

樊丽云,何志辉,杨正纲,等. 2024. 2022年11月19日红河5.0级地震前地磁异常研究——基于高密度地磁台阵观测数据. 中国地震, 40(4): 877~886.

2022年11月19日红河5.0级 地震前地磁异常研究 ——基于高密度地磁台阵观测数据

樊丽云¹⁾ 何志辉¹⁾ 杨正纲¹⁾ 朱培育²⁾ 樊文杰¹⁾

1) 云南省地震局, 昆明 650224

2) 上海市地震局, 上海 200062

摘要 基于小江断裂中南段布设的110个高密度地磁台阵观测数据,利用地磁加卸载响应比和日变幅逐日比两种方法分析了2022年11月19日云南红河5.0级地震前地磁日变化异常特征。研究结果显示,震前1个月左右,编号043、052、068三个测点出现了同步加卸载响应比超过3.0的高值异常,震前两个半月左右,编号008、037、052、060、062、076六个测点出现了同步日变幅逐日比超过3.0的高值异常,排除磁暴影响和人为干扰后,认为上述多测点同步高值异常与红河5.0级地震有关。异常测点大多分布在震中距较远的区域,而异常幅度均呈现出震中距越大,幅度越小的特征。

关键词: 红河地震 地磁台阵 震磁异常 异常分析

[文章编号] 1001-4683(2024)04-0877-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

大量观测研究表明地震孕育和发生过程中伴随着地磁场的变化,国内外很多震例研究均证实了震磁异常的存在(Nagao et al, 2002; Hattori, 2004; 杨杰, 2020)。1995年,日本科技厅启动了“国际地震前沿研究”课题,旨在通过地表电磁场的观测来研究地震电磁前兆现象,研究团队在日本关东地震活跃地区先后布设了多达15个超低频电磁观测台站。经过数十年的长期连续观测,积累了大量宝贵的地震电磁观测资料,并在此基础上获得了一批研究成果,于1923年关东7.8级、1978年宫城7.4级、1993年关岛7.1级地震前捕捉到显著的震磁异常信号(Hayakawa et al, 1996; Hunt, 2005; Hattori, 2004)。1997年,日本又在房总半岛布设了多个磁通门台站和1个地磁台阵,期间在鹿儿岛6.5级和6.3级地震以及伊豆震群前观测到电磁异常信号(Hayakawa et al, 2004)。为拓展研究区域,1999年,日本和俄罗斯的研究

[收稿日期] 2023-10-10 [修定日期] 2024-09-25

[项目类别] 中国地震局监测、预报、科研三结合课题(3JH-202302053)、中国地震局地球物理研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项(DQJB23Z02)和国家自然科学基金(42164004)共同资助

[作者简介] 樊丽云,女,1981年生,工程师,主要从事地震地磁监测及观测数据分析工作。E-mail: 529474344@qq.com

学者通过合作,在俄罗斯卡尔姆希诺地区的地震活跃区布设了包括电磁观测在内的综合前兆观测台,该台阵与日本的观测台阵组成跨国综合观测台,结合研究区 70km 以内的 5.0 级以上地震开展了震磁异常研究,在一系列中强地震前成功提取到地磁异常信号(李琪等,2008; Uyeda et al,2002)。2002 年,为系统研究震磁信号传播特征,意大利和匈牙利的科学家建立了南欧地磁台阵(South European Geomagnetic Array,简称 SEGMA),各测点均架设有三分量磁通门磁力仪,测点间距 150km。Prattes 等(2008)和 Villante 等(2010)分别分析了 2004 年 7 月 12 日博伟茨 5.2 级和 2009 年 4 月 6 日拉奎拉 6.3 级地震前所有测点地磁观测数据,在震中距最近的台站提取到显著震前地磁参数高值异常。

我国也开展了电磁综合台阵的观测和研究工作,2002—2005 年先后在甘肃天祝、四川西昌布设了由 8~9 个磁通门测点组成的地磁台阵,2013 年在云南滇西北洱源地区布设了 16 个地磁台阵测点,2014 年又在晋冀蒙恒山断裂带两侧布设 5 个磁通门测点组成的台阵,此外,在新疆喀什、重庆三峡等地区也布设有地磁观测台阵,产出了一系列震磁异常研究方面的成果(王晓美,2018; 李琪等,2015、2016; 袁伊人等,2015; 张亮娥等,2018; 杨学慧等,2020; 杨杰等,2021)。为进一步开展孕震机理和地震前兆异常信息提取技术研究,2021 年,依托国家重点研发计划课题“典型活动断裂带密集综合台阵监测与研究应用示范”,在小江断裂中南段布设了由 110 个间距 10km 的测点组成的高密度地磁观测台阵。本文基于该高密度地磁观测台阵数据,利用地磁加卸载响应比和地磁日变幅逐日比方法对 2022 年 11 月 19 日测区附近发生的云南红河 5.0 级地震进行了震前磁异常信号提取及异常特征分析。

