

56.258083

地震预报方法
实用化研究文集



国家地震局科技监测司

形变·重力·应变专辑

地震出版社

· 地震科学联合基金资助 ·

地震预报方法实用化研究文集

形变 · 重力 · 应变专辑

国家地震局科技监测司

地震出版社

1991

(京)新登字095号

内 容 提 要

本专辑共收编 78 篇论文。系统介绍了形变(定点)、重力、应变方法预报地震的实用化研究成果。内容包括资料的优化与预处理, 现有形变、重力、应变台网的监测能力分析, 预报地震的方法和途径, 以及利用形变、重力、应变资料探索岩石物性与地震前兆, 中强地震的各类异常及异常量级等问题所得结果。本书对大量震例作了展示与分析, 较全面地反映了形变、重力、应变方法预报地震的研究现状。

本书可供从事地壳形变、应变、重力及地震预报研究的科技人员参考。

地震预报方法实用化研究文集

形变·重力·应变专辑

国家地震局科技监测司

责任编辑: 李 俊

责任校对: 孔景宽

*

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路 9 号

北京朝阳展望印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 36.5印张 934千字

1991年9月第一版 1991年9月第一次印刷

印数 001—850

ISBN 7-5028-0417-X/P·267

(805) 定价: 15.00 元

前 言

提高地震预报水平,减轻地震灾害是各级地震部门和全体地震工作者的首要任务。地震预报水平的提高,依赖于现代化技术的进步和各有关学科领域研究的进展,也依赖于地震科研成果在分析预报中应用的程度。诚然,地震预报是当今自然科学领域的一大科学难题,必须持之以恒地坚持探索。地震预报的困难性和任务性,决定着地震前兆预报方法的研究是一个长期的任务。经过20多年来的广泛实践证明,我国地震预报既有成功的经验,也有失败的教训,整体来说预报水平还是不高的,需要花大力气来探索研究提高地震预报水平的方法途径。为了继承发展我国20多年的预报实践经验,推进我国地震分析预报工作的科学化,加快地震科研成果在分析预报工作中的应用,以便更有效地提高当前地震预报水平,尤其是短临预报水平,国家地震局于1987—1988年,集中了全国优秀科技骨干近千人,重点开展了以短临预报为主的地震前兆预报方法实用化攻关研究,从某种意义上说,这是国家地震局为迎接我国大陆地区新的地震活跃期到来所采取的技术准备的一项重大措施。

这次实用化攻关研究的主要目标和任务是,把20年来各级地震部门的预报经验系统化,并对其进行科学的论证,对各种资料处理方法、干扰因素的排除、异常的识别、前兆判定及其所有软件程序设计等进行深入研究和认真筛选;针对各前兆手段和综合预报方法,制定出适用于分析预报工作各个环节的一套技术指南。同时要对20年来监测台网内发生的一系列中强以上地震和震情事件做深入再研究,着重研究不同地区、不同类型地震前兆的共性表现与差异,研究地震前兆与无震异常的区别,以提高各种前兆手段和综合的试用性预报方法、判据和指标,同时要给出用其进行预报可望获得成功的概率估计。

在国家地震局攻关领导小组的指导下,组织了地震学、定点形变、大地测量、水位、水化、重力、地电、地磁、应力应变及综合预报方法等10个攻关组;10个学科方法先后共部署了51项一、二级课题及201项三级课题。通过攻关,重点突出了预报方法的实用性,预报指标的定量化(半定量化)及资料处理的微机化、规格化。这对于预报经验与科研成果的应用,无疑是有力的推动。

为了便于广大地震工作者,尤其是分析预报人员更好地学习、了解各学科方法实用化研究的具体内容和详细的理论分析、计算推导,为地震预报第一线的科技人员在工作中更好地运用“地震分析预报方法指南”并提供进一步探索研究的基础资料,国家地震局科技监测司组织了《地震预报方法实用化研究文集》的出版。文集将各学科方法三级课题的研究成果汇编成6个专辑,即《地震学专辑》、《综合预报专辑》、《地磁地电专辑》、《水位水化专辑》、《形变重力应变专辑》、《大地测量专辑》。这些专辑是在1983—1985年地震前兆系统清理基础上的深入研究的成果汇编,它不仅对当前的分析预报工作有积极的指导意义,而且也今后地震理论的深入攻关研究奠定了一定的科学基础。实用化攻关研究一、二级课题将分别另行编汇《中国地震分析预报指南》。

