基于POF-OTDR的混凝土坝裂缝定量监测及POF布设研究

包腾飞^{1,2,3*}, 李润鸣^{1,2,3}, 赵津磊⁴

1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098;
2. 河海大学水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心, 南京 210098;
3. 河海大学水利水电学院, 南京 210098;
4. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 扬州 225127

* E-mail: baotf@hhu.edu.cn

收稿日期: 2017-10-14; 接受日期: 2018-07-28; 网络版发表日期: 2019-02-28

国家重点研发计划(编号: 2016YFC0401601)、国家自然科学基金(批准号: 51579086, 51739003, 51479054, 51379068, 41323001)、江苏省杰出青年基金(编号: BK20140039)和江苏高校优势学科建设工程(水利工程)(编号: YS11001)资助项目

摘要 塑料光纤由于弥补了石英光纤易发生断裂的不足, 且具有大纤径、良好韧性、高可塑性、低成本等优良特性, 在结构健康监测领域具有广阔的应用前景. 为了利用塑料光纤实现对混凝土坝裂缝的定位、定宽和定向监测, 本文结合理论分析和模型试验研究了基于塑料光纤-光时域反射技术(POF-OTDR)的裂缝定量监测方法. 首先通过大量试验建立了裂缝的定量监测模型, 在分析裂缝监测的可能构型的基础上提出了双支塑料光纤的裂缝定量监测方法, 并通过试验加以验证, 然后以此为基础提出了塑料光纤混凝土坝裂缝监测基本网络构型. 最后, 以某混凝土拱坝为例结合数值计算研究了塑料光纤裂缝监测网络布设.

关键词 塑料光纤, 光时域反射, 裂缝监测, 混凝土坝

1 引言

由于混凝土坝材料和力学特性复杂, 且外界环境多变, 在施工和运行过程中容易发生开裂问题. 裂缝是大坝发生病变失稳的前兆, 直接关系到大坝的安全与稳定, 因而采用科学的理论与方法探测和监测混凝土坝裂缝的发生和发展过程具有重要的理论意义和应用价值^[1,2]. 要实现裂缝的实时动态监测, 不仅需要对开裂现象进行定性探测, 还需要对裂缝扩展情况进行

定量监测. 对结构开裂的定量监测能力应包括定位、定宽和定向监测能力. 目前, 裂缝监测技术主要有测缝计法^[3]、声发射法^[4]、探地雷达法^[5]、超声波法^[6]等, 大多方法仅能给出裂缝的大概位置. 但由于混凝土坝应力状态复杂, 裂缝的开展往往呈现出时空随机性、隐蔽性等特征, 这使得传统裂缝监测技术难以有效地捕捉裂缝发生开裂方向、宽度等信息, 更难以实现对裂缝开度的发展过程的动态监测^[7,8].

光纤传感技术具有分布式监测能力, 在裂缝监测

引用格式: 包腾飞, 李润鸣, 赵津磊. 基于POF-OTDR的混凝土坝裂缝定量监测及POF布设研究. 中国科学: 技术科学, 2019, 49: 343–350
Bao T F, Li J M, Zhao J L. Study of quantitative crack monitoring and POF layout of concrete dam based on POF-OTDR (in Chinese). Sci Sin Tech, 2019, 49: 343–350, doi: 10.1360/N092017-00350

方面具有良好的应用前景, 以往研究多集中于石英光纤^[9,10]方面. 但石英光纤纤芯细弱, 易发生断裂, 最大伸长率仅约1%^[11], 故仅能探测细小裂缝. 而且石英光纤难以适应大型土木、水利工程复杂和粗放的施工环境, 存活率较低, 实际应用存在一定的障碍. 作为一种新型光纤材料, 塑料光纤(plastic optical fiber, POF)的纤芯采用高性能聚合物材料, 最大伸长率可提高至80%^[12]. 其弥补了石英光纤的不足, 且具有大径径、良好韧性、高可塑性、低成本等优良特性, 具有实现裂缝的分布式、连续式监测和远程实时监测的潜力^[13,14].

