

鲍海英,蒋延林,樊晓春,等,2020. 高压直流输电对地电场观测的影响探讨. 中国地震,36(3):607~619.

高压直流输电对地电场观测的影响探讨

鲍海英¹⁾ 蒋延林²⁾ 樊晓春³⁾ 毕雪梅¹⁾
卜玉菲¹⁾ 张秀霞¹⁾

1)江苏省地震局,南京 210014

2)江苏省高邮地震台,江苏高邮 225600

3)南京市地震局,南京 210014

摘要 随着全国越来越多的高压直流线路投入运行,地电场观测数据的质量受到严重干扰。本文从高压直流输电干扰对地电场观测的影响机理出发,以江苏地区为例,对其5年来高压直流输电线路对地电场观测数据的影响特征进行分析总结,得出相关结论:①当地电场观测数据受高压直流输电线路干扰时,地电场观测数据会出现畸变,持续一段时间后,不平衡电流消失,数据恢复正常;②地电场观测数据产生畸变的方向与观测台站的装置布设方式、接地极相对观测台站的位置有关;③高压直流输电线路接地极距离江苏地电台站较远,同一台站同一方向受同一高压直流输电线路影响的长短极距观测数据变化幅度之比接近1;④不同次高压直流输电干扰在同一台站出现地磁干扰变化幅度一致时,同一台站的地电场观测变化幅度不一定一致,与台站和接地极之间的地下电性结构的导电性变化有关。

关键词: 地电场 高压直流输电 干扰

[文章编号] 1001-4683(2020)03-0607-13 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地电场是重要的地球物理场之一,其观测数据包含大地电场和自然电场两部分。大地电场为地球表面存在的天然变化电场,它与地磁场中的变化磁场相伴生,是由固体地球外部(特别是电离层中)的各种电流体系与地球介质相互作用而在地表产生的感应电场,具有全球性或较大区域性特征;自然电场为地球表面分布的天然的但相对稳定的电场,它是由矿体、地下水和各种水系的分布而产生的电场,一般具有较大的水平和垂直变化梯度,不均匀性显著,具有较强的地方性甚至局部性特征(钱家栋,2010)。

地电场观测数据在地震观测预报中的应用较广。叶青等(2007)处理了中国大陆地区嘉峪关台、昌黎台、崇明台、蒙城台、兴济台、宝坻台和阳原台等7个台站的地电场观测数据,应用最大熵谱方法研究了大地电场日变化、地电暴等谱成分的特征。谭大诚等(2013)应用地

[收稿日期] 2019-04-30; [修定日期] 2019-07-25

[项目类别] 中国地震局“监测、预报、科研”三结合课题(3JH-2020022008)、江苏典型城镇地震灾害风险评估项目共同资助

[作者简介] 鲍海英,女,1986年生,工程师,主要从事地震前兆监测工作。E-mail: bhy5928@163.com

蒋延林,男,通讯作者,1960年生,正研级高级工程师,主要从事电磁监测与地震预报等研究。

E-mail: Cy.jyl19600812@126.com

电场潮汐谐波振幅计算裂隙水主体渗流方向,记录到 2008 年汶川 $M_s 8.0$ 地震前西昌和天祝地电场观测台阵内存在场地裂隙水主体渗流方向的短临变异现象。马钦忠等(2013)对南北地震带 18 个地电场及电磁扰动观测台站进行了跟踪与研究,观测到了 2013 年 4 月 20 日四川芦山 $M 7.0$ 地震前有 5 个台站出现异常电磁信号。叶青等(2017、2018)利用地电阻率数据和地电场数据捕捉到 2015 年内蒙古阿拉善 $M_s 5.8$ 地震前的异常特征。

可靠连续的观测数据是开展地电场应用研究的基础,但随着国民经济的快速发展,地电场观测数据受到越来越多的干扰,目前比较突出的干扰之一就是高压直流输电干扰。截止到 2019 年底,我国运行的高压直流输电线路有 28 条。高压输电线路分布在全国大部分地区,全国电磁观测台站已不能通过搬迁的办法来避免这种干扰,因此电磁台站只能在观测结果中判断出干扰,找出消除或减少干扰影响的方法,从而提高观测数据的质量。沈红会等(2005)分析了高压直流输电干扰对地磁数据产生影响的机制,并具体计算了影响的幅度,提出了相应对策,为高压直流输电影响地磁观测这一问题提供了思路。方炜等(2010)以关中地区宝鸡台、乾陵台和周至台地电场观测受宝鸡-德阳 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程影响为例,分析了此类干扰异常的变化形态和特征,并结合高压直流输电的基本原理,对异常的形成机理进行了探讨。王向阳等(2013)以山西地磁场观测台站和山西、宁夏、山东部分地电场台站观测为例,分析其受宁夏-山东 $\pm 660\text{kV}$ 直流输电工程运行的干扰情况。蒋延林等(2014)通过对 HVDC (high voltage direct current transmission, 高压直流输电)运行的故障特性、地磁台站与高压直流线路的相对位置以及对地磁观测资料造成的干扰形态进行分析,指出了 HVDC 对地磁观测造成的 4 个干扰特性,为识别、判定这种干扰提供了依据。前人对高压直流输电干扰对地电场或地磁数据的影响特征进行分析研究,但并未系统地从事理上阐述高压直流输电干扰对地电场观测的影响及其数据特征变化,也未对同时受高压直流输电线路干扰的同台址的电磁数据进行对比分析。本文从高压直流输电线路对地电场观测数据的影响机理出发,总结高压直流输电干扰对地电场观测的影响特征,并结合地磁数据,比较受同一条高压直流线路干扰时同台电磁数据变化特征,为高压直流线路干扰的快速判别以及地电场观测数据的异常排查提供依据。

