

大气负荷对青海地区重力变化的影响特征研究

安旭伟¹ 王玲川² 郭一江¹ 王成霞¹ 林玲¹

1 绵阳城市学院 2 南充科技职业学院

DOI:10.12238/gmsm.v7i4.1775

[摘要] 利用负荷格林函数计算大气负荷影响已在低海拔的平原地区得到了广泛的应用,而在中高海拔的内陆地区,应用此方法研究地表空气动力学则较少见。因此根据国内外的大气数据模型和研究范围内站点气象预压数据,提出一种适合于内陆地区的大气负荷效应研究方案。并以长江源头的青海区域为例,综合研究了重力变化。结果表明,对于青海地区,大气负荷对重力变化的影响约为 $6.35 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。大气负荷效应表现出明显的年周期性和季节性变化规律,这种变化规律与周边区域较为一致。

[关键词] 大气负荷; 移去恢复法; 格林函数; 大气导纳

中图分类号: P228 文献标识码: A

Research on the Characteristics of the Impact of Atmospheric Load on Gravity Changes in Qinghai Region

Xuwei An¹ Lingchuan Wang² Yijiang Guo¹ Chengxia Wang¹ Ling Lin¹

1 Mianyang City College, Mianyang 2 Nanchong Vocational College of Science and Technology

[Abstract] The use of the load Green's function to calculate the atmospheric load impact has been widely applied in low-altitude plain regions, while its application in the inland regions at medium to high altitudes for studying surface aerodynamics is less common. Therefore, based on domestic and international atmospheric data models and meteorological forecast data from research site stations, a research scheme suitable for inland areas to study atmospheric load effects is proposed. Taking the Qinghai region at the source of the Yangtze River as an example, a comprehensive study of gravity changes was conducted. The results indicate that, for the Qinghai region, the influence of atmospheric load on gravity changes is approximately $6.35 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$. The atmospheric load effect exhibits significant annual periodic and seasonal variations, which are consistent with those of surrounding areas.

[Key words] Atmospheric load; Removal and restoration; Green's function; Atmospheric admittance

引言

地球表面站点位置及重力场大小并非固定不变,在受到各种外力及内部引力负荷影响之后,站点位置和重力场大小会随着时间而发生变化,这种变化一般以季节周期性为主。大气负荷就是典型的一种影响,它是指日月引力潮和热辐射的作用下,大气分子由于万有引力的存在,整体表现出的一种周期性变化规律^[1]。相关实验证明,大气压的这种影响在高精度的大地测量实验过程中,数据处理环节必须加以考虑^[2-4]。文献[2]简述了洛夫数的计算方法,并在朗曼(Longman)理论上提出了使用卷积积分法计算质量荷载下的格林函数法。文献[4]利用360阶球谐系数展开,对区域内若干个GPS基准站的大地高变化进行了研究,结果表明:引起的变化量最大可达2-3cm,且主要以季节性变化为主,在此基础上做了进一步的分析,得出地壳垂直形变季节性变化的主导因素是大气。文献[5]提出了大气负荷效应的格林函数法与球谐函数法,为后续的物理及地球动力学研究奠定了

基础。文献[6]主要利用移去恢复法对浙江地区大气负荷效应进行了研究,结果表明,此区域内的大地高方向变化超过10mm,而地面重力受其影响量级超过12uGal,反观对水平位移产生的影响却较小,以年为跨度考察大气负荷,年周期性规律明显。文献[7]主要探讨了大气负荷对重力变化影响的直接效应,采用引入重力格林函数以及重力导纳系数,综合考虑影响重力变化的许多因素,从这个前提出发,理论重力变化即可得。文献[8]结合气象学资料,提出了负荷形变场精化模型。目前这种方法大部分应用于低海拔的平原地区,所以为了研究高海拔地区的相关空气动力学变化,将这种方法落实到具体的区域是非常有必要的,由此为基础,即可研究大气负荷对地表的影响特征。

