

# 一种新型的裂缝计<sup>\*</sup>

杨巧玉, 黄浩华, 杨学山, 杨立志

(中国地震局工程力学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘 要:** 通常光测法、摄像法、裂缝显微镜法仅能测量已有旧裂缝的宽度, 超声波法和冲击弹性波法仅能测量裂缝的深度, 声发射、传感器法和光纤传感网络法可测量正在发生的裂缝。当对于已有裂缝在荷载作用下的动态变化目前还没有一种行之有效的测量方法。为此利用双悬臂梁和应变原理研制成功一种新型裂缝计, 可准确测量结构、构件表面已有裂缝在荷载作用下裂缝开合大小或表面动态应变。该仪器具有抗振动干扰的特点, 即被测点的振动不产生电量输出, 仅在被测裂缝开合或混凝土表面产生应变时才有输出。该裂缝计已获得国家专利。该裂缝计已在哈尔滨、佳木斯等几个桥梁的裂缝检测中得到应用, 获得理想的效果, 得到铁道部好评。论文介绍了裂缝计的结构原理和技术性能。

**关键词:** 裂缝; 裂缝计; 混凝土; 应变

**中图分类号:** P315.9; TP212.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-811X(2009)04-0107-05

## 1 概述

在混凝土结构中, 裂缝是内部损伤达到危险程度的集中体现, 有无裂缝是安全的首要因素, 裂缝的产生和扩展直接破坏结构的完整性, 引起结构内部应力的急剧变化, 造成混凝土结构的断裂或垮塌。因此, 对裂缝的监测是混凝土结构健康状况评估的有效方法, 如何迅速、准确、无遗漏地检测出裂缝的发展状态极为重要, 可避免大型混凝土结构断裂或垮塌等灾难性事故的发生。

对于已有裂缝, 在无法知道裂缝的形成原因的情况下测量其在荷载作用下裂缝的动态变化更有价值, 可判断已有裂缝和加载的关系以及结构的危险程度。

目前裂缝的检测方法分为有损法和无损法。

有损法包括 凿槽、打孔压水或压风和钻孔取芯等方法<sup>[1,2]</sup>。这种方法对结构会造成局部破坏。

无损裂缝检测法有: 光测法、超声波检测法、冲击弹性波法、声发射(AE)检测法、摄影检测法、传感器监测法、光纤传感网络监测等方法。

光测法<sup>[3]</sup>是根据裂缝图像灰度, 利用 Otsu 提出的类判别法计算出图像分割的最佳阈值, 继而提取图像的裂缝信息, 然后通过编制的图像处理

程序分析出研究区域的裂缝宽度及其方差。超声波检测法<sup>[4]</sup>是以超声波为媒介, 获得混凝土深部裂缝信息的一种方法, 可测得混凝土表面产生的裂缝深度。冲击弹性波法<sup>[5]</sup>与超声波法的原理是一样的, 但远比超声波测定的裂缝深度深。声发射(AE)检测法也是利用弹性波进行声波检测的具体检测方法, 只能检测正在发生的裂缝位置(声发射源定位)、裂缝的大小、扩展情况的种类以及裂缝的深度, 但不能检测已发生的旧裂缝。摄影检测法<sup>[6-8]</sup>主要做调查混凝土表面的裂缝。摄影法包括普通照相机、录像机、放射线、红外线摄影等进行检测。传感器监测<sup>[5]</sup>利用埋在混凝土中的仪器进行监测, 常用技术是利用卡尔逊式或弦式测缝计, 其控制范围仅 0.2 ~ 1 m, 属点式检测。由于裂缝出现空间的随机性, 因此往往漏检。为了及时、无遗漏地测裂缝, 必须实施大范围连续的分布式监测, 即所谓分布监测。光纤传感网络监测<sup>[9-11]</sup>普遍应用于各国竞相开发的结构高科技领域里, 光纤传感以其独特优势居于中心地位, 它灵巧、高精度、抗电磁干扰, 且可靠耐久、易于光纤传输组成自动化系统。裂缝的发生可以用埋设在混凝土中光纤的光强变化监测, 而裂缝的定位可用多模光纤在裂缝处的光强突然下降或光时域反射计(OTDR)诊断完成。通过 OTDR 衰减曲线

