

气压变化对石英弹簧重力仪读数的影响

赵炜 孙大武 童欣生 李春明 张凌

朱朗宁 果有文 孟祥霞 夏岩

(国家地震局综合流动观测队)

摘 要

根据我们在低压仓中对国产ZSM—Ⅲ型(简称Z)、美国Wodnre(简称W)及加拿大Scintrex CG—2型(简称C)8台重力仪进行气压实验的结果,气压变化和重力仪读数呈极好的线性关系,但每台仪器有不同的回归系数,因此在以地震预报为目的的高精度重力测量中,应该对野外观测的结果进行气压改正。用高差所建立的重力基线场的数值是否准确有进一步考虑的必要。

一、引 言

观测重力时间变化的重复重力测量对测量精度的要求越来越高,许多原来所忽视的系统性误差逐渐被发现,有的误差与重力仪本身的结构或工艺有关。

原来人们认为现代石英弹簧重力仪的敏感元件都放在密封的真空容器中,不会受气压变化的影响,但六十年代以来的一些研究否定了这样的看法。捷克的Gargalovic等人曾用Sharpe C—226°、280°及W—978°三台重力仪进行过气压试验^[1],发现这三台仪器的读数都随气压的降低而减小,W—978°的读数受影响的量远大于C型仪器。由于所使用的仪器数量少,实验时抽气机震动强烈,造成数据波动很大,可信度不高。

为了验证这一现象,研究气压对我们在野外测量中所使用的各种类型石英弹簧重力仪的影响,探讨对野外成果进行气压改正的途径,我们同时用八台重力仪进行了气压影响实验。

二、实 验 过 程

1. 低压仓

实验在低压仓内进行,该仓实验条件如下:

仓室海拔40米,每一停留高度仓内气压波动在 ± 1 毫米汞柱以内。仓外控制板可控制升、降压及速度,并可读出仓内气压及温度。低压仓置于有空调的工作室内。

2. 实验步骤

实验前把仪器放入工作室静置一天, 工作室温度保持在 $26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。根据国内绝大部分测点的海拔确定气压试验的最大高程为3000米, 与仓室所在地面气压差为-233毫米汞柱, 并在仓室高程40米和3000米之间分别设立610米、930米、2000米三个停留高度, 它们与地面的气压差分别为-54、-80、-162毫米汞柱。

全部共测4个测回, 每个测回均由地面气压开始降压, 分别在各个高度的相应的气压上停留观测, 至3000米高度后再逐渐升压, 仍分别在各个高度停留观测, 直至回到地面气压, 完成一个测回。升降压速度约每秒5—8米。其中第一、三测回在每个高度停15分钟, 每隔5分钟读一次数, 共读四次; 第二、四测回每个高度停留10分钟, 共读三次数。上午连续完成第一、二测回, 第一测回的最后一组读数即第二测回的第一组数。下午以同样的方式连续进行第三、四测回的观测。

每改变一次气压, 各台仪器的气泡都略微向同一方向偏移。因此每次改变气压后都需重新置平仪器。

电动机和抽气机都远离低压仓, 开动时的振动对重力仪读数的影响不大。

3. 观测数据 (见表1, 表2)

