

2739 17.166

地壳变动连续观测技术

陈鑫连 张奕麟 蔡惟鑫 主编

地震出版社

地壳变动连续观测技术

陈鑫连 张奕麟 蔡惟鑫 主编

地震出版社

1989

内 容 简 介

本书介绍了我国近期在地形变、应变连续观测技术的研究成果,标志着我国地壳变动连续观测技术发展的高智力集成,是当前国内外在本科技领域内一本比较完整的参考书。本书专门讨论和汇集了地壳倾斜、地壳应变等连续变化观测的各种新型仪器、环境监测仪器以及相应的分析处理方法。

本书可供地震科学、地球动力学、固体潮研究人员,科学仪器研制人员,地震观测人员,灾害、水利、建筑等工程安全监测技术人员,大专院校有关专业师生参考。

地壳变动连续观测技术

陈鑫连 张奕磷 蔡惟鑫 主编

责任编辑:何寿欢 方荣颐 甘家思

*

地 震 出 版 社 出版发行

北京复兴路63号

中国科学院武汉分院科技印刷厂

*

787×1092 1/16 10.75 印张 275 千字

1989年3月第一版 1989年3月第一次印刷

印数 0001—1500

ISBN 7-5028-0264-9/P·167 (652) 定价: 5.00元

序

地震是地壳介质在构造力作用下发生破裂的一种表现形式，应力的积累过程，必然伴随有岩石的变形和应变。直接测量一个时间尺度比以地震波传播为特征的地面运动要大的固体地球内部的运动，可能是地壳形变（应变）观测的主要目标。

不论是对于地球动力学，抑或岩石圈动力学研究，地壳应变与地壳运动的观测数据都是必要的。根据地球组成的不规则性、热量分布的不均匀性以及依赖于流变性质的应变速率和其它因素，可以为复杂的地球提供某种理想的模式。

当前，地壳形变（应变）观测技术，总体上分布成空间技术和地面技术两大系统。地面技术通常又分成两大类：野外流动测量使用的大地测量仪器和固定台站使用的连续观测的仪器。前者提供许多点的时间离散的地壳形变（应变）数据，后者提供一个点上仪器（间）与地球接触面之间连续的形变（应变）资料。本书汇集的内容主要是后者的观测技术。

地球的规则运动，虽早已在积累资料，但欲清晰记录地球物理场中自然界唯一赋予有理论值的固体潮，还是近几十年的事。随着现代技术的发展，世界各国对地形变（应变）连续观测技术给予了高度的关注。人们清醒看到，在先进科学思路指导下，地球科学理论的发展主要取决于观测技术的先进程度。从某种意义上说，谁占有现代技术，谁就可能在理论上占领先的地位。尽管地震科学的发展更有赖于地震事件的占有，但观测技术仍是重要因素。两者的结合便是我国把地形变（应变）连续观测技术的研究，作为地震科技“六五”发展计划的重点项目的原因。《地壳变动连续观测技术》一书就是这一时期研究成果的集成。本书是一部地形变（应变）连续观测技术的高智力集成，标志着我国地形变（应变）观测技术已进入世界先进行列，也是当前国际上在这领域内比较完整的一本参考书。本书的研究内容不论其深度与广度，都具有相当水平，其中不少内容深受国内外同行专家的赏识。

本书的研究领域几乎包括了目前世界的先进仪器类型，并有大量创新。不仅有各种洞穴式倾斜仪和应变仪，而且还有钻孔式的浅井和深井仪器。既有差动变压器、磁敏传感器、电容式、铜弦式，又有水准气泡，电涡流式等传感技术。观测精度可达 10^{-8} — 10^{-10} 。其中不少仪器已被广泛用于我国第二代台网建设中，并取得了一批有价值的记录。它不仅为我国地形变（应变）研究开拓了一条广阔的道路，也为世界地震学的发展作出了积极贡献。