本文在国内外的大气数据模型基础上,考虑范围内站点气象预压数据,研究了大气负荷对区域的重力变化影响,分析高海拔区域内具体的影响量级,进而可得大气负荷的空气动力学规律。

1 形变理论

1.1 负荷形变理论。固体地表环境负荷主要包括海洋水体、大气压波动、陆地水变迁和冰雪圈消融等所导致的地球表面流体质量变化, 利用环境负荷准确反演地表负荷形变对于解释物理现象和地球动力学具有重要意义。大气负荷作为环境负荷的一种, 其所造成的负荷影响类型可以用等效水高^[9]来表示, 进而用规格化负荷球谐系数表示为:

$$\Delta h_w(\varphi, \lambda) = R \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n [\Delta C_{nm} \cos m\lambda + \Delta S_{nm} \sin m\lambda] \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) \quad (1)$$

式中: (φ, λ) 为地心纬度, 经度; R 为地球平均半径; N

为展开的最大阶数; $(\Delta C_{nm}, \Delta S_{nm})$ 为 n 阶 m 次规格化负荷

球谐系数; $\bar{P}_{nm}(\bullet)$ 为 n 阶 m 次规格化勒让德函数。

地面重力位变化^[6] $g_i(\varphi, \lambda)$ 可表示为

$$g_i(\varphi, \lambda) = -3 \frac{\rho_w}{\rho_e} \sum_{n=1}^N \frac{n + 2h'_n - (n+1)k'_n}{2n+1}$$

$$\sum_{m=0}^n (\Delta C_{nm} \cos m\lambda + \Delta S_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) \quad (2)$$

式中: h'_n 、 k'_n 为负荷勒夫数。

1.2 移去恢复法。移去恢复法的主要流程见图1:

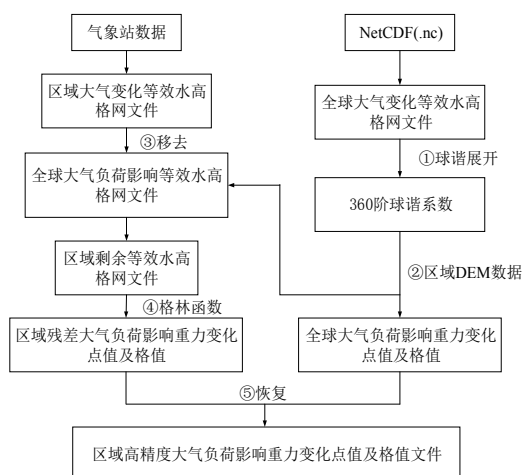


图1 数据处理流程图

2 研究区域和数据

2.1 研究区域简介。本文研究区域为(97.5° E~103.0° E、35.5° N~39.0° N)见图2:

2.2 数据来源。本文所使用的国内外大气数据来自于欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather

Forecasts, ECMWF), 由于其覆盖范围广、时段长、完整性强等特点, 此数据集已经在气象学以及日常的天气预报研究中广泛的使用。本文使用python语言的cdsapi函数模块获取了日值数据。

