文章编号: 1001-5078(2006)07-0593-03

光纤光栅安全监测系统在 ZJ40K钻机井架上的应用

张 翠
(光纤传感技术与信息处理教育部重点实验室,武汉理工大学,湖北 武汉 430070)

摘 要:针对光纤光栅传感器技术和钻机监测技术的现状,研制出适合油田钻机的安全监测系统,指导设备维护,延长设备使用寿命,保证油田安全生产。

关键词:光纤光栅;钻机;安全监测
中图分类号: TN206 **文献标识码**: A

Apply Fiber Bragg Grating Structure Safety Monitoring System to Rig ZJ40K

ZHANG Cui
(Key Laboratory of Fiber Optic Sensing Technology and Information Processing, Wuhan University of Technology Wuhan 430070, China)

Abstract: Aim at the status of fiber Bragg grating sensor and rig monitoring technique, a diagnostic system meeting for the rig safety is designed by using the fiber Bragg grating sensor monitoring technique, which can help for the maintenance of the equipment, prolong the using-life, and assure the safety of the production in the oil field.

Key words: fiber Bragg grating; rig; safety monitoring

1 引 言

目前,对于油田钻机井架的应力监测主要以电类传感器为主,但是因为钻机现场(即井场)属于易燃易爆的领域,而且是露天作业,各种气候环境均可能出现,设备腐蚀较快,且井场电磁场一般较高,电类传感仪器测量存在不安全的因素,高温操作和长期稳定性的要求也限制了电类传感器的使用。新型的光纤布拉格光栅传感器与传统的机电类传感器相比具有很多优势,如:能以高分辨率测量许多物理参数,本质防爆,抗电磁干扰,抗腐蚀,耐高温与低温,体积小,重量轻,灵活方便等,因此其应用范围广泛,特别适于温差大、腐蚀、电磁干扰严重等恶劣环境中的应用,而且光纤布拉格光栅的应变特性与光栅的反射波长有很好的线性关系,非常适合用于井架各部位应变的监测。另外,采用光纤光栅传感器技术,对钻机主要部件承载能力或运转能力进行实时评估,对钻机进行长期健康监测,可提高钻机的可靠性与安全性,避免由于设备长期使用或其它不可估计因素造成实际工作能力下降而引发的事故,实现钻机的预测维修,有利于降低企业成本,提高企业经济效益。

光纤光栅传感器的传感信号为波长调制,这一传感机制的好处在于: (1)测量信号不受光源起伏、光纤弯曲损耗、连接损耗和探测器老化等因素影响; (2)避免了一般干涉型传感器中相位测量的不清晰和对固有参考点的需要; (3)能方便地使用波分复

基金项目:国家高技术研究计划(863计划)资助项目(2002AA-31-31-40)。
作者简介:张 翠(1969 -),女,工程师,武汉理工大学光纤传感技术研究中心。E-mail: zc@mail whut edu cn
收稿日期: 2005-10-26

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

用技术,在一根光纤中串接多个布拉格光栅进行分布式测量。另外,光纤光栅很容易埋入材料中,对其内部的应变和温度进行高分辨率与大范围的测量,被认为是实现"光纤灵巧结构"的理想器件。

2 布拉格光栅的应变和温度响应

根据光纤耦合模理论,当宽带光在光栅中传输时,产生模式耦合,满足布拉格条件的反射光波长为[1]:

$$\lambda = 2n_{eff}\Lambda \tag{1}$$

式中,λ为光栅反射波长,单位为 nm;Λ为光栅周期,单位为 nm;n_{eff}为有效折射率,当 Λ和 n_{eff}受外界条件作用产生变化 $\Delta\Lambda$和 Δn_{eff}时,导致符合布拉格条件的反射波长发生移位 $\Delta\lambda$,由布拉格条件可得[1]:

$$\Delta\lambda = 2\Delta n_{eff}\Lambda + 2n_{eff}\Delta\lambda \tag{2}$$

从式中可以看出,当 n_{eff}或 Λ改变时,中心反射波长会相应的发生改变。而当外界的温度或压力等改变时,都会导致光纤光栅 n_{eff}或 Λ的改变。因此通过测量光纤光栅的中心反射波长的变化,可以探知外界条件的变化,如图 1所示。

