

鲍海英,张秀霞,卜玉菲.高压直流输电干扰对江苏省地电场观测的影响[J].地震工程学报,2020,42(4):881-889.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2020.04.881

BAO Haiying, ZHANG Xiuxia, BU Yufei. Effects of HVDC Power Transmission Interference on Geoelectric Field Observations in Jiangsu Province[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2020, 42(4): 881-889. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.04.881

高压直流输电干扰对江苏省地电场观测的影响

鲍海英, 张秀霞, 卜玉菲

(江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

摘要: 本文主要是对江苏省4个地电场台站2015—2019年地电场观测数据受全国高压直流输电线路干扰情况进行分析总结,重点分析锡泰线、晋南线、锦苏线和昌宣线等几条线路对其影响特点及数据干扰幅度,得到以下结论:(1)高压直流输电线路干扰对地电场观测数据的干扰是一个远场干扰源,表现为受同一高压直流输电线路干扰时,同一台站同一方向的长短极距观测数据变化幅度之比接近1。(2)各台站受高压直流线路干扰产生的数据变化形态、变化方向和变化幅度不尽相同,这与台站位置、高压线路换流站位置、接地极相对位置以及地下传播介质有关。该研究结果可以为地电场观测受高压直流输电线路的干扰判别提供参考,服务于地电场观测数据的应用。

关键词: 地电场; 高压直流输电; 干扰

中图分类号: P319

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2020)04-0881-09

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.04.881

Effects of HVDC Power Transmission Interference on Geoelectric Field Observations in Jiangsu Province

BAO Haiying, ZHANG Xiuxia, BU Yufei

(Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 210014, Jiangsu, China)

Abstract: This work mainly analyzes and summarizes the observation data of four geoelectric field stations in Jiangsu Province from 2015 to 2019 subjected to interference by national high-voltage direct current (HVDC) transmission lines. The influence characteristics and data interference magnitude of the Xitai, Jinnan, Jinsu, and Changxuan lines are mainly considered. The conclusions are as follows. (1) The interference of the HVDC transmission lines with the geoelectric field observation data is a far-field interference. Under the interference of the same HVDC transmission lines, the range of the change ratio of the observation data at a long polar distance and short polar distance of the same station in the same direction is close to 1. (2) The forms, directions, and ranges of the data change of different stations caused by HVDC line interference differ in terms of station location, HVDC converter station location, relative position of ground electrode, and underground transmission medium. The results can provide a reference for the discrimination of geoelectric field observations disturbed by HVDC transmission lines. They may al-

收稿日期: 2019-10-18

基金项目: 国家自然科学基金(A413740808); 中国地震局专项“全国地球物理台网数据跟踪分析与产出”

第一作者简介: 鲍海英(1986—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事地震监测工作。E-mail: bhy5928@163.com。

so be applied to geoelectric field observation data.

Keywords: geo-electric field; HVDC power transmission; interference

0 引言

地电场是重要的地震前兆物理场之一,其观测数据包含了自然电场、大地电场和干扰成分。诸多研究表明,从 1976 年的唐山地震到 2008 年的汶川大地震,地电场数据在震前都有明显的异常现象^[1-9]。但是,随着国民经济的快速发展,我国电力系统增加了越来越多的高压直流线路,高压直流输电在工程调试阶段和出现故障阶段会产生不平衡电流,该泄漏电流会在高直输电线路两侧产生叠加磁场,影响地磁台站的观测,在换流站接地极有较大的入地电流,影响地电场台站的观测。对于同一条高压直流输电线路,当出现不平衡电流时,地磁、地电场及地电观测中的自然电位差同时出现台阶或是尖峰的干扰波形,持续一段时间后,不平衡电流消失,观测数据则恢复正常。

目前对于受高压直流输电线路干扰的地电场数据,各地电台站采取写明日志不予预处理的方法。对于受高压直流干扰的地磁数据,陈俊,蒋延林等^[10]研发了一套高压直流输电线路判别系统,该系统能自动判别对地磁数据产生干扰的高压直流输电线路,并准时发布在地磁台网网站上。目前地电台站人员根据地磁台网公布的干扰线路情况来判别地电场干扰数据,由于地电场受高压直流线路干扰的机理与地磁受其干扰的机理不同,有的线路对地磁场观测产生干扰,但对地电场观测并无影响,而有的线路则与之相反。因此,单纯依靠这种方法来判别地电场数据受干扰的线路会影响判别结果的准确性。