1 数据和处理方法

1.1 观测数据

据中国地震台网正式测定,北京时间 2022 年 11 月 19 日 1 时 27 分,云南省红河州红河县发生 5.0 级地震,震源深度 8km,发震构造为红河断裂,震源机制解为走滑型。距震中 40km 的东北区域,即小江断裂中南段,布设了由 110 个测点组成的高密度地磁观测台阵,测点间距约为 10km,每个测点架设了三分量磁通门磁力仪,采样率为 1Hz,连续记录地磁偏角(D)、水平分量(H)和垂直分量(Z)的变化。各测点于 2021 年 12 月底布设完成,2022 年 1 月 1 日正式运行,目前已积累了 11 个月的秒采样观测数据,台阵布设和震中分布如图 1 所示。为便于分析,将 110 个地磁测点按照数字 000~130 进行编号。

1.2 数据处理

地磁静日变化(Solar Quiet Variation,简称 S_q)是中低纬地区地磁日变中最主要组成成分,这种变化磁场主要起源于电离层发电机电流,携带磁层、电离层和太阳潮汐风场的重要信息(徐文耀等,1993),同时,这种变化磁场在导电的地球内部产生的感应电流又携带着地球内部介质的电磁信息,成为研究地球内部电磁结构和构造运动的重要资料(徐文耀等,1993; 李霞等,2022)。研究发现,地球表面局部小区域内(除一些特殊的磁异常区外)若干点的地磁静日变化形态基本一致(朱兆才,1989)。当观测点静日变化形态或幅度偏离正常变化时,称为地磁日变化异常。

1.2.1 地磁加卸载响应比

由于地壳的屏蔽作用,外源变化磁场在导电的地球内部产生的感应电流可看作近地表

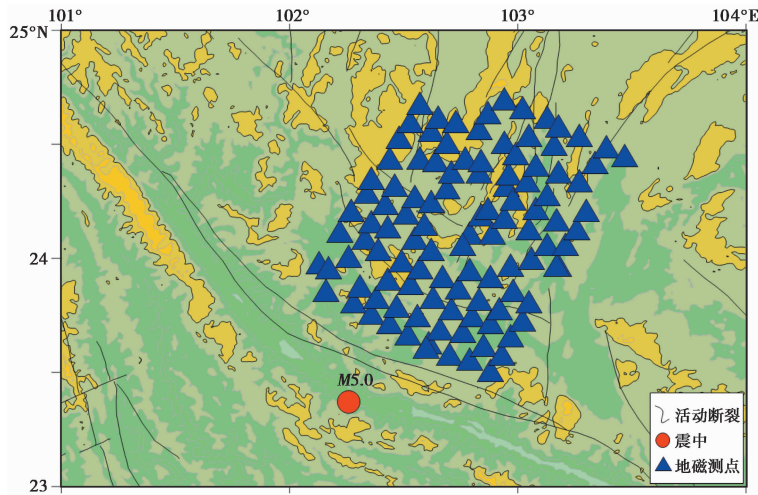


图 1 高密度地磁台阵测点及震中分布

的水平电流,与地表的磁观测仪器处于同一水平面,根据电磁感应原理,地下电性结构的变化导致的感应场变化主要体现在垂直分量 Z 上(姚休义等,2017;李琪等,2006;张志宏等,2019)。因此,地磁垂直分量日变化幅度前后几天的差异可能来自地壳介质电导率的改变,这种变化可能与地震有关(李霞等,2022)。受力学上的加卸载响应比在地震预测方面的应用启发,曾小苹等(1996)将扰日太阳风视为加卸载量,地磁垂直分量日变化幅度 R_z 作为响应量(李霞等,2022),地磁垂直分量日变化幅度极大值 $R_z(\max)$ 定义为加载响应,极大值 $R_z(\max)$ 出现之后的第一个极小值 $R_z(\min)$ 为卸载响应。因此,加卸载响应比 $P(Z)$ 为地磁垂直分量 Z 日变化幅度极大值与其后的第一个极小值之比,即

$$P(Z) = \frac{R_z(\max)}{R_z(\min)} \quad (1)$$

式中, $R_z(\max)$ 为地磁垂直分量日变化幅度极大值, $R_z(\min)$ 为 $R_z(\max)$ 出现之后的第一个极小值(张志宏等,2019;李霞等,2022)。戴苗等(2017)梳理了 2008—2018 年中国大陆各个区域中强地震前地磁加卸载响应比的变化特征,总结了异常空间分布与地震的关系,并建立了中国大陆南北地震带、华北地区、东北地区地震预测指标体系,其中南北地震带区域的地磁加卸载响应比阈值为 3.0,当比值超过 3.0 则定义为异常,若有 3 个以上台站同步出现异常,则可能与地震有关。

