

GS-1 型滑坡光纤多参数监测系统的研究

周 策, 陈文俊, 刘一民, 汤国起

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 610081)

摘 要:开发一种自动化地质灾害滑坡光纤多参数监测系统,采用基于光纤光栅的反射中心波长随光纤光栅所受的应变或温度的改变产生移动,其波长移动量的多少直接反映应变或温度变化大小的工作原理。利用光纤光栅封装结构的变化,实现应变、应力、压力、温度、位移、振动等多种参量的测试;对多个光纤光栅的中心波长进行排布上的设计,则实现多点的准分布式测量,推动地质灾害监测技术的进步。

关键词:光纤光栅;地质灾害监测;应变;温度;位移;压力

中图分类号:TH76;P642.22 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)01-0031-04

Study on GS-1 Multi-parameter Fiber Monitoring System for Geological Disasters/ZHOU Ce, CHEN Wen-jun, LIU Yi-min, TANG Guo-qi (The Institute of Exploration Technology of CAGS, Chengdu Sichuan 610081, China)

Abstract: According to the shift of reflected central wavelength of fiber grating caused by the changing of strain or temperature, an automatic multi-parameter fiber monitoring system was developed for geological disaster monitoring, and the amount of wavelength shift directly reflect changing amount of the strain and the temperature. The monitoring on strain, stress, pressure, temperature, displacement and vibration was realized by the changing of fiber grating encapsulation style and dot-quasi-distributing measure was realized through the design of arrangement for multiple central wavelengths of fiber grating to improve the technology of geological disasters monitoring.

Key words: fiber grating; geological disaster monitoring; strain; temperature; displacement; pressure

中国是一个地质灾害多发的国家,其灾害分布广、突发频繁、影响大、严重威胁着人民生命和财产的安全。此外,滑坡灾害对桥梁、水利、建筑、公路、铁路等工程建设危害巨大。除救灾治灾外,为了使灾害发生损失减少到最低限度,加强灾害监测预警预报和预防是减灾防灾不可缺少的一项重要工作。

光纤布拉格光栅(FBG)是一种新兴的在光纤通信、光纤传感等光电子技术领域有着广泛应用前景的光纤器件,使用较方便、费用较低、精度最高、解算较简单,敏感位置与传感器对应,可作为精确量测使用,且通过敏感衬底的变换可敏感多种物理量。作为温度与应变元件,光纤光栅将被测的信息转化为其反射波长的移动,即进行波长调制,因此测量精度不受到光功率波动,具有更高的测量精度、稳定性与工程实用性。另外光纤光栅还具有抗电磁干扰、抗腐蚀等优点,以及准分布式传感与易组网等特有的优势与特点,尤其适合山体滑坡等地质灾害监测的特殊要求。

1 GS-1 型滑坡光纤多参数监测系统结构原理

1.1 系统整体介绍

收稿日期:2009-09-30

作者简介: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项目经理、教授级高级工程师,探矿工程专业,从事钻探工程及地质灾害治理仪器、设备研制开发工作,四川省成都市一环路北二段1号,zhoucecn@yahoo.com.cn。

本监测系统利用光纤光栅的反射中心波长随光纤光栅所受的应变或温度的改变产生移动,其波长移动量的多少直接反映应变或温度大小的工作原理。利用光纤光栅封装结构的变化,实现应变、应力、压力、温度、位移、振动等多种参量的测试;对多个光纤光栅的中心波长进行排布上的设计,则实现多点的准分布式测量。在安装钢管上敷设多点光纤光栅传感阵列,结合反射探测与F-P扫描光滤波技术,实现滑坡体监测点的多参量、准分布式监测。该监测系统采用光通信用的标准单模光纤,滤波器采用高精度的F-P扫描滤波器,光源采用宽带SLED光源,探测器选用高灵敏度的PIN光电二极管,并采用10 bit、100 M的A/D转换器和嵌入式CPU板作为后续的信号处理与控制单元组成传感系统。

