

童广勤,耿峻,秦维乘,等. 2024. 三峡地区流动重力网地震监测能力研究. 中国地震, 40(3): 563~572.

# 三峡地区流动重力网地震监测能力研究

童广勤<sup>1,2)</sup> 张弛<sup>1,2)</sup> 郝洪涛<sup>3,4)</sup> 刘少明<sup>3,4)</sup>  
张新林<sup>3,4)</sup> 吕品姬<sup>3,4)</sup> 胡敏章<sup>3,4)</sup>

- 1) 中国长江三峡集团有限公司流域枢纽运行管理中心, 湖北宜昌 443133  
2) 高坝大库运行安全湖北省重点实验室, 湖北宜昌 443133  
3) 中国地震局地震研究所, 地震大地测量重点实验室, 武汉 430071  
4) 湖北省地震局, 武汉 430071

**摘要** 重力观测是三峡水库地区地震监测的重要组成部分。本文系统分析了三峡重力网的空间覆盖范围、空间分辨率以及重力变化观测精度, 结合现有重力变化异常空间范围和量级与地震震级之间经验指标, 对三峡重力网的地震监测能力进行了评估。结果表明, 三峡重力网在空间分辨率和观测精度方面均达到了4级以上地震的监测要求, 空间覆盖范围介于5级地震重力变化异常场范围经验指标的上、下限之间, 因此重力网对于4~5级地震具有较好的监测能力, 但对于监测5级以上地震存在无法获取重力变化异常完整形态的可能。此外, 三峡水库水位变化引起的重力效应对重力观测具有明显的影响, 在计算水位变化重力效应时, 应采用与重力观测数据相同时刻的水位数据。

**关键词:** 三峡重力网 空间分辨率 重力变化 监测能力

[文章编号] 1001-4683(2024)03-0563-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

对水库地震的监测是保障大型水利水电工程安全运行的重要手段。我国长江三峡地区建设有葛洲坝和三峡两个大型水利枢纽工程, 因此该地区是我国水库地震监测的重点地区之一。1982年, 为研究探索三峡地区重力场变化与潜在的水库诱发地震的关系(张勇军, 1998), 原国家地震局地震研究所(1998年更名为中国地震局地震研究所)在葛洲坝库区周围建设了具有31个重力测点的三峡流动重力监测网。三峡工程启动后, 在科技部和长江三峡工程开发总公司的支持下, 中国地震局地震研究所于1998年对原重力网进行大规模改造, 进一步形成了覆盖三峡工程库首区的重力监测网(孙少安等, 2002; 邢灿飞等, 2003)。

[收稿日期] 2024-04-28 [修定日期] 2024-07-05

[项目类别] 长江三峡工程地震监测总站及地壳形变监测网络升级项目(0404552)、2022—2024年长江三峡库区地震监测系统运行维护及地震应急工作项目(1299235)、中国地震局地震研究所所长基金资助项目(202326342)共同资助

[作者简介] 童广勤, 男, 1977年生, 正高级工程师, 主要从事地质灾害和水库地震监测的理论与方法研究。

E-mail: tongguangqin@163.com

郝洪涛, 通讯作者, 男, 1981年生, 副研究员, 主要从事流动重力观测技术研究。E-mail: haoht2004@sina.com

自1983年起,国家地震局地震研究所对三峡重力网进行持续的重复观测,其中,1983—1984年使用精度较低的石英弹簧重力仪,1985—2010年主要使用拉科斯特型重力仪,2011—2018年上半年全面使用CG-5型重力仪,2018年下半年后开始全面使用最新的CG-6型重力仪,至今已积累近40年的高精度流动重力观测数据。张勇军(1998)用模糊识别方法研究了1985—1995年期间重力变化异常与中弱地震的相关性,发现高值异常与地震发震时间有较好的对应。前人研究了2003年三峡水库蓄水产生的重力效应,结果表明蓄水过程中的重力变化具有强烈的库水荷载效应和明显滞后的库水渗透效应(申重阳等,2004;孙少安等,2006)。刘少明等(2014、2019)研究了2013年12月16日巴东5.1级、2018年10月11日秭归4.5级和4.1级地震前的重力变化特征,结果表明几次地震均发生在重力正负变化转换的梯度带上,重力场变化对地震的孕育过程具有较好的反映。上述研究基本侧重于三峡地区地震前重力变化特征的分析或重力变化与具体物理现象关系的解释,但对于三峡重力网本身的地震监测能力这一基础问题,即重力网能够捕捉多大震级的地震在孕育和发生过程中所引起的重力变化异常方面,长期以来仍缺乏较为系统的分析。

