

云南地区地电暴变化分析研究*

胡小静, 付虹

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 针对2008年以来发生的12次磁情指数 $K \geq 6$ 的磁暴事件, 分析了云南地区洱源、罗茨台地电场在磁暴发生期间的日变化特征、频谱特征及地电幅度与磁暴指数 K 及 ΣK 之间的相关关系, 结果表明: 地电场所有测向的不同装置均能记录到同步的地电暴变化, 其最大变化幅度与相关系数均明显高于正常日变; 不同地区的地电场观测对磁暴事件的响应程度不一样, 且随着磁情指数 K 的增大明显增强, 并对其物理机制进行了讨论。

关键词: 磁暴; 地电暴; 日变化特征; 频谱特征; 物理机制

中图分类号: P319.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2013)04-00490-06

0 引言

地电场观测作为获取地震短临前兆信息的方法之一, 发展至20世纪80年代初, 由于电极极化等问题, 地电场观测及研究工作进展并不理想(杜学彬等, 2007), 而同期在国外, 以希腊雅典大学为代表的研究集体先后建立了多个地电场遥测台网, 利用连续观测数据来预报地震在国际学术界引起了很大反响(赵玉林等, 1995)。“九五”期间, 我国借鉴了法国研制的不极化电极技术, 开始大规模建设数字化地电场观测台网。近年来, 一些学者从不同角度、采用不同方法分析研究了我国地电场观测在中强震前的一些预报应用, 研究结果显示, 在多次地震前, 不同地电场均接收到了一定的异常信号(马钦忠等, 2009; 2011; 张小涛等, 2011)。发展至今, 虽然地震工作者对地电场数据有了一定的认识, 但由于地电场的变化成分比较复杂, 给准确识别地电场观测数据中真正的地震前兆异常信息带来了相当大的困难(叶青等, 2007; 卫定军, 2010)。

磁暴作为一种剧烈的全球性扰动变化, 是太阳强烈活动期间喷发粒子流作用到地球磁场上产生的一种电磁效应(张满莲, 2005; 李树华, 石绍先, 2005), 在此期间, 必然会对地电场观测造成干扰和影响, 目前关于磁暴期间地电场记录到的地电暴现象的深入研究成果还比较少。本文初

步研究了地电场在磁暴发生期间的变化特征及其物理机理, 对地电场数据的进一步认识, 为一些非震兆异常的有效判定提供一定帮助。

1 地电场概况及资料选取

1.1 洱源、罗茨地电场

洱源地电场位于鹤庆—洱源断裂的洱源盆地, 观测外线路布设为等极距平行L形, 极距均为282 m, 采用不极化电极, 长、短极距电极埋深分别为5 m和3 m; 罗茨地电场位于罗茨—易门断裂的罗茨盆地, 观测外线路布设为长、短极距平行L形, 长、短极距分别为300 m和250 m, 采用圆柱体的铅电极, 电极埋深均为5~6 m。两观测场地均使用ZD9A-II地电场仪进行观测。

1.2 资料选取

自2008年以来, 磁情指数 $K \geq 6$ 的磁暴共发生15次, 其中 $K=6$ 的磁暴13次, $K=7$ 的磁暴2次。在此期间, 由于仪器故障及断电影响, 剔除罗茨台3次缺数时段资料, 选取10次 $K=6$ 和2次 $K=7$ 磁暴期间, 地电暴记录较清晰的洱源和罗茨2个地电场的原始观测数据作为研究对象。

2 资料分析

2.1 磁暴时地电场的日变化特征

图1为2012年6月16~18日($K=6$)和

* 收稿日期: 2013-04-28.

基金项目: 云南省人民政府十项措施监测预报项目(JCYB 20080601 05)资助.