希望本文集的出版能够给我国地震分析预报带来新的发展。为各国学者了解我国地震分析预报的进展提供方便。

国家地震局科技监测司

1989年3月

说 明

继 1983 年至 1984 年的清理攻关工作, 国家地震局于 1987 年至 1988 年又组织了地震预报方法实用化攻关研究。根据统一部署, 1987 年定点形变学科、重力学科, 1988 年钻孔应力应变学科分别组成了学术领导小组, 三个学科先后组织 20 多个单位约 150 名科技骨干参加了攻关研究。围绕着实用化攻关研究的目标和具体要求, 各学科确定了一批重点攻关研究课题。定点形变学科汇集了 24 篇论文, 归纳六个方面: 1. 观测资料的优化及预处理; 2. 我国定点形变台站的噪声水平及监测能力的研究; 3. 以形变资料探索岩石物性的地震前兆; 4. 中强震形变异常量级对资料精度的要求; 5. 定点形变异常预报地震方法的研究; 6. 若干震例的分析。重力学科汇集了 21 篇论文, 包括的内容有: 1. 台站重力和流动重力资料的优化和处理; 2. 预报指标、预报方法和效能的研究; 3. 高精度仪器性能试验研究; 4. 新理论、新方法与新思路在重力预报地震中的探索与初步应用。钻孔应力应变学科汇集了 31 篇论文, 包括的内容有: 钻孔应力应变台站观测条件、观测系统干扰排除、数据处理、异常提取及划分、应力应变状态分析、震例及震源应力场研究、预报方法和指标探讨、地震预报实况等八个方面。三个学科共汇集了 67 篇论文。

定点形变、重力、钻孔应力应变学科对各自的三级课题都给予评分和验收, 不符合要求的未纳入专辑。所编入的论文的共同特点是注重原始观测资料的筛选与处理, 注重实际地震预报情况的检验与评价分析。因此, 本专辑是紧紧扣住地震预报实用化攻关这一主题而选材的。除此之外, 亦有小部分学科新的探索性课题及若干地震实例的观测记录与现场分析编入本专辑。本专辑经各学科及责任编辑多次修改和加工, 集中反映了这三个学科的最新研究成果和进展, 它的编辑出版必将推动本学科的发展。

定点形变学科实用化攻关领导小组组长吴翼麟, 副组长李孟聪、徐京华。成员有杨军、陈绍绪、陈光齐、刘振军、白大伟。本专辑定点形变部分由吴翼麟、刘序俨、徐京华负责编审。

重力学科实用化攻关领导小组组长李瑞浩, 副组长陈益惠、刘小伟。成员有贾民育、高锡铭、刘克人、吴雪芳、唐九安、夏岩。本专辑重力部分由李瑞浩、喻节林负责编审。

钻孔应力应变实用化攻关领导小组组长欧阳祖熙, 副组长徐京华。成员有张绍治、黄相宁、郑文卿、李健春、龚倩。本专辑钻孔应力应变部分由黄相宁、葛丽明、李健春、张余润负责编审。

