

内部交流

重复重力测量研究文集

TREATISES ON RESEARCH OF
REPEATED GRAVITY SURVEY

NO. 1

27
-12

1986

国家地震局地震研究所
《流动重力专业技术管理组》编

27
164

目

1. 前言 (2)

综合介绍

2. 我国近几年重力测量进展概况 (孙林松) (3)

论文及科研成果

3. 一九八六年京津文霸、山东菏泽、豫北地区重力场变化的初步分析 (范文 李清林 李天生 栗文山) (11)
4. 一九八六年兰州~天水~武都重力网测量结果及重力场变化的初步分析 (唐九安 关凤银 王力 魏兴盛) (17)
5. 1981年1月24日四川道孚6.9级地震前后的重力变化 (孙林松 黄永石 漆德方) (25)
6. 1983年12月~1984年10月冀鲁豫交界地区的重力场变化 (物探大队预报室) (33)
7. 唐山地区的重力场变化与地震活动 (物探大队预报室) (41)
8. 石英弹簧重力仪格值的温度改正 (物探大队预报室) (48)
9. 均衡重力异常与地震关系概述 (刘栋勋) (53)
10. 重力仪格值变动的改算重力段差方法 (孙林松 赵世君 邹洪生) (55)

趣味小资料

11. 中国重力测量之最 (60)
12. 引力透镜 (61)

国际重力机构介绍

13. 国际重力局对重力测量数据的管理 (62)

消息报道

14. 地震研究所重力仪实验室简介 (85)
15. 国家地震局科技监测司召开了“修订《地震重力重复测量规范》”讨论会 (85)
16. 我国的南极重力考察、研究简介 (86)
17. 中国地球物理协会第三届地球重力场和固体潮、重力和形变仪器学术讨论会会议概况 (86)
18. 我国台湾的重力学研究简介 (87)
19. 断层附近的重力探测及重力变化与地表变形 (87)

前 言

重复重力测量是目前地震科学研究和地震监测预报的主要手段之一。随着人们对地球科学和地震监测预报的深入探索和研究,重复重力测量必将会发挥愈来愈大的作用。

早在一九六六年邢台地震以后,我国就开始了重复重力测量工作。二十年来,经过地震科学工作者的多方探索,在该方法的仪器研制、观测方法、资料处理、震情分析判断等方面取得了丰硕的科研成果,大大地推动了重复重力测量工作的进展。目前,国内外已有更多的单位和科技工作者在重复重力测量领域进行着大量艰苦的观测和研究工作。为促进该项工作的进一步发展,促进重力界同行的学术交流,“文集”第一次和大家见面了。今后,“文集”将作为一个年度刊物陆续编辑刊印。

“文集”在编辑过程中,得到了国家地震局科技监测司的关心,地震界同行们的大力支持。经过游泽霖、孙林松、李清林等同志的多方努力,国家地震局地球物理勘探大队范行同志用 IBM-5550 微机打印稿件,王祖寅等同志清绘和描字,杨玉春、吴春霞等同志帮忙和校对,钱光甫、张相如等同志胶印,“文集”才得以在较短的时间里问世。在此,谨向那些关心过“文集”,为“文集”提供稿件,以及给予热忱帮助的单位和个人致以诚挚的感谢。

由于时间紧、稿件收集困难,加之编者水平和经验有限,“文集”中缺点、错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

一九八七年二月

我国近几年重力测量进展概况

孙林松

地球重力场的测量资料,在经济建设、国防建设和科学研究(主要是地球科学)中的用途正在扩大,有些学科对重力测量资料的精度要求很高。随着现在科学技术的进展,我国重力测量工作,在仪器研制、重力仪性能的实验研究和标定、精密重力测量技术等方面都有较大的进展。本文就近几年我国重力测量在这三个方面的进展作些介绍。

一、现代精密重力仪的设计、研制方面取得了突破性进展,有的接近世界先进水平,有的已达到世界先进水平。

1. 绝对重力仪。

中国计量科学研究院的两个绝对重力仪研制组,分别独立地设计、研制成功两个型号的我国第二代绝对重力仪,其精度指标接近国际同类先进仪器水平。

NIM-II型可移式激光绝对重力仪:采用自由下落多位置法原理,一次下落可获得400个距离和对应的时间数据,用最小二乘法经微机处理后获得每次下落的最佳值。仪器重250公斤。可保持高真空状态运输。一般情况下,两天可完成一个点的重力值测量。1985年6~7月参加在法国塞佛尔国际计量局举行的第二次国际绝对重力仪比对时,在A4点的测量值为 $980926015.4 \pm 13.8 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$,美国绝对重力仪(Z)在A4点的测量值为 $980926013.6 \pm 6.6 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$,非常接近(中、美、苏、法、意五国的七台绝对重力仪的测量值,最大最小相差 $38.7 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$,分为三群,其中:国际计量局佐久间的仪器为一群,美(F)、苏(两台)、意的四台仪器为一群,中国和美(Z)两台仪器为一群)。

NIM-III型超小型可移式绝对重力仪:采用自由下落多位置时间测小数法,一次下落测250点。测程50厘米。采用高真空密封,能保持真空运输。有防震装置。仪器重220公斤,不包括真空系统只有160公斤,两个人就可完成仪器的拆、装、搬运。调好后一个人就能操作取数。从机械传动到数据处理、结果打印全部是电脑自动控制。测量一个点需1~2天。仪器的设计精度是 $10 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。已于1986年7月调试成功。

