

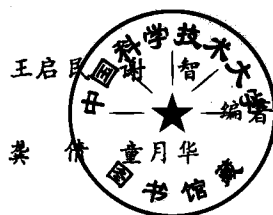
# 高精度应变测量技术 及其震兆关系研究

王启民 谢智  
龚倩 童月华  
编著

海洋出版社

# 高精度应变测量技术 及其 震兆关系研究

---



海洋出版社

1989年·北京

## 内容提要

本书着重介绍了在地球科学近期研究中,特别是地震灾害监测探索中,国内外飞速发展的高精度钻孔应力应变仪的研制情况及其所获得宝贵资料的初步分析。书中所列我国四类五种及国外两种高精度应变仪在地壳表层应力应变场的相对测量中,灵敏度、精确度、日稳度均已达到 $10^{-8}$ 以上,位移鉴别率已达到分子直径 $\lambda$ 的量级。所测资料的规律性及特定性具有理论上和实践上的重要价值。

本书可供地球物理学、地质学、地震学及从事高精度测量等类专业科学研究人员参考,也可做为院校有关专业师生学习的参考资料。

# 高精度应变测量技术及其震兆关系研究

王启民 谢 智 编著  
龚 倩 童月华

特约编辑 卢振恒

责任编辑 王加林

海洋出版社出版发行

北京印刷三厂联营厂印刷

850×1168毫米1/32 印张:  $7\frac{5}{8}$  字数: 185千字

1989年7月第一版 1989年7月第一次印刷

印数: 1—1200

ISBN 7-5027-0504-X/p•63

定价 5.00元

## 前 言

---

地壳应力场的测量随着现代科学的发展已日趋完善。精确测定地壳表层的应力应变数值，进而研究地球及其壳层应力应变场性质，不仅是地质学、地球物理学所涉及的大陆漂移、海底扩张、板块构造等一系列基本理论论证的有力判据，也是当前地震预报、矿产开采、工程设计部门至关重要的参数。

本世纪六十年代以来，世界范围内的强烈地震频繁发生，给当代人类社会的生命财产造成了惨重的危害。为此，我国率先在世界上大规模地开展地震预报——人类历史上空前的课题研究，各种预报技术和方法应运而生。在地壳应力场测量用于地震预报研究中采用了许多中、高精度的测量技术。在极为难得的地震活动高潮期中，捕捉到许许多多地震前后地壳应变场的信息。这些信息毫不夸张地说是在特定的地震活动期内，在特定观测环境中的“机遇事件”，几乎是用惨痛的代价换取来的重要“史料”。系统地总结评价这些观测技术，发掘、整理并深入研究这些“昙花一现”的资料，不仅具有现时价值，甚至有可能为后人研究地震预报留下具有时代特点的经验和教训。

全书共分四篇十二章四十节。第一篇是测量技术篇，篇内概略介绍了国内外地壳表层应力应变场

相对测量技术发展的历史及我国目前在此领域处于世界领先水平的研究过程。着重给出了处于国际领先地位的四类五种应变仪的设计原理\*、仪器特点、安装工艺及台站观测。第二篇为测量资料篇，本篇列举了近二十年来国内外采用中、高精度钻孔应变仪所取得的各类地壳应力应变场的资料，重点分析了地球各种周期的应变场的变化，地震前后及震时的震兆反映及其地震预报实用化过程中力求追索的异常判定标准。现代信息处理篇，侧重于当前应力应变分析研究中通常采用的数学物理方程，误差分析，潮汐计算及各种周期的滤波器的设计。最后一篇为本书的总结，概要地、客观地对本学科当前存在的科学难题，未来的前景及发展方向尽可能给出准确的评估。总之，本书力求概括近二十年来国内外地壳表层应力应变相对测量的中、高精度测量技术的发展状况，对其在地震预报中的作用进行详实地记录，对所获得的资料进行深入的分析，对该学科当前所存在的问题及其广阔前景给予客观的评价。

本书是在全国地震系统许多科技人员及台站观测人员辛勤工作基础上完成的，也是我国著名科学家李四光教授生前的预言及所盼望见到的成果。在编写过程中得到了我国地震学家梅世蓉研究员的鼓励和支持。

