

7720
66 35023

地震监测与预报方法
清理成果汇编

大地形变分册

国家地震局科技监测司

83



地震出版社

地震监测与预报方法清理成果汇编

大 地 形 变 分 册

国家地震局科技监测司

地 震 出 版 社

1 9 9 0

内 容 提 要

利用大地测量方法研究地壳形变和断层运动,进行地震预报,是目前地震研究和监测预报的重要方法之一。本文集是地震预报方法清理研究总结的一部分,系统地介绍了我国大地形变测量方法目前的观测系统状况、监测网点的布设、观测仪器和技术、资料的处理和分析、各种影响因素的识别与排除、震例的剖析及预报能力和方法的评价等方面的实践和理论研究成果。本文集全面地反映了我国近20年来在利用大地形变测量方法探索地震预报方面取得的进展,内容系统、资料丰富,可供从事地震预报的大地测量工作者以及其它人员参考。

地震监测与预报方法清理成果汇编

大地形变分册

国家地震局科技监测司

责任编辑:吴 兵

责任校对:耿 艳

*

地 震 出 版 社 出 版

北京复兴路63号

北京朝阳区小红门印刷厂印刷

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 12.75印张 326 千字

1990年8月第一版 1990年8月第一次印刷

印数 001—700

ISBN 7-5028-0322-X/P·204

(711) 定价: 7.00 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显明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

根据国家地震局关于地震监测与预报方法清理工作的统一布署和要求,1983年11月组成了大地形变测量清理攻关组。在此以前,一项浩大的资料工程《中国大地形变测量成果表》的汇编已全面展开,为大地形变测量的清理研究奠定了可靠的资料基础。1984—1985年,清理攻关组动员了从事大地形变测量工作的专业人员320余人,进行了两年的清理研究工作,编写了各专题的研究报告167篇。1986年初进行了学术交流,并对取得的成果进行了评比。在此基础上,将有关成果汇编成册。

本分册共收编论文23篇。这些文章不仅系统总结了我国近20年来,大地形变测量在频发的大震活动中所取得的丰富经验和理论认识,而且搜集了当代大地形变测量的最新研究成果。本分册涉及的有关内容,不论对提高观测精度,排除干扰因素,还是对数据处理以及近场形变的研究,都有着重要的科学价值,同时对当前提高监测预报水平有着实际指导意义。本分册的出版,无疑将推动我国动态大地测量学的进一步发展,并为地球动力学的研究提供最新、更为准确的依据。

组织这项研究和编辑本书的有关人员是:大地形变测量清理攻关组成员张祖胜、徐树心、周硕愚、虞廷林、黄立人、朱运海、余新白、刘本培、黄崐、赵金瑞;编辑组成员有张祖胜、张能祥、赵万富、肖庆达。此外,在清理研究和本书的汇编过程中始终得到陈鑫连研究员的指导和帮助,编者在此表示感谢。

编 者

1988年12月

目 录

我国大地形变测量工作的清理研究·····	大地形变测量清理攻关小组(1)
磁场对 Zeiss Ni002水准仪的影响·····	董炽等(27)
水准标尺尺长的检定和改正·····	徐开诚等(35)
重力异常对水准观测成果的影响及改正方法·····	黄鹤年等(42)
水准网的加权秩亏网动态平差及程序编制·····	张祖胜等(48)
ME-3000测距仪的边频同测·····	陈景权(55)
ME-3000测距仪的使用·····	余绍熙(60)
论高标扭转对测边网精度的影响·····	张连甲(66)
“最佳观测时刻”试验报告·····	彭树森(73)
边组测距法的原理与实施结果·····	朱运海等(80)
金县台短水准干扰因素的剖析及海城地震前形变异常可靠性的研究·····	卢良玉等(86)
跨断层流动测量排除干扰方法的研究·····	游丽兰等(93)
京津地区断层活动方式与异常识别方法的研究·····	蒋成恩等(101)
动态离散观测值的方差估算(摘要)·····	巩守文(111)
应用短水准、短基线监测断层运动的原理和方法(摘要)·····	张超等(116)
断层地形变测量的系统分析与定量方法·····	周硕愚等(120)
形变台点对大震前兆的显示能力·····	谢觉民(130)
论监测网的参考基准和位移分析·····	陶本藻等(139)
水平形变测量的数据处理方法——分块均匀介质模型的变形分析·····	黄立人(150)
鲜水河断裂带的形变监测与研究·····	刘本培等(160)
1983年菏泽5.9级地震的垂直形变特征(详细摘要)·····	赵金瑞(174)
松平地震预报的回顾·····	杜方(178)
1976年龙陵地震前后垂直形变的演变过程·····	黄 焜等(189)

我国大地形变测量工作的清理研究

大地形变测量清理攻关小组¹⁾

一、前 言

大地形变测量学是一门边缘学科,作为大地测量和地球动力学的一个分支,近几十年来得到了迅速的发展,特别是在地震预测、预报、烈度区划、震源机制研究、地壳构造运动和场地稳定性监测等方面占有重要的位置,是国内外公认的基本手段和有效方法之一。在国际上,特别在日本、美国、苏联等地震研究水平较先进的国家都是十分重视的。