本书是我国地震事业中定点形变观测技术发展的真实记录，希望本书的出版对广大读者有所裨益。

陈鑫连

1987年3月

目 录

第一章 概 论	(1)
第一节 第二代形变(应变)连续观测技术.....	(2)
第二节 形变连续观测台网.....	(4)
第三节 断层带地壳形变第二代观测技术.....	(7)
第四节 展望.....	(11)
第二章 地壳倾斜变化观测仪器	(14)
第一节 SQ-70型石英水平摆倾斜仪.....	(14)
第二节 ZB-77型金属水平摆倾斜仪.....	(20)
第三节 FSQ型浮子水管倾斜仪.....	(22)
第四节 WSQ-1型电涡流自记水管倾斜仪.....	(30)
第五节 SSQ-Ⅱ型双轴汽泡倾斜仪.....	(38)
第六节 DQY-6A型六线电子倾角仪.....	(40)
第七节 ZQY-2型钻孔式汽泡倾斜仪.....	(45)
第三章 地壳应变连续观测仪器	(52)
第一节 XZ-79型弦频式钻孔应变仪.....	(52)
第二节 YZR-2型压容式钻孔应变仪.....	(56)
第三节 TJ-5型体积式应变仪.....	(60)
第四节 RZB-1型电容式钻孔应变仪.....	(74)
第五节 SSY-Ⅱ型石英伸缩仪.....	(80)
第六节 ORBES-81型石英伸缩仪.....	(87)
第四章 探头与传感技术	(95)
第一节 TJ-1(A)型体积式应变仪探头.....	(95)
第二节 磁传感器.....	(101)
第三节 电容换能器.....	(105)
第四节 双轴电解液汽泡倾斜传感器.....	(108)
第五节 水平摆系中的铂基合金张丝.....	(111)
第六节 TCM-1型测温仪.....	(114)
第七节 ORBES-82型测温计.....	(117)
第八节 水平摆倾斜仪周期的数字测量装置.....	(119)
第九节 ADA型数据采集器.....	(121)
第五章 观测技术与地测分析探讨	(124)
第一节 应变探头与井壁的耦合.....	(124)

第二节	水平摆倾斜仪摆杆的精确定向·····	(130)
第三节	倾斜观测与台站的环境条件·····	(133)
第四节	自记水管倾斜仪的倾斜潮观测·····	(138)
第五节	水平摆倾斜仪的固体潮观测·····	(142)
第六节	应变固体潮理论值计算及其调和分析·····	(146)
第七节	我国地倾斜基本台站观测序列的定量分析·····	(152)
第八节	南黄海 6.2 级地震震前倾斜异常和同震阶跃·····	(160)

第一章 概 论

地壳形变、应变及其变化是地震发生过程中一些最直接的伴随现象。

自 1966 年河北邢台地震以来,我国的地震研究事业得到了全社会的深切关注,地震监测预报工作得以蓬勃发展。为适应地震监测和预报研究的需要,台站地壳变动连续观测技术开始兴起。诚然,由于 20 多年前对应力、应变测量技术,在理论上、实践上认识的局限和技术条件的限制,只依靠工业上当时的几种测“力”仪表,被直接应用到地震研究和监测中去。它们虽然难于胜任地震监测要求,但却为现今钻孔式应力、应变测量方法的发展奠定了基础。

七十年代以来,我国借助于地球物理、计量技术、工程变形监测和空间技术等方面的技术成果,结合定点形变连续观测的特点,相继研制成功了几种分辨率为 10^{-7} — 10^{-8} 量级的观测仪器,并在新建的一百多个连续观测台站上安装使用。这些观测室大部分是浅山洞或地下室,其中以 JB-1 型金属水平摆倾斜仪, SQ-70 型石英水平摆倾斜仪的使用最为广泛,目视水管式倾斜仪和目视伸缩仪也在近 20 个有条件的台站安装使用。

第一代定点形变连续观测技术,为我们研究定点形变、应变与地震的关系奠定了初步基础。第一代观测仪器的灵敏度、长期稳定性、格值精度以及数据采集方式皆处于起步状态。由于观测条件较差,在观测资料中包含着大量的干扰噪声。所以迫切需要在实践的基础上,总结和分析过去的工作,提出发展第二代地壳形变连续观测技术的思路。根据国内外实测的地壳运动的资料,可知地壳运动幅度和频度分布在较宽的范围里,持续数年甚至几十年的震前构造应力的积累所引起的地壳应变达 10^{-4} ,年应变速率可达 10^{-5} 。当然,这也随时空变化而异,一般地壳变形的最小年应变速率约为 10^{-6} ,而天体运动引起的应变潮汐幅值则仅为 10^{-8} ;震时较高频率的断层活动所引起的应变阶大约只有 10^{-8} — 10^{-9} 量级。

1977 年国家地震局在芜湖召开的第三次地应力学术讨论会和 1978 年在长沙召开的地震观测仪器工作会议(地震前兆观测技术部分)上,根据我国地壳运动观测技术发展的实际状况,确认定点形变、应变连续观测技术应以首先能够明显地观测到地球固体潮为发展目标,并以此来选择仪器研制的技术参量和观测条件。大家知道,因为潮汐运动是目前唯一能够预先计算的,所以利用地球潮汐的振幅和相位变化,可以综合评述定点式地壳变动连续观测仪器的精度。并检查环境因素干扰的程度。只有这样,在地壳运动与地震关系研究的领域里,人们才能通过这种高灵敏、高稳定、高可信的观测仪器来采集该频段的地壳运动信息。记录潮汐运动曲线的优劣就在客观上成为衡量研制仪器和观测条件的物理标准。1980 年初,国家地震局在上海召开的定点形变连续观测仪器研制座谈会上,论证和确认了部分第二代仪器研制的技术方案,从而全面开展了我国第二代定点形变、应变连续观测技术的研究。