1.2 光纤光栅工作原理

假设光敏光纤在紫外光照射下,纤芯的折射率发生有规律的变化,形成周期性的折射率分布结构,即构成了光纤光栅。当宽谱的入射光入射到光纤光栅上,在满足Bragg条件的情况下,就会发生全反射,其反射光谱在Bragg波长 λ_B 处出现峰值,光纤

光栅的反射谱与透射光谱特性如图 1 所示。

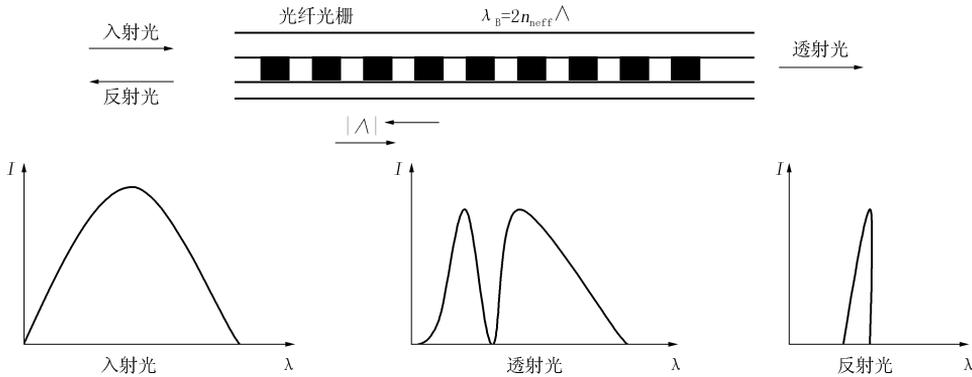


图 1 光栅的反射谱与透射光谱

其中 n_{eff} 为纤芯的有效折射率, Λ 为折射率变化的周期(即栅距)。布拉格光栅的布拉格反射波长 λ_B 受温度和应力的影响会发生波长偏移:

$$\Delta\lambda_B/\lambda_B = (1 - p_e)\epsilon + (\alpha + \xi)\Delta T \quad (1)$$

式中: p_e ——有效弹光系数; α ——热膨胀系数; ξ ——热光系数(应变量); ΔT ——温度的变化。

基于这两种效应,布拉格光栅可作为敏感元件用于应变与温度的测量。在温度不变的情况下,如果光纤光栅的拉伸是各向同性且均匀的,则光纤布拉格光栅的布拉格波长变化和光纤的单位伸长量的关系可取:

$$\Delta\lambda_B/\lambda_B = 0.78KG \quad (2)$$

式中: K ——材料的拉伸系数; G ——所加应力。

在应力不变的情况下,如果温度变化,光纤光栅的布拉格波长也会发生偏移,波长偏移量和温度的变化的关系为:

$$\Delta\lambda_B/\lambda_B = 6.7 \times 10^{-6} \Delta T \quad (3)$$

式中: ΔT ——温度变化量, $^{\circ}C$ 。

布拉格波长的变化量与温度变化量或所加应力成线性关系。

对布拉格反射波长方程进行求导变换,可找出布拉格光栅传感器的一阶应变灵敏度为:

$$K_{\epsilon} = \frac{d\lambda_B}{d\epsilon} / \lambda_B = 1 - P_e \quad (4)$$

式中: P_e ——有效弹光系数; K_{ϵ} ——二阶应变灵敏度。

$$K_{\epsilon^2} = \frac{d^2\lambda_B}{d\epsilon^2} / \lambda_B = (1 - P_e)^2 + 2P_e^2 \quad (5)$$

由于应变引起的布拉格波长变化量为:

$$\Delta\lambda_B = K_{\epsilon}\epsilon + (1/2)K_{\epsilon^2}\epsilon^2 \quad (6)$$