1.2.2 地磁日变幅逐日比

冯志生等(2000)在利用加卸载响应比进行江苏地区地震日变化异常特征分析时发现,地磁垂直分量 Z 前后两天日变幅比值的高值异常与台站附近的地震有较好的对应效果,将垂直分量 Z 前后两天日变幅的比值定义为地磁垂直分量日变幅逐日比,并建立了江苏地区的逐日比异常指标(郭明瑞等,2020)。

地磁日变幅逐日比是地磁垂直分量某一天和后一天日变化幅度的比值,即

$$YZ = \frac{R_z t_1}{R_z t_2} \quad (2)$$

$$t_2 = t_1 + 1 \quad (3)$$

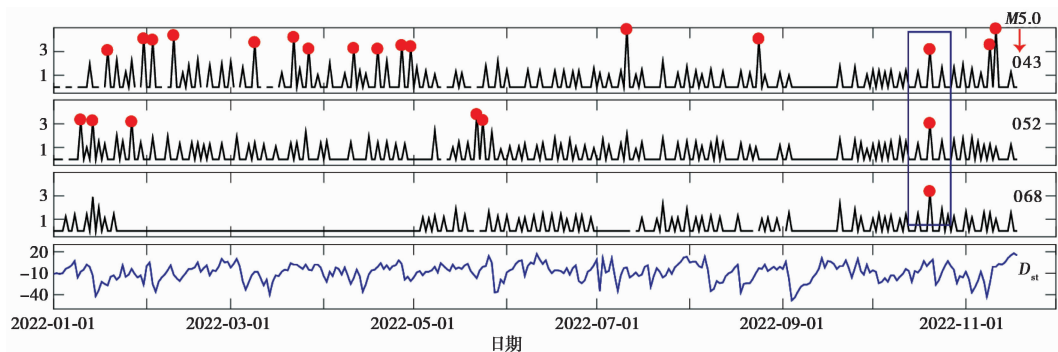
式中, R_z 为地磁垂直分量日变化幅度, t 为观测日期。前人对南北地震带地磁逐日比的研究表明, 当逐日比比值超过 3.0 时, 与南北地震带中强地震具有较好的对应关系, 本文沿用前人的研究结论(中国地震局监测预报司, 2020), 当有 3 个以上台站同步出现逐日比超过 3.0 的情况, 则定义为逐日比异常。

2 结果及异常分析

按照上述数据处理流程, 计算了 2022 年 1 月 1 日至 11 月 18 日测区 110 个磁通门测点数据的地磁加卸载响应比和地磁日变幅逐日比, 并分析了两种地磁异常与 2022 年 11 月 19 日红河 5.0 级地震的关系。

2.1 地磁加卸载响应比异常分析

按照 3 个以上测点同时超过 3.0 阈值的指标, 梳理了测区 110 个地磁测点加卸载响应比计算结果, 发现 2022 年 10 月 20 日编号 043、052、068 三个测点出现了同步高值异常(图 2)。袁桂平等(2018)研究发现, 磁暴活动对地磁垂直分量 Z 日变形态有一定的影响, 在无磁暴时的加卸载响应比和日变幅逐日比异常对地震的短临预测更有意义, 而异常时间段磁暴的发生会降低以上两种方法的可信度。为确定 2022 年 10 月 20 日 043、052、068 测点同步异常的可信度, 对该时间段磁场活动水平进行了排查。 D_{st} 指数显示, 2022 年 10 月 20 日 D_{st} 指数为 5nT, 前后数天的 D_{st} 指数绝对值也低于 30nT, 意味着异常日及前后时间段均无磁暴发生^①, 043、052、068 测点加卸载响应比同步高值异常并非由磁暴引起。此外, 对异常时段内 043、052、068 测点观测数据进行排查, 不存在人为干扰的情况。因此, 2022 年 10 月 20 日 043、052、068 测点同步异常是真实存在的。当异常出现 1 个月后, 发生了 2022 年 11 月 19 日红河 5.0 级地震, 排除磁暴和人为干扰后, 认为 11 月 20 日存在的多测点加卸载响应比同步高值异常与其后 1 个月发生的红河 5.0 级地震有关。



注: 红色圆点表示数值超过 3.0 阈值, 下同。

图 2 编号 043、052、068 测点加卸载响应比曲线和 D_{st} 指数

为进一步分析同步加卸载响应比异常特征, 绘制了异常测点空间分布图(图 3)。从图中可以看出, 043 和 068 两个测点分布在测区南部, 震中距分别为 73km 和 64km, 而 052 测点

