

山东数字化钻孔体应变观测的干扰异常分析

卢双苓¹, 于庆民¹, 曲保安¹, 冯志军², 李杰²

(1. 山东泰安基准地震台, 山东 泰安 271000; 2. 山东省地震局, 山东 济南 250014)

摘要:在系统分析山东钻孔体应变与辅助观测资料的基础上, 结合台站工作日志对引起钻孔体应变观测曲线出现波动性短时异常变化的干扰因素进行了分析讨论, 结果表明: 钻孔体应变的短时波动性变化主要为气压、降雨、地下水位、施工和电源等的干扰影响; 这些干扰影响不能通过相关分析完全剔除, 需定量与具体情况定性相结合分析; 气压、降雨和地下水位的干扰影响程度与钻孔地质条件密切相关, 有破碎带的钻孔受干扰影响相对较大。

关键词: 山东; 钻孔体应变; 数字化观测资料; 干扰

中图分类号: P315.72^{*7} **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2010)02-0186-05

Analysis on the Disturbances which Cause Undulately Change in Observation Data of Digital Borehole Volume Strainmeter

LU Shuang-ling¹, YU Qing-min¹, QU Bao-an¹, FENG Zhi-jun², LI Jie²

(1. Taian Fiducial Seismic Station, Shandong Taian 271000, China;

2. Earthquake Administration of Shandong Province, JiNan 250014, China)

Abstract: Based on the systemic analysis on observation data of borehole volume strainmeter with work logs, the disturbances which caused the undulate short abnormal change in digital borehole volume strainmeter observation are analyzed. The result shows that the short undulate changes of borehole volume strain were caused by mainly air pressure, rainfall, water level change, construction and electrical source. These cannot be absolutely eliminated by correlated analysis, so the quantitative analysis should be combined with qualitative analysis for concrete condition. The disturbance extent of these factors is related to the geological condition of borehole. The influences of air pressure rainfall and water level are bigger commonly at the boreholes in which exist shatter belt.

Key words: Shandong; Borehole body stain; Digital observation data; Disturbance

0 前言

随着“九五”和“十五”全国数字地震前兆台网改造和扩建任务的完成, 数字化钻孔体应变观测产出了大量的具有丰富信息的观测资料。对于观测资料中存在的干扰和异常现象许多学者进行过分析讨论^[1-7], 得出了一些有益的结论。由于不同的测点因其所处地质构造和钻孔自身岩性、岩石完整性、探头浇铸等情况不同, 其受干扰的影响程度和监测地震前兆异常的能力都可能存在着不同, 并且观测曲线

表现为较复杂的异常形态, 尤其是一些干扰造成的异常图像与地震“前驱波”异常图像非常类似, 给地震前兆异常识别带来了困难。

地震前驱波异常事件研究是近几年地学工作者比较关注的热点问题, 关于其图像特征、产生机理以及在地震定位等方面的研究都有相关文献报道, 尤其是形变类观测仪器记录到的前驱波图像更加丰富^[8-11]。为了研究钻孔体应变观测中可能存在的

收稿日期: 2009-01-03

基金项目: “十一五”科技支撑项目(2006BAC01B03-03-04); 国家质量监督检验检疫总局行业专项项目(2007GYB092)

作者简介: 卢双苓(1973-), 女(汉族), 工程师, 泰安基准地震台形变观测与分析。

震前驱波异常及与地震的关系,首先必须清楚地认识每一个测点观测资料的干扰因素及变化特征,为此本文对山东数字前兆台网产出的钻孔体应变观测资料进行系统梳理,分析观测资料中各类干扰引起的波动性变化特征和机理,以便为研究地震前驱波异常变化提供可靠的基础资料。

1 台站概况

经过“九五”数字化前兆台网改造和“十五”数字化前兆台网扩建,目前山东有专业钻孔体应变台6个,观测资料最长为9年,最短2年,台站及钻孔概况见表1。

表1 山东钻孔体应变台概况

台站名称	仪器型号	灵敏度优于	仪器安装起始时间	钻孔岩性	钻孔深或仪器长度/m	备注
泰安	TJ-II C	1×10^{-9}	1998-09-17	花岗片麻岩	69.9	2006年7月仪器雷击停测,同年10月重新安装探头。2008年5月12日再次雷击损坏
烟台	TJ-II B	1×10^{-9}	1998-07-03	大理岩	60.02	
安丘	TJ-II C	1×10^{-9}	2001-04-24	砂砾岩	78.8	
长清	TJ-II C	1×10^{-9}	1998-09-16	灰岩	85.6,84.4	探头2002年1月报废,2005年1月重新安装
青岛	TJ-II C	1×10^{-9}	2006-04-13	花岗片	59	
荣成	TJ-II C	1×10^{-9}	2006-09-16	花岗片麻岩	72	

