



# 中华人民共和国国家标准

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

Technical requirement for the observational environment of  
seismic stations—Part 3: Crustal deformation observation

2004-06-21 发布

2004-09-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 前 言

GB/T 19531《地震台站观测环境技术要求》分为以下几个部分：

- 第1部分：测震；
- 第2部分：电磁观测；
- 第3部分：地壳形变观测；
- 第4部分：地下流体观测。

本部分为GB/T 19531的第3部分。

本部分的附录A、附录B、附录C、附录D、附录E为规范性附录。

本部分由中国地震局提出。

本部分由全国地震标准化技术委员会(SAC/TC 225)归口。

本部分起草单位：中国地震局地震研究所、中国地震局第一监测中心、中国地震局地壳应力研究所、福建省地震局。

本部分主要起草人：李正媛、陈志遥、陈德福、王晓权、陈聚忠、邱泽华、苏恺之、吴云、刘序俨。

## 引 言

我国是世界上多地震的国家,也是蒙受地震灾害最为深重的国家之一。减轻地震灾害,是保障社会经济持续、快速、稳定发展和人民生命财产安全的重要措施。

地震台站是获取多种学科观测数据的基地,而确保这些数据的质量和连续性是减轻地震灾害最基础的工作。

制定 GB/T 19531 的目的是向社会各方提供保护地震台站观测环境的技术依据和规范地震台站选址,依据是《中华人民共和国防震减灾法》第十四条和第十五条。

本部分编制的技术思路为:从对地壳形变观测可能构成影响的来源和影响程度两方面,科学界定环境对地壳形变观测的影响因素与作用效果。按典型的干扰源对地倾斜、地应变、重力和跨断层形变观测造成影响的不同效果,提出干扰影响量的最大允许数值指标;针对干扰源和干扰作用方式,给出能满足指标要求的距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离,通过附录中提供的测试方法,规范检测干扰源对地壳形变观测的影响。

本部分规定的技术要求依据下列结果:30多年来我国地壳形变观测获得的大量地倾斜、地应变、重力以及跨断层形变的观测资料与研究成果;围绕荷载变化、水文地质环境变化等干扰源,开展的“长江三峡大坝首区蓄水载荷引起库盆沉降形变特征”、“蓟县台、银川台附近农机井抽水对地倾斜、地应变、重力观测影响”等九个专项试验,围绕振动干扰源、电磁骚扰源等,开展的“大型飞机场对重力观测影响”、“电磁环境对 GPS 观测影响”等四个专项试验;“海潮负荷影响及其计算”和“关于应变和倾斜观测到荷载干扰源最小距离的理论分析”等理论研究和模拟类比计算研究。

# 地震台站观测环境技术要求

## 第3部分：地壳形变观测

### 1 范围

本部分规定了地震台站地壳形变(地倾斜、地应变、重力、跨断层形变)观测环境的技术指标、干扰源距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离和相应的测试与计算方法。

本部分适用于地震台站地壳形变观测的选址、观测环境保护与管理。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 19531 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 919—2002 公路等级代码

GB/T 12897—1991 国家一、二等水准测量规范

芝加哥,1944. 国际民航公约 附件 14——机场 关于机场的设计和设备的规范

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

#### 3.1

**地倾斜观测 crustal tilt observation**

在洞室或钻孔内观测地平面与水平面之间的夹角及其随时间的变化。

#### 3.2

**地应变观测 crustal strain observation**

在洞室或钻孔内观测地应变及其随时间的相对变化。

#### 3.3

**重力观测 gravity observation**

观测地球表面重力加速度及其随时间的变化。

#### 3.4

**跨断层形变观测 cross-fault crustal deformation observation**

观测断层两侧固定点位间垂直方向相对位移和水平方向相对位移。

#### 3.5

**地壳形变观测环境 environment for crustal deformation observation**

对地壳形变测量特定场地空间构成直接、间接影响的各种自然与人为因素的总和。

#### 3.6

**地壳形变观测干扰 interferences to crustal deformation observation**

影响地壳形变观测装置、测量设备、技术系统发挥正常观测功能,降低观测精度、使观测数据产生显著偏离正常量值的现象。依据影响方式,地壳形变观测干扰来源可分为三类:振动干扰源、荷载变化干扰源和水文地质环境变化干扰源。

3.7

**振动干扰源 interference source from vibration**

产生高频振动、爆破冲击行为,在地壳形变观测场地引起地壳形变速率突然增大的来源。如:机场、铁路、公路、冲压、粉碎作业场地、采石、采矿场地等。

3.8

**荷载变化干扰源 interference source from load change**

由于物质增减、迁移,使地面单位面积荷载变化,在地壳形变观测场地引起地壳形变的来源。如:海洋潮汐、水库、湖泊、河流;采矿区荷载的变化;大型建筑、仓库、重型工厂的荷载变化等。