气压试验各测回观测情况 表1

测回	仪器型号 项目	W—	W—	W—	Z—	Z—	Z—	C—	C—
		1171	1172	1177	214	215	281	371	372
I	平均温度	26.7°C	27.3°C	26.7°C	26.9°C	26.9°C	26.8°C	26.6°C	27.5°C
	极温差	0	1.1°C	0.2°C	0.2°C	0.2°C	0.3°C	0	0.2°C
	实验时间	144m							
	回归系数	2.807	1.905	2.680	1.515	0.711	1.068	1.065	1.098
	相关系数	0.997	0.998	0.998	0.996	0.993	0.999	0.999	0.988
II	平均温度	27.1°C	28.1°C	27.1°C	27.0°C	26.9°C	26.9°C	27.6°C	27.6°C
	极温差	0.6°C	0.5°C	0.5°C	0.2°C	0.2°C	0.3°C	0.2°C	0.2°C
	实验时间	102m							
	回归系数	1.494	1.325	2.575	1.534	0.580	0.982	0.773	1.099
	相关系数	0.999	0.999	0.999	0.997	0.990	0.999	0.992	0.997
III	平均温度	27.4°C	28.0°C	27.4°C	27.2°C	27.2°C	27.2°C	27.0°C	27.7°C
	极温差	0.6°C	0.9°C	0.6°C	0.4°C	0.4°C	0.3°C	0.1°C	0.2°C
	实验时间	137m							
	回归系数	1.621	1.380	2.494	1.498	0.557	0.895	0.722	1.143
	相关系数	0.999	0.998	1.000	0.998	0.965	0.999	0.998	0.994
IV	平均温度	27.8°C	28.6°C	27.9°C	28.0°C	27.6°C	27.2°C	27.1°C	27.9°C
	极温差	0	0.3°C	0.3°C	1.1°C	0.3°C	0.3°C	0.2°C	0.2°C
	实验时间	110m							
	回归系数	1.606	1.370	2.316	1.362		0.919	0.662	1.003
	相关系数	1.000	0.999	0.995	0.997		0.999	0.996	0.997
平均	回归系数	1.882	1.492	2.515	1.481	0.585	0.959	0.804	1.083
	相关系数	0.999	1.000	0.999	0.999	0.994	1.000	0.999	0.995
备注	回归方程系数的单位为微伽/毫米汞柱								

气压试验各测回平均读数变化

表2

仪器项目	编 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
		气压差									
		平均气压差	mmHg	-54	-80	-163	-233	-161	-78	-52	0
		对应高程	0								
		mmHg	-53	-79	-162	-233					
		0									
		40 m	610	930	2000	3000					
W-1171	相对读数		-79 (-74)	-63 (-49)	-175 (-107)	-180 (-134)	99	144	40	86	
	累计读数	0	-79 (-74)	-142 (-123)	-317 (-230)	-497 (-364)	-398 (-265)	-254 (-121)	-214 (-81)	-128 (6)	
	掉格改正读数	0	-63 (-75)	-110 (-124)	-269 (-232)	-433 (-366)	-318 (-268)	-158 (-125)	-102 (-85)	0	
	升降平均读数	0	-82 (-80)	-134 (-124)	-294 (-250)	-433 (-366)					
W-1172	相对读数		-84	-35	-135	-105	129	94	48	72	
	累计读数	0	-84	-119	-254	-359	-230	-136	-88	-16	
	掉格改正读数	0	-82	-115	-248	-351	-220	-124	-74	0	
	升降平均读数	0	-78	-120	-234	-351					
W-1177	相对读数		-66	-72	-228	-219	109	216	74	167	
	累计读数	0	-66	-138	-366	-585	-476	-260	-186	-19	
	掉格改正读数	0	-64	-133	-359	-575	-464	-246	-169	0	
	升降平均读数	0	-116	-190	-412	-575					
Z-214	相对读数		-1	-14	-109	-110	82	159	72	124	
	累计读数	0	-1	-15	-124	-234	-152	7	79	203	
	掉格改正读数	0	-26	-66	-200	-336	-279	-145	-99	0	
	升降平均读数	0	-62	-106	-240	-336					
Z-215	相对读数		-9	2	-42	-67	37	26	40	67	
	累计读数	0	-9	-7	-49	-116	-79	-53	-13	54	
	掉格改正读数	0	-16	-21	-69	-143	-113	-93	-60	0	
	升降平均读数	0	-38	-57	-91	-143					
Z-281	相对读数		-39	-17	-86	-76	48	83	32	64	
	累计读数	0	-39	-56	-142	-218	-170	-87	-55	9	
	掉格改正读数	0	-40	-58	-145	-222	-176	-94	-63	0	
	升降平均读数	0	-52	-76	-160	-222					
C-371	相对读数		-52	-20	-104	-99	1	36	19	44	
	累计读数	0	-52	-72	-176	-275	-274	-238	-219	-175	
	掉格改正读数	0	-30	-28	-110	-187	-165	-107	-66	0	
	升降平均读数	0	-48	-68	-138	-187					
C-372	相对读数		-10	-28	-121	-108	-4	97	35	89	
	累计读数	0	-10	-38	-159	-267	-271	-174	-139	-50	
	掉格改正读数	0	-4	-26	-140	-242	-240	-136	-95	0	
	升降平均读数	0	-50	-81	-190	-242					
备 注	读数单位全部为微伽 W-1171带括号的数据是舍去第一测回中降压数据后得到的										