^① https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime

位于测区最北部,震中距较远,为163km。戴苗等(2017)和李霞等(2022)研究发现,中强地震前地磁加卸载响应比异常范围较大,震中距较远的台站也能记录到异常。从异常幅度上看,距震中最近的068测点其加卸载响应比异常幅度最大,为3.36,距震中最远的052测点其加卸载响应比异常幅度最小,为3.02。图4给出了加卸载响应比异常幅度随震中距的变化,随着震中距变大,异常幅度逐渐变小。黄清华(2005)模拟了地球内部产生的地震电磁信号在地壳中的传播特征,发现低频信号随距离的增大呈指数衰减(Huang et al,1998),从本文的研究结果来看,异常幅度随震中距的增大而减小。

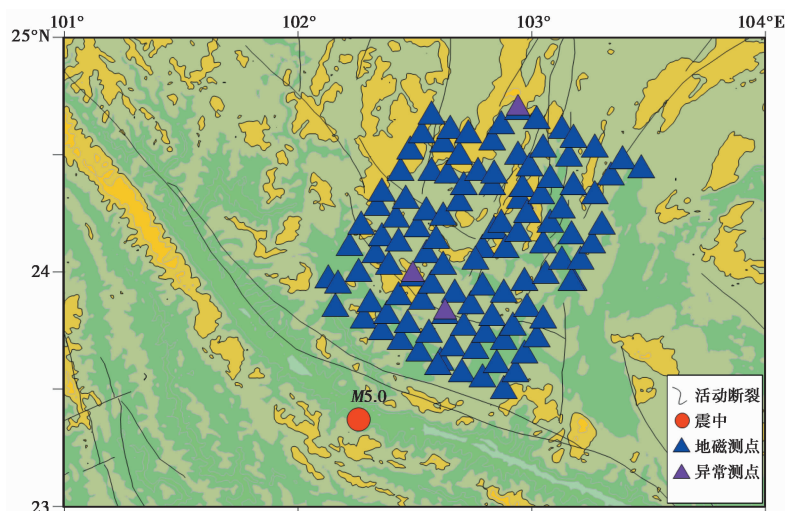


图3 加卸载响应比异常测点和震中分布

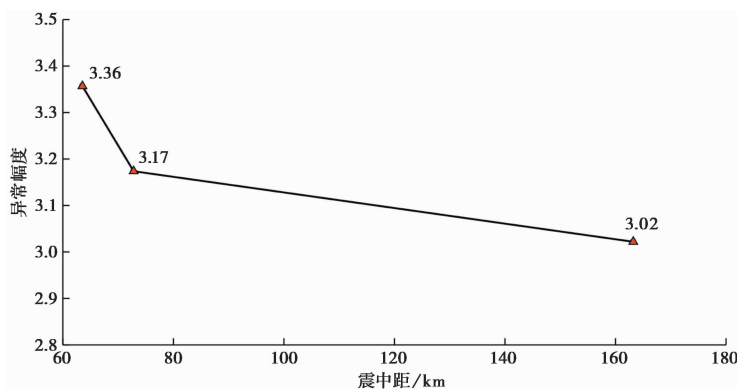


图4 加卸载响应比异常幅度随震中距变化曲线

2.2 地磁日变幅逐日比异常分析

按照3个以上测点同时超过3.0阈值的指标,梳理了测区110个地磁测点日变幅逐日比计算结果,发现2022年9月7日编号008、037、052、060、062、076六个测点出现了同步高值异常(图5)。 D_{st} 指数显示,2022年9月4—5日 D_{st} 指数低至-48nT和-44nT^②,同时 K_p 指数

② https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime

连续达到 5+ 和 6+, 意味着 9 月 4—5 日出现了小磁暴。随后 D_{st} 指数逐渐增大, 9 月 7 日和 9 月 8 日 D_{st} 指数已增大至 -29nT 和 -26nT , 磁暴活动结束, 磁场活动逐渐恢复正常。袁桂平等 (2018) 认为, 对于地磁日变幅逐日比方法而言, 在有磁暴的情况下, 如果异常当日 D_{st} 磁暴指数小于第二日, 异常依旧有一定的可信度。因此, 2022 年 9 月 7 日 008、037、052、060、062、076 六个测点出现的日变幅逐日比高值异常与磁暴活动无关。此外, 对异常时段内 008、037、052、060、062、076 测点观测数据进行排查, 不存在人为干扰的情况。因此, 2022 年 9 月 7 日 008、037、052、060、062、076 测点同步高值异常是真实存在的。异常出现两个半月后, 发生了 2022 年 11 月 19 日红河 5.0 级地震, 排除磁暴和人为干扰后, 认为 9 月 7 日存在的多测点日变幅逐日比同步高值异常与其后的红河 5.0 级地震有关。