1 基本概况

江苏地电场主要有南京台、新沂台、高邮台和海安台 4 个地电场观测台站,其空间分布详见图 1。南京台地电场位于高淳东坝镇叔村农田保护区,测区地貌属丘陵,台址位于茅山东侧的茅东断裂带上。海安台地电场观测均地位于顾庄,测区为平原地带,地形坦荡,河道稠密,台址位于近 EW 向耕茶断裂附近。新沂台位于郯庐断裂带附近,测区平坦开阔,基本无地形高差。高邮台构造上位于苏北-南黄海盆地内的东台拗陷内的高邮凹陷,测区平坦开阔,无地形高差。4 个台站地电场观测都采用 L 型布极方式,长极距均为 400m,高邮台及海安台的短极距为 250m (斜道短极距为 354m),新沂台为 200m (斜道短极距为 283m),其中南京台无斜道观测,第 3 道和第 6 道为 100m 的极距观测(江苏省地震局,2008)。根据每月、季度检测及巡查等,这 4 个台观测系统的建设和运行以及布极区的观测环境符合地电场观测台站相关规范(钱家栋,2010)的技术要求,地电场台网电极布设示意图 2。

本文主要以锡泰线和晋南线对江苏区域地电场台站的观测影响为例,对地电场观测的

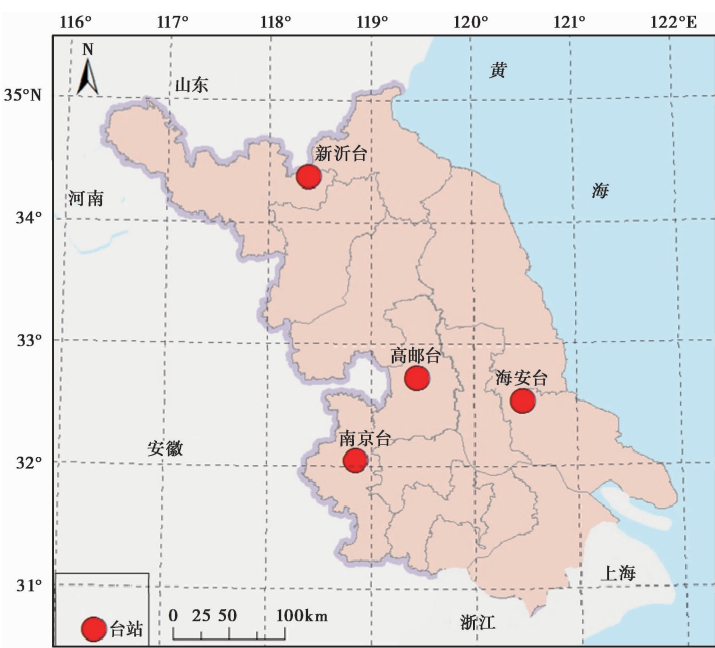


图 1 江苏省地电场台网位置分布

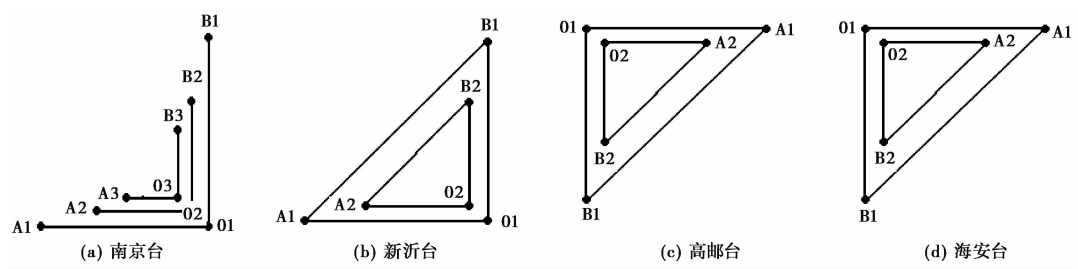


图 2 江苏地电场观测装置布设示意图

影响特征进行总结。国家电网公司于 2017 年 7 月 3~8 日调试运行一条内蒙锡林浩特至江苏泰州高压直流线路(简称锡泰线),在江苏区域的地电场干扰源主要是建湖接地极的人地电流,地磁场干扰源主要是线路中的不平衡电流,沿线两侧及换流站周边电磁台站受其影响较大。地电场干扰源接地极与南京地震台高淳观测基地直线距离 235m,与高邮台直线距离约 70km,与新沂台直线距离约 170km,与海安台直线距离约 112km。晋南线是一条自朔州至江苏盱眙的线路,在江苏区域的地电场干扰源主要为泗洪塔河村的人地电流,接地极与南京台直线距离约 227km,与高邮台直线距离约 140km,与新沂台直线距离约 134km,与海安台直线距离约 238km,台站位置与高压线路相对位置见图 3^①。

① 蒋延林等,地震科技星火计划攻关项目 XH12020“高压直流输电对地磁观测影响的判别处理系统”项目. 内部资料.