河南省地震局高云志、郭士琪、刘联章、缪凤舞、胡卫建等同志对本书的出版给予了支持和帮助。

---

\* 本书初稿时，我国又一种高精度应变仪，AHY-832压阻应变仪于1988年6月通过鉴定。

在此一并向他们，向关心本书问世的所有同志表示诚挚的谢意。

由於编者水平所限，恳请国内外学者、读者批评指正。

编 者

1988年6月

## INTRODUCTION

---

With the development of modern science, the measurements of crustal stress field are becoming perfecter and perfecter. The precise detection of stress and strain values at the superficial layer of the crust and research on stress and strain field can offer important data not only for a lot of fundamental problems in geology and geophysics such as continental drift, sea floor spreading, plate tectonics etc, but also for earthquake predicting, mining, engineering designing and so on.

Since sixties of this century, many strong earthquakes have occurred all over the world and caused great losses to the mankind. Thus our country began to study earthquake prediction. The scale of our work is quite large in the world, and the subject is totally a new one to the mankind. Various techniques and methods have been invented. Now, there are a lot of observational techniques with high precision to measure stress field for earthquake prediction. A great amount of information of crustal strain field before and after earthquakes has been caught in this rarely seismic acti-

ve period. It is not exaggerated to say that the information is obtained "by chance" under some specific conditions and is very valuable "historical data" for which we have paid a great amount of blood, money and labour. It is of great significance not only at present, but also in the future for the research of next generations to summarize and evaluate these measuring techniques systemically, to collect the observational data and to make a deep-going study on those.

The book can be divided into 4 parts, 12 chapters and 40 sections. Part One is about measuring techniques. It gives an introduction on the history of the development of relative stress and strain measurements at the superficial layer both at home and abroad, and on some studies of our country in this field which are advanced in the world, especially the principles, instruments, installations and observations of four kinds of strain meters. Part Two gives the obtained data. In this part we have showed various kinds of stress and strain data obtained by using bore-hole strain meters both at home and abroad in recent 20 years, and have analysed the variations of strain field with different periods, strain variations before, during and after earthquakes as well as earthquake forerunner criterion. In the data processing part, we focus on the methods which are frequently used in stress and strain analyses such as solutions for equations



of mathematical physics, error analyses, earth tide calculations and designs of filters with different periods. The last part is a summary of this book. It gives a brief description of existing problems, prospect and developing direction of this subject. In a word, in this book we wish to give a brief introduction on relative stress and strain measurements both at home and abroad in recent 20 years and on the role of these measurements to earthquake prediction, to make a deep-going analysis to the obtained data, and to describe the existing problems and the prospect of this subject objectively.

The book is based on a great amount of work from a great number of scientists as well as seismostation observers all over our country. It is what prof. Li Siguang, a very famous scientist in China, was looking forward to seeing in his life. Research prof. Mei Shirong also gave us encouragement and support to write this book.

Gao Yunzhi, Guo Shiqi, Liu Lian zhang, Miao Fengwu et al. supported the publication of the book.

The authors are grateful to all of them and all the comrades who are interested in this book.

Considering the limitation of our knowledge, we sincerely hope to obtain criticisms and suggestions to the book from scholars and readers both at home and abroad.

# 目 录

---

## 第一篇 测量技术

### 第一章 地壳表层应力应变相对测量技术的发展

- 第一节 地震防灾的需要是高精度应变测量技术发展的动力 ( 3 )
- 第二节 低、中精度相对应力应变测量技术的发展 ..... ( 4 )
- 第三节 高精度相对应力应变测量技术的发展 ..... ( 7 )

### 第二章 国内高精度钻孔应变测量技术研究

- 第一节 弦频式钻孔应变仪..... ( 9 )
- 第二节 TJ型体积式钻孔应变仪 ..... ( 33 )
- 第三节 两种电容式应变仪..... ( 41 )
- 第四节 AHY—832压阻式应变仪..... ( 57 )

### 第三章 几种国外高精度钻孔应变仪

- 第一节 Sackc-Evertson体积应变仪 ..... ( 63 )
- 第二节 三分量体积式钻孔应变仪 ..... ( 71 )
- 第三节 美国、苏联的钢弦应力计..... ( 73 )

### 第四章 台站技术

- 第一节 布台原则..... ( 76 )
- 第二节 钻井技术..... ( 77 )
- 第三节 安装技术..... ( 79 )
- 第四节 辅助观测..... ( 80 )
- 第五节 信息采集..... ( 81 )

