

基于FBG传感器的光伏电站箱变设备的温度监测

雷登明 陈娜 庞拂飞 陈振宜 王廷云

(上海大学特种光纤与光接入网省部共建国家重点实验室培育基地 上海 200072)

摘要: 针对光伏电站箱变设备在运行过程中的产热问题,基于光纤布拉格光栅传感技术,设计了温度在线实时监测系统,实现了对箱变进线柜中变压器、输电电缆接头、箱体壳等11处关键点温度的在线实时监测。对监测所得结果,分析了24 h的温度数据,很好的反应了监测点的温度变化情况,所得温度数据,可用于进一步开发保护预警系统。与传统测量方法相比,光纤布拉格光栅传感技术具有绝缘、耐高压、抗电磁干扰能力强等优点,并可应用于不同电学环境的温度监测。

关键词: 箱变;光伏电站;光纤光栅;温度监测

中图分类号: TN253 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.3030

Temperature monitoring for cubicle-type substations equipment of photovoltaic power station based on FBG sensors

Lei Dengming Chen Na Pang Fufei Chen Zhenyi Wang Tingyun

(Key Laboratory of Specialty Fiber Optics and Optical Access Networks, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: Aiming at the heat problem for cubicle-type substations, based on FBG sensing technology, an on-line real-time temperature monitoring system is designed, and it realized the remote temperature monitoring at 11 positions inside cubicle-type substation including the transformer, transmission cable connector and box shell. The temperature data all daylong well reflected the temperature variation of the monitored points; what is more, the results can be used for the development of early warning system for facilities protection. Compared with the traditional measurement methods, it has the advantages of insulation, high voltage resistance and anti-electromagnetic interference, and it can be applied on temperature monitoring in different electrical environment.

Keywords: cubicle-type substation; photovoltaic power station; FBG; temperature monitoring

0 引言

箱式变电站(箱变)是一种将高压开关设备、配电变压器和低压配电装置等变电站设备按一定接线方案排成一体的紧凑式配电设备,由于其密闭空间特点,产热问题是箱变需要考虑的主要问题之一^[1]。引起箱变设备产热的主要因素来源于电缆接头、隔离开关、动静触头的接触面^[2-4],随着设备的长期运行,接触面氧化,导致接触电阻增加,从而导致接触头发热,而触头发热反过来又会加速接触面的氧化,因此,对于这些关键点的温度实时监测至关重要^[2]。对于箱变设备,可利用于传感器布设的空间有限,这对传感器的体积大小提出了较高要求。另外,通常发生过热的电网大多为6 kV以上的电网,电压等级较高,具有较强的电磁干扰环境,常规的温度传感器不能满足安全的需要^[5]。目前主要有3种温度监测方式:红外方式、无线方式以及光纤方

式。红外测温法为非接触式测温方法,其原理是依据被测点的温度变化引起红外辐射变化,通过红外热成像技术对辐射信号进行提取处理,从而得到被测点的温度信息^[6]。红外测温方式对于红外探头的安装以及温度信号的传输非常困难,且测温的精度和可靠性受大气、测试背景等因素的影响^[7]。无线测温法为接触式测温方法,利用无线网络将传感器的温度数据进行传递。其工作过程为温度终端采集设备将现场温度采集后,以无线的方式将数据传递给温度显示设备,使用户能够实时的监测到现场设备的温度情况^[8]。无线测温采用无线方式传输信号,易受电磁干扰影响,在强电磁干扰环境下会导致数据丢失^[9]。

与其他方法相比,光纤布拉格光栅(FBG)传感器具有绝缘性能佳,抗电磁干扰能力强,体积小布设灵活,响应快,灵敏度高,且能实现数字化,便于接入智能电网等优点^[10],目前,FBG传感技术在常规变电站的温度监测中已有部分

应用研究^[11-13]。文本主要针对张掖南滩某光伏电站箱变设备的温度监测,相较于常规变电站,光伏电站更受当地光照强度的影响,随着一天之中不同时刻以及一年之中不同季节的光照情况不同,其产电量也将随之而变化,从而导致设备的产热也会有较大起伏,故对产热情况的实时在线监测尤为重要。因此,设计了基于FBG传感技术的温度监测系统,对箱变进线柜中变压器、输电电缆接头、箱体壳等11处关键点的温度进行了在线实时监测,系统从2016年5月份以来一直平稳运行,对光伏电站的安全生产运营具有重要作用。

