

高海拔多年冻土区路基沉降监测

在高海拔地区，由于多年冻土区的冻融循环导致道路结构出现严重沉降病害，并缺乏有效的监测手段。分布式光纤传感技术以其传感距离长，耐久性好，抗电磁干扰，易于布设的特点，对于多年冻土区的路基沉降监测有其独特的技术优势，因此本项目通过以共玉公路花石峡段和野牛沟段作为试验段，对高海拔多年冻土区路基沉降情况进行监测。



1. 监测方案

1.1 整体监测方案

花石峡试验段为宽幅路基，双向 6 车道设计，路基宽度为 24 米，试验段长度为 100 米，布设方案采用纵横向交错布设的方式，在纵向布设 4 根分布式传感光纤，用于定性监测沉降区域位置及沉降程度，横向布设 4 根分布式传感光纤，用于定量监测沉降深度采用定点式光缆。每一根传感光纤都形成独立的回路，彼此之间并列连接，在终端通过多芯光缆与监控中心连接。并且为了校准温度场，在横向传感光缆特定位置布设光纤光栅温度传感器用于校准分布式传感光纤温度场，获取温度分布信息。具体布设方案如图 1 所示。

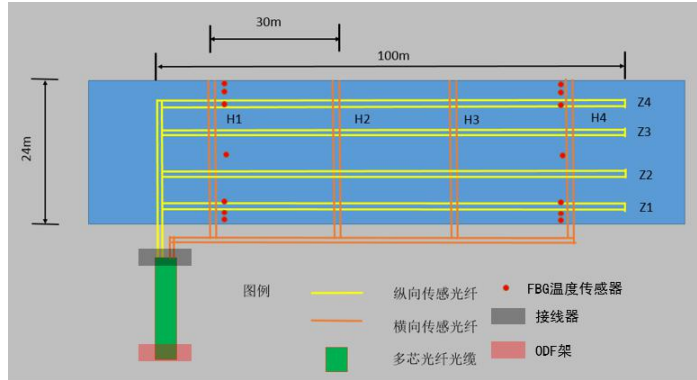


图 1 花石峡段分布式光纤监测系统布设方案

野牛沟试验段为单向四车道的设计，路基宽度为 16m，试验段长度 100 米，采用与花石峡类似的布设方法，采用纵向三条传感光纤，横向四条传感光纤的设计，其中横向采用定点式光缆，具体布设方案如图 2 所示。

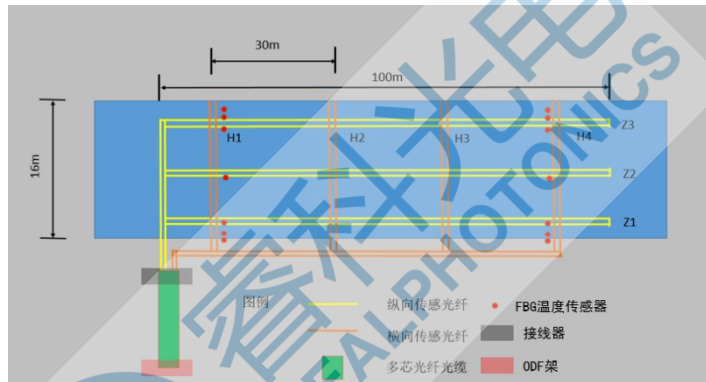


图 2 野牛沟段分布式光纤监测系统布设方案

1.2 布设工艺

路基沉降分布式光纤监测系统施工流程主要分为：测量，机械开挖，传感光缆布设，温度传感器布设，光纤完好性检测，路基回填。施工过程如图 3 所示：1，通过现场测绘，确定横纵向分布式传感光纤及温度传感器的具体位置；2，通过机械开挖出传感光纤的布设沟位，开挖深度 30cm；3，先修整机械开挖沟的平整度，然后垫 5cm 细沙，按照先纵后横的顺序布设传感光纤，并再用 5cm 细沙覆盖；4，在横向传感光纤特定位置布设测温钢管获取路基沿横向温度分布，并在测温钢管的特定位置布设光纤光栅温度传感器，用于校准分布式测温光缆；5，在传感光纤布设完成后，对传感光纤完好程度进行统一检测，确保传感光纤全部完好存活；6，将传感光纤汇总于节点位置，并进行保护，同时将路基回填，并采用机械平整，保证光纤监测系统的布设对路基没有影响。