将每个高度的三次（或四次）读数分别乘格值加固体潮改正后取中数，作为一个停留高度的读数，相邻两个高度的读数差就是表中的相对读数。对观测数据进行了漂移改正，改正时假定每一个测回内漂移为线性，并且由于各个高度间用的时间大致相同，所以按等时作漂移改正。

Z-215型仪器第四测回从第二组数改变读数位置，故未作掉格改正。

三、实验结果初析

1. 图1、图2显示了实验所用的全部仪器的气压影响，图1根据实测值作出，仅作了固体潮改正，图2增加了漂移改正。

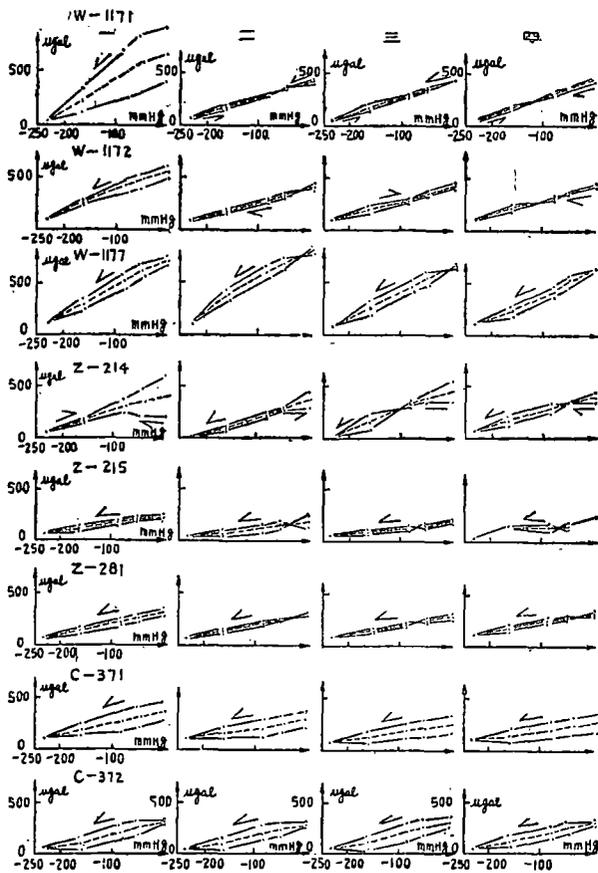


图1 石英弹簧重力仪的气压影响
(未加掉格改正)

Fig.1 Influence of atmospheric pressure upon quartz gravimeter (not correct drift)

从图中清楚地看出所有仪器都出现随气压减小，重力值减小的现象，这个结果和文献[1]的结论一致，而且气压和所测得重力值之间有很好的线性关系，用升降平均气压和升降平均读数进行线性回归，得回归方程： $g = a + bp$ ，其中 g 为测量重力值， p 为气压， b 是仪器的气压系数，这是一个十分重要的数值，因为它代表了仪器对气压的反应。

八台仪器共31个测回，各自线性回归的结果见表1，最大的 b 值为+2.680微伽/毫米汞柱，最小的 b 值为+0.557微伽/毫米汞柱，相关系数最大的为1.000，最小的是+0.965，都在 $a = 0.01$ 的水平上显著。用每台仪器各测回中数作的回归的相关系数最低是+0.994，可见气压和读数成极好的线性正相关。