3.9

**水文地质环境变化干扰源 interference source from changes of geohydrologic environment**

引起地壳形变观测场地水文地质参数或性质变化,产生地面塌陷、沉降、隆起变形的来源。如:采油、抽水、注水等。

**4 地震台站地壳形变观测环境的技术指标**

**4.1 地倾斜观测环境的技术指标**

4.1.1 荷载、水文地质环境变化源在地倾斜观测台站产生的地倾斜畸变量每日应不大于  $0.003''$ ,当月  $M_2$  波潮汐因子误差应不大于 0.02。测试方法见附录 A 中的 A.1。

4.1.2 振动源在地倾斜观测台站产生的地倾斜突发性变化量应不大于  $0.005''$ 。测试方法见附录 A 中的 A.1。

4.1.3 水库、湖泊蓄水涨落 1 m,在地倾斜观测场地产生的地倾斜畸变量应不大于  $0.008''$ 。水库、湖泊区有地倾斜观测台站,测试方法见附录 A 中的 A.1;水库、湖泊区无地倾斜观测台站,测试方法见附录 A 中的 A.2。

**4.2 地应变观测环境的技术指标**

4.2.1 荷载、水文地质环境变化源在地应变观测台站产生的地应变畸变量每日应不大于  $3 \times 10^{-3}$ 、每月应不大于  $3 \times 10^{-8}$ ,当月  $M_2$  波潮汐因子误差应不大于 0.04,测试方法见附录 B、附录 C。

4.2.2 振动源在地应变观测台站引起的地应变突发性变化量应不大于  $3 \times 10^{-9}$ 。

**4.3 重力观测环境的技术指标**

4.3.1 荷载、水文地质环境变化源在重力观测台站产生的重力加速度畸变量 48 h 内应不大于  $4 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ,测试方法见附录 D。

4.3.2 振动源在重力观测台站产生的重力加速度突发性变化量应不大于  $4 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ,测试方法见附录 D。

**4.4 跨断层形变观测环境的技术指标**

4.4.1 荷载、水文地质环境变化源在跨断层形变观测场地引起的跨断层水准测段高差变化量应不大于 0.45 mm/km(按 GB/T 12897—1991 中 4.7 的规定)。测试方法见附录 E 中的 E.1。

4.4.2 振动源在跨断层形变观测场地引起的断层水准观测中误差应不大于 0.1 mm,测试方法见附录 E 中的 E.2。

4.4.3 人工电磁源对断层形变 GPS 观测场地的影响:断层形变 GPS 观测的水平分量重复精度应不大于 1.0 mm;垂直分量重复精度应不大于 2.0 mm,测试方法见附录 E 中的 E.3。

4.4.4 跨断层形变水准观测场地视线内应无阻挡物;断层形变 GPS 观测各方向水平视线高度角  $15^\circ$  以上无阻挡物,特殊地区局部(水平视角累计不超过  $60^\circ$  范围)水平视线高度角  $25^\circ$  以上无阻挡物。

## 5 干扰源距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离

### 5.1 海洋距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离

海岸距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 4 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 4 km;
- c) 距重力观测仪器的最小距离应不小于 10 km;
- d) 距跨断层形变观测仪器的最小距离应不小于 0.5 km。

### 5.2 水库、湖泊距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离

5.2.1 蓄水量  $1 \times 10^9 \text{ m}^3$  以上的水库和湖泊岸距地震台站地倾斜、地应变观测仪器的最小距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 3.5 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 4.0 km。

5.2.2 蓄水量  $1 \times 10^7 \text{ m}^3 \sim 1 \times 10^9 \text{ m}^3$  的水库和湖泊岸距地震台站地倾斜、地应变观测仪器的最小距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 2.5 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 2.5 km。

5.2.3 蓄水量  $1 \times 10^6 \text{ m}^3 \sim 1 \times 10^7 \text{ m}^3$  的水库和湖泊岸距地震台站地倾斜、地应变观测仪器的最小距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km。

5.2.4 蓄水量  $1 \times 10^5 \text{ m}^3$  以上的大、中型水库和湖泊岸距重力观测仪器的最小距离应不小于 3.0 km;

5.2.5 蓄水量  $1 \times 10^8 \text{ m}^3$  以上的大、中型水库和湖泊岸距跨断层形变观测仪器的最小距离应不小于 0.5 km。

### 5.3 江、河距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离

5.3.1 水位年涨落大于 2 m 的江、河岸距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 1.5 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 1.5 km;
- c) 距重力观测仪器的最小距离应不小于 3.0 km。