图 3 分布式光纤传感系统布设工艺

1.3 数据采集系统

分布式光纤传感器数据采集采用鞍山睿科光电技术有限公司自主研发的 RP1020 型分布式光纤传感解调仪，如图 4 所示，该系统具备空间分辨率 20cm，传感距离 20km，应变测试精度 20 微应变，温度测试精度 1℃ 的性能测试指标，并且根据高原试验段的低温测试环境，进行了特殊的低温设计并通过严格的低温测试，保证了数据采集在低温环境下的顺利进行。

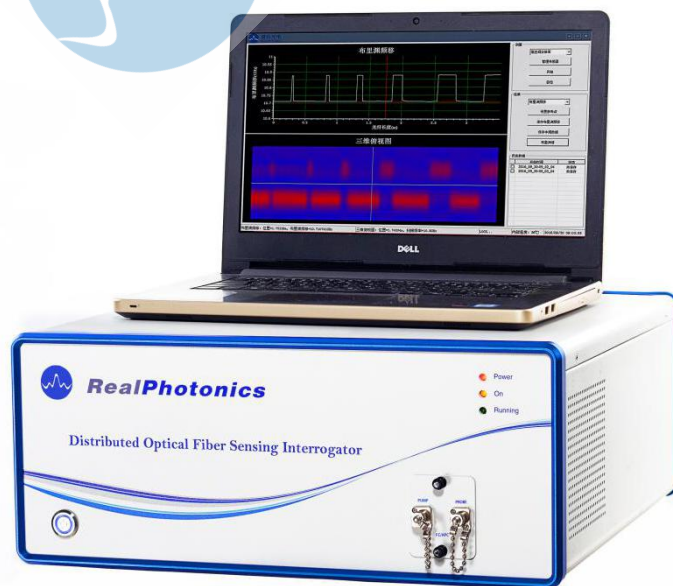


图 4 分布式光纤传感解调仪 RP1020

2. 路基沉降分布式光纤测试结果

试验段分布式传感光纤两次数据采集时间为5月和9月，分别代表不同季节。5月份气温较高，路基温度保持在零上，冻融循环还未进行。6-9月份试验段区域夜间气温已逐渐降低至零下，土壤中水分开始结冰，路基开始冻结，同时由于白天气温回暖，土壤中的冰逐渐融化，路基逐渐解冻，因此存在多次冻融循环。在试验段光纤布设中，专门设计布设了横向定点光纤，即传感光纤每间隔一定距离设置定点，定点与定点之间光纤与保护套管处于松弛状态，通过比较定点光纤两次测试结果可以观察出由于冻融循环所引起的沉降变化。定点分布式光纤路基沉降测试原理如图5所示，设冻融病害导致2号定点位置处路基沉降，引发2号定点下沉。这将导致1-2定点之间和2-3定点之间的光纤应变增加。