2011年9月26~27日 ($K=7$) 通海地磁 F 分量和洱源、罗茨地电场长极距北南、东西向的分钟值时间进程曲线, 从图可见在磁暴发生期间, 地电场记录到了类似于地震波形的尖锐脉冲变化, 这种异常变化出现的时间与磁暴开始的时间基本同

步。相比磁场总强度 F 的变化过程, 地电场记录到的变化更剧烈、高频变化成分更丰富。

针对磁暴期间地电场高频异常显著增多的现象, 笔者分别统计了2012年6月17日磁情指数 $K=6$ 和2011年9月27日磁情指数 $K=7$ 的磁暴期

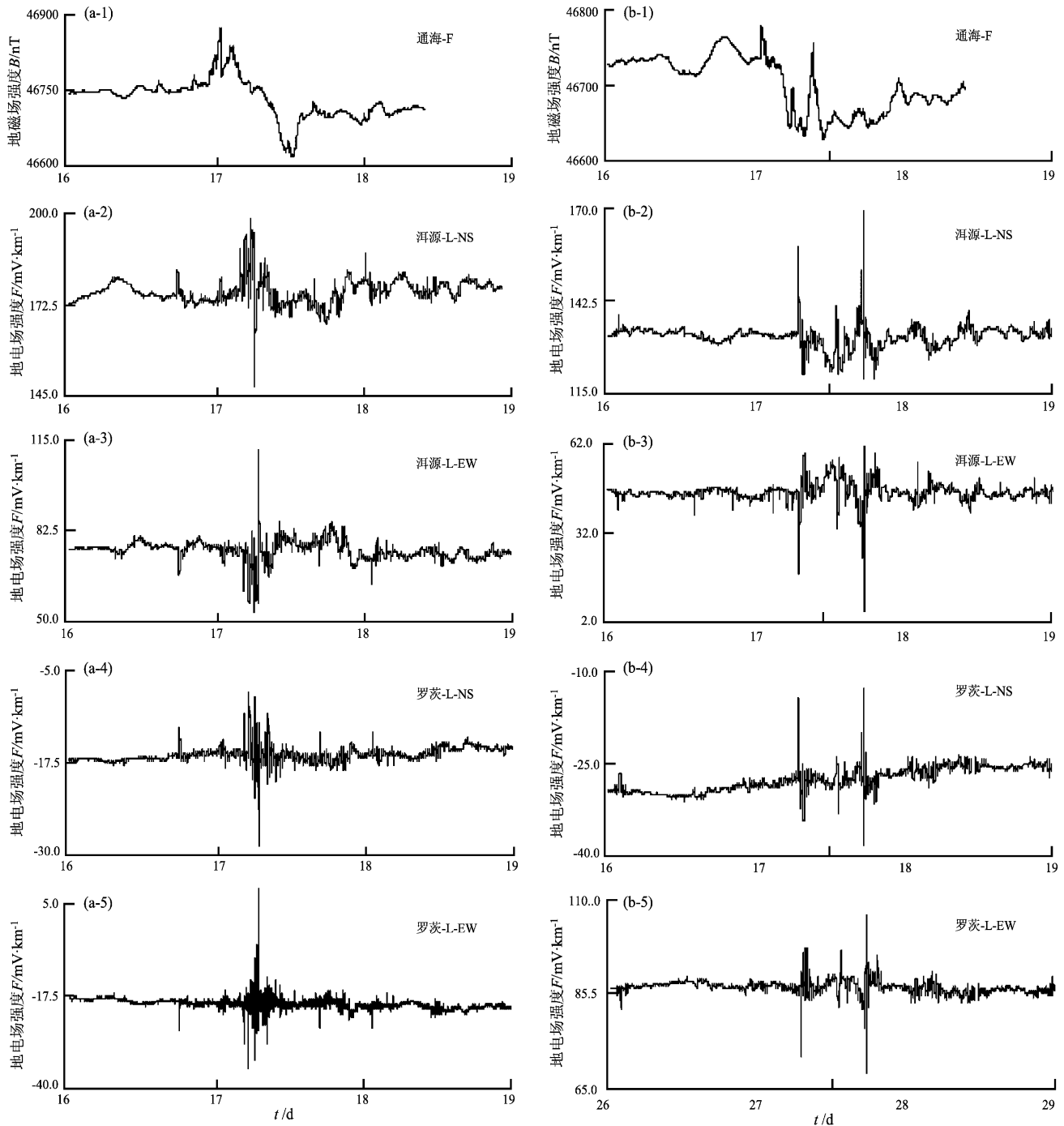


图1 2012年6月16~18日 ($K=6$) (a), 2011年9月26~27日 ($K=7$) (b)
地磁场、地电场分钟值曲线图

Fig. 1 Minute value curves of geomagnetic and geoelectric fields on Jun. , 16 ~ 18, 2012 ($K=6$) (a), and on Sep. , 26 ~ 27, 2011 ($K=7$) (b)

间, 洱源和罗茨地电场各测向的长、短极距的最大变幅, 并采用最大相关系数分析方法, 计算了磁暴发生期间, 对应测向长、短极距分钟值之间的相关系数, 取其平均值作为磁暴期间地电场该测向的相关系数。考虑洱源和罗茨地电场的电极改造时间, 分别对洱源地电场 2010 年 4 月 1 日至 2012 年 9 月 30 日的日均值和罗茨地电场 2010 年 12 月 1 日至 2012 年 9 月 30 日的日均值进行计算和分析, 取其平均值作为地电场正常日变化幅度及相关系数。具体数据见表 1。

表 1 磁暴日与正常日洱源、罗茨地
电场日变幅及相关系数表

Tab. 1 Daily variation amplitude of the geoelectric field at Eryuan and Luoci Stations and their correlation coefficient on Geomagnetic storm and normal days