将光纤用于结构裂缝监测须选择合适的光学传感技术, 常见技术有: 白光干涉传感技术^[15](white light interferometer), 光纤布拉格光栅技术^[16](fiber Bragg grating), 布里渊散射传感技术^[17](Brillouin scattering), 光时域反射传感技术^[18](optical time domain reflectometry, OTDR)等. 其中, 白光干涉和光纤布拉格光栅技术属于点式光纤传感技术, 往往需要事先确定裂缝的位置、开展方向等信息, 难以对大体积结构的开裂情况进行分布式监测. 布里渊散射技术虽具有分布式传感功能, 但其往往仅能定性判断裂缝的有无, 难以获得裂缝的数量和开度. OTDR是一种先进的分布式传感技术, 其通过向POF的一端发射光脉冲并于同一端监测POF内部各处的瑞利散射和菲涅尔散射实现对POF内部光学特性的连续性测量. 将POF以一定形式布设于混凝土坝中, 结合OTDR技术, 理论上可以实现对裂缝的连续定量监测.

本文拟研究POF-OTDR的裂缝定量监测方法, 并以此为基础探讨混凝土坝的裂缝监测网络构型和布设.

2 POF-OTDR裂缝定量监测分析

2.1 POF-OTDR裂缝定量监测模型

POF内部光散射分为3种类型, 分别是瑞利散射、拉曼散射和布里渊散射. 其中, 瑞利散射是由光纤材料微观分子密度不同导致微观折射率差异造成的, 强度相对较高. OTDR技术通过向POF内部发射一束脉冲光, 检测POF内部各处的瑞利散射以获得脉冲光在传播过程中的强度变化情况. 其发射端和接收端均位于POF的一端, 应用更为方便. 图1为典型的OTDR测试

图1 (网络版彩图)典型的OTDR测试曲线

曲线. 从图中可以看出, 除了瑞利散射特性之外, 测试曲线中还体现了光的菲涅尔反射特性(即曲线中的局部反射峰). 菲涅尔反射是由几何突变或者断裂面影响下折射率的突变引起, 这些引起折射率突变的因素往往是人们所关心的事件点. 当混凝土发生开裂时, 布设在混凝土裂缝附近的POF折射率将发生突变, 引起菲涅尔反射. 因此可以通过分析菲涅尔反射事件点的位置实现裂缝的定位.

当裂缝穿过POF时, 裂缝的开展将造成POF内部光的损耗. 该损耗值的大小可以通过OTDR设备探测得到, 决定该光损耗值大小的因素有两个, 分别是裂缝开度和POF-裂缝夹角. 通过对POF进行裂缝模拟试验可以获得光损耗与裂缝开度的关系.

图2为本文设计的塑料光纤裂缝模拟装置实物及示意图. 该装置中, POF一端连接OTDR设备, 另一端连接POF尾纤, 两块玻璃板相对移动即可实现对张开型裂缝开展的模拟. 将POF与裂缝呈不同角度布置进行多次试验, 可以获得不同裂缝开度和不同POF-裂缝夹角下的光损耗.

通过对大量试验数据进行回归分析, 可得到POF光损耗与裂缝开度的关系:

图2 (网络版彩图)裂缝模拟装置实物及示意图

$$A(\delta, \theta) = c_1 + (c_2 - c_1) \arctan \theta^{c_3} / (1 + 10^{c_5(c_4 - \delta)}) \theta_1, \quad (1)$$

式中, A 为光损耗, δ 为裂缝开度, θ 为 POF 与裂缝的夹角, $c_1 \sim c_5$ 为常数项。

将 POF 与裂缝分别呈 30° , 45° , 60° 布置进行试验, 运用式(1)对试验得到的光损耗数据进行拟合, 拟合效果如图3所示。从图中可以看出, 大部分试验数据点均位于拟合曲面上, 说明式(1)可有效表示 POF 在裂缝监测中光损耗、裂缝开度、POF-裂缝夹角三者之间的关系。

由式(1)可以看出, 通过 POF-OTDR 所获得的光损耗值 A 由裂缝开度 δ 和 POF-裂缝夹角 θ 共同决定, 因此无法直接从光损耗值得出裂缝开度和开展方向。假设一条裂缝与 POF 存在两个交点, 可以利用 POF-OTDR 测得两个光损耗信息 A_1 和 A_2 , 表示为

$$\begin{cases} A_1(\delta, \theta_1) = c_1 + (c_2 - c_1) \arctan \theta_1^{c_3} / (1 + 10^{c_5(c_4 - \delta)}), \\ A_2(\delta, \theta_2) = c_1 + (c_2 - c_1) \arctan \theta_2^{c_3} / (1 + 10^{c_5(c_4 - \delta)}). \end{cases} \quad (2)$$

根据 POF 的空间构型确定夹角 θ_1 和 θ_2 的几何关系, 即可由光损耗 A_1 和 A_2 确定裂缝的开展方向和开度, 结合 OTDR 对裂缝的定位, 即可实现对裂缝的定量监测。

