

文章编号: 1008-2786-(2009)6-747-05

薄盒式光纤岩体裂缝计研究

谢全敏¹, 吴定洪², 王红彬¹, 刘 雄¹

(1. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070;

2. 三峡库区地质灾害教育部重点实验室(三峡大学), 湖北 宜昌 443002)

摘 要: 山体(岩体)破坏和发展过程可以看作是裂纹扩展的过程, 可以实现对其发展过程进行实时监测。为此, 研究了一种薄盒式光纤岩体裂缝计。给出了其结构设计, 并对该薄盒式光纤岩体裂缝计的性能进行了位移和压力两项室内试验研究, 结果表明: 所研究的光纤岩体裂缝计, 具有可靠、实用和高灵敏度等特点, 对于山体(岩体)(或其他裂缝工程体, 如水坝)的变形发展和失稳的机理研究和早期预报, 将是一种良好的传感监测设备, 具有较好的工程应用价值。

关键词: 薄盒式光纤岩体裂缝计; 设计; 试验

中图分类号: P642 TN25

文献标识码: A

山体(岩体)破坏失稳的变形发展具有一定的规律, 它与岩体力学现场及室内力学试验的破坏全过程基本一致。山体破坏失稳有其力学发展过程, 一般为: 在岩体的构造应力、自重、地质环境变化和外界物理因素的引发下, 发生节理、裂隙扩展、贯穿; 宏观裂缝形成; 大裂缝连贯切割山体形成危岩。在地质环境改变或人为干扰下, 触发山崩(如盐池河、鸡冠岭)或山体蠕滑(如鸡扒子)。因此, 掌握山体裂缝发展的动态, 对山体稳定性的早期评价, 具有十分重要的意义^[1]。

捕捉山体(岩体)失稳的信息, 需要高灵敏的、长期稳定的、适于现场环境的以及能快速采集、分析与传输信息的监测系统。到目前为止, 国内外尚无成功的用于山体(岩体)开裂破坏失稳的变形监测的室内外光纤传感器及相应的二次仪表^[1-10]。为此, 作者依托三峡库区地质灾害教育部重点实验室开放基金项目“山体破裂失稳早期预测预报光纤传感技术研究”, 开展了光纤岩体裂缝计设计研究。

为解决山体(岩体)微裂缝变形动态问题, 要求所设计的光纤传感器的厚度应控制在毫米量级, 即

属于薄型传感器, 在使用时能较方便的放入岩体裂缝, 特别是要能放入岩体破坏裂缝的尖端部位。为此, 这里研究了一种光纤岩体裂缝变形传感器, 主要用于监测对岩体稳定性具有控制作用的微裂缝(宽度在毫米量级)变形发展动态, 以判定岩体破坏发展所处的阶段, 进行岩体失稳的早期预测预报。

1 薄盒式光纤岩体裂缝计设计

在光纤岩体裂缝计设计时, 我们进行了一种薄盒式光纤岩体裂缝计设计与试验研究。薄盒式光纤岩体裂缝计设计结构示意图如图 1 所示, 本传感器有一园型薄盒, 直径 70.0 mm, 厚 8.0 mm, 整体外形如图 2 所示, 该照片为一传感器的完整单元, 它由 PC 插头、薄盒传感器和光强监测器组成。

山体(岩体)裂缝变形监测时, 将盒埋入待测的岩体裂缝, 岩体裂缝变形, 将推动盒面弯曲, 弯曲的挠度由置于盒内的光纤传感元件反应, 从其挠度测定, 可取得山体(岩体)裂缝变形的动态信息。

收稿日期(Received date): 2009-03-02; 改回日期(Accepted): 2009-05-13.

基金项目(Foundation item): 三峡库区地质灾害教育部重点实验室开放基金资助(No. 2006KDZ03). [Supported by Key Laboratory of Geological Hazards on Three Gorges Reservoir Area Ministry of Education No. 2006KDZ03.]

作者简介(Biography): 谢全敏, 男, 1968年生, 博士, 教授, 主要从事岩土工程方面的科研工作。[Xie Quanmin(1968-), male, Ph.D., professor major in geotechnical engineering] E-mail: xiequanmin@sohu.com