2 钻孔体应变波动性干扰分析

2.1 气压干扰分析

钻孔体应变观测具有较宽的工作频带,可记录从零频(长年的缓慢变化)直到1 Hz、5 Hz乃至10 Hz以上的变化,因而它不仅记录到远震面波,震时微小的应变阶跃(同震应变阶),长、短期应变异常,还可以记录到气压对体应变的干扰影响。由目前气压采样率可见,气压对体应变的影响周期最小为2分钟。气压变化是影响钻孔体应变观测的主要干扰之一,山东钻孔体应变观测与气压的相关分析结果在文献[1]中已详细讨论过,山东各台的体应变气压影响系数均属于典型的气压影响系数范围 $(5 \sim 15) \times 10^{-9}/\text{hPa}^{[11]}$,它们之间的不同主要与台址岩石的弹性模量 E_1 、泊松系数 μ 值,以及钻孔地质构造条件等因素有关。本文主要讨论气压的短时突变和长趋势大幅突变对钻孔体应变的干扰。

2.1.1 气压的短时剧烈波动影响

山东台网使用的气压计分辨率为0.1 hPa,体应变仪灵敏度优于 1×10^{-9} ,各台体应变观测气压影响系数为 $(2.74 \sim 11.57) \times 10^{-9}/\text{hPa}^{[12]}$,因此微小的气压影响都可能被体应变观测记录到。对2005年5月10-11日泰安、安丘、烟台体应变与气压分钟值一元回归分析结果显示,相关系数和回归系数分别为0.29, $4.13 \times 10^{-9}/\text{hPa}$; 0.69, $6.79 \times 10^{-9}/\text{hPa}$; 0.80, $7.53 \times 10^{-9}/\text{hPa}$,3个台体应变与气压均显著的相关。钻孔应变虽然与气压显示出显著的相关性,但是只有当气压出现短时剧烈波动时体应变观测值才会同步出现显著变化,表现为固体潮曲线波动畸变,这种波动变化无法利用回归分析完全消

除(图1),只能定量与定性相结合进行分析。

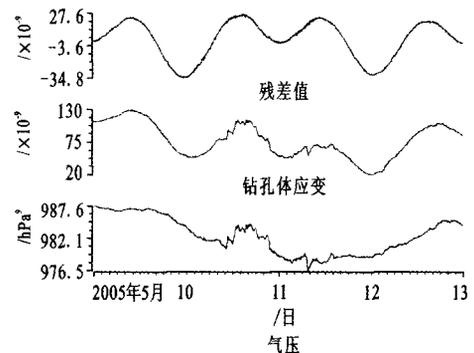


图1 烟台体应变观测一元回归分析结果

Fig. 1 Result of regressive analysis for the volume strain observation data recorded by strainmeter at Yantai.

采用数字低通滤波器(汉名窗)滤除相对较长周期成份后再进行的傅立叶谱分析结果显示^[13],正常(2007年7月6日)情况下钻孔体应变和气压的高频信号优势周期均为2~4分钟,异常时(2007年7月18日)体应变和气压的高频信号优势周期为2~5分钟,可见异常时混有5分钟相对较长周期信号的复杂成份,并且信号幅值较正常情况下大1.3倍(图2)。

2.1.2 气压的大幅突变影响分析

当气压出现较长趋势大幅变化时也可导致钻孔应变出现异常变化,显示固体潮曲线加粗,通过数字低通滤波能清晰地看出(图3)。随气压的增强-减弱-恢复,叠加在正常背景噪声上的信号呈纺锤状变化,这一变化主要是降雨导致的大范围气压变化的影响结果。其高频信号优势周期与正常时段一样,为2~4分钟,但信号幅值显著变大,为正常时的

