

地下水对重力变化的影响分析^{*1}

周红伟¹⁾ 卢至孟²⁾ 何万平¹⁾ 占惠¹⁾ 陈新泽¹⁾

(¹⁾厦门地震勘测研究中心,厦门 361021
(²⁾同致电子科技(厦门)有限公司,厦门 361009)

摘要 采用泉州、福州地区的水井水位数据,对该地区的重力复测资料经地下水模型校正后,得到的重力值减少了大约 $10 \times 10^{-8} \text{ms}^{-2}$,表明用高精度重力测量资料研究地壳深部构造活动,需要消除地下水等因素的影响。

关键词 流动重力;地下水;校正模型;地壳深部;构造活动

中图分类号:P315.72+3

文献标识码:A

INFLUENCE OF GROUND-WATER ON GRAVITY VARIATION

Zhou Hongwei¹⁾, Lu Zhimeng²⁾, He Wanping¹⁾, Zhan Hui¹⁾ and Chen Xinze¹⁾

(¹⁾Xiamen Research Center of Seismology Survey, Xiamen 361021
(²⁾Tung Thih Electronic(Xiamen) Limited Company, Xiamen 361009)

Abstract Using the well water level data from Quanzhou and Fuzhou areas, the ground-water model was corrected by the regional repetition gravity data, the gravity value reduced about $10 \times 10^{-8} \text{ms}^{-2}$. The results show that in order to study the deep crustal tectonic activity through high-precision gravity measurement data, it is essential to eliminate the effect of the ground-water.

Key words: folw gravity; ground-water; correction model; deep crust; tectonic activity

1 引言

地震孕育、发生过程中,伴随地球重力场的变化,通过地表重力重复测量可以获得大地震形成过程中的重力变化信息,了解地震发生前后重力场的变化特征。

然而,地震预报的实践发现,重力变化地区有时并没有地震发生或地震震级与重力变化量不符,表明重力观测值的变化并不都反映重力场的变化^[1,2]。因此,为得到与地震孕育、发生过程有关的深部物质变异而引起的重力变化,就必须消除浅层因素产生的重力效应。本文将利用地震台站水井水位观测资料,研究地下水对重力变化影响的量级、时

间和方式。

2 资料来源

图1为福建地区水井和重力测点的分布,所选重力测点与其相邻水井的距离大多在1 km左右,仅个别偏离较远。图2为具有代表性的几口水井连续观测水位日均值变化与同点位的重力测点复测时序变化,图中重力变化均不显著,但水位变化存在明显季节性变化规律,由于重力复测资料过少,趋势性变化不明显。

3 数据处理

潜水水位相当于一个均质无限平板层,采用无

* 收稿日期:2012-01-11

基金项目:厦门地震勘测研究中心基金(2011)