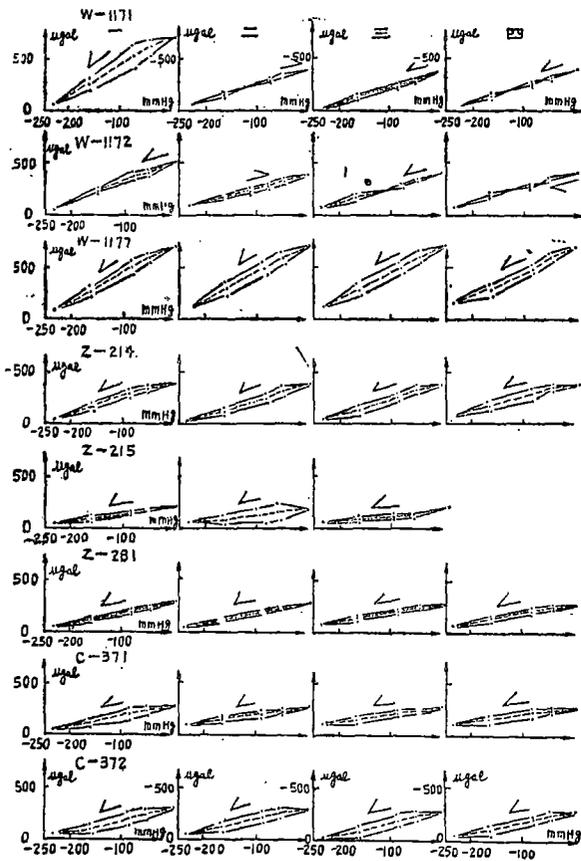


图2 石英弹簧重力仪的气压影响
(加掉格改正)

Fig.2 Influence of atmospheric pressure upon quartz gravimeter (drift is corrected)

2. 八台仪器中有六台都是第一测回中气压系数 b 值大, 其余两台第一测回的 b 值也接近本台最大值。看来第一测回 b 值大不是偶然的现象。

3. 不同类型仪器 b 值相差大, 而同类型仪器较接近。W型仪器的 b 值平均为1.963微伽/毫米汞柱。这个数值与Gantor等在1963年对W型仪器在低压仓中的测试值一致〔4〕。Z型仪器的平均 b 值为1.008微伽/毫米汞柱。C型仪器的 b 值平均为0.944微伽/毫米汞柱。这也反映了W型仪器的 b 值大于C型的, 与文献〔1〕的结果一致。C型仪器和Z型仪器的结构和工艺相似, 仪器的真空度也接近(12—15毫米/汞柱)。W型仪器的结构和以上两种型号略有不同, 真空度为6毫米汞柱, 这可能是上述几种型号仪器气压系数有所差别的原因。

4. 各台仪器的图形都有自己的特色, 例如图1中C—371°仪器的图形都是开口的, 而C—372°仪器基本上都是闭合成菱形, 说明C—372°是可逆的。C—371°则在降、升压过程中产生不可逆的变形。但若进行线性掉格处理, 则大多数仪器都可出现与C—372°相似的图形(图2), 这种图形和弹性滞后等弛豫现象的图形一样出现回线, 即在气压反向变化时, 重力读数值虽然也反向, 但并不与正向变化时的轨迹相重合, 我们称为气压滞后。

5. 有的仪器在某些位置的读数出现明显的气压后效, 即在每一停留位置气压停止变化后读数仍然变化。在一个停留位置读数差超过50微伽的有五处, 其中Z—214°有三处, Z—215°一处, C—372°一处(表3)。

表3中Z—214°三次读数差超过50微伽的全在第一测回, 虽然升、降压均有, 但都为正

表3

仪 器	测 回	升降压	位 置 mmHg	读数 1	读数 2	读数 3	读数 4
Z-214	—	降	-54	51089	51126	51137	51153
Z-214	—	降	-162	51040	51037	51067	51092
Z-214	—	升	-52	51340	51345	51380	51412
Z-215	四	升	0	45792	45839	45858	
C-372	三	降	-233	53512	53467	53436	53421