研究表明,重力网对地震孕育引起的重力变化异常的监测能力主要包括测网空间覆盖范围、测网空间分辨力以及观测数据对重力变化信号的识别能力等因素(贾民育,1996;贾民育等,2000;胡敏章等,2019)。本文首先基于三峡重力网点位布局,对重力网的空间覆盖范围和空间分辨能力进行评估;其次,结合重力网观测目前使用的重力仪性能与实测数据精度指标,对重力网识别重力变化信号的能力进行评估;最后,结合现有的地震分析预报中的重力变化异常指标,对三峡重力网的地震监测能力进行分析和探讨。本文结果可为三峡地区的地震监测预测提供参考。

## 1 重力网监测范围与空间分辨力

三峡重力网监测区位于扬子准地台的上扬子台褶带,区内活动断裂主要有新华断裂、高桥断裂、雾渡河断裂、仙女山断裂、九畹溪断裂、天阳坪断裂等,其中构造地震主要发生在水高断裂和仙女山断裂附近(王秋良等,2013;孟庆筱等,2021),发生震级最大的地震为2013年12月16日巴东5.1级地震(李献瑞,2015)(图1)。目前重力网共有57个观测点,测量路线共形成5个闭合环,SN向、EW向覆盖范围均约为110km。

由于在布设上受道路交通条件所限而导致重力测点在空间分布上具有非均匀性,因此不能用测点平均距离作为测网空间分辨力的评估依据。贾民育(1996)提出了采用分形理论计算重力测网最佳网格距的方法,并被后续研究广泛采用(李辉等,2010;胡敏章等,2015;王青华等,2019;韩宇飞等,2020)。

对于非均匀分布的分形点集,分形维 $D_f$ 定义为

$$n(r) \propto r^{D_f}, 0 < D_f < 2 \quad (1)$$

其中, $D_f$ 取值越小,数据点分布不均匀性越严重。 $D_f$ 的计算一般采用经典方盒法,即将点集存在的区间依次划分为边长为 $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ 的若干小方块,统计各系列含有数据点的方块个数,记为 $n(r)$ ;此时,在 $r$ 的一定区间内, $\lg(n(r)) - \lg(r)$ 曲线呈直线状态,直线段部分与曲线段部分的分界点处的 $r$ 值即为最佳网格距,直线段部分斜率的负值则为分形维 $D_f$ 。

