

# Analysis of the Relationship between Gravity Change and Subsurface Temperature in Hangzhou

Yaoqi Yang

Hangzhou Zhejiang

Email: 3263846429@qq.com, 756730238@qq.com

Received: Aug. 3<sup>rd</sup>, 2019; accepted: Aug. 21<sup>st</sup>, 2019; published: Aug. 28<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Surface gravity change is influenced by solid tide, sea tide, atmospheric tide and other conventional environmental factors, but these factors have little effect on gravity change. What unknown factors greatly affect the change of gravity? From January to August 2017, the gravity of Hangzhou was measured and compared with the subsurface temperature change from 0 cm to 320 cm in the same period. It was found that the change of gravity corresponds well with the absolute value of the difference of subsurface temperature between 160 cm and 320 cm. Therefore, there may be some correlation between surface gravity change and deep subsurface temperature change.

## Keywords

Hangzhou, Gravity, Subsurface Temperature, Solid Tide, Sea Tide

---

# 杭州重力变化和地温关系剖析

杨尧其

浙江 杭州

Email: 3263846429@qq.com, 756730238@qq.com

收稿日期: 2019年8月3日; 录用日期: 2019年8月21日; 发布日期: 2019年8月28日

---

## 摘要

地表重力变化受固体潮、海潮、大气潮和其它常规环境因素的影响, 但影响不大。是什么未知因素较大程度影响重力变化? 2017年1~8月, 测得杭州重力并与同期0~320厘米地温变化作比较。发现: 重力变

化和160~320厘米地温的差值的绝对值变化较好地相对应。由此推测，地表重力变化和深层地温变化可能存在一定的关联。

## 关键词

杭州，重力，地温，固体潮，海潮

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在地球表面，重力受诸多环境因素的影响，会显现一定程度的季节性重力变化现象。因环境各异，不同地区重力变化幅度不尽相同，对此前人做了许多深入的研究。

拉萨 2009~2011 年的重力振幅在 300 微伽( $1 \text{ 伽} = 10^{-2} \text{ m/s}^2$ )左右，大气变化引起的重力变化最大幅度达到 11.23 微伽，其它因素对重力的影响都很小[1]，未见重力变化的主因。卢婷等指出，成都重力每年 1 月和 12 月出现峰值，6 月出现谷值，年变幅度在 2000 微伽左右。气温、气压、地下水和固体潮等的直接影响不大，重力年变可能另有主因[2]。日全食等天文现象对重力变化影响可忽略[3] [4]。

近四十年，各科研团队测得的 G (万有引力常数)值的不确定度在一百万分之几十到几百之间不等。罗俊团队近年最新测得的 G 值的相对不确定度在一百万分之十二(12 p.p.m.)以内，分别达到 11.64 p.p.m. 和 11.61 p.p.m.，比 2016 年更新后的 G 值(CODATA-2014，相对不确定度为 47 p.p.m.)更优[5]。但这仍然是最不精确的基本物理常数。

综合分析和研究认为，一般环境因素对重力变化的影响较小，还未发现导致重力变化的主因。从全球范围看，国外对重力变化的研究也没有取得突破性的进展。

除了影响重力的一般环境因素外，非常因素如地温及其变化是否会对重力变化产生一定的影响？关于地温是否对重力有影响，国内外均未见有相关报道。通过实验和比较，发现深层地温差的变化与重力变化的节奏相近(基本一致)，地表重力变化和深层地温变化可能有一定的相关性。

## 2. 实验和方法

### 2.1. 测重方法

在进行一系列长期测量实验前，校准电子天平。在进行一系列长期实验期间，不校准电子天平，不校准电子天平的目的是为了统一测重基准。

### 2.2. 测量设备

电子天平一架(执行标准：GB/T 26497-2011，China)，实际分度值：1 毫克，量程：200 克。电子天平拓展不确定度为 1。

### 2.3. 测试对象

一重物块组合。它由 100 克砝码和 50 克砝码各一枚组成，测量时先放置 100 克砝码在电子天平托盘中央，后放置 50 克砝码在 100 克砝码的正上方。

## 2.4. 测量位置和日期

A 测量位, 测量日期: 2017 年 1 月 1 日至 2017 年 4 月 22 日。测量位置(东经 120°10'左右, 北纬 30°15'左右, 海拔 10 米左右), 位置相对于地球固定不变。