1 FBG测温原理

FBG是利用掺锗石英光纤的紫外光敏特性,用特殊工艺使得光纤纤芯发生永久性折射率周期变化而形成的,能对波长满足布拉格反射条件的入射光产生反射的光纤器件^[14]。当一宽光谱光源注入FBG,将产生模式耦合,满足条件的入射光将被光纤光栅耦合成反射模式,反射回一个中心波长为 λ_B 的窄带光波,其余波长全部透射,如图1所示。



图1 FBG示意图

中心波长可表示为:

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

式中: n_{eff} 为纤芯有效折射率, Λ 为光栅周期。

当FBG受到外界温度和轴向应力影响时,将导致光栅周期和纤芯有效折射率的变化,从而使其中心波长产生漂移,漂移量可表示为^[15]:

$$\Delta\lambda_B/\lambda_B = (1 - \rho_e) \cdot \epsilon + (\alpha + \xi) \cdot \Delta T \quad (2)$$

式中: α 、 ξ 、 ρ_e 分别为材料膨胀系数,热光系数和有效弹光系数。在利用FBG进行单纯的温度测量时,可以通过封装等方式避免轴向应变的影响,式(2)变为:

$$\Delta\lambda_B/\lambda_B = (\alpha + \xi) \cdot \Delta T = K_T \cdot \Delta T \quad (3)$$

其中, $K_T = \alpha + \xi$,为光栅温度灵敏度系数。因此,通过FBG中心波长漂移量的监测,即可得到外界温度的变化量。

2 FBG温度传感系统的组成及温度标定

FBG温度传感系统主要由FBG传感器、三端口光纤环行器、放大自发辐射(ASE)光源模块、光纤分路器、光纤布拉格光栅分析(FBGA)模块组成,系统采用空分复用方式监测11个点的实时温度,其系统框图如图2所示。

系统工作过程如下:光源发出的宽带光经环行器1端

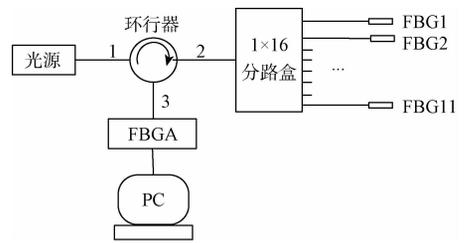


图2 FBG传感系统

到2端,再经光分路盒进入11个FBG传感器,带有温度信息的反射光谱经过光分路盒,通过环行器的2端到3端进入FBGA模块,解调模块解调出光谱数据,并通过PC数据处理软件换算出传感器处的温度。

11个FBG传感器具有不同的中心波长,依次编号为1~11,且所有传感器均采用单端陶瓷封装,能够耐高压、防爬电,适用于电力系统环境,尺寸大小为35 mm×6 mm×6 mm,如图3所示。



图3 陶瓷封装的FBG传感器

光栅波长解调采用BaySpec公司高速FBGA解调模块,其数据采集速率为5 kHz,带宽为1 520~1 570 nm,解调所得11个光栅光谱如图4所示。

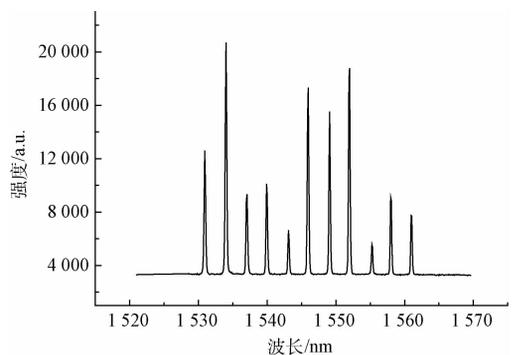


图4 FBGA解调光谱

通过所得光谱数据,可以得到11个FBG传感器当前的中心波长,从而计算出各监测点的温度。

FBG传感器标定过程是将11个传感器放入温控箱内,设置温控箱温度从-25℃~120℃,以5℃为间隔,对应每一个温度值,记录11个FBG各自的中心波长,定标数

据如图 5 所示。

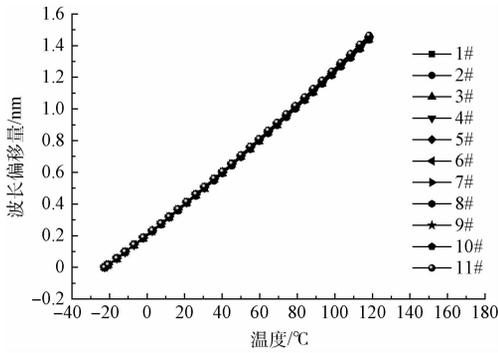


图 5 FBG 定标数据

通过定标曲线可以看出，温度与中心波长呈很好的线性关系，由于各 FBG 温度特性相近，故各定标曲线近乎重合，各传感器对应的温度灵敏度如表 1 所示。

表 1 各传感器的温度灵敏度

传感器编号	温度灵敏度/($\mu\text{m}/^\circ\text{C}$)
1#	10.220
2#	10.206
3#	10.245
4#	10.299
5#	10.273
6#	10.328
7#	10.345
8#	10.351
9#	10.345
10#	10.391
11#	10.412