作者简介:周红伟,女,1982年生,工程师,主要研究方向为重力数据处理分析及地震监测预报。E-mail:zhouhongwei527@163.com

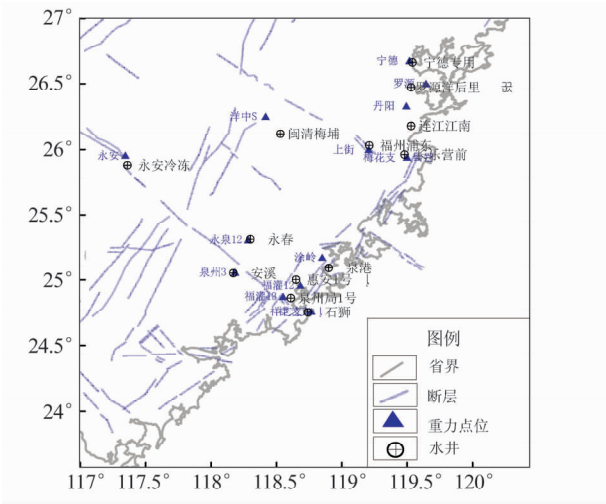


图 1 水井和重力测点分布图

Fig. 1 Distribution of ground-water wells and gravity points

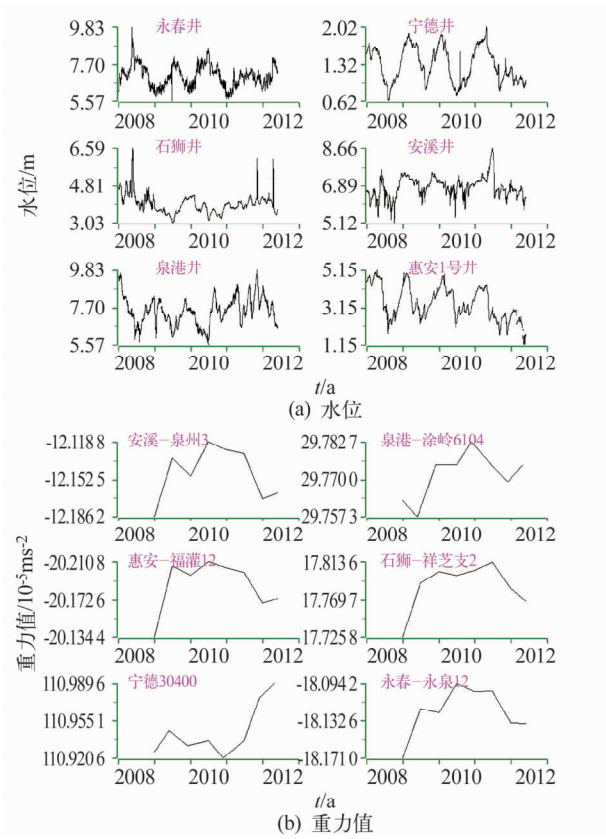


图 2 水位日均值变化(a)和重力测点时序变化(b)图

Fig. 2 Daily mean change (a) of ground-water wells and mobile gravity points timing change (b)

限平板层模型,以 $r_i(i=1,2,\cdots)$ 为半径将待求区域分成无数个同心圆环,第 i 环引力效应的垂直分量为^[3,4]

$$F_i = \pi G \Delta \mu \left\{ \frac{h_1^2 - h_2^2}{r_1} - \frac{h_1^2 - h_2^2}{r_{i+1}} \right\} \quad (1)$$

令 $r_{i+1} = mr_i$,则

$$\begin{cases} F_i = \pi G \Delta \mu \left\{ \frac{(m-1)(h_1^2 - h_2^2)}{mr_i} \right\} \\ F_{i+1} = \pi G \Delta \mu \left\{ \frac{(m-1)(h_1^2 - h_2^2)}{m^2 r_i} \right\} \\ F_{i+2} = \pi G \Delta \mu \left\{ \frac{(m-1)(h_1^2 - h_2^2)}{m^3 r_i} \right\} \end{cases} \quad (2)$$

式中, $F_i, F_{i+1}, F_{i+2}, \cdots$ 是一个等比级数,公比为 $1/m$,因此第 $i+1$ 环的面积为第 i 环面积的 m^2-1 倍,但引力效应的垂直分量却是第 i 环的 $1/m$,衰减相当快。当 $R=r_i$ 取何值时,第 i 项以后各项之和 $\leq 10^{-8} \text{ms}^{-2}$,根据等比级数和计算公式可得

$$R = r_i = 2\pi G \Delta \mu \bar{h} \Delta h = 42 \Delta \mu \bar{h} \Delta h \quad (3)$$

式中 $\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{2}$, $\Delta h = h_2 - h_1$ 。由于大部分潜层水的平均水位 \bar{h} 在5 m以内,而水位变化一般小于3 m,给水度小于 0.25gcm^{-3} ,根据式(3)可得 $R = 160 \text{m}$ 。若取 $\bar{h} = 10 \text{m}$,水位变化小于5 m时, $R \leq 525 \text{m}$,可见无限平面层引力效应的垂直分量远区域很小,160 m以外的总和不超过 10^{-8}ms^{-2} 。