刘昌祥同志曾领导并参加这三个学科攻关计划制定等, 做了大量工作。

由于编者水平与时间有限, 专辑中难免出现错误与不当之处, 敬请读者批评指正。

目 录

第一部分 定 点 形 变

定点形变降水干扰数据处理方法的研究·····	刘序伊执笔 (3)
定点形变热干扰数据处理方法的研究·····	陈绍绪等 (8)
倾斜固体潮数据预处理方法及其效果的研究·····	李旭东 (17)
以倾斜固体潮振幅因子 γ 值判别孕震区·····	李 平等 (25)
契氏拟合预估法预报地震能力的研究·····	金克俭等 (29)
卡尔曼滤波在连续形变资料处理中的应用·····	陈光齐等 (33)
最大相关系数判别异常法·····	陈光齐 (48)
地倾斜矢量异常法预报地震能力的研究·····	罗荣祥 (54)
地倾斜差分值异常法预报地震能力的研究·····	罗荣祥 (61)
关于最大相关系数法局限性的讨论·····	张 军等 (69)
绘制时间序列曲线的一种剪裁算法·····	成小平等 (76)
地倾斜短时变化特征与地震关系的研究·····	李孟聪 (82)
中强地震前形变短临异常量级及对资料精度要求的研究·····	杨 军等 (97)
新疆中强地震前的形变前兆研究·····	吴秀莲等 (109)
定点形变台站监控范围模式·····	刘以齐 (117)
陕西定点形变台网正常动态值的分析·····	张鸿福等 (125)
论乌加河地震台定点形变异常变化趋势·····	黄根喜 (131)
模糊关系方程的震级预报模型·····	陈大业等 (135)
辽宁省地倾斜方法预报地震的实用化研究·····	王玉莹 (140)
系统辨识方法在分析处理地壳形变资料中的应用·····	蒋春花等 (146)
江苏几次中强震前常熟台地倾斜异常变化特征·····	韩广英等 (153)
青海省几次地震的定点形变前兆识别情况·····	藏希明等 (159)
不同类型倾斜仪阶变量关系的试验研究·····	刘光远等 (165)
1985—1987年全国4级以上地震落入形变台监控区情况的统计·····	吴翼麟等 (171)

第二部分 重 力

重力潮汐观测资料的改正和异常背景值的显示问题·····	李瑞浩等 (179)
重力固体潮数据处理方法·····	陈冬生等 (189)
重力固体潮数据处理系统GTPS·····	陈冬生等 (201)
重力固体潮观测中的海潮负荷改正·····	李瑞浩等 (211)
固体潮理论值一阶微商的天顶距公式与在拟合检验中的应用·····	唐九安 (220)
地震重力台站观测中的气压效应：分析与改正方法·····	符永好 (227)

台站重力测量中非潮汐信息的分离问题·····	李瑞浩等	(233)
台站重力观测中潮汐信息与非潮汐信息的研究·····	吴雪芳等	(240)
构造变形引起重力非潮汐变化的研究·····	陈益惠等	(249)
流动重力测量的若干问题·····	贾民育等	(257)
几次地震前的重力异常讨论·····	马 丽等	(264)
相对重力变化异常分析与解释·····	高锡铭	(272)
重力仪格值问题的讨论·····	骆鸣津	(283)
重力非潮汐变化清理报告·····	贾民育等	(290)
LCR-G型重力仪测量精度的统计分析·····	刘绍府等	(302)
流动重力测量数据处理系统的基本理论·····	李 辉等	(311)
重力异常核实、预报地震指标和监测地震能力的估计·····	陈益惠等	(319)
LCR 重力仪测量平差中的相关问题·····	刘绍府等	(333)
重力测量资料的处理系统——LGADJ·····	刘冬至等	(339)

