

岩土层含水量分层监测系统的研究及应用

周 策, 刘一民, 陈文俊, 汤国起

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

摘 要: 开发为地质灾害预测预报所需用的岩土层含水量和渗透力测试仪, 并和气候雨量、地质灾害成灾规律联系起来, 是我国地质灾害监测预报发展的趋势。岩土层含水量分层监测系统是采用 TDR (Time Domain Reflectometry) 技术原理、方法研制的仪器, 通过波导棒探针发射的电磁波射入岩土层, 测量电磁波脉冲从波导棒的起点传播到接收末端的反射电压值, 此反射电压值与岩土体本身含水量介电常数有函数关系, 经过计算转换为测点岩土体体积含水量, 实时测量和采集地质灾害岩土层含水量和渗透力参数。介绍了该监测系统的基本原理、主要技术参数、监测工艺技术方法以及现场应用情况。

关键词: 含水量; 分层监测; 时域反射; 介电常数; 波导棒

中图分类号: P641.74; TH764 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2008)07-0068-04

Research on Multi-layer Monitoring System of Water Content in Rock and Soil Layers and Its Application/ZHOU Ce, LIU Yi-min, CHEN Wen-jun, TANG Guo-qi (The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: An early warning monitoring method for landslides based on quasi-distributed fiber optic stress sensing is presented in this paper. The principle of quasi-distributed fiber optic stress sensing and the monitoring method for landslides with the internal stress of landslides are described. According to the characteristics of the soil mass and the changes of stress which was detected by the system, through some applications of specific mathematical models, the movement can be predicted. With stress measuring range 0 ~ 15MPa, spatial resolution 2m, measuring distance 1km, the quasi-distributed fiber optic stress sensor and the warning monitoring system are designed. This landslide monitoring method has outstanding performance characteristics; for example, high-sensitivity, high spatial resolution, quasi-distributed measuring, easy networking to monitor landslides in the area and very good adaptability in project.

Key words: moisture content; layered monitoring; time domain reflection; dielectric constant; waveguide stick

0 引言

采用大气降雨强度进行地质灾害预测预报, 国内外在 20 世纪 50 年代就开始研究。美国、捷克、新西兰, 中国的香港、四川、陕西等都进行过这方面工作。但在这方面工作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、岩土体渗透能力、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

开展了大量的研究工作。

1 国内外研究现状、水平和发展趋势

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 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检测, 有的测量范围小, 精度低, 有的受温度和环境的影响大, 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, 随着电子技术的发展, TDR 时域反射法和采用此方法研制出的含水量测试仪器, 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。因此, 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

收稿日期: 2008-05-31

作者简介: 周策(1965-), 男(汉族), 四川人, 中国地质科学院探矿工艺研究所教授级高级工程师, 探矿工程专业, 从事机电仪器仪表设备研制开发工作, 四川省成都市郫县现代工业港(北区)港华路 139 号; 刘一民(1982-), 男(汉族), 四川人, 中国地质科学院探矿工艺研究所助理工程师, 信息工程专业, 从事地质灾害仪器仪表的研制及开发工作; 陈文俊(1978-), 男(汉族), 四川人, 中国地质科学院探矿工艺研究所工程师, 电子仪器及核技术专业, 从事地质灾害仪器仪表的研制及开发工作。

含水量和渗透力测试仪,并与气候雨量、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。

2 DZ 型地质灾害岩土层含水量测试仪系统原理概况

本监测仪系统采用先进的 TDR (Time Domain Reflectometry) 技术原理,实时测量、采集岩土层含水量和渗透参数。采用 TDR 时域反射原理和特制的元件,研制出更适用于野外监测使用的仪器。本仪器与国外现用先进的土壤含水量测试 TDR 反射仪相比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。

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,就能计算出土壤的容积含水量。

把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的水量有关,因此经过一定计算模式转换可测知某测点岩土体体积含水量。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%)时,或其他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,其可渗透性越小。