B 测量位, 测量日期: 2017 年 4 月 28 日至 2017 年 8 月 31 日。测量位置(东经 120°15'左右, 北纬 30°5'左右, 海拔 10 米左右), 位置相对于地球固定不变。

A、B 两测量位之间的直线距离 20 千米左右, 中间无大山阻隔。

## 2.5. 测量环境

环境温度: 室内常温。测量时测量位无明显振动。长期测量期间, 确保测量位的周围自然环境没有巨大的根本性的变化。

## 2.6. 测量流程

在测量重力期间, 每天测量重物块组合的重力。测得的重力数据(如: 150,000)的重力单位定义为“毫克力”(mgf), 即一毫克质量的物质在测量位产生的重力。在测量时间段(一般 10 分钟左右), 多次测量重物块组合的重力, 记录全部重力数据。实验期间共测得 238 组重力数据, 2 月 10 日和 11 日两天出现幅度达 3 毫克力的较大重力异常波动(超过电子天平拓展不确定度 1 的范围), 异常波动率为 0.84%, 其它日期重力数据(99.16%)波动都在误差范围内。

## 2.7. 统计方法

每天, 取在一个测量时间段内多次测得的重力数据的算术平均数, 作为这一天重物块组合的重力数据。每月各天实测的算术平均作为月重力均值数据。

2017 年 1 月 1 日~8 月 31 日, 共 243 天。4 月份, 因客观原因, 重力观测点从 A 点移到 B 点, 其中有 5 天(4 月 23 日至 4 月 27 日)缺少重力数据。因 A、B 两观测点相距不远(直线距离 20 千米左右), 环境基本相同, 这里忽略 A、B 两测点的实际重力差异。

在 4 月 23 日之前 5 日(记为: 22P)的平均值(记为: A1)和 4 月 27 日之后 5 日(记为: 28P)的平均值(记为: A7)之间依次插入 A2、A3、A4、A5、A6, 使 A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7 构成等差数列, 把插入的 5 个数作为对应日期(23 日~27 日)的重力补缺值, 日期和重力补缺值的对应关系如表 1。

**Table 1.** Corresponding table of dates (23 - 27) and gravity filling values. In the table, “22P” refers to 5 days before the 23rd and “28P” refers to 5 days after the 27th

**表 1.** 日期(23 日~27 日)和重力补缺值对应表。表中“22P”指代 23 日之前 5 日, “28P”指代 27 日之后 5 日

日期	22P	23	24	25	26	27	28P
重力值	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7

4 月份, 日历共 30 天, 实测天数 25 天, 补足 5 天缺数(重力补缺值), 则 30 天的算术平均作为月值数据。

现在, 要把直接测得并经统计后的月值数据(V, 毫克力)转换成重力加速度(毫伽)。记最大月值为“V<sub>大</sub>”, 最小月值为“V<sub>小</sub>”, 基准值为“150,000”, 则振幅为(V<sub>大</sub> - V<sub>小</sub>), 振幅占总值的百分比为(V<sub>大</sub> - V<sub>小</sub>)/150,000。

取杭州的重力加速度(指定值) 979,360 毫伽, 则杭州的重力加速度在 2017 年 1 月至 8 月间的振幅为 979360 × [(V<sub>大</sub> - V<sub>小</sub>)/150000] 毫伽, 与每一单位月值数据相当的毫伽数为:

$$\left\{ 979360 \times \left[ \frac{(V_{\text{大}} - V_{\text{小}})}{150000} \right] \right\} / (V_{\text{大}} - V_{\text{小}}) = 979360 \div 150000 = 6.5290666 \dots \approx 6.5291$$

换句话说, 统计得到的重力月值数据(V, 毫克力)乘以 6.5291 就是重力加速度(毫伽)的值, 数学表达为: 重力加速度 =  $V \times 6.5291$  (毫伽)。