依据以上方法,本文计算了三峡重力网的分形维数(图2),结果表明分形维数为1.11,

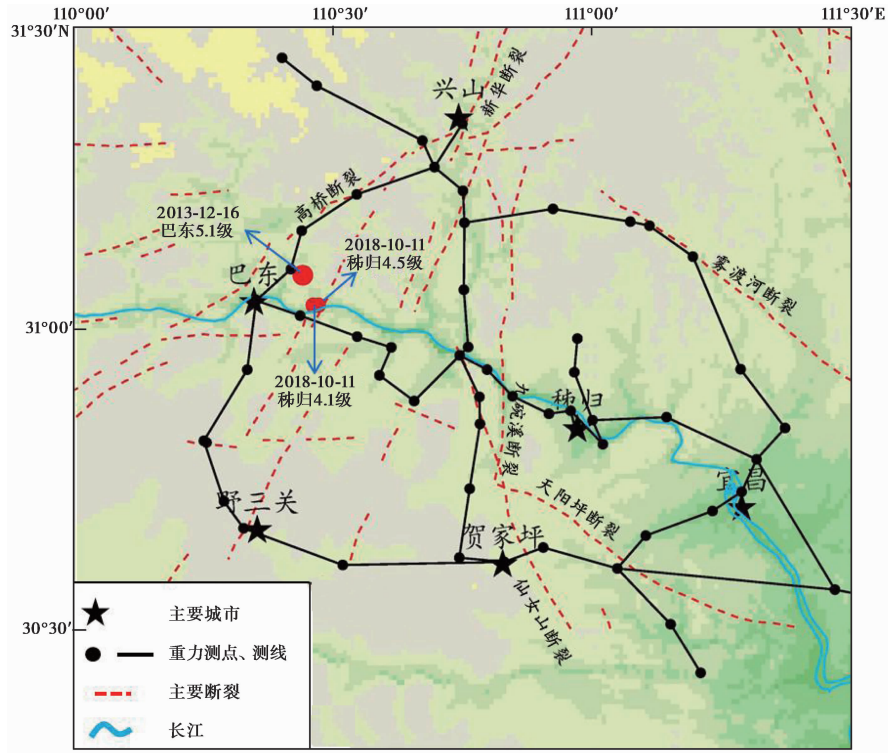


图 1 三峡重力网示意图

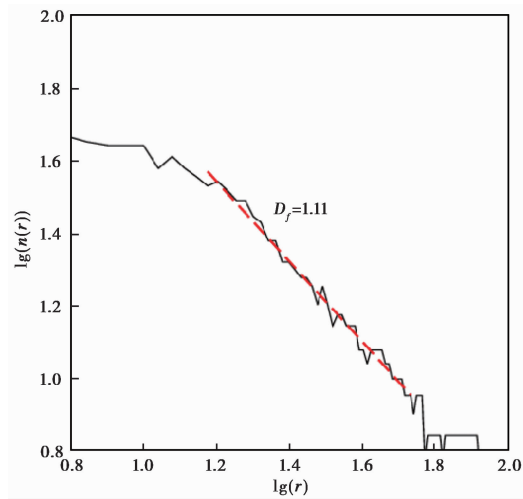


图 2 三峡重力网分形维数

相应最佳网格距约为 15km。

## 2 重力场变化观测精度

### 2.1 观测数据与处理

重力场变化观测精度决定了重力观测所能识别的重力变化信号的量级水平，一般取决

于观测仪器性能、观测方法以及数据处理方法等。目前,三峡重力网每期观测均采用2台加拿大 SCINTREX 公司生产的 CG-6 型相对重力仪,该型重力仪标称精度为  $5\mu\text{Gal}$  ( $1\mu\text{Gal}=10^{-8}\text{m/s}^2$ ),最大程度上保证了使用观测仪器的基础性能。观测方法则严格按照《地震重力测量规范》(国家地震局,1997)相关要求进行。在数据处理方法方面,除固体潮、气压、仪器高等各项预处理改正以及平差计算等常规处理手段外,观测数据中还可能由非线性零漂和格值系数变化导致的系统误差,因此还需要对非线性零漂和格值系数变化予以检测和消除。

由于2019年为第一个完全使用CG-6重力仪进行相对重力观测的年度,观测数据具有较好的代表性,因此本文收集整理了该年度全年2期相对重力观测数据,以此为例对三峡重力网观测数据精度以及重力变化精度进行分析。除相对重力观测数据外,2019年同年中国地震局地震研究所宜昌地震台重力点也开展了2期绝对重力观测,也为相对重力数据处理提供了可靠基准。相对观测数据和绝对重力观测结果概况如表1、表2所示。其中,三峡重力网2019年两期相对重力观测每期均采用了CG-6-090(初始格值系数为0.999873)和CG-6-093(初始格值系数为0.999964)2台重力仪。

表1 三峡重力网2019年相对重力观测数据概况

期次	观测时间 (年-月-日)	测点数	测段数
1	2019-04-14—04-24	59	63
2	2019-09-20—09-30	57	62

表2 宜昌地震台重力测点2019年绝对重力观测结果概况

期次	观测时间 (年-月-日)	使用仪器	标准差/ $\mu\text{Gal}$	两期变化量/ $\mu\text{Gal}$
1	2019-04-13	FG5X-259	0.82	3.6
2	2019-11-23	FG5X-262	1.68	

在数据处理过程中,首先对相对重力观测数据进行固体潮、气压、仪器高等各项预处理改正;然后,采用分测线零漂改正方法和格值系数变化检测方法(郝洪涛等,2016),依次计算2台重力仪的非线性零漂和格值系数变化并予以改正。之后,以宜昌地震台绝对重力观测为基准,联合预处理后相对重力观测数据进行平差计算,分别获得2期观测的测点重力值及其精度。最后,再将两期测点重力值进行差分计算,获得各测点重力变化值及其精度。

图3为2台重力仪在观测期间的动态零漂率计算结果。结果显示C093重力仪在2019年4月20日闭合测线的动态零漂率达到约 $2.3\mu\text{Gal/h}$ ,其他时间2台重力仪动态零漂率均在 $\pm 1\mu\text{Gal/h}$ 之间,表明零漂率变化非常稳定,即不存在明显的非线性零漂特征。在三峡重力网前期的观测中曾长期使用CG-5型重力仪,该型重力仪零漂率一般可达数十 $\mu\text{Gal/h}$ 甚至上百 $\mu\text{Gal/h}$ 以上(邢乐林等,2010;郝洪涛等,2016;汪健等,2016),且零漂在观测期间往往存在明显的非线性特征(郝洪涛等,2016)。这也再次表明CG-6型重力仪的零漂性能显著优于CG-5型重力仪,因此使用CG-6型重力仪有助于确保观测数据质量。此外,应用文