3 DZ 型岩土层含水量测试仪探头构成及主要技术性能

3.1 探头构成

如图 1 所示,本实例中的岩土层含水量微波分层探测器具有正、负微波电极 1、2,其特征是具有 2 个微波探测单元,各微波探测单元均包括一正微波电极 1、一负微波电极 2 和一绝缘筒体 3,同一微波探测单元中的正、负微波电极 1、2 固定在绝缘筒体 3 的外壁上并相互分离,在绝缘筒体 3 上设置有分别与正、负微波电极 1、2 导电连接的正电极引出导线接口 4 和负电极引出导线接口 5,在相邻微波探测单元的绝缘筒体 3 之间设置有连接筒体 6,所述各微波探测单元的绝缘筒体 3 依次经连接筒体 6 串联连接为一完整筒体,该完整筒体的一端封闭,在该完整筒体的另一端设置有信号线接口 7。

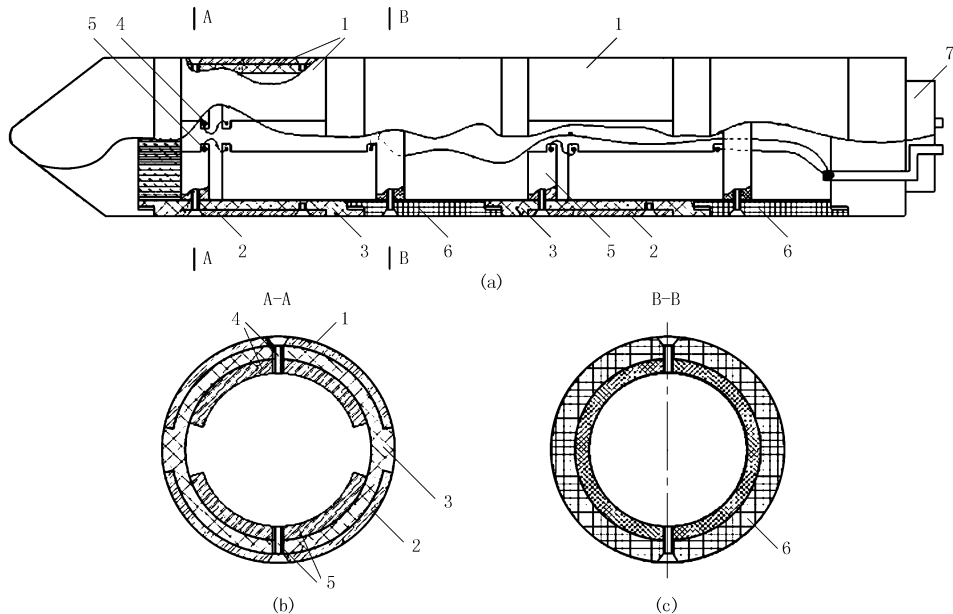


图 1 DZ 型岩土层含水量测试仪探头构成示意图

3.2 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:0 ~ $\pm 45\text{ }^{\circ}\text{C}$;

测量脉冲(频率)1 ~ 12 GHz;

电源:DC12 V/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, 串口输出存卡;

调制方式:FSK;

申请频率:220 MHz;

数据速率:1200 或 2400 bps;

信道误码率: $\leq 10^{-4}$;

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, 钻孔中非测量段在波导棒探头未下入之前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, 挖槽将微波电缆埋好, 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 显示屏上显示, 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作, 为防雨防雷损坏仪器专修防雷雨小屋和无线避雷器, 保证了系统安全正常工作。