第三部分 钻孔应力应变

地应力观测手段防雷电干扰的措施·····	金能均	(353)
压磁地应力雷电干扰形态及其排除·····	郭玉莲	(358)
烟台压磁地应力测值谱分析·····	李秉锋等	(363)
气温、气压、水位对压容应变观测的影响·····	肖凤莲等	(369)
关于应力、应变观测震兆临震形态初探·····	赵淑平	(371)
山东安丘应力站多干扰因素排除及异常信息提取·····	陈正品等	(374)
山东省压磁地应力有震、无震异常及预报效果·····	陈正品等	(380)
钻孔应变、应力异常反应和预报的研究·····	马兴国	(388)
中强地震前钻孔应变仪的前兆特征·····	马兴国	(395)
唐山余震应力前兆异常实例分析·····	姜义仓	(398)
钻孔应变、应力测量数据整理及震例总结·····	胡瑞璋	(404)
水库库容对电感应力的影响及回归方法在资料分析中的应用·····	袁 杰等	(409)
弦频式钻孔应变仪震兆关系研究·····	龚 倩	(413)
弦频式钻孔应变仪观测的干扰识别及异常信息提取·····	谢 智等	(423)
山西钻孔地应力测量数据整理及震例分析·····	赵英敏	(431)
1976年8月16日四川松潘7.2级地震地应力震例·····	周本诚	(441)
云南地应力异常识别及震例总结研究·····	李世林等	(448)
地震前兆的判定原则和地应力预报地震三参数的指标之研究·····	郑文卿等	(461)
1984年1月6日武威 $M_s 5.3$ 地震地应力前兆场的特征·····	郑文卿等	(469)
新疆应力、应变测量数据整理及震例总结报告·····	蒋靖祥	(477)
海城7.3级地震地应力前兆特征或应力场分析·····	黄相宁等	(488)
有序样品最佳分割法的改进和应用·····	胡益光	(503)
钻孔应力资料的应力状态计算及绘图程序·····	葛丽明等	(506)
钻孔应变、应力资料分析袖珍计算机常用程序·····	张绍治	(512)

有震异常与无震异常的判别·····	张绍治 (527)
浅谈弦频式钻孔应变仪的干扰因素·····	范桂英等 (531)
徐州台体应变动态观测中干扰因素的分析与信息提取·····	张绍治等 (535)
江苏省钻孔应变、应力观测暂行预报指标·····	张绍治等 (542)
乌什台地应变前兆异常及预报研究·····	杨志荣 (544)
云南省地应力数据处理及干扰排除·····	李世林等 (550)
西昌小庙压容应变与会东 5.4 级地震关系·····	余明德等 (556)
序列分析数据处理方法·····	金能均等 (559)
宁波台 ZK 03 井孔应力、水氡测值对舟山大巨岛 4.0 级地震的同步反应·····	王晓东 (565)
最大主应力 σ_1 等值线的平面分布与唐山 7.8 级地震的关系·····	李祥村 (569)

第一部分

定 点 形 变

1000

1000

定点形变降水干扰数据处理方法的研究*

刘序伊执笔

(国家地震局地震研究所)

一、降水干扰的性质

降水是一种离散的不连续的干扰因素,对地形变的影响不是线性的,而是一种非线性过程,而且具有褶积的性质。其干扰图像具有群体性质,其细结构(短期)不具备什么规律,只具有一种宏观(长期)结构的性质。

降水干扰不象温度那样受物理的普适定律所制约,而是与许多外界条件和初始条件有关,因此呈现出复杂性和多样性。

由于仪器多是安装在土层或岩石层,而土层的膨胀和变形不但与降水量的大小和持续时间有关,而且与地形地貌、地下径流、渗透率、孔隙率和初始含水量有密切的关系,因此台站所在地的这些地下水动力学和土力学参数一般是不能实际测到的,所以想建立降水干扰与这些参数的直接关系(定性或定量的)实际上是十分困难的。因此,首先根据已有观测资料将台站区分为受降水干扰与不受降水干扰两类,然后以数学处理方法对干扰影响进行削弱。

二、降水干扰的机制

降水引起的干扰形变主要分为两类:

1. 台址为粘土的土层或含粘土的风化岩,其降水干扰形变大小及特征主要受粘土含量多少及粘土所具有的特性的制约,降水干扰是通过孔隙渗透的途径来影响地形变的。

2. 台址为风化岩或裂隙发育的各种基岩。由于此类岩石裂隙发育,因此降水使其中裂隙充水引起块体中流体压力增加,当这种压力增加到一定量时,原有裂隙扩张,长度增加,或者产生新的微细裂隙,从而导致岩体体积增加。当降水量减少,由于流压减少,裂隙闭合,产生与充水时形变方向相反的形变量。但后者往往小于前者,也许这就是有的台站在雨季后留下阶状形变曲线图像的原因所在。它是通过裂隙渗透引起的。