我国开展大地形变测量工作始于1963年。当时为了监测和研究新丰江水库地区的地壳变动,由科学院测量与地球物理研究所在库区周围建立了一个高精度的监测网。1966年邢台地震之后,为了预测、预报地震,在我国一些主要地震活动区内开始了大规模的大地形变测量工作,并组建了一批专业队伍。近20年来,通过努力,做了大量的工作,把大地形变测量的理论和实践向前推进了一步。这些进展主要有:根据需要与可能,在地震活动区内布设了一系列的高精度的大面积垂直形变和水平形变监测网,并积累了一批观测资料;建立了几十个以短水准、短基线为主要手段的大地形变观测台站和几百个流动观测点,初步形成了以监测活动断层运动为主要目的的观测系统;不断改进观测环境和观测技术,提高了观测成果的精度;应用和提出了一些数据处理的新方法,使地壳运动信息的提取、解释更为可靠;积累了一批宝贵的震例资料,并在研究地震孕育、发生过程中地形变特征和利用地形变资料求解震源参数方面取得了有意义的成果。所有这些受到了国内外同行的重视,特别是在某些大地震(例如海城、松潘等地震)的预报中大地形变测量作出了自己的贡献,积累了一些有益的经验。但总的来说,大地形变测量本身还不够成熟,在用其进行大地震的预测、预报方面还处于探索阶段,以往的工作是有成绩的,但也存在不少问题,因此通过全面清理,进行一次系统的回顾和总结是很有必要的。

根据国家地震局(83)震科字第038号文件“关于召开地壳形变测量专业会议的通知”,于1983年10月在成都召开了第一次大地形变测量清理攻关会议。按国家地震局的要求和指示,成立了大地形变测量清理攻关小组,明确了清理攻关的主要项目,它们是:

1. 大面积水准监测网的清理;
2. 大面积水准测量干扰因素的清理和研究;
3. 大面积水准测量资料处理方法和地震预报效果的清理;
4. 水平形变测量现状的清理和监测能力的评价;
5. 水平形变测量仪器的清理;
6. 水平形变测量主要干扰因素的排除和观测方法的改进;

1) 本文由张祖胜执笔,参加者有徐树心、虞廷林、周硕恩、黄立人、朱运海、刘本培、余新白、黄崑、赵金瑞等同志。

7. 水平形变测量数据处理、分析方法的评价和改进;
8. 短水准、短基线监测和预报能力的评价;
9. 形变台(点)干扰因素与异常识别的研究。

到1985年底,清理工作顺利完成,取得了预期的成果。在清理过程中,对近20年来地震系统的大地形变测量工作,从布网到观测,从观测技术的改进到干扰因素的排除,从资料的处理到信息的提取和分析,从震例总结到地震预报效果的评价,进行了全面系统的清理和审查,并对今后的主攻方向作了认真的讨论和研究。通过清理基本上搞清了我国大地形变测量的发展和现状,澄清了一些似是而非的概念和争论不休的问题,通过大量的资料和科学的分析,从理论和实践上回答和提出了一些大地形变测量在地震预报中迫切而又是基本的问题。本文对这一阶段的工作和主要结论作一全面而又概括的介绍。

二、垂直形变监测网的清理

1. 监测网的布局

80年代初国家地震局对垂直形变监测网曾作过规划,拟建20个监测网。到1983年底为止,已建成的有辽宁、京津唐、晋冀蒙和汾河(两者合称晋冀)、苏鲁皖、闽粤、滇东和滇西(两者合称云南)、鲜水河、龙门山、安宁—则木河、关中、西海固、河西、兰天武、宁北、海南等17个网。豫北网是1984年建成并观测的,河套和新疆网尚未正式建成。这些网大部分是在原国家一、二等水准网的基础上改造而成的,水准路线全长约 $7 \times 10^4 \text{ km}$, 总覆盖面积约 $9 \times 10^6 \text{ km}^2$ (图1-1)。

