

文章编号:1671-251X(2013)09-0005-03

DOI:10.7526/j.issn.1671-251X.2013.09.002

赵佰亭,祝龙记,魏蓝蓝.煤矿巷道顶板离层结构健康监测系统设计[J].工矿自动化,2013,39(9):5-7.

煤矿巷道顶板离层结构健康监测系统设计

赵佰亭¹, 祝龙记¹, 魏蓝蓝²

(1. 安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001;

2. 江苏省大丰市经济开发区管理委员会, 江苏 大丰 224100)

摘要:针对现有煤矿巷道顶板离层监测主要采用机械式顶板离层仪,存在观测不方便、误差比较大、数据实时性差等问题,设计了煤矿巷道顶板离层结构健康监测系统。该系统通过光纤位移传感器自动测量巷道顶板离层的位移状况,采用计算机监测巷道顶板离层结构的应变、位移等参数,评价离层结构的安全性,进而维护结构的健康。实际应用表明,该系统具有实时观测、误差小、效率高等优点。

关键词:煤矿巷道;顶板离层;健康监测;宽带光源;光纤光栅位移传感器

中图分类号:TD322 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Design of structure health monitoring system for coal mine roadway roof separation

ZHAO Bai-ting, ZHU Long-ji, WEI Lan-lan

(1. School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of

Science and Technology, Huainan 232001, China;

2. Dafeng Economic Development Zone Management Committee, Dafeng 224100, China)

Abstract: In view of problems of inconvenient observations, bigger error and poor data real-time performance existed in monitoring for coal mine roadway roof separation with mechanical device, the paper designed a structure health monitoring system for coal mine roadway roof separation. The system uses optical fiber displacement sensor to measure displacement condition of roadway roof separation automatically, adopts computer control program to monitor strain and displacement of coal mine roadway roof separation, and evaluates security of structure, thus safeguards the health of the structure. The practical application shows that the system has advantages such as real-time observation, small error and high efficiency.

Key words: coal mine roadway; roof separation; health monitoring; broadband light source; fiber grating displacement sensor

0 引言

巷道顶板离层由于环境荷载作用、疲劳效应、腐蚀效应和材料老化等灾变因素的耦合作用,结构不可避免地会产生损伤累积和抗力衰减,从而造成抵抗自然灾变能力的下降,甚至引发突发事件。鉴于该情况,急需采取有效的手段来监测和评估巷道顶

板离层安全、修复和控制损伤,以确保结构和设施的使用安全^[1]。现阶段煤矿巷道顶板离层监测主要采用机械式顶板离层仪,由技术人员现场观测、手工抄录的方式记录数据,存在着观测不方便、误差比较大、数据实时性差等缺点^[2]。鉴此,笔者设计了一种巷道顶板离层结构健康自动监测系统。该系统可以通过光纤位移传感器自动测量巷道顶板离层的位移

收稿日期:2013-04-30。

基金项目:安徽理工大学博士基金资助项目(11223);安徽理工大学青年教师科学研究基金资助项目(2012QNZ06)。

作者简介:赵佰亭(1981—),男,山东枣庄人,讲师,博士,主要研究方向为智能控制、故障诊断,E-mail:zhaobaiting@126.com。

状况,并实时传输到地面监控中心,通过管理计算机对数据进行处理,可以精确反映煤矿巷道顶板离层的实时状况^[3],有助于工作人员及时准确地掌握巷道顶板的离层情况,把握巷道顶板的离层规律,及时对离层比较严重的区域加强支护,有效避免塌方事故的发生^[4]。

1 总体方案设计

煤矿巷道顶板离层结构健康监测系统由设备级、控制级和管理级组成,可对巷道顶板离层结构的应变、位移等参数进行监测,评价离层结构的安全性,进而维护结构的健康。首先由宽带光源给光纤光栅位移传感器提供宽光谱范围光,然后分光器和光电转换模块对反射光进行分光 and 光电转换。通过对光电转换后的信号进行采样,提供给上位机进行分析和处理,进而分析出离层产生的位移量,依据各种静动力指标综合评估离层的健康状况。系统结构如图 1 所示。