三、排除降水干扰的数学物理模型——动态系统法

1. 建模的物理基础

* 参加此课题的有白大伟(吉林地震局)、吴邦素(分析中心)、韩广英(江苏地震局)、张雁滨(国家地震局地震研究所)、王玉莹(辽宁地震局)。

地形变受降水干扰主要是由降水从地表面向地下渗透引起地块的胀缩所致。据地下水文学中哈伯特的有关流体势能的分析,在孔隙介质中,任一点处的单位面积流量 v 可用达西定律进行描述

$$v = -K \frac{dh}{de}. \quad (1)$$

式中 h 称为“水力水头”, dh/de 称为“水力梯度”, K 是一个比例常数,具有流速的量纲, K 不仅是介质特征的函数,也是通过介质而流动的流体特性的函数,它与台站的水文地质条件、岩性有很大的关系,与地壳形变受降水的程度有很密切的关系。

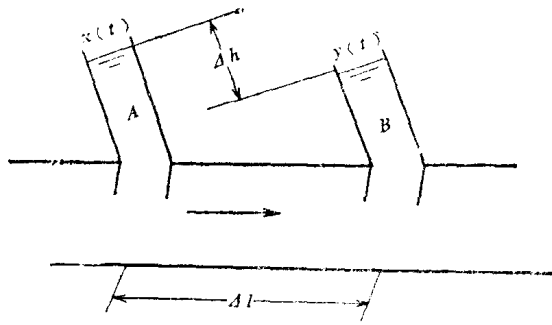


图 1 动态系统示意图

图中 $x(t)$ 表示由降雨所引起的在时刻 t 时的 A 孔中的流体体积, $y(t)$ 表示在 B 孔中所引起的流体体积, A 和 B 构成一阶动态系统,如果情况复杂,可再添置 C 孔,则构成二阶动态系统。

2. 模型的建立

先讨论一阶动态系统,在降雨时,地下水从 A 流到 B,在 A 和 B 中将产生地下水流动,直到平衡为止,处于平衡状态下的 B 孔中的体积可作为 A 孔中的流体体积的函数,在稳定状态下有以下关系式

$$y = gx. \quad (2)$$

式中 g 称为稳定状态下的增益, x 称为系统的驱动力函数, y 称为系统在力函数激励下的响应输出,由于 y 代表了由降雨所引起的流体体积,因此孔隙流体体积的变化就间接地反映了地壳的胀缩,即地形变。体积变化与地形变之间的量纲关系由 g 来确定, g 可由降雨量和地倾斜变化量来确定。

考虑到地形变与体积胀缩符合虎克定律,因此在下面我们把 $y(t)$ 看作为地倾斜变化, $x(t)$ 看作为降雨,作为近似,我们把由降雨所引起的地倾斜的比率看作为地倾斜与稳定状态下的地倾斜之差成正比,即

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{1}{T} (gx(t) - y(t)). \quad (3)$$

式中 T 称为系统的时间常数,上式又可写为

$$(1 + TD)y(t) = gx(t). \quad (4)$$

式中 $D = dy(t)/dt$ 。

上式即为一个未延迟的一阶微分方程所表征的一阶动态系统。现考虑延迟,则(4)式可写成

$$(1 + T D)y(t) = g x(t - b - c), \quad (5)$$

式中 $\tau = b + c$ 为时延, b 为时间单位的整数倍, c 为小数。

满足(5)式的连续系统的微分方程, 对于脉冲输入而言, 是与满足以下的离散的差分方程相一致的:

$$(1 + \xi D)y_i = g(1 + \eta \nabla)x_{i-b-1}. \quad (6)$$

(6)式即为动态系统的差分方程表达式, x_i 为降雨量, 因其是离散的, 可看作为脉冲输入, y_i 为系统的响应, 即地形变值。式中 ∇ 为差分算子, 其含义为 $\nabla y_i = y_i - y_{i-1}$, $\xi = \delta / (1 - \delta)$, $\eta = -\delta(\delta^{-c} - 1) / (1 - \delta)$, $\delta = e^{-1/\tau}$ 。