2. 微伽级重力仪。

我国第一台自己设计的DZW型微伽重力仪,已由国家地震局地震研究所研制成功,主要技术指标达到国际同类先进仪器水平,填补了我国微伽级重力仪研制的空白。DZW型微伽级重力仪达到以下技术指标:

- (1) 分辨率为 $1 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$;直接测程 $2 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$;
- (2) 调和结果,全日波单位权中误差 $\pm 4.2 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$,半日波单位权中误差 $\pm 1.9 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$;
- (3) 日漂移小于 $25 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$;

(4) 环境温度变化影响为 $3.3 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2} / 1^{\circ} \text{C}$;

(5) 仪器水准气泡倾斜灵敏度呈线性变化, 水准气泡 I 为 $20 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2} /$ 角秒, 水准气泡 II 为 $7 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2} /$ 角秒。

仪器的特点有:

(1) 突破现有国际同类仪器的设计思想, 大胆采用垂直悬挂系统, 这种系统有良好的线性, 结构简单, 装、校方便;

(2) 采用自己设计的高精度电子控温系统, 热结构合理, 保温与密封良好, 保证了 0.0001°C 的恒温精度, 使仪器受环境温度与气压变化的影响较小;

(3) 采用自行研制的高精度电容测微传感器, 其分辨率为 0.0001 微米, 在没有采用助动系统的条件下, 保证了仪器高灵敏度。DZV型微伽级重力仪已通过国家地震局组织的技术鉴定。

3. 海洋重力仪。

国家地震局地震研究所与中科院测地所分别独立设计、研制的新型海洋重力仪, 都接近或达到国际同类仪器水平。

国家地震局地震研究所研制的DZY-2型走航式海洋重力仪, 采用高刚度横摆弹性系统结构、精密电容测微、单层恒温等技术, 具有精度高、结构简单、操作方便、可靠性和稳定性好等特点。特别是采用了和力平衡加速度计相同的原理, 极大地提高了仪器的抗干扰加速度能力, 省掉了C-C计算机。适用于远洋重力测量。两台DZY-2型海洋重力仪, 曾于1983年10月和1984年2月在海上试验, 平均精度达 $\pm 2.4 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$, 掉格率分别为 $2.3 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2} /$ 月和 $5.5 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2} /$ 月。这两台仪器又于1984年11月至1985年4月参加南极考察, 在南极海域恶劣海况中试验始终正常, 取得航迹和南大洋海域大约22100海里的海洋重力资料。

中国科学院测量与地球物理研究所研制的CHZ型海洋重力仪, 采用直线性测量原理消除了转动型海洋重力仪所特有的C-C效应, 还采用了零长弹簧悬挂系统、硅油阻尼、高精度测微传感器、数字滤波器及可编程序的数据采集系统等。CHZ型海洋重力仪在实验室内, 安放在正弦运动升降平台的常平架上试验, 其垂直加速度至 $250 \times 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$; 安放在陀螺稳定平台上, 由摇摆台进行实验, 其水平加速度至 $50 \times 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$; 在1000吨级的科学考察船上与具有国际水平的西德KSS-30型海洋重力仪进行比较观测, 以上诸项实验的结果都是令人满意的。

4. 现在, 国家地震局地震研究所和五八一厂、地质矿产部北京地质仪器厂等单位正在分别设计、研制适合野外测量用的大测程、高精度 ($10 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$) 金属弹簧和石英弹簧重力仪。

二. 重力仪性能的实验研究和标定

各型、同型的各台重力仪受环境影响的程度不一样。熟悉每台重力仪的性能和最佳使用方法, 才能发挥其效能, 测量出优质的重力资料。

我国重力测量, 在1984年以前主要使用ZSM型、CG-2型和Worden型石英弹簧重力仪, 约从1984年开始逐步改用Lacoste-Romberg G型金属弹簧重力

仪。为了用这些型号重力仪获得比较理想的观测资料和分析处理过去的观测资料，一些单位对各类重力仪的性能和标定做了不少实验研究。

(一) 石英弹簧重力仪

1. 温度变化的影响和温度变化与格值关系：一些单位在可调温的实验室内，做过温度变化对石英弹簧重力仪的影响和温度变化与格值关系的实验研究。已发表的十余篇文章的内容可归纳为：

(1) 温度变化对重力仪的影响有滞后效应，一部分通过格值随温度变化反映出来；

(2) 绝大多数石英弹簧重力仪的格值均为温度升高格值增大，年变化最大可达 $40 \times 10^{-10} \text{ ms}^{-2}/\text{格}$ ， $60 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ 的段差就可造成 $240 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 左右的重力变化，对于高精度重力测量是不可忽视的误差；

(3) 个别石英弹簧重力仪格值的温度系数接近于零；

(4) 有的石英弹簧重力仪格值温度系数有随时间变小的趋势；

(5) 石英弹簧重力仪格值受温度影响的精度与石英弹簧的热弹性系数、线膨胀系数及测微螺旋的膨胀系数有关；

(6) 用气温与格值线性回归或三角多项式拟合格值温度方程，再用此方程计算与观测时温度相应的格值，可减小气温对格值的影响；有人提出用褶积计算重力仪的温度影响效果会更好些；

(7) 某些石英弹簧重力仪不同读数段的格值，温度系数不同。

由于影响格值变化的主要因素是石英弹簧的热膨胀系数、线膨胀系数及测微螺旋(钢制轴承)的膨胀系数，这些元件都装在仪器的保温瓶内，有滞后效应。因此，保温瓶内的温度(内温)应比外界温度更接近这些元件的温度。有些单位为解决温度影响研制的重力仪恒温装置与微型测内温装置，使用效果都较好。有的还实验研究了外温突变时重力仪灵敏度和零位的影响及减弱这些影响的方法。

