

马亮.地磁低点时间与经度的回归分析[J].地震工程学报,2019,41(3):763-769.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2019.03.763
MA Liang. Correlation Analysis of Geomagnetic Low-point Time and Longitude[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41(3): 763-769. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.03.763

地磁低点时间与经度的相关性分析

马 亮

(甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 地磁低点时间在空间分布上的主要特征是随着经度变化而变化。为了求出这种变化关系的解析式, 首先使用国家地磁台网的数据计算甘肃省近三年 13 个地磁台站的低点时间序列和低点时间的期望, 并绘制了低点时间序列的频次分布图和概率密度曲线; 然后对低点时间与台站经度的关系做线性回归, 并指出这个线性回归方程应无限趋近于“格林尼治时间-经度”关系式。文章第一次提出台站经度与地磁 Z 分量低点时间的关系式, 并提出它的趋近方程。各台站低点时间的期望就是地磁低点时间的正常背景值, 它是判定地磁低点时间异常与否的参考标准。本文的工作完善和发展了丁鉴海先生的地磁低点位移法。

关键词: 地磁低点时间; 正态分布; 相位畸变; 假设检验; 线性回归

中图分类号: P319

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)03-0763-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.03.763

Correlation Analysis of Geomagnetic Low-point Time and Longitude

MA Liang

(Earthquake Agency of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: The main characteristic of the spatial distribution of geomagnetic low-point time is that it changes with longitude. To solve the analytical formula of the relationship, we first calculated the low-point time sequences and the expected values of the low-point times of 13 geomagnetic stations in Gansu Province. Using nearly three years of data from the national geomagnetic network, the frequency distribution diagram and the normal density curve of the low-point time series were plotted. We then made a linear regression for the relationship between the low-point time of the Z component and longitude of the station, and indicated that the linear regression equation should be infinitely close to the "Greenwich time-longitude" equation. In this paper, the relational expression between the low-point time of the Z component and longitude of the station is first proposed, and the approximation equation of the relational expression is described. The expected value of the low-point time of each station is the normal background value of the geomagnetic low-point time, which is a reference standard to determine whether the geomagnetic low-point time is abnormal. The significance of the above work is to perfect the geomagnetic low-point displacement method proposed by Ding Jianhai.

Keywords: geomagnetic low-point time; normal distribution; phase distortion; hypothesis test;

收稿日期: 2016-08-20

基金项目: 甘肃省地震局地震科技发展基金(2015Q07); 中国地震局监测预报司 2016 年度震情跟踪定向工作任务资助项目(2016010414)

作者简介: 马 亮(1985—), 男, 硕士, 助理研究员, 从事地震预报, 防灾减灾与防护工程的研究。E-mail: 1430566771@qq.com。

linear regression

0 引言

在对地球大地磁场的观测中,中低纬度地磁场 Z 分量的极小值出现的时刻(以下称“低点时间”)偏离背景值的现象常被用于地震预报,被称为“低点位移”法^[1]。因此,研究平静太阳日变化 Z 分量的极小值出现的时刻的变化规律对地震预报有着重要意义。丁鉴海于上世纪 80 年代通过对震磁理论的研究和地震预测的实践定义了地磁低点位移法的概念,计算方法和适用时段^[2-5],把它归类于地震短临预测的方法中。

对地磁场的观测与研究早在 19 世纪初就已开始。1908 年 Van Bemmelen 报道了伦敦台和巴黎台垂直分量的数据在磁暴急始时反方向的相位变化^[6],1950 年代初现俄罗斯库尔斯克磁异常区和日本海沟附近的地磁台站都记录到了 S_q 的异常变化^[7],表现为低点时间的地方时与正常状态下台站的地方时相差超过 1 小时。一些学者认为,这种异常的原因是库尔斯克地下大型磁铁矿和太平洋板块插入日本岛弧之下,造成地壳上地幔磁性质变化的结果^[7]。地磁低点位移法的基础是提取地磁场日变化畸变的相位异常^[8],所以对相位异常的原因和发生概率分析就非常重要。丁鉴海等学者从 20 世纪 80 年代开始做了大量的研究工作^[9-10],他指出低