5.3.2 水位年涨落为 1 m~2 m 的江、河岸距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km。

### 5.4 建筑、工厂、仓库、列车编组站等荷载变化源距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离

工程总荷载变迁质量大于  $5 \times 10^7 \text{ kg}$  的建筑、工厂、仓库、列车编组站等,距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离<sup>1)</sup>,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 1.2 km;
- c) 距重力观测仪器的最小距离应不小于 0.5 km;
- d) 距跨断层形变观测仪器的最小距离应不小于 0.5 km。

### 5.5 铁路、公路、机场跑道等距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离

5.5.1 铁路、三级以上公路(公路等级划分按 GB/T 919—2002)距地震台站地壳形变观测仪器的最小

1) 最小距离以工厂、仓库的外围边界、列车编组站最外股道到观测仪器最小直线距离计算。

距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km;
- c) 距重力观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km;
- d) 距跨断层形变观测仪器的最小距离应不小于 0.5 km。

5.5.2 机场跑道、停机坪距重力观测仪器的最小距离<sup>2)</sup>应符合下列规定:

- a) 4E级机场(机场等级划分依据《国际民用航空公约 附件 14》的规定)的跑道、停机坪距重力观测仪器的最小距离应不小于 5.0 km;
- b) 3C级机场的跑道、停机坪距重力观测仪器的最小距离应不小于 3.5 km。

5.6 采石、采矿爆破点、冲击振动设备等振动源距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离

5.6.1 单段炮震药量大于 50 kg 以上的采石、采矿爆破点距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 2.0 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 2.0 km;
- c) 距重力观测仪器的最小距离应不小于 3.0 km;
- d) 距跨断层形变观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km。

5.6.2 单段炮震药量大于 500 kg 以上的采石、采矿爆破点距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 4.0 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 4.0 km;
- c) 距重力观测仪器的最小距离应不小于 6.0 km;
- d) 距跨断层形变观测仪器的最小距离应不小于 2.0 km。

5.6.3 冲击力大于等于  $2 \times 10^3$  kN 的冲击振动设备距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 1.5 km;
- c) 距重力观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km;
- d) 距跨断层形变观测仪器的最小距离应不小于 0.5 km。

5.7 注水区、采矿采油区、地下水漏斗沉降区距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离

5.7.1 抽(注)量为  $5 \text{ m}^3/\text{d} \sim 100 \text{ m}^3/\text{d}$ 、水位降深 5 m 以下的抽(注)水井、采油井距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 0.8 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 1.6 km;
- c) 距重力观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km;
- d) 距跨断层形变观测仪器的最小距离应不小于 0.5 km。

5.7.2 抽(注)量大于  $100 \text{ m}^3/\text{d}$ 、水位降深 5 m 以上的抽(注)水井、采油井距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 3.0 km;
- c) 距重力观测仪器的最小距离应不小于 2.0 km;
- d) 距跨断层形变观测仪器的最小距离应不小于 1.0 km。

2) 以跑道和停机坪的外围轮廓线到观测仪器最小直线距离计算。

5.7.3 地下水漏斗沉降区距跨断层形变观测仪器的最小距离应不小于 0.5 km。

#### 5.8 人工电磁骚扰距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离

5.8.1 35 kV 及以上电压的高压输电线、变压器等电磁骚扰源距地震台站地壳形变观测仪器的最小距离,应符合下列规定:

- a) 距地倾斜观测仪器的最小距离应不小于 0.3 km;
- b) 距地应变观测仪器的最小距离应不小于 0.3 km;
- c) 距重力观测仪器的最小距离应不小于 0.3 km;
- d) 距跨断层形变观测仪器的最小距离应不小于 0.3 km。

5.8.2 微波通道和强电磁源等距断层 GPS 观测仪器的最小距离,应按附录 E 中 E.3 进行测试并符合 4.4.3 的指标要求。

附录 A  
(规范性附录)

地倾斜观测环境综合干扰的测试方法

### A.1 洞室地倾斜观测环境综合干扰的测试方法

#### A.1.1 测试原理

地倾斜观测曲线有明显的固体潮背景。因此,使用水管倾斜仪或者水平摆倾斜仪进行洞室内的地倾斜连续观测,通过观测曲线的形态以及计算  $M_2$  波潮汐因子误差值,可以判别干扰源的存在和影响的大小。