6 监测系统的实际应用

本监测仪系统已应用在雅安市雨城区李坝乡, 监测效果十分明显(见图 2 ~ 5)。



图 2 监测仪系统



图 3 监测点现场

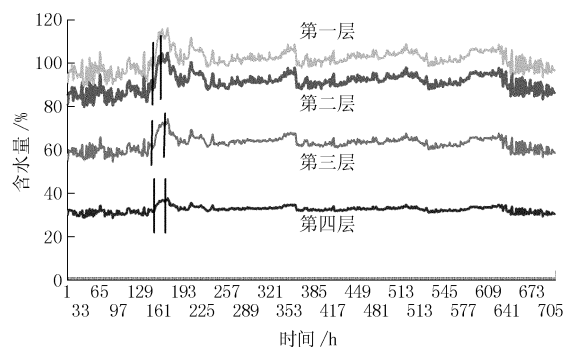


图 4 桑树坡含水量监测曲线

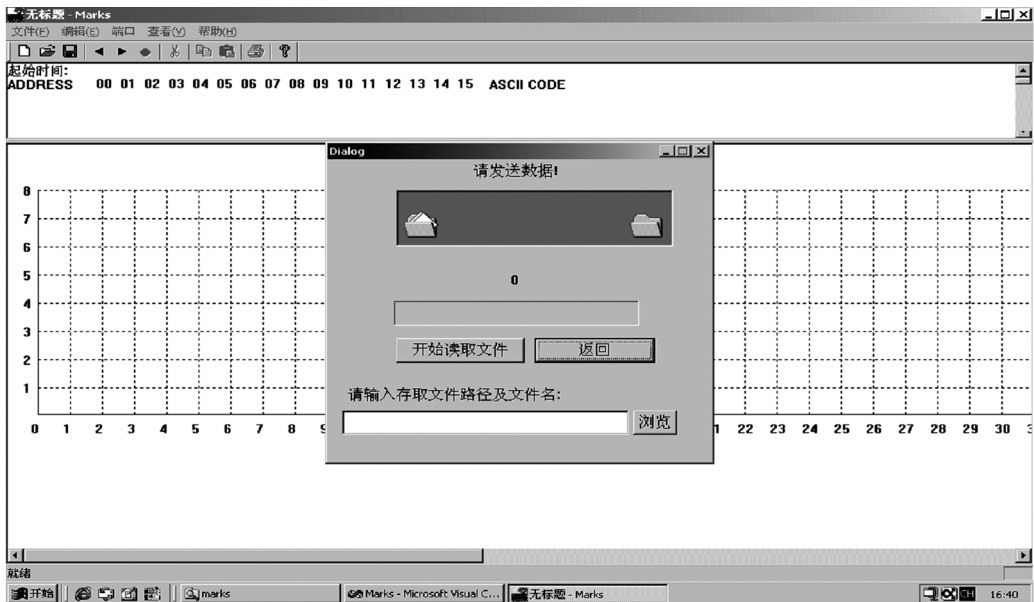


图 5 数据采集人机界面

DZ 型地质灾害岩土层含水量测试仪试制成功后,进行了室内外标定试验,并通过计量单位检测。

该型仪器 2002 年 9 ~ 11 月先后在雅安市雨城区李坝乡桥沟地区和四川内宜高速公路 K74 + 750 段右边坡(马儿崖)处,进行现场采样并进行烘干法、DZ 型仪器、HH1 型仪器(进口)3 种方法对比标定试验,经过 200 多个采样点对比试验。该型仪器于 2002 年 11 月 28 日在四川省内宜高速公路 K74 + 750 段边坡进行了无线遥测通讯,数据传输和接收性能良好。

2002 年 10 月 16 日和 11 月 28 日分别在四川内宜高速公路 K76 + 550 ~ 850 路段下边坡和四川雅安雨城区李坝乡桥沟监测点采取表层土下面的基岩试样,并用烘干法、DZ 型和 HH1 型仪器等 3 种方法作测量含水量对比试验,3 种方法测试结果相近,以烘干法为准,DZ 型仪器最大相对差值只有 0.0011 cm³,最大测量精度 3%,说明 DZ 型地质灾害岩土层测试仪可用于测量岩石的含水量。所测的基岩含水量都很小,取岩样穿过土壤水层和中间层进入到基岩层,其含水量变小很多,在基岩和近基岩区受降雨产流影响很小。

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周永刚家门前空地。该地区地层岩性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 测试时间和探头埋设情况

测试从 2003 年 7 月 8 日 11 时 21 分开始,2003 年 8 月 19 日 15 时 25 分结束。

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。

7 结语

该系统适用于地质灾害监测区野外的使用,具有测量深度深、可测介面硬层、自动采集、存卡、无线遥测和无人值守等性能特点。

采用高频电磁波时域反射原理研制各种型号的 TDR 土壤含水量测试仪在国外 20 世纪 80 年代就开始了,现已广泛应用和推广。国内开展这方面研究应用工作,目前只是起步阶段。建议今后要继续加强这方面应用研究,特别是在地质灾害岩土层含水量和渗透力测试方面能进一步给予支持,继续改进开发推广新产品,扩大使用领域和应用地区。