

7518
5625083

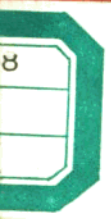
地震监测与预报方法
清理成果汇编

重力、地倾斜、 地应力分册

国家地震局科技监测司



地质出版社



地震监测与预报方法清理成果汇编

重力、地倾斜、地应力分册

国家地震局科技监测司

地震出版社

1989

内 容 提 要

自1966年开始,我国广泛利用重力、地倾斜、地应力方法进行地震的监测和预报工作,本书汇集了三种方法的观测条件、观测仪器、干扰因素排除、观测信息提取、震例及预报效能等方面的清理研究成果。这些清理研究成果初步反映了我国目前地震系统重力、地倾斜、地应力观测及其研究的水平,也为今后提高重力、地倾斜、地应力监测地震能力指明了方向。

地震监测与预报方法清理成果汇编

重力、地倾斜、地应力分册

国家地震局科技监测司

责任编辑:吴 兵 马 丽

地质出版社 出版

北京复兴路63号

北京昌平展望印刷厂印刷

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 21.5印张 550千字

1989年4月第一版 1989年4月第一次印刷

印数0001—1150

(平)ISBN 7-5028-0134-0/P·91

(533) 定价: 9.50元

前 言

大陆是人类的主要活动地区,发生在大陆的地震虽只占全球地震的15%,但大震给人类造成的损失却占全球地震损失的85%。我国是世界大陆区地震分布最广的国家,据1970—1980年的统计,地震造成的伤亡和损失比世界其他各国的总和还多。地震预报研究的紧迫性明显地摆在我国地震工作者面前。

不少事实表明,地震是有前兆的,对某些类型的地震,有可能作出一定程度的预报并减轻灾害。然而实践也告诉人们,地震前兆现象是相当复杂的,目前离准确预报地震三要素尚需走较长的路。当前,地震预报中有几个突出的问题有待解决。首先是如何识别和排除各种干扰。可以说,地震预报水平的提高是随着对于干扰因素认识的深化而不断提高的;其次要设法寻找反映地震前兆的灵敏点和优化观测方法,一些大样品模拟实验表明,同一试件中不同区域的反应可以有很大差别;第三要弄清不同地质构造条件下,不同震级地震的异常的对应范围,这对地点预报至关重要;第四要研究不同类型地震长、中、短、临前兆的判据,这是一项战略性的任务。

为了解决上述问题,国家地震局自1983年起,用了两年多的时间,组织了2200余人,对各种前兆观测方法多年来的工作进行了全面清理,并对华北地区和南北地震带10年强震危险区的判定方法进行了系统研究。

1. 地震监测与预报方法的清理研究

包括各类前兆方法的清理,计有测震、地形变、水位、水化、重力、地电、地磁、地应力和综合分析等9个方面。具体清理内容为:

(1) 观测仪器的评价 仪器参数,所测物理量,各类仪器的对比、稳定性、抗干扰性能,提高观测精度的方法等。

(2) 观测条件的清理 台站水文地质条件、岩性、环境干扰源。最佳观测条件。相应的野外与室内对比试验等。

(3) 观测信息的处理 干扰因素的典型图象与识别方法,频谱分析与卓越周期的研究,各种测量方法的试验等。

(4) 监测与预报能力的评价 现有预报方法的依据与科学思路,震例(包括正例与反例)剖析,预报效能的评价等。

2. 强震危险区的判定与研究

以华北地区和南北地震带为研究区,从清理过去的危险区划分原则与方法入手,结合动态应力场随时间变化的资料,探求10年时间尺度的危险性判定方法,以填补通常的烈度区划与每年地震趋势判断之间的一个空档。这是国民经济建设与预报探索之必须。

以上两项工作是国家地震局近三年来的重点科研项目,其工作程序是:首先分单项进行系统的清理研究,并在此基础上针对各类专题撰写成论文或工作报告;然后分单项进行交流,和评比,并对各单项的总报告进行横向交流与评比;最后,组织有关人员将清理中有价值的成果按统一要求进行编纂,汇集成册陆续出版。

《地震监测与预报方法清理成果汇编》汇集了各种前兆观测方法的清理研究成果，将按不同专业分若干分册出版。这套成果汇编不仅是邢台地震以来地震预报工作的科学总结，而且反映了符合我国国情的地震预报研究的前沿成果。它不仅对当前的工作具有实际意义，而且也今后的科研攻关奠定了一定的科学基础。