点时间在空间上的分布会随着地磁台站经度的变化而变化,并绘制了北京市白家疃地磁台的低点时间的频次分布图,得出了各台站低点时间都出现在当地时间 12:00 时左右的结论。

现有地磁观测相关研究使用的台站较少^[11-12],研究中采用的台网密度低^[13-14](甘肃青海地区仅使用了 4 个地磁台站),相关文献^[2,5]绘制了低点时间的频次分布图并指出低点时间服从正态分布,但是没有绘制地磁低点时间的正态密度曲线,仅统计了一个地磁台站的低点时间的频次分布;也指出地磁低点时间在空间上的分布会随着地磁台站经度的变化而变化,但是没有给出这种关系的解析式^[2]。近三年来地磁观测预报工作涉及学科众多^[15-21],方法迥异,但仍然有工作存在缺失,本文将予以补充,完善和发展地磁低点位移法。

1 数据

本文主要使用甘肃地磁台网的数据。甘肃地磁台网拥有兰州、山丹、天水、嘉峪关 4 个老台;合作、玛曲、舟曲、肃北四个新建地震台;天祝台阵(含英鸽、寺滩、芦阳、松山、古丰、黄羊、红沙、横梁 8 个台)和临夏地震台(图 1)。

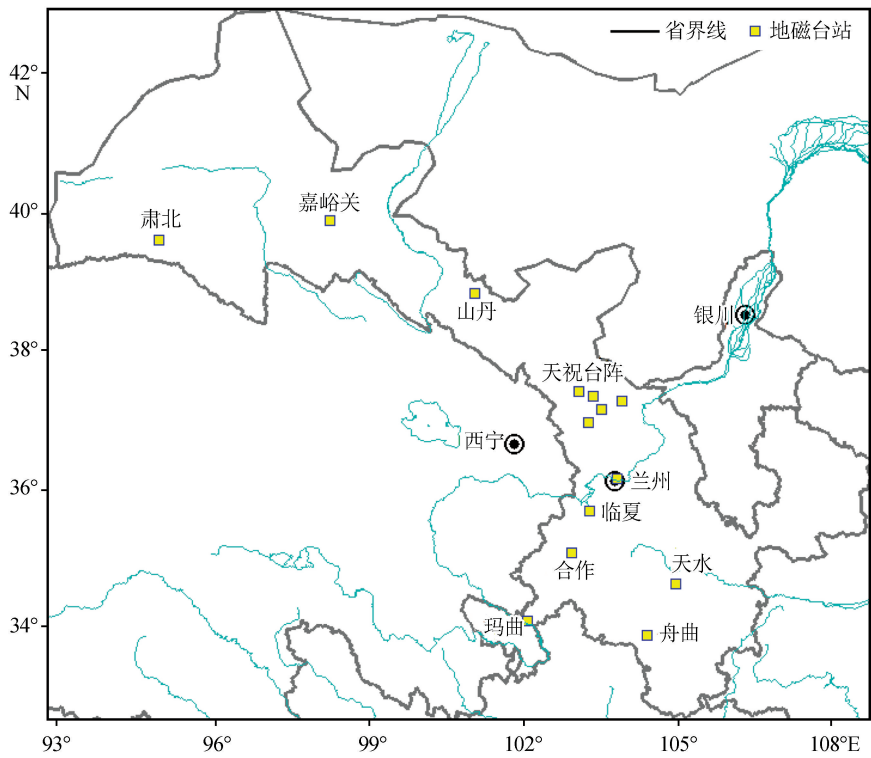


图 1 甘肃省地磁观测台站分布图

Fig.1 Distribution of geomagnetic observation stations in Gansu Province

2015 年后芦阳、红沙、古丰台停测,松山台长周期缺数和干扰较多。除停测和缺数严重的台站,甘肃地磁台网 17 个台站中,可用于统计计算的数据有 13 个(表 1),这 13 个台站当前观测状态良好、数据连续性强且质量可靠。因地磁三分量中垂直分量 Z 的相位变化幅度最大,所以本文在计算地磁低点时间时全部使用垂直分量 Z 。