2. 气压变化对重力仪的影响：石英弹簧重力仪的弹性系统无气压补偿装置，是将弹性系统密封在低真空罐内(约 15 mmHg)来减小气压与温度变化的影响。地震研究所在专门设计的重力仪气压试验舱、国家地震局综合流动队借用某部队低压舱分别对各类石英弹簧重力仪用多种方法做的气压实验结果是：

(1) 各型石英弹簧重力仪均不同程度地受到气压变化的影响；

(2) 不同方法测得的气压系数不同，选择合适的标定方法是进行气压改正的关键；

(3) 用小压差慢速法求得的系数可能更符合实际；

(4) 不同压差法的结果显示，有必要根据不同的测区，选择不同的气压范围标定系数。地震研究所专门对沃登重力仪的试验还证明，气压变化对该数的影响较大，规律也较明显，主要受气压变化、气压滞后、气压后效的影响。

气压变化对石英弹簧重力仪的影响主要是通过两种原因引起：

(1) 连接测量弹簧和调程弹簧的精密螺杆通过波纹管伸进密封罐与石英

弹簧相连，波纹管受到内外压力差造成的压力使螺杆微量上升（使重力仪读数减小）或下降（使重力仪读数增大）；

(2) 密封真空罐的橡皮变形产生与波纹管相似的效应。地震研究所对螺杆位移引起的重力仪读数变化作过如下估算：直接测量范围为 $100 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ 时，螺杆行程5mm，位移1mm，重力仪读数就会产生 $20 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 的变化。对于精密重力测量，这是不可忽视的量级。

虽然，气压变化对石英弹簧重力仪的影响已有了一定的认识，但是在实际工作中尚不能用室内标定的气压系数对野外观测资料进行有效的改正。

3. 磁场对石英弹簧重力仪的影响：有些单位在野外作重力测量时，发现有的石英弹簧重力仪在同一点位不同方向的读数有变化，有时差达 $40 \sim 50 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。为此，国家地震局综合流动队和地震研究所都在温度和气压稳定的情况下，分别用亥姆兹线圈产生磁场与专门设计的重力仪磁性能实验装置，对大型、多台石英弹簧重力仪进行了磁性能实验。试验项目有：

(1) 固定仪器和磁场方位，观测不同磁场强度时仪器的读数；

(2) 固定仪器方位和磁场强度，观测不同磁场方位时仪器的读数；

(3) 改变仪器固定的方位，在磁场强度不变的情况下，观测不同磁场方位时仪器的读数；

(4) 改变仪器固定的方位，在磁场方位不变的情况下，观测不同磁场强度时仪器的读数；

对观测资料作了常规处理后分析的结论为：

(1) 多数石英弹簧重力仪受磁场的干扰；

(2) Worden型重力仪受磁场干扰比CG-2型和ZSM型严重；每台重力仪受磁场干扰的幅度和极性都不一样；

(3) 仪器与磁场的相对方位不同时，观测结果不一样，仪器方向与磁场方向在 0° 和 180° 时，观测结果差异明显；在 90° 和 270° 时，观测结果差异较小；Worden型仪器的方位影响最大；

(4) 仪器方位不变时，磁场干扰系数不变。

因此，应测定每台重力仪受磁场影响最小的方位。在每一测点要将重力仪严格定向。若测区磁场强度较大，则应考虑对受磁场影响强的仪器进行适当的磁场校正。

4. 地面振动对石英弹簧重力仪的影响：国家地震局综合流动队在振动台上测定了ZSM-III型重力仪的固有周期，发现在50~300赫兹之间出现数个共振频带。对野外地面振动的测试结果亦表明重力测点的振动频率有时会超过50赫兹，这种振动频率将会影响重力观测精度。为了减弱振动的影响，应在运输石英弹簧重力仪途中采用减震措施。现在采用的运输重力仪途中，在底部加海绵垫，或用减震箱等办法都是有效的。

(二)Lacoste-Romberg (简称LCR) 重力仪

LCR重力仪是目前世界上应用最广的重力测量仪器。其主要特点是：稳定性好，直接测程大，体积小，携带方便，测量精度优于其它重力仪。近几年，我国各有关部门都引进了一些，估计全国有30台左右。一些使用单位通

过实测和试验研究,已发表一些关于这类重力仪性能的文章,可以归纳如下:

1. LCR重力仪的总精度:国外一些具有丰富经验的高精度重力测量学者对LCR重力仪总精度的评价是:W.Torge教授认为,在正常条件下G型重力仪可达到的平均精度为, $\Delta g < 10 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ 为 $\pm 10 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$, $\Delta g < 500 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ 为 $\pm 10 \sim 30 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$, $\Delta g < 2000 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ 为 $\pm 30 \sim 100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$; J.C.Harrison教授认为, G型重力仪的流动重力测量精度,估计在 $\pm 20 \sim 25 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 之间;中川一郎教授说,环太平洋重力测量精度在 $\pm 30 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 以内;Lacoste本人说,同意Harrison教授的评价,总精度为 $\pm 30 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。我国近几年用LCR重力仪工作的实践表明, G型重力仪的总精度在 $\pm 20 \sim 35 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 之间。