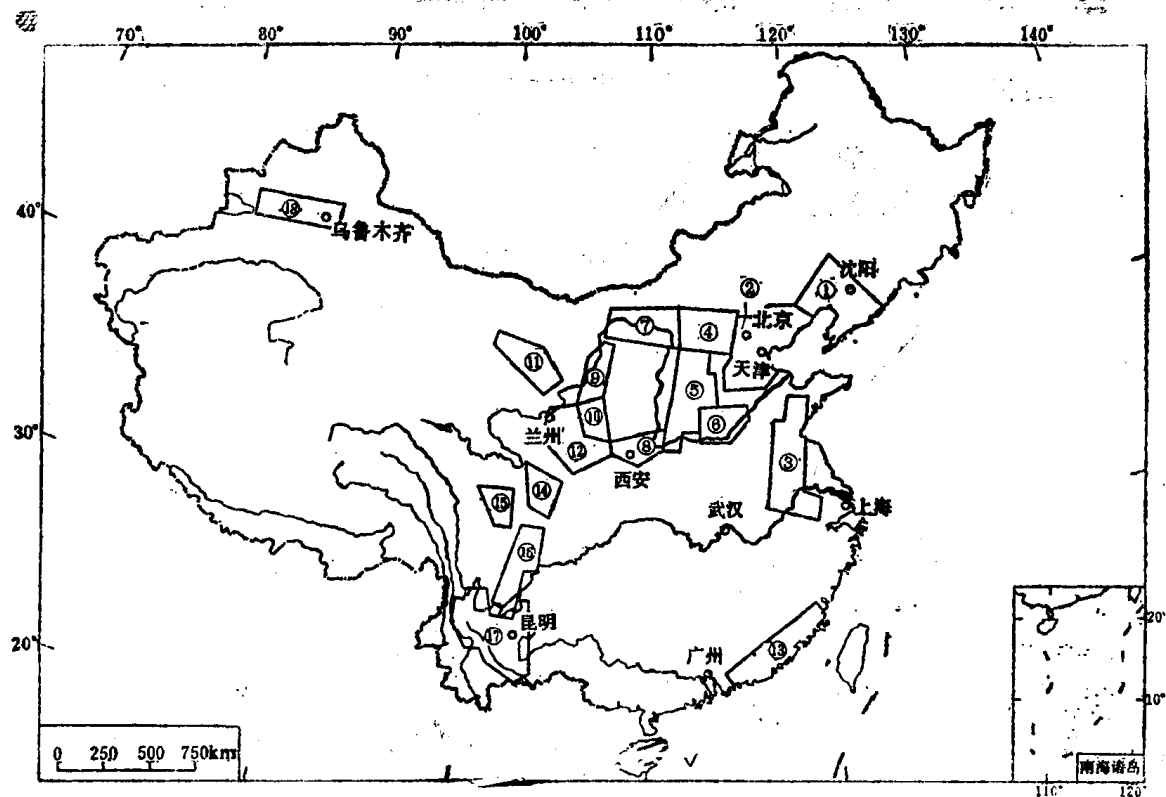


图1-1 区域垂直形变网分布图

	<i>T</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>A</i>		<i>T</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>A</i>
①	3	13	3540	220000	②	12	52	7011	170000
③	2	50	7592	190000	④				
⑤	4	31	8590	170000	⑥				
⑦					⑧	3	25	3093	60000
⑨	4	6	784	26000	⑩	3	15	3466	85000
⑪	4	14	2816	110000	⑫	4	20	4360	100000
⑬	2	32	7513	240000	⑭	4	5	3000	40000
⑮	5	6	2500	13000	⑯	5	7	4000	20000
⑰	2	25	10200	38000	⑱				

各测网参数: *T*: 复测水准最多周期次数, *L*: 总环数, *S*: 测线总长度 (km), *A*: 监测面积 (km²)。

2. 仪器及作业能力

截至1983年底, 全局从事水准测量的外作业人员约500名, 拥有各种型号精密水准仪约110台, 年作业能力达 1.9×10^4 km左右。如按现有水准监测网工作量计算, 大约每3年半可复测一个周期。已复测路线总长度 (不包括局外单位施测部分) 约为 1.6×10^5 km, 观测精度, 每公里偶然中误差为 $\pm 0.3-0.5$ mm, 符合国家一等水准测量的要求, 在国际上也是先进的。具体资料可见表1-1。

表1-1 地震系统水准测量作业能力

单 位	人 员 (人) (组)		仪 器			年作业能力 (km)	已测成果 (km)	精 度	
			Ni002	Ni007	其它			偶然误差 (mm)	全中误差 (mm)
辽宁局	10	2	2	4		800	4200	0.43	1.04
测量大队	120	14	28			6000	60000	0.37	0.80
山东局	10			4		600	5500	0.41	0.32
福建局	35	4	1	4		1200	10000	0.3—0.4	
江苏局	13			3		800			
四川局	35	4	1	7	8	1600	15100	0.39	
广东局									
湖北局	4	1		2	2	200	2200	0.44	
河北局	10			3		350	2461	0.36	
云南局	20		1	4	5	560	10000		1.09
第二测量大队	165	15	14	11	10	7000	50000	0.43	

3. 干扰因素

大面积水准测量的主要干扰因素有三种: 地下水位变化、尺长改正和折光差。

地下水干扰是平原地区普遍存在的问题。目前不仅大城市附近抽用地下水造成的漏斗区日趋扩大, 而且一些中、小城市也开始出现漏斗区。在一些地区, 特别是华北平原区, 大有连接成片的趋势。这种人为的“地壳形变”量值很大, 容易分辨, 但却极难定量排除, 从而掩盖了构造形变的信息。对此有不少人作过专门研究, 但收效不大, 清理中曾试图用有限元方法进行定量计算, 到目前为止尚未取得满意效果。

标尺的尺长改正和温度改正问题, 在山区是影响测量精度的一项重要因素。近年来由于

采用了高精度的双频激光干涉长度检定装置，标尺长度检定精度不够带来的系统误差已被大大削弱，但是使用时的温度和检定时温度不一致所引起的误差并没有得到消除。据这次清理中的研究，最大可给每米尺长带来 $\pm 20\mu\text{m}$ 的误差，这是不能忽视的。另外对尺带拉力变化所引起的尺长变化也应引起重视。