台站	测向	最大变幅/($\text{mV} \cdot \text{km}^{-1}$)			相关系数		
		$K=6$	$K=7$	正常日	$K=6$	$K=7$	正常日
洱源	NS-L	25.19	50.0	7.7	0.980	0.990	0.858
	NS-S	48.13	99.8	30.6			
	EW-L	31.49	59.2	6.6			
	EW-S	64.39	118.8	19.4	0.986	0.972	0.866
	NE-L	38.92	74.6	10.9			
	NE-S	79.37	149.0	33.3			
	平均值	47.9	91.9	18.1	0.983	0.976	0.854
罗茨	NS-L	18.7	25.5	2.84	0.983	0.980	0.876
	NS-S	18.5	25.2	4.3			
	EW-L	27.7	38.3	3.5			
	EW-S	21.6	29.8	5.2	0.972	0.950	0.824
	NE-L	9.9	14.2	2.2			
	NW-S	4.6	6.7	2.5			
	平均值	16.8	23.3	3.4	0.954	0.947	0.833

从表 1 可以看出, 在磁暴发生期间, 洱源和罗茨地电场的最大变幅相差明显, 其中洱源地电场长极距约为罗茨地电场的 2 倍, 短极距约为 4 倍; 地电场的变化幅度比正常日变幅显著增大, 从平均值来看, 在 $K=6$ 磁暴发生期间, 洱源、罗茨地电场平均最大变幅分别可达正常日变幅度的 3 倍和 5 倍左右, 在 $K=7$ 磁暴发生期间, 洱源、罗茨地电场平均最大变幅分别可达正常日变幅度的 5 倍和 7 倍左右; 地电场各测向的相关系数较正常日变形

态明显升高, 其中洱源地电场相关系数比正常日变形态平均高 0.13 左右, 罗茨地电场则平均高 0.12 左右。

2.2 磁暴时地电场的频谱特征

为了进一步分析地电暴的变化特征, 选取 2012 年 6 月 17 日 ($K=6$) 和 2011 年 9 月 27 日 ($K=7$) 洱源、罗茨地电场长极距北南、东西向观测数据, 利用最大熵谱法进行频谱分析, 结果见表 2、图 2。