#### A.1.2 主要测试仪器及技术指标

##### A.1.2.1 主要测试仪器的构成

水管倾斜仪的设备及数量见表 A.1。

表 A.1 水管倾斜仪设备及数量

设备	数量	备注
水管倾斜仪主机(含传感器 2 个、管路)	2 套	2 分量
全自动校准装置	2 套	2 分量
数据采集仪	1 台	含 GPS 校时

水平摆倾斜仪的设备及数量见表 A.2。

表 A.2 水平摆倾斜仪设备及数量

设备	数量	备注
水平摆倾斜仪摆体主机	2 个	2 分量
校准装置	2 套	2 分量
数据采集仪	1 台	含 GPS 校时

##### A.1.2.2 测试仪器主要技术指标

测试仪器主要技术指标应符合表 A.3 的规定。

表 A.3 主要技术指标

性能	水管倾斜仪技术指标	水平摆倾斜仪技术指标
分辨率	优于 $0.001''$	优于 $0.001''$
日漂移	小于 $0.005''$	小于 $0.005''$
基线长	大于 5 m	
校准精度	优于 1%	优于 1%
校准调零	全自动	全自动
记录方式	数字化	数字化

#### A.1.3 测试过程

##### A.1.3.1 水管倾斜仪的安置与密封

在观测洞室中,以 EW 和 NS 两个方向清理出长度分别大于 10 m 的两处坑道。按照水管倾斜仪安装方法分别在两处坑道内安置两分量仪器,其同分量的两个主体应分别安装在处于同一高程面内的坑道两端点岩石仪器墩上,仪器主体连同管路整体密封保温(安装尺寸及密封措施见图 A.1)。



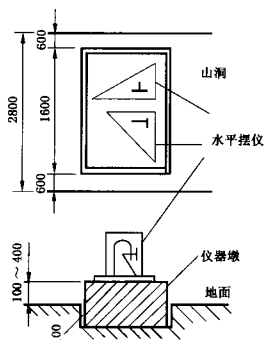


图 A.2 水平摆倾斜仪仪器墩位及仪器安装示意图

#### A.1.3.3 测试过程

- 将洞室内两分量仪器输出信号连接到数字采集器(采样率为1次每分),按仪器校准方法进行观测数据转换格值校准;
- 连续观测记录至少1 080 h(45 d)以上。

#### A.1.4 数据处理与干扰识别

- 将采集的电量值数据经格值转换计算为倾斜量,形成各观测分量的时间序列,每24 h的数据构成一个数据块;
- 按整点值绘制倾斜固体潮曲线;
- 对比各分量倾斜潮汐曲线有无定时的或形态相近的突跳或畸变,识别有规律的干扰;
- 若潮汐曲线图中有突跳或畸变,计算变化量并判断其是否超过 $0.003''$ ;
- 采用国际通用调和程序对每个分量的整点值数据作月 $M_2$ 波潮汐因子误差计算;
- 潮汐曲线畸变与水库水位升高或降低密切相关时,应按下式求得水位每升高(或降低)1 m时,垂直于水库岸边方位的倾斜变化量 $\Delta\psi$ 值。

$$\Delta\psi = \frac{\text{水位变化前倾斜量} - \text{水位变化后倾斜量}}{\text{水位变化量}} \dots\dots\dots(\text{A.1})$$

### A.2 地倾斜观测环境载荷变化影响测试方法

A.2.1 对于没有固定台站或山洞,但需要确定水库或江河等负荷影响时,采用一、二等精密水准重复测量的方法。

#### A.2.2 测线布设和观测仪器

在垂直水库岸边方向的5 km~6 km范围内,以1 km布设1个基岩测点的密度布设测线,点位埋设、观测仪器按GB/T 12897—1991中第5章、第6章的规定。

#### A.2.3 测试与数据处理

在水库蓄水前后或江河水位涨落周期内,按GB/T 12897—1991中第7章的规定进行一、二等水准重复测量,同时记录水库、江河水位以便确定水位的变化幅度与水准观测数据间的相关关系。观测数据处理方法及其精度计算按GB/T 12897—1991中第7章的规定。

**附录 B**  
(规范性附录)

**洞室地应变观测环境综合干扰的测试方法**

**B.1 测试原理**

洞室地应变观测是用伸缩仪在洞室内进行地应变观测。地应变观测曲线有明确的固体潮背景。因此直接使用伸缩仪进行现场连续观测,通过观测曲线的形态以及  $M_2$  波潮沙因子误差值,即可以判别干扰源的存在和干扰影响的大小。

**B.2 主要测试仪器及技术指标**

**B.2.1 测试仪器**

测试仪器设备及数量见表 B.1。

**表 B.1 伸缩仪设备及数量**

设备	数量	备注
伸缩仪主机	2套	2分量
伸缩仪数控器	1台	两分量共用
校准装置	1套	两分量共用
数据采集仪	1台	

**B.2.2 伸缩仪的主要技术指标**

伸缩仪的主要技术指标应符合表 B.2 的规定。

**表 B.2 伸缩仪主要技术指标**

性能	技术指标
基线长	大于等于 10 m
仪器分辨力	优于 $1 \times 10^{-9}$ (基线长度为 10 m 时)
传感器量程	不小于 0.1 mm
线性度	优于 1% (满量程)
校准重复性	优于 1%
漂移	不大于 $4 \times 10^{-6}/a$
记录	数字化