折光误差也是影响水准测量精度，特别是山区测量精度的因素，美国南加州隆起就被一些学者认为是大气折光引起的伪形变。如何进行折光改正，这是一个难度很高的课题，关键在于如何建立简单而实用的近地面温度场的模型。国内外，包括地震系统一些单位已开始着手进行一些试验和理论研究，但离实际应用尚有一段距离。

除上述三项干扰因素外，清理过程中还对磁场对自动安平水准仪的影响和水准测量中重力异常改正问题进行了专门研究。

用实验室方法测定了人工（恒定和交变）磁场对 Ni002 水准仪补偿器的影响。结果表明磁场对仪器是有影响的，但数值不大，地球磁场对水准测量精度的影响一般不超过每公里 0.1mm ，这个数值与美国所得的结果是一致的，说明这种仪器尚可用于精密水准测量。但是，考虑到磁场对每台仪器的影响不同，因此有必要对所有的 Ni002 型仪器逐台进行测定，以保证所使用的仪器符合要求。在这次实验中还发现磁场对补偿摆的影响，不同摆位相差很大，另外磁场的垂直分量对补偿摆也有影响，这样不仅当测量沿南北方向进行时地球磁场对仪器有影响，而且沿东西方向测量时，也有影响。

在高差比较大的山区，重力异常直接影响水准测量成果的精度，导致某些水准环线不能闭合。清理中对试算的两个地区——松潘和西海固地区进行了水准路线的重力连测，并用野外实测重力值及布格异常图内插值两种方法，采用四个方案进行了试算。结果表明，闭合差有明显的改善，表示水准测量的每公里中误差及点位中误差都有大幅度减小。这说明在水准测量中，特别是在山区和高山区，应该顾及重力异常的影响，需要按一定的布点密度测定重力值，并对水准观测结果进行重力异常改正。

4. 监测能力（地面形变的识别能力）

在清理中收集、整理了各监测网有关的基本资料，包括每个网的环数、线数、长度、控制面积、已复测的次数、测区主要地质构造、地面形变或断层位移的速率、地震活动特点、外业作业条件、主要干扰因素等。用经典、拟稳、伪逆等平差方法分别估算了这些监测网的图形强度，统计了观测精度，从而求得了它们监测地表形变的能力。在考虑了下列因素的情况下，对复测周期提出了建议。这些因素是：

- ① 地壳垂直运动的速率及断层的活动性；
- ② 水准测量的精度和该区的主要干扰因素；
- ③ 网的图形强度及均匀性；
- ④ 地震活动的特点，频度和强度；
- ⑤ 野外作业的困难程度；
- ⑥ 该地区在政治、经济等方面的重要性；
- ⑦ 由地形变及其他手段提供的近期危险性。

上述结果的主要部分列于表1-2之中。

表1-2

垂直形变监测网的现状

网 名	构 成		总长 (km)	控制范围 (km ²)	图形强度	已测 次数	主 要 构 造	建议复测 周 期
	环	线						
辽 宁	13	22	3540	22万	7.86	8	郑庐北段、金州、辽中等断裂	5—7年
京津唐	52	120	7011	17万	5.79	12	燕山、太行山、沧东等构造带	8年
晋 冀	31	84	8590	17万	8.59	4	山西盆地、太行山、燕山构造带	5—7年
苏鲁皖	50	127	7592	19万	7.03	2	郑庐断裂	5—10年
闽 粤	32	89	7513	24万	7.96	2	邵武河源断裂、泉州汕头断裂	缩小网区 5—7年
云 南	25	80	10186	38万	11.72	2	三江、红河、小江等断裂	3—5年
鲜水河	6	12	2500	1.3万	9.25	5	鲜水河断裂	5年
龙门山	5	8	3000	4万	8.83	4	龙门山断裂	5—7年
安宁—则木河	7	15	4000	2万	7.75	5	安宁河、则木河断裂	5—7年
关 中	25	62	3093	6万	6.46	3	盆地南北缘断裂	5—7年
西海固	15	39	3466	8.5万	8.20	3	西华山—六盘山	5—7年
河 西	14	43	2816	11万	11.56	4	祁连山、龙药山断裂	5年
兰天武	20	59	4360	10万	10.10	4	西秦岭褶皱带	5—7年
宁 北	6	15	784	2.6万	5.57	4	贺兰山断裂	5—7年
琼 北	4	10	642		4.48	3	海口断裂等	5年

三、水平形变监测网的清理

1. 监测网的布局

截至1983年底，在全国主要地形变监测区内已建立了117个水平形变网，共1302个点，覆盖面积约 $5.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。十几年来共获得精密三角测量成果1860点次，物理测距、基线丈量数据共3500边次，天文测量成果73点次。