表 2 磁暴时洱源、罗茨地电场功率谱分析结果

Tab. 2 Power spectrum analysis of the geoelectric field at Eryuan and Luoci Stations on geomagnetic storm days

台站	测向	2012 年 6 月 17 日($K=6$)		2011 年 9 月 27 日($K=7$)	
		主频周期成分/min	最大功率谱值/ $\times 10^3 \text{ J}$	主频周期成分/min	最大功率谱值/ $\times 10^3 \text{ J}$
洱源	NS-L	0.001 2	3.500 2	0.003 0	2.674 2
	EW-L	0.001 4	2.990 3	0.003 1	1.937 8
罗茨	NS-L	0.000 9	0.058 6	0.000 4	0.939 5
	EW-L	0.001 7	0.088 3	0.000 4	0.375 8

根据表 2 和图 2 的计算结果, 对磁暴期间地电场的频谱特征分析如下: (1) 从主要频率的周期成分来看, 相同台站的 NS、EW 向主频周期成分基本相同, 不同台站之间存在一定的不一致性; (2) 从最大功率谱值来看, 相同地电场 NS、EW 分量的谱值比较接近; 不同地电场的谱值存在明显的差异; (3) 对比两次不同 K 指数的地电暴, 主频周期成分和最大功率谱值变化随着 K 指数的增大不存在明显的规律; (4) 从整体衰减过程来看, 不同地电场的谱系结构随周期变化的趋势基本相同。

2.3 地电暴幅度与磁暴 K 指数及 $\sum K$ 之间的相关分析

取 2008 年以来 12 次 $K \geq 6$ 磁暴发生期间, 洱源和罗茨地电场 NS 向长极距所对应的最大变幅数据进行分析, 从图 3 可见, 当 $K=7$ 时, 洱源、罗茨地电场观测均出现了最大变化, 而最大变化与 $\sum K$ 的大小不成线性关系, 因此分析认为磁情指数 K 的大小与地电暴的相关性更为明显。