希望本书的出版能给我国地震事业带来新的进步，并能为各国学者了解我国地震预报的进展提供方便。

国家地震局科技监测司

1986年9月

本分册说明

根据国家地震局1983年关于开展地震前兆清理攻关研究的统一布署和要求,分别组成了重力、地倾斜、地应力清理攻关小组,组织了从事重力、地倾斜、地应力监测预报研究工作的专业人员400余人,从观测条件、观测仪器、干扰因素的排除、观测信息的提取、震例与预报效能等方面进行了全面、系统的清理研究、并编写了各种专题清理研究报告。1984年下半年先后进行了学术交流,1985年初对取得的成果进行了评定。在此基础上,从中选取了部分研究成果汇编成册。

本册分重力与固体潮、地倾斜、地应力三部分,共收编论文45篇,基本反映上述清理攻关研究的重要成果和多年来利用上述方法进行地震预测预报方面所取得的主要进展。同时,也从不同方面揭示目前存在的许多问题,为今后地震科研攻关奠定了一定的基础。

鉴于地震前兆现象是相当复杂的,地震预报科学仍处在探索阶段,还要走很长的路。诸如如何识别和排除干扰,特别是有的震例总结及其分析研究仍处在初级阶段,有关论文仅作抛砖引玉,供今后深入攻关研究时参考。

组织这项清理攻关工作的人员是:重力与固体潮清理攻关组成员有李瑞浩、贾民育、陈益惠、赵炜、吴雪芳、吴兵、张之立;地倾斜清理攻关组成员有吴翼麟、陈德福、李孟聪、杨军、徐心同、邓素珍;地应力清理攻关组成员有郭志涛、于允生、蒋企、周本诚、张绍治、黄荣璋。负责本册编辑的主要人员是李瑞浩、吴翼麟、李建春、陈德福、刘国培、喻节林、杨修信、张绍治、周本诚、刘昌祥、柴保平。

编 者

1988年5月

目 录

重力与固体潮部分

重力观测方法清理综合研究报告	重力清理攻关领导小组 (3)
石英弹簧重力仪性能的研究	赵 炜等 (20)
重力仪气压系数的测定	朱仲芬等 (37)
评流动重力测量技术和观测精度	游泽霖执笔 (43)
流动重力测量周期的讨论	骆鸣津等 (48)
重力基线的清理	陈益惠 (50)
台站重力资料质量的评价	陈冬生等 (57)
流动重力测量资料质量综合评述	徐菊生执笔 (61)
大震前重力台站观测到的一些异常现象的讨论	吴雪芳等 (65)
几个地震前后的重力变化	贾民育执笔 (73)
重力场时间变化应用于地震预报研究的原理和实践	李瑞浩 (92)

地 倾 斜 部 分

地倾斜观测及预报地震方法清理综合研究报告	吴翼麟执笔 (111)
地倾斜观测仪器的评价	蔡惟鑫 (122)
徐州台地倾斜仪器对比试验报告	韩盛才 (128)
我国四类倾斜仪使用情况的普查与分析	陈德福 (131)
提高地倾斜观测精度的研究	李 平执笔 (136)
增长金属水平摆倾斜仪光杆距的试验和效果	陈德福 (143)
关于倾斜仪格值标定问题的初步研究	李 平等 (145)
地倾斜台站观测洞室与仪器基墩结构的研究	罗荣祥等 (152)
地倾斜观测资料中干扰因素及其排除方法的研究	周景明等 (160)
我国地倾斜台站观测精度的评定	吴翼麟等 (176)
倾斜潮汐因子计算方法的研究	陈光齐等 (186)
唐山地震前华北地倾斜台网监测能力的探讨	李孟聪等 (192)
海城地震的地倾斜异常分析	关兴国 (204)
菏泽5.9级地震地倾斜异常	陈德福 (212)
地倾斜同震阶跃与震兆异常图象	陈德福等 (217)
地倾斜预报地震的几种常用异常判别法的初步评价	罗荣祥 (225)

