

ICS 91.120.25

P 15

备案号: \*\*\*

DB

中华人民共和国地震行业标准

DB/T XXXXX—XXXX

## 地震地壳形变观测方法 钻孔应变观测

The method of earthquake-related crustal monitoring— crustal strain observation in  
borehole

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(征求意见稿)

(本稿完成日期: 2011-09-08)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国地震局 发布

# 目 次

前言 .....	II
引言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 观测对象 .....	1
5 观测原理 .....	2
6 观测标定 .....	4
7 观测组网 .....	6
8 观测产出 .....	6
9 判断地震异常的原则 .....	7
10 数据库 .....	8

## 前 言

本标准是《地震地壳形变观测方法》系列标准中的一项。该系列标准结构及名称预计如下：

地震地壳形变观测方法 地倾斜观测

地震地壳形变观测方法 洞体应变观测

地震地壳形变观测方法 钻孔应变观测

地震地壳形变观测方法 跨断层位移测量

本标准按照GB/T1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中国地震局提出。

本标准由全国地震标准化委员会（SAC/TC 255）归口。

本标准起草单位：中国地震局地壳应力研究所、中国地震台网中心、湖北省地震局、山东省地震局。

本标准主要起草人：

## 引 言

钻孔地应变观测是地震地壳形变观测方法之一。1962年广东新丰江水库6.1级地震后，我国就开始进行地震地壳应力（应变）观测与研究，经过多年的理论研究和观测实践，共计建设了一百余个钻孔应变观测台站，积累了大量的观测资料与技术研究成果。近年来，随着“十五”期间“中国数字地震观测网络”工程项目的建设完成，数字化钻孔地应变观测台网，已较广泛覆盖我国主要地震构造带、重点监视区以及国民经济重点发展地区。

科学规范钻孔地应变观测方法，有利于钻孔地应变观测技术的应用与发展，有利于从理论上清晰认定钻孔地应变观测方法的科学侧重点和内涵，有利于从技术系统配备与性能指标上规范和约定实现观测方法的基本技术要求，也有利于在地震地形变观测台站或场地建设中，合理配置该种观测手段，充分获得观测信息。

本标准作为推荐性标准，其中提出的推荐性条款，都是以过去数十年钻孔应变观测的实践为依据编制的。本标准提出的一些强制性条款，也都是汲取了以往的教训的结果。因此，特别强调查阅以往的大量国内外相关文献、统计现有观测台站的性能指标和咨询老专家的意见。同时，也参考理论计算和专项实验结果。

# 地震地壳形变观测方法 钻孔应变观测

## 1 范围

本标准规定了对钻孔地应变观测的观测对象、观测系统、观测台点、观测网络、观测产出的技术要求。

本标准适用于地震监测钻孔地应变观测。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 18207.1-2000 防震减灾术语 第1部分：基本术语

GB/T 18207.2-2005 防震减灾术语 第2部分：专业术语

GB/T 19531.3-2004 地震台站观测环境技术要求 第3部分：地壳形变观测

DB/T 8.1-2003 地震台站建设规范 地形变台站 第1部分：地应变台站

DB/T 8.2-2003 地震台站建设规范 地形变台站 第2部分：地应变台站

DB/T 31.2-2008 地震观测仪器进网技术要求 地形变观测仪 第2部分：应变仪

DB/T XXXX-XXXX 地震台网设计技术要求 地壳形变观测网 第1部分：固定站形变观测网

JSGC-02 中国数字地震观测网络技术规程 中国地震前兆台网技术规程 中国地震局 地震出版社 2005。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**体应变 volumetric strain**

弹性体微元体积的相对变化，与弹性力学定义相同。

### 3.2

**分量应变 component strain**

弹性体某方向微线段长度的相对变化，与弹性力学的正应变定义相同。

### 3.3

**钻孔地应变观测 crustal strain observation in borehole**

通过钻孔用钻孔应变仪对地壳内某处应变随时间变化的观测。

## 4 观测原理

### 4.1 观测对象

4.1.1 钻孔体应变观测对象：体应变。

4.1.2 钻孔四分量应变观测对象：水平面应变状态。

4.1.3 辅助观测：包括气压变化，地下水位变化，温度变化等。

### 4.2 钻孔体应变观测

在钻孔内安装一个长圆形的弹性筒，筒内充满难以压缩的液体。当弹性筒四周岩石发生挤压或拉张变化时，筒内腔室的液体压力随着发生变化，差压传感器感受腔室的压力变化并转换为电压信号输出。通过观测液压的增大或缩小，可求得岩石的体应变变化。