掉格。Z-214°仪器本身就有从静止进入工作状态后立即大幅度正掉格的特点，因此这三处并不一定是真正的气压后效。而Z-215°和C-372°各一处读数变化超过50微伽的，的确是气压后效反应。特别是C-372°读数变化量高达91微伽，其方向也和气压变化造成的读数变化方向一致，更增加了可信度。文献〔3〕介绍过C-263°仪器在高崖口基线场3号点发现过读数滞后现象，是否和气压变化有关，值得进一步研究。

四、气压变化对观测成果的影响及改正

根据以上实验结果，气压变化对重力观测结果的影响主要有以下几个方面，

1. 影响国家重力基线的基本数据

我国的重力基线场大都是利用高差所造成的重力差的倾斜基线场，例如高崖口国家重力基线场1—3号点高差近800米，我们最常用的2—3号点的高程分别等于此次气压实验中海拔610米和930米的停留高度。基线场建立时主要以生产上述C、Z、W三种类型重力仪的仪器厂所提供的面板格值为依据。仪器的面板格值多是用倾斜法测定。而这三种仪器都存在气压影响，这样，如果用这次试验的仪器去建立基线场，那末即便面板格值全都准确无误，在1—3号点也会产生100微伽的误差，在2—3号点会产生35微伽的误差，考虑到1978年建场时，多是CG—2型仪器，那末其误差最少也为上述量级的一半。这对建立一个准确的计量标准是不利的。

2. 气压对重力仪格值标定的影响

由于不同的仪器对同一气压差的反映并不一样，有不同的回归系数，所以即便同时在同一基线场用相同的精度标定仪器，在气压条件不同的地区观测将会增加台差，影响精度。另一方面，如果用不同仪器所测出的观测值去比较重力的时间变化，将使时间变化受到气压影响，例如，同在高崖口2—3号点标定的W-1177°和2-281°仪器，在气压差为0的两点间观测时，在60毫伽左右的测段上将会造成40微伽的仪器台差。

3. 气压对段差观测的影响

如果测段两端点气压不等而且两台仪器的气压系数不同，即便此时两台仪器格值已作气压校正，所测段差也会不一致。另一方面，如果测段两端点气压差随时间发生变化，所测重力差也就会有因此而引起的时间变化。

为了消除2、3两点对观测成果的影响，我们对观测成果进行了气压改正。考虑到在重复观测中仪器尽量不更换，而且测段两端点气压差随时间变化的量级很小，所以暂不考虑气压对重力时间变化的影响，仅就Z-281、W-1177配对观测时的仪器台差进行气压改正，

改正时是以 Z—281° 仪器为准。对于测段 AB, W—1177° 仪器的气压改正 Δg_p 由下式求出:

$$\Delta g_p = (b_{281^\circ} - b_{1177^\circ}) \cdot [(P_B - P_A) - \frac{\Delta P}{\Delta S} (S_B - S_A)]$$

式中 b_{281° 、 b_{1177° 为 Z—281° 和 W—1177° 的气压系数, P_B 和 P_A 为 A、B 两点的气压计读数, S_B 和 S_A 为 A、B 两点的重力仪读数 (以格为单位), ΔP 为格值检定时检定场气压差, ΔS 为 W—1177° 格值检定时重力仪读数差。改正效果如表 4 所示。

气压改正前后 Z—281°、W—1177° 的台差

表 4

测区、线	运输工具	日期	段数	本网线平均 气压改正	本网线最大 气压改正	改正前 平均台差	改正后 平均台差	台差减小(-) 台差增大(+)
北京网	汽 车	81年5月、 7月、9月	76	8.3	29	20.9	17.5	-3.4
			29°		29	26.8	19.1	-7.7
南口—张家口 三河—乐亭 满城—黄骅	汽 车	81年6月、 9月	61	5.3	24	15.9	16.3	+0.4
			8°		24	13.0	17.0	+4.0
汽车测线总和	汽 车	81年5月、 6月、7月、9月	137	7.0	29	18.6	17.0	-1.6
			37°		29	23.7	18.6	-5.1
北京—安阳 北京—山海关	火 车	81年6月、 8—9月	20	28.3	45	32.7	26.3	-6.4