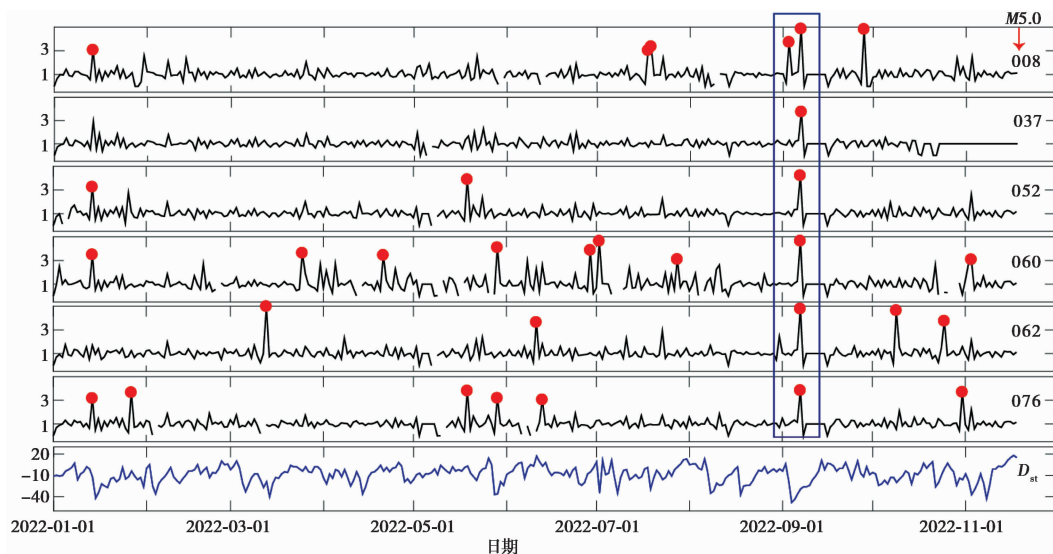


图 5 编号 008、037、052、060、062、076 测点日变幅逐日比曲线与 D_{st} 指数

异常测点空间分布图 (图 6) 显示, 2022 年 9 月 7 日日变幅逐日比高值异常测点主要分布在测区西北角, 远离震中的区域。距离震中最近的为 008 测点, 震中距为 120km , 9 月 7 日的日变幅逐日比达到 4.85; 距离震中最远的测点为 052 测点, 震中距 163km , 日变幅逐日比为 4.21。异常幅度随震中距的变化 (图 7) 显示, 随着震中距逐渐增大, 9 月 7 日的日变幅逐日比呈波动衰减, 062 和 052 测点出现了波动变化, 但整体趋势仍呈现出震中距越大, 异常幅度越小的变化特征。

3 异常机理分析

地磁加卸载响应比和日变幅逐日比均是基于地磁垂直分量 Z 的日变幅度计算, 两种方法出现异常的原因均为垂直分量 Z 日变形态出现畸变, 日变幅异常增大或者减小, 最终导致比值出现超阈值现象。图 8 以加卸载响应比为例, 给出了 2022 年 10 月 20 日正常测点 (编号 022) 和异常测点 (编号 052) 的日变化曲线。地磁静日垂直分量 Z 正常日变化曲线为典型的单低点 V 型曲线, 日变化幅度为 50nT 左右。异常日变化曲线则为双低点 W 型曲线, 且日