\* 收稿日期: 2009-05-12

基金项目: 国家科技支撑计划子课题(2006BAJ03B03-01、2006BAJ06B07-03); 地震行业专项基金(200808051)

作者简介: 杨巧玉(1973-), 女, 山东阳谷县人, 工程师, 主要从事工程振动测量仪器和计量技术研究. E-mail: yangxs\_iem@126.com

上的裂缝损耗突变点，可以准确地确定裂缝的位置。此外，还有裂缝显微镜法，可直接观测表面已有裂缝的宽度。

综上所述，光测法、摄像法、裂缝显微镜法仅能测量已有旧裂缝宽度，超速声波法和冲击弹性波法仅能测量裂缝的深度；声发射、传感器法和光纤传感网络法可测量正在发生的裂缝。当对于已有结构裂缝(如桥梁、桥墩裂缝等)在荷载作用下的动态变化的测量，目前还没有一种行之有效的方法。

介绍的 LF-1 型裂缝计<sup>[12]</sup>如图 1 所示，它有别于上述几种方法，它是基于双悬臂梁和应变原理，研制成功一种新型裂缝计，可测量结构、构件表面已有裂缝在荷载作用下裂缝开合大小和动态应变。该仪器具有抗振动干扰的特点，即被测点的振动不产生电量输出。其不足是不能测量已有旧裂缝的宽度。该裂缝计已获得国家专利，并已在哈尔滨、佳木斯等多个桥梁上得到应用，获得理想的效果，得到铁道部好评。

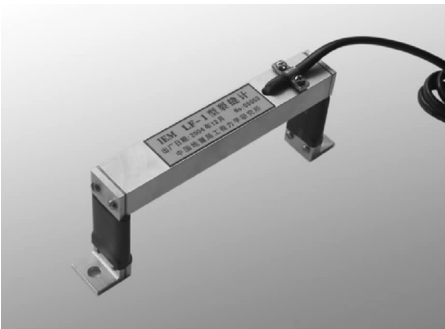
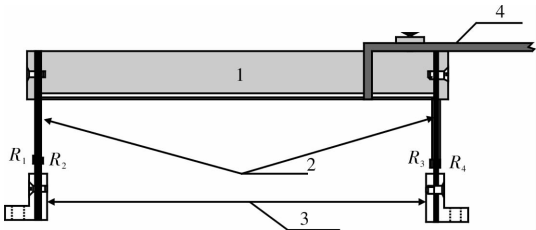


图 1 裂缝计照片

2 LF-1 型裂缝计的结构原理

LF-1 型裂缝计的结构原理如图 2 所示。在两簧片的根部贴有应变  $R_1, R_2, R_3, R_4$  片组成全桥后通过 4 芯电缆输出。当两底脚之间的位移发生变化时，贴在簧片上的应变片通过应变仪或传感器接口电路把簧片产生的应变转换成与位移成正比的电压信号，然后送给记录仪。



1. 横梁; 2. 弹簧片; 3. 底脚; 4. 4 芯电缆

图 2 LF-1 型裂缝计的结构原理

图 3 为 LF-1 型裂缝计的电路原理图，贴在左侧簧片根部的应变片  $R_1, R_2$  和贴在右侧簧片根部的应变片  $R_3, R_4$  组成全桥，由 A、B、C、D 4 点引出 4 芯电缆。A、B 两点接电源 E，C、D 两点接应变仪的输入端。

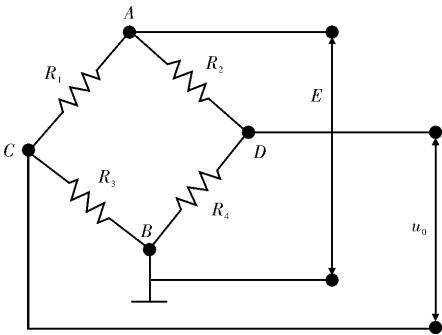


图 3 裂缝计电路图

测量原理如图 4 所示。当裂缝张开  $\Delta x$  时，即两悬臂梁之间的位移为  $x + \Delta x$ ，应变片  $R_2$  和  $R_3$  受拉，应变片  $R_1$  和  $R_4$  受压，由 4 个应变片组成桥路的输出电压  $u_0$  正比于裂缝宽度  $\Delta x$ ，输出电压为正；反之，当裂缝收缩  $\Delta x$  时，即两悬臂梁之间的位移为  $x - \Delta x$ ，应变片  $R_2$  和  $R_3$  受压，应变片  $R_1$  和  $R_4$  受拉，输出电压为负。假如被测混凝土表面还没有出现裂缝，只是产生了应变，桥路经应变仪后仍可测出混凝土的应变。