本文主要是分析并总结 2011 年 1 月至 2019 年 4 月江苏省地电场观测数据受各条高压直流输电线路干扰时的变化特征,对几条突出的线路干扰。干扰机理以及各台地电场数据出现的差异性变化进行阐述,该研究结果可以对地电场观测数据所受干扰的高压直流线路的快速判别提供一定的参考。

1 台网基本情况

江苏地电场台网由南京、新沂、高邮和海安台 4 个台站组成(图 1)。南京台地电场位于高淳东坝镇叔村农田保护区,测区地貌属于丘陵,测区内分布着大小不等的多个水塘,并与地电阻率共一个观测场

地,台址位于 NNE 向茅山断裂带的西侧断裂—茅东断裂带上。海安台地电场观测场地位于顾庄,近 EW 向拼茶活动断裂在测区附近穿过。新沂台位于 NNE 向郯庐断裂带 F₁ 断层和 F₂ 断层之间,F₅ 断层从 EW 向西端点附近穿过,F₅ 断层的分支 f₅ 断层从 EW 向中间穿过,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,距离 NNE 向的郯庐断裂带不远(约 120 km),NW 向的无锡—宿迁断裂(又称沿湖断裂带)贯穿台址,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 400 m,高邮台及海安台的短极距为 250 m(斜道短极距为 354 m),新沂台为 200 m(斜道短极距为 283 m),其中南京台无斜道观测,第三道和第六道为 100 m 的多极距观测^[11]。根据每月、季度检测及巡查等,两台观测系统(包括测量仪器、观测装置、外线路、电极)的建设和运行以及布极区的观测环境符合地电台站相关规范^[12]的技术要求。江苏地电场台网电极布设示意图 2 所示。