水平形变监测网分为大网（与国家网重合的水平控制网，边长7—8 km）、中网（边长3—8 km）和小网（边长小于3 km）三种，其中大网32个，中网30个，小网55个。这些网的分布见图1-2。它们主要集中在京津唐、郑庐断裂带、关中—兰州—天水、河西走廊、龙门山、鲜水河、安宁河—则木河、滇东、滇西以及台湾海峡西岸等地区。

2. 水平形变测量仪器

早期的大地测量中水平测量主要是测角和丈量基线。随着电磁波测距技术的发展，目前已逐步被全面的测边所代替。测角仪器和基线尺的精度比较稳定，而且在以往已有较全面、深入的研究，因此这次清理中仅对电磁波测距仪器进行了清理。

目前地震系统拥有的光电测距仪数量和类型如表1-3所示。表中所列的DI-50、DM-20、AGA-2A、AGA-6、JCY-2、HQ-102等测距仪，分别由于精度低或性能不稳定而停止了使用。目前用于作业的有AGA-8、AGA-600、RM-Ⅲ以及ME-3000型仪器。

各类仪器的工作状态如下：

- 1) AGA-8（1台），工作性能和状态良好，故障主要出在机械传动部分。
- 2) AGA-600（1台），光机结构合理，讯号窜扰小，故障少，工作状态良好。
- 3) RM-Ⅲ（7台），使用方便，但故障多，成果离散性较大，在气象条件不好时，工作困难并难以满足规范的精度要求。

