

分析研究

文章编号: 1671-251X(2011)02-0026-03

DOI: CNKI: 32-1627/TP.20110124.1108.012

# 光纤 bragg 光栅在煤矿安全中的应用探讨

刘水文

(中煤科工集团常州自动化研究院, 江苏 常州 213015)

**摘要:** 介绍了光纤 bragg 光栅传感原理, 阐述了光纤 bragg 光栅传感技术在矿山防治煤岩动力灾害、火灾和水灾中的应用。基于光纤 bragg 光栅传感原理研制的传感器通过测量光的波长可测量应变、应力、温度、位移、压强等物理量, 具有抗电磁干扰、易于传输、测量精确和准分布式测量等优点, 在煤矿安全监测中具有广泛的应用前景。

**关键词:** 煤矿安全; 光纤 bragg 光栅; 光纤 bragg 光栅传感器; 动力灾害; 应力; 温度; 应用

**中图分类号:** TD76      **文献标识码:** B      **网络出版时间:** 2011-01-24 11:08

**网络出版地址:** <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110124.1108.012.html>

Discussion on Application of FBG in Coal Mine Safety

LIU Shuiwen

(Changzhou Automation Research Institute of China Coal Technology and Engineering Group Corporation, Changzhou 213015, China)

**Abstract:** Sensing theory of FBG was introduced and applications of FBG sensing technology in preventing and controlling dynamic disaster of coal and rock, mine fire and water were expounded. Sensors based on the sensing theory of FBG can measure physical parameters such as strain, stress, temperature, displacement, pressure by measuring light wavelength, which have advantages of anti-EMI, easy transmitting, accurate measurement, quasi-distributed sensing, etc. It has a wide application prospect in coal mine safety monitoring.

**Key words:** coal mine safety, FBG, FBG sensor, dynamic disaster, stress, temperature, application

## 0 引言

煤矿安全是煤炭行业健康发展的重要问题, 煤与瓦斯突出、冒顶、火灾、水灾、冲击地压等煤矿主要灾害直接威胁着煤矿的安全生产和工人的生命健康。对煤矿井下各种气体浓度、设备的开关状态、井巷煤壁变形等与安全相关的指标进行监测监控, 能够有效地减少煤矿安全事故的发生, 确保煤矿安全高效生产。煤矿井下阴暗潮湿、空间有限、电磁干扰

严重等因素导致煤矿安全监测要求较高的安全监测技术。光纤检测技术是利用外界因素使光在光纤中传播时光强、相位、偏振态和波长等特征参量发生变化, 从而对外界因素进行监测和信号传输的技术。光纤传感技术的研究始于20世纪70年代末, 光纤 bragg 光栅 (FBG) 是光纤传感技术发展的最新阶段, 它是一种性能优良的反射滤波无源敏感元件, 通过布拉格反射波长的移动来感应外界微小应力、应变变化而实现对结构在线测量。光纤 bragg 光栅传感器具有不怕恶劣环境、抗电磁干扰、易于传输、测量精确和准分布式测量等优点, 因此, 光纤 bragg 光栅传感技术在煤矿安全监测中具有广泛的应用前景和重大的社会效益。

收稿日期: 2010-10-20

作者简介: 刘水文(1984-), 男, 湖南郴州人, 硕士, 2010年毕业于中国矿业大学(北京)安全技术及工程专业, 现主要从事煤矿安全技术方面的研究工作。E-mail: liushuiwen@hotmail.com

## 1 光纤 bragg 光栅传感原理

光纤 bragg 光栅是利用光纤材料的光敏性(外界入射光子和纤芯内锗离子相互作用引起的折射率永久性变化),在纤芯内形成空间相位光栅,其作用实质是利用空间相位光栅的布拉格散射波长特性在纤芯内形成一个窄带的滤光器或反射镜。光纤 bragg 光栅的工作原理<sup>[1]</sup>如图 1 所示。

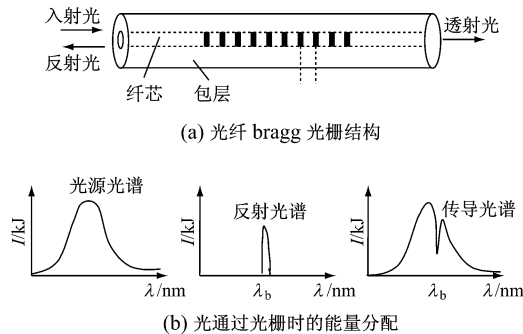


图 1 光纤 bragg 光栅的工作原理

当一束宽光谱光经过光纤 bragg 光栅时,通常的光会直接穿过光栅继续向前传导,只有满足光纤 bragg 光栅布拉格条件的特定波长的光才会产生反射,反射光的峰值波长称为布拉格波长  $\lambda_b$ , 其与光栅周期  $\Lambda$  的关系:

$$\lambda_b = 2n_{\text{eff}} \Lambda \quad (1)$$

式中:  $n_{\text{eff}}$  为光纤纤芯的有效折射率。

由式(1)可知,任何引起纤芯有效折射率  $n_{\text{eff}}$  和光栅周期  $\Lambda$  变化的物理过程都会引起反射波长的漂移。由图 1 可知,无论是对光栅进行拉伸、压缩,还是温度的热光效应和热胀冷缩效应,都会导致光栅周期  $\Lambda$  的变化。另外,光纤本身所具有的弹光效应使得纤芯的有效折射率  $n_{\text{eff}}$  也随应力状态的变化而变化。因此,应力应变状态和温度的变化都会引起反射光波长发生相应的变化。

由于应力应变状态而引起的波长变化量:

$$\Delta\lambda_{\epsilon} = (1 - a) \Delta\epsilon\lambda_b \quad (2)$$

式中:  $\Delta\lambda_{\epsilon}$  为应变引起的波长变化量;  $a$  为弹光系数;  $\Delta\epsilon$  为应变变化量。

由于温度而引起的波长变化量:

$$\Delta\lambda_t = (\alpha + \beta) \Delta T\lambda_b \quad (3)$$

式中:  $\Delta\lambda_t$  为温度引起的波长变化量;  $\alpha$  为光纤的热光系数;  $\beta$  为光纤的热胀冷缩系数。

基于该原理制造的传感器通过测量光的波长来测量应变、应力、温度、位移、压强等物理量,具有不怕恶劣环境、抗电磁干扰、易于传输、测量精确和准

分布式测量等优点。

## 2 光纤 bragg 光栅在煤矿安全中的应用

影响煤矿安全的事故主要有煤与瓦斯突出、冲击地压、冒顶、矿井火灾、水灾等,其中前三种事故可以统称为煤岩动力灾害。利用光纤 bragg 光栅传感技术可在线监测井下各物理量的实时数据,指导矿井灾害的防治工作。

### 2.1 煤岩动力灾害

煤岩动力灾害是指煤岩类材料在载荷作用下变形破裂演化而发生的突发性失稳或动力性破坏灾害,范围极广,涉及许多工程领域和自然灾害,如地震、地质滑坡、泥石流、火山喷发、溃坝、隧道塌方、岩石混凝土建筑物失稳等,在矿山主要有煤与瓦斯突出、冲击地压(或金属矿山岩爆)和顶板灾害等<sup>[2]</sup>。煤岩发生较大位移和应力变化是煤岩动力灾害的重要特征。掌握煤岩应力-应变规律,研究煤岩动力灾害的发生规律是预防煤岩动力灾害最根本的方法。传统的研究方法是现场采集各类煤样制作成原煤和型煤,在实验室的压力机上进行实验,得到煤岩的应力-应变规律,分析煤岩动力灾害的发生机理规律。通过大量的实验室研究,目前已经基本上掌握了煤与瓦斯突出、冲击地压等动力灾害的发生规律,但在实际应用过程中,必须清楚采掘过程中煤岩体的实际应力、应变变化情况,结合煤岩动力灾害的发生规律,才能对比分析,采取相对应的预防措施。基于光纤 bragg 光栅传感技术研制的应力、应变、温度传感器,安置在井下相应位置,即时采集煤岩的应力、应变和温度值,通过软件绘制出应力-时间、应变-时间、应力-应变和温度-时间的关系曲线。现场采集得到煤岩的应变-时间关系,即为现场煤岩的蠕变规律,了解了煤岩的蠕变规律,就能够有效控制煤与瓦斯的延时突出灾害。

随着工作面综采技术的逐步发展和回采工作面顶板事故防治技术的逐步提高,回采工作面顶板事故率逐渐下降,但是巷道的顶板事故率依然居高不下,因此,对巷道顶板情况进行实时监测、预警非常重要。毛灵涛、安里干等人<sup>[34]</sup>以自行研制的 GWG200(C)型光栅位移传感器为基础,建立了一套顶板离层及围岩变形实时自动监测系统,系统可以与煤矿安全监测系统相结合实现地面监测和现场遥控监测,采用总线布置可实现多条巷道的实时监测。柴敬等人<sup>[5]</sup>将光纤 bragg 光栅技术引入到锚杆支护质量的监测过程中,能够实时监测锚杆的应