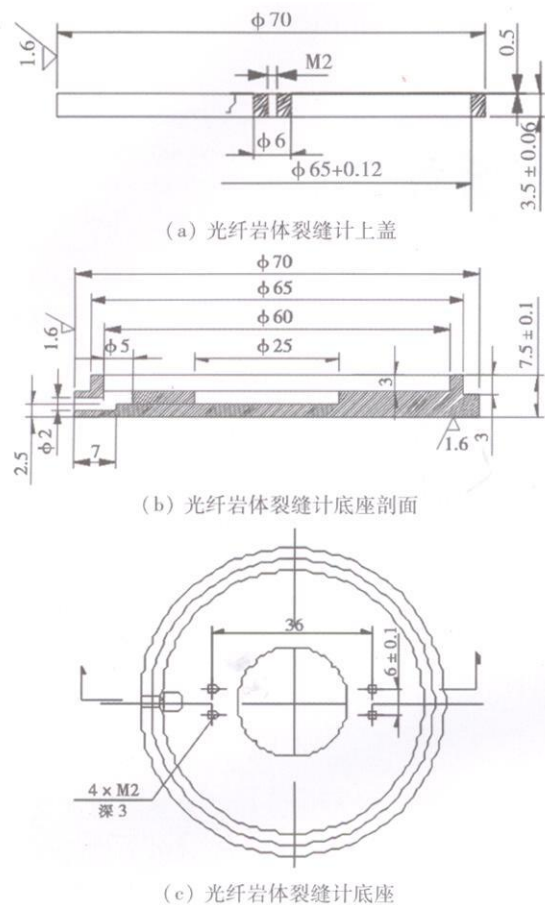


图 1 薄盒式光纤岩体裂缝计结构设计示意图
Fig. 1 The structure design diagram of the thin cassette optical fiber rock mass crack gauge

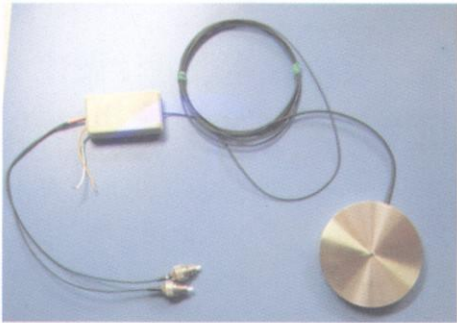


图 2 薄盒式光纤岩体裂缝计整体外形
Fig. 2 The whole appearance of the thin cassette optical fiber rock mass crack gauge

2 光纤岩体裂缝计试验与测试

为了研究薄盒式光纤岩体裂缝计性能,对薄盒式光纤裂缝计进行了位移和压力两项室内试验。

2.1 试验过程

薄盒式光纤岩体裂缝计位移和压力室内试验过程:(1)测定位移时将薄盒放入位移标定台的狭缝

内,测定压力时将薄盒放在小型加压台上;(2)将入射光和出射光的光纤 PC 插头插入相应的光源和放大器的插座,并打开仪表电源;(3)加位移或压力,由光电仪表记录相应的光强变化;(4)光强输出的光强稳定性由串接在光纤入射端的光强监控器确定。

2.2 试验成果与分析

1. 试验成果

薄盒式光纤岩体裂缝计位移试验数据列于表 1 表 2 和表 3 位移特性曲线如图 3 图 4 和图 5 所示。薄盒式光纤岩体裂缝计压力试验数据列于表 4 压力特性曲线如图 6 所示。

表 1 光纤岩体裂缝计位移试验 (1) 数据

Table 1 Displacement experiment data (1) of the optical fiber rock mass crack gauge

试验条件	光纤针传感元件中心管 $\varnothing 0.5\text{ mm}$, 两端加长管 $\varnothing 1.0\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 和 $\varnothing 1.0\text{ mm} \times 5.0\text{ mm}$, 组成变截面管, 管两端简支, 用胶固定防滑动	位移	光电压	光电压	光强变化
电流 I/mA		$\delta / 10^{-3}\text{ mm}$	V_{11} / mV	V_{21} / mV	η_1 / dB
46.38		0	1 502	190.9	0
		20	1 418	191.3	0.249 9
		40	1 322	191.4	0.554 4
		60	1 208	191.6	0.946
		80	1 091	191.9	1.388
		100	972	192.1	1.89
		120	862	192.4	2.412
		140	764	192.6	2.936
		160	671	192.7	3.499
		180	606	192.8	3.942
		200	560	192.8	4.285
		220	533	192.8	4.499
		240	504	192.9	4.742
		250	492	193	4.847
		250	492	193	4.847
		240	492	193	4.847
		220	502	193	4.76
		200	524	192.9	4.573
		180	563	192.9	4.262
		160	614	192.8	3.885
46.43		140	692	192.8	3.366
		120	789	192.8	2.796
		100	914	192.6	2.157
		80	1 047	192.8	1.567
		60	1 191	192.8	1.008
		40	1 333	192.6	0.518 3
		20	1 460	192.7	0.123 2
		0	1 547	192.8	0.013