段数上有“°”号的一栏为气压改正数超过10微伽的测段。

表中最后一栏表明改正效果,总的看来改正后仪器台差小于改正前的,改正是有效的,但并不理想。这有可能是因为气压仅是影响台差的众多因素之一,也可能是气压系数求得还不够准确。文献[3]由其它方法得出气压影响应为3.2微伽/毫米汞柱,与低压舱实验结果还有一定差别,其原因可能是:

(1) 实验时的条件与野外观测条件不同,所以要作定量改正还有些欠缺。例如,除了气压变化幅度与读数变化有关外,气压变化的速度也应与读数值变化有关。但由于设备条件所限,气压升降速度不可能与野外观测时完全一致。

(2) 气压后效和滞后的存在影响了气压系数值。气压后效和滞后这种弛豫现象是有限速度变形条件下物体粘弹性的表现形式,它与气压变化幅度、速度、观测温度、介质以及前一时材料的状态有关,因此是十分复杂的问题。

总之,试验证明气压变化会影响石英重力仪的观测成果,这是毋庸置疑的事实。一般来说气压与重力读数呈正相关,但是不同仪器气压系数相差很大。为了进行精确的气压改正,还必须作更细致的实验。

参 考 文 献

- [1] Ladisiav GaRgalovic, Influence of atmospheric pressure on measurements made with sharpe and worden gravimeters, *Studia Geoph. et Geod.*, Vol. 22, 93—98, 1978.
- [2] 建场技术组, 重力观测精度分析, *地震战线*, №. 3, 1979.
- [3] D.A. Coutts et al., Calibration of gravity meters with a quartz—mechanism, *BMR, J.A.G.G.*, Vol. 5, 1—7, 1980.

- [4] Gantar, C. and Marelli, C., New experimental data about temperature and pressure effects on worden gravity meters, *Boll. Geof. Tecr. ed. appl.*, Vol.19, 1963.

INFLUENCE OF ATMOSPHERIC PRESSURE UPON QUARTZ GRAVIMETER

Zhao Wei Sun Da-wu Tong Xin-sheng Li Chun-ming Zhang Ling

Zhu Lang-ning Guo You-wen Meng Xiang-xia Xia Yan

(*Comprehensive Mobile Survey Team, State Seismological Bureau*)

abstract

The gravimeter's quartz system is in air-tight sealed cases, used to be considered no pressure effects.

The present experiment with 8 quartz gravimeter (2 Scientrex CG-2, 3 ZSM-3, 3 Worden) indicate that there is significant reletivity between the pressure variation and the reading of gravimeters, but the gravimeters have different regression coefficients. It is necessary to correct the pressure effect from gravity measurement result.

The authors wonder if there is a better method than calibrating gravimeters by gravity difference caused by altitude difference.

兰州地震研究所和甘肃省地震学会联合召开大震 对策学术讨论会

本刊讯 1983年6月13日至18日国家地震局兰州地震研究所和甘肃省地震学会在兰州联合召开大震对策学术讨论会。来自西北五省区和四川、云南、贵州、天津、江苏、山东各省地震局、国家地震局地球物理所、分析预报中心、有关大专院校、设计院以及甘肃省各地区地震办公室等50余单位的110名代表参加了会议。会上交流了三十余篇论文。关于大震对策问题，过去虽有论述，也仅仅是散见在各类文章之中，组织专门性的学术会议，在我国还是第一次。代表们结合我国近年来历次大震，回顾了大震对策方面的经验和问题，并就预报对策、次生灾害对策、抗震对策、群防对策、通讯对策、生活对策、救灾对策、治安对策、医疗对策、重建家园对策等进行了广泛的讨论。同时还以《兰州地区大震对策问题》为题组织了专题讨论。代表们指出，大震对策的研究涉及到了地震学、地质学、地震工程学、医学、社会学、统计学、经济学以及科学管理等多种学科，对减轻震害，最大限度地减少国家和人民生命财产的安全有着直接的联系，所讨论的十项主要内容是可行的。这次大震对策学术讨论会的召开是适时的，它对开展我国地震工作的新局面有一定的意义。会议决定将会上宣读的论文编辑出版一个专集。

(本刊编辑部)