温度灵敏度为:

$$K_T = \frac{d\lambda_B}{dT} / \lambda_B = \alpha + \xi \quad (7)$$

式中: α ——光纤的热膨胀系数; ξ ——光纤的热光系数。

由式(7)可以发现,温度灵敏度与材料的热膨胀系数有关,因此其温度灵敏度不高,但将光栅粘接或埋置于另一种材料中,利用这种材料的热膨胀引起光栅周期改变,可以提高布拉格光栅的温度灵敏度。

1.3 光纤光栅传感波长解调方法的选择

要对应变或温度进行精确测量,就必须实现对待测量所引起的波长调制进解调,即得到与被测量直接相关的波长偏移量。从技术发展的角度看,用于光纤光栅波长解调的方案归纳起来可分为 4 种:宽带光源结合宽带滤波或边缘滤波器光接收;宽带光源结合可调窄带光接收;宽带光源结合干涉光接收;可调谐窄带光源结合宽带光接收。

本监测系统采用宽带光源/可调谐 F-P 滤波法,其系统结构如图 2 所示。

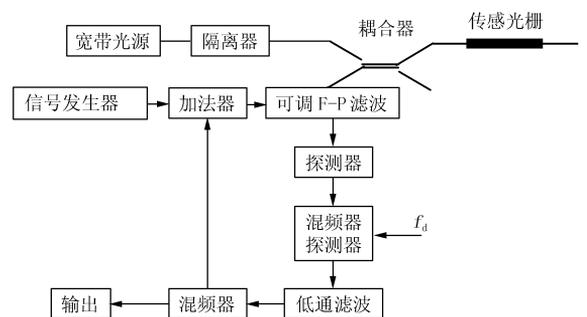


图 2 可调谐 F-P 滤波法解调系统框图

该波长解调系统以光纤 F-P 滤波器为中心。当光纤 F-P 滤波器的窄通带与传感光栅的反射中心波长匹配时,滤波器输出光强最大,通过对光纤 F-P 滤波器加锯齿波扫描电压,即得到光纤光栅的

反射光谱波形,最后结合一定的软件数字算法处理,就可求出波长的偏移量。由于 F-P 滤波器扫描求解传感光栅的反射光谱是一个卷积过程,为提高传感系统的分辨率,通常在锯齿波扫描电压上叠加一个交变信号。可调谐 F-P 滤波法解调的传感系统的分辨率、动态范围取决于光纤 F-P 滤波器的性能。

2 GS-1 型滑坡光纤多参数监测系统实施方案

根据地质灾害监测系统参数指标的要求,同时结合工业实际应用的需要,采用宽带光源结合可调谐 F-P 滤波解调的系统总体方案。系统既具有高精度的波长分辨率,又满足工业环境长期运行稳定性的要求。通过多个光纤光栅传感器中心波长不同的设计,即以波分复用形成光栅传感阵列;监测系统用 F-P 扫描滤波完成对传感器阵列中各传感光栅的定位识别。地质灾害监测系统采用高速 A/D 转换与嵌入式计算机技术,保证监测系统可以快速地处理与分析大量的光谱数据;独有的滤波扫描解调软件,保证系统测量的准确性与稳定性。地质灾害监测采用模块化的设计思路(见图 3),系统分为 6 个模块,即宽带光源模块、波长解调与分析模块、光通道模块、信号处理与数据分析模块、电源模块、光栅传感阵列。宽带光源模块由 SLED 半导体光源、驱动电路以及光谱稳定控制电路等组成。波长解调与分析模块由光纤 F-P 滤波器、扫描控制电路、光电检测电路组成。光通道模块由光开关、控制电路组成。信号处理与数据分析模块则由 A/D 采样、嵌入 CPU 板、软件模块等组成。光栅传感阵列由一组光纤光栅,并按照被测量的需求进行封装,然后用单模光纤进行串联。