注: 室温为 17.0°C , V_{11} 为工作光电压 V_{21} 为监控光电压

表 2 光纤岩体裂缝计位移试验 (2)数据

Table 2 Displacement experiment data(2) of the optical fiber rock mass crack gauge				
试验条件	传感元件同试验 (1), 传感针一端支, 一端简支, 仪表: 恒流源、放大器, 功率检测表 vc98Q 光源检测表 DT9202A			
电流	位移	光电压	光电压	光强变化
I/mA	$\delta / 10^{-3} \text{mm}$	V_{11} / mV	V_{21} / mV	η_1 / dB
50. 12	0	1187	189. 3	0. 000
	20	1093	189. 2	0. 358
	40	958	189. 2	0. 931
	60	877	189. 2	1. 315
	80	811	189. 2	1. 651
	100	752	189. 1	1. 982
	120	693	189. 1	2. 337
	140	640	189. 0	2. 683
	160	590	189. 0	3. 036
	180	550	189. 0	3. 341
	200	510	189. 0	3. 669

注: 室温为 18. 5℃, V_{11} 为工作光电压 V_{21} 为监控光电压

表 3 光纤岩体裂缝计位移试验 (3)数据

Table 3 Displacement experiment data(3) of the optical fiber rock mass crack gauge				
试验条件	使用仪表同试验 (2), 传感针对 $\varnothing 0. 5$ 管加双肩并简支 (缩短弯管长度, 并形成单截面管)			
电流	位移	光电压	光电压	光强变化
I/mA	$\delta / 10^{-3} \text{mm}$	V_{11} / mV	V_{21} / mV	η_1 / dB
50. 01	0	316. 0	201. 4	0
	10	316. 0	201. 4	0
	20	314. 0	201. 4	0. 028
	30	310. 0	201. 4	0. 083
	40	292. 0	201. 4	0. 343
	50	262. 0	201. 4	0. 813
	60	232. 0	201. 4	1. 342
	70	206. 0	201. 4	1. 858
	80	186. 0	202	2. 302
	90	170. 0	202	2. 693
	100	156. 0	202	3. 066
	110	142. 0	202	3. 474
	120	130. 0	202. 1	3. 857
	130	118. 0	202. 1	4. 278
	140	106. 0	202. 4	4. 743
	150	94. 0	202. 4	5. 266

注: 室温为 19. 0℃, V_{11} 为工作光电压 V_{21} 为监控光电压

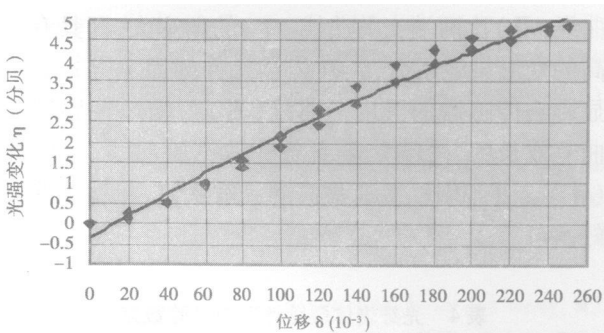


图 3 薄盒式光纤岩体裂缝计位移特性曲线 (1)

Fig. 3 The displacement curve (1) of the thin cassette optical fiber rock mass crack gauge

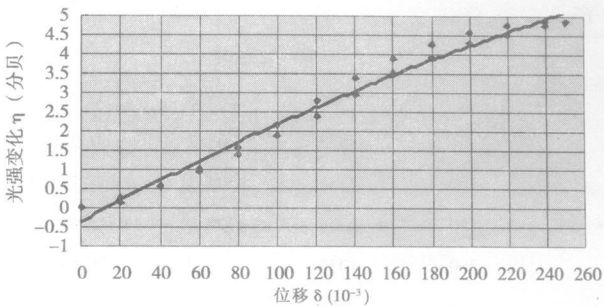


图 4 薄盒式光纤岩体裂缝计位移特性曲线 (2)

Fig. 4 The displacement curve (2) of the thin cassette optical fiber rock mass crack gauge

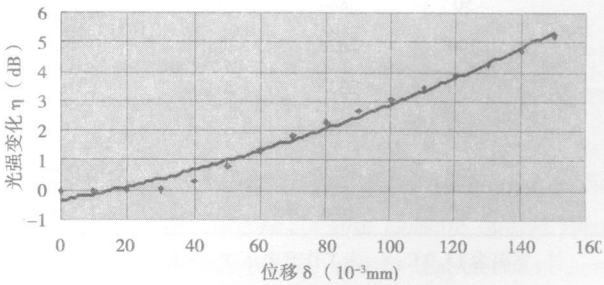


图 5 薄盒式光纤岩体裂缝计位移特性曲线 (3)