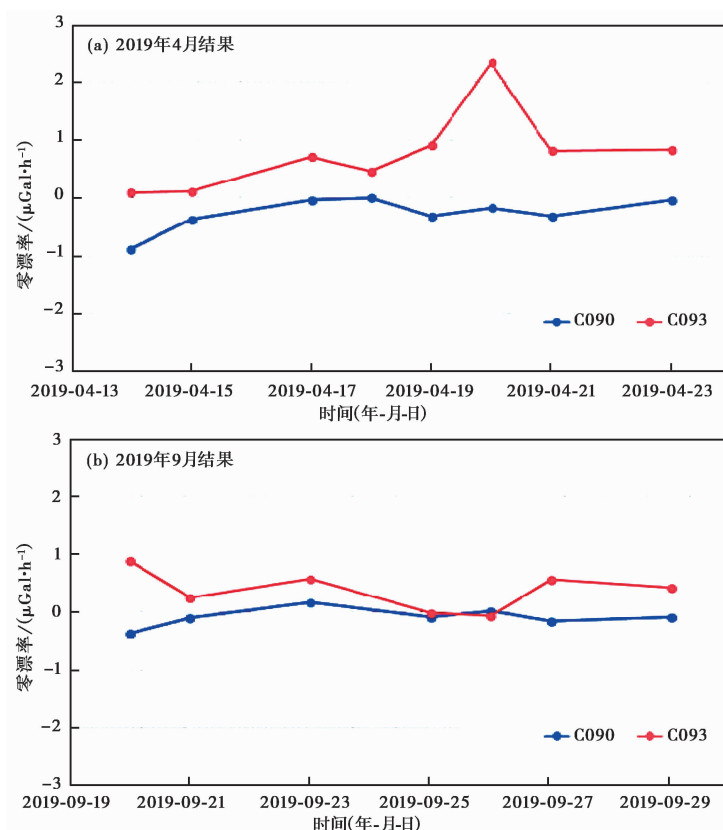


图3 零漂率随时间变化

献(郝洪涛等,2016)中的重力差方法对格值系数变化进行检测,发现2台重力仪的格值系数在第2期观测中相对第1期观测均发生了约 $5\times 10^{-5}$ 的变化。三峡重力网测点的最大重力值和最小重力值的差异约为 $400\text{mGal}$ ( $1\text{mGal}=10^{-5}\text{m/s}^2$ ),格值系数 $5\times 10^{-5}$ 的误差将导致最大约 $20\mu\text{Gal}$ 的重力变化误差,因此在第2期观测数据处理中对格值系数进行了校正。在完成两期观测数据的单独平差计算后,通过差分相减获取了两期观测期间各测点的重力值变化及其精度。

### 2.2 观测重力变化的精度指标分析

图4为两期观测数据最终处理的重力点值精度以及重力变化精度。重力点值精度由平差计算给出,各重力点变化精度则根据误差传播律计算,即

$$\sigma^i = \sqrt{(\sigma_1^i)^2 + (\sigma_2^i)^2} \quad (2)$$

其中, $\sigma^i$ 为序号为 $i$ 的测点重力变化值中误差, $\sigma_1^i$ 、 $\sigma_2^i$ 分别为该测点在第1期和第2期平差结果中给出的重力值中误差。

由图4可知,两期观测点值中误差最小为 $2.3\mu\text{Gal}$ (宜昌地震台绝对重力点,序号22),最大为 $5.7\mu\text{Gal}$ ,大部分位于 $4\sim 5\mu\text{Gal}$ 之间。重力变化结果的中误差基本位于 $6\sim 7\mu\text{Gal}$ 之间,平均值为 $6.5\mu\text{Gal}$ ,最小值为 $3.5\mu\text{Gal}$ (宜昌地震台绝对重力点),最大值为 $7.6\mu\text{Gal}$ 。以2倍中误差为限差(95.5%概率),则观测到的 $15\mu\text{Gal}$ 以上的重力变化结果是可信的,具备检