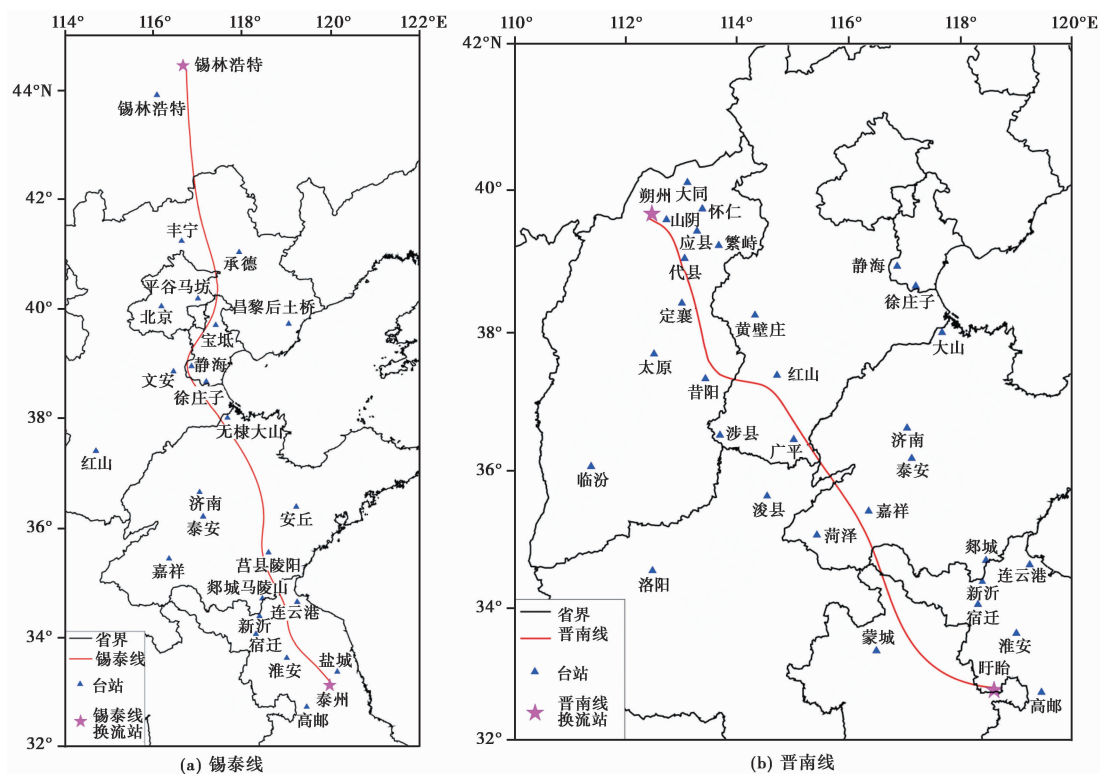


图3 江苏区域各地电场台站与高压直流线路位置示意图

2 高压直流干扰基本原理

2.1 高压直流输电技术

高压直流输电技术是将三相交流电通过换流站整流变成直流电,然后通过直流输电线路送往另一个换流站逆变成三相交流电的输电技术(赵晚君,2011)。其基本由送端换流站、受端换流站和直流输电线组成,2个换流站与两端的交流系统相连接,通常分为单极系统、双级系统和背靠背直流系统3种类型,而双级系统又分为双极两端中性点接地方式、双极一端中性点接地方式和双极金属中性方式3种。我国目前运行的高压直流输电接地方式大多数为双极两端中性点接地方式,其主要组成部分如图4所示(蒋延林等,2014)。

2.2 高压直流输电故障

高压直流输电故障通常有以下3种:一是外线路故障(任达勇等,2010);二是直流控制保护系统故障(李凤祁等,2010),控制系统故障主要包括:控制保护主机故障、输入输出板卡故障和控制保护软件错误;三是外线路故障和直流控制保护系统故障的结合,即外线路出现故障时带动直流控制保护系统故障。这些故障往往是高压直流输电线路的部分组成故障,经过一定的调整后,在降低输送功率的情况下仍保持运行,不会引起高压直流输电的彻底停运,但此时会有大量的不平衡电流产生。这些不平衡电流通过双极两端中性接地点在大地中形成回路,产生的较大电流差(即 $I_+ \neq I_-$)是干扰地电观测的主要原因,高压直流线路运行示意图见图5。本文主要探讨接地极入地电流对地电场观测数据产生的影响。

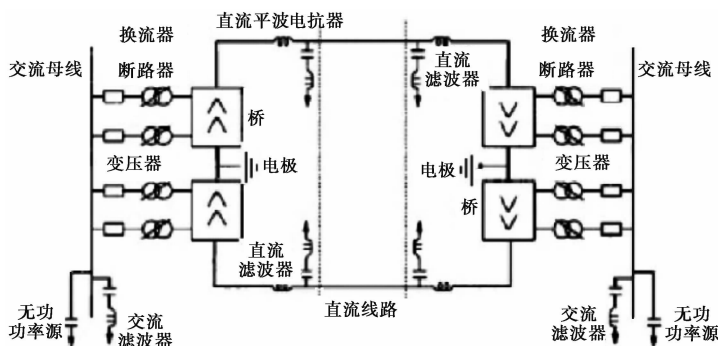


图4 高压直流输电双极两端中性点接地方式组成

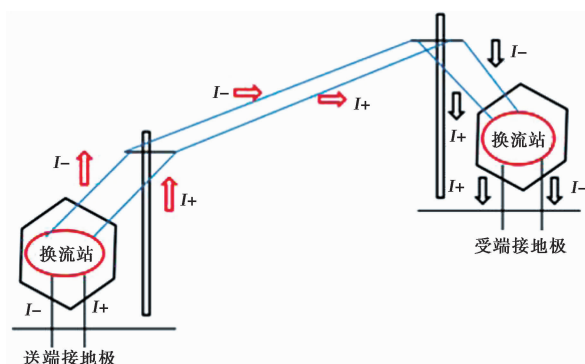


图5 高压直流线路运行示意图

2.3 高压直流输电接地极入地电流对地电场观测的干扰原理

地震地电场观测的基本原理为通过埋设在地表之下的一组测量电极,测量地表指定测量方向上两点之间的电位差 V_{AB} (见图6),再利用测量得到的 V_{AB} ,计算地电场强度分量值 E_{AB} 及其随时间的变化。