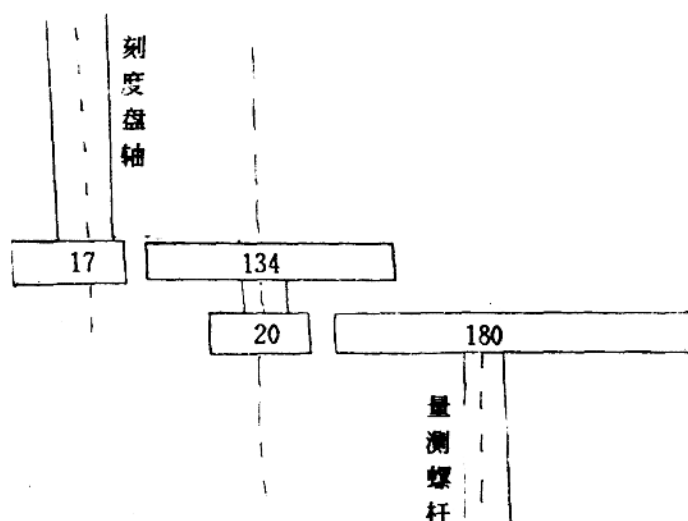
2. LCR重力仪的周期误差。产生的原因可能是:

(1) 测量螺杆减速箱齿轮偏心;

(2) 测量螺杆钢球与杠杆连接部位耦合不好;

(3) 测量螺杆或螺帽质量低。若齿轮偏心,则误差周期有:如果偏心出现在第一个齿轮,则周期为一计数器单位(即 $1 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$);偏心存在于第二个齿轮,则周期为 $134/7 = 7.88$ 计数器单位;偏心存在于第四个齿轮,则周期为 $134/17 \times 180/20 = 70.94$ 计数器单位,其它周期为上述三个周期的倍数。对观测数据进行周期误差改正的问题还未很好解决。地震研究所提出了在仪器中设计一个 $75 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ 的反馈系统,来减弱周期误差的设想。

LCR G型重力仪老式齿轮盒示意图



3. LCR重力仪环境影响试验研究结果

(1) 温度变化对重力仪影响较大,后效现象明显。对温度大的测段,往往会引起系统误差。测量过程中,保持仪器周围的空气循环,使仪器周围的

温度尽可能接近外部气温，以减弱仪器因温度突变产生的后效带来的影响。

(2) 气压变化只引起重力仪读数轻微的变化。

(3) 重力仪读数随磁场强度和方位的变化而变化。测量中，观测方位的不一致会给重力段差带来较大的误差。所以，每次观测都应该按照各仪器的最佳观测方位放置仪器。

(4) 测量中应选择最佳的观测方法，以减弱环境因素的影响。

(三) 重力仪标定

一般指重力仪格值的标定，即求定把重力仪读数转换为C.G.S制导出单位的标准重力值的参数。有野外重力基线法和室内标定仪法。

1. 野外重力基线法：从1979年开始，我国的重力测量较多采用北京高崖口重力基线（亦称“重力仪格值标定场”）当时的最新数据，作为重力基准标定重力仪格值，这样标定的重力仪格值称为“高崖口重力系统”。从高崖口重力基线引建的地区性重力基线及在上面标定的重力仪格值，亦属高崖口重力系统。1979年高崖口重力基线最新重力段差值是选择近20台当时国内较好的重力仪测定，用每台重力仪的出厂面板格值计算结果取平均值求得，所以高崖口重力系统可能存在系统差。

前几年在建立我国“85重力网”（见本文第三部分）的同时，确定和建立了两条跨越我国南北、重力差达 $1700 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ 的国家长重力基线，作为我国国家重力基准。接着于1985年又开始建立与国家重力基准连接、分布在各大区域的九条短重力基线，作为国家级重力仪格值标定场，统一全国各部门的重力系统。建场测量工作已于1986年完成。由于我国“85重力网”同相当数量的国际已知重力点作了联测，进行了平差，我国的重力基准已与国际重力基准一致。这是我国重力测量技术的一项重要进展。

2. 室内标定仪法：由于野外重力基线法标定重力仪格值费时、费力、经济代价高，多年来许多重力测量研究者致力于研制能够在室内标定重力仪格值的设备和方法。近几年，武汉地质学院物探系重力教研室根据倾斜法原理研制成功SZ-1型倾斜平台（亦称“便携式重力仪格值标定仪”）及用此平台标定重力仪格值的方法，用于标定重力仪格值的相对精度可达 2×10^{-4} （或1/5000）。后来，江苏省地震局对标定方法作了些改进，使标定的相对精度与野外重力基线法的标定相对精度相当，即高于 1×10^{-4} 。另外，解放军某部与测绘学院也共同研制了类似的倾斜平台来标定陆地和海洋重力仪格值。近年来通过改进后，精度已可达 2×10^{-4} 。

室内标定重力仪格值，可在不同温度下标定较大读数区间的格值及该区间中的小区间格值，从而可确定重力仪格值标定函数，提高重力仪格值标定精度。

三 国家重力基本网和各种专用重力网的布设和测量。

1. 由国家测绘局牵头，在中科院测地所、国家地震局地球物理所等单位协作下，经过五年的努力，建成了我国新的高精度重力基本网。于1985年通过国家级技术鉴定，并正式命名为“国家重力基本网——1985年系统”

(以区别于我国1957年建立的重力基本网和一等网), 简称“85网”。该网由46个基本重力点、6个基准重力点及5个引点组成。基准点曾用意大利都灵计量科学研究所和我国计量研究所的绝对重力仪进行过几次测量, 估计其绝对精度在 $\pm 20 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 左右。基本重力点是用九台拉柯斯特G型重力仪观测, 并与法国的巴黎, 日本的东京、京都和水泽, 以及香港等23个已知重力点作了国际联测。进行了国内和国际联测的统一平差。平差后, 85网点的重力值平均中误差为 $7.8 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 、最大中误差为 $\pm 13 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$, 段差中误差为 $\pm 13 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。国外点的平差值与已知值差数的均方根差值为 $22 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$, 巴黎塞佛尔A3点的差值为 $15 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 。1985年重力网的成功建立, 标志着我国重力测量技术已进入亚微伽级的新阶段, 为我国次级重力网提供了可靠基准, 也为我国建立非潮汐重力变化监测网打下了基础。