### 3. 结果和讨论

2017 年 1 月~8 月, 测量并统计得到杭州重力(加速度)月值变化, 如图 1。

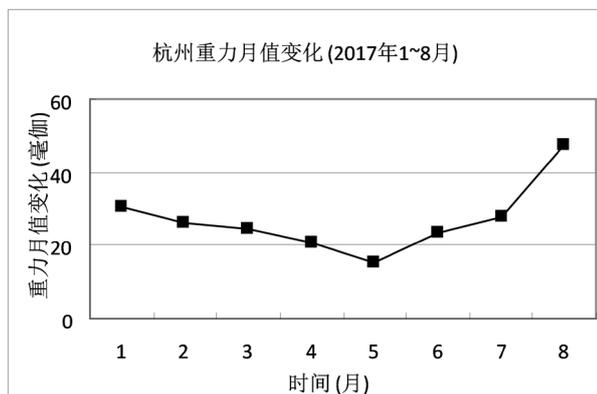


Figure 1. Gravity change diagram of Hangzhou (unit: mGal)  
图 1. 杭州重力变化图(单位: 毫伽)

从图 1 看, 1 月~8 月, 杭州重力变化较明显, 变化幅度约在一百万分之三十(30 p.p.m.)左右, 与 G 值的不确定度在一百万分之几十到几百之间相呼应[5], 两者基本一致。这一变化是由什么因素引起的, 下面作简要分析和讨论。

地处内陆的成都与中国沿海海岛环境不同, 环境对重力变化的影响也不同, 分别为 340 微伽[2]、360 微伽左右[6], 如表 2。

Table 2. Analysis table of influence of surrounding environment on gravity change in Chengdu and China's coastal islands (unit:  $\mu$ Gal)

表 2. 成都和中国沿海各岛周边环境对重力变化影响分析表(单位: 微伽)

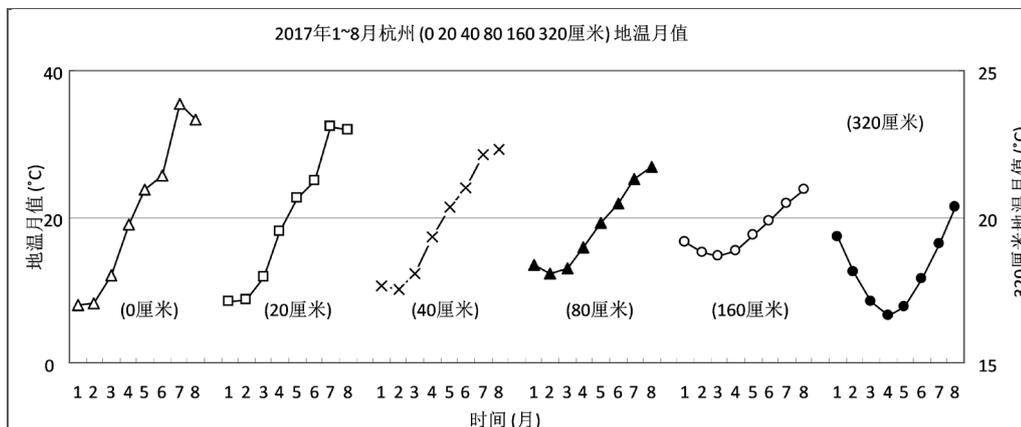
	固体潮	地下水	气压	其它
成都	240	50	24	很小
三项合计: 不足 100				
合计	340			
	固体潮	海潮	其它	合计
海岛	300	50	10	360

上述对常规环境因素的分析结果与重力潮汐和非潮汐变化可能达到 450 微伽的结论[7]相符。

杭州距东海 200 千米左右, 受海潮的直接受影响比沿海岛屿要小些, 估计环境对杭州重力的影响在成都(340 微伽)和海岛(360 微伽)间, 重力变化受一般环境影响的程度可能在 350 微伽(0.35 毫伽)左右, 一般不会大于 450 微伽(0.45 毫伽), 这一(微伽)量级变化不会影响杭州重力(毫伽)量级变化的大趋势, 参阅图 1。

那么, 是什么未知的非常规因素导致杭州重力出现较大的季节变化的?