2.2 POF 裂缝定量监测的构型分析

基于上述定量监测方法, 分别就单支 POF 与裂缝有两个交点、双支 POF 每支与裂缝各有一个交点两种情况下, 夹角 θ_1 和 θ_2 可能存在的几何关系进行讨论。

当仅使用单支 POF 对裂缝进行探测时, 需保证同

图3 (网络版彩图) POF 裂缝监测模型对试验数据拟合效果图

一条裂缝与该 POF 同时有两个交点, 则在布设 POF 时应使 POF 在前进方向折回。折回的形式可以有两种, 即 POF 前进方向与折回方向平行或相交, 如图4中(a)和(b)所示。同理, 当使用两支 POF 时也可以将两支 POF 平行或者相交布置, 如图4中(c)和(d)所示。

对于图4(a)和(c)的情况, 一旦结构开裂则裂缝与 POF 的两个交点处夹角相同, 式(2)退化为单个方程。因此无论是单支光纤还是双支光纤都应避免平行布设的形式, 而且该形式下还可能出现裂缝与 POF 两交点处都垂直的情况, 感知能力较低。

对于图4(b)和(d)的情况, 根据图中的几何关系, POF-裂缝的夹角 θ_1 和 θ_2 与 POF 夹角 θ_0 的关系为 $\theta_1 - \theta_2 = \theta_0$, 在布设 POF 时控制夹角 θ_0 为一固定值, 则由式(2)得到裂缝开度 δ 及 POF 与裂缝的夹角 θ_1 和 θ_2 , 即可实现对裂缝定宽、定向的监测目的。

在两交点裂缝定量监测方法中, 虽然使用单支 POF 和双支 POF 理论上都可以实现对裂缝的定量监测, 但结构出现多处开裂时, POF 会内部产生多处光损耗, 单支 POF 内部总的光损耗更容易超出 OTDR 的动态范围^[19]。因此, 采用双支 POF 的布设方案(图4(d))能取得更好的监测效果。

2.3 双支 POF 裂缝定量监测方法的试验验证

选取图4(d)形式, 即双支 POF 相交布设形式验证 POF 的裂缝定量监测能力。双支构型中两 POF 之间的夹角 θ_0 设置为 30° , POF 与裂缝两交点处夹角 θ_1 和 θ_2 的关系为 $\theta_1 - \theta_2 = \theta_0$ 。采用上文试验装置进行试验, 试验

图4 (网络版彩图) 裂缝与 POF 两点相交可能形式示意图。(a), (b) 单支 POF; (c), (d) 双支 POF

开始前, 将两支POF粘贴于有机玻璃板上, 两支POF与裂缝相交处的夹角 θ_1 和 θ_2 分别为 55° 和 25° , 如图5所示. 试验中定量控制裂缝的开展宽度, 并实时运用POF-OTDR探测两支POF内部产生的光损耗值.

分别得到两支POF内部光损耗随裂缝开度的变化值. 将两交点处的光损耗值代入式(2), 并利用夹角关系 $\theta_1 - \theta_2 = \theta_0$ 即可得到 θ_1 , θ_2 和 δ 的值, 计算结果见表1. 计算结果显示, 其中两夹角的计算值和实际角度最大误差仅为 2.97° , 裂缝开度的计算值与实际测量值最大误差仅为 0.23 mm , 可见双支构型对裂缝的开展方向及开展宽度具有较好的监测能力.

3 POF混凝土坝裂缝监测构型

上节提出的POF双支构型可以实现对裂缝的定量监测, 但在进行大面积监测时, 由于混凝土结构开裂的位置和方向具有随机性, 如果开裂位置离两POF交叉点较远, 开裂方向与一支POF的夹角较小, 且裂缝长度较小时, 则较难保证裂缝与两支POF都相交. 因此, 实际应用中需在双支构型的基础上将POF布置成网络, 使POF对被监测区域内任意位置、任意开展方向的裂缝都具有较好的定量监测能力.