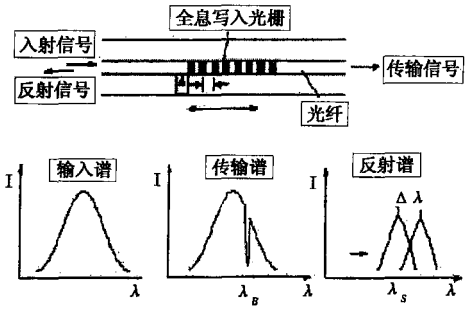


图 1 光纤光栅传感检测原理

光纤光栅传感器的基本原理是:当光栅周围的温度、应变、应力或其它待测物理量发生变化时,将导致光栅周期 Λ或纤芯折射率 n_{eff}的变化,从而使光纤光栅的中心波长产生位移 $\Delta\lambda$,通过检测光栅波长的位移情况,即可获得待测物理量的变化情况。

在测量时,布拉格光栅传感器同时感受温度与应力的变化,如果忽略交叉灵敏度的影响,温度、应变共同作用引起的布拉格波长的变化可以表示为[2]:

$$\Delta\lambda = \Delta\lambda_{温度} + \Delta\lambda_{应变} \tag{3}$$

因此,应变和温度对光纤光栅的作用可以看作是相互独立的,线性叠加的。当光栅传感器用于应变测量时,可以采用温度补偿的方式消除温度的影响。该补偿方法是基于以下条件:1)补偿传感器与应变传感器支撑材料的热膨胀系数相同;2)均处于同一温度场中;3)温度补偿传感器不受应力作用[3]。

3 光纤光栅传感器在钻机井架上的应用

通过对光纤光栅传感器技术研究以及对钻井装备实际问题进行具体分析,武汉理工大学光纤中心与南阳二机石油装备(集团)有限公司合作设计了一套适合油田钻井井架和钻台底座的光纤光栅结构安全监测系统,它集成了力学、光学、电子技术、信息技术的最新成就,在河南油田 ZJ40K钻机上得到应用。

这套安全监测系统实现对井架及钻台底座的实时长期动态监测。该系统能对被监测结构在每隔设定的时间,例如 5s,自动进行一次存储或实时手动存储。能对所监测的数据进行自动分析,动态显示模型上各点应力变化,并自动绘出振型曲线。当达到或超过结构件的设定应变或应力、温度等参数时,发出声光报警。在特定的钻井场合,通过此套系统实时了解钻机井架及钻台底座的受力情况与安全裕度,具有非常现实的意义。系统通过 RS—232通讯,可实现结构件应变的远距离监视,一路就近在司钻房监示;另一路在工程师房或监理办公室监示,根据监测到的数据,指导钻井。系统总体结构图如图 2所示。

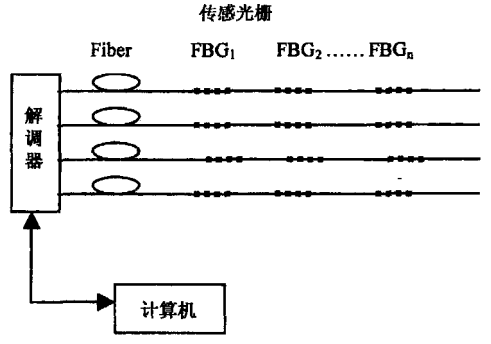


图 2 监测系统结构

4 温度补偿

如果忽略交叉灵敏度的影响,应变和温度对光纤光栅的作用可以看作是相互独立的和线性叠加的。依据这一点,我们在井架的不同侧面,放置了 4个与测量光栅相同材料的,基本上在同一温度场内的且不受井架的应力作用的起温度补偿用的光栅,这 4个光栅已经事先进行了温度标定,标定数据保存在 wdbd mbd access数据库内。系统监测软件在测量过程中实时进行补偿。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5 对比试验