在国家地震局组织和统筹安排下,有关单位相继开展了十余种高灵敏度、长稳定性的新型现代化仪器的研制,并在观测条件中探讨和分析干扰因素。短短的 6 年,国家地震局系统

内的定点形变应变连续观测技术的发展已日新月异,不仅成功地研制出一系列具有国际水平的新型仪器,而且在观测条件的研究、台站建设、数据分析等方面都获得了可喜的成果,使我国在这一领域里进入当前国际同等水平的行列。

第一节 第二代形变(应变)连续观测技术

一、新型仪器的研制

1. 应变类

1) SSY-II 型水平摆石英伸缩仪是国家地震局地震研究所 1983 年研制成功的,并通过国家地震局的技术鉴定。该仪器采用磁传感器换能,可见的模拟连续自记,整体标定;灵敏度为 $3-5 \times 10^{-8}$ 量级,能够明显地记录到水平应变固体潮。零漂呈线性、日漂移量小于 10^{-8} 量级、标定非线性误差小于 1%。达到了同类仪器的国际水平。现已小批量生产,并在十余个 I 类台站上安装使用。

2) ORBES-81 型高精度水平石英伸缩仪,在 1986 年由国家地震局地震研究所与比利时皇家天文台(O.R.B.)合作研制成功。1986 年由国家地震局组织中方专家进行评审并通过技术鉴定,国际固体潮中心主任、IUGG 秘书长梅尔基奥尔(P. Melchior)教授曾根据记录资料的计算和分析进行了评述,认为:该仪器具有高灵敏度和长期稳定的性能,主要潮汐波振幅与相位的确定结果十分喜人,并可识别空腔效应和地球液核效应。该仪器采用电容换能和整体标定。灵敏度为 $1-2 \times 10^{-10}$ 量级,能十分清晰而又连续地记录到水平应变固体潮,零漂呈线性,日漂量小于 10^{-9} 量级、非线性误差小于 1%,多年来格值变化小于 3%,记录长期连续稳定,已达到同类仪器的国际先进水平。

2. 井下应变类型

1) ZX-79 型弦频式钻孔应变仪由河南省地震局研制成功,并经国家地震局通过技术鉴定。该仪器灵敏度为 10^{-9} 量级、日稳定度为 10^{-9} 量级。能够记录到明显的固体潮和某些地震前兆信息。该仪器是我国首次记录到地壳钻孔应变固体潮和某些地震信息的仪器,现正在扩大试验。

2) YRY-2 型压容式钻孔应变仪由河南省鹤壁市地震办公室在 1983 年研制成功,通过国家地震局技术鉴定。该仪器灵敏度达 1×10^{-11} ,日漂率小于 1×10^{-8} 量级,不调零测量范围大于 2×10^{-8} ,采用压电石英片(或铌酸锂单晶)方法对传感器进行标定。在多年的观测中能够清晰地记录到应变固体潮和地震前兆信息,达到同类仪器世界水平。

3) RZY-I 型电容式钻孔应变仪由国家地震局地壳应力研究所于 1985 年研制成功,并通过国家地震局技术鉴定。该仪器采用差动式电容传感器和多路电容位移记录仪。仪器分辨率 10^{-10} 量级,在量程的 1×10^{-8} 范围内线性度优于 $\pm 1\%$,日漂移量小于 10^{-8} 量级、动态范围大,长周期频段大于 10 赫,短周期频段可达 0.1—10 赫,抗干扰能力强。该仪器达到同类仪器的国际先进水平。

4) TJ-5 型体积应变仪由国家地震局地壳应力研究所和中国科学院力学研究所于 1984

年共同研制成功,并通过国家地震局技术鉴定,仪器灵敏度在静态测量时,岩体的体积相对变化为 1×10^{-9} 量级时,放大器的电压输出不小于0.5毫伏,日漂移量小于 5×10^{-8} ,频率范围为0—5赫,采用热标定方法对仪器进行标定。该仪器达到国际同类先进仪器水平。

3. 倾斜类

1) FSQ型浮子水管倾斜仪由国家地震局地震研究所于1982年研制成功,并通过国家地震局技术鉴定,达到同类仪器国际水平。该仪器采用磁传感器,灵敏度为 10^{-9} 量级,重复精度优于0.2微米,非线性误差小于1%,日漂移量小于 10^{-8} 量级,采用体积标定法,能清晰地记录到倾斜固体潮汐。现已在30余个I类台站上安装使用。