2. 我国为地震预报服务的重力网, 经成几年的调整、改造和完善, 已基本建成。七十年代后期, 各个地震活动较多的地区, 都先后独立地建立了为地震预报服务的重力网。八十年代初, 国家地震局科技监测司根据中长期地震预报提出的危险区, 统筹兼顾调整了为地震预报服务的区域重力网。对重点监视地震活动的地区重力网规定了较短的复测周期, 一般地区的重力网则延长复测周期。1983~1984年又把分散的地区性地震重力网联成一体。地震重力网的测线一般都布设在:

(1) 过去曾发生过破坏性地震, 现在又是中长期地震预报划定的地震危险区;

(2) 强震活动频度高的地震带(如南北地震带);

(3) 有活动断层的地方;

(4) 从社会和经济的意义考虑有重要意义的地区(如京津唐地区)。

地震重力测量使用的仪器, 1985年以前, 多数为中等精度的石英弹簧重力仪, 少数用拉柯斯特G型重力仪; 从1987年开始, 将转变为主要使用拉柯斯特G型重力仪。

地震重力测量的精度, 现行规范规定为段差均值的中误差不得低于 $\pm 20 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$, 从1987年将执行段差均值的中误差不得低于 $\pm 10 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 的规定。

近十年, 我国大陆地区发生的几次中强以上地震, 在有重力网控制的地区几乎都测到了重力变化。例: 1975年2月海城7.3级地震, 距震中较近的盖县~东荒地测段, 震前震后约有 $100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 的变化; 1976年7月唐山7.8级地震, 震前北京~山海关测线有20多期复测资料, 对资料进行复核后判定唐山重力点震前最大变化为 $+98 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$; 1981年2月道孚6.9级地震, 震中附近的两个测段在震前15个月内重力值增大约 $60 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$, 震后也有变化; 1982年4月海源5.7级地震, 离震中最近的两个重力点, 震前出现 $100 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 量级的重力变化, 震后又恢复; 1982年12月马道峪4.9级地震, 震前两个单位用两种不同类型仪器在相近的时间对同一点观测到相同的重力变化($40 \sim 60 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$); 近1~2年发生的中等强度地震, 有的也在震前、震后观测到重力有变化, 资料尚未发表。

3. 资源勘探重力测量。在资源勘探中, 地球物理勘探的重力法, 已有

多年处于不太醒目的位置。近几年来,随着高精度陆地和海洋重力仪的问世,重力勘探法又活跃起来。地矿部、石油部的一些物探队已在多处地方建立了勘探资源的新的精度重力控制网和面积重力勘测网,为国家寻找石油和重金屬矿藏取得了经济效益。地矿部南海指挥部,石油部物探局,国家海洋局南海分局和第一、二海洋研究所,中科院南海研究所等单位,分别在渤海、黄海、东海、台湾海峡、南海、南中国海及西太平洋等海域进行了海洋重力测量,取得了海洋重力资料,为国家寻找近海石油资源和其它海底矿藏取得了经济效益,为研究海底地质、海洋地球物理、海洋开发等取得一定进展。中国南极科学考察船还取得太平洋中沿航线约22100海里的海洋重力资料。有的科研单位为研究大陆裂谷,在特定地区进行了专门的重力测量。

4、微重力测量。是指重力测量精度达几个 $1 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 和在微小重力差(几十至一、二百个 10^{-8} ms^{-2})地区的重力测量。它是随着高精度的拉柯斯特D型重力仪的问世才发展起来的。在小区域资源勘探、寻找微型地质构造和工程勘察的试验和应用中,正在显示其生命力。

我国进行微重力测量试验的项目有:地震部门观测重力随时间的非潮汐变化(几十至二百个 $1 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 量级)研究地震孕育过程;中科院测地所1981年开始的成都~拉萨重力重复测量,精度达 $\pm 10 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$,用以监测青藏高原的隆起;中科院测地所和武汉测绘科技大学在南极布设的极地重力网,用以监测南极地区的地壳运动和研究网区的冰层厚度;地质、石油部门正在试验寻找只有几十至几百 $1 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 的地层闭合圈,用以寻找油、气田和貴重金屬矿;地震部门正准备观测研究断层附近的微小重力变化,以研究断层活动与地震预报等。

另外,微重力测量还可以在工程建设中,用来探测地下洞穴,废矿井,废管道等的实际位置和埋藏深度;地下水位的升降,覆盖着的活动断层的具体位置等,以便采取措施消除各类工程建筑的隐患。

编后的话:因收集的资料有限,及对部分资料未能完全理解,加上编写水平低和时间太仓促,遗编和错误肯定会有。请阅后提出批评和补充、更正意见。谢谢!