地 应 力 部 分

压磁法地应力相对测量清理评价总结报告	地应力清理攻关领导小组 (235)
--------------------	---------------------

地应力测量的力学原理概述·····	张 超 (249)
地应力测量仪器的分析与评价·····	黄锡定 (255)
测量灵敏度的井下率定·····	蒋 企 (262)
PYL-1 型频率应力仪的一次观测试验·····	张道仪等 (266)
利用人工力源进行的地应力相对测量实验·····	李健春执笔 (268)
压磁传感器频响实验研究·····	于允生等 (273)
四分向探头测量结果的互检实验·····	韩德润 (276)
探头与井壁接触问题的研究·····	黄福明 (280)
传感元件加工工艺的实验研究·····	张培耀 (285)
传感器井下防水密封技术·····	缪惟祥 (288)
悬空元件测值变化原因的探讨·····	张绍治 (290)
应力与干扰因素对观测系统综合作用的实验·····	王东岩 (297)
干扰因素的分析与排除·····	肖学文执笔 (301)
台站的基本情况调查·····	葛丽明等 (305)
观测结果的精度分析·····	朱思林等 (311)
监测地震的效能·····	康仲远等 (315)
震前地应力变化特征的理论探讨·····	杨修信 (326)

重力与固体潮部分

10. 11. 1941

重力观测方法清理综合研究报告¹⁾

重力清理攻关领导小组

概 述

重力场是地球物理基本场之一。它与两个参量有关,即地球质量分布和测站相对地心的位置。由于地球质量分布不均匀、不恒定以及地球在空间的运动和自身的变形,所以重力场产生空间和时间两种类型的变化。反过来,利用所测得的这些变化,又可以研究地球质量分布和地球的运动及变形规律。所以观测和研究重力场的时空分布一直是地球科学家感兴趣的问题。

很久以前,人们就开始研究重力加速度现象,而比较系统地研究它的空间分布特征,则是本世纪的事。自1957年人造卫星上天后的20多年间,人们在观测和研究其空间变化的领域内已经取得了辉煌的成就,但对其时间分布的研究,直到本世纪50年代以后随着高精度重力测量的发展才逐步开展起来。重力场时间变化是地球动力学的重要组成部分。近年来,这个工作以更加明确的目标向着探索现代地壳运动和地震前兆信息迈进。很多地球科学工作者都在这个时期不约而同地把注意力集中到重力场时间变化与地壳运动和大地震的关系问题上来,并且不断地公布了一些有意义的震例。

重力学的研究重点逐渐从空间分布向时间分布过渡不是偶然的现象,它是重力学理论、仪器研制和整个地球物理和大地测量学深入发展的必然产物。中国的重力测量工作者从1966年邢台地震以后开始并有计划、有组织地展开了探索重力场时间变化与地震预报关系的研究。目前已经形成了一个相当规模的观测研究队伍,并在全国各个主要地震活动区布设了固定重力台站和重力测量网〔见图1(a), (b)〕,在这些地区进行了大量观测试验,积累了很多宝贵的资料。通过10余年的努力,我们已经把重力测量的理论和实践向前推进了一步。在探索地震预报研究中,也发现了一些可喜的苗头,取得了一些有益的经验。但总的来说,这个工作还处于艰苦的探索阶段,前人和外国人都没有现成的经验可供借鉴。在这种情况下,善于及时总结经验,并对10余年来的工作进行一次全面系统的清理就显得十分必要。

重力观测方法清理工作是从1983年7月开始的。根据国家地震局对清理工作的总部署,结合重力测量的具体情况,我们拟定了重力观测方法清理的六大课题:1. 重力台站与流动测量网布局的评价;2. 重力测量干扰因素的排除和各类重力仪质量的评定;3. 流动重力测量技术和观测精度的评定;4. 重力基线的清理和质量评定;5. 台站重力和流动重力测量资料的质量评定与汇编;6. 预报方法的清理与预报思路的评价(包括震例清理)。我们对10多年的重力观测工作和观测资料进行了较彻底的清理,其总目标是试图对过去的工作做一次