Fig. 5 The displacement curve (3) of the thin cassette optical fiber rock mass crack gauge

2. 试验成果分析

1)位移特性成果分析

将表 1、表 2 和表 3 的试验数据划在同一坐标图上, 即为图 7, 图上的曲线 (I) 为盒内的光纤传感针 (元件) 两端简支, 并用高强度胶固定所测得的位移曲线; 曲线 (II) 为传感计一端夹支固定, 另一端支 (胶固定) 的位移曲线; 曲线表明, 两种固定方法在位移 $\delta [5. 0 \times 10^{-2} \text{mm}, 20. 0 \times 10^{-2} \text{mm}]$ 变形区间和光衰减系数 η 均呈良好的线性关系, 但一端支的

曲线(Ⅱ)比两端支的曲线(Ⅰ)的斜率大,即具有较高的变形灵敏系数,光纤传感元件的固定方式会明显影响传感器的灵敏度。曲线(Ⅲ)为缩短传感针弯曲有效长度,两端处于支条件的试验曲线,与曲线(Ⅰ)、(Ⅱ)相比,具有更高的灵敏系数,并且线性良好。

表 4 光纤岩体裂缝计压力试验数据
Table 4 Pressure experiment data of the optical fiber
rock mass crack gauge

试验 条件	光纤岩体裂缝计压力试验, 试验条件同位移试验(3)			
I(mA)	F(g)	V ₁₁ (mV)	V ₂₁ (mV)	η(dB)
第一次加载				
49. 96	0	2994	205. 3	0. 000
	50	2833	205. 2	0. 240
	100	2536	205. 1	0. 721
	150	2236	205. 0	1. 268
	200	2035	205. 0	1. 677
	250	1809	204. 9	2. 188
	300	1652	204. 8	2. 582
	第二次加载			
	0	2945	204. 8	0. 000
	50	2864	204. 4	0. 121
	100	2626	204. 4	0. 498
	150	2333	204. 4	1. 012
	200	2053	204. 4	1. 567
	250	1829	204. 4	2. 069
	300	1639	203. 6	2. 545

注: 室温为 13. 0℃, V₁₁为工作光电压 V₂₁为监控光电压

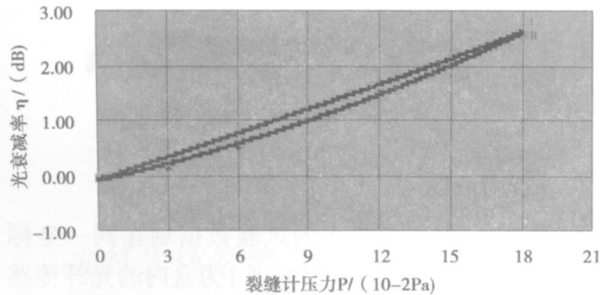


图 6 薄盒式光纤岩体裂缝计压力特性曲线
Fig 6 The pressure curve of the thin cassette
optical fiber rock mass crack gauge

明, 由于传感元件——光纤传感针的组成用了胶体, 在针的固定方式上也使用了胶体, 所以明显存在变形滞后象形, 但都可以在续一段时间后回到初始值。

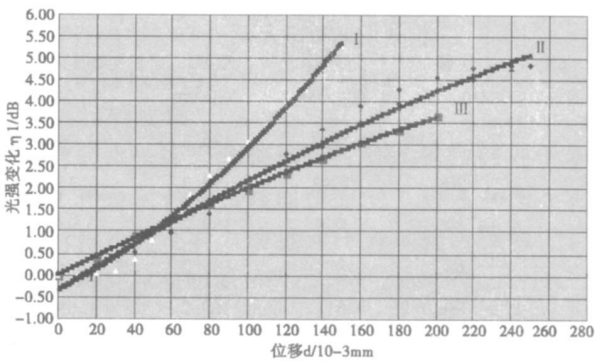


图 7 薄盒式光纤岩体裂缝计位移特性曲线
Fig 7 The displacement curve of the thin cassette
optical fiber rock mass crack gauge

2)压力特性成果分析

图 6 为两次加压的试验结果, 试验曲线表明: 两根曲线具有几乎相同的斜率, 表明传感器具有良好的重复性和相同的灵敏系数; 传感器的灵敏系数很高, 将传感性膜适度的降低厚度, 已可用于液压或岩土体中的渗压测量; 本光纤传感器具有良好的时间稳定性。