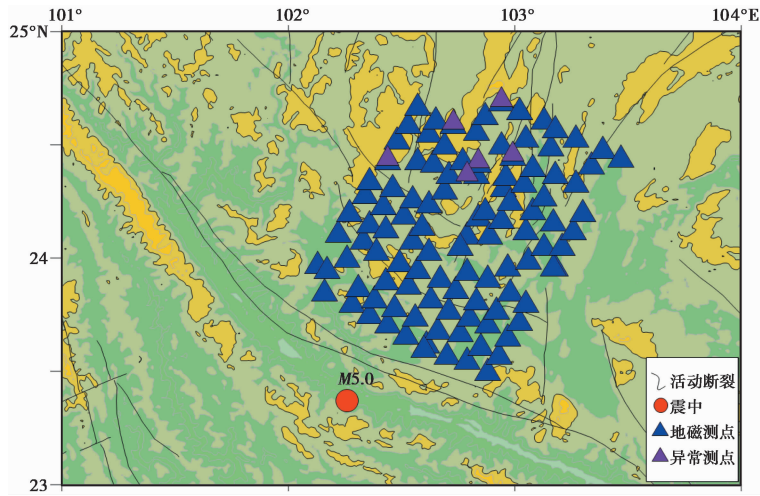


图6 日变幅逐日比异常测点和震中分布

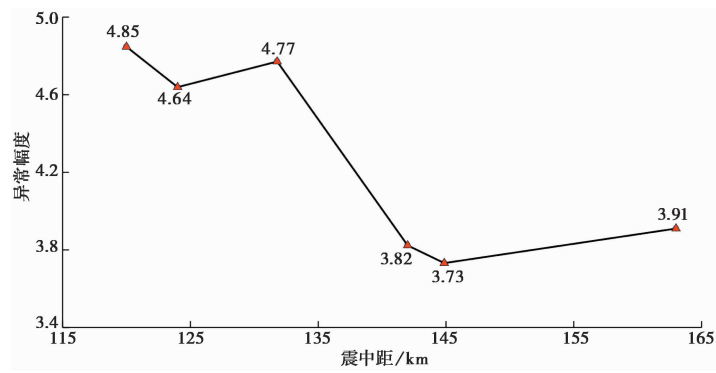


图7 日变幅逐日比异常幅度随震中距变化曲线

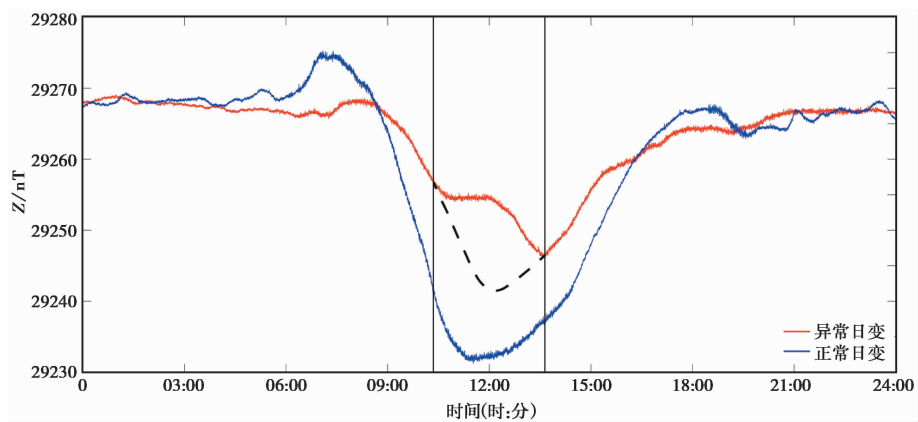


图8 地磁日变化曲线

变化幅度变小,因此加卸载响应比或日变幅逐日比出现了超阈值现象。而日变化异常的原因,则可能与地下异常电流有关。当局部电性结构存在异常高导体或异常电流时,高导体或电流两侧的垂直分量变化 ΔZ 通常相反(徐文耀等,1978;侯作中等,1984;袁伊人等,2015; Yuan et al,2020)。

在图8中,用黑色虚线将正常日变补齐,可以发现畸变部分和补齐的正常日变呈相反变化,意味着正常测点和异常测点间确实存在高导带或异常电流。戴苗等(2017)、倪晓寅等(2022)、戴勇等(2022)和冯志生等(2020)关于地震地磁日变化异常空间分布的研究表明,大部分中强地震发生在阈值线(3.0)附近,认为在震前地磁日变化异常日,阈值线附近存在异常感应电流,导致阈值线两侧台站记录到的地磁日变低点出现反向,即阈值线一侧的地磁日变产生了畸变,从而导致地磁加卸载响应比和日变幅逐日比出现高值异常。本文研究认为,2022年11月19日红河5.0级地震前,地磁加卸载响应比和日变幅逐日比异常的形成机制与前人的研究结果相符,均为震前异常感应电流导致日变化畸变。但在本文的研究中,地震并未发生在阈值线附近,这可能与台阵观测数据质量有关。由于布设的110个测点均为无人值守的临时观测点,数据连续率和完整率均比较低,部分测点在异常时段存在缺数和严重干扰的情况,导致部分测点的数据不可用。

4 结论与讨论

4.1 讨论

研究表明,5.0级以上地震对应的地磁加卸载响应比和日变幅逐日比异常范围较大,通常在300km以上,且地震多发生在阈值线附近区域。戴苗等(2017)关于南北地震带中强地震的研究中,与本次红河地震震级相当的2008年2月5日甘肃肃南5.0级、2009年11月9日四川遂宁5.0级地震的加卸载响应比异常范围均超过500km,这与Hattori(2004)统计的 $0.025R \leq M-4$ 的震级-震中距关系不符,可能是因为日变化周期较长,影响范围较大。而Hattori(2004)的统计主要基于ULF频段震磁研究结果展开,周期较短,影响范围也较小。此外,震中距较近的测点无异常,震中距超过100km的测点却出现异常,无规律的异常空间分布一直是困扰地震地磁研究乃至整个地震前兆研究领域的问题。黄清华(2005)在模拟地球内部产生的地震电磁信号在地壳中的传播特征时发现,边界条件和震源的位置、强度等对电磁信号的分布特征影响甚微,而信号的绝对大小和频率则直接影响着电磁信号的分布。这意味着异常分布与震源位置、震级强度并无太大关系。但震中距越大、异常幅度越小的特征与黄清华(2005)的模拟结果较为一致(Huang et al,1998)。