**B.3 测试过程**

**B.3.1 测试仪器安装要求**

在观测洞室中,以 EW 和 NS 两个方向清理出长度分别大于 10 m 的两处坑道。按照伸缩仪安装方法分别在两处坑道内安置两分量仪器(图 B.1)。

单位为毫米

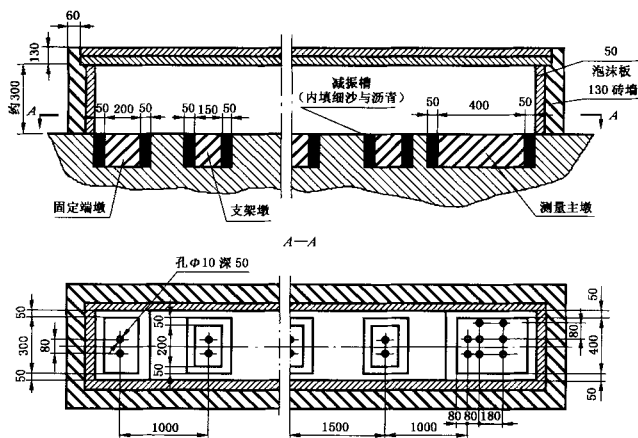


图 B.1 伸缩仪洞室布设图

### B.3.2 测试过程

- 将两分量仪器输出信号连接到数字采集器(采样率为1次每分),按仪器校准方法进行观测数据转换格值校准;
- 连续观测记录至少1 080 h(45 d)以上。

### B.4 数据处理与干扰识别

- 将采集的电量值经格值转换计算为应变变量,形成各观测分量的时间序列。每24 h的数据构成一个数据块;
- 按整点值绘制应变固体潮曲线;
- 对比各分量应变潮汐曲线有无定时的或形态相近的突跳或畸变,识别有规律的干扰;
- 若潮汐曲线中有突跳或畸变出现,计算变化量并判断其是否超过 $3 \times 10^{-9}$ ;
- 采用国际通用调和分析程序对每个分量的整点值数据作月 $M_2$ 波潮汐因子误差计算。

**附录 C**  
(规范性附录)

**钻孔地应变(地倾斜)观测环境综合干扰的测试方法**

### C.1 测试原理

钻孔地应变观测是用应变仪在钻孔内进行地应变观测;钻孔地倾斜观测是用倾斜仪在钻孔内进行地倾斜观测。钻孔应变和倾斜观测曲线均有明确的固体潮背景。

水文地质环境变化对钻孔地应变(地倾斜)的影响,主要来自井下仪器附近(如 20 m 以内)地下含水层带来的干扰;地下水的流动带来地温的波动和局部岩石的应变噪声,当含水层与地表相通时会加重大气压力、地下水位、降雨等所引起的干扰程度,此外含水层还能导致局部岩石应变数值的降低和畸变。因此:

- a) 环境条件的测试主要是对观测孔内含水层位置的调查以及含水层特性的测试;
- b) 含水层特性的测试,主要是用注水实验(见 C.4.1 条),如果注水效率  $\eta > 80\%$ ,可认为钻孔内没有明显的含水层。但如果注水效率  $\eta < 80\%$ ,则应确定其位置。当查看钻孔岩芯不能给出明确结论时,应辅以井温梯度测试(见 C.4.2)综合确定其位置;
- c) 如果计划中的观测孔深度超过 200 m,并且该台站不曾有地应变或地倾斜观测的历史证明该台址为合格环境时:应在观测孔内进行井温梯度测试与地下水动态测试;或在观测孔底部安装可以重复取出的钻孔倾斜仪器进行为期 45 d 以上的试验性观测。

### C.2 测试仪器及其技术指标

#### C.2.1 环境条件检测仪器

环境条件检测仪器见表 C.1。

**表 C.1 环境条件检测仪器**

设备	数量	技术指标,备注
水位计	1 套	量程,正负 5 m,分辨力 1 mm
水温计	1 台	量程:0℃~50℃,分辨力 0.01℃,准确度 0.5℃,电缆上有以 m 为单位的深度标记
钻孔倾斜仪器	1 套	两分量
数据采集器	1 台	数字记录用