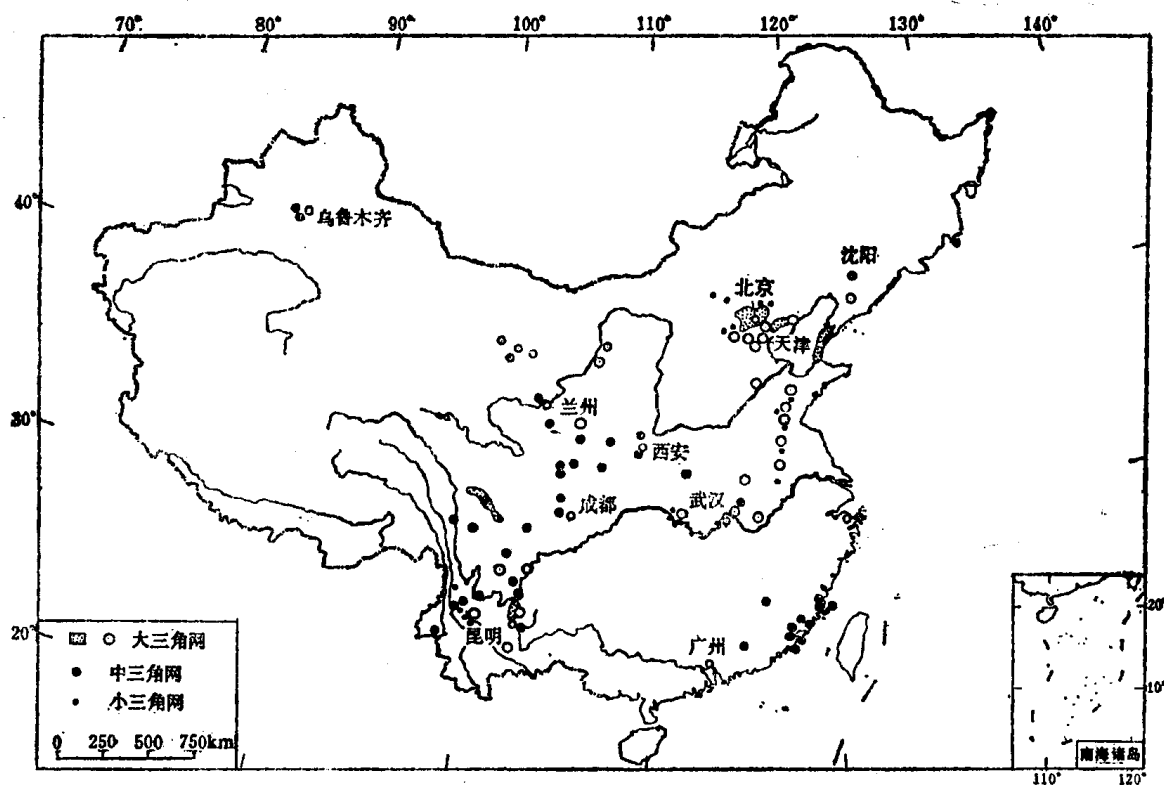


图1-2 水平形变监测网分布图

表1-3

国家地震局现有测距仪一览表

序 号	仪器型号	台 数	制造国	制造年代	标 称 精 度
1	DI-50	1	瑞士	1962	$\pm (20\text{mm} + 10^{-5} - 10^{-6}D)$
2	DM-20	1	英国	1960	$\pm (25\text{mm} + 8 \times 10^{-6}D)$
3	AGA-2A	1	瑞典	1957	$\pm (10\text{mm} + 1 \times 10^{-6}D)$
4	AGA-6	1	瑞典	1964	$\pm (10\text{mm} + 2 \times 10^{-6}D)$
5	AGA-8	1	瑞典	1967	$\pm (5\text{mm} + 1 \times 10^{-6}D)$
6	AGA-600	1	瑞典		$\pm (5\text{mm} + 1 \times 10^{-6}D)$
7	RM-Ⅲ	7	美国	1978	$\pm (5\text{mm} + 1 \times 10^{-6}D)$
8	JCY-2	2	中国	1973	$\pm (10\text{mm} + 1 \times 10^{-6}D)$
9	JCY-2A	1	中国		$\pm (5\text{mm} + 1 \times 10^{-6}D)$
10	JCY-3	1	中国	1980	$\pm (5\text{mm} + 1 \times 10^{-6}D)$
11	ME-3000	10	瑞士	1967	$\pm (0.2\text{mm} + \times 10^{-6}D)$
12	HQ-102		中国	1975	$\pm (10\text{mm} + 1 \times 10^{-6}D)$

注：表中 D 为所测距离。

4) ME-3000 (10台)，普遍认为成果没有达到仪器标称精度，存在明显系统误差。根据分析的结果认为主要症结是校频的问题：没有良好的校频设备，仪器引入后也从未对频率进行过精确校验，仪器的波长非线性曲线也没有重新测定过，以前有些单位用野外基线比

测法求出仪器的加常数和乘常数,精度也未达到规范要求。1985年在武汉基线场组织有关单位进行了一次比测,基本上解决了这些问题,但后来又发现由于仪器不稳定,比测的结果只能使用几个月。因此,要想从根本上解决问题,较好的办法是制造和改进校频设备,使之能在作业时进行边频同测。目前国家地震局已从事这方面的研究,并研制了便携式校频仪,试验结果是令人鼓舞的,大约能将测边实际精度提高至 1×10^{-6} 。

国产测距仪 JCY-2A 的性能比 JCY-2 有较大改善,但由于元件及工艺方面的问题,光机电的故障仍然较多,有待进一步改进。

测距仪器的标定是保证测距精度的重要问题,目前情况如下:

- 1) 频率检定:中、长程测距仪的频率是用国产频率计测定,精度能满足要求,达到 1×10^{-8} ,但易出故障,须经常送计量部门检定,否则易造成系统误差。
- 2) 不少单位未做调制器空间相位的测定,也未做移相机线性的测定。
- 3) 大部分单位没做周期误差的测定,做了的也没有完整的结果。
- 4) 一般仪器都有光学对中器,但基本未用,也未做很好的检校。
- 5) 仪器常数的测定,各单位较重视,由于经常维修仪器,常数测定成果不连续,很难分析仪器常数的稳定性。常数测定误差也大部分没有满足 $\pm 0.35\text{mm}$ 的要求。
- 6) 气象仪表通常送气象部门检定,但部分国产气压表及半导体温度计误差较大,须经常比较。

总之,水平测距仪器目前主要存在的问题是:第一,我国自己尚不能生产高质量的仪器;第二,仪器标定工作跟不上;第三,使用仪器人员的技术水平亟待提高。

3. 水平测量的精度

水平测距的精度可以通过各测回的结果与平均值的差来计算,这是一种“内符合”,按规范的要求应不低于 $1/100$ 万。在这次清理中,通过平差计算估算了测边的精度,这虽然不能反映出测量中的所有误差,如测距仪的系统的比例误差,但是由于它是一种“外符合”精度,因此尚能比较客观地反映出测距的实际精度。对构成图形条件的70个网的245期成果进行了平差计算,按不同类型测距仪统计求得的结果列于表1-4。这些结果基本上反映了地震系统1982年前水平测距所达到的实际精度。由于当时作业尚不够正规,因此精度较差。1982年以后,作业基本上严格按规范进行,质量有明显提高,AGA-8和ME-3000仪器的测边精度分别达到了 $1/76$ 万及接近 $1/100$ 万。这说明,在水平测距中,严格执行作业规范,注意光段和最佳时间段的选择,注意仪器标定和维修,是十分重要的。

三角测量的精度,由34个三角网的123期成果按菲律罗公式统计,得平均测角中误差为 $\pm 0.43''$ 。平差后除个别网外,一般平均边长相对中误差小于 $1/25$ 万,最弱边精度高于 $1/20$ 万。这些网中,以新丰江网精度最高,精度最低的一期最弱边中误差为 $1/37$ 万。平均边长精度为 $1/51$ 万。总的说来,测角网精度不如测边网的精度。

4. 干扰因素的排除和观测方法的改进

目前,水平形变测量主要问题除速度慢、成本高外就是观测精度较低,通常在 10^{-5} — 10^{-6} 之间,这用于测定地震引起的地壳水平运动是可以的,但用于测定震前形变前兆就显得不够了。因此排除干扰因素的工作就集中在尽可能地提高测量本身精度这个方面上。

水平形变测量分为三角测量、三边测量和边角同测三种形式,在清理中对同一测网的野外观测或对已有资料的分析,分别按测角网、测边网、边角同测网进行平差处理和评定精

表1-4

各种仪器的测距精度

序 号	仪 器 类 型	平 均 边 长 (km)	边长中误差 (mm)	相对中误差
1	AGA-8	7.65	11.4	1:67万
2	ME-3000	0.93	1.7	1:55万
3	RM-Ⅰ	3.79	11	1:34万
4	JCY-2	10.43	37	1:28万
5	DI-50, DM-20	10.98	64.7	1:17万