2) WSQ-I型电涡流水管倾斜仪由浙江省地震局于1985年研制成功,并通过国家地震局技术鉴定,已达国内外同类先进仪器水平。采用电涡流传感器换能,用体积标定法相对标定,灵敏度为 5×10^{-9} rad/毫米,平均日漂移优于 3×10^{-9} rad,测量水位差范围在 ± 1 毫米内不需调整。

3) SSQ-II型台式双轴气泡倾斜仪由上海市地震局研制成功。1981年作为768工程传输台网中的前兆仪器而通过鉴定。数据可以输出,频带较宽,能够清晰地、连续地记录到倾斜固体潮,其潮汐因子 T 值精度能满足I类台要求。

4) ZQY-2型钻孔式气泡倾斜仪由国家地震局地震测量大队于1986年研制成功,并通过国家地震局技术鉴定。采用电解式双轴气泡传感器换能,利用电致伸缩对仪器实现整体标定。灵敏度为 10^{-9} 量级,平均日漂移量为 10^{-8} 量级,在30角秒内的非线性误差为 $\pm 0.5\%$,调平范围为3度,自振周期约为2秒。该仪器具有独特的下井调平、固井、密封系统,是我国首次记录到地壳钻孔倾斜固体潮和某些地震信息的该类仪器,已达到同类仪器的先进水平。

二、环境监测仪器的研制

各种定点形变(应变)连续观测仪器测量到的信息无不受到环境干扰的影响,其中温度、气压、降雨和水位变化等的影响尤为突出。为了使信噪比提高,除改善安装条件、耦合技术外,还需连续记录一些干扰因子,通过物理滤波和数学处理,一一加以排除,寻求地壳形变(应变)在地震孕育过程中的规律和特征。在第二代定点形变(应变)仪器研制的同时,相继研制的连续自记温度、气压等相对变化的仪器有:

1) SZW-I型数字温度计由国家地震局地壳应力研究所研制成功,并通过国家地震局技术鉴定,该仪器探头采用石英晶体传感器,精确度可达 0.03°C ,分辨率为 0.0001°C 。

2) ORBES-82型测温计是由国家地震局地震研究所在开展中国与比利时科技合作中的副产品。该仪器采用高稳定的热敏电阻做敏感元件,其分辨率达 0.001°C 。

3) TCM-1型测温仪由国家地震局地震研究所研制成功。采用铂热电阻做敏感元件,分辨率亦达 0.001°C 。

4) ORBEC-83型气压计是国家地震局地震研究所与比利时合作研制仪器过程中的派生物,采用膜盒和电容换能,其分辨率可达0.01毫巴。

由于传感技术的发展,在地壳形变(应变)观测中,根据不同的要求,不同形式的测温计、气压计、水位测量仪纷纷出现,且正在一些观测台站进行测试和实验。

三、观测条件的改善

第二代定点形变(应变)连续观测仪器都要在洞体内或井下与岩体耦合,故需尽量减少环境因素的干扰。

1) 洞体的选择 在洞体设计过程中,除需考虑地质构造外,还需尽可能减少由于太阳幅射给仪器带来的地表热变形影响。仪器放置的位置要与仪器灵敏度相匹配,高灵敏度的、能够测量 $10^{-9} \sim 10^{-11}$ 应变变化的仪器需要向深山洞或井下发展。此外,观测室内还要设置多层密闭设施,减少气流对仪器的干扰,并在仪器的附近安装高分辨和连续自记的温度计、气压计等设备,以监测洞体内(或井下)温度、气压的动态变化状况。

2) 地线设计 由于此类仪器采集的信息多在 $10^{-1} \sim 10^{-8}$ 微米。为了使这些微小信息经过较长的传输系统少受电路噪声的干扰,除了电测换能的电路系统中的地线要妥善设计外,洞体内还需要设有接地电阻很小的地线系统。通常利用高斯公式

$$R = \frac{\rho \cdot \epsilon}{C} \quad (1.1)$$

式中: R 为接地电阻(欧姆); C 为接地导体的电容(法拉); ρ 为视电阻率(欧姆·米); ϵ 为地壳岩体的介电系数(法拉/米)。在接地电阻小于1欧姆的情况下,就可以满足目前电信号输出稳定性的要求。

3) 耦合方式 洞体型观测仪器与岩体的耦合,往往采用水泥浇结方式。为了减少中间传递影响,现在已使用原生基岩,支撑棒式基岩槽孔等方式与仪器耦合。同时还尽可能使仪器的主体和传感部分接近基岩,降低安装本身带来的噪声。

井下倾斜、应变观测仪器,在排除温度干扰方面比洞体内仪器要简单方便,特别是在平原地区布设台站形变(应变)观测点更有重要意义。但是,在井下观测仍要考虑温度干扰。如50米深的井内,每天温度变化幅度仍在 0.01°C 左右,年变化亦达 0.1°C 左右。由于井下仪器中的基线很短(或很小),电子放大系统要求更高。为此,井下类的量测倾斜、应变的仪器对温度、气压、耦合方式、方位等方面的要求更为苛刻,否则就很难长期稳定地测到 10^{-9} 量级的形变(应变)变化。