¹⁾ 本文由国家地震局地震研究所李瑞洁执笔。

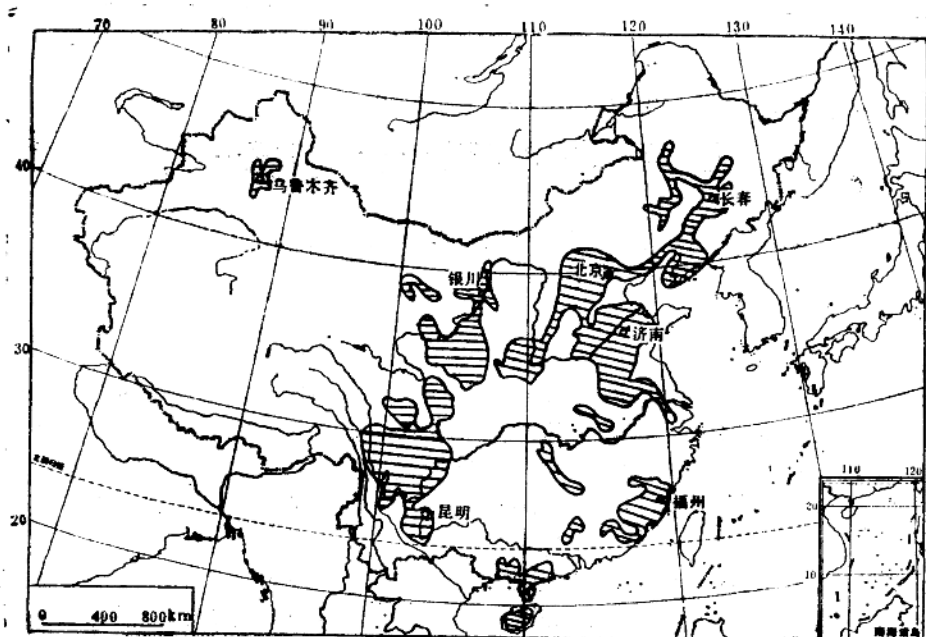


图1 (a) 全国重力测网区域示意图

图中阴影区为重力测量区域

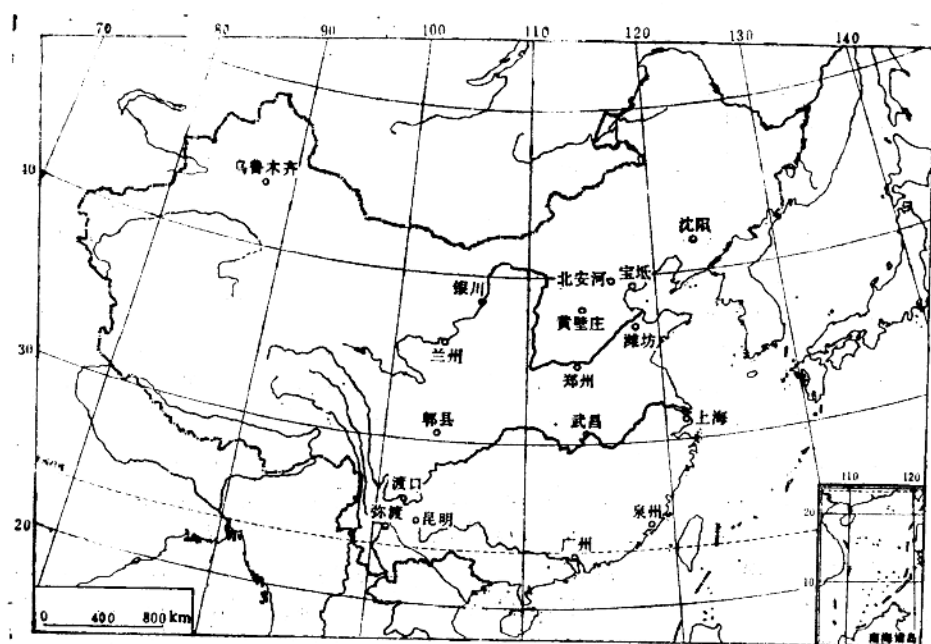


图1 (b) 全国重力台站分布图

全面的解剖,搞清楚一些模糊不清和认识不一致的问题。从地震预报和地球动力学研究要求出发,确定我们工作中各个环节的一些原则。从理论和实践的相结合上回答一些重力测量和固体潮观测在地震预报研究中的迫切而又基本的问题,使今后的工作建立在更加科学的基础上。

全部清理工作于1984年秋结束,一年来六个课题共完成各种试验报告和研究报告50余篇,在此基础上经同行评定出21个成果,它们对于进一步发挥重力测量在地震预报研究中的作用具有一定的意义。