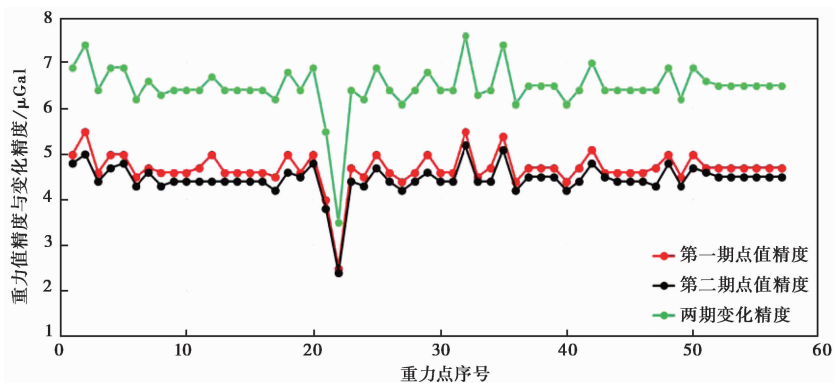


图4 两期观测数据处理点值精度及重力变化精度

测 15 $\mu$ Gal 以上的重力变化信号的能力。

为对此进行验证,对重力变化和精度结果的可靠性进行了检核分析。图5、图6分别为重力变化的序列结果和空间分布结果,图5中标注了重力变化1倍和2倍中误差的限差线,图6中标注了重力变化大于2倍中误差的测点。为便于分析,图5、图6中另分别标注了3个变化较为明显的测点的点名或序号。可以看出,重力变化超过2倍中误差的测点仅有一个(序号为55的沙溪镇测点,变化量为+15.7 $\mu$ Gal)。经检查发现,该测点位于三峡水库的支流清港河附近,距河面最近距离仅约50m(图7(a)),因此推测该测点重力变化受三峡水库水位变化所致。为对此进行验证,检查了两期观测中沙溪镇测点观测时刻的三峡水库水位,发现第2期观测时刻的水位相比第1期观测时刻上升了约2.2m。采用如下方法对2.2m水位上升变化在观测点处引起的引力效应进行模拟计算,将图7(a)中水域范围按1m间隔划分成离散的网格,每个网格的引力效应即为1m $\times$ 1m $\times$ 2.2m柱体的引力效应。根据万有引力公式,每个柱体的引力效应可表示为

$$\begin{aligned} \Delta g &= G \cdot \Delta s \cdot \rho \int_0^{2.2} \frac{-(z + z_0 - z_p)}{(r^2 + (z + z_0 - z_p)^2)^{3/2}} dz \\ &= G \cdot \Delta s \cdot \rho \cdot \left[ \frac{-1}{(r^2 + (z + z_0 - z_p)^2)^{3/2}} \right]_0^{2.2} \end{aligned} \quad (3)$$