3. 差分方程的解

为了求解差分方程(6)式的解, 可将(6)式按 ∇ 算子展开, 并顾及到降雨干扰有时延性质, 故用 y_i 代替 y_{i-1} , 用 $\hat{y}_i$ 代替由差分方程给出的解, 即动态系统的响应, 则有

$$\hat{y}_i = (\xi y_i + g x_{i-b-1} + g \eta (x_{i-b-1} - x_{i-b-2})) / (1 + \xi). \quad (7)$$

为了确定 ξ 和 η 值, 可按 T 和 C 值制成 η 值表。

四、我国部分定点形变台站受降水干扰的分类及其预处理时的考虑

因为降雨是一种常见的天气过程, 因此对定点形变台站降雨干扰的程度进行分类就显得很重要, 并具有实际意义。一般分为三类:

A 类: 此类台站降雨量存在一个所谓驱动降雨量, 只有当降雨量大于此值时, 才能引起地形变的显著变化。一般驱动降雨量为 30—50 mm, 相应引起的地倾斜发生 20—70 毫秒的变化。从地倾斜五日均值曲线来看, 在雨季, 当降雨量大于驱动值时, 五日均值曲线会发生显著的变化(见图 2), 一般比雨季之前大十几倍。从整点值曲线来看, 降雨的影响会使整点值产生比倾斜固体潮全振幅大 4—5 倍的变化, 从而使固体潮曲线产生畸变(见图 3)。