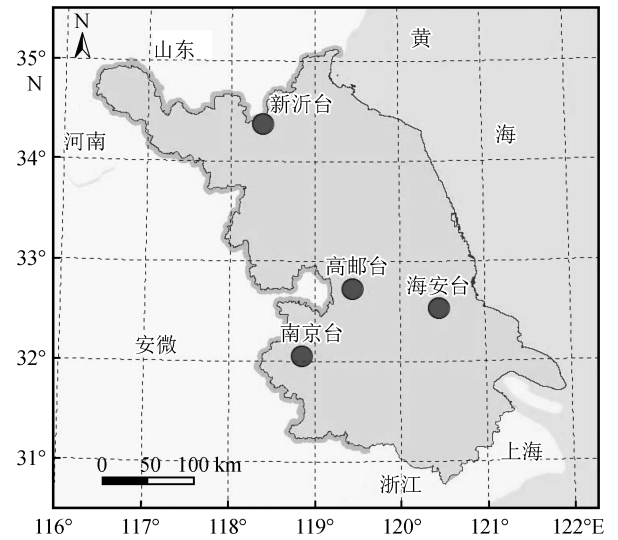


图 1 江苏省地电场台网分布图
Fig.1 Distribution map of Jiangsu geoelectric field network

2 地电场日变化形态

图 3 为江苏省四个地电场台站地电场 NS、EW 长测道 2011 年 9 月 1 日(典型磁静日)的分钟值曲线。从图可以看出:①四个台站地电场 EW 测向的

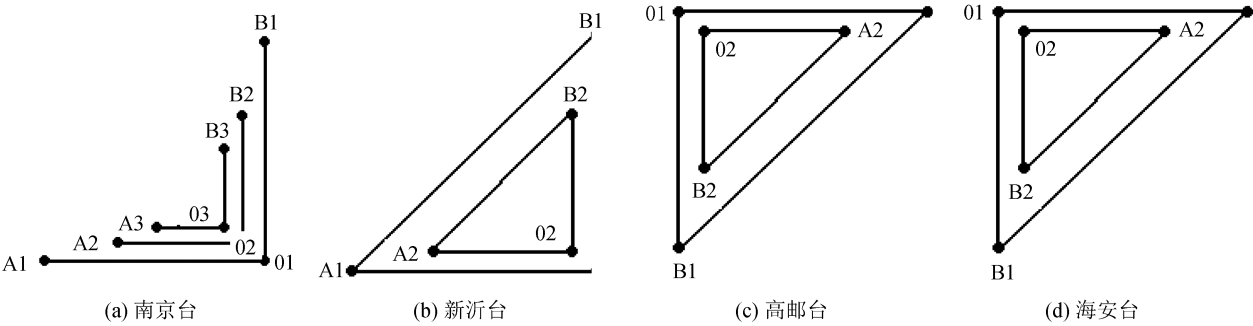


图 2 江苏地电场观测装置布设示意图

Fig.2 Layout of observation instruments in Jiangsu geoelectric field

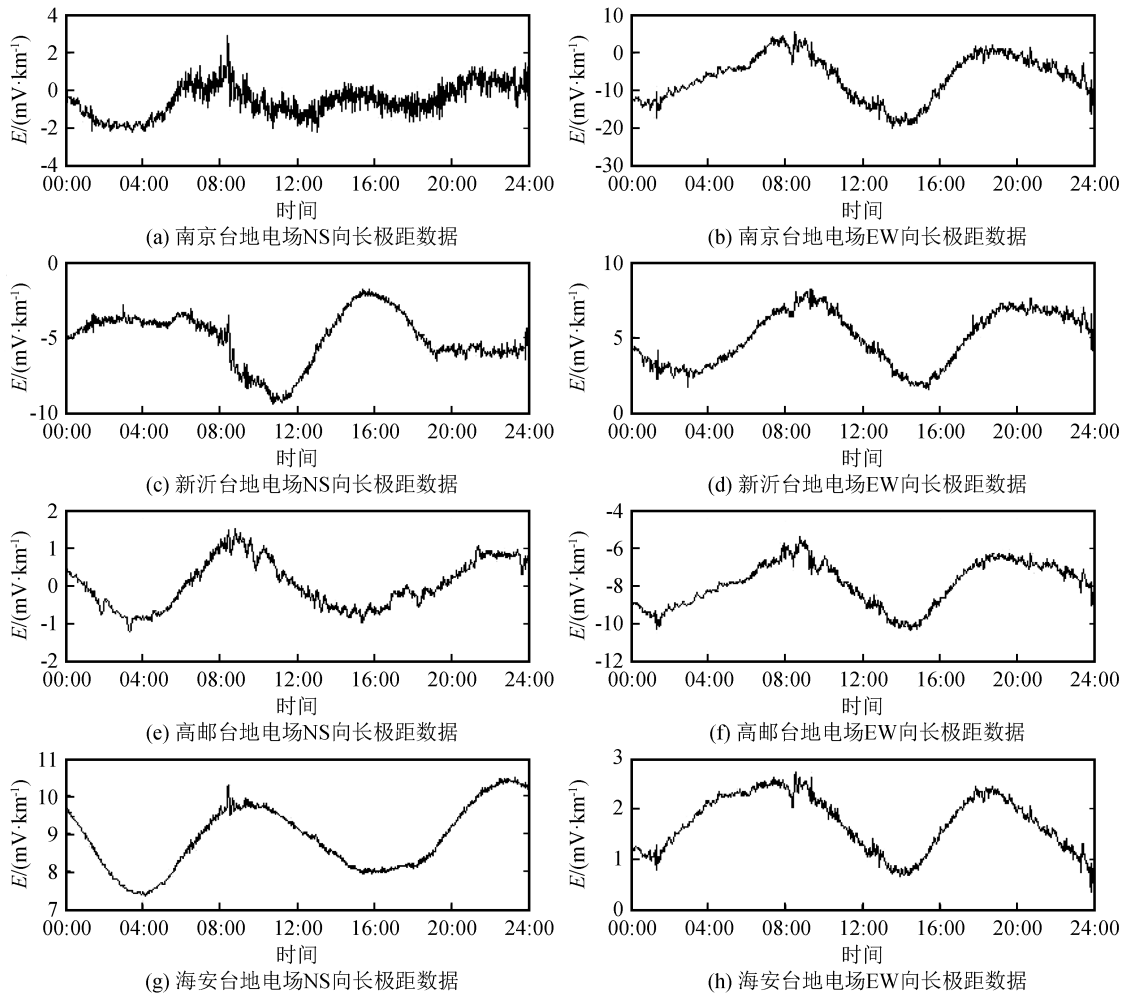


图 3 江苏地区地电台站 2011 年 9 月 1 日静日分钟值曲线

Fig.3 The minute value curve of geoelectric stations in Jiangsu on September 1, 2011

日变化形态很相似,经计算,相关系数 R 均在 0.90 以上,最高在 0.95;②四个台站 NS 向与 EW 向的日变幅各不相同,南京台差异较大,NS 向日变幅明显大于 EW 向,新沂台是 NS 向略大于 EW 向,而高邮和海安台基本接近且日变幅较小;③四个地电场台站数据存在明显的潮汐波现象,呈现出较明显的峰谷变化,但峰谷变化形态略有不同:南京和新