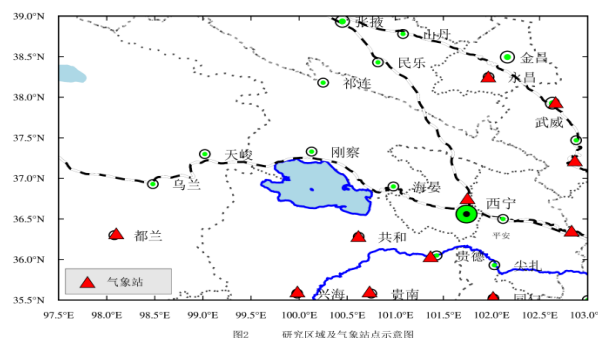


图2 研究区域示意图

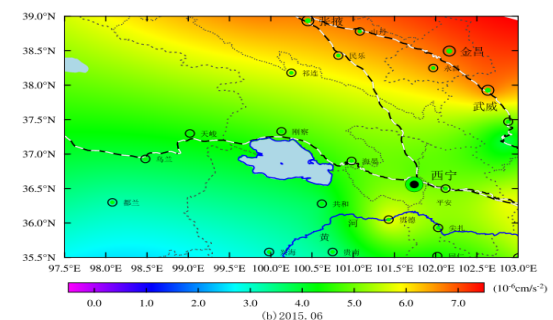
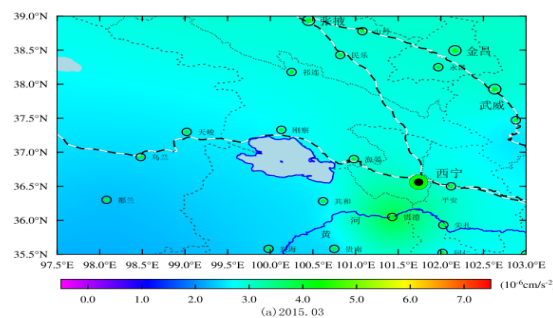
本文所使用的区域大气数据为中国气象网的国家级数据资料集V3.0版本, 本文获取气压数据的时间跨度为2012-2017年, 精度0.1hPa。

3 形变影响计算及分析

在1.2节的移去恢复法中, 本文选取全球大气模型基准为2011年中的后三个月的月均值, 后续的负荷影响类型研究是以此基准进行分析统计的。

为了便于分析和直观阐述荷载影响, 本文选取了2012-2017年中的2015年3、6、9和12月共4个典型的时间段, 对大气负荷所造成的荷载影响类型的空间分布进行了分析。

3.1 大气负荷对重力变化的影响。在大气负荷类型影响的计算中, 重力变化的计算与其他类型有所差别, 包括涉及两个方面, 一方面取大气导纳值为-0.3uGal求得的直接影响^[10], 另一方面是由格林函数求得的重力间接影响, 两者之和即为总影响。研究所得的区域内重力变迁时空分析, 如图3所示。



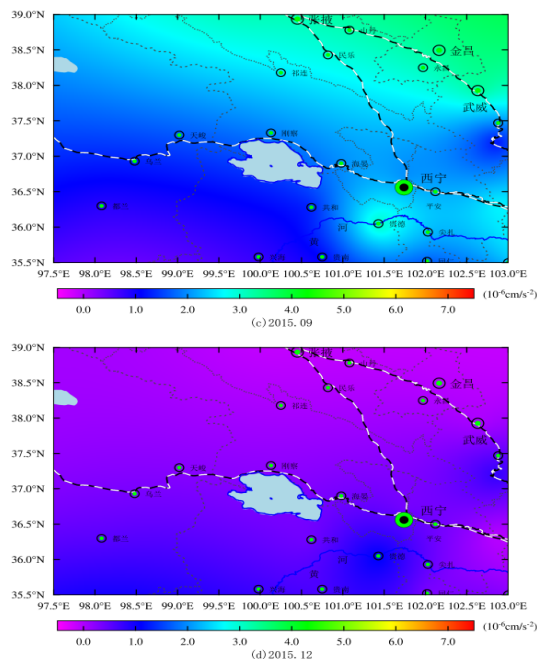


图3 2015年大气负荷对地面重力变化的影响

由图3可知,以长江源头的青海区域为研究区域,其内陆地区的大气负荷对重力变化的影响规律显著,周期性主要表现为春夏季增大,秋冬季减小。就具体的月份而言,这种荷载影响在每年的6月左右呈现峰值: $7.05 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,而在12月左右呈现谷值: $0.20 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。两者凸显的区域主要集中在金昌市、张掖市、武威市一带和青海的都兰县等地。就整个研究区域而言,年变化幅度可达 $6.35 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。图3至图6所反映的年周期性和季节性变化规律与研究区周边区域的变化规律具有较高的一致性^[11]。