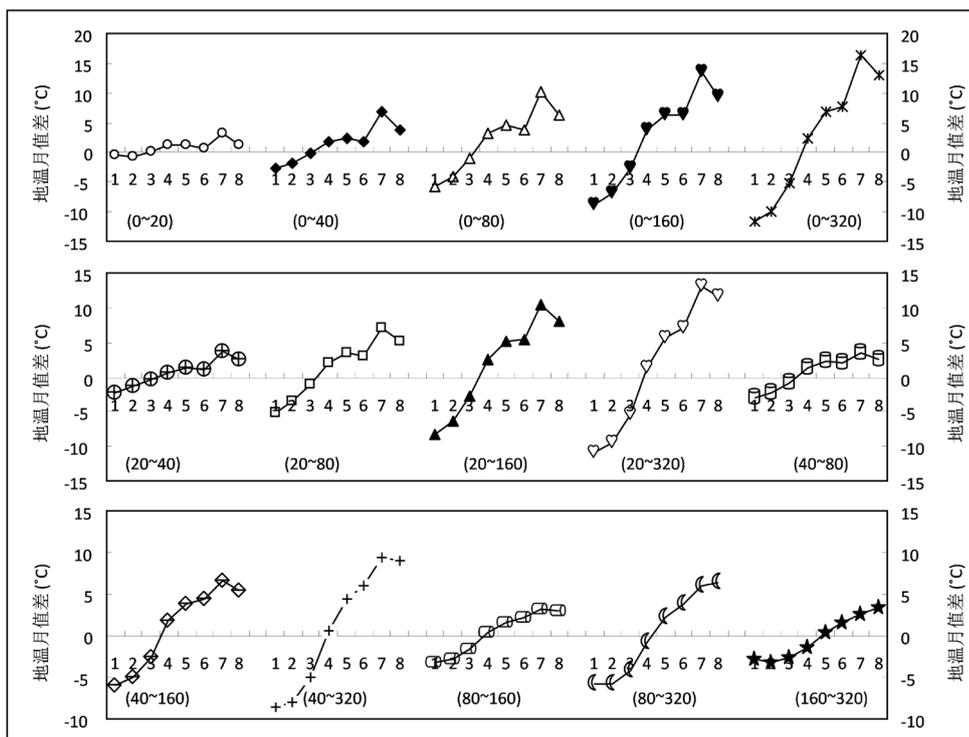
利用浙江省气象局提供的杭州站 2017 年 1~8 月地温月值资料, 杭州不同深度地温月值如图 2。



**Figure 2.** Monthly trend of subsurface temperature at different depths in Hangzhou  
**图 2.** 杭州不同深度地温月值走势

从图 2 看出, 0 厘米至 160 厘米各不同深度地温月值的低谷值出现在 3 月及 3 月之前, 320 厘米地温月值的低谷值出现在 4 月份, 而重力低谷值出现在 5 月份(如图 1)。初步分析认为, 不同深度地温月值变化和重力月值变化没有直接关联。

现, 计算不同月份不同深度地温月值的差值(即较浅层地温月值减去较深层地温月值, 如, 1~8 月份, 0 厘米地温月值减去 20 厘米地温月值, 标识为“(0~20)”), 依次列举, 如图 3。



**Figure 3.** Monthly subsurface temperature differences at different depths in Hangzhou. “12345678” below the “0” line (X-axis) represents the time (month). Mark under each curve, such as “(0~20)”, the corresponding curve is “(0 cm) monthly subsurface temperature value of each month minus (20 cm) monthly subsurface temperature value of each month”, the rest of the analogy

**图 3.** 杭州不同深度地温月值差。“0”线(X轴)下面“12345678”字样表示时间(月份)。各曲线如下“(0~20)”字样的标识, 表示对应曲线是“0 厘米对应月份地温月值减去 20 厘米对应月份地温月值的差值”, 其余类推

图3, 可以看出, 1~8 月间, 地温月值差曲线总体呈上升趋势, 低谷在 1~2 月份。这一结果与重力月值变化(参阅图 1)没有明显关联。

但, 如以“0”点线(X 轴)为地温月值差曲线的上下分界, 比较图 3 和图 1, 发现, 地温月值差曲线在“0”线以下(负值)的月份, 重力月值大多下降(减小); 地温月值差曲线在“0”线以上(正值)的月份, 重力月值大多上升(增加)。这一发现, 似乎看到了地温月值差(正负)和重力月值变化(增减)的一些隐性关联, 但这并不十分严谨。