对于 R 以内的区域,应当进行积分计算,但由于在很小的范围地质结构不会有大的差异,因而给水度和水位变化 Δh 可视为常数,因此得出无限平面公式为

$$\Delta g_w = 2\pi G \Delta \mu \Delta h \quad (4)$$

式中, Δh 为地下水位变化, $\Delta \mu$ 为水位变化引起底层密度变化,它可以用孔隙度 φ 表示,即

$$\Delta g_w = 2\pi G \Delta \mu \Delta h = 2\pi G \varphi \Delta h \quad (5)$$

计算潜土层水位变化的重力效应,公式的计算误差在 10^{-8}ms^{-2} 以内,关键在于准确地确定计算点附近的给水度和水位变化。福建地下流体井大部分都建于花岗岩基岩上,地下水主要来源于基岩破碎带中的裂隙水,因此计算中选取的孔隙度 $\varphi = 0.25$ 。

表1为经地下水校正前后重力点值变化,由表1可知,地下水变化对重力测量结果影响较小,地下水对重力扰动幅度一般为 $10 \times 10^{-8} \text{ms}^{-2}$ 左右,个别点如惠安井水位的影响可达到 $30 \times 10^{-8} \text{ms}^{-2}$ 。

图3为部分测点经地下水校正前后的重力点值变化,从图3可以看出,福州地区的梅花支1测点和永安地区的永安测点经地下水校正后重力变化均有减小。宁德地区的宁德和罗源两个测点重力变化趋势相同,经地下水校正后变化趋势仍然存在,这可能是由于该地区深部构造运动引起的地表观测重力变化。泉州地区的永春和福清13两测点的重力变化不同,永春测点经地下水校正后重力变化有了明显减少,而泉州地震台井水水位变化较明显,导致校正后附近福清13测点变化比校正前变化幅度更大,这可

能是该重力测点与地下水井位置不完全一样产生的。

为清楚地了解水位变动对重力影响的量级,选取每口水井 2003—2012 年间水位中日均值最高的水位作为 h_2 ,日均值最低的水位作为 h_1 ,用式(3)和(5)计算,结果见表 2。

从表 2 可知,重力效应最大达到 75×10^{-8} ms⁻²,因此在分析比较同一点位不同时期的重力测量结果时,必须顾及地下水位变化的影响。而在相邻不远的两点上,同一时间里地下水变化基本上是同步的,对重力段差的影响较小。由于地下水一般在 4—9 月变化较大,应用和分析在此期间的重力测量资料时,必须考虑地下水的影响。

表 1 经地下水校正前后重力点值变化(单位:10⁻⁸ms⁻²)

测点																
观测日期 (年-月)	永春 4305				安溪 7001				泉州 5800				惠安 5900			
	校正 前重 力值	水位 变化 (mm)	校正 量	校正 后重 力值	校正 前重 力值	水位 变化 (mm)	校正 值	校正 后重 力值	校正 前重 力值	水位 变化 (mm)	校正 值	校正 后重 力值	校正 前重 力值	水位 变化 (mm)	校正 值	校正 后重 力值
2008-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009-05	-9	1	5	-4	-7	0	-3	-10	9	0	3	12	12	2	24	36
2009-11	-16	0	3	-13	-25	0	1	-25	-4	0	-4	-9	0	0	4	5
2010-06	-3	1	5	2	-13	1	11	-2	1	0	-4	-4	-4	2	19	16
2010-11	-10	0	2	-7	-17	0	-4	-21	2	-1	-6	-4	-7	1	7	0
2011-06	-8	1	6	-2	-20	1	7	-13	8	0	-4	3	-11	2	18	7
2011-11	-6	0	4	-1	-25	-1	-7	-32	4	0	-4	-1	-6	0	-1	-8
2012-04	-7	1	14	6	-21	-1	-10	-11	12	0	4	16	-3	0	5	2