$$E_{AB} = -\frac{V_{AB}}{L_{AB}} = -\frac{U_B - U_A}{L_{AB}} \quad (1)$$

其中, U_A 和 U_B 分别表示测量电极 A 和电极 B 端的电位, L_{AB} 表示电极 A、B 之间的距离。

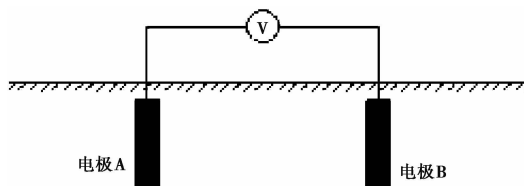


图6 地电场观测原理基本示意

地电场台站之所以能记录到高压直流输电线路干扰变化,是因为当高压直流输电线路故障时,接地极入地电流会在 2 个测量电极上产生叠加电位 ΔU_A 和 ΔU_B ,当叠加的电位差 $\Delta U_B - \Delta U_A = 0$ 时,观测数据就不会产生畸变;当叠加的电位差 $\Delta U_B - \Delta U_A \neq 0$ 时,观测数据则

会产生畸变。数据畸变的方向与接地极和台站的观测装置有关。在地电场观测中,南北(NS)方向以 N 为正,东西(EW)方向以 E 为正(中国地震局,2001)。以 EW 方向为例,当 $\Delta U_w > \Delta U_e$ 时(ΔU_w 为西侧电极上产生的电位差, ΔU_e 表示东侧电极上产生的电位差),数据畸变方向向上,反之向下。

3 高压直流干扰对地电场观测的影响

3.1 高压直流线路对地电场观测数据产生的变化形态分析

江苏境内 4 个地电场台站受到众多高压直流线路的干扰,本文选取受端接地极在江苏境内的 2 条线路(锡泰线和晋南线)进行分析。如图 7 所示,2019 年 2 月 27 日受锡泰线高压直流线路干扰时,南京台、新沂台、高邮台和海安台观测数据均呈现方波形态,对各台地电场观测数据造成的干扰方向见表 1:对于地电场 NS 向观测数据,南京台、高邮台和海安台方波向上,新沂台方波向下;对于地电场 EW 向观测数据,新沂台方波向上,海安台方波向下,南京和高邮台形态不明显;对于地电场 NE 向观测数据,新沂台方波向下,海安台和高邮台方波向上,南京台无 NE 向观测,故无法判断其台阶方向。

如图 8 所示,2019 年 5 月 23 日受晋南线高压直流线路干扰时,南京、新沂、高邮和海安台观测数据呈现方波形态,各测项观测数据造成的台阶方向如表 2:对于地电场 NS 向观测数据,南京台、高邮台和海安台呈现向上的方波形态,新沂台呈现向下的方波形态;对于地电场 EW 向观测数据,4 个台站均呈现向下的方波形态;对于地电场 NE 向观测数据,新沂台、高邮台和海安台方波向下,由于南京台无 NE 向观测,故无法判断其台阶方向。

从图 7 和图 8 中可以看出,对于同一条高压直流输电线路,当出现不平衡电流时,地电场观测数据会出现畸变,持续一段时间后,当不平衡电流消失后,数据恢复正常。当各观测台站与换流站接地极在 NS 或 EW 方向上相对位置一致,且在各自的观测装置系统中,NS 或 EW 方向上产生的较大叠加电位的方向一致时,各 NS 或 EW 方向观测数据产生的畸变方向一致。有的地电场台站观测数据在一个方向上有畸变,而在另外一个方向上又没有任何变化,如图 7 中锡泰线运行出现故障时,南京台和高邮台在 NS 方向上产生方波,在 EW 方向上未产生方波,这是因为这条线路接地极入地电流对南京台和高邮台 EW 方向上 2 个测量电极引起的叠加电位相同,即叠加电位差为 0,因此 EW 方向上观测数据未产生方波。综上所述可以看出,地电场数据产生畸变的方向与台站的观测装置、接地极与观测台站的相对位置有关。

3.2 同一方向不同极距的地电场观测干扰幅度比

假设单极直接接地为点电流源(半球形接地体),在理想状态下使用均匀土壤模型,根据电流连续性定理和土壤的本构关系,我们可以根据下式计算距离点电流源空间距离为 r 处的电场强度