带光源结合可调谐 F-P 滤波解调的系统总体方案的基础上,确定地质灾害监测系统的主要功能如下。

3.1 周期测试功能

地质灾害监测系统的波长解调与分析模块以用户指定的测试周期,连续不断对监测对象进行数据采集、分析,并建立测量数据的历时数据库。

3.2 点名测试功能

根据用户指定测试对象或测试区域,进行快速的定位测试,并给出数据分析结果。

3.3 告警监测功能

由用户设置监测对象的被测物理量的监测阈值,对监测对象进行超阈值告警或超变化速率告警,同时将告警信息远程传输到监测中心或管理人员。

3.4 监测数据分析、远传与组网监测功能

通过对监测数据分析,并进行快速的定位。所有的测量数据及数据分析结果通过 GPRS 传输到监测中心或管理人员。因此监测系统可根据用户需要组建区域监测网。

4 GS-1 型滑坡光纤多参数监测系统参数指标

- 最大测量距离:1000 m;
- 最大测量点数:30;
- 监测量:应变、压力、温度、位移;
- 单通道响应频率:≤300 Hz;
- 监测通道数:4;
- 应变测量范围:±1000 με;
- 温度测量范围:-20 ~ +80 ℃;
- 应变测量精度:±3 με;
- 温度测量精度:±0.5 ℃;
- 压力测量范围:0.5,5,15 MPa;
- 位移测量范围:0 ~ 10,0 ~ 50,0 ~ 100 mm;
- 位移测量精度:±0.5% F·S。

5 宜宾市喜捷场滑坡的应用

2008 年,北京中色资源环境工程有限公司进行了宜宾市喜捷场滑坡治理工程,应该公司的要求,我们将光纤光栅地质灾害监测系统运用于宜宾市喜捷场滑坡,进行滑坡监测预警,同时也能检验滑坡治理工程的效果。

仪器于 2008 年 12 月~2009 年 9 月在宜宾市喜捷场滑坡进行了约 10 个月的监测,获取了大量的监测数据。2008 年 12 月中旬进行光纤光栅传感器的埋设,先根据当地地质结构的具体情况,打入基岩以下,基本确定滑带位置。然后通过罗盘固定主滑方

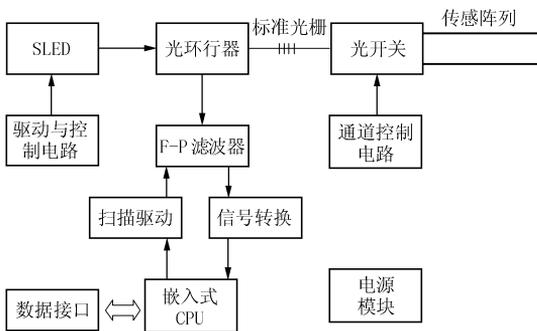


图 3 系统总体方案框图

3 GS-1 型滑坡光纤多参数监测系统整机功能

根据地质灾害监测的实际应用需要,在采用宽

向,将安装好光纤光栅传感器的测量管放入监测钻孔中,使其传感器正对主滑方向,并进行记录,将孔号和传感器号对应一致。最后进行注浆并进行首次测量,测试传感器的安装情况。2009年1月初,泥浆已经凝固,我们再赴现场进行初测,将传感器的数据情况一一记录。初测后,2009年2~9月,我们又共进行了7次测量,获取大量的监测数据,对山体滑动的趋势有初步判断。从数据分析结果来看,所受应力、变形均不大,滑坡治理的效果初见成效。监测时间从冬季到夏季(5~8月),其中雨季加强了监测的频率,获取了更多的监测数据。

6 结论及建议

光纤光栅地质灾害监测系统是一款高精度、高分辨率、多功能、多通道的设备,适应各种场所的应用。准分布式光纤光栅(FBG)传感器技术主要具有以下优点:

- (1)波长编码是一种绝对测量方式,具有自校正功能;
- (2)抗干扰能力强;
- (3)探头结构简单,尺寸小;
- (4)测量结果具有良好的重复性;
- (5)便于构成各种形式的光纤传感网络;
- (6)光纤光栅的写入工艺日渐成熟,便于规模生产。