实际使用时，通过得到的 FBG 的中心波长，便可反推出监测点的温度。最后监测所得温度数据通过网页界面显示，如图 6 所示。

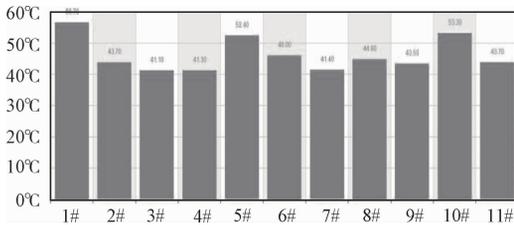


图 6 温度显示界面

为了方便现场安装使用，将光源、环行器、光分路盒以及 FBGA 模块集成封装，最后系统如图 7 所示。

其中，封装后的解调仪与 PC 置于监控室内，FBG 传感器贴于各监测点，数据经光缆传输至解调仪，能够实现远程

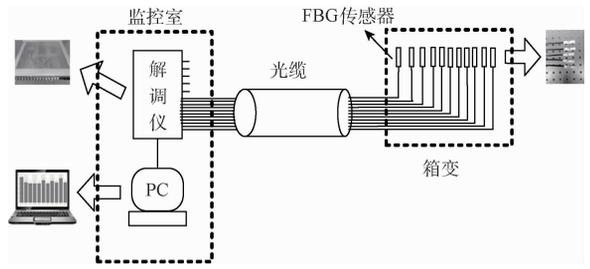


图 7 实际系统

在线实时监控。

3 光伏电站设备的温度监测及数据分析

主要对箱变设备低压进线柜中线缆与铜排接头、铜排连接处、变压器等 11 个关键点的温度进行在线实时监控，各 FBG 传感器通过 704RTV 硅橡胶粘贴于各监测点，704RTV 硅橡胶具有绝缘、耐高压、耐高温等特性。各传感器粘贴位置如图 8 所示。

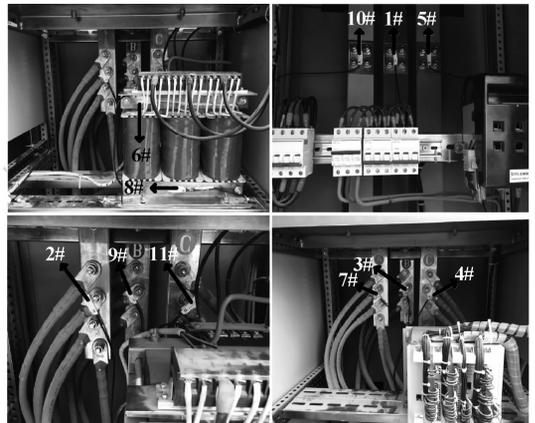


图 8 各 FBG 传感器监测点

其中，6# 和 8# 传感器监测右侧进线柜变压器温度；1#、10# 和 5# 传感器监测右侧进线柜输电铜排连接处温度；2#、9# 和 11# 监测箱变基础右侧进线柜线缆与铜排连接处温度；3#、4# 和 7# 监测左侧进线柜线缆与铜排连接处温度。

为了了解设备运行过程中的实时温度状况，记录了 2016 年 10 月 18 日全天各整点时刻的温度数据以及当地的气温数据，并作出各数据随时间的变化曲线，如图 9 所示。

由图 9 传感器监测所得数据的变化趋势，大致可分为 3 组：1) 6# 和 8#；2) 1#、5# 和 10#；3) 2#、9#、11#、3#、4# 和 7#。其中 1) 组监测的是变压器的温度；2) 组监测的是右侧进线柜输电铜排连接处的温度；3) 组监测的是左右进线柜线缆与铜排连接处温度。可以看出，各组内温度数据差别不大，且随着时间变化趋势一致。另外，2) 组和 3) 组温度变化趋势一致且 2) 组温度高于 3) 组温度，这是因