2 地磁低点时间的背景值

从地磁日变曲线中可以直观地看出,地磁低点

时间大多位于当地时间(太阳直射时间)每次 12:00 时前后,那么这种分布是否符合正态分布,各台站地磁低点时间的期望 μ 和标准差 σ (量纲均为 h)有多大差异、低点时间落在区间 $(\mu-\sigma,\mu+\sigma)$ 的概率是否相同? 为了回答这些问题,本节计算了 13 个台站的期望与标准差,详见表 1 所列。

表中 $p(\mu-2<x<\mu+2)$ 是各台站低点时间落在区间 $(\mu-\sigma,\mu+\sigma)$ 中的概率,计算出的各台站低点时间的期望 μ 就是地磁低点时间的正常背景值,它是判定地磁低点位移异常的参考标准。

表 1 甘肃地区各台站的地磁低点时间的期望 μ 与标准差 σ

Table 1 Expected value μ and standard deviation σ of the geomagnetic low-point time at different stations in Gansu area													
台站	兰州	山丹	天水	嘉峪关	合作	玛曲	舟曲	英鸽	寺滩	黄羊	横梁	临夏	肃北
期望 μ/h	12.02	12.21	11.95	12.38	11.96	12.24	12.04	12.08	11.95	12.05	12.13	11.97	11.44
标准差 σ/h	1.15	1.27	0.88	1.33	2.36	0.94	0.9	1.05	1.19	1.64	0.97	1.39	1.6
$p(\mu-2<x<\mu+2)$	0.682 689 492 137 086...												

3 地磁低点时间服从正态分布的检验

用假设检验的方法来判断地磁低点时间是否服从正态分布。设某一随机变量 $x(0<x<24)$ 服从正态分布,那么它落入区间 $[a,b]$ 内的概率为:

$$p(a < x < b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_a^b e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx, (a \geq 0, b \leq 24)$$

(1)

先把表 1 中各台站的期望 μ 与标准差 σ 代入 $a=\mu-\sigma, b=\mu+\sigma$ 中求出 $a、b$,再将 $a、b$ 代入式(1) 求出各台站的 $p(\mu-\sigma<x<\mu+\sigma)$ 值。若这些值不接近于 0.682 69 或不相等,说明表 1 的原数据不服从正态分布,反之则服从正态分布。

计算结果列于表 1 第四列,可看出各台站的 $p(\mu-\sigma<x<\mu+\sigma)$ 均等于 0.682 689 492 137 086…。这充分说明本文所选台站的地磁低点时间服从正态分布。

4 地磁低点时间的畸变概率

地磁低点时间的频率分布直方图能直观地反映地磁低点时间落在任意区间的频次,它的概率密度曲线能直观地反映地磁低点时间在连续区间上的频次变化趋势,对认识地磁低点时间的分布规律有重要意义。

前人的工作中没有给出甘肃地磁台网的全部台站的数理统计参数和完整的数理统计图。为补齐这些缺失的工作,选取 2012 年 1 月 1 日—2016 年 6 月 1 日地磁 Z 分量的数据(新建台站的数据时段从

正式观测开始)绘出各台站的地磁低点时间的频率分布直方图,并使用表 1 中各台站数据的期望和方差绘出与之参量相同的正态概率密度曲线(图 2)。肃北、格尔木台位于东 6 区,其余台站位于东 7 区,为凸显地磁低点时间的分布规律,本节在计算低点时间时均转化为当地时间。