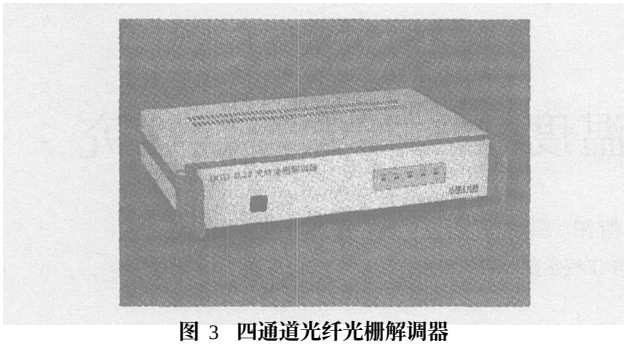


图 3 四通道光纤光栅解调器

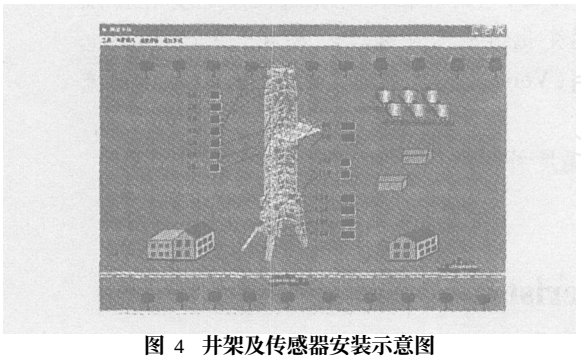


图 4 井架及传感器安装示意图

解调器使用武汉理工大学光纤传感技术研究中心研制的 BGD-4L20A系列解调器,如图 3所示。解调器为四路同时扫描,在井架的各部位共放置 20个光栅传感器,其中 16个为测量光栅,4个作为温度补偿,粘贴式光纤光栅应变传感器直接粘贴的方式进行安装,传感器的粘贴示意图如图 4所示。传感器的温度灵敏度与应变灵敏度已经事先标定好,计算机将读入的数据进行处理,测得每个点的波长变化,波长变化转变成各点的应变变化:

$$\varepsilon_{\Delta\lambda} = (\Delta\lambda_\tau - \Delta\lambda_T) * K_\tau \quad (4)$$

其中 $\varepsilon_{\Delta\lambda}$为应变,为无量纲量; $\Delta\lambda_\tau$ 为测量传感器测量到的波长变化; $\Delta\lambda_T$ 为温度补偿传感器测量到的波长变化; K_τ 为传感器的应变灵敏度,单位为 ε/nm。根据上式就可以计算出它们的应力:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (5)$$

这里 σ为应力,单位是 MPa, E是材料的弹性模量,单位为 GPa,在这里为 206GPa。

电阻应变传感器及测量仪器由河南南阳二机石油装备(集团)有限公司提供,河南油田 ZJ40K钻机井架示意图如图 4所示。

加载实验采集数据分析,以井架下体司钻对后侧大腿其中一个测点 12为例,表 1对比如下。

表 1 对比试验结果

加载/KN	400	600	800	1000	1540	1920	2250
光栅传感器/MPa	-12.3	-25.6	-38.4	-46.1	-74.3	-84.5	-100.8
电阻应变传感器/MPa	-11.9	-24.7	-35.6	-44.1	-68.4	-83.7	-98.0

从表中看出,用光纤光栅传感器测得的数据相对误差小于 10%,符合实际使用要求。从其它数据得出相似结论,不再列举。

6 结 论

这套光纤光栅结构安全监测系统,实现了对井架起放工况及钻井作业工况进行长期实时动态监测。对所监测到的数据进行自动分析,当达到井架的 80%设计允许应力或超过井架的设计允许应力时,及时分级报警。监测系统报警与数据显示执行同地控制。适应油田长期野外作业(8-10年)要求,具有防爆、抗潮、抗雨、耐晒、防腐、防电磁干扰等优势,也适应井架反复拆装要求。

主要性能指标:

波长测量范围: 10～40nm

波长分辨率: 1pm

波长测量精度: ±5pm

响应时间: <2s

最大光路损耗: <10dB

通过本系统对井架及钻台承载能力进行实时评估表明,它实现了对井架与钻台的长期健康监测,提高了钻机的可靠性与安全性,该系统受到了油田职工欢迎。

参考文献:

[1] 周智,田石柱,赵雪峰,等. 光纤布拉格光栅应变与温度传感特性及其实验分析[J]. 功能与材料, 2002, 33: (5).

[2] 梁磊,姜德生,周雪芳,等. 光纤 Bragg光栅传感技术在桥梁预应力监测中[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2003, 21(2).

[3] 李志全,吴飞. 温度应变同时测量的光纤光栅系统的研究[J]. 光电工程, 2002, (9).

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net