根据混凝土结构开裂位置、开裂方向不确定性的特点, 并结合上述POF双支构型裂缝定量监测方法, 提

图5 (网络版彩图)两点法裂缝定量监测验证试验示意图

出如图6所示的POF裂缝监测网络的基本构型. 该构型由两支POF组成, 每支POF按一定角度呈波形布设, 两路POF按一定角度 θ_0 相互交织呈网状. 图中Crack1, Crack2和Crack3分别为竖直向、水平向和倾斜向的裂缝, 并且两交点处POF与裂缝的夹角都可以通过 θ_0 构成一定几何关系. 由双支POF裂缝定量监测的方法, 只要裂缝与POF形成两个交点即可实现其定位、定向、定宽. 该POF裂缝监测网络的基本构型中两POF相交处 θ_0 的大小可事先根据需要确定. 如果选择较小的 θ_0 , 则有利于对竖向或者倾斜方向开裂长度较短的裂缝进行监测; 反之, 则有利于对水平方向开裂长度较短的裂缝进行监测.

将POF用于混凝土坝裂缝监测, 需要对混凝土坝的开裂特征进行事先判断分析. 由于混凝土坝潜在结构裂缝与其自身结构特征以及受力特征相关, 因此需

表1 两点法随机裂缝定量监测结果

光损耗1 (dB)	光损耗2 (dB)	计算角度		计算开度 (mm)	实际开度 (mm)
		$\theta_1 (^\circ)$	$\theta_2 (^\circ)$		
0.23	0.56	55.08	25.08	0.60	0.50
0.63	1.13	56.49	26.49	1.03	1.00
1.00	1.64	54.96	24.96	1.40	1.50
1.60	2.50	57.97	27.97	2.18	2.00
1.91	2.90	55.33	25.33	2.52	2.50
2.05	3.20	56.32	26.32	2.83	3.00
2.34	3.60	54.29	24.29	3.41	3.50
2.45	3.73	54.91	24.91	3.98	4.00
2.50	3.84	54.99	24.99	4.65	4.50
2.55	3.87	55.31	25.31	5.23	5.00
2.57	3.90	55.11	25.11	5.64	5.50
2.58	3.92	54.93	24.93	5.86	6.00

图 6 (网络版彩图)POF裂缝监测网络基本构型示意图

要结合结构特征以及外界环境因素进行不同工况下的受力分析,并充分参考已有的混凝土坝开裂经验.实际应用中,还应根据混凝土坝的施工工艺和施工进度等对POF进行保护、确定具体布置方式和方法.

4 某混凝土坝工程的POF裂缝监测网络布设

某混凝土拱坝工程以发电为主,兼顾防洪、灌溉等综合利用效益.该工程枢纽由主坝、两岸重力墩、两岸重力副坝、混凝土重力拱坝、泄水建筑物、引水建筑物和水电站厂房等组成.挡水前沿总长度为1226 m,其中主坝396 m,最大坝高178 m,最大底宽80 m,建基面标高2432.0 m,坝顶高程2610 m.根据该拱坝的结构特征及地质条件建立有限元分析模型(图7).模型向上游扩展640 m,下游扩展580 m,左右岸分别扩展405和480 m,共有节点204806个,单元192494个.

参考工程设计参数并结合由实测资料反演的结果,大坝坝体及地基的参数取值见表2.根据大坝的设计水位资料及当地气候实测资料拟定3种典型工况,详细参数如下.

工况I: 水位(2573.08 m)+自重+温降(月平均气温

图 7 (网络版彩图)某拱坝有限元分析模型

为-6.45℃);
工况II: 水位(2573.08 m)+自重+温升(月平均气温为6.01℃);
工况III: 水位(2533.63 m)+自重+温升(月平均气温为20.92℃).

各工况下坝体下游面拱向和梁向应力计算结果如图8所示,图中以拉应力为正、压应力为负.结果显示,工况I下坝体下游面主要以拉应力为主,而工况II、工况III中主要以压应力为主.下面对各工况下的应力分布规律及坝体开裂的可能性进行分析.

工况I下主要拱向拉应力区域出现在2500~2570 m高程,梁向拉应力区出现在2530~2560 m高程,呈中间区域较大并向四周逐渐减小的规律.最大拉应力值为3.61 MPa,高于混凝土抗拉强度(1.7~2.0 MPa),因此工况I下坝体下游面2500~2570 m高程区域为潜在坝体开裂区域.