注：应用1982年前资料统计。

度，探讨了水平形变网布设和观测的最佳方案。结果认为边角同测网（边角测定精度相当时）的精度最高，当然相应的工作量和成本也最高，测角网的精度最低，其点位误差为边角同测网的1.6—2.5倍。特别当边长长的时候（大于5 km）更为明显。测边网精度居中，边长大于14 km以上时，由于测角精度低，测边网明显优于测角网。测边网具有观测迅速，工作量较小的优点，缺点是网中多余观测少，这对于校核观测成果，评定观测精度是不利的。因此，可以认为，对于小型短边监测网来说，边角同测网（使用精度为 $\pm 0.2\text{mm} + 1 \times 10^{-6}D$ 的测距仪及J07或J1型经纬仪）是最优观测方案，其次是测边网，对于中网和大网来说，最好是边角同测网，考虑到作业的难易及成本的高低，采用目前的测边网，或在测角网的基础上增测间隔边，使之成为边角混测网也是可行的。

测量精度的提高除依赖于测距仪的不断创新和改进，还涉及到观测方法和操作程序。当前国内测距，只测定测线两端点的气象元素，取其均值来代表整个测线的状况，对所测距离进行气象改正，这样就产生了所谓气象代表性误差，这是当前测距中最主要的误差来源之一。在不利的条件下，这项误差影响可达 $\pm 2 \times 10^{-6}$ 以上。因此如何削弱气象代表性误差就成了一项重要的排干扰因素的工作。

根据理论分析，气象代表性误差影响中，最主要的是气温代表性误差。在研究地面气温周日变化规律的基础上，提出了在近地面气温垂直梯度的反转时刻进行观测，可能是提高测距精度的有效途径。这次清理过程中，在西北、北京等地区进行了最佳观测时段与天气、地区地形、测线高度的关系的试验工作。主要结论是：1）最佳观测时段，在日出后、日落前的一段时间，具体时间随地区、地形、天气因素而定，下午的观测时段要长于上午；2）近地面气温梯度的垂直分布一般具有这样的规律，地面至1.5—2.0 m之间温度梯度值及变化量较大，4 m以上就小多了。因此，提高观测视线和测温点的高度，可使气温测定值具有较好的代表性，从而有利于测距精度的提高；3）既在最佳时段观测，又上、下午都观测为好。以上三点是中程测距仪观测试验结果所得的结论。对于ME-3000仪器，1000 m以下的短程距离测量实践表明，气象代表性误差较小，观测时刻可适当放宽一些。

另一条削弱气象代表性误差的途径是改变观测纲要，进行边组测量。清理中在西北和武汉分别进行了试验和分析。结论如下：1）边组观测不依赖单向多光段均值来削弱系统比例误差，而是通过有限时段内的边组相关观测方法，把组内系统误差作为待定比例未知数，在平差结果中削弱系统误差的影响。观测纲要应遵循对称、对向和多光段观测等测量中的普遍

原则,这样,观测精度(对中网来说)较单边、单向观测大约提高2倍,纵横向中误差均可小于 10^{-6} ,达到并略高于测距仪器的先验精度。2)同一方向或地形剖面大致相似的两边的比率变化,要比其它情况下的边对比率相对稳定。这反映了气象代表性误差与测向条件有关,同时也说明比率的稳定度。在同一时间段内,一定范围内,不同测向气象代表性误差的一致性是可以指望的。总之,边组测量作为一种观测方法,应用在测距网中具有优越性,对提高测距网精度是有效的。

最佳观测时段法和边组观测法都能提高测距精度,而且两者都不需要增添特殊的装备和仪器,缺点是前者时间利用率受到限制,后者则增加了一些工作量。目前来说两者都是可行的,但总的说来都还不能大大提高测距精度,要想真正解决问题,还应另辟途径。

影响观测精度的另一个因素是观测标志和观测墩的稳定性。这一点以往没有受到应有的重视。这次清理中,专门组织了试验和研究。结果表明,钢质高标在一定气象条件下所产生的偏扭有可能使中程测距精度从 $\pm(5\text{mm}+1\times 10^{-6}D)$ 降低到 $\pm(40\text{mm}+1\times 10^{-6}D)$,甚至更低。导致高标扭转的主要原因是日照,标架的阴面和阳面产生的温差可高达 $4-6^{\circ}\text{C}$ 。风可能直接引起标架偏转,但又能调整温差,减少标架偏转。一般说来,微风的天气是有利测量的,标体高度与基板中心的位移量大致成正比关系。基板中心点位移呈周日变化,曲线大都为8字形,图形和走向随季节变化,水平位移量一般小于 30mm ,标体倾斜一般小于 $180''$ 。