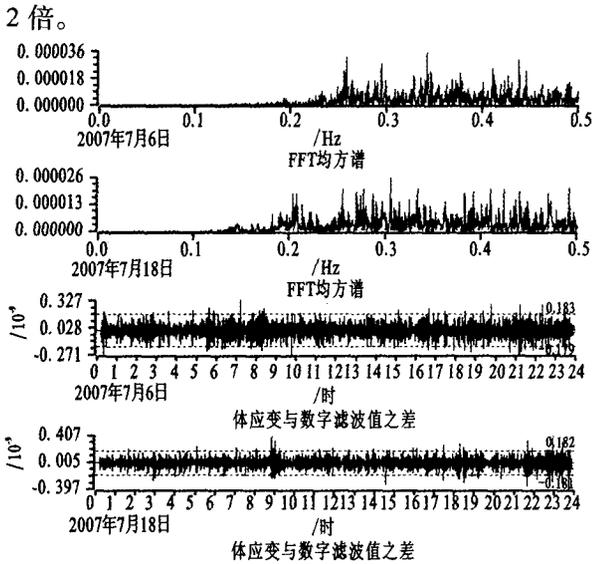


图2 青岛钻孔应变低通滤波与谱分析结果

Fig. 2 Result of low-pass filter and spectrum analysis of borehole volume strainmeter data at Qingdao.

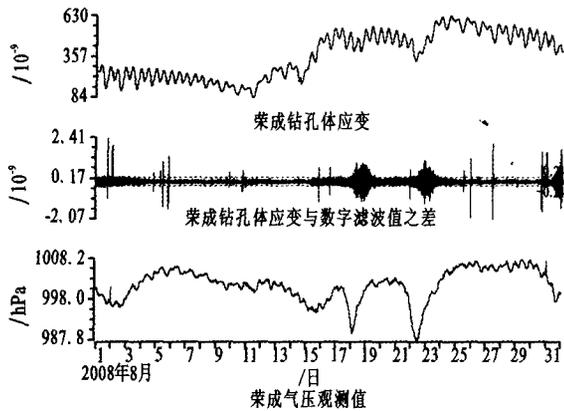


图3 气压变化引起的体应变观测值曲线加粗变化
Fig. 3 Overstriking of the observation curve of borehole volume strain caused by undulation of air pressure.

2.2 降雨干扰分析

降雨对体应变的影响主要分为两类:降雨带来的大地负载效应导致地壳应变变化,和雨水渗入岩体孔隙中导致孔隙压力增加,使体应变仅受压导致体积变化。由于降雨会引起井孔中地下水位的变化,而地下水位的变化又会引起体应变的变化,因此降雨造成的大地负荷效应导致的体应变变化不易被区分开。本文主要针对降雨引起的短时突变进行分析。

受降雨突变影响比较典型的是烟台体应变,其驱动降雨量约为4.0 cm。如2005年两次突变均是日降雨为7.2~16.5 cm后引起了体应变观测值的大幅突升。2005年8月5日日降雨7.2 cm,引起体

应变观测值的变化为 5.1×10^{-7} (图4),降雨干扰系数为 $0.71 \times 10^{-7}/\text{cm}$;2005年8月8日降雨13.4 cm,引起体应变观测值变化为 1.34×10^{-6} ,降雨干扰系数为 $0.81 \times 10^{-7}/\text{cm}$,与文献[1]中所得结果一致。烟台体应变受降雨响应时间短,约为1天,其降雨效率很高,约为 $9.25 \times 10^{-7}/\text{cm}$ 。主要是由于烟台体应变钻孔在-51.0~-54.0 m之间有一破碎带,且距探头安装位置仅3~4 m。破碎带向东(偏南)方向朝上延伸到地表,而该处恰为山沟,汇集的水容易沿破碎带渗到钻孔中,导致体应变观测值发生变化。山东其它几个台的体应变观测值不受短时降雨突变的影响。

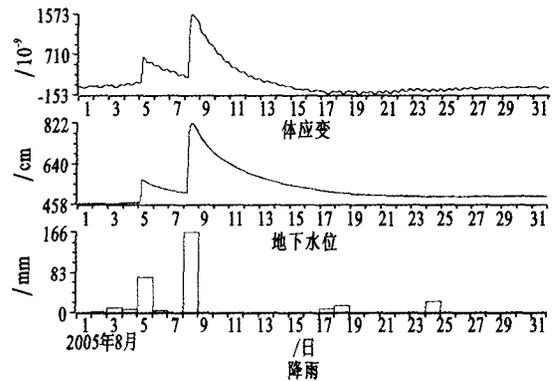


图4 烟台钻孔体应变、地下水位和降雨对比图
Fig. 4 Comparison of borehole volume strain, water level and rainfall.