工况II、工况III下坝体下游面应力分布类似,均以压应力为主,但工况III下总体压应力水平高于工况II下的压应力水平.工况III下主要压应力区域分布在2500~2570 m高程.最大拱向压应力为2.41 MPa,出现在拱冠梁附近,且拱向压应力值向四周有逐渐减小的趋势.梁向应力没有明显的分布规律,但总体看来,压

表 2 坝体和坝肩主要材料物理参数

参数	弹性模量 (MPa)	泊松比	密度 (kg m ⁻³)	线膨胀系数 (℃ ⁻¹)
坝体	30000	0.167	2400	0.80×10 ⁻⁵
2400 m以下坝基	22000	0.22	0	0
2590 (或2580)~2560 m坝肩	8000	0.28	0	0
2450~2560 m两岸坝肩	16000	0.25	0	0
断层G ₄	3400	0.2	0	0
断层F ₁₈	4500	0.2	0	0
断层F ₇₃	3200	0.2	0	0
断层F _{120+A₂}	5400	0.2	0	0

图8 坝体下游面拱向((a), (c), (e))和梁向((b), (d), (f))应力分布图. (a), (b) 工况I; (c), (d) 工况II; (e), (f) 工况III

应力不大, 最大压应力不超过2.23 MPa. 工况II、工况III下压应力的最大值远低于混凝土的抗压强度(20 MPa), 因此两工况下坝体下游面不会出现开裂的情况.

该拱坝下游面实际开裂情况如图9所示. 该工程自蓄水以来下游面出现多达135条裂缝, 以水平向裂缝为主, 主要分布在2510~2570 m高程和拱冠梁9#坝段. 下游面实际开裂区域与结构分析所得出的潜在开裂区域吻合, 说明对拱坝进行结构分析可有效判断其潜在的开裂区域, 该区域即布设POF裂缝监测网络时需重点关注的区域.

根据结构分析确定拱坝潜在开裂区域, 并结合图6中所设计的POF裂缝监测网络基本构型, 可初步确定该拱坝下游面和坝体内部POF裂缝监测网络的布设方法如图10所示. 下游面的POF裂缝监测网络可以在坝体主体施工完成以后, 运用环氧结构胶将POF按照图

图9 (网络版彩图)某拱坝下游面实际开裂情况示意图(图中上半部分较粗的虚线为坝体开裂位置)

中所示的形式粘贴于坝体表面. 考虑到单支POF复用能力的限制, 可使用多组POF分区域布设以保证较好的监测效果. 坝体内部布设POF裂缝监测网络一方面可对坝体内部裂缝进行监测, 另一方面则可以与坝体表面监测网络配合使用, 以此确定表面裂缝的开裂深

图 10 (网络版彩图)某拱坝POF裂缝监测网络优化构型建议示意图

度. 坝体内部POF裂缝监测网络的布设要遵循坝体浇筑的工艺和步骤. 由于目前混凝土坝是分层分块浇筑的, 坝体内部的POF应分坝段在不同高程布设. 其具体的布设方法可以采用以下步骤: 首先, 在新浇筑层开始以前将POF按照基本网络构型布设在仓面上; 然后将POF定位, 并用混凝土砂浆掩埋, 以防止粗骨料对POF的伤害. 也可以在仓面上沿POF布设的路线事先开槽, 然后用水泥砂浆进行掩埋.

混凝土拱坝主要靠坝肩基岩的支撑而保持稳定, 为了避免由坝肩岩体节理、断层等不良地质构造引起的坝肩破坏或滑动, 需对拱坝坝肩岩体稳定性进行监测. 类似地, 可将多支POF呈一定角度埋设于坝肩基岩(图11), 以实现基岩滑动变形量的定量监测. POF的埋设可以按以下步骤进行: (1) 对可能出现滑动的岸坡进行钻孔; (2) 将POF通过合适的管型保护装置延伸至孔底; (3) 对钻孔进行砂浆回填并撤出安装保护装置.

图 11 (网络版彩图)某拱坝坝肩潜在滑动POF网络构型建议示意图

5 结论

本文重点研究了POF-OTDR技术对裂缝的定量监测能力及工程应用方法, 主要研究内容有:

(1) 通过模型试验数据建立了POF的裂缝监测模型, 提出了使用双支POF的两交点裂缝定量监测方法, 并通过试验对该方法的裂缝定量监测能力进行了验证.

(2) 基于POF的裂缝定量监测方法, 构建了适合大体积混凝土裂缝监测的POF网络, 然后根据混凝土坝的工程特点, 研究了裂缝监测网络在混凝土坝中的布设方法, 最后以一拱坝为例给出了裂缝监测网络的具体实现方法.