$$E = \frac{I_m}{2\pi\gamma r^2} \quad (2)$$

其中 I_m 为入地电流的大小(单位:A), γ 为土壤电导率(单位:S/m)。因电导率和电阻率成倒数关系,故公式(2)又可写成

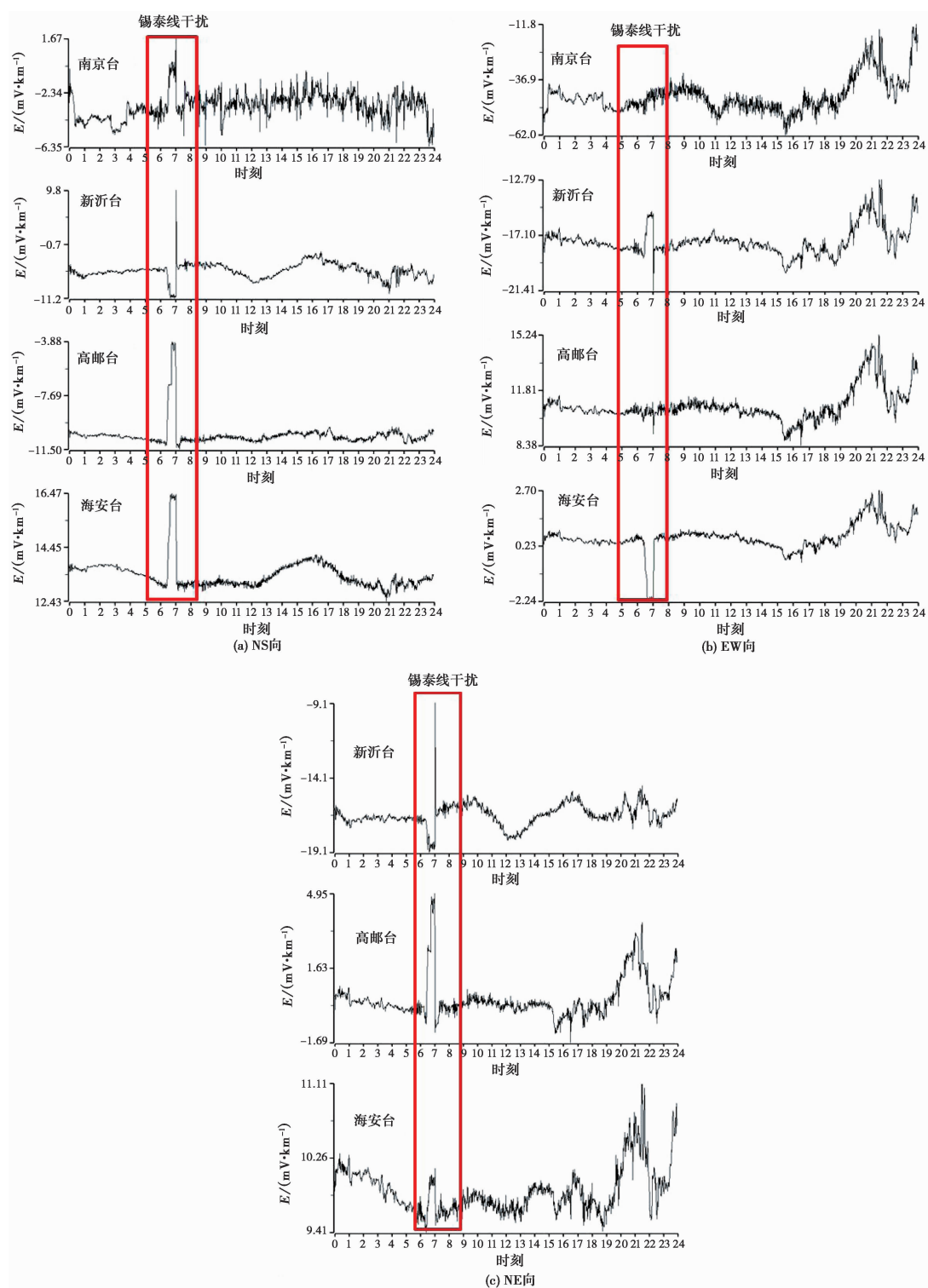


图 7 2019 年 2 月 27 日江苏区域各地电场台受锡泰线高压直流干扰曲线

表 1 江苏地电场观测数据受锡泰线干扰产生的观测数据台阶变化方向

台站	NS 向	EW 向	NE 向
南京台	↑	—	—
新沂台	↓	↑	↓
高邮台	↑	—	↑
海安台	↑	↓	↑

注：“↑”表示方波向上，“↓”表示方波向下，“—”表示方波形态不明显或无此测道观测。

表 2 江苏地电场观测数据受晋南线干扰产生的观测数据台阶变化方向

台站	NS 向	EW 向	NE 向
南京台	↑	↓	—
新沂台	↓	↓	↓
高邮台	↑	↓	↓
海安台	↑	↓	↓

注：“↑”表示方波向上，“↓”表示方波向下，“—”表示方波形态不明显或无此测道观测。

$$E = \frac{I_m \rho}{2\pi r^2} \quad (3)$$

其中, ρ 为土壤电阻率(单位: $\Omega \cdot \text{m}$)。

由式(3)可得,当同一条高压直流输电线路接地极距离台站足够远时, $r_{\text{长}} = r_{\text{短}}$ ($r_{\text{长}}$ 、 $r_{\text{短}}$ 分别表示高压直流输电线路接地极到台站长、短电极的距离),于是 $E_{\text{长}} = E_{\text{短}}$ ($E_{\text{长}}$ 、 $E_{\text{短}}$ 分别表示高压直流输电线路干扰对台站长、短电极产生的感应电场大小),地电场长、短极距观测数据变化幅度比为 1。

为了验证上述理论,本文选取 2015 年 1 月 1 日~2019 年 12 月 31 日江苏区域新沂台、高邮台和海安台地电场观测数据,针对其受不同高压直流线路干扰而产生的变化形态,统计每个台站每个方向长、短极距观测数据产生的变化幅度,挑选出的部分结果见表 3,比值结果见表 4。

从表 4 中可以看出,锡泰线和晋南线高压直流输电线路接地极离台站较远,最近的也为 112km,无论是锡泰线对高邮台和海安台,还是晋南线对新沂台、高邮台和海安台,同一方向地电场长短极距受高压直流输电干扰的幅度比值均接近 1,与上述理论推断相符。同时,利用 2009 年高邮台测区附近工厂漏电干扰引起的地电场观测数据变化来反面验证上述理论。

从图 9 可以看出,在 2009 年 11 月 16~18 日高邮台地电场 NS 测向和 N45°E 测向的长、短极距观测数据同步出现跳变或矩齿型变化,EW 测向无明显扰动现象。经过调查分析和测试工作,最终确定该扰动来自距地电场测区约 2km 的某工厂设备故障造成的漏电干扰。从表 5 的计算结果中可以看出,该工厂设备漏电干扰造成高邮台地电场观测数据 NS 向和 NE 向短、长极距观测数据变化幅度之比小于 1。