测点																
观测日期 (年-月)	石狮 6903				泉港 6102				永安 33700				宁德 30400			
	校正 前重 力值	水位 变化 (mm)	校正 量	校正 后重 力值	校正 前重 力值	水位 变化 (mm)	校正 值	校正 后重 力值	校正 前重 力值	水位 变化 (mm)	校正 值	校正 后重 力值	校正 前重 力值	水位 变化 (mm)	校正 值	校正 后重 力值
2008-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009-05	14	0	-5	9	-5	0	-2	-7	5	0	-1	4	20	0	2	22
2009-11	30	0	2	32	12	0	0	12	11	0	0	11	6	0	1	7
2010-06	3	0	-5	-2	12	-1	-7	5	7	-1	-6	1	11	-1	-6	4
2010-11	15	-1	-7	7	20	0	-1	19	10	0	-1	9	-6	0	-1	-6
2011-06	29	0	-5	23	12	0	-1	11	4	0	-1	3	10	0	0	11
2011-11	25	0	1	26	6	0	0	7	9	0	0	9	50	0	-3	47
2012-04	14	0	-2	12	12	0	-1	11	7	0	-5	3	64	0	-4	59

测点																
观测日期 (年-月)	梅花枝 1(200)				上街 32500				丹阳 30200				罗源 30300			
	校正 前重 力值	水位 变化 (mm)	校正 量	校正 后重 力值	校正 前重 力值	水位 变化 (mm)	校正 值	校正 后重 力值	校正 前重 力值	水位 变化 (mm)	校正 值	校正 后重 力值	校正 前重 力值	水位 变化 (mm)	校正 值	校正 后重 力值
2008-12	0	0.0	0	0	0	0.0	0	0	0	0.0	0	0	0	0.0	0	0
2009-05	27	-0.2	-2	25	12	0.3	3	15	34	-0.1	-2	32	37	0.2	2	39
2009-11	35	0.0	0	35	20	0.2	2	21	30	-0.1	-1	30	33	-0.1	-1	32
2010-06	30	-0.9	-9	21	5	0.6	7	12	23	-0.4	-4	19	28	-0.4	-4	24
2010-11	22	-0.6	-6	16	20	-0.1	-1	19	11	0.0	0	11	11	-0.1	-1	10
2011-06	30	-0.6	-6	24	26	0.4	4	31	40	0.0	0	40	42	-0.1	-1	41
2011-11	45	-0.6	-6	39	28	0.6	6	33	58	0.0	0	58	62	-0.3	-3	59
2012-04	47	-0.9	-10	37	41	-0.3	-3	38	61	-0.1	-1	60	55	-0.3	-4	52