参考文献

- 1 刘浩吾. 混凝土重力坝裂缝观测的光纤传感网络. 水利学报, 1999, 10: 61–64
- 2 Zheng D J, Huo Z Y, Li B. Arch-dam crack deformation monitoring hybrid model based on XFEM. *Sci China Tech Sci*, 2011, 54: 2611–2617
- 3 谭恺炎, 姚红兵. 我国大坝安全监测技术的发展与展望. 水利水电施工, 2006, 4: 115–122
- 4 Degala S, Rizzo P, Ramanathan K, et al. Acoustic emission monitoring of CFRP reinforced concrete slabs. *Constr Build Mater*, 2009, 23: 2016–2026
- 5 Huston D, Hu J Q, Maser K, et al. GIMA ground penetrating radar system for monitoring concrete bridge decks. *J Appl Geophys*, 2000, 43: 139–146
- 6 Shah A A, Ribakov Y, Hirose S. Nondestructive evaluation of damaged concrete using nonlinear ultrasonics. *Mater Des*, 2009, 30: 775–782
- 7 吴永红, 苏怀智, 徐洪钟, 等. 混凝土高坝裂缝光纤分布式监测能力的研究. 光子学报, 2007, 36: 722–725
- 8 吴永红, 徐洪钟, 高培伟, 等. 混凝土高拱坝裂缝光纤监测网络构型的优化. 水利水电科技进展, 2006, 26: 37–39
- 9 包腾飞, 赵津磊, 张万祝, 等. 新型可测量大变形的弯曲型光纤光栅裂缝传感器. 中国科学: 技术科学, 2014, 44: 1013–1019
- 10 包腾飞, 赵津磊, 阎培林, 等. 一种新型大量程裂缝光纤传感器. 中国科学: 技术科学, 2015, 45: 984–990
- 11 Large M C J, Moran J, Ye L. The role of viscoelastic properties in strain testing using microstructured polymer optical fibres (mPOF). *Meas Sci*

- [Technol](#), 2009, 20: 034014
- 12 Rawal Husdi I, Nakamura K, Ueha S. Sensing characteristics of plastic optical fibres measured by optical time-domain reflectometry. [Meas Sci Technol](#), 2004, 15: 1553–1559
- 13 Zhao J, Bao T, Chen R. Crack monitoring capability of plastic optical fibers for concrete structures. [Optical Fiber Tech](#), 2015, 24: 70–76
- 14 赵津磊, 包腾飞, 戚丹. 塑料光纤在裂缝监测中应用的可行性研究. [光电子-激光](#), 2014, 25: 1943–1948
- 15 苑立波. 光纤白光干涉技术的回顾与展望. [光学学报](#), 2011, 31: 314–326
- 16 包腾飞, 钱飞. 混凝土裂缝分布式光纤光栅监测能力研究. [压电与声光](#), 2011, 33: 540–543
- 17 Glisic B, Inaudi D. Development of method for in-service crack detection based on distributed fiber optic sensors. [Struct Health Monit](#), 2012, 11: 161–171
- 18 Bao T F, Wang J L, Yao Y. A fiber optic sensor for detecting and monitoring cracks in concrete structures. [Sci China Tech Sci](#), 2010, 53: 3045–3050
- 19 吴永红, 邵长江, 王尚志, 等. 混凝土坝裂缝光纤监测复用能力及与灵敏性的关系. [河海大学学报\(自然科学版\)](#), 2007, 35: 677–680

Study of quantitative crack monitoring and POF layout of concrete dam based on POF-OTDR

BAO TengFei^{1,2,3}, LI JianMing^{1,2,3} & ZHAO JinLei⁴

¹ State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

² National Engineering Research Center of Water Resources Efficient Utilization and Engineering Safety, Hohai University, Nanjing 210098, China;

³ College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

⁴ Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co. Ltd, Yangzhou 225127, China

It is widely accepted that plastic optical fibers will have broad application prospect in the field of structural health monitoring because the fiber is not easy to break like silica optical fibers and it also has excellent characteristics such as large diameter, good toughness, high plasticity and low cost. In order to monitor the location, width and direction of cracks in concrete dam, quantitative crack monitoring method of concrete dam based on POF-OTDR is studied theoretically and experimentally. Firstly, mathematical model of quantitative crack monitoring is established through a lot of model tests. Then double-POF crack monitoring method is presented and validated experimentally after analysing possible layout methods. Based on this interpretation, a reasonable POF network layout scheme for crack monitoring is proposed. Finally, network structure for a concrete arch dam is discussed based on numerical calculation.

plastic optical fiber, optical time domain reflect, crack monitoring, concrete dam

doi: [10.1360/N092017-00350](https://doi.org/10.1360/N092017-00350)