目前井下耦合采用填充低膨胀水泥、石英砂或采用机械爪等三种方式,但这些方式的选择是一个十分复杂的问题,尚待深入研究。

第二节 形变连续观测台网

一、提高台站素质

台网中有不跨断层的应变型台站(I类)和跨断层台站(II类)两类。前者应能高精度连续观测,减少各类干扰,以能清晰、正确测出固体潮为其必要指标;后者则主要考虑其布设位置,外界干扰小,资料可靠性,并根据实际情况规定其观测精度和周期,加速研制新型

观测仪器。

80年代初我国的一些基本形变(应变)连续观测台站的观测精度和质量还参差不齐,多数因台址不好,仪器精度不够,或管理不善而不能完整记录固体潮。为此,采取了以下措施:

1. 台站主要干扰因数的频谱分析和台站的改造

对于19个台进行了倾斜固体潮振幅因子测定精度和相对噪声水平的计算,频谱分析结果表明、洞室深、覆盖厚、温差小的台站,固体潮振幅因子精度高,相对噪声水平低。台址较佳的台站,干扰因素的卓越频率为零频,年频和1/2年频,因此要着重研究解决墩台的内能散发,仪器零漂,洞室热弹性形变及雨雪所生产的渗漏等问题。台址条件较好,仅受外界单一因素干扰(例如:水库、海潮、严重渗漏),故只需排除特定干扰;条件较差的台站,短周期干扰相当复杂,噪声水平很高,记录不到固体潮汐,这类台站则需要彻底改造。

2. 提高观测仪器的灵敏度和稳定性

在台站条件得到基本保证的情况下,仪器的灵敏度和稳定性是提高观测质量的关键。为了提高观测仪器的稳定性,应采取三项措施:

1)交流和推广仪器最佳状态的使用方法。

2)对基本台进行仪器方位的精确测定,并随时进行检测和校正。对于过去的观测资料,利用本身数据反算和计算固定潮导纳因子。使全国资料统一,各个台站亦能更好地判断其资料的长期稳定性。

3)严格标定仪器。仪器格值的定期标定,是获得稳定性观测资料的重要措施之一。近年来,观测仪器的标定装置的种类已经较多。在规范中规定,观测资料必需同时附有格值标定的计算结果与说明才能验收。

为了进一步提高台站观测水平,除研制和使用灵敏度高、稳定性好的新型仪器外,还要挖掘现有仪器的潜在能力,如增长现有光记录仪器的光杆长度,提高仪器的灵敏度,使仪器本体与记录滚筒的间距加大,减少人体干扰。与此同时,对仪器观测室采取密闭,仪器保护等措施,减少气流、温度等干扰,其效果显著。采取以上措施,对比1984年和1981年台站的情况,90%的台站素质有显著提高。只有地处海滨,受潮汐影响严重的台站,虽然采取了若干措施,但灵敏度提高不多。此外,在滇西试验场按高标准新建立若干台站。这样就初步形成了一个精度高、稳定、资料连续、有一定监测能力的第二代地形变连续观测台网。

由于台站素质的提高,在1983年11月7日菏泽5.9级地震前和1984年5月21日南黄海6.2级地震前,就有台站记录到了倾斜固体潮振幅因子 γ 值的系统偏高和震前突变现象。

二、加强资料处理工作

为了满足地震预报的需要,资料处理和分析方法应做如下三方面工作。

1. 利用倾斜固体潮振幅因子 γ 值预报地震的研究

一些文献中认为,震前倾斜固体潮振幅因子 γ 值变化量可达 5% 以上。1983 年菏泽 5.9 级地震前,离震中 200 公里的泰安台的 γ 值变化为 1.7%,该震例验证了这一论点。

2. 倾斜观测资料实时处理方法的研究

现已编制出 γ 值变化的递推计算程序,对各种常用调和分析补充了递推计算的功能,使之适应地震预报中数据实时处理的需要。此外,正在研究各台站观测值的预估方法,以便根据预估值与实测值之差异,判别单台异常出现的时刻、形态和幅值。