基本成果及其意义

1. 台站和测网的布局

审查和分析我国重力台站和流动测网是否能适应地震预报研究的要求是清理工作的第一步。我们收集了我国重力台站和流动测网附近的地壳结构、布格异常、地震活动和有干扰因素等背景材料(见表1—表5),结合现有流动测网和台站布局,重点对下列几方面进行了综合分析,并得到相应结论。

表 1 全国重力台站的布格异常及地质构造背景

台 站	主 要 构 造 带	台站地基岩性	布格异常 (10^{-6}m/s^2)
乌鲁木齐	博格多弧形构造、北西向扭动构造、东西构造	砂页岩	-210
弥 渡	中甸—下关—南涧断裂、永胜—弥渡断裂	玄武岩	
渡 口	新平—全河断裂、永胜—弥渡断裂	花岗岩麻岩	
昆 明	(缺资料)	石灰岩	
郫 县	龙门山构造带、安县—灌县断裂、龙泉山断裂	砾岩	-220
兰 州	兴隆山高家湾北西向构造、河口、阿干镇北北西向构造	砂岩	-230
银 川	银川地堑、贺兰山山前大断裂	Y_2 混合花岗岩	5
广 州	广从断裂、白泥—沙湾断裂、金牛市断裂、三水—瘦狗岭断裂	紫红色砂砾岩	20
郑 州	(缺资料)	泥灰岩	
黄 壁 庄	西山背斜	灰岩、变质灰岩	
武 昌	(缺资料)	石英砂岩	
北 安 河	东西向阴山、燕山纬向构造、北北东向构造	花岗岩	-30
宝 坻	燕山褶皱带、宝坻凸起、宝坻断裂	砂、粘土层	-5
泉 州	泉州—汕头构造带	花岗岩	4
潍 坊	沂沐断裂、昌潍坳陷	粘土、砂、亚砂土	-20
上 海	(缺资料)	安山岩	
沈 阳	道义西断裂、三台子断裂、东西向逆断层	混合花岗岩	5

(1) 台网基本状况 现有流动测网和台站的布局基本上照顾到了重点监测区,如京、津、唐,南北地震带。滇西和川西等重点地区流动测网和固定台站的覆盖面积和密度都大于其他地区;在监测过程中已获得一些有意义的震例,如唐山地震。这说明现有的布局已经收到了一些研究和监测地震的效果。缺点是现有的流动测网和固定台站在具体的布设上都不够突出“监测确定断层”的布局,在一个地区内往往把测网均匀地布设在一个面上,这势必造成观测周期长,工作量大,效果欠佳的后果。大多数固定重力台站应设置在山区或荒原,但由于电源得不到解决,致使放弃这种最佳方案,而把台站设在电源有保证的城市附近。

表 2

全国重力台站观测室的工作条件

台 站	观测室 类型	墩位规格 (cm) ³	地线及接 地电阻 (Ω)	室温(℃)		气压(mb)		相对湿度		供 电 线 路		
				年温差 (℃)	日温差 (℃)	最大	最小	最大	最小	条数	每月停 次数	每次时数
乌鲁木齐	山洞	150×90×44	0.037	0.3	0.0	929.0	892.5	80	64	2		
弥 渡	山洞	1500×1200×30	未测	1	0.1	839.2	823.0	未测	未测	1	多次	
渡 口	地表	85×85×150	未测	2	0.1	900.8	871.2	未测	80	1	1	10
昆 明	山洞	248×120×45	未测	0.5	0.05	812	795	100		1	1—2	
郫 县	地表	62×62×170	未测	1	0.1	960.0	920.0	82	55	2		
兰 州	地下室	127×127×32	未测	2	0.1	665.3	632.8	85	50	2		
银 川	山洞	基 岩	未测	0.7	0.0	648.0	628.0	86	80	2	1—2	4—5
广 州	半地下室	152×122	1.5	8.2	0.2	1032.5	1000.9	90	69	1	12—16	4
郑 州	半地下室	100×100×50	不详	0.7	0.1	1016.7	975.0	95	44	2	1	5
黄骅庄	半地下室	基 岩	1	2.7	0.1	未测	未测	未测	未测	1		
武 昌	地表	205×105×63	未测	3	0.2—0.3	未测	未测		80	2		
北安河	山洞	158×98	无地线	5	0.5—0.8	1014.6	996.9	90	60	1	2	10—12
宝 坻	半地下室	80×80×200	6	0.1	0.1	1040.0	990.0	90	70	1	2	10
泉 州	半地下室	100×100×30	10	0.5	0.5	1036.0	998.0	80	50	1		
潍 坊	半地下室	150×120	无地线	0.5	0.03	1031.0	989.3	74	56	1		
上 海	山洞	160×130×55	未测	1	0.1	1043.4	991.9	94.7	89.4	2		
沈 阳	半地下室	70×70	未测	1	0.5	未测	未测	85		1	1	4

注: 1mb=10²Pa.