沂台地电场 NS 向为双峰单谷型、EW 向为双峰双谷型,高邮和海安台都为双峰双谷型;④当出现外空扰动时,四个地电台站所有测向均同步记录到相应扰动。

3 高压直流输电干扰

目前全国有 24 条高压直流干扰线路在运行。

经分析总结,在江苏境内的南京台主要受宁绍线、溪浙线、三上线、葛上线、三常线、向上线、锦苏线、晋南线、锡泰线和昌宣线共 10 条线路的影响;新沂台主要受宁东青岛线、向上线、锦苏线、晋南线、锡泰线、上临线和昌宣线共 7 条线路的影响;高邮台主要受宁绍线、溪浙线、三上线、葛上线、三常线、向上线、锦

苏线、晋南线、锡泰线、上临线和昌宣线共 11 条线路的影响;海安台主要受溪浙线、三上线、葛上线、三常线、向上线、锦苏线、晋南线和昌宣线共 8 条线路的影响(表 1)。本文主要列举四个地电场台站全部受其影响的四条线路即锡泰线、晋南线、锦苏线和昌宣线,线路分布见图 4 所示。

表 1 江苏省各地电台站受高压直流供电线路影响统计表

Table 1 Statistical table of stations affected by HVDC power supply lines in Jiangsu Province

台站名称	高压线路												干扰线路总数
	宁绍线	溪浙线	三上线	宁东青岛线	葛上线	三常线	向上线	锦苏线	晋南线	锡泰线	上临线	昌宣线	
南京台	√	√	√	—	√	√	√	√	√	√	—	√	10
新沂台	—	—	—	√	—	—	√	√	√	√	√	√	7
高邮台	√	√	√	—	√	√	√	√	√	√	√	√	11
海安台	—	√	√	—	√	√	√	√	√	√	—	√	8

