

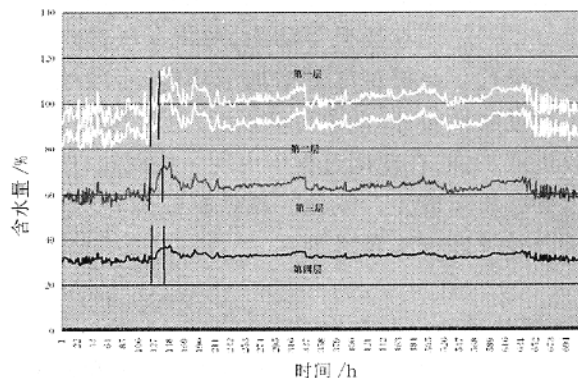


图 2 桑树坡含水量监测曲线图

7 结语

DZ-1 型地质灾害土层含水量监测仪系统采用 TDR 原理,能实时测量、采集岩土体各层含水量数据。与国外现用先进的土壤含水量测试 TDR 反射仪相比,本监测仪更适用于地质灾害监测,具有测量深度大、可测硬岩层、自动连续采集、存卡、无线遥测和无人值守等性能特点。引进 TDR(时域反射技术)和仪器,开发为地质灾害预测预报所需用的岩土层含水量监测仪,将降雨量、岩土层渗透性能、地质灾害成灾规律联系起来综合研究分析,是我国地质灾害监测预报发展的趋势。