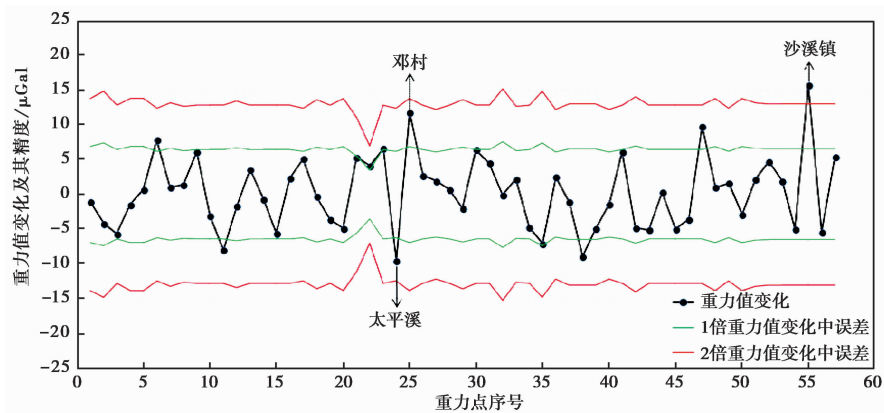


图5 两期观测重力变化及其精度

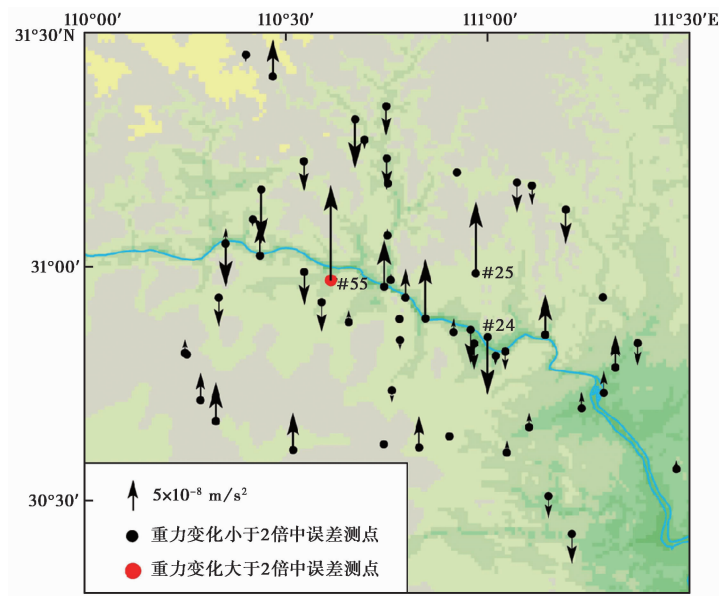


图 6 重力变化空间分布



注：图中红色标记为重力点。

图 7 沙溪镇和太平溪测点位置概略图

其中， $G$  为万有引力常数， $\Delta s$  为每个柱体的底面面积， $\rho$  为水的密度， $r$  为流动网格点距测点的水平距离， $z_0$  为第 1 期观测时刻的水面高程， $z_p$  为重力测点的高程。计算所有网格的引力效应后进行叠加，即得到水位变化对沙溪镇测点产生的引力效应模拟计算结果。最终模拟计算结果为  $+14.7 \mu\text{Gal}$ ，与观测结果的差异仅为  $1 \mu\text{Gal}$ ，表明该点处观测重力变化为水位变化影响所致，同时也证明了该点实测数据识别出了水位变化引起的约  $15 \mu\text{Gal}$  的重力变化信号。

除沙溪镇测点外，图 5、图 6 中另有 2 个变化量接近 2 倍中误差的测点，分别为序号 24 的太平溪测点和序号 25 的邓村测点，重力变化量分别为  $-9.5 \mu\text{Gal}$  和  $11.8 \mu\text{Gal}$ 。其中邓村测点位于地质上较为稳定的黄陵背斜地区，受地壳活动影响而导致重力变化的可能性较小；在观测路线上，该测点为从太平溪测点延伸出的支线点，由平差计算获得的重力值容易受测

段误差的影响,因此推测该测点计算得到的变化量受观测误差影响。太平溪测点的周边环境则与沙溪镇测点类似,距水面最近距离约 100m(图 7(b));第 2 期测点观测时刻的水位相比第 1 期降低约 0.7m。采用前述相同方法,该测点水位变化的引力效应模拟计算结果约为  $-5.6\mu\text{Gal}$ ,与实测重力变化具有相同量级水平。这不仅验证了对沙溪镇、太平溪测点重力变化原因的推测,同时也进一步证明了三峡重力网观测数据可精确识别水位变化引起的  $10\sim 15\mu\text{Gal}$  量级的重力变化信号,因此观测重力变化及其精度指标具有较好的可靠性,即三峡重力网目前的观测数据具备检测  $15\mu\text{Gal}$  以上重力变化信号的能力。

此外,注意到两期观测之间沙溪镇测点和太平溪测点水位变化不同,因此在计算不同期次之间、不同测点的水位变化重力效应时,不宜采用单期观测期间的平均水位计算水位变化,而应采用测点观测时刻的真实水位。

### 3 三峡重力网地震监测能力分析

自 20 世纪 60 年代国际上发现伴随地震发生的重力变化以来,与地震孕育发生相关的重力变化研究至今已近 60 年的历史。然而受制于地球内部的“不可入性”、大地震的“非频发性”、地震物理过程的复杂性等因素的制约(陈运泰,2009),地震孕育过程中重力变化目前仍难以用物理模型进行充分解释,而基于统计学方法获得一些与地震孕育发生相关的重力场变化异常的时、空、强指标,无疑对指导地震预测实践具有重要的现实意义。贾民育等(2000)总结了 2000 年以前发表文献中研究的 36 次地震的震前重力变化,初步给出了震级与重力变化时变距之间的线性回归公式以及当时我国各级地震重力监测网的地震监测能力。祝意青等(2018)在深入研究区域重力场演化特征的基础上,提出定性和定量相结合来研究与强震孕育有关的重力变化背景与异常,包括重力场变化对地震的前兆反映能力、强震孕育发生过程中的重力变化异常特征等。在上述研究基础上,胡敏章等(2019)进一步收集整理 89 个 4.0 级以上地震震例,统计分析了震前重力变化异常范围、量级与震级的关系。从上述研究结果来看,5 级地震引起的重力变化异常场范围为  $100\sim 140\text{km}$ ,重力变化异常量级约为  $50\mu\text{Gal}$ ,因此如需满足 5 级地震的监测需求,重力网空间覆盖范围需达到  $100\sim 140\text{km}$ ,空间分辨率即最佳网格距要优于  $50\text{km}$ (以重力变化异常场范围的  $1/2$  计算),重力场变化观测精度优于  $25\mu\text{Gal}$ (以 2 倍中误差为限差);4 级地震引起的重力变化异常场范围约为  $70\text{km}$ ,重力变化异常量级约为  $25\mu\text{Gal}$ ,对重力网的相应要求为空间覆盖范围达到  $70\text{km}$ 、最佳网格距优于  $35\text{km}$ 、重力变化观测精度优于  $12.5\mu\text{Gal}$ 。