表 3

沿海重力台站的海潮影响

台 名	O ₁ 波		M ₂ 波	
	A(10 ⁻⁶ m/s ²)	α°	A(10 ⁻⁶ m/s ²)	α°
广 州	1.32	-90	1.09	-55
泉 州	1.68	-42	2.52	-101
潍 坊	0.63	-8	1.05	62
上 海	1.23	-10	1.16	-64
沈 阳	0.67	17	0.59	45

注: 表中A为振幅; α°为相位。

(2) 台网密度比例问题 从地震活动性角度来看, 上述重点地区的测点密度仍嫌不足, 特别是滇、川西部更是如此。若把距测点50km范围内当作测点监测区, 滇、川两省的监测网区占全国重力监测网区的32%, 但其5级以上地震的发震区面积却占全国重力监测区内地震总发震区面积的63% (从1970年开始统计, 见表5)。国家地震局有19个下属单位布设有相当规模的重力网, 但其中有5个单位的重力网附近从1970年以来一直未发生过5.0级以上的地震。从实际效果看来, 这些地区的重力测量可以延长复测周期, 把节约下来的力量放到提高观测精度和排除干扰因素等单项试验工作中去。

(3) 台网的服务对象 现有布网从形式到内容都过于单调, 缺乏在顾及地震监测的同时, 针对不同的研究项目, 如研究地下水干扰, 气压、气温干扰, 海潮干扰、地面垂直形变等, 布设一些特种网,

表 4

流动重力测网测点布设情况

序 号	单 位	测环数	剖面数	测点数	测段数
1	新疆维吾尔自治区地震局	1	9	70	64
2	云南省地震局	11	3	149	149
3	国家地震局兰州地震研究所	16		136	151
4	宁夏回族自治区地震局	5	9	89	70
5	四川省地震局	11	3	326	329
6	陕西省地震局	8	9	127	137
7	国家地震局第二测量队	8		137	149
8	辽宁省地震局	9	2	116	121
9	广东省地震局	18	3	199	197
10	河南省地震局	7		30	36
11	国家地震局地球物理勘探大队	5	5	70	73
12	国家地震局地震研究所	10		101	125
13	安徽省地震局	8		37	72
14	河北省地震局	18		74	88
15	国家地震局综合观测队	3	4	68	66
16	福建省地震局	16	2	242	247
17	山东省地震局	7	3	128	127
18	江苏省地震局	10	1	91	108
19	吉林省地震局办公室	2	4	105	106
总 计		174	57	2275	2415

表 5

强震分布与流动重力测网布设统计

联测运输方式	测网面积(10^4km^2)或测点个数		1960—1983年发生过 $M \geq 5$ 地震地区的测网面积或测点数		1970—1983年发生过 $M \geq 5$ 地震地区的测网面积或测点数	
			(10^4km^2)	所占比例	(10^4km^2)	所占比例
汽车运输	川滇两省测网总面积	15.65	10.65	68%	9.8	63%
	其余各省测网面积总和	33.16	14.46	43%	6.35	19%
	全国测网面积总和	48.81	25.05	51%	16.15	33%
火车运输	测 点 数					
	27		11	41%	9	33%

(4) 台网系统问题 现有测网都是各部门布设的,互不联系,没有统一的基准。更为重要的是重力场的非潮汐变化包含了全球和区域变化两部分,为了有效地探索地震预报,要把小范围的区域变化与大面积的全球变化区分开,必须建立一个全国统一网。它一方面作为区域网的联结基础,解决区域网的基准系统;另一方面为区域重力场变化提供大面积背景值。

(5) 重力台网与水准网的结合 我国现有测量网,大部分没有与水准测量网相结合,这是总体规划上的缺陷。没有水准测量就无法了解测站的高程变化,使得在资料分析过程中本来可以简化的问题又变得复杂了。随着测量精度的提高,这个矛盾将越来越突出。