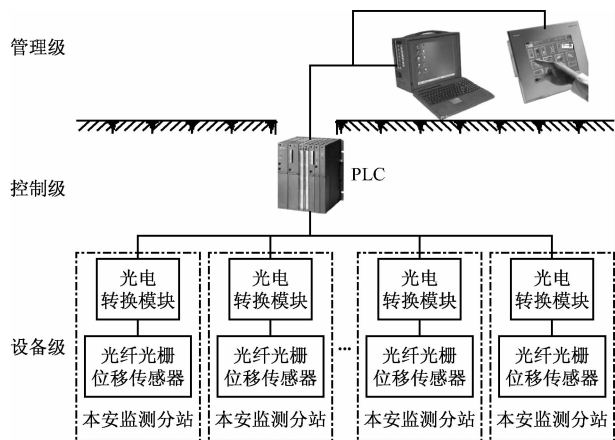


图 1 煤矿巷道顶板离层结构健康监测系统结构

针对煤矿的安全需求,本系统采用了本安设计和隔爆设计的双重安全防护措施,确保井下使用的安全性。

2 系统设备级原理及实现

系统设备级包括光纤光栅位移传感器、宽带光源、分光器和光电转换模块。宽带光源输出宽光谱范围光,经耦合器入射到光纤光栅位移传感器,由于光纤纤芯的折射率不同,满足 Bragg 条件的入射光将发生反射。在位移、温度等外界因素的作用下,可引起光纤光栅的微小形变,并使光纤光栅的反射波长发生变化,产生传感效应。根据反射波长变化大小即可计算出巷道顶板离层位移的变化。反射光经由分光器分光后,由光电转换模块转换为电信号,采

用 PLC 控制器对信号进行采集和 AD 变换,传输给上位机进行数据处理。上位机软件依据获得的数据,可以计算出反射波长变化大小,进而计算出巷道顶板离层位移的变化量,实现实时监测巷道顶板离层的结构健康状况。

2.1 光纤光栅位移传感器

光纤光栅是一种新型的光子器件,它是在光纤中建立起的一种空间周期性的折射率分布,可以改变和控制光在光纤中的传播行为^[5]。在光纤光栅传感过程中,可根据耦合模理论进行分析。当光入射到光纤光栅后,在满足 Bragg 条件下,入射光将发生反射,反射光谱在 Bragg 波长处出现峰值,其波长为 $\lambda_B = 2n\Lambda$ 。在应力、应变、温度等外界因素的作用下,可引起光纤光栅的微小形变,使栅格间距 Λ 或模式有效折射率 n 发生变化,并使光纤光栅的中心波长发生变化,产生传感效应。根据波长变化大小即可计算出待测物理量(如应力、应变、温度、位移等)的变化。波长变化可用式(1)计算:

$$\Delta\lambda_B = 2n\Lambda \left\{ \left[1 - \frac{n^2}{2}(P_{12} - \nu P_{11} + \nu P_{12}) \right] \epsilon + \left(\alpha + \frac{dn/dT}{n} \right) \Delta T \right\} = \lambda_B (K_T \Delta T + K_\epsilon \epsilon) \quad (1)$$

式中: λ_B 为光的波长; n 为有效折射率; Λ 为光栅的周期或栅格间距; P_{11} , P_{12} 为光纤的光学应力张量分量; ν 为泊松比; ϵ 为光纤所受的纵向应变变量; ΔT 为温度变化量; K_T 为光纤光栅的温度灵敏度; K_ϵ 为应变灵敏度。

当光纤光栅受到外场(应变场或温变场)作用时,利用光检测仪器测量光纤光栅的反射或透射波长的变化,即可获得相应外场(应变场或温变场)的定量信息。

2.2 宽带光源

宽带光源是光纤光栅传感尤其是分布式光纤光栅传感系统中的重要器件,设备级选用了以掺铒光纤中增益介质超荧光谱为基础的宽带光源,具有易于和光纤光栅传感系统耦合、温度稳定性好、3 dB 谱宽宽、模式好等一系列优点。通过选择泵浦功率、掺铒光纤的长度,可以得到符合系统要求的光源。

2.3 光电转换

光电转换技术是光纤光栅传感技术中重要的组成部分,它的性能将直接影响传感系统的性能。光电转换是将经光纤传送的光信号经组件内的光电二极管还原成电信号。光电转换原理如图 2 所示,

为了使光电二极管工作,设计了直流偏置电路。有时为了输入和输出有良好的阻抗匹配,组件内还需配置阻抗匹配网络。

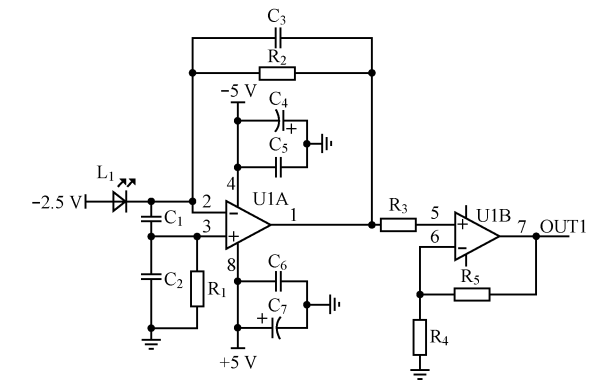


图2 光电转换原理

3 系统控制级功能及实现

控制级是连接管理级和设备级的桥梁,采用S7-400系列PLC实现对宽带光源、分光器和光电转换模块的控制功能,并对光电转换后的信号进行采样。采样后的数据通过Profibus总线传输给上位机分析和处理。控制级主要软件流程如图3所示。