从空间分布上看,异常测点主要分布在与发震构造红河断裂垂直的震中东北区域,这与地震震源机制解和测区电性结构有关。杜学彬等(2006)统计发现,地震孕育晚期大部分视电阻率各向异性变化与震源机制解有关。本次红河地震的震源机制解界面II作为发震断层,走向为 297.9° ,在震源区及附近其正交方向挤压作用突出,介质内部竖向微裂隙发育,导电水溶液快速进入或重新分布,产生沿最大加压方向快速、大幅度变化的真电阻率各向异性变化,所以产生了垂直加压方向快速、大幅度变化为主的视电阻率各向异性变化(杜学彬等,2006),视电阻率变化导致感应磁场也同步变化。另一方面,由于是无人值守临时观测台阵,数据连续率和完整率均比较低,因此本文记录到的异常区域并非实际异常区域,故异常区域

分布与前人的研究结果也存在差异。

4.2 结论

基于小江断裂中南段布设的高密度磁通门台阵观测数据,利用地磁加卸载响应比和日变幅逐日比两种方法分析了2022年11月19日云南红河5.0级地震前地磁日变化异常特征。研究结果显示,2022年10月20日(地震前1个月左右),043、052、068三个测点出现了同步加卸载响应比高值异常;此外,2022年9月7日(震前两个半月左右),008、037、052、060、062、076六个测点也同步出现了日变幅逐日比高值异常。排除磁暴影响和人为干扰后,认为上述多测点同步高值异常与红河5.0级地震有关。虽然大部分异常测点分布在震中距较远的区域,但异常幅度均呈现出震中距越大、幅度越小的特征。

参考文献

- 戴苗,冯志生,刘坚,等. 2017. 南北地震带地磁加卸载响应比应用研究. 地质科技情报, **36**(4):222~227,249.
- 戴勇,冯志生,吴迎燕,等. 2022. 地磁日变化感应电流异常与地震的成组特征初步分析. 中国地震, **38**(2):199~212.
- 杜学彬,马占虎,叶青,等. 2006. 与强地震有关的视电阻率各向异性变化. 地球物理学进展, **21**(1):93~100.
- 冯志生,林云芳,王建宇,等. 2000. 江苏地磁加卸载响应比的异常标志体系. 地震, **20**(2):61~68.
- 冯志生,姜楚峰,冯丽丽,等. 2020. 短期重现性地磁日变化感应电流集中分布与地震关系初步研究. 中国地震, **36**(3):502~516.
- 郭明瑞,胡久常,王锡娇,等. 2020. 剑河 M5.5 地震前地磁异常特征分析. 地震科学进展, **50**(5):12~17.
- 侯作中,史铁生. 1984. 云南省的地磁短周期变化异常. 地震学报, **6**(3):287~293.
- 黄清华. 2005. 地震电磁信号传播的控制模拟实验. 科学通报, **50**(16):1774~1778.
- 李琪,李军辉,杨冬梅,等. 2008. 地磁 ULF 前兆信息研究简述. 地震地磁观测与研究, **29**(6):170~176.
- 李琪,林云芳,曾小苹. 2006. 应用小波变换提取张北地震的震磁效应. 地球物理学报, **49**(3):855~863.
- 李琪,杨星,蔡绍平. 2015. 极化方法应用于地磁台阵的震例分析. 震灾防御技术, **10**(2):412~417.
- 李琪,袁伊人,杨星,等. 2016. 2013年3月3日洱源 M_s 5.5 地震前地磁谐波振幅比异常研究. 地震学报, **38**(1):122~129.
- 李霞,冯丽丽,赵玉红,等. 2022. 2021年5月22日青海玛多 M_s 7.4 地震前地磁加卸载响应比变化特征. 地球物理学进展, **37**(3):964~970.
- 倪晓寅,陈莹,杨锦玲. 2022. 地磁逐日比异常电磁学成因的进一步分析. 中国地震, **38**(2):239~247.
- 王晓美. 2018. 地磁场相对变化观测技术研究. 博士学位论文. 北京:中国地震局地球物理研究所.
- 徐文耀,李卫东. 1993. S_q 发电机电流的 UT 变异性及其地面磁场的重建. 地球物理学报, **36**(4):417~427.
- 徐文耀,祁骥,王仕明. 1978. 甘肃省东部地区短周期地磁变化异常及其与地震的关系. 地球物理学报, **21**(3):218~224.
- 杨杰. 2020. 基于滇西北地磁台阵的地下电性结构震前变化特征研究. 硕士学位论文. 北京:中国地震局地球物理研究所.
- 杨杰,李琪,袁伊人. 2021. 2013年3月3日洱源 M_s 5.5 地震前地磁转换函数异常研究. 地震学报, **43**(2):215~226.
- 杨学慧,杨正纲,姚休义,等. 2020. 地磁观测数据中典型干扰识别与处理. 高原地震, **32**(3):30~36,68.
- 姚休义,滕云田. 2017. 2010年元谋 M_s 5.2 地震前地磁极化异常研究. 地震研究, **40**(3):444~448.
- 袁桂平,李鸿宇,张贵霞,等. 2018. 地磁垂直分量 Z 日变幅逐日比及其与磁暴和地震的关系. 地震, **38**(1):139~146.
- 袁伊人,李琪,朱培育. 2015. 滇西北地区地磁短周期变化特征研究. 地震地磁观测与研究, **36**(3):77~82.
- 曾小苹,续春荣,赵明,等. 1996. 地球磁场对太阳风的加卸载响应与地震. 地震地磁观测与研究, **17**(1):49~53.
- 张亮娥,闫计明,陈常俊,等. 2018. 主成分分析在山西地磁台阵数据分析中的应用. 华北地震科学, **36**(1):64~68.
- 张志宏,李梦莹,钱蕊,等. 2019. 东北地区地磁 LURR 中强震指标研究. 防灾减灾学报, **35**(1):7~12.
- 中国地震局监测预报司. 2020. 地震电磁分析预测技术方法工作手册. 北京:地震出版社.
- 朱兆才. 1989. 空间相关性分析在地磁观测研究中的应用. 地震地磁观测与研究, **10**(5):44~49.
- Hattori K. 2004. ULF geomagnetic changes associated with large earthquakes. Terr Atmos Ocean Sci, **15**(3):329~360.
- Hayakawa M, Kawate R, Molchanov O A, et al. 1996. Results of ultra-low-frequency magnetic field measurements during the Guam