3.2 统计分析。

表1 大气负荷类型特征值统计

年份	特征值	1种负荷影响类型特征值
		地面重力 / ($10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)
2012	最大值	6.35
	最小值	0.00
	均值	2.69
	标准差	1.47
2017	最大值	4.80
	最小值	0.00
	均值	1.52
	标准差	1.25
	年变化幅度	6.35

注:水平形变为模的大小

表1统计了研究区域内2012年至2017年的重力负荷类型特征值,结果显示:区域内地面重力年变化幅度为 $6.35 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。这说明引起重力场变化的还有其他因素,如土壤水含量变化,缓慢的构造运动,地下水储量变化,引力潮等,可以在后续的研究中就影响因素加以分析。

4 结束语

本文以长江源头的青海地区为研究区域,使用国内外大气数据模型及站点气象预报数据,主要采用格林函数及重力导纳值的方法,计算了研究区域内大气负荷地表空气动力学的相关内容,并分析了具体的影响特征。研究表明:大气荷载对重力变化的影响较大,可达 7.5 mm 和 $6.35 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。一方面这可能由于长时间跨度的地壳构造运动或受引力影响的固体潮等因素引起,另一方面这种变化与大气压变化有关,具体表现为大气压增大时。通过统计区域内荷载数据可知,在6年期间负荷类型影响的年变化幅度有所减小,这个结论可以在后续的5年期间得以验证。本文的研究结论可以为有限区域内地表空气动力学研究提供理论参考依据。值得一提的是,本文所涉及的研究区域内荷载影响类型没有考虑到大量地表水体的影响量级,可以在后续的有关研究中就富含水体这一问题,结合潮汐调和常数,展开详细的研究计算。

[参考文献]

- [1]王伟,党亚民,章传银,等.基于CORS站网监测三峡地区陆地水负荷对地壳形变和重力变化的影响[J].地球物理学报,2017,60(3):962-971.
- [2]FARRELL W E.Deformation of the earth by surface loads[J].Rev Reviews of Geophysics & Space Physics,1972,10(3):761-797.
- [3]JEAN-PAUL B, PASCAL G, JACQUES H.Reduction of surface gravity data from global atmospheric pressure loading[J].Geophysical Journal International,2002,149(2):534-545.
- [4]张诗玉,钟敏.我国GPS基准站地壳垂直形变的大气负荷效应[J].武汉大学学报(信息科学版),2006,31(12):1090-1093.
- [5]LONGMAN I M.A Green's function for determining the deformation of the earth under surface mass loads:2.computations and numerical results[J].Journal of Geophysical Research,1963,68(2):485-496.
- [6]刘宇,李爱勤,俞志强.大气负荷效应对浙江地区的影响分析[J].大地测量与地球动力学,2020,40(06):591-595.
- [7]黄勇,郭俊义,黄斌.大气重力格林函数的理论计算[J].地球物理学报,2005,(06):82-88.
- [8]章传银,李爱勤,党亚民,等.CORS网区域重力场变化与地面稳定性跟踪监测方法[J].测绘科学,2019,44(6):29-36.
- [9]WU Xiaoping,HELFIN M B,IVINS E R,et al.Seasonal and interannual global surface mass variations from multisatellite geodetic data[J].Journal of Geophysical Research,2006,111(B9):B09401.
- [10]RAY R D,PONTE R M.Barometric tides from ECMWF operational analyses[J].Annales Geophysicae,2003,21(8):1897-1910.
- [11]王海涛.大气负荷对新疆地区地壳形变和地面重力变化的影响[J].大地测量与地球动力学,2019,39(2):189-194.

作者简介:

安旭伟(1995--),男,汉族,甘肃平凉人,硕士研究生,助教,研究方向:大气负荷。