2.3 地下水位影响分析

通常情况下地下水位与体应变均同时出现“异常”变化,因此首先必须弄清楚地下水位变化的原因,是地震前兆,还是降雨、抽水等非构造干扰引起的变化。在排除作为前兆异常的地下水位变化前提下,分析研究了山东6个体应变观测与地下水位的关系,发现地下水位变化对体应变的影响非常复杂。由图4和图5可见,水位的变化会引起钻孔体应变出现同步变化,但其影响过程存在着差异。

受地下水位短时突变影响比较显著的烟台体应变,当地下水位突升时两者同步出现形态类似的变化,两者开始、结束时间完全同步。这种影响主要是降雨导致含水层或破碎带中孔隙水压力突变的结果。山东的大多数体应变观测受地下水位的影响显示出的一种准同步现象。由于地下水位的加速上升主要是由降雨引起的,降雨负荷与地下水位引起孔隙压力变化共同导致了体应变出现准同步变化。如安丘体应变与地下水位相关系数为0.43,虽然呈显著相关,但由于体应变滞后于地下水位变化约2

小时到 7 天的时间,不是完全线性相关,因此不能很好地排除地下水的影响。荣成体应变滞后水位 3 小时 38 分出现上升变化(图 5),但提前水位约 6 天达到最大值,在地下水位变化了 74.2 cm 后体应变即不再变化,这可能是在地下水位的作用下钻孔孔隙压力已达最大,即使地下水位继续上升,体应变也不会再随其变化。

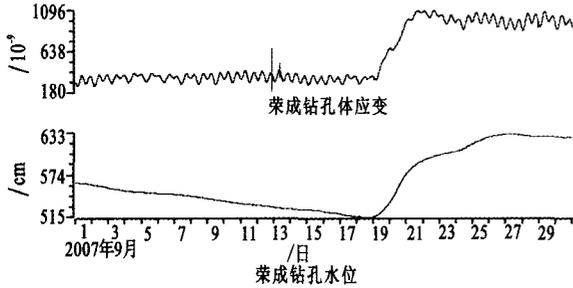


图 5 荣成体应变与地下水位观测曲线

Fig. 5 Observation curve of borehole volume strainmeter and water level in Rongcheng.

值得注意的一个问题是长清体应变与地下水位的变化关系。长清台 1998 年数字化改造后,观测资料精度高,稳定性好,体应变与地下水位变化无关,但 2002 年底体应变探头损坏,重新安装一套新的探头后,体应变显示出与地下水位非常一致的同步变化。根据近几年山东钻孔应变出现的问题和变化,我们认为钻孔应变的变化非常复杂,不仅与钻孔自身条件(如套管深度、孔径大小、倾斜角度)、地质构造、观测环境有关外,还与探头的浇铸情况、地面仪器设备等有关。长清台同一井孔中先后两次安装同一类型体应变仪出现不同变化背景可能就是这些综合因素导致的。同一情况在泰安体应变观测中也出现过:泰安台 1998 年安装初期仅有 3 个月漂移较大,月漂移量为 2.72×10^{-5} ,并且不受地下水的影响,但 2006 年此仪器被雷击损坏后,在同一井孔重新安装了新探头后,体应变却出现了与地下水的相关变化。

2.4 施工干扰分析

钻孔观测点附近施工或有剧烈振动时,体应变会出现相应的变化,如 2004 年 10 月 21 日至 12 月 5 日期间安丘体应变出现张性突跳变化异常(图 6),而且突跳都出现在白天,经落实出现异常突跳时间正好是台站“十五”建设项目施工期,施工现场使用的搅拌机用电或振动等因素可能是导致出现突跳的主要原因,12 月 5 日施工结束,体应变突跳现象也随之消失。

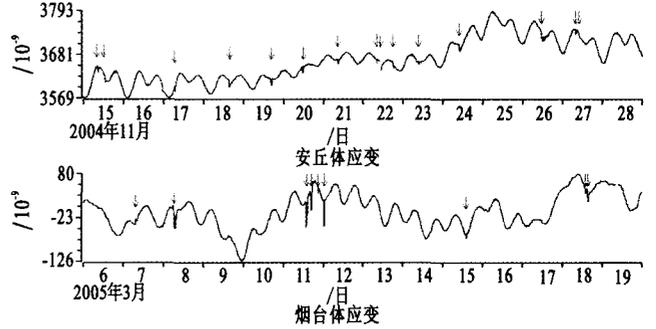


图 6 安丘、烟台施工干扰影响曲线

Fig. 6 Disturbance curves caused by construction in Anqiu and Yantai.