为削弱标架扭转误差,可将标体涂白漆,增强标体反光性能,减弱热辐射的作用,此外,尽可能地使投影时间和测距时间统一起来。在武汉的试验表明,采用特殊防护的墩标的稳定性要好得多。因此缩短距离,降低标高,尽可能地建墩标有利提高精度。另一条途径就是研制高精度激光铅直仪,以求快速跟踪对中,用实测数据直接改正观测成果。目前我国研制成功的JGD-1型光学对点仪,对中精度已能满足要求。

5. 监测能力

鉴于水平形变测量成本高、费时多、精度低,网覆盖面积小而且分布不均匀,因此目前我国水平形变监测范围是有限的,各主要震区的监测能力差别也较大。

在现有的117个网中,有7个网是大震后对国家网的复测,5个是京津唐地区大区域构造形变监测网。这12个网不属于常年监测网,没有固定的复测周期。其它105个网在这次清理中根据地质条件,图形强度以及测定地壳形变的能力进行了评定,其中“好”和“较好”的有89个,占84.8%，“较差”的有6个,占5.7%，“拟废弃”的有10个,占9.5%。

表1-5给出了几个主要区域水平形变监测能力的评价结果,以及今后施测与改造意见。

四、定点大地形变测量的清理

1. 大地形变台(点)的布局

我国大地形变台(点)始建于1967年,18年来先后布设的测量场地达500多处,其中固定台站50多处,经过不断的实践和调整,逐步形成了以跨断层测量为主的台站和流动测点网。目前在测的台站有43个(其中基本台21个,区域台22个),流动点216处。这些台点的分布见图1-3。这次清理中,由于力量所限,仅对其中36个台和106个流动点进行了清理。

形变台(点)的布设,主要考虑了地震危险区和危险区内的活动断层,同时也取决于各

表1-5

水平形变监测网现状和改造意见

地 区	网数			面积 (km ²)	主要地区和构造	形变速率	建议周期	改造意见
	大	中	小					
京津唐	11	0	26	29762	北京、唐山、怀来、坝 县、大城等地区, 狼山、 康庄、沿河 城、紫 荆 关、南口、高丽营、夏 垫、皇庄等断裂	断裂错动最大量 1.0×10^{-6} 最大应变 $0.5 \times 10^{-6}/a$ 平均应变 $0.2 \times 10^{-6}/a$	大网不定期, 小网半 年至一年	缩小大网规模, 加 强断裂活动的监测 撤消部分作用不大 的监测网
郑庐及团麻	9	5	0	3144	郑庐断裂及团麻断裂	断裂错动最大值 1.6mm/a 平均值0.3mm/a	大网不定 期, 中 网 5年, 小网1年	将单锁改为双锁或 大地四边形
关中、兰州、天水	0	7	0	430	渭河盆地、西秦岭地区		小网0.5—1年	将三角网改为小网 测边
河西	0	4	0	460	河西走廊龙首山断裂	断裂错动平均值 3.6mm/a		
龙门山	0	4	3	161	龙门山断裂	断裂错动7—20mm/a	2个月	
鲜水河	1	1	5	261	鲜水河断裂	断裂错动3—10mm/a	大网10年, 小网2月	
安宁—则木—小江	4	2	1	6529	安宁河、则木河、小江 断裂	安宁、则木西断裂 2—9mm/a 小江断裂5—6mm/a	1 年	测角改为测边
滇西	1	0	6	2626	红河、维西、程海断裂	最大错动1.2mm/a 平均错动0.2mm/a	0.5年 大网 5 年, 小网0.5 — 1 年	在东部增设两个小 网
台湾海峡西岸	0	6	3	610	泉州—汕头断裂 邵武—河源断裂			
其 它	4	3	2	6926	新丰江、葛州坝等库 区一些大地震地区		新丰江2—3年, 个别网0.5年	

地的专业力量。全国85%以上的台(点)分布在东经100°以东, 北纬30°—43°之间。主要分布在下列地区:

- 1) 郑庐断裂带的中段、北段及附近。现有形变台13个, 流动点32处。
- 2) 京津唐及其附近地区。共有9个台站, 30处流动点。
- 3) 山西地震带。现有形变台5个, 流动点13处。
- 4) 南北地震带。有形变台6个, 流动点94处。
- 5) 天山地震带及其附近。共有台站5个, 流动点27处。

除上述区域, 在某些小断裂带上还零星布设少量形变台(点), 实际控制着大小48条断层。

从总体来看, 台点的布设缺乏总体规划。但是, 在逐步形成的实际布局中, 还是注意了突出重点, 集中在几条主要大地震带和政治经济中心。缺点是分布不均匀。现有台点的手段和数量如表1-6所示。经过全面清理的142个台点的场地分类和标石类型如表1-7所示。

实践表明, 跨断层的台点, 信息量和信噪比要比不跨断层的“应变型”台点高得多, 因此测线是否跨越断层, 具有根本的意义。在这次清理中, 把鉴别测线是否跨越断层列为重点清理的一项内容。清理结果表明, 有87%的台点跨越断层。但是实际上有较多的台点测线没有跨过破碎带。这样干扰背景较强, 对监测断层的运动是不利的。

2. 形变台点使用的仪器和观测精度