综上所述,当某一地电场观测受到较远的干扰时,地电场同一方向长、短极距观测数据干扰幅度之比接近 1,反之亦成立。

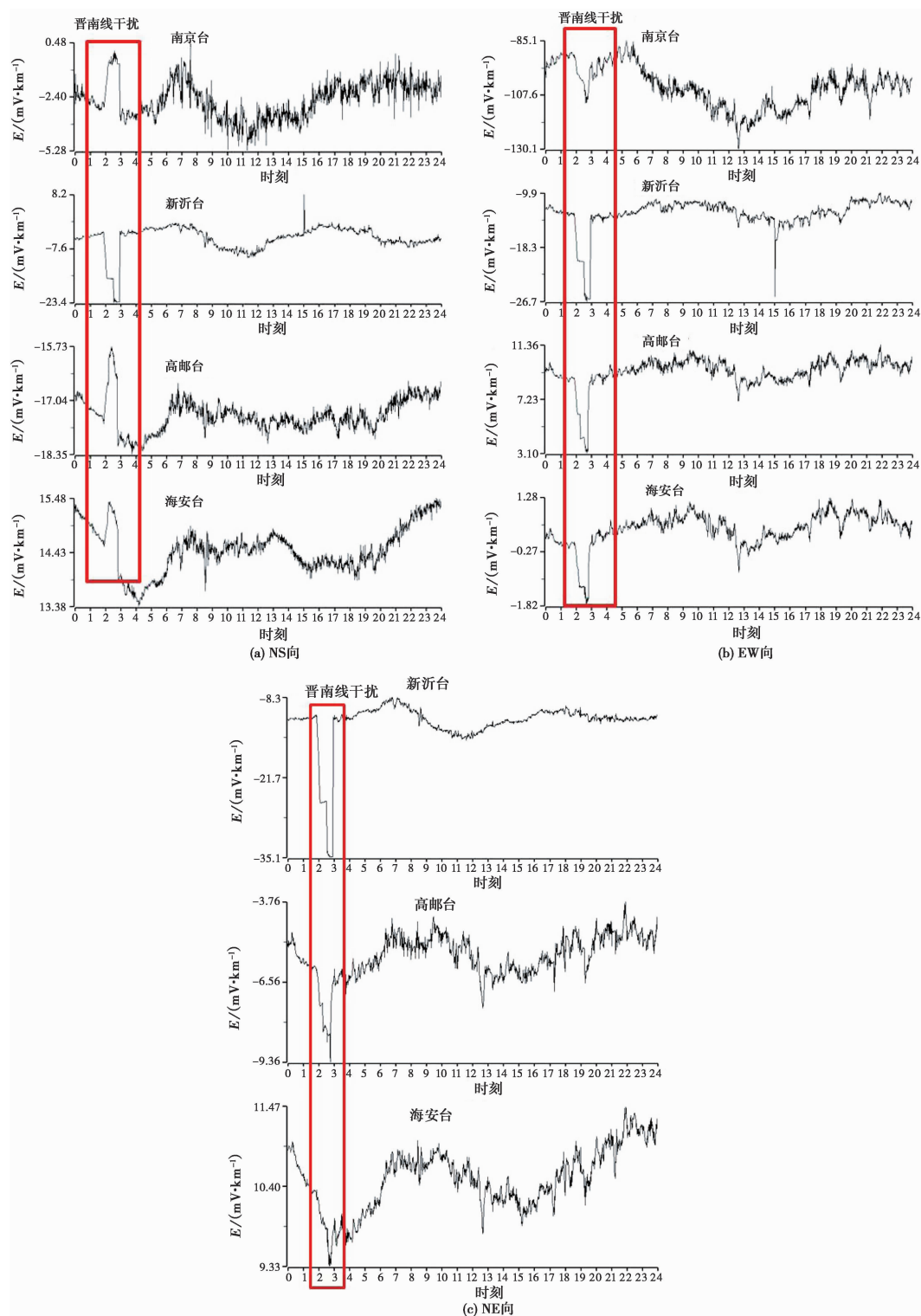


图 8 2019 年 5 月 23 日江苏区域各地电场台受晋南线高压直流干扰曲线



表 3 江苏地电场台站观测数据受高压直流干扰幅度变化

台站	高压 直流 线路	日期 (年-月-日)	NS 向长极	NS 向短极	EW 向长极	EW 向短极	NE 向长极	NE 向短极
			距观测数据 变化幅度 E $/(mV \cdot km^{-1})$	距观测数据 变化幅度 E $/(mV \cdot km^{-1})$	距观测数据 变化幅度 E $/(mV \cdot km^{-1})$	距观测数据 变化幅度 E $/(mV \cdot km^{-1})$	距观测数据 变化幅度 E $/(mV \cdot km^{-1})$	距观测数据 变化幅度 E $/(mV \cdot km^{-1})$
海安台	锡泰线	2020-05-16	1.63	1.68	1.39	1.35	0.69	0.69
高邮台	锡泰线	2020-05-16	3.66	3.66	0.66	0.59	2.90	2.95
新沂台	晋南线	2020-03-09	19.80	20.07	10.65	10.21	21.54	21.32
高邮台	晋南线	2020-03-09	1.68	1.68	5.06	5.06	2.34	2.42
海安台	晋南线	2019-03-26	0.95	0.95	1.01	0.89	1.76	1.78
新沂台	晋南线	2019-03-26	20.40	20.74	13.80	12.41	23.44	22.73

表 4 江苏地电场台站观测数据受高压直流干扰同一方向干扰幅度比值

台站	高压直流 线路	日期 (年-月-日)	NS 向长极距/ NS 向短极距	EW 向长极距/ EW 向短极距	NE 向长极距/ NE 向短极距	高压直流线路接地极 与台站的距离/km
海安台	锡泰线	2020-05-16	0.97	1.03	1.00	112
高邮台	锡泰线	2020-05-16	1.00	1.12	0.98	70
新沂台	晋南线	2020-03-09	0.99	1.04	1.01	134
高邮台	晋南线	2020-03-09	1.00	1.00	0.97	140
高邮台	晋南线	2019-03-26	1.00	1.13	0.99	140
新沂台	晋南线	2019-03-26	0.98	1.11	1.03	134

