

光栅传感技术在输电杆塔倾斜监测中的应用



深圳市简测科技有限公司

二〇一四年九月



近年来，因冰雨导致的输电线路杆塔的损坏时有发生。为了监测输电杆塔的倾斜状态，常用的方法是用 GSM 杆塔仪将传感器检测到的杆塔倾斜信息发送给管理人员和监控计算机，在计算机内进行数据处理，并根据具体的数据处理结果发出报警信息；另一种方法是将电阻应变片直接贴在输电杆塔的结构件上，直接进行监测。这 2 种方法在应用时，都受到一些因素的限制，给监测工作带来不利的影响。光纤传感器自 20 世纪 70 年代问世以来，得到了广泛的关注，特别是近几年，光纤传感器的工程应用研究迅速发展。其中，光纤光栅传感器是用光纤布拉格光栅作为敏感元件的功能型光纤传感器，可以直接传感温度和应变以及实现与温度和应变有关的其他许多物理量和化学量的间接测量。通过光纤光栅传感器的应力变化数据可以反映出杆塔的倾斜状态，将这种方法应用在杆塔的倾斜状态监测中会有很大的优势。

1、光纤传感技术在杆塔监测系统中的应用

使用光纤布拉格光栅这一光纤传感技术来实现输电线杆塔倾斜状态监测时，利用光纤布拉格光栅上应力变化引起的波长位移信息，得到光栅所感应到的应力变化信息，从而对应得到杆塔的倾斜状态信息，实现对杆塔倾斜状态的监测。

1.1 光纤及光栅传感器的布置方式

为了使光纤布拉格光栅能够准确地反应输电线杆塔的倾斜状态变化，必须使光纤布拉格光栅与杆塔同步变形。如果将刻写好的光栅直接与光纤熔接在一起，然后再用专用或特制的粘结剂将它们粘贴在被测杆塔表面上，这样就不能保证杆塔产生的表面应力的变化与光栅所感应到的应力变化保持同步，也就不能实现有效、可靠的倾斜状态监测。

此时可以考虑对光栅进行封装，即用金属材料对光栅进行封装，使得金属封装所感应的应力变化能够反应在光栅上。

为了使封装以后的传感器更加方便地固定在输电线杆塔的表面，在金属封装的两端各留 1 个钻孔，这样可以用螺母将封装好的光栅固定在输电线杆塔的表面，而且能够保证 2 者之间同步变形，使得有效地实现倾斜监测成为可能。

光栅的封装如图 2 所示

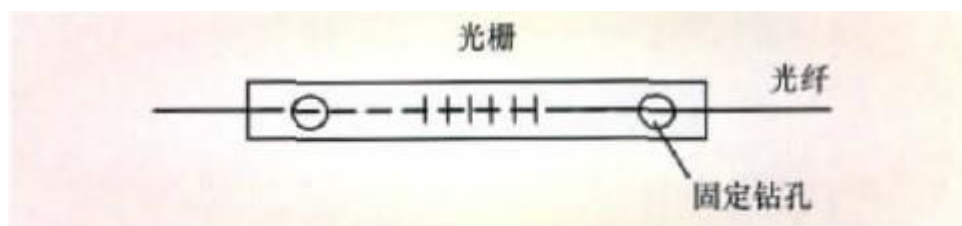


图 2 光栅的封装

Fig.2 Encapsulation of FBG

光栅固定后，在实际应用的光纤传感系统中，可以采用定点铺设的方式，即将光纤拉直后，按一定的间隔定点粘在杆塔表面。为了保证有效地实现监测，在 2 个粘接点之间要使光纤保留一定的富余，使得在杆塔有较大的倾斜时不至于折断光纤，从而不影响监测。

1.2 监测系统设计

光纤光栅应变的测量关键是对光纤布拉格光栅反射波长变化的解调，因此，提出了许多解调方法来检测反射波长的微小变化，其方法可分为滤波法、干涉法、波长扫描解调法等。其中可调光纤（F-P, Fabry-Perot）滤波器解调法具有体积小、价格低的优点，且可以直接输出对应于波长变化的电信号，是一种较好的解调方案，利用该方法也可同时对多个光纤光栅的波长进行解调。

系统框图如图 3 所示，光栅传感器以一定的间隔固定在输电线杆塔的表面，匹配液的使用是为了减小光纤端面反射对光路中光信号的影响。

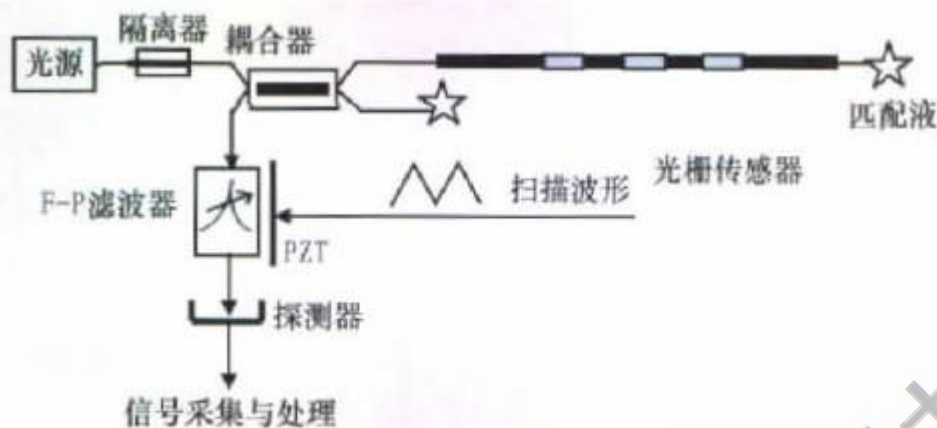


图3 基于光栅传感的监测系统

宽谱光源发出的光通过隔离器后经过 3 dB 耦合器入射到光纤后，反射信号进入 F-P 滤波器中。F-P 腔相当于窄带滤波器，在一定波长范围内，若以平行光入射到 F-P 腔，则只有满足相干条