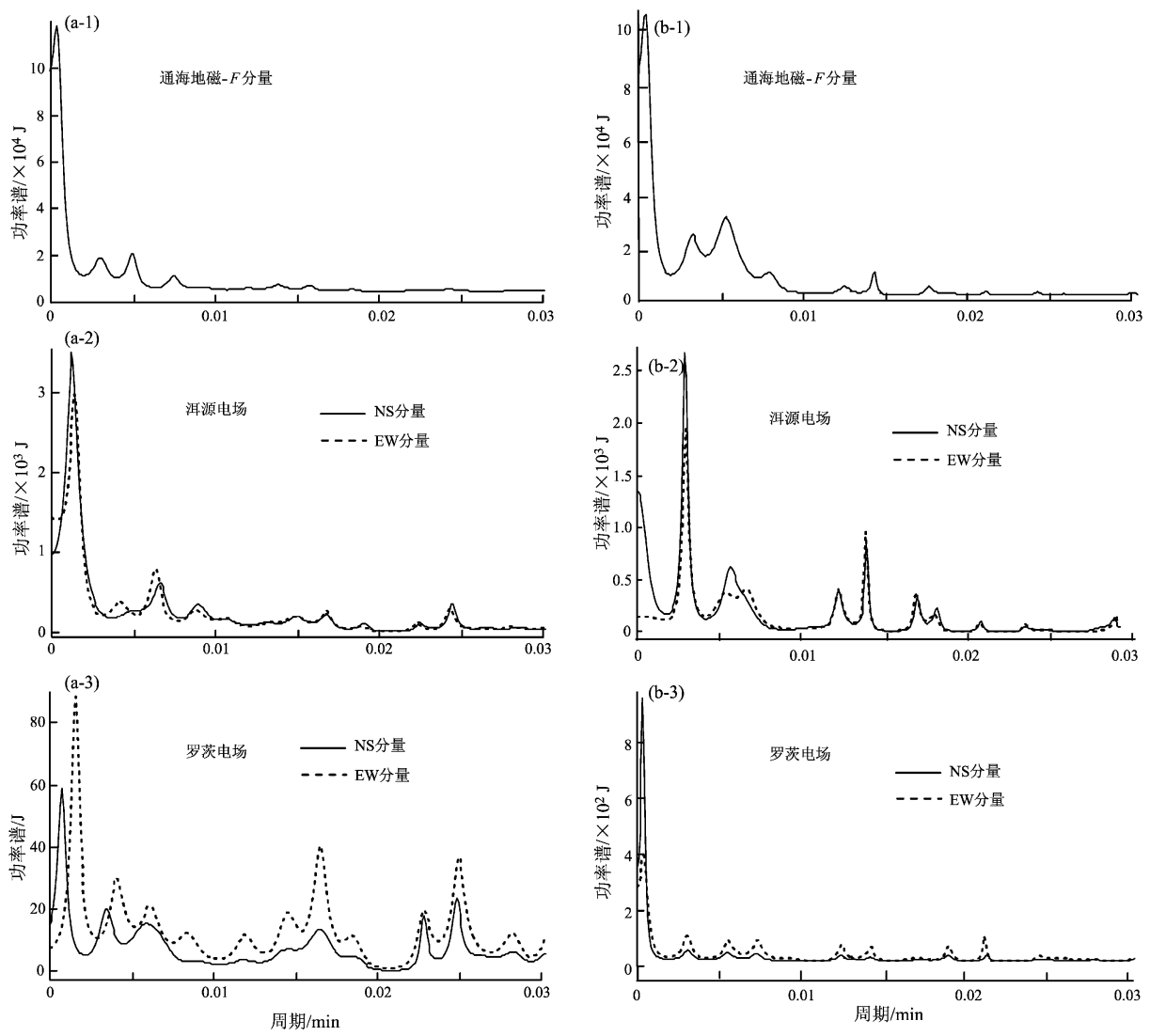


图2 2012年6月17日 ($K=6$) (a)、2011年9月27日 ($K=7$) (b)
地磁场、地电场分钟值频谱图

Fig. 2 Minute value spectrum graph of geomagnetic and geoelectric fields
on Jun. , 17 in 2012 ($K=6$) (a) , and on Sep. , 27 in 2011 ($K=7$) (b)

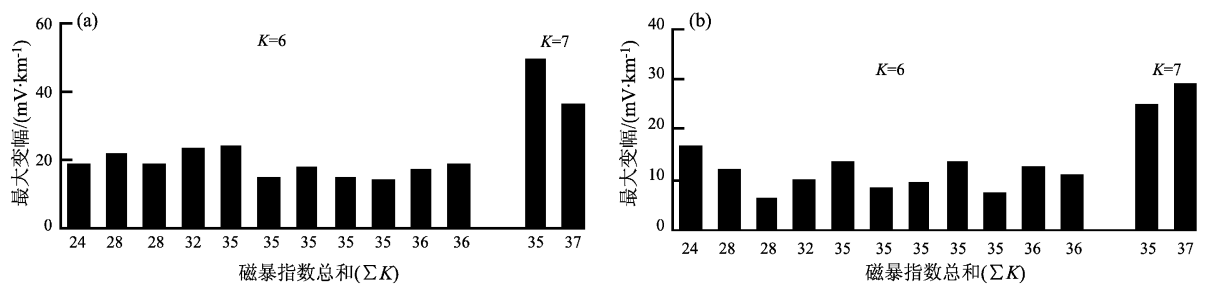


图3 地电场最大变幅分别与 K 、 $\sum K$ 关系图
(a) 洱源地电场; (b) 罗茨地电场

Fig. 3 Relations of the maximum amplitude with geomagnetic
storm index K and $\sum K$ in the geoelectric field
(a) Eryuan geoelectric field; (b) Luoci geoelectric field