据以上的试验结果及成果分析可得的下结论: 本文研究的光纤岩体裂缝计, 具有可靠、实用和高灵敏度的优点; 缺点是量程较小。但对于岩体(或其他裂缝工程体, 如水坝)变形发展和失稳的机理研究和早期预报, 将是一种良好的传感监测设备。

3 结 语

监测技术必须随着科学技术的进步不断发展和更新, 向快速、方便、准确、安全、无损和自动化的方向发展, 在这种背景下需要不断寻求新的实验原理、方法、技术和仪器。近年来, 在高科技的渗透和支持下, 常规检测技术正在酝酿更新换代, 光纤传感检测技术以其独特优势而处于中心地位, 各行各业都在研究光纤传感技术的应用。在岩土工程领域, 光纤传感技术的应用可探测岩土体的应力和应变等动态过程变化, 对外力引起的变形、裂纹等损伤进行实时监测已开展了相关的研究, 它可以几乎在所有场合取代岩上工程动静力学监测, 所以, 光纤传感技术在岩土工程领域具有广阔应用前景。本文为了解决山

对传感器的滞回特性和长期稳定性的观测表

体(岩体)微裂缝变形动态监测问题,研究了一种薄盒式光纤岩体裂缝计,在室内对其性能进行了研究,下一步将对其工程应用展开研究。

参考文献 (References)

- [1] Liu Xiong Study on the application of fiber optical sensor to geomechanics and geotechnical engineering[J]. *Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 1999, 18(5): 497~502 [刘雄. 光纤传感技术在岩土力学与工程中的应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(5): 497~502]
- [2] Rao Zhi-qiang Huang Xiang Application of optical fiber sensor to geotechnical engineering[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2007, 28(1): 209~212 [饶志强, 黄祥. 光纤传感器在岩土工程中的应用[J]. 岩土力学, 2007, 28(1): 209~212]
- [3] Wang Jianhua Wen Shiyou The application of fiber optics detection technique to feedback information construction in geotechnical engineering[J]. *Jiangxi Nonferrous Metals*, 2002, 16(4): 6~9 [王建华, 温世游. 光纤检测技术在岩土工程信息化施工中的应用[J]. 江西有色金属, 2002, 16(4): 6~9]
- [4] Li Hongnan, Li Dongsheng Progress in study and application of smart health monitoring method by fiber optic sensor in civil engineering *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2002, 22(6): 76~83 [李宏男, 李东升. 光纤健康监测方法在土木工程中的研究与应用进展[J]. 地震工程与工程振动, 2002, 22(6): 76~83]
- [5] Wang Huwen, Jiang Xianjin Optical Fiber Sensing Technology and Its Application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2001 [王惠文, 江先进. 光纤传感技术与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001]
- [6] An Yuyin Zhen Xiaodong Optical Fiber Sensor and survey[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2001 [安毓英, 曾小东. 光纤传感与测量[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001]
- [7] Fisher N E Probe for measuring ultrasound fields using in fiber bragg grating[J]. *Proc of SPIE*, 1998, 3555: 451~456
- [8] Claude Belleville Gatan Duplain White-light interferometric multi-defiber-optic strain sensor[J]. *Optical Letter*, 1993, 18(1): 78~80
- [9] Ferraro Pietro Natale De Giuseppe On the possible use of optical fiber bragg gratings as strain sensors for geodynamical monitoring[J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2002, (37): 115~130
- [10] Iwashita T, Inoue A, Shigenatsu M. Temperature compensation technique for fiber Bragg gratings using liquid crystalline polymer tubes[J]. *Electron Lett*, 1997, 33(5): 66~78

Study on a Thin Cassette Optical Fiber Rock Mass Crack Gauge

XIE Quanmin¹, WU Dinghong², Wang Hongbin¹, LIU Xiong¹

(1 School of Civil Engineering & Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

2 Institute of Geological Hazards Control, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract The damage and development of the mountain mass (rock mass) can be regarded as the course of the crack expansion that can be measured by the real-time monitoring. For this purpose, a thin cassette optical fiber rock mass crack gauge is studied. The design of its structure is given out in this paper, and its displacement performance and pressure performance is researched in the lab. Experiment results indicate that the thin cassette optical fiber rock mass crack gauge has characteristics such as reliable, practical and high sensitive. The thin cassette optical fiber rock mass crack gauge is a better sensing monitoring equipment for the research on the deformation development and damage mechanism of the mountain mass (rock mass) (or other rock engineering mass such as the dam) and the early forecast. It has a good engineering application value in the field of geotechnical engineering.

Key words a thin cassette optical fiber rock mass crack gauge; design; experiment