3.3 不同台站地磁和地电场观测数据干扰幅度比

利用 2015 年 1 月 1 日~2020 年 3 月 31 日晋南线对江苏高邮台和新沂台地磁和地电场观测产生影响的数据,计算其变化幅度比值,选取部分结果见表 6。从表中可以看出,在 2018 年 6 月 15 日、2019 年 3 月 26 日、2019 年 5 月 23 日和 2020 年 3 月 9 日新沂台和高邮台地磁 Z 分量变化幅度比值较稳定,趋于 1.91,但是 2 个台站地电场的变化差异较大,其中 2018 年 6 月 15 日新沂台和高邮台 NS 向地电场观测数据变化幅度比值最大,达到 14.30,2020 年 3 月 9 日比值最小,为 11.79。据查阅台站观测日志显示:2019 年 6 月 15 日地电场 NS 向短极距电极附近有农田灌溉,台站和接地极之间的地下电性结构的导电性发生变化,入地电流回流通道发生改变,流入观测区的干扰电流也在不断发生变化,故新沂台和高邮台 NS 向地电场观测数据变化幅度与之前不一致。

由此可以看出,地磁干扰变化幅度一致时,同一台站的地电场变化幅度不一定一致。因为高压直流输电对地磁产生的感应磁场是空间变化,而对地电场是入地电流产生的变化电场,高压直流输电对地电场的干扰与台站和接地极之间的地下电性结构的导电性有关。

4 结论与讨论

通过对江苏 4 个地电场台站近 5 年受高压直流输电干扰的地电场观测数据进行梳理分析,得出以下结论:

(1)当地电场观测数据受高压直流输电线路干扰时,地电场会出现畸变,持续一段时间

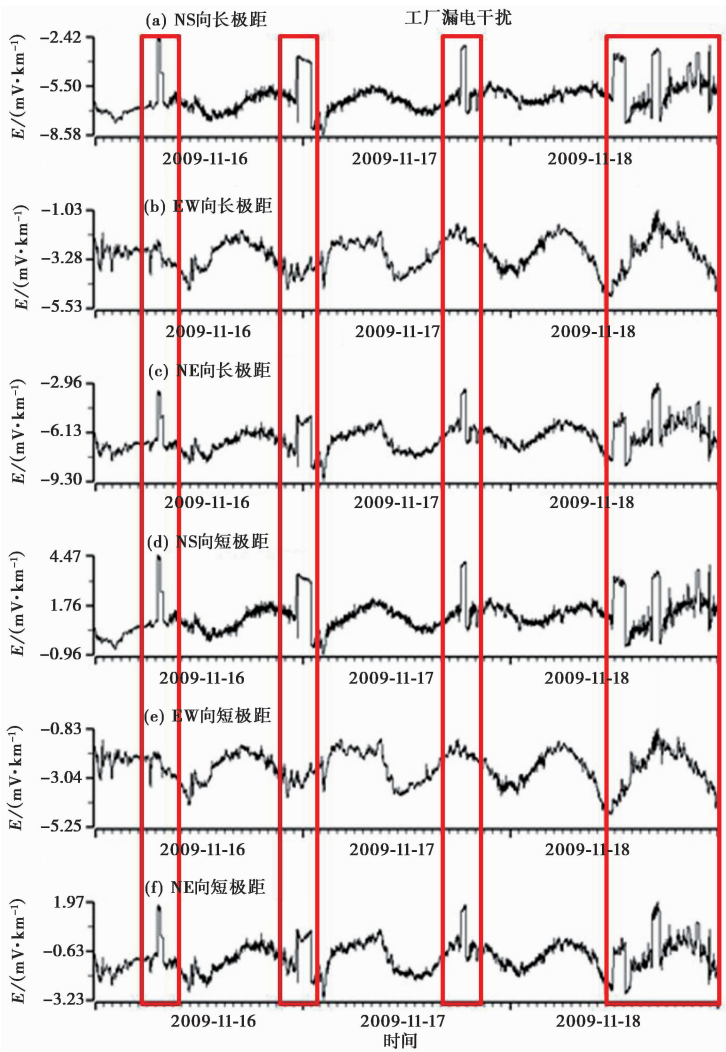


图 9 2009 年 11 月 16~18 日高邮台地电场观测数据受附近工厂漏电干扰曲线

表 5 高邮台地电场观测数据受工厂漏电干扰的变化幅度和比值

时间 (年-月-日)	NS 向长极 距观测数据 变化幅度 E $/(mV \cdot km^{-1})$	NS 向短极 距观测数据 变化幅度 E $/(mV \cdot km^{-1})$	EW 向长极 观测数据 变化幅度 E $/(mV \cdot km^{-1})$	EW 向短极 距观测数据 变化幅度 E $/(mV \cdot km^{-1})$	NE 向长极 距观测数据 变化幅度 E $/(mV \cdot km^{-1})$	NE 向短极 距观测数据 变化幅度 E $/(mV \cdot km^{-1})$	NS 向 短长 极距 数据 变化 幅度比	EW 向 短长 极距 数据 变化 幅度比	NE 向 短长 极距 数据 变化 幅度比
2009-10-28	9.81	8.50	1.20	0.81	7.77	6.54	0.87	0.68	0.84
2009-11-16	4.20	3.69	0.95	0.74	3.64	3.11	0.88	0.78	0.85
2009-12-09	12.60	10.88	1.62	1.07	10.06	8.44	0.86	0.66	0.84