进一步, 取不同深度地温月值差的绝对值, 如图 4。

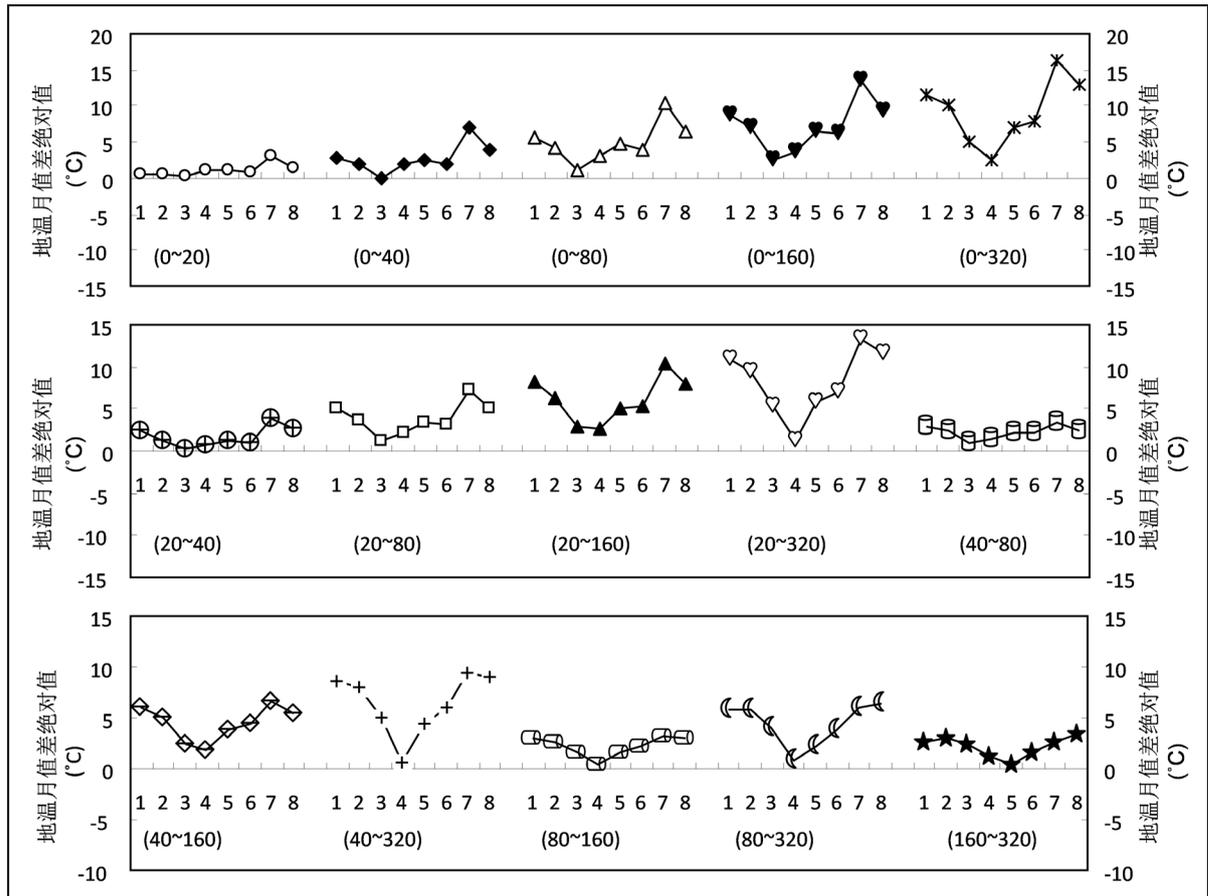
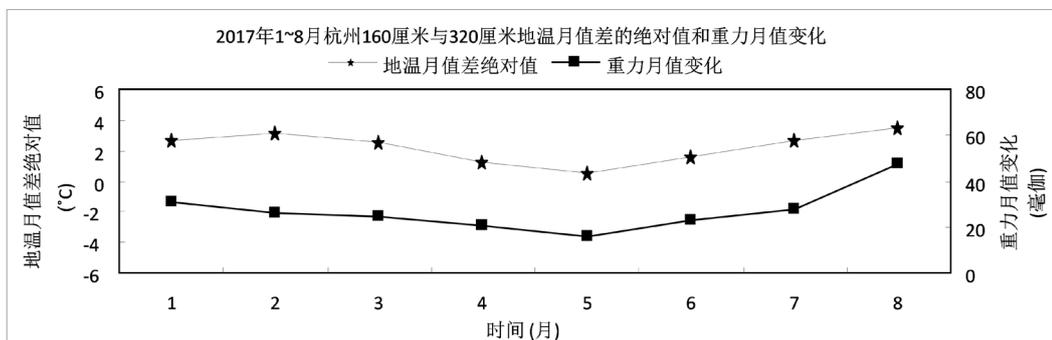