最后,有些重力台站的观测条件,如电源等一直未获得解决,严重妨碍了工作质量的提高。

2. 干扰因素和各类仪器质量评定

重力测量的干扰因素归纳起来有两大类,即场的干扰和仪器的干扰,这里只讨论后者。环境因素对重力仪的干扰,往往达到或超过地震信息的量级,从这个意义上说,研究干扰因素与研究信息有同等重要的意义。

弹簧重力仪的干扰因素主要是温度、振动、气压和磁场等。温度干扰起因于环境温度变化,通过弹性系统的膨胀系数和热弹性系数,影响弹性元件的弹力和构件热应力的变化,从而引起仪器格值的变化和零漂加剧等一系列物理和力学反应。即使在比较好的情况下,重力仪弹性系统的热弹性系数也不小于 10^{-6} ,它将引起 10^{-5}m/s^2 级的误差。为了解决这个问题,仪器设计者们采取了很多所谓“温度补偿”的办法,但终究无法获得完全补偿,常有残余 10^{-7}m/s^2 乃至 10^{-6}m/s^2 的温度效应,这对地震系统的流动重力测量来说是不可忽视的。振动影响的根源主要在于重力仪的敏感元件是一组弹性元件,除了非理想弹性材料固有的疲劳现象以外,还有结构上的不稳定性,致使重力仪零漂对振动的干扰十分敏感。即使很微小的振动都将通过弹性元件的弹性滞后和后效等强化仪器零漂的非线性特征,甚至出现不连续的阶跃零漂,而且不同仪器有不同的振动响应特征。同样的仪器在台站上作固定观测时可以获得 10^{-8}m/s^2 级的精度,而在野外观测时,只能得到 10^{-7}m/s^2 级的精度。这种现象正表明振动对重力仪的观测精度影响很大。据国外有关报道,几赫兹的振动对LcR(Lacoste-Romberg)重力仪最为敏感^[55],振动几秒钟后即引起几微伽的非线性零漂,当然振动幅度的影响可能更为严重。气压影响起因于摆系浮力平衡的破坏,目前使用的重力仪,弹性系统都是水平悬挂的形式,因此摆的旋转轴两端的体积矩平衡是消除气压影响的主要措施(石英弹簧重力仪采用真空装置,而没有体积矩平衡的装置)。此外还采用密封罩。尽管如此,只要有微小的漏气,气压影响仍十分明显。磁场影响是由于磁场强度变化时,金属弹性元件磁化,因此产生了一个附加磁力矩,弹簧位移受到干扰而使重力仪读数失真。

清理工作就是根据重力仪的这些固有特性来进行的。清理过程中,我们对24台石英弹簧重力仪进行了温度试验,对43台仪器作了气压影响测量;对34台仪器作了磁系数测定;选出了一部分仪器作了振动试验。最后对47台仪器(其中有3台LcR重力仪)作了野外综合性能对比试验,从而获得这些重力仪的偶然误差和系统误差(由各种干扰因素引起的)的结果。

(1) 温度影响的研究 主要用阶跃法在恒温控制精度为 0.05°C 和 0.01°C 的恒温箱中进行实验,确定了各台仪器的温度系数和格值温度方程。结果表明石英弹簧重力仪的温度干扰是相当严重的,最大可达 $600 \times 10^{-8}\text{m/s}^2/^\circ\text{C}$,最小也达到 $50 \times 10^{-8}\text{m/s}^2/^\circ\text{C}$,一般都在 $100 \times 10^{-8}\text{m/s}^2/^\circ\text{C}$ 左右,有的仪器温度系数为正,有的为负,非常复杂。野外工作过程中,如不顾及此影响,温度变化引起的几十微伽干扰是很容易出现的。石英弹簧重力仪没有恒温装置,温度干扰问题更需严加注意。

(2) 气压效应 我们用低压舱模拟与3000m高差相应的气压变化对重力仪进行气压试验。变压方式有阶跃式和连续式两种。结果表明,石英弹簧重力仪读数与气压值呈正相关,但各台仪器之间的气压系数很离散,从 $2.456 \times 10^{-8}\text{m/s}^2/133.322\text{Pa}$ 至 $0.046 \times 10^{-8}\text{m/s}^2/133.322\text{Pa}$ 不等。总的情况是国产ZSM-III型重力仪的气压效应最大,CG-2型重力仪的气压效应一般较小,W(Worden)型重力仪居中。这些试验结果用于北京开展的对比观测中得到了较好效果,说明所测结果有一定的实用性。