表 6 受晋南线影响的高邮台和新沂台地磁 Z 分量和地电场变化幅度比

序号	干扰 时间 (年-月-日)	地磁 Z 分量变化幅度			地电场观测数据长极距观测数据变化幅度					
		高邮台	新沂台	比值	高邮台	新沂台	高邮台	新沂台	NS 向 比值	EW 向 比值
		/nT	/nT		NS 向 E /(mV·km ⁻¹)	NS 向 E /(mV·km ⁻¹)	EW 向 E /(mV·km ⁻¹)	EW 向 E /(mV·km ⁻¹)		
1	2018-06-15	0.9	1.7	1.89	1.23	17.59	4.59	10.37	14.30	2.26
2	2019-03-26	1.1	2.0	1.91	1.69	20.01	5.84	13.65	11.84	2.34
3	2019-05-23	1.1	2.0	1.91	1.73	20.7	5.23	12.69	11.97	2.43
4	2020-03-09	1.1	2.0	1.91	1.68	19.8	5.06	11.1	11.79	2.19

后,入地电流消失,数据恢复正常。

(2)地电场数据产生方波的方向与高压直流输电线路接地极与观测台站的相对位置、观测台站装置系统的布设方式有关。

(3)当高压直流输电线路运行故障而产生大地回路电流时,它对地电场观测数据可能会产生一定的影响,受其影响的同一台站同一方向上长、短极距观测数据干扰幅度基本一致,比值接近 1。

(4)受高压直流输电干扰时,地磁干扰变化幅度一致时,同一台站的地电场变化幅度不一定一致,原因在于地磁是空间变化,地电场是入地电流产生的变化电场,它与台站和接地极之间的地下电性结构的导电性变化有关。

本次研究结果对高压直流线路的快速判别、数据的异常排查以及对地电观测数据应用研究具有一定的意义。但是文中对高压直流输电干扰的机理探讨不够深入,对台站和接地极之间地下电性结构导电性变化对地电场观测数据的具体影响没有详细阐述,这将在后续工作中继续深入研究。

参考文献

方炜,张国强,邵辉成,2010. 高压直流输电对地电场观测的影响. 地震地质,32(3):434~441.

江苏省地震局,2008. 江苏省地震监测志. 南京:河海大学出版社,22~149.

蒋延林,张秀霞,杨冬梅,等,2014. 高压直流输电对地磁观测影响的特征分析. 地震,34(3):132~139.

李凤祁,余克武,余振球,等,2010. 三峡直流输电工程控制保护系统故障及处理. 电力建设,31(5):38~42.

马钦忠,方国庆,李伟,等,2013. 芦山 $M_s7.0$ 地震前的电磁异常信号. 地震学报,35(5):717~730.

钱家栋,2010. 地震电磁学理论基础与观测技术. 北京:地震出版社.

任达勇,杨泽明,李爱民,等,2010. 高压直流输电线路故障特征影响因素分析. 高压电器,46(11):70~73.

沈红会,周加新,张秀霞,等,2005. 直流输电对江苏地磁观测的影响分析. 地震地磁观测与研究,26(5):65~70.

谭大诚,席继楼,张慧,等,2013. 地电场水文地质因素及裂隙水主体渗流方向逐日计算. 地震学报,35(1):36~49.

王向阳,王洪峰,黄春玲,等,2013. 高压直流输电对地电场观测的影响. 山西地震,(3):18~22.

叶青,杜学彬,周克昌,等,2007. 大地电场变化的频谱特征. 地震学报,29(4):382~390.

叶青,张翼,黄兴辉,等,2017. 2015 年内蒙古阿拉善 $M_s5.8$ 地震前地电阻率变化特征研究. 地震,37(4):123~133.

赵晓君,2011. 高压直流输电工程技术. 2 版. 北京:中国电力出版社,1~7.

中国地震局,2001. 地震及前兆数字观测技术规范. 北京:地震出版社.

Ye Q, Fan Y, Du X B, et al, 2018. Diurnal characteristics of geoelectric fields and their changes associated with the Alxa Zuoqi $M_s5.8$ earthquake on 15 April 2015(Inner Mongolia). Earthq Sci,31(1):35~43.

Study on the Impact of High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission Interference on Geotechnical Stations in Jiangsu Province

*Bao Haiying*¹⁾ *Jiang Yanling*²⁾ *Fan Xiaochun*³⁾ *Bi Xuemei*¹⁾ *Bu Yufei*¹⁾
*Zhang Xiuxia*¹⁾

1) Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 210014, China

2) Gaoyou Seismic Station, Gaoyou 225600, Jiangsu, China

3) Nanjing Earthquake Agency, Nanjing 210014, China

Abstract More and more high voltage direct current transmission (HVDC) lines are put into operation in China, which has great affected the observation quality and application research of geoelectric field observation data. Based on the influence mechanism of HVDC interference on the observation of geoelectric field, we take Jiangsu Province as a study region, analyze and summarize the influence characteristics of HVDC transmission lines on the observation data of geoelectric field in the past five years in the study areas. The relevant conclusions are as follows: ① When the observation data of geoelectric field are interfered by HVDC transmission lines, the geoelectric field will be distorted for a period of time, then the unbalanced current disappears and the data returns to normal. ② The direction of the distortion of geoelectric field is related to the layout of the observation station and the relative position of the earth electrode and the observation station. ③ The ground electrode of HVDC transmission lines are far away from Jiangsu geoelectric stations, and the ratio of the variation amplitude of the long and short polar distance observation data affected by the same HVDC transmission line in the same direction of the same station is close to 1. ④ Even though the amplitude of geomagnetic interference is same in the same station, the variation amplitude of the geoelectric field data in the same station is not necessarily the same, which is related to the conductivity change of the underground electrical structure between the station and the ground electrode. Our above results is of significance for the fast discrimination of HVDC lines, the abnormal implementation of data, and the application research of geoelectric observation data.

Keywords: Geoelectric field; HVDC transmission; Interference