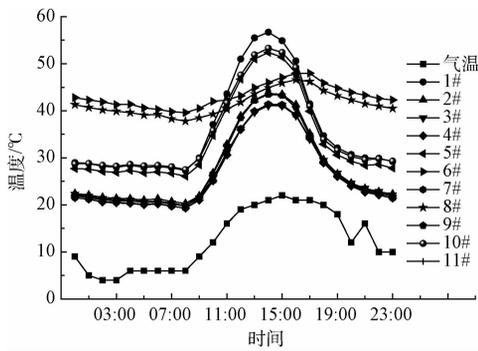


图9 温度随时间变化曲线

为3)组监测的是一根线缆与铜排的连接处,2)组监测的是整个输电铜排的温度,而每根铜排均有五根线缆的电流汇集,故铜排上产生的热量高于每个线缆连接处产生的热量。

此外,随着时间的变化,各监测点的温度值与当地气温变化趋势基本一致,这也与实际情况很好的符合。根据天气网公布的信息可以得知,10月18日光伏电站所在地张掖当地天气为晴天,白天日出时间约为06:28,日落时间约为17:31,在此期间各整点气温反映了各时间点的光照情况,气温越高,光照越强,光伏电站所生产的电量越高,因此各监测点所产生的热量也越多,传感器监测到的温度越高。夜间光伏电站不生产电量,故各传感器监测的温度均较平稳。

综上所述,通过FBG传感系统,对箱变进线柜主要点进行了实时温度监测,监测所得温度数据很好的反映了实际情况,对光伏电站的安全生产运营具有重要作用。

4 结 论

FBG传感器具有绝缘性能好、耐高压、防爬电、抗电磁干扰能力强等优点,对于箱变内部设备的温度实时监测具有其独特优势。应用了11个FBG传感器,对光伏电站箱变进线柜的11个关键点进行了在线实时温度监测,所得温度数据与实际情况很好的吻合,对于光伏电站的安全生产运营具有重要作用。

另外,利用所得温度数据,可以进一步开发保护预警系统,智能管理箱变设备的安全状况。

参考文献

- [1] 薛卜玮,黄新波,朱永灿. 10 kV箱式变电站温度在线监测系统的研究[J]. 陕西电力, 2016,44(4):22-27.
- [2] 曹海东,张俊,王容,等. 基于光纤光栅传感器的电力设备触点温度监测技术[J]. 江苏航空, 2015(1): 29-31.

- [3] 刘艳芳,徐克宝. 变电所高压开关触点无线温度测量技术研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(12):75-79.
- [4] 杨洪磊,梁仕斌,李川,等. 光纤光栅传感技术及其在电力系统中的应用[J]. 中国电力教育, 2013(10): 226-228.
- [5] 万贤杰,江殿亮,徐军,等. 光纤智能测温度系统在电网上的运用[J]. 电子测量技术, 2011,34(1):86-89.
- [6] 刘宝林. 变电站在线测温方案探讨及信息平台构建[C]. 云南电力技术论坛, 2011.
- [7] 林荣文,杨明发,张培铭. 一种新型高压电器在线温度监测方案[J]. 电子测量与仪器学报, 2005,19(6): 88-91.
- [8] 黄剑龙,于文召,王忠锋,等. 基于无线网络的母线测温系统[J]. 仪器仪表学报, 2010,31(S2):115-117.
- [9] 吕镇庭,曹建. ZigBee技术在电力设备在线监测系统中的应用[J]. 电子测量技术, 2008,31(2):191-194.
- [10] 刘克民,韩克俊,李军,等. 局部放电光学检测技术研究进展[J]. 电子测量技术, 2015,38(1):100-103.
- [11] 孙建江. 光纤光栅在线温度监测技术在电力系统高压开关柜中的应用[C]. 贵州省电机工程学会优秀论文集, 2008.
- [12] 赵增玉,陈聚武. 光纤光栅测温技术在变电站的应用[C]. 全国煤矿高效集约化开采技术与机电一体化装备研讨会, 2007:1-2.
- [13] 赵静,王建英,袁有江. 110 kV变电所6 kV开关柜光纤光栅温度在线监测系统[J]. 科技信息, 2010(29): 337-338.
- [14] 李林,毕卫红. 分布式光纤光栅传感器解调系统[J]. 传感器世界, 2006, 12(7):21-25.
- [15] 滕峰成,蔡亚楠,李志全,等. 一种改进型光纤光栅振动检测系统[J]. 仪器仪表学报, 2005,26(S2):17-19.

作者简介

雷登明,1988年出生,硕士,研究生,研究方向为光纤布拉格光栅(FBG)传感应用。

E-mail: timarrow@163.com

陈娜(通讯作者),1982年出生,博士,副教授,研究方向为特种光纤与光纤传感。

E-mail: na.chen@shu.edu.cn

庞拂飞,1978年出生,博士,教授,研究方向为特种光纤设计、制备工艺、光纤传感器、互连光波导技术。

E-mail: ffpang@shu.edu.cn