表 1.1 第一、二代倾斜类观测台网对比

对比项目	第一代台网	改建成的第二代台网
台站数量	至 1973 年, 60 个 至 1979 年, 140 个	至 1984 年, 51 个 至 1986 年, 预计为 75 个
台址条件	地表台和半地下室占 30%, 浅山洞(进深 20 米)占 50%, 深山洞 占 20%	全部为深山洞, 其中 进深 > 100 米的占 30%
仪器使用	大部分设置 1 米光杆距的金属摆倾斜仪, 其他为目视读数的水管倾斜仪, 少数设置 石英摆倾斜仪及目视读数的伸缩仪	石英摆倾斜仪, 加长光杆距的金属 摆倾斜仪, 自记水管倾斜仪, 和自 记气泡倾斜仪(少量)
观测目标	探索长期稳定背景上的震前倾斜速 率变化, 年变规律的演变, 以及两 方向矢量模的变化	除此之外还着重观测固体潮导纳因 子的趋势性偏离及震前的扰动, 固 体潮的脉动和畸变
精度 指 标	灵敏度	仪器格值 0.01—0.03 秒/毫米
	稳定性	一般年零漂均 2 秒 日零漂均 < 0.02 秒 相对噪声水平 < 0.020 秒
台址地理分布	偏 于 东 部	以西区为重点, 京津、滇西南 试验场较密
监测能力	未 能 确 定	能观测到 150—200 公里范围内 5 级以上地震的形变现象
观测事实	虽然数量不少, 但噪声和信息混杂, 不能 确切判断, 包括海城、唐山等大地震所记 录的资料在内, 都有此问题	近两年来, 在台网监测能力范围内 发生的 5 级以上地震, 均能记到若 干确切的现象。以固体潮为正常背 景, 易于判别其真伪

3. 编制单台数据实时处理软件包

在数据自动传输未完成之前,是数据及时分析的应急措施。

经过上述努力,我国现有台网的监测能力显著提高,有7—8个台站的资料质量已接近或达到国际著名台站的水平。第一、二代台网对比情况(见表1.1)。

第三节 断层带地壳形变第二代观测技术*

断层带形变测量是国内外所公认的最有希望的地震前兆监测手段和地震危险性评定手段之一。对震源过程、地球动力学、大地构造学等学科而言,也具有实际意义。

断层带形变测量是现代动态大地测量学的一个分支,定量、精确、整体和动态地测定块体边界,并用恰当的数理模式加以描述是其基本任务。

美国在圣安德烈斯断层、日本在山崎断层、土耳其在安纳托里亚断层均开展了跨断层的多尺度多种形变观测的综合试验,分别取得了有价值的成果。二十多年来我国断层带形变观测有了很大发展,已在地震预报(如1975年海城地震预报)和工程地震(如活断层评定)中发挥了引人注目的作用。为了适应地震预报、地震工程、地壳运动和地球动力学研究的需要,有必要采用“断层带地形变整体动态观测技术”(第二代)。它包括:

1)现代地壳形变连续观测技术和经典大地测量相结合的组合观测或系统观测(即采用现代地壳形变连续观测技术,按一定目的用信息系统工程方法组合而成的断层带整体动态观测系统);

2)观测系统和基础、环境的最优连结、匹配及提高“信噪比”的技术;

3)将主断面两侧的简单几何量观测推进到断层条带的多种物理、几何量综合观测;

4)发展一套能对多尺度多种性质的断层带形变进行整体的动态数据处理的方法;

5)建立断层带的物理—数学模型。使断层带地形变真正成为整体动态监测,描述和预测断层带运动过程的有效物理手段,有效地为地震预报、地震工程和地球动力学服务。

一、观测目标

断裂带地壳形变信息工程的观测目标,是由断层面上的蠕滑、粘滑,断层面两侧的粘弹性和弹性应变,断层带形变的分段特性和迁移现象以及大地倾斜等观测资料来描述断层面及其两侧和整个断层带上的地壳形变动态过程。

现代地壳形变观测技术和经典大地测量技术组合而成的点群和列线阵,多尺度嵌套台阵以及与之协同的重力测量、空间大地测量是基本的观测方式。它们的整体连接和综合,构成了断层带地壳形变信息系统。

断层带地形变观测将会促进断层带形变学的发展,促进大地测量学和地球物理学及地球动力学的有机结合、不同频率信息的结合,连续数据和离散数据的结合,数学模型与物理模型的结合,……

* 参考:周硕惠、宋永厚、张华富,断层带地壳形变第二代观测技术。

二、噪 信 比

由于断层破碎带的存在以及大气层和地壳层通过这一通道频繁地进行物质交换和能量交换,非构造形变的干扰是严重的。因此断层带不仅是一个强信息带,也是一个强干扰带,信噪比将成为主要研究的问题。

多年经验与定量研究表明,不仅存在着构造形变与地震有关的形变,还存在着伪形变(如点位不稳)和地表形变(如周年、周日,多种周期,多种可用统计规律描述或无法描述的变化)。在不少情况下,后两者的量级可达 10^{-8} — 10^{-5} ,往往超过前两者。