#### C.2.2 钻孔应变仪和钻孔倾斜仪的主要技术指标

钻孔应变仪和钻孔倾斜仪的主要技术指标应符合表 C.2 的规定。

**表 C.2 钻孔应变仪和钻孔倾斜仪主要技术指标**

性能	钻孔应变仪技术指标	钻孔倾斜仪技术指标
动态范围	大于 $2 \times 10^4$	大于 $2 \times 10^4$
仪器分辨力	优于 $1 \times 10^{-9}$	优于 0.001"
传感器量程	不小于 $1 \times 10^{-5}$	不小于 10"
线性度	优于 1%(满量程)	优于 1%(满量程)
校准重复性	优于 3%	优于 3%
零点漂移	不大于 $4 \times 10^{-5}/a$	不大于 0.005"/d
记录	数字化	数字化

C.3 测试设备布设

按图 C.1 所示连接测试用设备井下探头与地面记录部分。

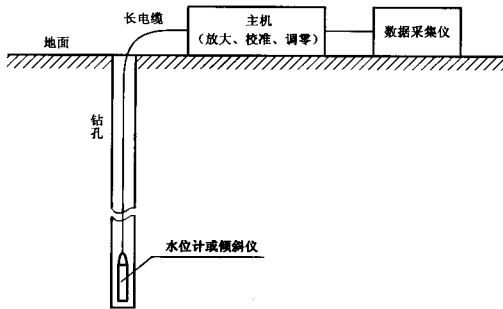


图 C.1 水位计或倾斜仪的测试布设示意图

C.4 数据的记录和处理

C.4.1 注水实验数据的处理

根据钻孔的横截面积  $S$  和注水的体积  $V$ , 计算出没有含水层情况下的水位上升幅度  $h_0$ , 再由下式计算注水效率  $\eta$ :

$$\eta = \frac{h}{h_0} = \frac{h}{(V/S)} \dots\dots\dots (C.1)$$

C.4.2 水温测试数据的处理

以水位计的埋深和井温做图, 以同一深度下的往返测试数据相差小于  $0.2^\circ\text{C}$  为合格; 否则重新测试。

将全部测值用最小二乘法计算出拟合直线, 画于坐标图上, 检查各测值与该直线间是否有规律性的局部偏离(小的鼓包或凹陷), 如有  $0.5^\circ\text{C}$  以上的偏离, 说明该地段存在含水层且有一定的流动。在安装井下仪器时, 仪器必须远离该含水层  $20\text{ m}$  以上, 图 C.2。

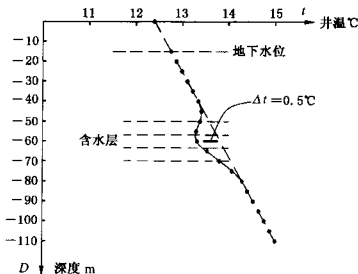


图 C.2 根据水温的异常带确定含水层的位置

#### C.4.3 水位动态测试数据的处理

检查数据采集器给出的分值曲线,或记录器的曲线,以 30 min 为一时段,以噪声水平小于 0.2 cm 为合格段;4 日内全部时段的合格段所占比率大于或等于 90%为合格环境;

计算水位趋势性变化量,以小于或等于 2 cm/d 为合格环境。

#### C.4.4 钻孔倾斜固体潮汐数据的处理

数据的处理按 A.1.5 的规定。

以月  $M_2$  波的相对误差小于 0.04 作为钻孔应变仪器和钻孔倾斜仪器的合格环境。

**附录 D**  
(规范性附录)

**重力观测环境综合干扰的测试方法**

**D.1 测试原理**

在对重力仪连续观测序列进行固体潮改正和去趋势后,消除偶发性事件的影响。因地震产生的干扰,应截去该时段数据;因对仪器进行调整而产生的突跳,采用加常数法消除,求得观测噪声的时间序列。通过对噪声时间序列的分析,判别干扰源是否存在和干扰的大小。

**D.2 测试仪器**

**D.2.1 测试仪器与设备的数量**

测试仪器与设备的数量见表 D.1。

**表 D.1 重力观测仪器设备与数量**

仪器设备名称	数量	备注
重力仪	1台	
数据采集器	1台	附有数字化采集功能的重力仪不需此设备
便携式计算机	1台	通用配置;具备相应接口;具备图形显示与数据处理软件。
不间断电源	1台	1 000 W
蓄电池	2个	12 V/60 Ah
充电器	1台	6 V/20 A~24 V/20 A
辅助设备	1组	含温度计、气压计、卷尺、记录手簿、铁锹各1件

**D.2.2 主要测试设备的性能指标**

**D.2.2.1 重力仪**

重力仪的性能指标应符合表 D.2 的要求。

**表 D.2 重力仪性能指标**

性能	技术指标
采集存储	带反馈输出或附数字化采集
分辨力	优于 $1 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$
最小测量范围	大于 $200 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$
输出通道	1道以上
输出接口	具反馈电压信号输出端口或具数字化采集存储

