

布里渊散射是光在光纤中传输过程中发生的一种非线性效应。由于它的存在使光信号产生传输损耗,这对信号传输而言是不利的,但人们可以利用这种效应对光纤进行测量。布里渊光时域反射计 (BOTDR) 是通过检测光纤中反向散射的自发布里渊散射光来实施监测的。

光在光纤中传播时,在反方向会产生散射光。其散射光光谱如图 1,包括了瑞利散射、布里渊散射和拉曼散射。

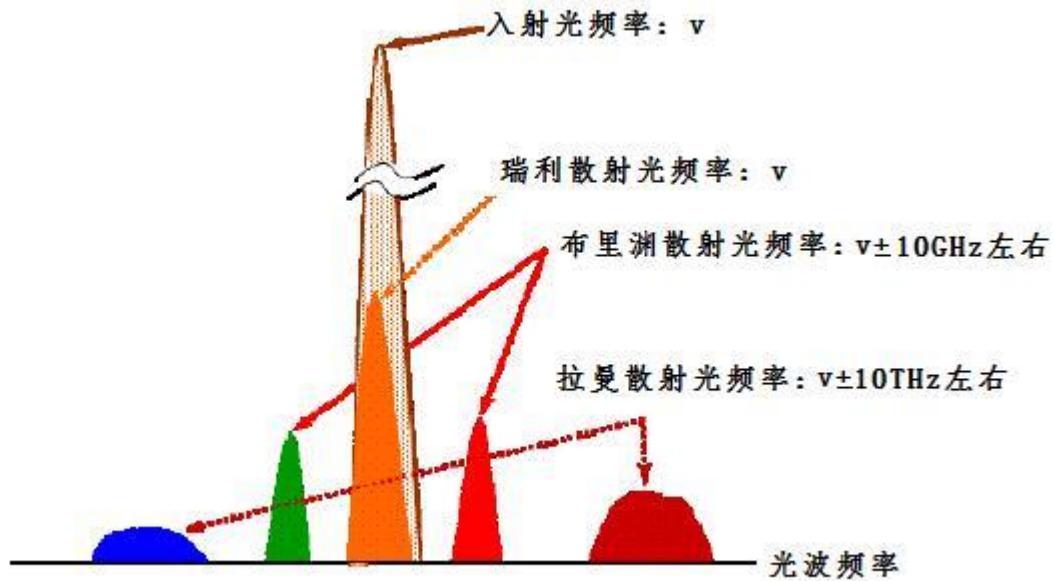


图 1 光纤反向散射光谱

布里渊散射同时受应变和温度的影响,当光纤沿线的温度发生变化或者存在轴向应变时,光纤中的背向布里渊散射光的频率将发生漂移,频率的漂移量与光纤应变和温度的变化呈良好的线性关系,因此通过测量光纤中的背向自然布里渊散射光的频率漂移量就可以得到光纤沿线温度和应变的分布信息。BOTDR 的应变测量原理如图所示。

BOTDR 的测量原理与 OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer) 技术很相似,脉冲光以一定的频率自光纤的一端入射,入射的脉冲光与光纤中的声学声子发生相互作用后产生布里渊散射,其中的背向布里渊散射光沿光纤原路返回到脉冲光的入射端,进入 BOTDR 的受光部和信号处理单元,经过一系列复杂的信号处理可以得到光纤沿线的布里渊背散光的功率分布,如图 2 中 (B) 所示。发生散射的位置脉冲光的入射端,即至 BOTDR 的距离 Z 可以通过计算得到。之后按照上述的方法按一定间隔改变入射光的频率反复测量,就可以获得光纤上每个采样点的布里渊散射光的频谱图,如图 2 中 (C) 所示。理论上布里渊背散光谱为洛伦兹形,其峰值功率所对应的频率即是布里渊频移 ν_B 。如果光纤受到轴向拉伸,拉伸段光纤的布里渊频移就要发生改变,通过频移的变化量与光纤的应变之间的线性关系就可以得到应变变量。

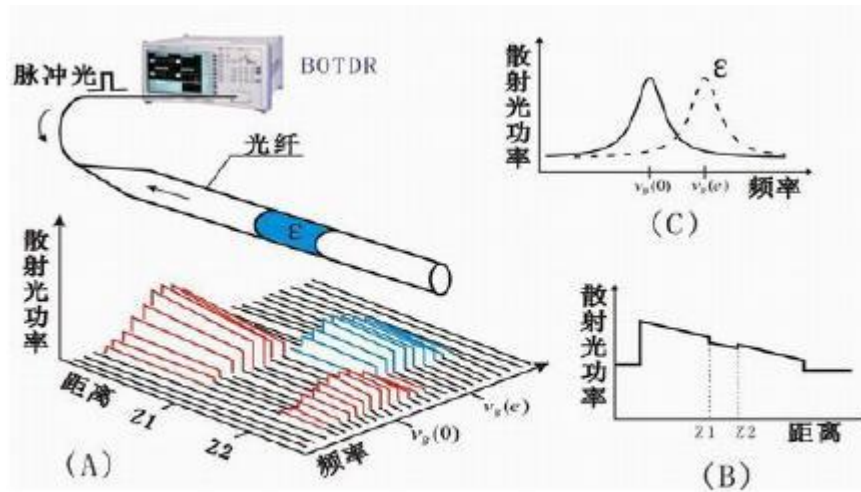


图 2 布里渊散射测量原理图

布里渊散射光与其他散射光相比的另一个突出优点是它的频移变化量与温度相关性比应变的相关性要小得多 ($0.002\%/^{\circ}\text{C}$)。

与常规的监测技术原理不同，BOTDR 具有分布式、长距离、耐久性长等特点，能做到对大型基础设施的每一个部位象人的神经系统一样进行感知和远程监测和监控。这一技术的应用和研发，将对现有的传统监测技术产生重要影响，对我国各类重大基础工程建设，如长江大桥，地下铁路和隧道、高速公路、西气东运管道、地下停车场、长江堤防等安全监测和健康诊断具有重大的现实意义。