参考文献(略)

一九八六年京津文霸、 山东菏泽、豫北地区 重力场变化的初步分析

国家地震局地球物理勘探大队
范 文 李清林 李天生 栗文山

一、前言

我大队开展地震监测预报研究工作，是先研究一个地震事件（指强震，误差可到中强地震）的深部发震条件，然后，在此基础上在具有发震条件的地区观测其动态变化，探索地震预报。就有限地区的发展条件研究而言，有较大的进展，但就短临预报而言，由于技术装备和经费有限，目前尚在典型试验阶段。我们试验预报的特点是在地壳深部探测研究发震条件结果的基础上，布设合理的观测网，观测地球物理场随时间的变化，研究地壳深部构造的动态变化与地震活动的相关性。

利用CG-2型315[#]、316[#]重力仪对京津文霸测网，豫北、菏泽测网进行多次重复测量，以了解测区内重力场随时间的变化，探索重力场随时间的非潮汐变化与深部地壳活动，及其与地震孕育、发震的相关性，为地震的综合预报提高基础资料和试验预报意见。

本文旨在把我大队一九八六年重力重复测量资料作一概要分析和介绍，并在此基础上提出对一九八七年度地震活动形势的一些初步看法，供探讨。

二、资料概况

三个工区共计测点75个，一九八六年共复测258段次。

考虑到石英弹簧重力仪的格值变化，利用我们多年来积累的实测格值及同时测得的车上、地面温度数据，按线性回归方法求出格值~温度系数，分别进行相应温度的格值改正。315[#]、316[#]仪器的格值~温度关系式分别为：

$$\begin{aligned} 315^{\#} \quad C_{\text{温}} &= -0.09936 + 6.6 \times 10^{-6} t_{\text{地}} \\ 316^{\#} \quad C_{\text{温}} &= -0.10320 + 8.1 \times 10^{-6} t_{\text{地}} \end{aligned}$$

其中： $t_{\text{地}} = 1/3 (2\bar{t}_{\text{车}} + \bar{t}_{\text{地}})$ ； $\bar{t}_{\text{车}}$ 、 $\bar{t}_{\text{地}}$ 分别为车温和地温的平均值。

计算各段段差值时均采用该段测量时的 $t_{\text{地}}$ 温度所相应的改正格值。测网（环）平差时采用经外温改正后的段差值。

菏泽测点重力二次导数的换算，使用九点取值公式：

$$g_{xx} = 1/3R^2 [8g(0) - 4\overline{g(R)} - 4\overline{g(\sqrt{2}R)}]$$

式中， $g(0)$ 为中心点的重力值（以菏泽为中心测点）， $\overline{g(R)}$ 和 $\overline{g(\sqrt{2}R)}$ 分别为半径为 R 和 $\sqrt{2}R$ 的一个圆周上的平均重力值。我们取 $R=5$ 公里，以