该监测系统不仅适用于现场测量,还具有高精度的光谱分析功能,可以给出不同物理条件传感器反映出的光谱形状如何变化,而不仅仅是给出FBG中心波长的变化。该系统适合开发大容量特定传感系统的前期应用和长期现场测量。该监测系统尤其适合需要大量使用传感器的传感系统。使用USB、RS232串行接口使得数据的处理与远程传输得心应手。用户可以随意选择波长、应力、温度、光谱等显

示选项。该监测系统对恶劣环境适应良好,如在石油钻井平台和桥梁监测的露天控制室,温度、湿度、冲击和震动随时都可能改变和出现。所以为了保持测量精度和重复性,全部关键部件经过高可靠性设计,在 $-10 \sim +50$ ℃范围内正常工作。同时采用实时动态校准,通过高精度的波长标准具,保证系统的测试精度要求。直接采用光纤应变传感器对滑坡崩塌岩体滑体推力、位移、温度进行监测,预测预报其灾害的发生,对滑坡崩塌岩体防治工程的监测,检测其施工质量,都有十分重要的现实意义。

建议滑坡治理工程应有机地结合滑坡监测工作进行,在滑坡治理过程中及实施治理工程后一定时间内,均须加强对滑坡体的变形监测,在滑坡周界及滑坡体内建立有效的监测网点,在指派专业技术人员开展滑坡变形监测的同时,还应积极发动当地群众对滑坡变形体展开群测群防,做到有效预警预报,确保当地居民的生命财产安全。

参考文献:

- [1] Qiao Jianping. Theory and Practice for Hazard Reduction Landslide[M]. Beijing: Science Press, 1997.
- [2] J. Tapia-Mercado, A. V. Khomenko. Precision and Sensitivity Optimisation for White-light Interferometric Fiber-optic Sensor[J]. J. Lightwave Technol, 2001, 19(1): 70-74.
- [3] Li Shang-jun, Liu Yong-zhi. Research on Distributed Optical Fiber Stress Sensor with High Stress Sensitivity and High Special Resolving Power[J]. Journal of UESTC, 2000, 4(29): 373-386, 807.
- [4] 廖延彪. 光纤光学[M]. 北京:清华大学出版社, 2000. 167.
- [5] 国分泰雄. 光波工程[M]. 北京:科学出版社, 2002. 242.
- [6] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2001. 195-197.
- [7] 郑小平, 查开德, 廖延彪. 工程结构光纤应变传感器[J]. 光电工程, 1997, 24(5): 15-21.
- [8] 孟爱东, 骆飞. 大型结构应变场光纤分布监测系统[J]. 光电工程, 2001, 28(2): 23-26.

福州市国土资源局全面部署 2010 年地质灾害防治工作

福建省国土资源厅网站消息 1月15日,福州市国土资源局召开全市国土资源系统地质灾害防治工作会议,总结2009年地质灾害工作经验,部署2010年地质灾害防治工作。

会议要求各地抓紧年前有利时机,及早安排编制2010年度地质灾害防治方案,组织技术力量并会同同级建设、水利、交通等部门,对辖区内地质灾害易发区域进行全面排查,划定重点防控区,明确防灾措施,于3月底前编制完成2010年地质灾害防治方案。

会议还明确今年地质灾害防治工作重点,要各地抓紧推进县(市、区)地质灾害详细调查工作,上半年内完成地质灾

害详细调查有关工作部署,在年内完成详细调查任务,为地质灾害防治规划修编、搬迁避让、工程治理措施部署、群测群防体系建设等提供基础数据。进一步修编完善《村(居)汛期地质灾害防御群众转移预案》,加强地质灾害预报预警系统建设,以短时、降雨集中区为重点,结合地质灾害危险性敏感分区,探索建立“系统分析法”地质灾害区域自动化预报预警模型。完善群测群防网络建设基础台帐制度,逐点落实防灾责任人、监测人,逐级明确汛期防灾联系人和主管领导,并将防灾网络建设情况列为今年3月汛前检查的主要内容之一进行重点检查。