- earthquake of 8 August 1993. *Geophys Res Lett*, **23**(3):241~244.
- Hayakawa M, Hattori K. 2004. Ultra-low-frequency electromagnetic emissions associated with earthquakes. *IEEJ Trans Fundam Mater*, **124**(12):1101~1108.
- Huang Q H, Ikeya M. 1998. Seismic electromagnetic signals (SEMS) explained by a simulation experiment using electromagnetic waves. *Phys Earth Planet In*, **109**(3~4):107~114.
- Hunt A G. 2005. Comment on “Modeling low-frequency magnetic-field precursors to the Loma Prieta earthquake with a precursory increase in fault-zone conductivity,” by M. Merzer and S. L. Klemperer. *Pure Appl Geophys*, **162**(12):2573~2575.
- Nagao T, Enomoto Y, Fujinawa Y, et al. 2002. Electromagnetic anomalies associated with 1995 Kobe earthquake. *J Geodynam*, **33**(4~5):401~411.
- Prattes G, Schwingenschuh K, Eichelberger H U, et al. 2008. Multi-point ground-based ULF magnetic field observations in Europe during seismic active periods in 2004 and 2005. *Nat Hazard Earth Syst Sci*, **8**(3):501~507.
- Uyeda S, Hayakawa M, Nagao T, et al. 2002. Electric and magnetic phenomena observed before the volcano-seismic activity in 2000 in the Izu island region, Japan. *Proc Natl Acad Sci USA*, **99**(11):7352~7355.
- Villante U, De Lauretis M, De Paulis C, et al. 2010. The 6 April 2009 earthquake at L'Aquila; a preliminary analysis of magnetic field measurements. *Nat Hazard Earth Syst Sci*, **10**(2):203~214.
- Yuan Y R, Uyeshima M, Huang Q H, et al. 2020. Continental-scale deep electrical resistivity structure beneath China. *Tectonophysics*, **790**:228559.

Geomagnetic Anomalies Evolution Associated with the Honghe *M*5.0 Earthquake on November 19, 2022—Based on Data of High-density Geomagnetic Observation Array

Fan Liyun¹⁾, He Zhihui¹⁾, Yang Zhenggang¹⁾, Zhu Peiyu²⁾, Fan Wenjie¹⁾

1) Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, China

2) Shanghai Earthquake Agency, Shanghai 200062, China

Abstract Based on data of 110 high-density geomagnetic observation arrays in the middle and southern sections of the Xiaojiang Fault, we investigated potential precursors to the *M*5.0 Honghe earthquake in Yunnan Province, which occurred on November 19, 2022. Abnormal geomagnetic signals, specifically diurnal variations, were detected using two methods: the geomagnetic load-unload response ratio and the ratio of daily amplitude. Our results indicate that, approximately one month before the earthquake, the geomagnetic load-unload response ratios at points 043, 052 and 068 exceeded the threshold of 3.0. Additionally, the ratios of daily amplitude at points 008, 037, 052, 060, 062 and 076 surpassed the 3.0 threshold about two and a half months prior to the event. During this period, the influence of magnetic storms and other external disturbances was excluded from the observed data. Most of the anomaly points were located far from the earthquake epicenter, and the magnitude of the anomalies decreased with increasing distance from the epicenter.

Keywords: Honghe earthquake; Geomagnetic observation array; Seismic magnetic anomaly; Anomalies analysis