荷泽测点为起算零点，根据实测段差值推算出 $J_1 \sim J_6$ 的相对点值进行 g_{Δ} 计算。

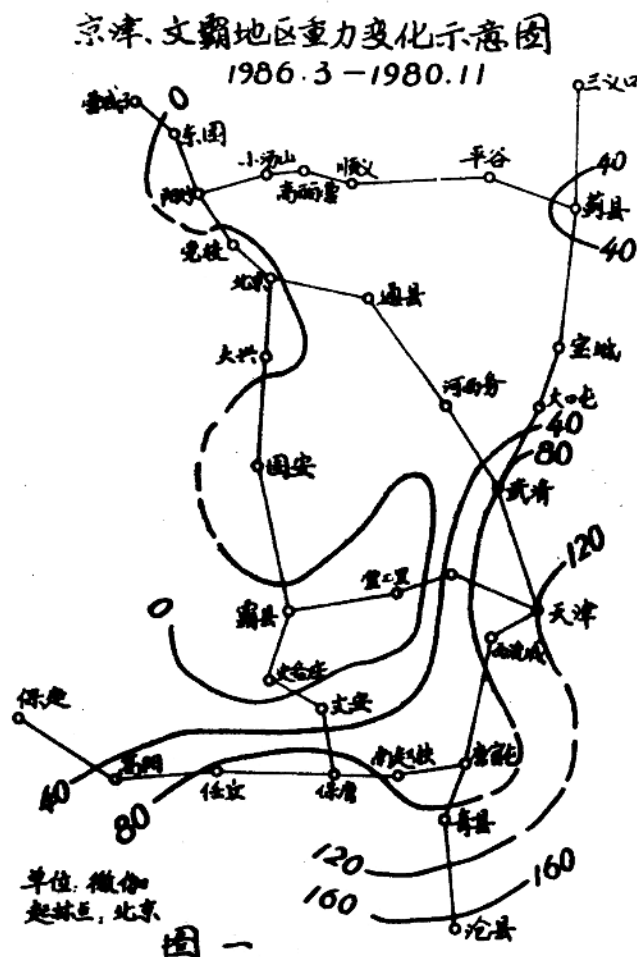
全部测量结果的各项精度95%均小于限差要求。仅个别测点因修路而未能及时补测。

三、各测区重力场变化的初步分析

1、京津文霸测区

一九八六年三月和十月对该区进行了两次复测。

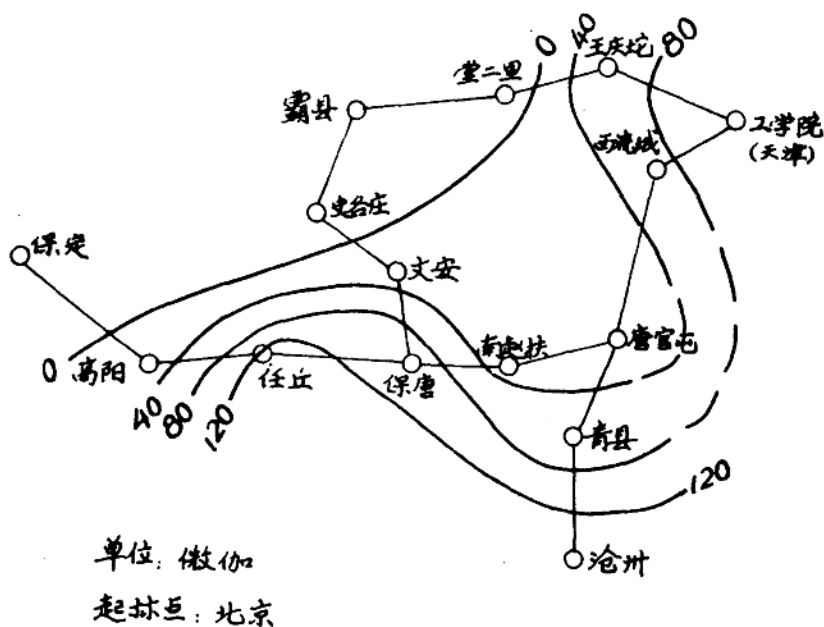
从86年3月相对80年11月的重力变化等值线图上可以看出，任丘~保唐~王庆坨~大口屯以北的大片地区重力场无明显变化，均在 ± 40 微伽以内变化，但其以南地区重力场出现较明显的上升变化，变化幅度约在80~120微伽之间，且越往南变化越大，变化最大点为沧州测点（图一）。



自80年以来的复测中，曾出现过两次与上述重力场变化类似的情况，即83年9月相对80年11月和84年9月相对80年11月的重力场都出现了武清~天津~青县~沧州一带重力趋势上升的异常变化，变化幅度也大致相当。83年9月的重力异常出现后，在其南部300多公里的菏泽地区于11月7日发生了5.9级地震。但84年9月异常出现后，周围地区没有发生相应的中强地震。联系到这次的变化情况，我们初步分析认为，武清~天津~任丘~青县~沧州一带为该测区的相对不稳定地带，是今后需加强监测的地区。为此，86年10月对霸县~天津以南各测段进行了复测，结果表明，3月间测到的异常虽有所回升，但目前这一带仍然有80~100微伽的正异常存在（图二）。继续观测其变化对今后的震情分析是有益的。

文霸地区重力变化示意图

1986.10 — 1980.11

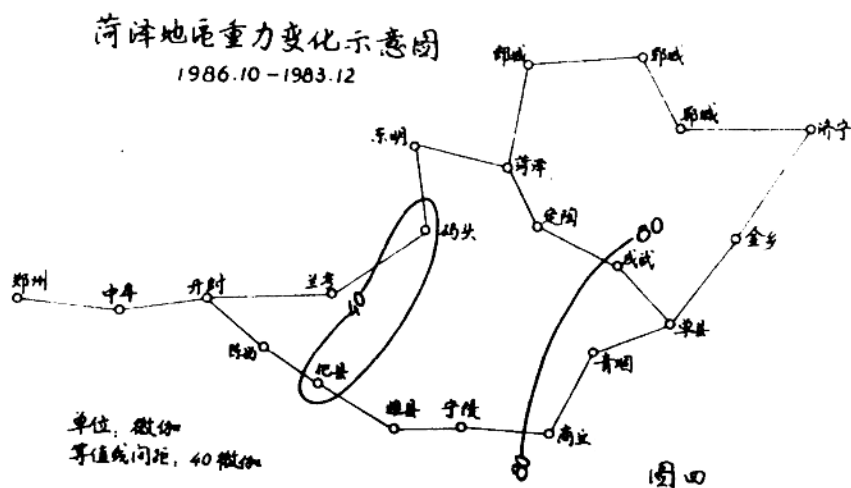
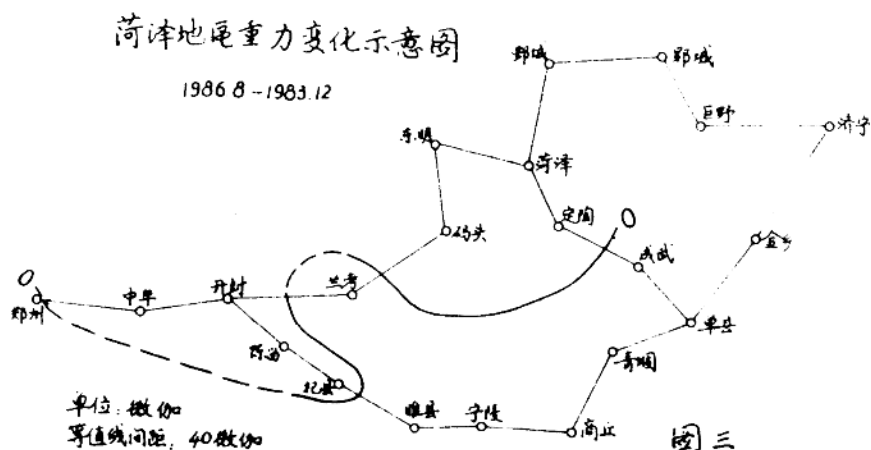


图二

2、菏泽地区

自83年12月在菏泽地区建立重力复测网以来，在该区共进行了二十多次复测。分析研究几年来的资料，我们认为该区重力场变化有以下几个特征：

- ① 该区重力场处于相对不稳定状态;
 - ② 重力场变化最大的时段为5~8月, 且均为正异常变化;
 - ③ 兰考测点, 其次为东明、菏泽测点是该区中重力变化的“敏感点”。
- 这些测点均在聊兰断裂附近, 因此它们的变化可能与断裂活动有一定的相关性。