因此,在断层形变观测中,必须高度重视和慎重对待环境干扰问题,应当充分考虑我国地壳形变工作者二十年来通过多次失败而取得的关于信噪比和干扰方面的经验教训。

对于干扰来说,最根本的是在选址和建台中避干扰和抗干扰。其次才是在数据处理中排抗扰。

三、观测仪器的分辨力

关于长、短边激光测距(JCY-3、JCY-2、ME-3000等),水准测量,基线丈量,重力测量(拉科斯特仪器),空间大地测量(GPS、人卫激光测距等)等观测系统的分辨率已有定论,这里主要讨论跨断层连续形变仪器应采取的分辨力,先从以下几个方面进行讨论,尔后再综合选定。

1. 短临前兆信号的可能量级(前兆阈)

前兆性的地形变肯定比地震前后的地形变要小许多(有的学者认为可能小两个量级)。但其量级到底有多大,这是一个十分复杂、尚未充分认识的问题。目前只能综合现有的经验和资料,作一个具有概率性的估计。

在分析不同方法前兆手段中较可靠的形变方法和设例后,不谋而合地得到了一个较为一致的估计:地形变前兆信号的量级一般来说很难大于 10^{-7} 。

日本兵庫(Hyogo)Yasutomi观测所设置了跨越山崎断层的伸缩仪列线阵。根据岸本(1980)的研究,在第2—3段和第10—11段间产生的前兆性伸缩量级小于 10^{-8} 。1978年1月14日日本伊豆M=7.0级地震前三天左右,在石廊崎观测站记录到的异常变化也小于 10^{-9} (山岸等1978)。

美国大地测量学委员会和地震学委员会联合组织的“地壳运动测量专业委员会”在其专题报告中指出,对中等地震而言“应变的大小在距离震源20公里处不大可能超过 1×10^{-8} ”。为了有意义地描述任意前兆应变或倾斜带的位置与特性,测量精度至少要达到 10^{-7} 。

断层滑移速率仅是前兆异常显示的本底背景。它的量级和地震前兆量级是两种不同的概念。这两者的区别在美国圣安德烈斯断层(水平运动年速率达30毫米多,但震前几乎没有前兆)和我国的鲜水河断层(水平运动年速率接近10毫米,但震前短基线测值的前兆也不明显)均有所体现。因此不能认为断层运动的速率大,前兆异常的量级就一定大。根据中、日,

美的经验，为了捕捉到前兆地形变，将监测阈选为 10^{-7} 看来是较为合理的。只有将监测和研究建立在比较稳妥的基础上，才能以较大的概率去鉴别出可能的地震前兆。

但另一方面对活动性较高的走滑断层来说，断层面的蠕变事件，有可能达到亚毫米级或毫米级（据 R. O. Burford 和 R. D. Nason 等对圣安德烈斯断层的研究），大约相当于 10^{-6} — 10^{-5} 量级。观测这些事件对研究断层的力学性质是很有用的，而且其中的某些事件也可望具有前兆性质。因此除了在本台阵上以 10^{-7} 的分辨率进行监测外，在断层带断层面的若干部位上设立多个廉价的无人自守的具有 10^{-6} 以上分辨率的子台群，也是有价值和合适的。

2. 对断层运动过程定量刻画的程度

对断层运动过程定量监测的精细程度，取决于断层本身的活动量和不同的研究目的。如仅需粗略了解其活动性，传统大地测量即可满足。若企图精细刻画其动态过程，则需连续地或较为密集地采样，并具有较高的与其相适应的观测分辨力。以鲜水河断裂带为例，该带中北段断层运动的速率大如表 1.2。

表 1.2 鲜水河断裂中北段运动速率 单位：毫米

	年	月	旬	日
水平运动	6.11	0.5	0.17	0.016
垂直运动	1.11	0.08	0.03	0.003

若基本台阵取 5 微米的分辨率，则大致能刻画出断层的逐日变化；若轻便子台取 30 微米的分辨率，则大致能刻画出断层的旬变化。合理地假设突发蠕变事件量级高于平均运动（稳滑）速率，则两类台都可监测到该种事件。

3. 仪器与环境条件的匹配

仪器的精密程度必须和其安装的环境条件相匹配，才能取得最有效益的结果。跨断层观测是在浅地表环境中进行，明显受到气象噪声源等的干扰，高度不均匀的断层破碎带还会对干扰起放大作用。因此企图实现优质的固体潮观测（ 10^{-8} 以上的分辨率）是不现实的。

基本台阵在精心选择台址、适当延长观测基线、浅埋覆盖（例如在鲜水河地区经定量计算与经验分析，估计浅埋 4 米，即可基本消除日温差的影响）和墩基稳定性处理等措施后，估计噪声水平的量级有可能低于 10^{-7} ，从而与 10^{-7} 分辨率相匹配。

根据以往多年经验，只要精心选址，墩基可靠，地表测量精度可以达到 10^{-8} 量级。简易子台，采取浅埋 2 米的管道措施（考虑冻土层深度为 1 米）后，就可以保证 10^{-8} 量级的监测能力。