弹性筒内液体压力的变化为：

$$\Delta P = k\Delta\Theta \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\Delta\Theta = \frac{\Delta V}{V}$  为液体的体应变的变化， $V$  是弹性筒的容积， $\Delta V$  是容积的变化，而  $k$  为液体的压缩模量。

实际液体体应变变化  $\Delta\Theta$  与电压观测值变化  $\Delta u$  的关系为：

$$\Delta\Theta = C\Delta u \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$C$  称为格值。

### 4.3 四分量钻孔应变观测

钻孔分量应变仪直接测量的是钻孔某方位直径的相对变化（图 1）。其基本假设是：当远处有均匀水平主应变  $\varepsilon_1$  和  $\varepsilon_2$  时，钻孔的  $\theta$  方位直径相对变化

$$S_\theta = A(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + B(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\cos 2(\phi - \theta) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$\phi$  是主方向， $A$  和  $B$  为应变换算参数。

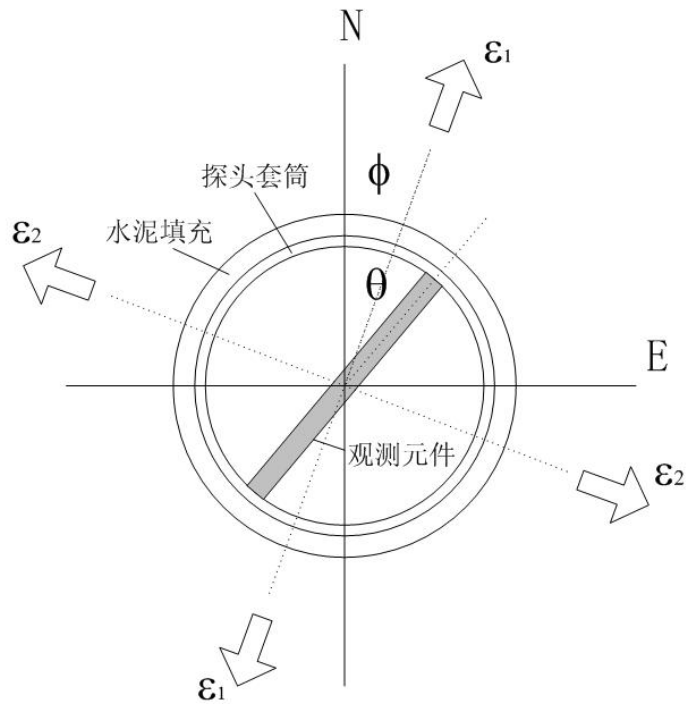


图1 分量钻孔应变观测原理示意图

钻孔应变观测数据的处理一般用增量，即某一时刻的观测值对之前某一时刻观测值的变化量。

4.4 体应变观测的应变换算

体应变观测值一般与真实体应变不同，可能差一个比例系数。

4.5 四分量观测的应变换算

四分量钻孔应变仪，内置 4 个水平安放的应变观测元件，方位间隔 45°。当仪器观测处于理想状态时，按顺时针次序，记其观测值（变化量）为  $S_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )，并记

$$\begin{cases} s_{13} = S_3 - S_1 \\ s_{24} = S_4 - S_2 \\ s_{1234} = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4)/2 \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

以及  $\theta_1$  为第一个元件的方位角，用弧度表示，有

a) 主方向应变状态 ( $\epsilon_1, \epsilon_2, \phi$ ) 表示：

$$\begin{cases} \phi = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{s_{24}}{s_{13}}\right) + \theta_1 \\ \varepsilon_1 = \frac{1}{4A} s_{1234} + \frac{1}{4B} \sqrt{s_{13}^2 + s_{24}^2} \dots\dots\dots (5) \\ \varepsilon_2 = \frac{1}{4A} s_{1234} - \frac{1}{4B} \sqrt{s_{13}^2 + s_{24}^2} \end{cases}$$