Figure 4. Absolute values of monthly subsurface temperature differences at different depths in Hangzhou. “12345678” below the “0” line (X-axis) represents the time (month). Mark under each curve, such as “(0~20)”, represents the corresponding curve is “the absolute value of that (0 cm) monthly subsurface temperature value of each month minus (20 cm) monthly subsurface temperature value of each month”, the rest of the analogy

图 4. 杭州不同深度地温月值差绝对值。“0”线(X 轴)下面“12345678”字样表示时间(月份)。各曲线下如“(0~20)”字样的标识, 表示对应曲线是“0 厘米对应月份地温月值减去 20 厘米对应月份地温月值的差值的绝对值”, 其余类推

图 4 和图 1 比较, 看到只有“(160~320)”对应曲线低谷出现在 5 月份, 而重力低谷也出现在 5 月份(对比图 1), 正好相符。其余曲线低谷均出现在 3、4 月份, 明显不符。

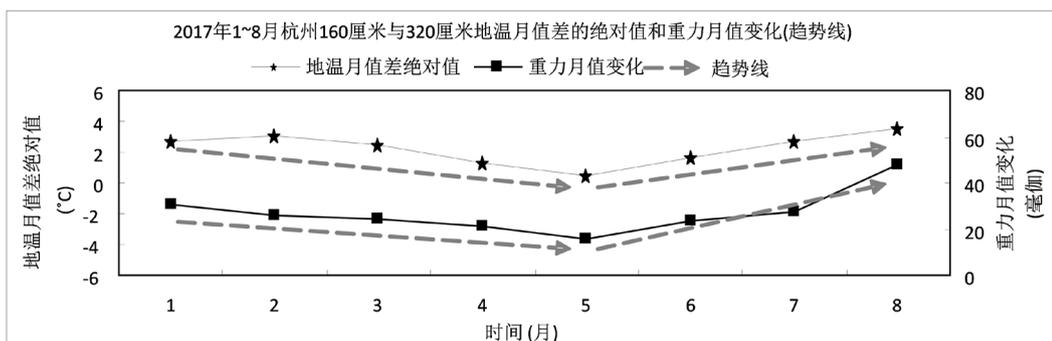
把图 4 中“(160~320)”对应曲线和图 1 合并, 如图 5。发现, 2017 年 1 月~8 月期间, 杭州 160 厘米地温月值与 320 厘米地温月值的差的绝对值(本文中, 以下简称: DABS)的变化和杭州重力月值变化呈现较好的一致性。



**Figure 5.** Comparisons of changes of monthly gravity value and the absolute of monthly subsurface temperature difference in Hangzhou

**图 5.** 杭州重力月值变化和地温月值差绝对值变化比较

如果，把 1 月~8 月时间段分割成 1 月~5 月和 5 月~8 月两个时间段，对图表的前后两部分进行趋势分析，如图 6。



**Figure 6.** Comparisons of changes trend of monthly gravity value and the absolute of monthly subsurface temperature difference in Hangzhou (Gray dotted line)

**图 6.** 杭州重力月值变化趋势和地温月值差绝对值变化趋势比较(灰色虚线)

从图 6 看(为了便于观察趋势线走向，对各趋势线的上下位置作适当调整)，1 月~5 月，DABS 变化趋势和重力月值变化趋势同时递减(递增率均为负值)，见数据表 3；5 月~8 月，DABS 变化趋势和重力月值变化趋势同时递增(递增率均为正值)，见数据表 4。另外，5 月~8 月，DABS 变化趋势和重力月值变化趋势均比 1 至 5 月的变化趋势要大些(递增率绝对值分别是 1 至 5 月的 1.629 倍和 2.834 倍)，见数据表 5。DABS 和重力月值低谷同时在 5 月份出现，如图 6 中灰色虚线所示。