3 地电暴物理机理讨论

19 世纪,人类发现在太阳活动高峰期,电报系统会无故发生紊乱;进入 20 世纪,人类便开始更多地研究大磁暴期间所产生的感应电流对供电系统、通讯电缆及输气管道造成的破坏和影响(马晓冰等,2005);随着地电场观测台网的建设,分析发现在磁暴发生期间,地电场观测中记录到的地电暴现象,在很大程度上也与磁暴所产生的感应电场有关。

3.1 地电暴与感应电场分析

对 2012 年 6 月 17 日 $K=6$ 磁暴期间地电暴幅度进行统计,洱源、罗茨地电场的最大变幅平均值分别为 83.0 mV/km、16.8 mV/km。也就是说,磁暴发生期间,不同地区所记录的地电暴幅度具有显著的差异性。为此,我们研究了地电暴期间感应电场与磁场之间的关系。

在地球变化磁场 ($\partial B/\partial t$) 的作用下,地表会感应生成相应的电场 E ,而当地磁场发生强烈扰动,即在磁暴期间,感应电场强度最高可达每公里几十伏,持续时间可达几小时。同时,强的感应电场便会在导体内产生感应电流 J ,随之感应电流反过来又再次产生一个附加磁场,继而感应出另一个电场,如此反复循环,且感应电场与垂直方向的磁场分量之间存在关系式

$$E(\omega) = Z(\omega) \times B(\omega). \quad (1)$$

式中, $Z(\omega)$ 为该地区地表阻抗值; $B(\omega)$ 为该地区磁场分量强度。

由式 (1) 可以看出,感应电场强度为该地区的地表阻抗值与磁场强度的乘积,从而可以得出,对于一个剧烈变化的地磁场所产生的感应电场,其大小主要是由该地区一定深度的总电导所决定的(马晓冰等,2005;徐文耀,2003);也有研究结果表明,地电场观测中,其日变化幅度在很大程度上与观测台址表层电阻率大小有关(杜学彬等,2007)。这也表明了在同一磁暴期间,不同地区地电场观测对其响应程度是不同的,也就是所产生的地电暴幅度是不一样的。

另外,从理论上来讲,不同地电场在同一磁暴期间,其主要频率的周期成分应该是相同的,但实际数据分析却存在不一致性。由于文中所研

究的洱源、罗茨地电场在“十五”项目前期安装和架设过程中,均未开展电测深工作,实际的总电导数据无法获取,无法通过实际计算结果来与其观测结果进行对比。

3.2 地电暴与地磁 K 指数分析

罗茨地电场在磁情指数 $K=6$ 时,地电暴平均最大变幅为 10 mV/km,在磁情指数 $K=7$ 时,其平均最大变幅为 22 mV/km;洱源地电场在磁情指数 $K=6$ 时,地电暴平均最大变幅为 20 mV/km,在磁情指数 $K=7$ 时,其平均最大变幅为 40 mV/km。对于一个确定的地电场,当磁情指数不一样时,其地电暴最大变幅是不一样的。为此我们研究了地电暴幅度与磁情指数 K 之间的关系。

根据式 (1) 可知,在一个确定的地区范围内,其电阻率结构在一定程度上是固定的,该范围的总电导就是确定的,因此由地磁扰动所产生的感应电场的变化幅度,与该时段内地磁扰动幅度成线性正相关,也就是所产生的地电暴幅度与用来描述地磁扰动强度的 K 指数呈正相关,随着 K 指数的增加,电场强度一般也随之增大。

4 认识与讨论

(1) 磁暴发生期间,所有地电场不同测向的长、短极距均能够记录到同步的、类似于地震波形的剧烈变化,其变化成分和形态比地磁场记录的更为丰富。

(2) 磁暴发生期间,地电场的最大变化幅度达正常日变的 4~5 倍(该结果是在仪器设置了门限值之后,否则会更大),相关系数也较平常高,表明磁暴对地电场的控制作用较强。