**D.2.2.2 数据采集器**

数据采集器的性能指标应符合表 D.3 的规定。

表 D.3 数据采集器性能指标

性能	技术指标
采样率	不少于 1 次每秒
测量范围	优于 $-2\text{ V}\sim 2\text{ V}$
分辨力	优于 $0.1\text{ mV}$
输入通道	2 道以上
输出通道	2 道以上
接口	接收重力仪反馈信号的端口,与计算机的 RS-232C 通信接口

### D.3 测试过程

#### D.3.1 重力仪安置地点要求

重力仪应置于基岩或致密土层上,去除表层松软土层或破碎风化砂石。

#### D.3.2 测试系统的连接

测试系统按图 D.1 连接。

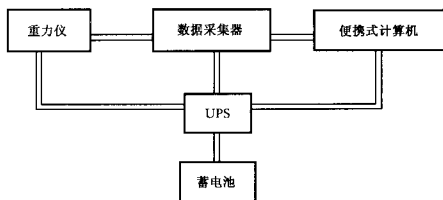


图 D.1 重力测量系统连接框图

#### D.3.3 采样率设置

采样率设置为每秒采集 1 次,数据存储为每分存储 1 次。

#### D.3.4 采集时段

振动、爆破类干扰事件的采集时段应至少连续 3 h,测试期间应至少发生所需测试的干扰事件 2 次以上,将采集的分值数据构成一个数据块;

载荷变化干扰事件的采集时段应至少覆盖载荷变化的一个最短周期,如果对已采集的数据分析,发现干扰事件引起的趋势畸变已经超过规定指标的 2 倍,则结束测试。测试时段的起算点为 00 h 00 min,连续测试时间长度应不少于 48 h。台站勘选综合干扰连续测试时间长度应不少于 48 h。将采集的分值数据按每 24 h 构成一个数据块。

### D.4 数据处理

数据处理按如下流程进行:

- 采集结束后将数据传送到计算机,将数据处理成时间序列;
- 绘制分观测值时间序列曲线。

### D.5 分析和计算

数据分析和计算按如下流程进行:

- 对观测序列进行固体潮改正,并采用拟合法去趋势,消除测试期间与干扰事件无关的偶发性干扰事件,获取拟合趋势时间序列和观测噪声时间序列;

- 分别作拟合趋势时间序列曲线和观测噪声时间序列曲线；
- 计算干扰噪声的最大幅度(干扰噪声极大值和干扰噪声极小值的绝对值之和)；
- 拟合趋势分析,当拟合趋势曲线发生与干扰事件对应的偏离正常趋势的畸变时,应采用抛物线拟合法拟合出畸变区间的正常趋势,计算出畸变区间正常值与畸变值之差值的时间序列(趋势畸变时间序列)；
- 作趋势畸变时间序列曲线；
- 计算趋势畸变最大幅度,即时间序列中绝对值最大的值。

#### D.6 干扰识别

干扰识别方法如下：

- 干扰显著时,以干扰噪声的最大幅度作为干扰事件对重力观测的最大噪声干扰估值。以趋势畸变最大幅度作为干扰事件对重力观测的最大趋势干扰幅度的估算值。
- 干扰噪声的最大幅度大于  $4 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$  或趋势畸变最大幅度大于  $4 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$  时,应判定有显著干扰。
- 当干扰噪声的最大幅度小于等于  $4 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ,趋势畸变最大幅度小于等于  $4 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$  同时满足时为合格。

附录 E  
(规范性附录)

跨断层形变观测环境的综合干扰测试方法

### E.1 载荷变化对跨断层形变水准观测环境干扰的测试方法

#### E.1.1 测试原理

观测点 A 选址时,应查明载荷变化源的影响。

在载荷变化源与观测点 A 的连线延长方向上设置另一观测点 B,观测点 A、B 间距离 S 约 300 m (见图 E.1)。

若载荷变化对观测点 A 产生干扰,则会改变 AB 间高差,据此判定是否存在载荷变化干扰。



图 E.1 观测点场地示意图

#### E.1.2 测量设备

测试仪器设备与数量见表 E.1。

表 E.1 测试仪器设备和数量

仪器设备	数量
DINI 12 水准仪(或等精度以上的水准仪)	2 台套以上
配套的条形码标尺(或配套的铟钢标尺)	1 付(2 根)以上
电源、蓄电池	1 套
便携式计算机和软件	1 套
测绳	50 m
辅助设备(扶尺器,尺桩和锤,测伞)	1 套