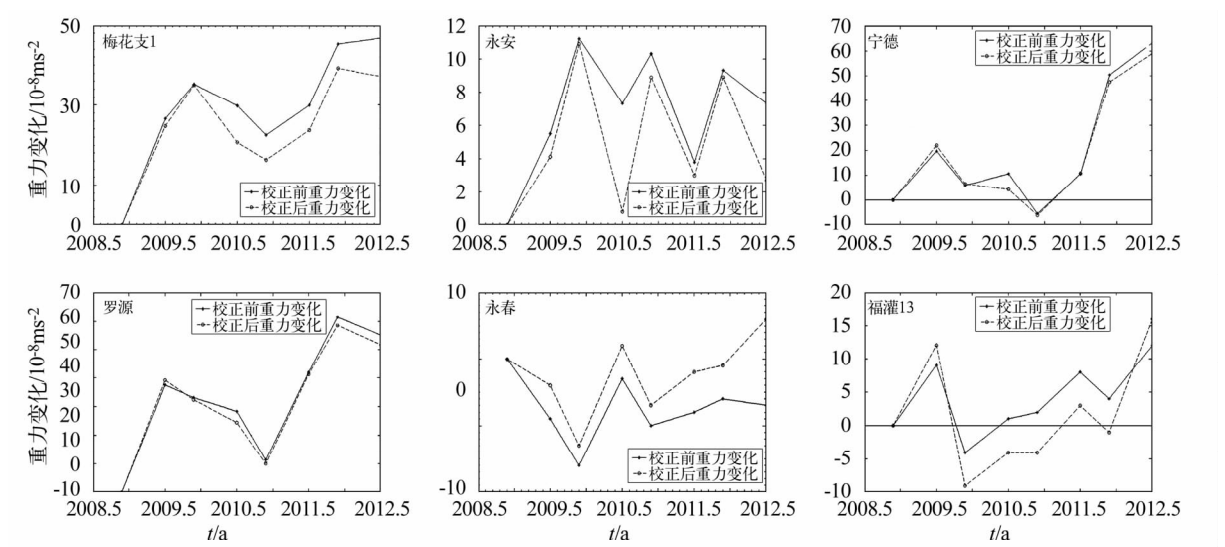


图3 部分测点校正前后的重力点值变化(单位: 10^{-8}ms^{-2})

Fig. 3 Gravity point value changes before and after correction(unit: 10^{-8}ms^{-2})

表2 各井潜水水位最大变化量引起的重力效应

Tab. 2 Gravity effect caused by the maximum of various wells diving water level

井名	2003—2012 H_1 (m)	2003—2012 H_2 (m)	水位变化 Δh (mm)	给水密度 (g/cm^3)	重力效应 ($10^{-8}\text{m}/\text{s}^2$)	平均水位 \bar{h} (m)	最大半径 R (m)
宁德井	0.71	1.76	1.05	0.25	11.0	1.24	14
长乐营前	-0.04	1.14	1.18	0.25	12.4	0.55	7
福州浦东	4.63	5.92	1.29	0.25	13.6	5.27	71
连江江南	5.59	6.48	0.89	0.25	9.3	6.03	56
罗源祥后里	0.29	1.08	0.79	0.25	8.3	0.69	6
闽清梅埔	-2.60	1.51	4.11	0.25	43.2	-0.55	24
永安冷冻厂	6.21	7.41	1.20	0.25	12.6	6.81	86
永春	3.07	9.83	6.76	0.25	71.0	6.45	458
安溪	4.40	11.50	7.09	0.25	74.5	7.95	592
泉州	0.29	4.74	4.45	0.25	46.8	2.51	118
惠安1号	0.43	5.84	5.41	0.25	56.8	3.14	178
泉港	4.05	6.61	2.56	0.25	26.9	5.33	143
石狮	3.03	6.59	3.57	0.25	37.5	4.81	180

4 结论

用高精度的重力测量资料研究地壳深部构造活动,探讨重力场时空变化与地震孕育、发生的关系,需要消除地下水等因素产生的影响。

测区内每年夏秋两季地下水变化较大,在应用、研究重力资料时应该考虑它的影响。平原地区的流动重力观测受地下水影响较小,一是因为其观测精度为几十 $\times 10^{-8}\text{ms}^{-2}$,二是相邻两测点的地下水影响有时可以抵消一部分;但在山区和岩溶地区,相邻两测点受影响的差别可能很大,对段差值的影响有可能超过观测精度,甚至超过一倍以上,这与地震引起的重力变化量级是相当的,应当注意识别。因此,

在选点时应收集地下水资料;在对观测资料进行分析时,除了结合应力、应变资料进行综合分析外,还应结合地下水资料,进行改正分析。

参 考 文 献

1 李天生,等. 京津文霸地区重力复测成果的地形变地下水校正[J]. 地壳形变与地震,1990,(3):68-75.
2 吴雪芳,田世华. 重力变化与地壳形变、地下水关系的研究[J]. 地震学报,1992,14(增刊):653-661.
3 贾民育,等. 地下水活动对精密重力测量的影响及排除方法[J]. 地壳形变与地震,1983,(1):50-67.
4 许天铭,管泽森,侯思聪. 地下水对地球重力场的扰动[J]. 地震科学研究,1980,1(1):66-68.