(3) 磁暴发生期间,不同地电场的响应程度不一样。分析认为这与测区周边的观测条件有关,其中最主要的因素是测区范围一定深度的总电导或者台址浅层的电阻率。

(4) 随着磁情指数 K 的增大,地电场的变化幅度随之明显增大, $K=7$ 时地电场的最大变幅约为 $K=6$ 时的 2 倍左右;而当磁情指数 K 不变时,地电场的最大变幅随着 ΣK 的增大影响不显著,不存在相对比较一致的变化趋势,表明磁暴的大小与地电场的关系更为显著。

(5) 从地电暴谱值的整体衰减过程来看,不同地电场的谱系结构随着周期的变化趋势基本相

同,但在主频周期成份和谱值方面均存在一定的不一致性。

(6) 磁暴期间地电场所记录的剧烈变化与该期间地磁场发生强烈扰动所产生的感应电场有关,其强度与垂直的磁场分量的强度相关,因此磁暴期间观测得到的地电场异常变化不能作为地震前兆异常。加强对磁暴期间地电场变化的认识,为排除地电场的一种干扰异常,提供了依据。

文章研究过程中得到了付虹研究员的多次指导和修改,宁夏局卫定军提供了最大熵谱分析程序以供学习参考,在此表示感谢!

参考文献:

- 杜学彬,叶青,赵杰,等. 2007. 地电场日变化研究[J]. 地震,27(增刊):121-130.
- 李树华,石绍先. 2005. 磁暴 K 指数与云南地区中强震相关性统计分析[J]. 地震研究,28(3):236-238.

- 马钦忠,唐宇雄,张永仙. 2011. 2008年西藏4次 $M_s 6.0$ 以上地震前拉萨地电场异常信号特征[J]. 地震,31(1):86-97.
- 马钦忠,赵卫国,张文平. 2009. 文县地电场震前异常变化及其在2001年昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震预测研究中的应用[J]. 地震学报,31(6):660-670.
- 马晓冰, Ferguson I J, 孔祥儒,等. 2005. 地磁感应电流(GIC)的作用与评估[J]. 地球物理学报,48(6):1282-1287.
- 卫定军. 2010. 宁夏石嘴山和固原地电场资料对比分析[J]. 内陆地震,24(1):64-72.
- 徐文耀. 2003. 地磁学[M]. 北京:地震出版社.
- 叶青,杜学彬,周克昌,等. 2007. 地电场变化的频谱特征[J]. 地震学报,29(4):382-390.
- 张满莲. 2005. 全球电离层对2000年4月6-7日磁暴事件的响应[J]. 空间科学学报,25(3):173-180.
- 张小涛,陈化然,马新欣,等. 2011. 玉树 $M_s 7.1$ 地震前地电场异常变化特征分析[J]. 大地测量与地球动力学,31(增刊):38-42.
- 赵玉林,李正南,钱复业,等. 1995. 地电前兆从中期向短临过渡的综合判据[J]. 地震,15(4):13-24.

Analysis and Research on Geoelectric Storm Variation in Yunnan Region

HU Xiao-jing, FU Hong

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650024, Yunnan, China)

Abstract

Based on 12 geomagnetic storm events with $K \geq 6$ geomagnetic index since 2008, we analyzed the characteristic of diurnal variation and frequency spectrum, and the relation between the maximum amplitude of geoelectric storm and the geomagnetic index K and $\sum K$ of the observation data in geoelectric field at Eryuan and Luoci stations in Yunnan region. The result shows that the synchronized geomagnetic storm variation could be recorded by the different devices in all direction measure of the geoelectric field, and the maximum variation amplitude and the correlation coefficient of geomagnetic storm were significantly higher than normal diurnal variation. The response degree of geoelectric field observation in different area to the geomagnetic storm was different, and variation amplitude of geoelectric field obviously increased with the increase of magnetic index K , and the physical mechanism of it was discussed.

Key words: geomagnetic storm; geoelectric storm; diurnal variation characteristic; frequency spectrum characteristic; physical mechanism