当混凝土试件发生振动时，两个悬臂梁带动横梁一起运动，在混凝土表面和横梁之间产生相对位移  $X$ ，假定横梁向左运动， $R_2$  和  $R_4$  受拉， $R_1$  和  $R_3$  受压，桥路平衡，无电压输出。反之亦然。故裂缝计只测量裂缝的开合大小，对被测表面的振动毫无反应。

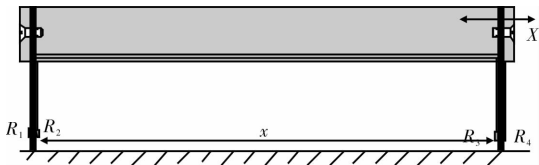


图 4 LF-1 型裂缝计测量原理图

3 主要技术指标

- 灵敏度: 0.35 mV/mm/V;
- 频率范围: 0 ~ 50 Hz;
- 量程: 0.6 mm(5 000  $\mu\epsilon$ );
- 线性度:  $\leq 2\%$ ;
- 电源: 1 V ~ 5 V DC;
- 重量: 0.2 kg。



可调低通滤波器：60 dB；  
可调激励电源：电压（4 ~ 15 V）或电流（100 μA ~ 10 mA）。

5.3 裂缝计的具体连接电路

裂缝计的连接电路如图 7 所示，增益设定为 500，桥路电压为 5 V。

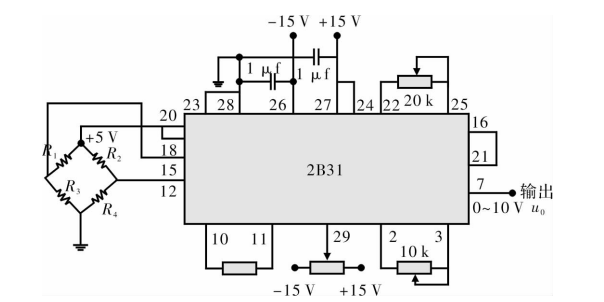


图 7 裂缝计的连接电路

5.4 裂缝计的标定

裂缝计的标定是采用数字千分尺，标定时用数字千分尺直接测量裂缝计两支脚之间距离的变化大小 Δx，同时用数字万用表直流电压档测量 2B31 的输出电压 μ<sub>0</sub>，即可求得裂缝计的灵敏度

$$S_x = \frac{\mu_0}{\Delta x} \text{。} \tag{9}$$

此灵敏度是在固定桥路电压和放大器增益情况下的灵敏度，如果桥路电压和放大器增益改变，灵敏度也随之改变。故裂缝计的灵敏度通常以单位增益和单位桥路电压的形式 (mV/mm/V) 表示。

5.5 标定结果

标定结果如表 1 所示。

编号	灵敏度/(mV/mm/V)
05004	0.360
05005	0.359

6 结语

LF-1 型裂缝计为混凝土结构表面已有裂缝在

荷载作用下裂缝的动态变化测量提供了一种新仪器。该裂缝计已应用于哈尔滨、佳木斯等几个桥梁在火车通过桥梁时的裂缝动态测量，为桥梁的健康诊断提供了可靠数据。该裂缝计也可用于其他构件在加载时的表面应变和裂缝动态测量。

参考文献：

[1] 郭炜. 水工大体积混凝土裂缝检测[J]. 水利水电快报, 2007, 28(19): 27-28.

[2] 张际春, 赵勤勇. 压水试验在船撞破损桥墩 裂缝检测中的应用[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2008, 33(S0): 22-25.

[3] 王伟, 何小元, 尹兰. 光测法在混凝土表面裂缝测量中的应用[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2005, 35(S1): 19-22.

[4] 李俊如, 高建光, 王耀辉. 超声波检测混凝土裂缝及裂缝成因分析[J]. 岩土力学, 2001, 22(3): 291-293.

