

蔡作馨, 2015, 一种地应力连续测量系统的标定方法, 中国地震, 31(1), 165 ~ 167。

• 研究报道 •

# 一种地应力连续测量系统的标定方法

蔡作馨

宁德地震台, 福建省宁德市蕉城区东湖路葫芦冈 2 号 352101

**摘要** 在地应力连续测量方法“渗透率法”的基础上, 设计了一种对观测系统进行标定的方法。经对原有推导结果进行数学转换, 给出了新的计算公式以及其中有关参数的测定方法。结果表明, 经过标定之后, 原有的连续相对测量方法可转换为抗干扰性强、灵敏度高、经济简便且物理意义确切的有效正应力连续测量方法。

**关键词:** 地应力 连续测量方法 标定 渗透率 地下水动力学

[文章编号] 1001-4683 (2015) 01-0165-03 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

继 2008 年汶川大地震之后, 龙门山断裂带于 2013 年 4 月 20 日再次发生芦山 7.0 级地震。秦向辉等 (2013) 在汶川地震后通过有关地应力测量结果并结合地震地质等资料, 曾对芦山地震作出过中长期预测, 为近地表的地应力测量在地震研究中的意义又给出了一个有力例证。

为解决“地应力连续测量”问题, 本文作者基于岩石力学有关成果和地下水动力学原理, 曾建立了一种称为“渗透率法”的地应力连续测量方法 (Cai, 2008)。该方法基于地下水动力学中的渗透率  $K$  与有效正应力  $\sigma$  之间存在着的定量关系 (Louis, 1974), 并以渗透率为中间观测量, 具体的方法原理和技术细节以及有关实验观测结果, 在文献 (Cai, 2008) 中已有详细介绍, 本文不再赘述。上述方法具有抗干扰性强、灵敏度高、可实现连续自动观测和经济简便等优点, 但已报导的方法还仅限于相对测量范畴。为此, 本文提供一种途径, 旨在使其进一步转换为可对有效正应力值实现连续测量的方法, 权当对所述“渗透率法”已有工作的一项补充。

## 1 “渗透率法”简介

所述称为“渗透率法”的地应力连续测量方法的主体设计为: 在揭露承压含水层的井孔中, 应用恒流技术使适当的抽水流量呈一定周期和一定波幅的方波 (或“改形方波”) 状变

[收稿日期] 2014-02-14; [修定日期] 2014-04-18

[作者简介] 蔡作馨, 男, 1946 年生, 研究员, 曾长期从事地震监测工作, 对地应力连续测量方法有过专项野外实验研究。E-mail: czx306@126.com

化;在控制条件下,使井水位对应于流量方波的两端恒定流量值分别快速达到平衡态,并使井孔结构和周边状态保持稳定;通过高精度水位记录系统记录相应的“井水位波”,其波幅即为观测输出量  $\Delta s$ 。

根据 Louis (1974) 等通过实验研究得到的关于渗透率  $K$  与有效正应力  $\sigma$  之间存在着的经验关系

$$K = K_0 \exp(-a\sigma) \quad (1)$$

以及地下水动力学中的裘布依方程, Cai (2008) 推导给出了该观测输出量  $\Delta s$  与相应含水层的有效正应力  $\sigma$  之间的关系式

$$\Delta s = \frac{\Delta Q}{FbK_0} \exp(a\sigma) \quad (2)$$

式中,除  $\Delta s$  和  $\sigma$  以外的其他参数均为常数。注:文献 (Cai, 2008) 中式 (7) 等号右边小括号内多了 1 个负号,系稿件打印出错。式 (2) 中  $\sigma$  是  $\Delta s$  的唯一变量。所以,观测仪器给出的观测输出量  $\Delta s$  可以直接用来描述相应含水层有效正应力  $\sigma$  的大小变化情况。由此可见,该方法只是 1 种相对测量方法。

## 2 标定方法设计

在上述基础上,为使该测量方法转换为能够给出有效正应力值的连续测量结果,需要对观测系统进行标定。为此,首先需要式 (2) 进行如下转换:

对式 (2) 求导数,并把微分改写为差分,整理得到

$$\Delta\sigma = A \frac{\Delta(\Delta s)}{\Delta s} \quad (3)$$

或

$$\sigma_t = \sigma_0 + A \frac{\Delta s_t - \Delta s_0}{\Delta s_0} \quad (4)$$

式 (4) 中,  $\sigma_0$  和  $\Delta s_0$  分别为初始时刻  $t_0$  的有效正应力和观测输出量,  $\sigma_t$  和  $\Delta s_t$  分别为时刻  $t$  的有效正应力和观测输出量;系数  $A$  为待测定常数,是特定观测系统的特征参数。

蔡祖煌等 (1980) 在介绍岩土渗透率  $K$  对地应力变化具有非常敏感的特性时,就其定量表达,给出了由地应力变化所引起的孔隙压力变化量  $\Delta P$  与渗透率变化的关系

$$\frac{\Delta K}{K} = -\gamma \Delta P \quad (5)$$

式中,  $\gamma$  为渗透性模量。比较式 (3)、(5) 易见,两者所表达的物理关系极为相似。事实上,从 Cai (2008) 的推导和地下水动力学原理可知,式 (3) 中的  $\frac{\Delta(\Delta s)}{\Delta s}$  与式 (5) 中的  $\frac{\Delta K}{K}$ , 以及式 (3) 中的  $\Delta\sigma$  与式 (5) 中的  $\Delta P$ , 原本双双具有确切的物理关联。所以,式 (3) 或式 (4), 以及其中的系数  $A$ , 具有确切的物理意义当是没有疑问的。

从式 (4) 可见,  $\sigma_0$  和  $A$  经测定后,便可根据连续的观测输出量  $\Delta s$ , 通过式 (4) 换算得到有效正应力  $\sigma$  的连续测量结果。

为了测定参数  $\sigma_0$  和  $A$ , 可采用技术相对成熟的已有的地应力静态测量方法,测定相应的有效正应力值,拟需进行 2 次测量。第 1 次测量结果可得到  $\sigma_0$ , 同时记录相应的  $\Delta s$  值

(即  $\Delta s_0$ );第2次测量必须在  $\Delta s$  较初始时刻有明显变化时进行(若  $\Delta s$  值呈稳定状态,则意味着  $\sigma$  值亦稳定在  $\sigma_0$  附近)。把前后2次有效正应力的静态测量结果及其分别对应的  $\Delta s$  值代入式(4)或式(3),便可求出  $A$  值。

### 3 结论与讨论

理论上表明,Cai(2008)所介绍的测量系统,在本文给出的式(4)支持下,经过标定,便可构成一种有效正应力的连续测量方法。但该标定方法尚未曾付诸实践,谨作为一项设计留待后人检验或供后人参考。

为解决“地应力连续测量”问题,在已知的可被应用的地质参数中,“渗透率”或许是最优的,虽然从已有工作来看还仅应用于有效正应力这一分量的观测;从继续开发更优者的角度考虑,“地下饱水球状体介质电阻率”或许值得一试。

#### 参考文献

- 蔡祖煌、石慧馨,1980,地震流体地质学概论,162~163,北京:地震出版社。
- 秦向辉、陈群策、谭成轩等,2013,龙门山断裂带西南段现今地应力状态与地震危险性分析,岩石力学与工程学报,32(增刊I),2870~2876。
- Cai Z X,2008, A continuous crustal stress monitoring method for earthquake prediction, Pure Appl Geophys,165(9~10),1879~1889.
- Louis C, 1974, Rock hydraulics, In: Muller L, Rock mechanics, 300~387, New York: Springer Wien New York.

## A calibration method for continuous crustal stress monitoring

Cai Zuoxin

Ningde Seismic Station, Earthquake Administration of Fujian Province, Ningde 352101, Fujian, China

**Abstract** On the basis of rock mechanics and groundwater dynamics, we have previously reported a “permeability method” to measure relative changes of the aquifer crustal stress. Herein, we report the new development of the permeability method for continuously monitoring the absolute crustal stress. We provide a new approach to calibrate the experimental system so that the previously measured stress change can be converted to absolute values of the crustal stress. It is physically evident that the new method allows continuously monitoring absolute values of crustal stress. It is also highly sensitive and can be easily constructed.

**Key words:** Crustal stress    Continuous monitoring    Calibration    Permeability  
Groundwater kinetics