从图 2 可以看出,直方柱不但呈钟形分布,而且直方柱集的外轮廓与相同期望、方差的正态密度曲线充分接近,这与地磁低点时间符合正态分布的结论一致。图中直观地反映出各台站之间的地磁场日变化的相位畸变的概率差异很大。若把低点时间偏离期望(2 h)定义为相位畸变,那么相位畸变的概率是 $1-p(\mu-\sigma<x<\mu+\sigma)$,如兰州台为 $1-[\text{normcdf}(12.02+2, 12.02, 1.15)-\text{normcdf}(12.02-2, 12.02, 1.15)]=0.082$,同理可算出其他台站的畸变概率(表 2)。

由表 2 可知,合作、黄羊台的相位畸变概率最高,肃北、嘉峪关、山丹次之,舟曲天水台的畸变概率最小,结合观测经验认为合作与黄羊台的相位畸变与缺数有关,常态下的相位畸变概率可能与地质构造活动的剧烈程度有关。以上结果在计算之前就已经删除了受干扰的数据,在今后几年内肃北、嘉峪关、山丹所在的冷龙岭以西的祁连山段地震危险性较高。

除天水、玛曲、舟曲、横梁、格尔木台之外,其余台站的地磁低点时间在当地时间 07:00 时(即格林尼治时间 00:00 时)左右的分布都有陡增现象,推测这是由删除错误数据、数据调零、缺数或仪器故障后数据归零等原因所致。