从三峡重力网目前的点位布局和观测精度分析结果来看,三峡重力网的空间覆盖范围约为  $110\text{km}$ 、最佳网格距约为  $15\text{km}$ ,重力变化观测精度优于  $7.6\mu\text{Gal}$ 。结合上述不同震级地震对重力观测网的要求,三峡重力网在空间覆盖范围、空间分辨率和观测精度上均可满足监测 4 级地震引起的重力场变化的要求。重力网覆盖范围则介于 5 级地震重力变化异常场范围经验指标的上、下限之间,因此对于 5 级以上地震,则存在无法获取重力变化异常特征完整形态的可能。从三峡地区近期实际震例研究来看,2013 年 12 月 16 日巴东 5.1 级地震和 2018 年 10 月 11 日秭归 4.5 级、4.1 级双震事件均位于震前重力场变化图像中的梯度带上(刘少明等,2014、2019),但秭归 4.5 级、4.1 级双震事件前重力场变化的梯度带特征明显更为完整、清晰,且伴随明显的零值线特征,这也表明三峡重力网有可能对 4~5 级之间的地震



具有更好的监测能力。

从本文获取的 2019 年 4—11 月期间的重力变化结果来看,在排除受水位影响和观测误差较大的支线点后,所有重力测点的重力变化量级均在  $10\mu\text{Gal}$  以内和 2 倍中误差以内,表明在本文观测数据覆盖时段内重力场未发生显著变化,即不存在重力变化异常信息。而从实际震情来看,三峡地区自 2019 年 11 月至 2024 年 6 月未发生过 4 级以上地震,因此本文实测重力变化符合近期构造活动的微弱背景,这也表明三峡重力网对于该地区活动背景具有较好的反映能力。

## 4 结论

重力观测是三峡水库区地震监测的重要组成部分。本文分析了三峡重力网目前的空间覆盖范围、空间分辨力以及重力变化信息的识别精度,结合现有地震震级与重力变化异常指标的统计结果,对重力网的地震监测能力进行了评估。得到主要结论如下:

(1) 三峡重力网最佳网格距约为  $15\text{km}$ ,在空间分辨力上能够满足监测 4 级以上地震引起的重力变化异常的要求。重力网覆盖范围介于 5 级地震重力变化异常场范围经验指标的上、下限之间,对于 5 级以上地震则存在无法获取重力变化异常特征完整形态的可能,因此应进一步扩大重力网监测范围。

(2) 采用 CG-6 重力仪进行观测获取的重力变化具有较高的精度指标,以 2 倍中误差为限差可检测出  $15\mu\text{Gal}$  以上的重力变化信号,能满足监测 4 级以上地震引起的重力变化异常的量级要求。

(3) 三峡水库水位变化引起的重力效应对重力观测具有明显的影响。在计算水位变化重力效应时,应采用不同观测期次中测点观测时刻的水位数据。

## 参考文献

- 陈运泰. 2009. 地震预测: 回顾与展望. 中国科学(D辑): 地球科学, **39**(12): 1633~1658.
- 国家地震局, 1997. 地震重力测量规范. 北京: 地震出版社, 13~22.
- 韩宇飞, 汪健, 徐如刚, 等. 2020. 陆态网络重力测网的分形特征与地震监测能力分析. 中国地震, **36**(4): 879~887.
- 郝洪涛, 李辉, 孙和平, 等. 2016. CG-5 重力仪零漂改正及格值系数检测应用研究. 武汉大学学报(信息科学版), **41**(9): 1265~1271.
- 胡敏章, 郝洪涛, 李辉, 等. 2019. 地震分析预报的重力变化异常指标分析. 中国地震, **35**(3): 417~430.
- 胡敏章, 李辉, 刘子维, 等. 2015. 川滇地区 2010—2013 年重力变化及重力网的地震监测能力. 大地测量与地球动力学, **35**(4): 616~620.
- 贾民育. 1996. 滇西动态重力网的分形特征及空间分辨力. 地壳形变与地震, (4): 28~32.
- 贾民育, 詹洁晖. 2000. 中国地震重力监测体系的结构与能力. 地震学报, **22**(4): 360~367.
- 李辉, 徐如刚, 申重阳, 等. 2010. 大华北地震动态重力监测网分形特征研究. 大地测量与地球动力学, **30**(5): 15~18.
- 李献瑞. 2015. 长江三峡库区巴东  $M_s 5.1$  地震成因机制研究. 硕士学位论文. 武汉: 中国地质大学.
- 刘少明, 郝洪涛, 胡敏章. 2019. 湖北秭归 4.5 级和 4.1 级地震前的流动重力变化. 大地测量与地球动力学, **39**(11): 1118~1121.
- 刘少明, 孙少安, 郝洪涛, 等. 2014. 湖北巴东  $M_s 5.1$  地震前的重力场变化. 大地测量与地球动力学, **34**(3): 31~34.
- 孟庆筱, 姚永生, 廖武林, 等. 2021. 三峡蓄水进程中库首区地震活动与库水位的关联性研究. 大地测量与地球动力学, **41**(7): 714~720.
- 申重阳, 孙少安, 刘少明, 等. 2004. 长江三峡库首区近期重力场动态变化. 大地测量与地球动力学, **24**(2): 6~13.