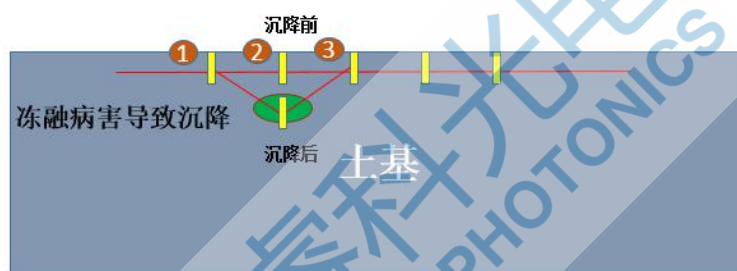
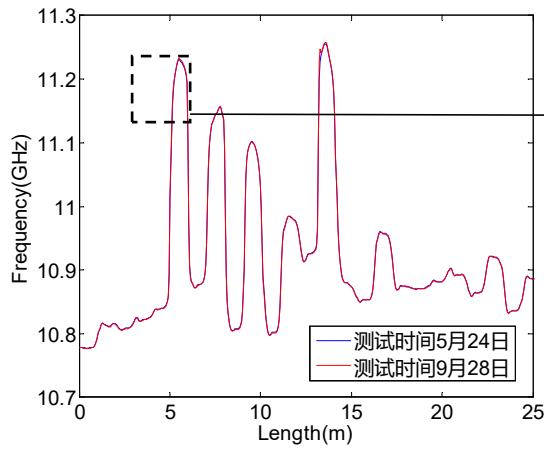
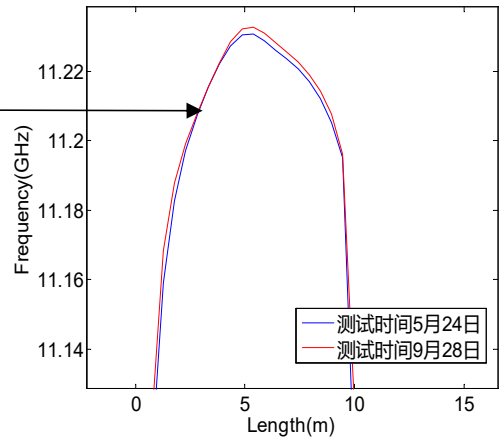


图5 定点式光缆监测沉降原理示意图

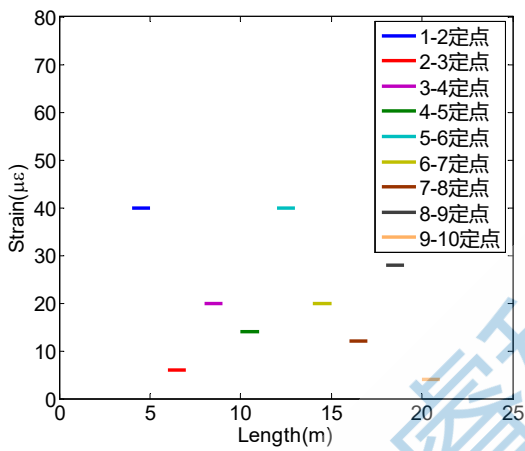
以花石峡试验段H1号传感光纤为例，H1传感光纤5月24日和9月28日两次测试结果如图6(a)所示，由于试验段为刚刚建成，车流量很少，两次测试时间又相隔较近，因此在此试验段并没有明显沉降发生，因此可见两次测试结果十分相似。图中每个峰值分别代表各定点之间光纤的应变所对应的布里渊频移，可见定点间光纤初始布里渊频移并不均匀，但是所有布里渊频移所对应的应变值均为正应变（10.78GHz对应于0应变），因此定点间光纤处于受拉状态，满足设计要求。取1-2定点间传感光纤布里渊频移测试结果如图6(b)所示，可见定点间应变存在微小的变化，因此可求出各定点间的光纤应变变化如图6(c)所示，再根据计算出的各定点沉降量，并得到H1光纤截面变形曲线如图6(d)所示。可见H1光纤截面沉降波动在5mm-18mm之间，平均沉降水平约为11.5mm。



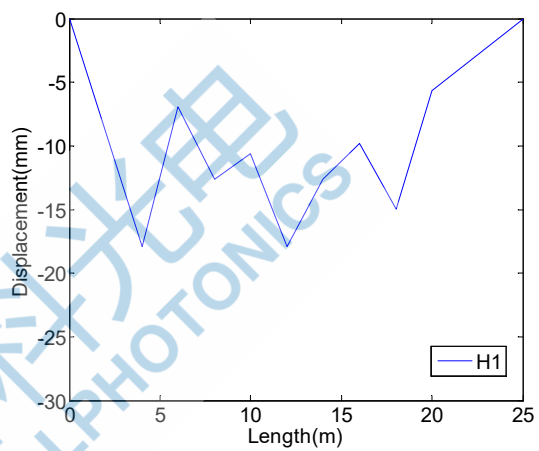
(a) H1 光纤全长测试结果



(b) H1 光纤 1-2 定点间布里渊频移变化



(c) H1 光纤全部定点应变测试结果



(d) H1 光纤截面变形曲线

图 6 花石峡 H1 传感光纤沉降测试结果