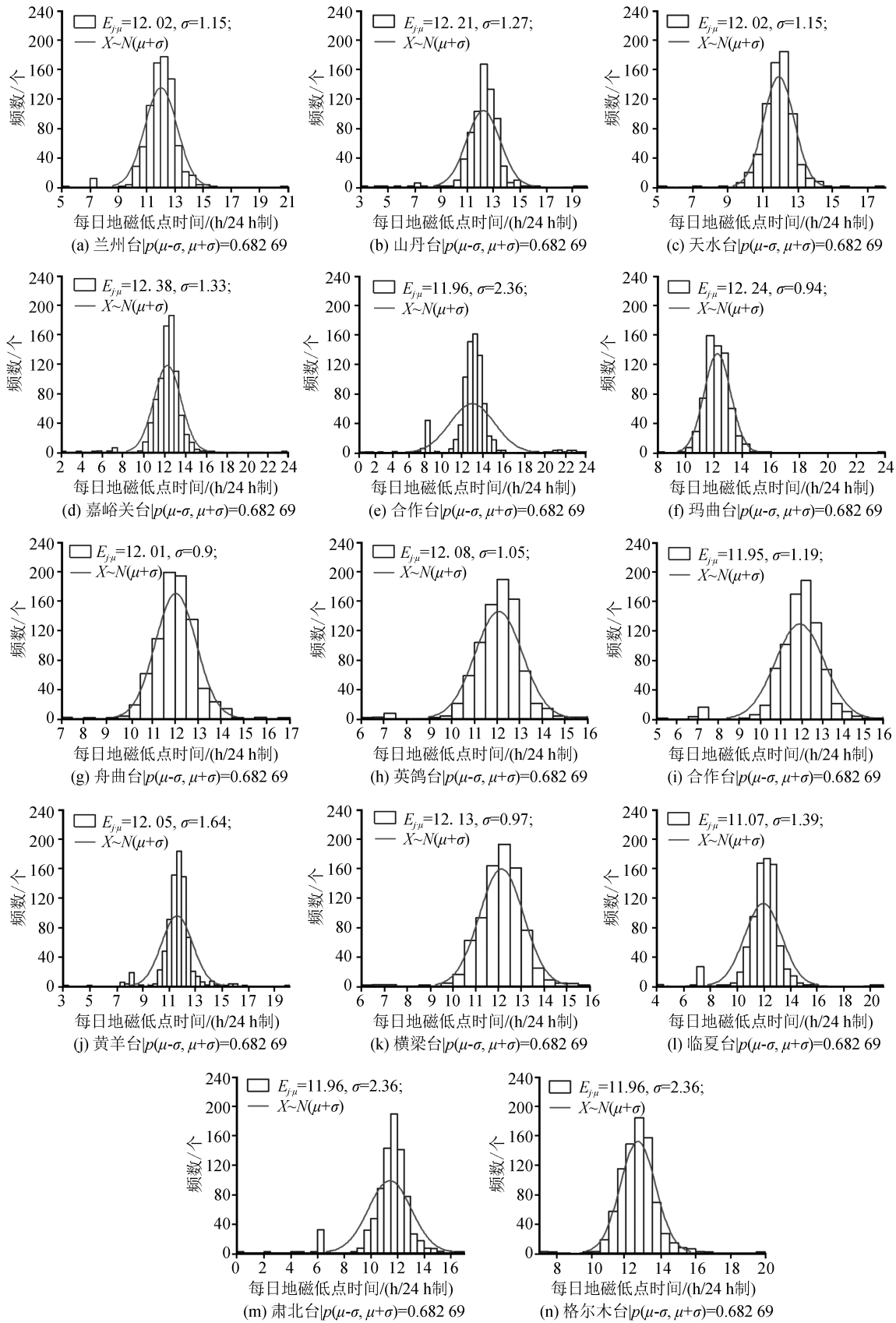


图 2 地磁低点时间的频率分布直方图和与其期望, 方差相同的正态密度曲线

Fig.2 Frequency distribution histogram of geomagnetic low-point time and the normal density curves with the same expected vale and variance

表 2 甘肃地区各地磁台站的相位畸变概率

Table 2 The phase distortion probability of geomagnetic stations in Gansu area													
台站	兰州	山丹	天水	嘉峪关	合作	玛曲	舟曲	英鸽	寺滩	黄羊	横梁	临夏	肃北
期望 μ/h	12.02	12.21	11.95	12.38	11.96	12.24	12.04	12.08	11.95	12.05	12.13	11.97	11.44
$p(\mu-2<x<\mu+2)$	0.918	0.884 7	0.977	0.867 4	0.603 3	0.966 6	0.973 7	0.943 2	0.907 2	0.777 4	0.960 8	0.849 8	0.788 7
相位畸变概率	0.082	0.115 3	0.023	0.132 6	0.396 7	0.033 4	0.026 3	0.056 8	0.092 8	0.222 6	0.039 2	0.150 2	0.211 3
畸变概率排序	8	6	13	5	1	11	12	9	7	2	10	4	3

5 地磁台站的 Z 日变低点时间与台站经度的关系

若按同一时区的时间对比,地磁低点时间会随着台站经度的增加而越来越晚,由于每个时区跨越的经度为 15°,所以经度相差 15°的两个地磁台站的理论低点时间刚好相差 1 h。在低点时间随经度变化的情况下,为确保所绘出的低点时间突变界限的有

效性,并满足低点时间的异常所需的差值必须大于两倍标准差的要求^[2-5],确定异常所需的差值为 2 h。

为验证以上观点,本节使用从国家地震前兆台网中心下载的数据计算得到了西北地区 14 个地磁台站的经度与 Z 日变低点时间的期望 μ (即平均低点时间)(表 3)。从表中可以看出,除玛曲台和德令哈台,其他台站的平均低点时间均随着经度的增加而减小。

表 3 台站经度与地磁 Z 分量的低点时间(兰州当地时间)的对应关系

Table 3 Corresponding relationship between longitude of station and the low-point time (local time in Lanzhou) of geomagnetic Z-component					
台站	经度	低点时间的期望	台站	经度	低点时间的期望
天水	104.92	11.95	肃北	94.9	12.44
兰州	103.8	12.02	乌鲁木齐	86.94	13.18
玛曲	102.04	12.24	且末	85.5	13.31
山丹	101.04	12.21	红浅	84.78	13.33
金银滩	100.93	12.23	温泉老台	81	13.71
嘉峪关	98.22	12.38	乌什	79.21	13.86
德令哈	97.37	12.58	喀什栏杆乡	75.81	14.01