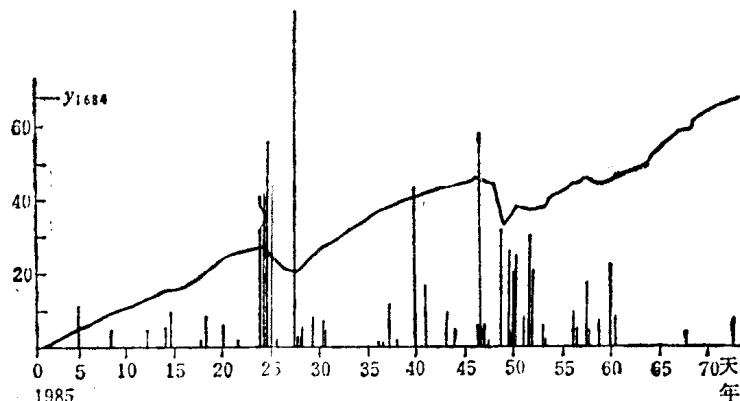


图 2 徐州台水管倾斜仪 EW 向 1985 年五日均值曲线与降雨量图

楚雄、徐州、盘石、马陵山和沈阳台基本上属于此类台站。

B 类: 此类台站的特点是没有像 A 类台站那样出现急剧的大幅度的倾斜曲线的变化, 只是在平缓的背景上出现小幅度的变化。

易门、永年、延边、易县、丰满、营口、信阳、张家口、乾县、昆明、怀来和厦门台基

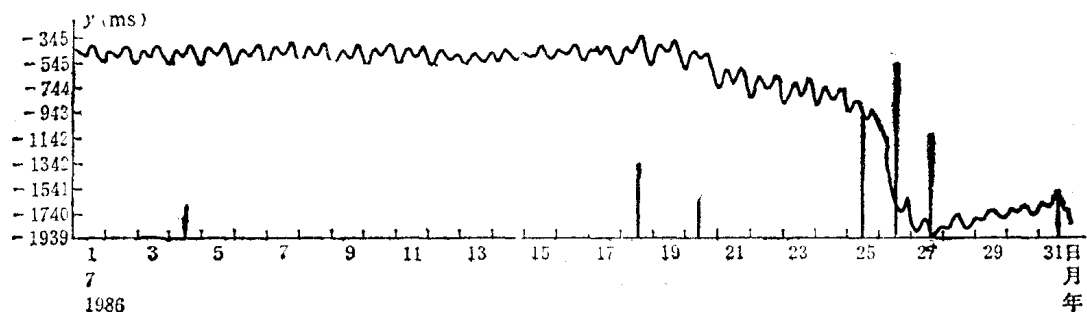


图 3 徐州台倾斜仪 SN 向 1986 年 7 月整点值曲线与降雨量图

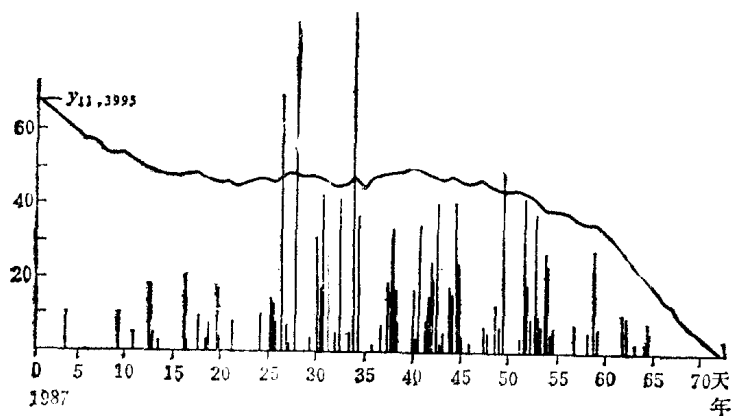


图 4 灵山台倾斜仪 EW 向 1987 年五日均值曲线与降雨量图

本上属于此类台站。

C 类：此类台站的特点是地倾斜曲线变化基本上与降雨无关，属于此类的台站有呼和浩特、泰安、姑咱、灵山、阳原、麻城、临汾、太原、乌什、红山、银川、长沙、佘山。此类台站就不用考虑干扰的排除(见图 4)。

五、采用动态系统法排除降水干扰的实例

徐州台倾斜观测资料受降水干扰严重(见图 2)，为了排除降水干扰，我们采用公式(7)对徐州台 1985 年 EW 向五日均值进行了数据处理，处理结果见图 5，图中 y_t 曲线代表观测



图 5 徐州台倾斜仪 EW 向 1985 年模型输出与残差曲线图

值的五日均值曲线, $\hat{y}_t$ 代表动态系统输出值, 该值包含了降水所引起的地倾斜值, $y_t - \hat{y}_t$ 代表观测值与数字模型值之差, 该值已排除了降水干扰, 排除降水干扰后的残差曲线仍然保留了原观测值曲线的趋势。

参 考 文 献

- [1] [加]R.A.弗里泽、J.A.彻里著, 吴静方译; 地下水, 地震出版社, 1987。

定点形变热干扰数据处理方法的研究*

陈绍绪 王川华 蒋春花

(河北省地震局)

韩月鹏

(新疆地震局)

世界上绝大多数地震都发生在地壳十几公里至数百公里深处。目前人类还无法深入到这样的深度直接观测地壳深部介质的性状变化。现在我们所有的地震监测手段都只能在地壳表层进行间接观测,这样就存在两个问题:一是地壳深部的信息传到地表后,其强度可能有很大的减弱,形态也可能与深部有极大的差异;二是所有的地表观测手段都不可避免地要受到大气因素及人类活动的干扰,甚至这些干扰因素所引起的变化量往往大于真正的来自地下的信息。因此,为了从观测结果中提取来自地下的信息,首先务必要认识其中的干扰因素,并设法排除之。现在各种观测手段减弱或排除干扰的办法可分为两大类:一是物理的方法,即向地下深入,将仪器安置到深钻孔或山洞中去,例如井下测震仪、井下倾斜仪、井下应变仪、深井地下水等等。这样做的效果是十分明显的,可以在很大程度上减弱或部分地排除气象的或人为的干扰,使资料的信噪比得到提高。当然,由于耗资太大,监测仪器向地下发展也是很有限的,通常只能达到几十米到数百米,只有极少数深水位井达到千米的深度。然而有些干扰因素,例如地下油、气、水及矿山的开采,破碎带附近降雨的影响都有可能达到数百米甚至上千米的深度。第二类排除干扰的办法是数值计算,就是选择适当的数学模型,从观测资料中滤掉干扰因素的影响,提取可能的地下信息。可以说,目前这两方面的措施都是必要的,但都不能完全解决问题。