#### E.1.3 测试方法

在观测点 A、B 之间布设水准观测场地。

设置仪器参数、选择测量模式。可当时往返测量。

在载荷最大和最小时间段分别测定 4 次 AB 高差  $h_{i,\max}$ 、 $h_{i,\min}$  ( $i=1,2,3,4$ )。

#### E.1.4 数据处理

数据处理按如下流程进行:

——从水准仪中读出其存储的观测数据;

——分别计算载荷最大和最小时的 AB 高差的平均值  $\bar{h}_{\max}$ 、 $\bar{h}_{\min}$ :

$$\bar{h}_{\max} = \frac{1}{4} \sum h_{i,\max} (i = 1, 2, 3, 4) \dots\dots\dots (E.1)$$

$$\bar{h}_{\min} = \frac{1}{4} \sum h_{i,\min} (i = 1, 2, 3, 4) \dots\dots\dots (E.2)$$

——按下式计算高差变化量  $\Delta h$ :

$$\Delta h = (\bar{h}_{\max} - \bar{h}_{\min}) / S \dots\dots\dots (E.3)$$

#### E.1.5 干扰识别

干扰识别方法如下:

——以观测点 A、B 间高差变化量  $\Delta h$  作为判定载荷变化干扰存在的指标。

——当  $|\Delta h| \leq 4.5 \times 10^{-7}$  时,则为合格。否则为干扰显著。

## E.2 振动对跨断层形变水准观测环境干扰的测试方法

### E.2.1 测试原理

观测点 A 选址时,查明振动源干扰影响。

在振动源与观测点 A(竖立标尺)的连线延长方向设置的另一观测点 B 上架设仪器,观测点 A、B 间距离 S 为 20 m~30 m(见图 E.1)。

若振动对观测点 A 产生干扰,会使观测读数离散,从而降低精度,据此判定是否存在振动干扰。

### E.2.2 测试设备

测试设备及数量见表 E.1, DINI12 水准仪只需一台套。

### E.2.3 测试方法

设置仪器参数(四次采样为一次读数、中误差的设置可大一些)。

振动源振动时观测,记录读数中误差。

### E.2.4 数据处理

从水准仪中读出其存储的观测数据。

整理振动时每次读数中误差  $m_{\text{振}}$ 。

### E.2.5 干扰识别

以读数中误差作为判别振动干扰存在的指标。

### E.2.6 干扰影响估算

列表统计  $m_{\text{振}}$  大小。当  $|m_{\text{振}}| \geq 0.1$  mm 的个数小于等于 1 次时,则为合格。否则为干扰显著。

## E.3 电磁源对断层形变 GPS 观测环境影响的测试方法

### E.3.1 测试原理

观测点 A 选址时,查明电磁源。

在电磁源与观测点 A 连线延长方向上设置另一观测点 B,观测点 A、B 间距离 S 为 300 m~500 m(见图 E.1)。

若电磁源对观测点 A 产生骚扰,会使接收信号畸变或传播路径改变,从而降低观测精度,据此判定是否存在电磁骚扰。

### E.3.2 测试设备

测试设备及数量见表 E.2。

表 E.2 测试设备及数量

设备	数量
双频 GPS 接收机	2 台
扼流圈双波段大地型 GPS 天线	2 台
便携式计算机	1 台
电源,蓄电池(24 Ah)	2 个
帐篷	2 顶
辅助设备(小基座,三脚架,连接杆)	各 2 个

### E.3.3 测试方法

在观测点 A、B 上分别安置 GPS 接收机。设定参数(观测高度角为  $5^\circ$ ,采样间隔为 30 s),两台仪器

同步并连续作静态观测四个时段,每时段 4 h。

#### E.3.4 数据处理

从 GPS 接收机下载数据到计算机。

使用 GAMIT 软件(或随机软件)采用精密星历进行数据处理。

按下式计算各基线分量重复精度:

$$R = \sqrt{\frac{\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}{\sum_{i=1}^n 1/\sigma_i^2}} \quad \dots\dots\dots (E.4)$$

式中:

$n$ ——基线时段解的数目;

$c_i$ ——每条基线时段解的三个分量(南北向、东西向、垂直向)及基线长度值;

$\bar{c}$ —— $c_i$  的加权平均值,即:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i / \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^n 1/\sigma_i^2} \quad \dots\dots\dots (E.5)$$

$\sigma_i^2$ —— $c_i$  的方差。

#### E.3.5 干扰识别

以观测精度作为判定电磁干扰存在的指标。

#### E.3.6 干扰影响估算

以基线重复精度估算干扰。水平分量重复精度应不大于 1.0 mm,垂直分量重复精度应不大于 2.0 mm,否则为干扰显著。