## 第二篇 测量效果

### 第五章 地球表层规律性应变场变化

- 第一节 年周期变化..... ( 84 )
- 第二节 日周期变化..... ( 85 )
- 第三节 日应变潮汐变化..... ( 86 )

### 第六章 震兆关系

- 第一节 地震前兆现象描述..... ( 88 )
- 第二节 同源异象反映..... ( 124 )

### 第七章 国外观测资料

- 第一节 干扰因素试验..... ( 138 )
- 第二节 慢地震及应变阶..... ( 148 )
- 第三节 震兆关系..... ( 155 )

### 第八章 异常判别原则

- 第一节 应变异常分类..... ( 164 )
- 第二节 应变异常判别原则..... ( 168 )
- 第三节 干扰排除及无震异常的识别..... ( 171 )

## 第三篇 现代信息处理

### 第九章 数据处理的基本知识

- 第一节 数据观测及其随机性..... ( 181 )
- 第二节 有关的误差理论知识..... ( 182 )
- 第三节 回归分析方法..... ( 189 )

### 第十章 应变固体潮汐的计算

- 第一节 固体潮汐..... ( 196 )
- 第二节 体应变固体潮汐..... ( 197 )

### 第十一章 各种数字滤波的设计

- 第一节 数字滤波的概念..... ( 201 )
- 第二节 低通滤波..... ( 203 )
- 第三节 高通滤波..... ( 205 )

第四节	带通滤波 .....	( 207 )
第五节	契比雪夫多项式 .....	( 208 )
第六节	有关数字滤波计算机程序 .....	( 209 )

## 第四篇 科学评价

### 第十二章 国内外高精度钻孔应变测量在地学研究中的地位

第一节	独特的技术及工艺 .....	( 220 )
第二节	国内外实现高精度钻孔测量的关键问题 .....	( 222 )
第三节	独特的优势及独特的应用 .....	( 225 )

### 参考文献

# CONTENTS

---

## Part One, Measuring Techniques

Chapter 1	Development of the techniques of relative stress and strain measurements in crustal superficial layer	
§ 1-1	Earthquake disaster prevention is the dynamics promoting the development of high-precision strain measurement .....	( 3 )
§ 1-2	Development of relative stress and strain measurements with low and middle precisions .....	( 4 )
§ 1-3	Development of high-precision relative measurements.....	( 7 )
Chapter 2	Research on high-precision borehole strain measurements in our country	
§ 2-1	String-Frequency Borehole Strain Meter .....	( 9 )
§ 2-2	TJ Buk Borehole Strain Meter.....	( 33 )
§ 2-3	Two kinds of capacitive strain meters.....	( 41 )
§ 2-4	Research on AHY-832 Electric Resistance Strain Meter.....	( 57 )
Chapter 3	Several kinds of high-precision borehole strain meters abroad	
§ 3-1	Sacks-Evittson Bulk Strain Meter .....	( 63 )
§ 3-2	Three-component bulk borehole strain meter .....	( 71 )
§ 3-3	String stressometers in America and Soviet Union.....	( 73 )

## Chapter 4 Techniques at observatories

§ 4-1 Principles for observatory arrangement .....	( 76 )
§ 4-2 Drilling techniques .....	( 77 )
§ 4-3 Installation techniques .....	( 79 )
§ 4-4 Auxiliary observations .....	( 80 )
§ 4-5 Information collection .....	( 81 )

## Part Two, Results of Measurement

### Chapter 5 Regular variations of the strain field in the superficial layer

§ 5-1 Yearly variation .....	( 84 )
§ 5-2 Daily variation .....	( 85 )
§ 5-3 Daily variation of strain tide .....	( 86 )

### Chapter 6 Relationships between earthquakes and forerunners

§ 6-1 Description of earthquake forerunners .....	( 88 )
§ 6-2 Anomalies from a common source .....	( 124 )

### Chapter 7 Observational data abroad

§ 7-1 Experiment for interference factors .....	( 138 )
§ 7-2 Slow earthquake and strain steps .....	( 148 )
§ 7-3 Relations of earthquakes and forerunners .....	( 155 )

### Chapter 8 Criteria for anomaly identification

§ 8-1 Classification of strain anomalies .....	( 164 )
§ 8-2 Criteria for strain anomaly identification .....	( 168 )
§ 8-3 Identification and elimination of interference- nces .....	( 171 )