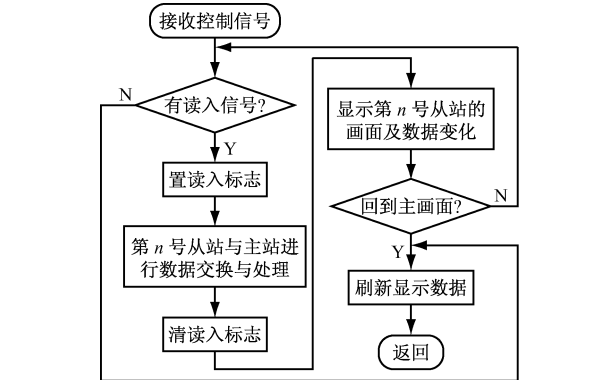


图3 控制级主要软件流程

4 系统管理级上位机软件设计

系统管理级上位机软件功能结构如图4所示。现场的光纤光栅位移传感光波长信号经分光和光电转换后输入PLC,转换成数字量传输给上位机分析处理。所有监测数据由数据库管理系统处理后形成顶板离层状况监测综合数据库。利用该数据库,巷道顶板离层健康状况评估专家系统能依据各种静动力指标综合评估离层的健康状况,实时监测离层产生的位移。同时,可与其他巷道离层的健康监测系统建立连接,组合成整个煤矿的离层监测管理中心。

上位机软件包括实时棒图、实时报表、历史曲线、历史数据查询、进尺曲线、日报表查询、实时报警

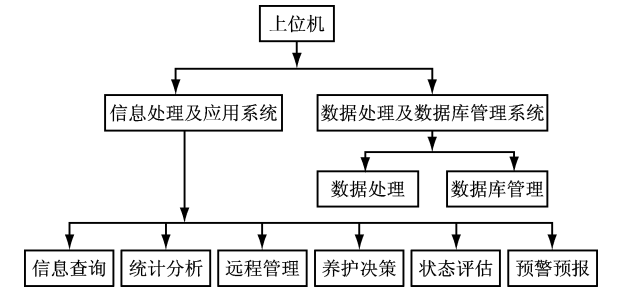


图4 上位机软件功能结构

窗口、历史报警查询8个部分。实时棒图会在对应分站上方显示柱状图,下方对应显示数值;日报表查询可在当前报表中显示所查询日期的数据,并且支持打印功能;实时报警窗口可实时显示报警器的报警状态;历史报警窗口可记录报警器的报警状态,报警状态分高限报警和变化率报警2种。

5 结语

煤矿巷道顶板离层结构健康监测系统利用光纤光栅位移传感器的无损传感特性来分析、探测顶板离层结构的状态变化,揭示煤矿巷道顶板离层结构性能的劣化。通过对顶板离层结构的应变、位移、温度等最能反映离层结构安全状态的参数进行监测,来评价离层结构的安全性、完整性和耐久性,从而可及早发现顶板离层可能出现的塌方,结合位移识别技术确定可能塌方的位置、评估离层的受损程度,进而维护顶板离层结构的健康。通过在淮北杨庄煤矿的实际应用表明,该系统具有误差小、效率高等优点。该系统也可在桥梁、隧道等领域推广应用。

参考文献:

[1] 王鹏. 煤矿巷道顶板离层自动监测系统设计[D]. 济南: 山东大学, 2010.

[2] 周李兵, 孙骏驰. 煤矿巷道顶板离层监测系统设计[J]. 工矿自动化, 2012, 38(4): 93-97.

[3] 张勇, 闫相宏, 宋扬. 基于网络的煤矿巷道顶板离层计算机监测预报系统研究[J]. 矿业安全与环保, 2008, 35(6): 29-33.

[4] YANG Jie, MENG Guoying, WANG Daoyou. The design of mining roadway roof abscission layer monitoring system based on wireless network transmission [C]// International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment, Jiaozuo, 2010: 1-4.

[5] 王静. 光纤光栅位移传感系统开发及在海底隧道安全监测中的应用研究[D]. 济南: 山东大学, 2011.

[6] 王志敏. 嵌入式工业以太网技术在煤矿监控系统中的应用[J]. 煤矿机械, 2011, 32(4): 231-232.