为了更加直观地表现台站经度与 Z 日变低点时间的关系,以经度和低点时间期望为横纵坐标做出两者的散点图(图 3)。然后对两组数据做多项式拟合,求出回归方程为

$$y = -0.071\ 6x + 19.443\ 9 \tag{2}$$

假设每个台站的低点时间都位于当地时间 12:00 时,结合台站经度可求出式(2) 的趋近方程:

$$y = \frac{1}{15}x + 19 \tag{3}$$

把表 3 中兰州当地时间转化为格林尼治时间,式(2) 变为:

$$y = -0.071\ 6x + 12.443\ 9 \tag{4}$$

在春季某天格林尼治 5: 09 时,新加坡(103.65E)位于太阳直射点附近,这里温度最高;在格林尼治 12:00 时,加纳首都安克拉(0.00E)位于太阳直射点附近,这里温度最高。地球自转时,太阳直射点的位置随着时间的变化而变化。在某一刻,太阳直射点位于 A 点,把“A 点的经度”看成自变量 x,把“此刻的格林尼治时间”看成因变量 y,则两者的函数关系为:

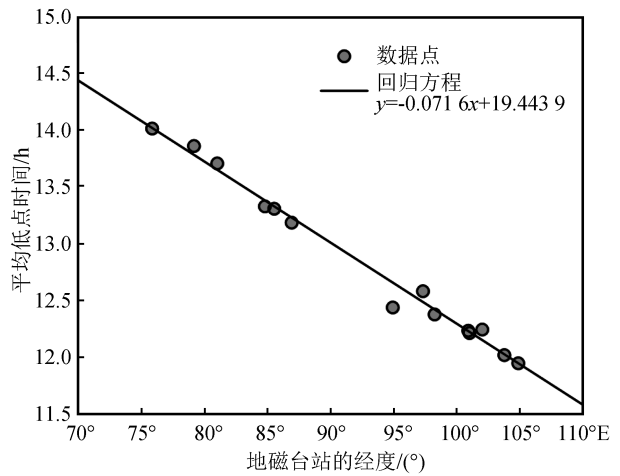


图 3 台站经度与地磁低点时间的散点图及散点的拟合函数

Fig.3 Scatter plots of longitude of station and geomagnetic low-point time, and the corresponding fitting function

$$y = -\frac{1}{15}x + 12 \tag{5}$$

把新加坡的“经度-太阳直射时的格林尼治时

间”看成某方程的一个解(103.65, 5.09), 安克拉的“经度-太阳直射时的格林尼治时间”看成这个方程的另一个解(0, 12), 则它们都满足方程(5)。方程(5)与方程(2)的斜率非常相近。(5)与(2)对比, 说明对于同一台站, 其地磁低点时间和温度极大值对应的存在相关性。

地磁低点时间均的期望均处于当地时间 12:00 时有什么意义呢? 由于当地时间 12:00 时是本地获得太阳热量最多的时刻, 此时岩石温度最高, 推测地壳的岩石受热后地磁场的强度降低, 而使该时刻成为地磁低点时间。此外, 热红外资料的跟踪中发现一些地震发生前, 地磁低点时间的等值线与热红外等值线存在一定程度的重合。

6 结论与讨论

甘肃地区共有 13 个地磁台站的数据参与了计算, 故障原因引起的数据归零造成了低点时间在格林尼治时间 00:00 时出现陡增现象。本文计算出的各台站低点时间的期望 μ 就是地磁低点时间的正常背景值, 它是判定地磁低点位移异常的参考标准。对统计图和统计结果分析得出:

(1) 直方柱不但呈钟形分布, 而且直方柱集的外轮廓与相同期望、方差的正态密度曲线充分接近, 结合计算结果认为各台站的地磁低点时间符合正态分布。无论地磁台站的方位(经度、纬度与高程)、仪器型号、气象条件、观测环境、季节如何变化, 地磁低点时间服从正态概率密度曲线的性质不会随之改变。