## Part Three, Modern Data Processing Techniques

### Chapter 9 Fundamentals for data processing

§ 9-1 Observational data and their randomness .....	( 181 )
§ 9-2 Error theory related .....	( 182 )
§ 9-3 Regression analysis .....	( 189 )

## **Dhapter 10 Calculations of strain tide**

- § 10-1 Earth tide ..... ( 196 )
- § 10-2 Bulk strain tide..... ( 197 )

## **Chapter 11 Designs of various digital filters .**

- § 11-1 Concept of digital filters..... ( 201 )
- § 11-2 Low-pass filters ..... ( 203 )
- § 11-3 High-pass filters ..... ( 205 )
- § 11-4 Band-pass filters ..... ( 207 )
- § 11-5 Chebyshev polynomials..... ( 208 )
- § 11-6 Computer programs of digital filters ..... ( 209 )

## **Part Four; Science Appraisal**

### **Chapter 12 The role in earth sciences played by high-precision borehole strain measure- ment**

- § 12-1 Special technique and craft ..... ( 220 )
- § 12-2 Key problems to achieve high-precision borehole  
measurement both at home and abroad..... ( 222 )
- § 12-3 Special advantage and application ..... ( 225 )

## **Conclusion**

# 第一篇 测量技术

本篇介绍近代地球壳层应力应变相对测量技术。所谓相对测量即是测量地壳表层应力应变状态随时间的变化特征。这些测量几乎都采用钻孔式，其目的是利用钻孔特定的温度稳定环境及地表干扰降低的优越条件以确保测量中的高稳定性。当然，通过改进这些方法的安装工艺，一般亦可适应地表及洞穴观测。在绝对应力观测中都可使用相对测量中的仪器，只是方式不同罢了。

五十年代末期，瑞典岩石应力测量实验室(RSM)的N. Hast在北欧斯堪的那维亚半岛的应力测量表明，地表以下压应力随深度增大而增加，水平向应力大于垂直向应力；只是在各地所存在着不同的深度临界值以下，垂直应力才逐渐超过水平应力。这一发现，无疑打破了当时地学界多年的传统观念。我国卓越科学家李四光教授通过对地质力学的研究早年亦持这种已被证实的观点。

地壳应力应变测量在原理上有直接测量和间接测量之分。当前国内外采用液压致裂法直接测量应力值。间接测量係通过测量客体的变形特性及其各种物性参数如波速、电阻率、电磁发射等参数值，借用数学公式推算应力应变值。本书的所有方法均系间接测量法。

本书所谓低精度、中精度、高精度测量的界限在于，能够测取到地球固体潮汐变化形态，并能用于分析研究中去称其为高精度测量系统。经计算，这类仪器的应变灵敏度、精确度应在 $10^{-8}$ 以上，应力灵敏度应在 $10^{-2}$ 千克/厘米<sup>2</sup>以上。其稳定度也应



具有相应的漂移量级，即日漂移小于 $10^{-9}$ /日，年漂移在 $10^{-7}$ /年数量级上。低精度的指标暂定为应变灵敏度在 $10^{-5} \sim 10^{-4}$ 量级上。界于低、高精度二者之间的测量系统称其为中精度测量系统。

近几十年，世界上有二十多个国家和地区先后开展了岩石应力测量工作，测量方法十多类，上百种。具有开创性建树的有瑞典岩石应力测量实验室（RSM）、美国矿务局（USBM）、美国卡纳基研究所（Carnegie）、全苏矿山地质力学与测量研究所（ВНИИМ）、南非科学与工业研究学会（CSIR）、葡萄牙建筑工程研究所（LNEC）、日本气象厅及某些大学。

在国内，国家地震局下属各研究所，有关省地震局，地质科学院地质力学研究所，冶金、水利等部门广泛开展了不同类型的应力应变测量研究。

六十年代初期，在地质力学思想的指导下，李四光教授亲自布署和规划了我国地壳浅层的应力测量工作。在研究规划、工作方法、观测技术、模拟试验等方面取得了奠基性的成果，目前已在地质矿产、能源开发、水利工程及地震科学领域发展了多种形式的相对和绝对应力测量。在测量技术上已形成配套的完整的技术系列，在地震预报及地质理论研究中形成了相当水平的理论技术基础和不同精度的测量台网。