今年在该测区进行了五次复测, 结果表明, 重力场的变化形态与前几年基本相同, 即从4月开始, 重力场上升并一直处于高值状态, 延续几个月后, 重力场又逐渐恢复到建点时水平, 但其中却又出现了一些反常现象, 如: 8月底复测时, 重力场已恢复到建点时的水平(图三), 比以往有所提前。更引人注目的是: 10月复测时发现, 本应较平静的重力场却出现了反常上升变化, 变化幅度均在40~80微伽(图四)。对这一异常变化原因目前还不能给予明确解释。因此, 为监测此异常变化的发展情况, 目前又去该区进行复测, 等复测完毕再作进一步分析。

菏泽地区重力场每年5~8月均出现明显的正异常变化, 有人可能会认为这可能是由于温度影响而引起的年变, 但我们分析认为, 用温度变化不能解释此现象。简述理由如下:

① 我们对复测资料均进行了逐段温度改正, 使用的均是经过温度改正后的资料。

② 如果温度改正的不完全, 那么, 因温度变化引起的年变应是夏天变化小, 冬天变化大。但实际的变化情况恰恰相反。

③ 如果变化是因温度改正不当引起, 则应在别的测网出现类似现象, 但事实上没有出现类似现象。如下面将要提到的豫北地区有多次复测都是和菏泽地区同时进行的, 但豫北地区几年来的复测结果表明, 没有出现类似的异常变化。

对以菏泽为中心测点的二次导数复测网, 我们分别计算出相应范围的重力平均值和二次导数值, 并求出各次测量相对于八六年四月建点时的各项变化量。从下表可以看出, 菏泽附近的局部重力场变化不大, 在5~7公里的范围内, 平均重力场变化量只有10微伽左右。

菏泽附近平均重力场和二次重力导数变化量统计表

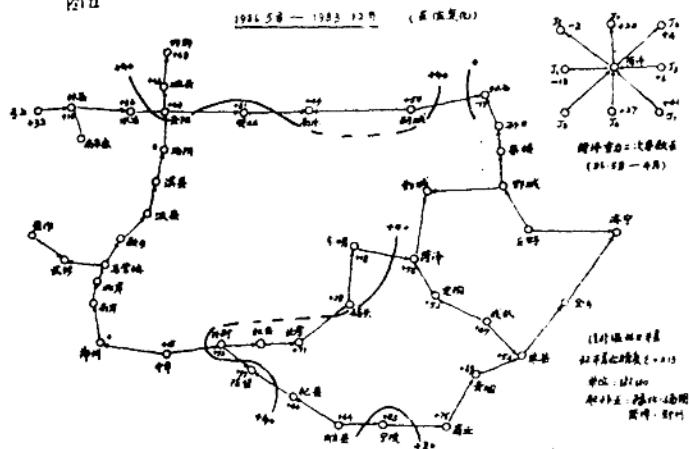
时间	$\Delta \bar{g}$ (R) (微伽)	$\Delta \bar{g}(\sqrt{2} R)$ (微伽)	Δg_{xx} (艾维)
5月~4月	+11	+11	$-0.11 \times 10^{-6} E$
6月~4月	+10	+4	$-0.08 \times 10^{-6} E$
8月~4月	+2	+9	$-0.06 \times 10^{-6} E$
10月~4月	+11	+8	$-0.10 \times 10^{-6} E$
11月~4月	+2	+5	$-0.04 \times 10^{-6} E$
12月~4月	+9	+18	$-0.14 \times 10^{-6} E$

3、豫北测区

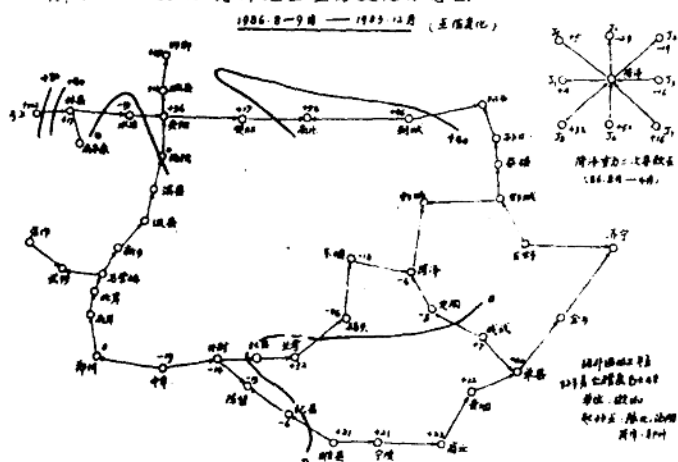
一九八六年在豫北测区进行两次复测(5月和9月), 结果表明, 该区重力场处于相对稳定状态。仅86年9月复测时, 林县~弓上附近有80微伽左右的变化(图五、图六)。我们认为, 该变化与林县小震活动有一定的相关性。

据河南省地震局的震情报告, 一九八六年十月份林县地区发生小震21次, 最大震级为 $M_s=3.0$, 这是当年该区地震活动最强的月份。

图五 豫北、菏泽地区重力变化示意图



图六 豫北、菏泽地区重力变化示意图



四、对八七年度地震活动形势的几点看法

1、鉴于八六年全国地震活动相对往年明显增强，但华北地区的地震活动却相对平静的事实认为，在新的活跃期内，虽然大震活动的主要场所分析推测在西部，但华北地区的地震活动势必也会逐渐加强，今年的反常“平静”是相对的，近几年内，华北地区可能发生多次中强以上地震。

2、根据重力复测资料分析，我们认为在华北地区内，菏泽地区，天津、霸县以南，高阳、沧州以北地区是深部地壳相对活动的地区，应继续对这些地区加强监测工作。

3、根据现有的局部资料，目前还看不出在我们的测区范围有明显的震前异常现象。