(3) 磁场影响 我们采用场强分别为 $5 \times (1000/4\pi) \text{ A/m}$ 和 $3 \times (1000/4\pi) \text{ A/m}$ 的亥姆赫兹线圈来测定重力仪的磁系数。受检仪器中最大水平磁系数为 $122.8 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2 / (1000/4\pi) \text{ A/m}$ ，磁场对重力仪读数的影响也不能忽视，而且方向性很明显。仪器读数与场强 H 和方位角之间呈正弦关系，即 $\Delta g = H \sin(\alpha + \varphi)$ 。每台仪器都有一个影响最大的方位 α 和一个初始相位 φ ，当重力仪方向在平行于磁场方向上改变 180° 时，其读数差可达 $57 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。这就告诉我们，为了减少磁场影响，今后的高精度重力测量，必须置仪器于相同磁方位进行读数。为了方便起见，最好置仪器于南北方向观测，并注意使测点尽可能离开强大工业电磁场地区。三种受检验的石英弹簧重力仪中，W型重力仪受磁场影响最为明显。

(4) 振动试验 不同振动频率和振幅将引起重力仪不同的响应特征。低频大幅度的振动强化了重力仪的零漂非线性，这主要是精密弹簧受到强烈的振动冲击引起的瞬时效应。而高频小幅度的振动，则将改变仪器的零点位置，给读数带来一个常数误差。我们这次试验中发现频率大于 40 Hz ，振幅为 $1 - 10 \mu$ 的振动将使石英弹簧重力仪产生 $10 - 20 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的零点位移，即读数指标线产生固定偏移。高频低幅强迫振动改变了摆系的平衡位置。

(5) 仪器性能的综合试验 在单项试验的基础上，我们对受检仪器作了综合性能的野外对比观测。为了使结果更有代表性，比测是在三种不同条件的场地进行的。1) 山区。选在北京高崖口基线场，高差约 700 m ，重力差为 $146 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。在这种地区比测，有利于检验在单项试验中所得的关于气压和温度效应的结论。2) 平原。我们选择路面条件较好，又有足够重力差的京津公路，这里的重力差为 $59 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ，高差只有几米，气压变化很小，甚至可以忽略不计。如果再把温度控制好，则系统误差就大大缩小了，有利于检测仪器的偶然误差和系统误差。3) 等重力测段。我们选择的机场路测段，其重力差只有 $0.2 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ，在这种等重力测段进行观测可以避免格值非线性带来的系统误差，这样就可以突出其他误差了。

综合野外对比试验表明单项试验结果是有效的。因为在综合对比观测中顾及这些影响以后，资料质量有所改善。经过综合对比，我们对各类仪器的性能和所能达到的精度得到比较中肯的结论，即石英弹簧重力仪总体偶然误差为 $15 - 20 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ，系统误差为 $30 - 50 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ；LcR重力仪的总体偶然误差为 $10 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ，系统误差为 $10 - 15 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。也就是说，石英弹簧重力仪的总误差约为LcR重力仪总误差的两倍。而石英弹簧重力仪中，又以CG-2型仪器较优。

综合对比观测过程中，我们还发现各类仪器均存在较严重的格值非线性问题，特别是W型重力仪尤为突出。个别仪器在 $60 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的量程内，非线性影响可导致 $100 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 的系统误差，主要的非线性段都在读数弹簧的两端。系统误差中，仪器因素远远大于测线因素，偶然误差则无这种明显的倾向性。

(6) 几个问题的讨论 气压对石英弹簧重力仪的影响，一直被人们所忽视。因为这种仪器的敏感元件装置在真空中，真空罩又是刚性材料，大气压的变化不会使它变形。但这次试验完全证实了这类仪器确实存在气压影响，经过分析认为，很可能是大气压力变化使石英系统元件的基座——波纹管产生变形而引起的气压效应。因为波纹管是弹性很大的构件，气压变化通过它传递给石英系统，从而引起此类重力仪气压效应。受检验的几乎所有石英弹簧重力仪的读数都与气压变化呈正相关，说明它们的气压效应不是漏气引起的。

另外就是磁场对石英弹簧重力仪的影响，过去也很少有人设想过，这次实验证实了这种