式中：

$\varepsilon_1$ —表示最大主应变；

$\varepsilon_2$ —表示最小主应变；

$\phi$ —表示主方向。

b) 地理坐标应变状态 ( $\varepsilon_N, \varepsilon_E, \varepsilon_{NE}$ ) 表示：

$$\begin{cases} \varepsilon_N = \frac{1}{4A} s_{1234} + \frac{1}{4B} \sqrt{s_{13}^2 + s_{24}^2} \cos 2(\phi - \theta_1) \\ \varepsilon_E = \frac{1}{4A} s_{1234} - \frac{1}{4B} \sqrt{s_{13}^2 + s_{24}^2} \cos 2(\phi - \theta_1) \dots\dots\dots (6) \\ \varepsilon_{NE} = -\frac{1}{4B} \sqrt{s_{13}^2 + s_{24}^2} \sin 2(\phi - \theta_1) \end{cases}$$

式中：

$\varepsilon_N$  和  $\varepsilon_E$ —表示北和东方位的正应变；

$\varepsilon_{NE}$ —表示剪应变。

c) 元件坐标表示：

$$\begin{cases} \varepsilon = \frac{s_{1234}}{2A} \\ \varepsilon_{13} = \frac{s_{24}}{4B} \dots\dots\dots (7) \\ \varepsilon_{24} = -\frac{s_{13}}{4B} \end{cases}$$

式中：

$\varepsilon$ —表示面应变；

$\varepsilon_{13}$  和  $\varepsilon_{24}$ —表示元件 1、3 和元件 2、4 方向的剪应变。



## 5 观测标定

### 5.1 四分量钻孔应变观测元件校正系数 $K_i$ ( $i=1, 2, 3, 4$ ) 的求解方法

根据公式：

$$S_\theta = A(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + B(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cos 2(\phi - \theta) \dots \dots \dots (8)$$

在水平面内，任意两个互相正交方向的元件测值（变化量）之和相等。记任意一个元件测值为  $s_1$ ，依次顺时针转动  $45^\circ$ ，有元件测值  $s_2$ ， $s_3$  和  $s_4$ ，应该有

$$s_1 + s_3 = s_2 + s_4 \dots \dots \dots (9)$$

但是实际上这四组测值往往并不完全符合这个关系，而是有一定的误差。可以进一步根据一定的假设来对元件测值进行校正。

令  $S_i = k_i s_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )，假设

$$S_1 + S_3 = S_2 + S_4 \dots \dots \dots (10)$$

将大量实际测值代入，给定任意一个  $k_i$  为 1，可以求解得到其它  $k_i$ 。分别给定所有  $k_i$  为 1，可以得到四组值  $k_{ij}$  ( $i, j=1, 2, 3, 4$ )。对这四组值取平均值

$$K_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 k_{ij} \quad (i=1, 2, 3, 4) \dots \dots \dots (11)$$

作为最终结果。

这样的  $K_i$  都是在 1 附近取值，称为元件灵敏度校正系数。

### 5.2 四分量钻孔应变观测应变换算参数 A 和 B 的求解方法

记孔径相对变化观测值为  $S_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )，并记

$$\begin{cases} s_{13} = S_3 - S_1 \\ s_{24} = S_4 - S_2 \\ s_{1234} = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4)/2 \end{cases} \dots \dots \dots (12)$$

在 x-y 坐标系中，记  $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \phi)$  或  $(\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{xy})$  为已知应变状态变化（例如理论固体潮），根据公式：

$$S_\theta = A(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + B(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cos 2(\phi - \theta) \dots \dots \dots (13)$$

确定 A 值的公式：

$$s_{1234} = 4A(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \dots\dots\dots (14)$$

或

$$s_{1234} = 4A(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}) \dots\dots\dots (15)$$

确定B值的公式:

$$s_{13}^2 + s_{24}^2 = 4B^2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 \dots\dots\dots (16)$$

或

$$s_{13}^2 + s_{24}^2 = B^2[(2\varepsilon_{xy})^2 + (\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2] \dots\dots\dots (17)$$