- 孙少安,项爱民,李辉. 2002. 长江三峡工程库首区重力场变化与构造活动. 大地测量与地球动力学, **22**(3):56~59.
- 孙少安,项爱民,朱平等. 2006. 三峡水库首次蓄水引起的重力变化及其机制的初步研究. 地震学报, **28**(5):485~492.
- 汪健,孙少安,邢乐林,等. 2016. CG-5重力仪的漂移特征. 大地测量与地球动力学, **36**(6):556~560.
- 王青华,郝洪涛,汪健,等. 2019. 云南地震流动重力监测网建设与映震能力分析. 大地测量与地球动力学, **39**(3):317~324.
- 王秋良,张丽芬,廖武林,等. 2013. 三峡库首区断裂构造与地震活动特征. 大地测量与地球动力学, **33**(5):29~33.
- 邢灿飞,龚凯虹,杜瑞林. 2003. 长江三峡工程地壳形变监测网络. 大地测量与地球动力学, **23**(1):114~118.
- 邢乐林,李辉,夏正超,等. 2010. CG-5重力仪零漂特性研究. 地震学报, **32**(3):369~373.
- 张勇军. 1998. 三峡流动重力异常模糊识别函数与中弱地震的关系. 地壳形变与地震, (1):84~89.
- 祝意青,申重阳,张国庆,等. 2018. 我国流动重力监测预报发展之再思考. 大地测量与地球动力学, **38**(5):441~446.

## Monitoring Ability Analysis of Three Gorges Gravity Network

Tong Guangqin<sup>1,2)</sup>, Zhang Chi<sup>1,2)</sup>, Hao Hongtao<sup>3,4)</sup>, Liu Shaoming<sup>3,4)</sup>,  
Zhang Xinlin<sup>3,4)</sup>, Lü Pinji<sup>3,4)</sup>, Hu Minzhang<sup>3,4)</sup>

1) River Basin Hub Operation Management Center, China Three Gorges Corporation, Yichang 443133, Hubei, China

2) Hubei Key Laboratory of Operation Safety of High Dam and Large Reservoir, Yichang 443133, Hubei, China

3) Key laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, China

4) Hubei Earthquake Agency, Wuhan, 430071, China

**Abstract** Gravity observations constitute a pivotal element within the seismic monitoring framework of the Three Gorges Reservoir region. This paper undertakes a comprehensive analysis of the spatial coverage, resolution, and measurement precision of the Three Gorges gravity network. Utilizing empirical benchmarks for spatial extent and the magnitude of gravitational anomalies in relation to seismic magnitudes, the seismic monitoring capacity of the network is rigorously assessed. The results show that the spatial resolution and observational precision of Three Gorges gravity network are adequate for the detection of earthquakes magnitude 4 and higher. Nonetheless, the spatial coverage extends only partially within the empirically defined parameters for the gravitational anomaly field range associated with magnitude 5 earthquakes. Consequently, while the network demonstrates robust monitoring capabilities for earthquakes ranging from magnitude 4 to 5, its ability to fully delineate the gravitational anomaly patterns triggered by larger seismic events remains uncertain. Furthermore, we find that gravitational variations induced by fluctuations in the water level of the Three Gorges Reservoir exert a considerable influence on gravity measurements. It is imperative to account for these effects by integrating contemporaneous water level data into the gravity observation calculations.

**Keywords:** Three Gorges gravity network; Spatial resolution; Gravity changes; Monitoring ability