同样的变化在烟台体应变观测中也出现过,2005 年 3 月 6 ~ 20 日烟台体应变出现频繁突跳现象,此阶段正是烟台地震台东南约 80 m 处修主干公路清理湖底的施工阶段,数十辆大型挖掘机挖土振动可能是导致此阶段出现突跳的主要原因。

2.5 电源干扰分析

在日常观测过程中,每个应变台都因为电源不稳定的原因导致过观测曲线出现固体潮畸变异常。电源的干扰图像也多种多样,如安丘体应变观测 2005 年 5 月 14 日 9 时 45 分左右由于电缆线接头部位氧化,导致电缆绝缘破坏,当打开电源控制开关时瞬间电流的自激作用导致观测曲线出现畸变(图 7 (a))。长清台体应变 2007 年 12 月 18 日至 2008 年 1 月 15 日观测曲线中出现了周期约为半小时的噪声畸变,经查是辅助观测水位探头的电源并联在体应变仪器电源上导致的。由于电源匹配不当,产

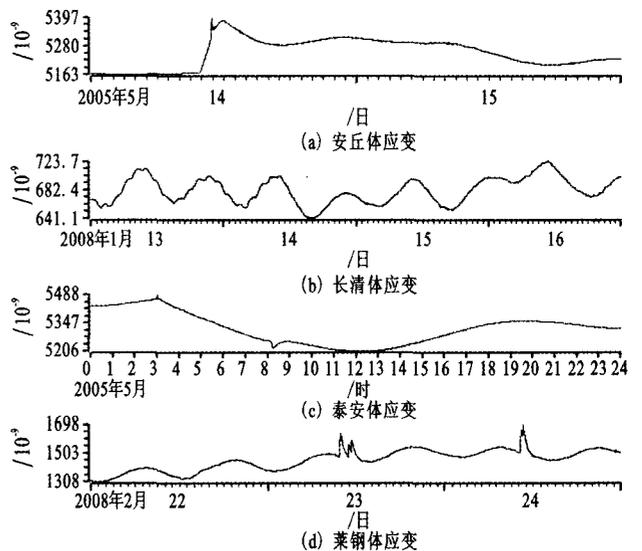


图 7 电源干扰影响曲线

Fig. 7 Disturbance curves caused by power supply.

生了长周期自激震荡,在加一滤波电容后观测曲线才正常(图7(b))。泰安体应变在2005年5月24日2时55分至8时15分因为停市电导致观测曲线失真(图7(c))。莱钢体应变在给备用电瓶充电时易导致观测曲线出现突跳,观测曲线失真(图7(d))。因此,当观测曲线出现显著变化时首先就要查找供电系统是否正常。

3 钻孔体应变干扰机理探讨

山东的体应变钻孔内均有地下水,多数钻孔由于裂隙、破碎带的存在,使得气压对体应变的干扰过程更加复杂,干扰量也相对较大。如烟台钻孔在51~54 m处岩石较为破碎,长清钻孔19.2 m及50.0 m处有破碎带,荣成钻孔在24~65 m处有破碎带,由于其岩层有倾角,因此受气压影响也较大;但是,青岛体应变钻孔岩石尽管破碎严重,但因其裂隙的倾角几乎垂直,地下水的流通性较好,气压对其影响明显地小。由于气压的压力负荷不仅仅通过大地地表,而且还能通过钻孔水压力进入破碎带内壁,将压力传递给应变仪四周的岩体;地下水在气压的作用下还会产生流动,导致孔隙水压力的改变和气压干扰过程复杂化。