4. 国外有关仪器指标

表1.3

国外有关仪器指标

仪器名称	分辨率	动态范围	零漂	用途	研究者
1. 银铜线应变仪(美)	10^{-7}	50分贝	$10^{-8}/\text{年}$	断层动态 (短期)	Johnston (1977)
2. 炭丝应变仪(美)	10^{-7}	160分贝	$10^{-7}/\text{年}$	断层动态	Leary (1985)
3. 激光干涉仪(带光栅)(美)	10^{-11}	150分贝	$10^{-7}/\text{年}$	断层动态 (长期和短期)	Berger 和 Wyatt (1970)
4. 长基线水银仪(美)	10^{-8}	100分贝	$\frac{28 \times 10^{-7}}{\text{年}}$	断层动态	Wyatt 和 Bi Lham (1981)
5. 超微钢管式伸缩仪(日)	0.1×10^{-11}			断层动态	堀K. Oike (1975使用)

表1.3可看出美国和日本用于断层动态观测的仪器最低的分辩是 10^{-11} ，其中1,2,3是直接用于跨断层观测，3,4是安置于断层附近的观测。

5. 观测仪器分辨能力的选定

综合考虑短临前兆的可能量级，对断层动态过程的精细刻画程度、仪器与现实环境条件的合理匹配并参照国外在断层带上进行形变观测的仪器现状后，得到表1.4

表1.4

观测仪器分辨率的选定

类 型	绝对分辨率	相对分辨率
基本台阵	2—5 微米	约 10^{-7} (30米基线)
		约 10^{-8} (80米基线)
轻便子台	10微米	约 10^{-6} (10—30米基线)

四、多尺度动态数据处理

由点群阵、列线阵、多尺度嵌套台阵组成的形变测量系统所取得的多种数据，具有不同的空间尺度，不同的取样间隔，不同的频率特性，不同的精度和不同的物理意义；它们之间又存在着几何的、物理的或信息的关联，并具有冗余度和多种可组合形式。它们是断层带整体运动某一侧面的描述，必须进行综合处理。而所有的观测对象，又都是随时间而变化的，严格说来每个点都在运动着。因此又必须进行动态处理，并恰当处理参考系问题。为此有必要把传统大地测量的数据处理方法向前推进一步。在系统科学和物理学的帮助下，用新的概念和方法来进行多尺度的动态数据综合处理，应从以下途径来研究和试验：

- (1) 提出列线阵数据的处理方法;
- (2) 动态参考系的研究与测定;
- (3) 广泛采用动态系统分析 (如时间序列分析和控制系统状态方程相结合的动态灰箱模型、定时动态灰箱模型、CAR 模型以及改造后的卡尔曼滤波模型等);
- (4) 采用不同尺度和地点观测数据的连线;
- (5) 大力探索地壳形变测量和重力测量的有机结合和综合处理;
- (6) 探索断层带运动的最合理的物理数学模型 (例如断层带位错模型、形变循环模型)。

第二代观测技术, 断层带地形变整体动态观测技术的实施将填补地震学和传统大地测量学之间的频率空区, 并有助于从信息系统的角度来监测和研究断层面、断层面两侧、断层带分段及断层带总体的动态过程及其与地震的关系, 将促进现代大地测量学和地震学及地震预报的有机结合。

第四节 展 望

今后若干年内, 应围绕地震预报这一目的做如下工作。

一、调整和完善国家基本形变连续观测台网

遵循两区 (华北、西南) 一带 (南北地震带) 为重点的布网原则, 按整顿后的台站现状, 调整基本台的布局, 完善现有台网, 其目的是实现台站数据的快速采集和传输、实时处理、综合分析和及时反馈。当然, 与此相应, 必须首先建立台站观测仪器和各类环境测试仪器的数据采集的自控和智能网络系统、密封观测室, 避免各类人为和外界干扰。

二、编制地壳动态变化图

几年来的观测研究证明, 地震孕育过程中地下应变积累状态之变化可使用倾斜、应变固体潮振幅因子来表征。这种变化应该在岩石接近破裂时产生, 因而对地震预报更有意义。

将布局合理的基本台观测资料实时编制成地壳动态变化图, 可望获得有关孕震区信息。

以一个基本台控制半径为 200 公里 (据菏泽地震的观测实例) 计, 现有第二代台网 (至 1984 年) 编制地壳动态变化图时的可信区 (两个倾斜观测台站同时测到异常的区域) 范围应如图 1—1 阴影部分所示。

三、正常观测值的预估与异常的判别

这是今后连续观测形变台站的基本任务。随着高精度台站的增多, 目前试验的几种方法将不断得到修正和完善, 最终将实现单台出现异常自动判别和报警。