(2) 根据各地磁台站数据的畸变概率判断, 在今后几年内肃北、嘉峪关、山丹所在的冷龙岭以西的祁连山段地震危险性较高。

(3) 台站的地磁低点时间 y 与经度 x 存在着经验关系 $y = -0.0716x + 12.4439$, 这个回归方程会随着样本数量的增加而趋近于直线 $y = -x/15 + 12$, 此结果间接说明地磁低点时间和地下岩体的温度存在关联性, 温度最高的时刻就是低点时间出现的时刻。丁鉴海曾指出台站的地磁低点时间与经度存在着线性关系, 但并未拟合得到回归方程, 本文提出的“台站经度—地磁 Z 分量低点时间”的回归方程填补了这一空白。

感谢中国地震局工程力学研究所学者卢建旗提供绘图程序, 感谢新疆地震局张治广同志为本文提供地磁数据, 希望感兴趣的学者共享本文, 提出新的意见和建议。

参考文献(References)

- [1] 徐文耀. 磁场引起的 S_q “低点位移”[J]. 地震地磁观测与研究, 1985, 6(1): 8-12.
XU Wenyao. Magnetic Field Induced S_q "Low-Point Displacement"[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 1985, 6(1): 8-12.
- [2] 丁鉴海, 车时, 余素荣, 等. 地磁日变地震预报方法及其震例研究[M]. 北京: 地震出版社, 2009.
DING Jianhai, CHE Shi, YU Surong, et al. The Earthquake Prediction Method of Geomagnetic Diurnal Variation and Its Earthquake Cases Study [M]. Beijing: Seismological Press, 2009.
- [3] 丁鉴海, 余素荣, 王亚丽. 地磁“低点位移”现象与强震预测研究[J]. 电波科学学报, 2008, 23(6): 1011-1017.
DING Jianhai, YU Surong, WANG Yali. Geomagnetic Low-Point Displacement Phenomena Arid Strong Earthquake Prediction Research[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008, 23(6): 1011-1017.
- [4] 丁鉴海, 卢振业, 黄雪香. 地震地磁学[M]. 北京: 地震出版社, 1994.
DING Jianhai, LU Zhenye, HUANG Xuexiang. Seismogeomagnetism. [M]. Beijing: Seismological Press, 1994.
- [5] 丁鉴海, 黄雪香, 邢如英, 等. 地磁“低点位移”现象及其与地震的关系[J]. 地震学报, 1998, 10(4): 406-414.
DING Jianhai, HUANG Xuexiang, XING Ruying, et al. Geomagnetic Low-Point Displacement Phenomenon and Their Relation to Earthquakes[J]. Acta Seismologica Sinica, 1998, 10(4): 406-414.
- [6] S. Chapman, J. Bartels. 1940. Geomagnetism, Oxford.
- [7] 杨诺夫斯基, 陈志强等译. 地磁学[M]. 地质出版社, 1959.
YANG NOVSKY. Chen Zhiqiang et al, Translated. Geomagnetism [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1959.
- [8] 刘晓灿, 陈化然, 王亚丽等. 地震地磁低点位移现象与空间环境关系的初步研究[J]. 地震地磁观测与研究. 2009, 30(3): 7-10.
LIU Xiaocan, CHEN Huaran, WANG Yali, et al. Research on the Relations between the Geomagnetic "Lowest Shift" Phenomenon and the Spatial Environments[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research. 2009, 30(3): 7-10.
- [9] 陈化然, 杜爱民, 王亚丽. 地磁低点位移与地磁场等效电流体系关系的初步研究[J]. 地震学报. 2009, 31(1): 59-67.
Chen Huaran, Du Aimin, Wang Yali. A Preliminary Study on the Relation Between the Geomagnetic "Lowest Shift" Phenomenon and the Equivalent Current System[J]. Acta Seismologica Sinica. 2009, 31(1): 59-67.
- [10] 黄雪香, 余素荣. 地磁低点位移异常类型特征与地震活动[J]. 地震. 2000, 20(4): 39-44.
HUANG Xuexiang, YU Surong. Type Characteristics of Geomagnetic Low-point Displacement Anomaly and their Relation to Seismicity[J]. EARTHQUAKE. 2000, 20(4): 39-44.
- [11] DUMA G, RUZHIN Y. Diurnal Changes of Earthquake Activity and Geomagnetic S_q -variations[C]. Natural Hazards and

Earth System Sciences2003,3:171-177.