力、应变值,确保矿井巷道顶板安全。

## 2.2 矿井火灾

矿井火灾是指井下发生的火灾以及井口附近发生的其火焰和有害气体可以随同风流进入井下威胁到矿井安全生产的火灾。矿井火灾发生的基本条件是可燃物、热源和氧气。矿井底下存在大量的可燃物,包括煤、坑木、电线、胶带、各类机电设备等;煤炭自燃、焊接、电气短路、机械摩擦、瓦斯爆炸产生的明火等都是引起火灾的热源;正常情况下,矿井不缺乏氧气。煤矿火灾防治的技术均是基于火灾这三个基本要素展开的,井下的可燃物和氧气无处不在,火灾预防技术主要针对热源,除了预防各种明火的产生,断层附近、高冒区、溜煤眼和采空区等处的煤炭自燃预测非常重要。

利用光纤 bragg 光栅传感技术制作矿井温度传感器和火灾探测器<sup>[6]</sup>,置于断层附近、高冒区、溜煤眼和采空区等煤体易燃区,长期在线监测温度信号,当温度信号上升超过了一定范围时,温度发生突变,说明火灾可能已经发生。通过现场试验,可以设定一个基于温度的火灾预警、报警系统。当达到预警温度时,立即采取措施控制温度,防止温度继续上升;当达到报警温度时,说明已经发生火灾,立即采取措施治理火灾。

井下灭火的措施主要有侦察火区确定火源、保护人员的安全撤离和控制风流。通过预先设置好的光纤 bragg 光栅温度传感系统,分析温度变化情况,判断火源位置。均压防灭火是一种常见的灭火技术,与其它技术措施相比具有实用性强、经济、简便、易操作的特点,在自然防治现场实践中得到了广泛应用<sup>[7]</sup>。在运用均压防灭火方法时,利用光纤 bragg 光栅传感器既可以在线监测到温度,还能监测到压力,达到均压灭火目的。

## 2.3 矿井水灾

矿井在建设和生产过程中,地面水和地下水通过各种通道涌入矿井,当矿井涌水超过正常排水能力时,就造成矿井水灾。矿井水灾是煤矿常见的主要灾害之一,一旦发生透水,不但影响矿井正常生产,而且有时还会造成人员伤亡,淹没矿井和采区,危害十分严重。因此,在工作面回采过程中,应该通过专门设计的技术方法对煤层与含水层之间的隔水层中应力场变化、应变场变化、水压力场变化和水温度场变化进行实时监测和动态分析,达到对突水条

件和突水可能性的超前预警,从而避免突出性突水灾害的发生<sup>[8]</sup>。

煤矿井下环境复杂、电磁干扰严重,不能采用常规的方法监测隔水层中的应力、应变、水压和温度变化。基于光纤传感技术,研制光纤 bragg 光栅位移、应力、渗压和温度传感器,预埋在含水层附近的关键区域,实时监测巷道开挖过程中煤岩位移、应力、渗压和温度的数值变化。在应力和位移出现突然增加、渗压出现突然下降、温度逐渐降低时,表明极可能发生矿井突水事故。尤其是应力增幅明显增大、渗压出现一次小幅度突降现象是防突层失稳垮落最重要的前兆现象<sup>[9]</sup>。

## 3 结论

(1) 基于光纤 bragg 光栅传感技术研制的传感器通过测量光的波长可以测量得到应变、应力、温度、位移、压强等物理量,具有不怕恶劣环境、抗电磁干扰、易于传输、测量精确和准分布式测量等优点。

(2) 光纤 bragg 光栅传感器在煤矿防治煤岩动力灾害、矿井火灾、水灾等事故中具有广泛的应用前景和重大的社会、经济效益。

## 参考文献:

- [1] 李毅,柴敬,邱标. 光纤光栅传感技术在锚杆测力计上的应用[J]. 煤矿安全, 2009(2): 50-52.
- [2] 王恩元,何学秋,李忠辉,等. 煤岩电磁辐射技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [3] 毛灵涛,安里千,刘庆,等. 光栅位移实时监测系统应用研究[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(7): 100-102.
- [4] 刘训臣,安里千,刘绍兴,等. 光栅位移实时监测系统及其在九龙矿的应用[J]. 中国矿业, 2008, 17(11): 99-101.
- [5] 柴敬,兰曙光,李继平,等. 光纤 bragg 光栅锚杆应力应变监测系统[J]. 西安科技大学学报, 2005, 25(1): 1-4.
- [6] 魏世明,柴敬,许力. 煤矿用光纤 bragg 光栅火灾探测系统研究[J]. 工矿自动化, 2010(5): 40-42.
- [7] 张国枢,戴广龙. 煤炭自燃理论与防治实践[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [8] 虎维岳. 矿山水害防治理论与方法[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005: 188-189.
- [9] 冯现大,李树忱,李术才,等. 矿井突水模型试验中光纤传感器的研制及其应用[J]. 煤炭学报, 2010, 35(2): 283-287.