件的某些特定波长的光才能发生干涉，产生相干极大，利用 F-P 腔的这个特性对光纤光栅传感器的反射波长进行解调。把 F-P 滤波器固定于压电陶瓷（PZT, Piezoelectric Transducer）上，给 PZT 加 1 个扫描电压后，PZT 将产生伸缩，从而可以改变 F-P 的腔长，使透过 F-P 腔的光的波长发生改变。若 F-P 腔的透射波长与光纤布拉格光栅的反射布拉格波长重合，则探测器能探测到最大光强，此时给 PZT 加的扫描电压 V ，代表光纤布拉格光栅的反射布拉格波长。

利用 PZT 构成的可调谐 F-P 腔测量光纤光栅传感器的反射波长，可以直接将反射波长信息对应到 PZT 的扫描电压，从而方便系统中信号处理。由于每一个光栅在刻写完毕后均有 1 个中心波长，通过

系统中信号处理单元能够得出公式（1）所对应的由应力引起的布拉格反射波长，从而能够得到应力引起的波长位移量 $\Delta \lambda_{\varepsilon}$ ，这样由公式（2）就能算出相应的应力变化量。得到了输电线杆塔表面的应力变化数据后，还要将其反应到杆塔的倾斜状态，可以将信号采集与处理部分结合实现该功能。从探测器出来的电信号经过采集处理后得到杆塔表面应力变化数据，再将该数据与后台软件平台中的倾斜状态数据库中的数据进行比对，从而方便系统做出合理的预警。当然，倾斜状态数据库需要在系统调试时不断完善，这是实现有效监测的保证，也是系统设计的难点所在。

2、基于 TCP/IP 协议的组网监测

考虑到部分杆塔所处环境的不同，必须把监测现场与控制中心分离。此外，还要考虑实现多个杆塔同时监测。为了解决上述问题，可以利用多通道光栅解调设备，在 1 个通道上实现对 1 个杆塔的监测。再采用基于 TCP/IP 的协议将多个多通道上的监测数据上传到监控中心，来实现远程监测。采用该方法的系统如图 4 所示。

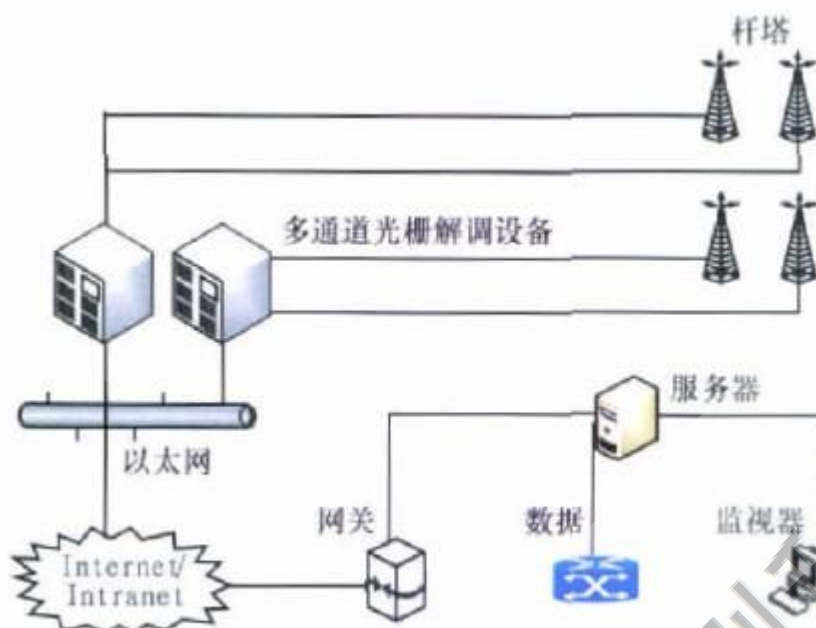


图4 基于TCP/IP协议的杆塔倾斜监测系统

基于TCP/IP协议的Internet/Intranet为远程监测提供了便利。在采用光栅传感技术实现杆塔倾斜监测时，通过多路复用技术实现多个监测通道的同时监测，所得的监测数据通过以太网及网关传入监测中心的数据分析系统进行应变量的标定，最后将所得到的应变数据以立体图形的形式显示在监视器上，当监测数据达到一定的阈值时可以发出告警信息，从而实现对杆塔远程监测。

3、需要解决的问题

应变数据与杆塔倾斜状态之间的对应关系。虽然从理论上可以看出，当得到光栅上的应变信息后，可以得到杆塔的倾斜状态，但是多大的应变值对应什么样的杆塔倾斜状，需要通过后续实验来标定。

2) 成果数据的解释。如何根据监测的数据，对杆塔的倾斜特点、趋势做出合理的分析，进而产生及时有效的报警信息是保证将该技术应用在杆塔倾斜监测中的关键。对系统调试时，需要对信号采集与处理部分不断完善，以找到理想的预报状态，达到合理、可靠监测的目的。