**Table 3.** Comparison table of trend values of DABS and gravity from January to May

**表 3.1** 至 5 月 DABS 和重力趋势值比较表

月份	1	2	3	4	5
x 取值	1	2	3	4	5
DABS 趋势线公式	$y = -0.62x + 3.88$				
DABS 递增率	-0.62				
DABS 趋势值(°C)	3.26	2.64	2.02	1.4	0.78
重力趋势线公式	$y = -3.5557x + 34.188$				
重力递增率	-3.5557				
重力趋势值(毫伽)	30.6323	27.0766	23.5209	19.9652	16.4095

**Table 4.** Comparison table of trend values of DABS and gravity from May to August  
**表 4.** 5 至 8 月 DABS 和重力趋势值比较表

月份	5	6	7	8
x 取值	1	2	3	4
DABS 趋势线公式	$y = 1.01x - 0.45$			
DABS 递增率	1.01			
DABS 趋势值(°C)	0.56	1.57	2.58	3.59
重力趋势线公式	$y = 10.076x + 3.2882$			
重力递增率	10.076			
重力趋势值(毫伽)	13.3642	23.4402	33.5162	43.5922

**Table 5.** Growth rate comparison table  
**表 5.** 递增率比较表

月份	1 至 5 月	5 至 8 月
DABS 递增率	-0.62	1.01
DABS 相对递增率	(设定值) -1	(绝对值倍值) 1.629
重力递增率	-3.5557	10.076
重力相对递增率	(设定值) -1	(绝对值倍值) 2.834

分析表明, 1 月~5 月, 杭州重力月值和 DABS 同时呈递减趋势; 5 月~8 月, 杭州重力月值和 DABS 同时呈递增趋势且相对增速均较 1 至 5 月大; 2017 年 5 月, 杭州重力月值和 DABS 同时出现低谷。总体看, 2017 年 1 月~8 月, 杭州重力变化和 DABS 的变化趋势基本一致。

不幸的是, 2017 年 2 月和 7 月, 杭州 DABS 和重力月值出现一些不协调。是受什么因素干扰? 有待进一步的求证。

#### 4. 结论

通过对杭州重力变化和深层地温变化的比较分析, 得出结论:

1) 地表重力变化和深层地温变化可能存在一定的关联。  
 2) 较深层地温差变化和地表重力变化的同期大趋势基本接近, 这一现象是巧合? 是二者本来就存在的内在联系? 目前无法判定, 这有待证实。

3) 由于分析周期短、设备简陋和其它相关数据支持不足, 一定程度地制约了重力研究的深入。全面深入剖析地表重力变化和地温关系, 并非一朝一夕之功, 还需要长期不懈的努力。

#### 感谢

编辑和审稿专家对本文提出的许多宝贵的意见和建议。

杭州师范大学研究生院陈丹宇教授的指点和帮助。

杭州师范大学理学院周能吉副教授、孙哲副教授的指点和帮助。

#### 参考文献

[1] 徐建桥, 陈晓东, 周江存, 等. 拉萨重力潮汐变化特征[J]. 科学通报, 2012, 57(22): 2094-2101.

- 
- [2] 卢婷, 杜斌, 袁燕妮, 等. 成都台重力观测数据变化分析[J]. 四川地震, 2009(3): 32+38-41.
- [3] 王谦身, 杨新社, 汤克云. 漠河日全食期间的重力异常[J]. 科学通报, 2001, 46(12): 1044-1048.
- [4] 姚垚, 李辉, 韦进, 等. 2009年7月22日武汉日全食重力效应研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2013, 33(1): 20-22.
- [5] Li, Q., Xue, C., Liu, J.-P., *et al.* (2018) Measurements of the Gravitational Constant Using Two Independent Methods. *Nature*, **560**, 582-588. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0431-5>
- [6] 邓洪涛, 赵璐成, 罗志才. 中国海域岛礁重力测量及潮汐改正[J]. 测绘地理信息, 2018, 43(1): 15-19.
- [7] 王谦身, 等. 重力学[M]. 北京: 地震出版社, 2003: 439.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-0916, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [mp@hanspub.org](mailto:mp@hanspub.org)