[5] 樊辉明, 姚昌荣, 李亚东. 混凝土桥梁裂缝检测及修补技术[J]. 四川建筑, 2005, 25(2): 114-116.

[6] 张娟, 沙爱民, 高怀钢, 等. 基于数字图像处理的路面裂缝自动识别与评价系统[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(2): 18-22.

[7] 伯绍波, 闻茂德, 何靛俊, 等. 基于图像处理的沥青路面测量算法研究[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(10): 1305-1307.

[8] 唐磊, 赵春霞, 王鸿南, 等. 基于图像三维地形模型的路面裂缝自动检测[J]. 计算机工程, 2008, 34(5): 20-38.

[9] 李鹏, 杨学银. 分布式光纤传感器在裂缝检测中的应用[J]. 山西建筑, 2007, 33(30): 102-103.

[10] 丁睿, 吴永红, 刘浩吾. 分布式光纤传感技术在结构裂缝检测中的应用[J]. 四川水力发电, 2003, 22(1): 70-72.

[11] 孙宝臣, 徐华, 李剑芝, 等. 基于光纤网络的全分布裂缝检测技术研究[J]. 传感技术学报, 2007, 20(7): 1672-1675.

[12] 中国地震局工程力学研究所, 杨学山. 裂缝计专利说明书[P](证书号第 881576 号). 中华人民共和国知识产权局, 2007.

[13] 杨学山. 工程振动测量仪器和测试技术[M]. 北京: 中国计量出版社, 2001.

[14] 李刚. 现代仪器电路: 电路设计的器件解决方案[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2000.

## A New Type of Crack Meter

Yang Qiaoyu, Huang Haohua, Yang Xueshan and Yang Lizhi

(Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China)

**Abstract:** Optical measurement, camera method and microscopic crack method could generally only measure the existing cracks width, over speed acoustic and impact elastic wave method could only measure the depth of crack acoustic emission, sensors and fiber-optic sensor network could measure current occurring cracks. There is no efficient method to detect dynamic change of existing cracks under load. A new type of crack meter is introduced. The crack meter leverages double cantilever and contingency principle to accurately measure the size of the opening and closing and surface dynamic strain of existing cracks on structure and components surface under load. The meter is anti-vibration, i. e., the vibration on measure point doesn't output electricity, the output only happens when the crack opens and closes or strain occurs on concrete surface. The crack meter is patented nationally. The meter has applied to bridge crack detection in Harbin and Jiamusi with good results and favorable comment from railway bureau. Structure principal and technical performance of the crack meter are proposed.

**Key words:** crack; crack Meter; concrete; strain

(上接第 94 页)

[32] 杨宁, 梁峰, 王力伯. 油类火灾灭火剂及其应用研究进展[J]. 消防技术与产品信息, 2004, 5: 31-32.

[33] 京商办字[2005]4 号《北京市餐饮业安全管理规范(试行)》[S]. 2005.

[34] 施超峰. 饮食业油烟污染及抽排设计[J]. 中国环保产业, 2004, (10): 25-27.

[35] 李刚, 冯国会, 张宝刚, 等. 公共厨房油烟气控制技术现状与展望[J]. 沈阳建筑工程学院学报: 自然科学版, 2002, 18(3): 210-213.

[36] 梁衍魁. 餐饮业烹调油烟气的组成与危害及净化方法探讨[J]. 能源与环境, 2004, (1): 43-44.

[37] 刘迅, 吕维宁. 焙烧炉烟道阻火装置[P]. 中国专利 CN2718489, 2005-08-17.

## Summarization of Research on Cooking Fume Fire

Xie Zhengwen<sup>1,2</sup>, Liang Xiaoyu<sup>2</sup>, Yuan Qiao<sup>2</sup> and Qu Fang<sup>2</sup>

(1. School of Resources and safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;  
2. China safety & Environment Protection Institute, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Research achievements of fume fire in China are summarized based on statistics of cooking fume fires. Classification, causes, detection methods, extinguishing agents and extinguishing devices are studied. The gap between China and other countries in research on cooking fume fire is analyzed. Problems in dealing with cooking fume fires in our country are pointed out and ideas for protecting against cooking fume fires are presented.

**Key words:** cooking fume fire; summarization; extinguishing agent; extinguishing device