## 6 观测组网

### 6.1 强震带观测

沿强震带主要断层，观测点间距不宜大于 50km。

### 6.2 科研对比观测

- a) 推荐建立近距离（小于 10 km）对比观测点，使观测数据能够互相对比；
- b) 推荐与其它相关仪器共点观测，使观测数据能够互相对比。

### 6.3 区域变化观测

- a) 在特定地域（如地震研究实验场），应开展区域变化观测，以提供观测区域的可靠的地应变变化图像为目的；
- b) 绘制可靠等值线图的基本原则：
  - 所有各观测点仪器的观测灵敏度相同（观测致性）；
  - 对于区域的主要变化，临近的观测点观测曲线变化有类似之处（变化比性）；
  - 以各观测点曲线的可比性为依据确定等值线及其间隔（精度有限）。
- c) 推荐均匀布设观测点，间距小于 20km，根据地形和构造变化适当调整。

## 7 观测产出

### 7.1 基础数据

包括观测点位置信息和观测点仪器信息。

### 7.2 原始观测数据

#### 7.2.1 应变观测数据

观测数据应符合下列要求：

- a) 单位：10<sup>-10</sup>；
- b) 产出周期：不大于 1 分钟；

- c) 每日一个带时间的数据文件；
- d) 符号规定
  - 体应变观测数据：收缩为正，膨胀为负；
  - 四分量应变观测数据：拉为正，压为负。

### 7.2.2 辅助观测数据

辅助观测应符合下列要求：

- a) 数据单位：
  - 气压记录：hPa
  - 水位记录：cm
  - 雨量记录：mm
  - 其它各种辅助观测数据都应确定单位。
- b) 产出周期：推荐与应变观测相同，应不大于1分钟；
- c) 各种辅助观测每日一个带时间的数据文件。

### 7.3 观测日志

应包括下述信息

- a) 注明观测系统变动情况；
- b) 对于有人值守的台站，要求注明观测环境变动情况；
- c) 对于有人值守的台站，要求注明异常变化和调查结论。

### 7.4 常规产品

#### 7.4.1 钻孔体应变常规产品

——预处理数据：消除已知仪器故障和人为干扰影响。

#### 7.4.2 钻孔四分量观测常规产品

——预处理数据：消除了已知仪器故障和人为干扰影响的数据；  
 ——经过校正的观测数据时间序列；  
 ——换算应变时间序列。

## 8 判断地震异常的原则

### 8.1 有正常背景

对于异常，要从两个方面说明：

- 1) 要说明这种观测已经开展了多长时间。一种观测应该至少积累一年以上的资料，才可能看出季节性的变化规律。这种规律性的变化是一种重要的正常背景。
- 2) 要说明这种观测开展的普遍程度如何。观测点越多，观测范围越大，越能看出正常的背景。

### 8.2 非干扰影响

还应该说明是否干扰影响，包括：

- 1) 仪器故障：观测系统的各个环节都可能出现某种故障。
- 2) 环境变化：包括人为和天气两种。一方面，台站观测人员要努力识别环境变化的影响；另一方

面，必须配置对相关干扰影响的辅助观测，来检验和排除这些环境变化的影响。

### 8.3 与地震相关

在时间上，这个相关要求三方面的约束：

- 1) 观测异常越趋近地震发生越强烈或出现在临近地震发生的时候；
- 2) 震时变化显著大于地震前的异常变化。一般地，观测不到震时变化的仪器，不可能观测到前兆变化；
- 3) 观测异常震后衰减或消失。

在空间上，与地震的密切相关，要求异常区域大致以震中区为中心，或者显著的异常出现在震中区及其附近，在边远的外围地区则异常不那么显著。

在特征上，在地震孕育、发生和消亡的整个过程中，某种相关物理量的变化应该有其一致性、连贯性。

## 9 数据库

应在各级观测网建立钻孔应变观测数据库，数据库建库方法参照EDS/T 3-2005《地震数据 数据库建库指南》和DB/T xx-xxxx《地震前兆数据库结构规范 第1部分：固定台站观测》的相关规定执行。

---