[12] MARKUS BATH.Spectral Analysis in Geophysics[M].New York Elsevier Scientific Publishing Company,1974,285-287.

[13] 王辉,许滔滔,罗景程等.基于地磁台网数据的长周期大地电磁数据远参考处理[J].地球物理学进展,2018.33(6):2270-2277.

WANGHui,XU Taotao,LUO Jingcheng,et al.Remote Reference Processing of Long Period Magnetotelluric Data Based on Geomagnetic Data[J].Progress in Geophysics,2018.33(6):2270-2277.

[14] 王辉,姚郁松,许滔滔.利用地磁台站数据和站间传递函数估算长周期大地电磁测深的本地阻抗[J].地球物理学进展,2019.34(1):200-207.

WANGHui,YAO Yusong,XU Taotao,et al.Estimation of Local Impedance for Long Period Magnetotelluric Data using Geomagnetic Data and Interstation Transfer Functions[J].Progress in Geophysics,2019.34(1):200-207.

[15] 翁爱华,李世文,李建平等.深部电磁感应研究进展[J].地球物理学进展,2017.32(4):1679-1692.

WENG Aihua,LI Shiwen,LI Jianping,et al.Progress in Deep Electromagnetic Induction Studies[J].Progress in Geophysics,2017.32(4):1679-1692.

[16] 陈果,杜爱民,张莹等.利用卡尔曼滤波技术提取地磁规则日变化[J].地球物理学进展,2017.32(5):1880-1885.

CHEN Guo,DU Aimin,ZHANG Ying,et al.Kalman Filter Technique for Defining Solar Regular Geomagnetic Variations[J].Progress in Geophysics,2017.32(5):1880-1885.

[17] 张泉,李永飞,田靖,等.复杂条件下大地电磁资料二维反演及初始模型构建研究[J].地球物理学进展,2018.33(4):1645-1651.

ZHANG Quan,LI Yongfei,TIAN Jing,et al.Two-Dimensional Inversion and Initial Model Construction of Magnetotelluric Data in Complex Conditions are Studied[J].Progress in Geophysics,2018.33(4):1645-1651.

[18] 陈幸莲,徐行,柴剑勇等.广东阳江深井地磁观测系统研究与数据分析[J].华南地震,2017.37(3):81-89.

CHENXinglian,XU Xing,CHAI Jianyong,et al.Research and Data Analysis of the Deep Borehole Geomagnetic Observation System in Yangjiang City[J].South China Journal of Seismology,2017.37(3):81-89.

[19] 艾萨·伊斯马伊力.喀什台地磁异常与地震[J].华南地震,2017.37(4):54-60.

Aisa·Yisimayili.G geomagnetic Anomalies Before Aktu Earthquake with $M_s6.7$ on November 11th,2016[J].South China Journal of Seismology,2017.37(4):54-60.

[20] 王静波,韩英,杨宏静.地磁加卸载响应比在甘肃及周边地区的应用[J].华南地震,2017.37(s1):99-104.

WANG jingbo,HAN Ying,YANG Hongjing.The Application of Geomagnetic Load-unloading Response Ratio in Gansu Province and Its Surrounding Areas[J].South China Journal of Seismology,2017.37(s1):99-104.

[21] 郑永通,张年明,刘其寿.龙岩台 GM4 与 FHD 干扰因素对比分析[J].华南地震,2017.37(增刊 1):66-74.

ZHENG Yongtong,ZHANG Nianming,LIU Qishou.Comparative Analysis of Interference Factors of GM4 and FHD in Longyan Seismic Station[J].South China Journal of Seismology,2017.37(Suppl):66-74.