目前山东只有青岛和荣成两个钻孔应变观测在气压出现大幅度变化时会出现明显的曲线加粗变化,产生的高频信号周期与正常情况下的信号周期成份一致,显示出地壳脉动增强的变化特征。这一结果说明,当大气压力作用于地壳的负载出现明显变化时,地壳的脉动强度会导致信号幅值的相应变化,并非有新的信号产生。但为什么只有青岛和荣成钻孔体应变有明显的高频脉动信号,而同样位于海边的烟台钻孔应变观测记录却不明显,还需进一步的关注研究。

同理,降雨和地下水对有裂隙和破碎带的钻孔应变观测影响也比较复杂。通常情况下,较大的降雨和水位的改变随即产生应变的变化,这主要来自探头上方的破碎带或裂隙。但不是钻孔岩石越破碎,降雨和地下水位变化越容易引起体应变的变化,还与破碎带的产状和透水性有关。由于通常的降雨(除大暴雨外)有一个较长的时间过程,所产生的地面负荷压力也是逐渐的,多数台站在降雨引起地下水位达到某一阈值时才可以明显的导致钻孔体应变的变化,钻孔体应变一般滞后地下水位2小时至7天开始变化。

在钻孔应变观测时均有气压、降雨和地下水位

辅助观测,通过分析应变与辅助观测之间的关系能够较好地对比体应变出现的变化进行判断。其它主要干扰,如电源和施工影响等只要保护好环境、做好系统和环境维护都是可以避免的,即使避免不了,做好日常工作日志,将存在的干扰及时通知分析预报人员,这些干扰也很好判断。

4 结束语

通过对2000年至2008年2月山东钻孔应变观测时空扫描分析发现,影响钻孔应变观测的因素很多,主要干扰因素是气压、降雨、地下水位和电源的干扰。虽然这些干扰存在一定规律,可采用相关分析等方法进行排除,但因其影响的复杂性,并不能完全消除干扰的影响,在资料分析时必须定量与定性相结合才能做出正确的分析判断。

对震前驱波的研究有可能为地震短临预报探索出一条新的思路,因此,对多年来钻孔应变观测资料中存在的各类异常结合统计时间段内发生的强震进行系统分析研究,在排除各种干扰的前提下,分析可能存在的前驱波异常事件,给出统计意义上的异常指标特征,进而探讨其产生的机理,将是下一步要开展的工作。

[参考文献]

- [1] 赵小茂,黄辅琼,王新,等.“集中降雨”与浅层承压井水位及区域地震活动关系的初步研究[J].西北地震学报,2009(3):259-264.
- [2] 李杰,邹钟毅,闫德桥,等.TJ-II型钻孔体应变仪数字化观测资料分析[J].大地测量与地球动力学,2002,22(3):69-74.
- [3] 李杰,刘敏,邹钟毅,等.数字化钻孔体应变干扰机理及异常分析[J].地震研究,2003,26(3):230-238.
- [4] 李杰,卢双苓,殷海涛,等.泰安重力观测高频波动信号分析[J].西北地震学报,2009,31(3):265-271.
- [5] 王勇,刘福生,张国红,等.1998年1月10日张北-尚义6.2级地震前昌平地震台应变资料的异常变化分析[J].西北地震学报,1999,21(3):274-279.
- [6] 杨修信,刘冬英.地壳体应变异常及其映震效能分析[J].西北地震学报,1994,16(2):50-56.
- [7] 高原,苏永刚,康好林,等.甘肃省民乐6.1级与岷县5.2级地震前武都形变资料的变化及临震预测[J].西北地震学报,2005,27(Suppl.):95-99.
- [8] 陈德福.潮汐形变短临异常现象及其时空特征[J].华南地震,2006,26(1):89-105.
- [9] 赵根模,杨港生,陈化然.寂静的前震与地震预测[J].地震,2001,21(1):69-76.
- [10] 陈德福.潮汐形变前驱波的时空特征[J].大地测量与地球动力学,2006,26(2):24-30.
- [11] 孙甲宁,温和平,杨晓芳.2006年乌苏 $M_s5.1$ 地震前后北天山倾斜资料异常分析[J].西北地震学报,2008,30(1):66-70.
- [12] 张凌空.降雨对体应变的干扰[J].地壳形变与地震,1995,15(3):78-83.
- [13] 蒋骏,李胜乐,张雁滨,等.地震前兆信息处理与软件系统(EIS2000)[M].北京:地震出版社,2000.