本课题是专门研究定点形变的热干扰和资料预处理方法。资料预处理是从观测资料中消除干扰,为识别异常预报地震打基础。

温度干扰是定点形变观测中的一种最普遍最主要的干扰因素,它又可分为,一方面是观测环境或仪器本身发生温度变化,从而使观测结果产生变异。最近罗煜的研究结果表明,那怕是在保温条件十分良好的洞室内,在千分级上的微量温度变化也能改变地倾斜记录曲线的正常形态¹⁾,另一方面,由于温度的变化造成地壳介质的弹性变形。关于地形变温度干扰的数据处理方法通常有三种:物理计算、相关分析、周期分析。下面分别就这几个方面进行研究。

一、物理计算

1. 理论公式

我们在文献[2]中专门研究了地壳热形变的理论问题,给出了热弹形变的计算公式:

* 新疆维吾尔自治区地震局吴秀莲同志参加了部分工作。

1) 罗煜等,洞室温度微量变化对倾斜记录的影响,形变台站通讯,1988,1。

水平热弹应变公式为

$$\varepsilon_x = (1 + \mu) \frac{\beta^2}{1 + \beta^2} \alpha A_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2K}} H} \cos\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2K}} H - \eta_0\right). \quad (1)$$

垂直热形变公式为:

$$V = (1 + \mu) \frac{1}{1 + \beta^2} \alpha A_0 \sqrt{\frac{KT}{2\pi}} e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2K}} H} \sin\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2K}} H - \eta_0 + \frac{\pi}{4}\right). \quad (2)$$

热倾斜公式为

$$\Omega = -(1 + \mu) \frac{\beta}{1 + \beta^2} \alpha A_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2K}} H} \cos\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2K}} H - \eta_0\right). \quad (3)$$

由(1)一(3)式知, 要对某个台站的热形变进行实际计算, 必须首先弄清楚该台站的许多物理参数, 例如泊松比 μ 、膨胀系数 α 、热扩散系数 K 、大气温度年变化幅度 A_0 、地形坡度 β 及覆盖厚度 H 。而目前, 除了 A_0 和 H 有实测数据以外, 其余的参数全部没有, 因此真正的物理计算还有很多困难。

2. 部分计算结果

下面我们对部分台站热倾斜的年幅度进行了计算(表1), 其中泊松比 μ 、膨胀系数 α 、热扩散系数 K 都是取岩石的平均值, 而地形坡度 β 是从地形图上估计的, 显然, 这些都不可能准确, 不能真正代表这些台站的热倾斜量级, 对其只能作为一个算例而作参考。

表1 部分台站热倾斜年变幅

项 目 \ 台 站	盘 石	延 边	西 安	张 家 口
大气年温差($^{\circ}\text{C}$)	60	65	52.6	65
覆盖厚度(m)	45	26	20	24
地面倾角 Q_N	10.3°	37.4°	0°	18.4°
地面倾角 Q_E	26.5°	20.0°	45°	19.3°
Ω_N	0.00005"	0.00168"	0.00000"	0.03178"
Ω_E	0.00011"	0.01953"	0.13134"	0.03303"

3. 问题和困难

(1) 理论计算的幅度通常比实际观测值的年变幅要小得多, 相位也差别较大。其原因主要是洞室温度的变化对仪器的影响占有十分重要的地位。洞室温度变化的主要渠道不是岩石介质的热传导, 可能主要是由洞室通道人的活动及空气本身的缓慢流动造成的。根据罗煜等人的最近试验, 微量温度变化能使记录曲线产生平均 $0.37''/^{\circ}\text{C}$ 的变异。目前我国大部分洞室年温差在 0.1°C — 3°C 不等, 足以使观测值产生 0.037 — $1.1(')$ 的年变化。这个量级往往大于介质的热弹形变量。

(2) 热弹形变和温度对仪器系统的影响均表现为年周期的, 二者叠加在一起仍是年周期变化, 必须统一考虑, 作一次性处理。