注:√表示受其影响;—表示不受其影响。

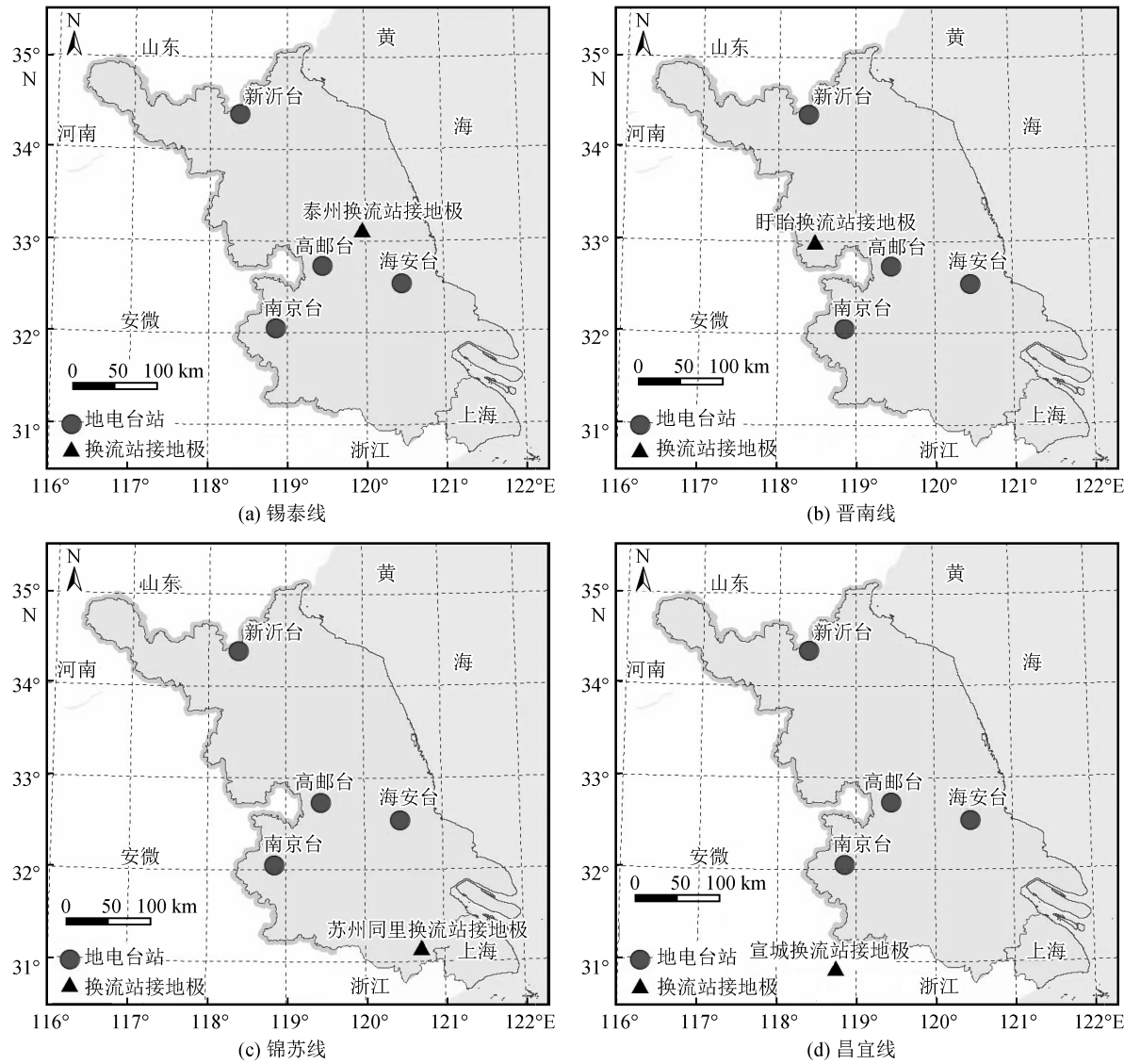


图 4 高压直流线路分布图

Fig.4 Distribution of HVDC lines

3.1 高压直流输电线路对不同台站同一方向地电场数据的影响

本文选取 2015 年 1 月 1 日至 2019 年 3 月 31 日江苏区域南京、新沂、高邮和海安台地电场观测数据,针对其受到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、短极距测道观测数据产生的变化幅度,由于南京台的布极方式与其余三个台站不同,没有 NE 向,故选取展示 6 天中 3 个台站在 3 条不同线路下的干扰幅度,结果见表 2 所列。

表 2 江苏各台受高压直流干扰幅度变化
Table 2 Variation of the amplitude of HVDC interference in Jiangsu stations

台站名	高压直流线路	日期	NS 向长极距 /(mV/km)	NS 向短极距 /(mV/km)	EW 向长极距 /(mV/km)	EW 向短极距 /(mV/km)	NE 向长极距 /(mV/km)	NE 向短极距 /(mV/km)
高邮台	锡泰线	2019-02-27	6.96	6.87	1.86	1.91	6.08	6.22
新沂台	晋南线	2017-05-20	13.97	14.39	12.21	12.33	14.87	15.12
新沂台	晋南线	2018-06-15	17.61	17.81	8.71	8.59	19.48	19.17
海安台	锦苏线	2018-02-01	3	3.1	1.47	1.44	1.32	1.35
海安台	锦苏线	2018-04-13	1.88	1.9	1.11	1.1	0.89	0.92
海安台	锦苏线	2019-01-14	1.23	1.18	0.68	0.69	0.63	0.64

表 3 江苏各台受高压直流干扰同一方向干扰幅度比值

Table 3 Ratio of interference amplitude in the same direction for each station in Jiangsu Province subjected to HVDC interference

台站名	高压直流线路	日期	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
高邮台	锡泰线	2019-02-27	1.01	0.97	0.98
新沂台	晋南线	2017-05-20	0.97	10.99	0.98
新沂台	晋南线	2018-06-15	0.99	1.01	1.02
海安台	锦苏线	2018-02-01	0.97	1.02	0.98
海安台	锦苏线	2018-04-13	0.99	1.01	0.97
海安台	锦苏线	2019-01-14	1.04	0.99	0.98

从表 2 中可以看出,锡泰线对高邮台、晋南线对新沂台以及锦苏线对海安台同一方向地电场长短极距受高压直流供电干扰的幅度比值均接近 1。本文尝试了将近 5 年的高压直流干扰数据参与计算,结果表明:不论是高邮台,新沂台还是海安台,也不论是哪条高压直流线路,当高压直流线路运行时,它对同一地电场台站同一方向长短极距观测数据干扰幅度之比均为 1,即各台同一方向上长短极距的干扰幅度基本一致,这也说明了高压直流输电线路干扰是一个远场,它对同一方向上产生的干扰幅度是相同的。

3.2 不同高压直流线路对同一台站不同方向地电场数据的影响

由于江苏境内 4 个地电场台站受到很多高压直流线路的干扰,本文选取对 4 个台站都有干扰的 4 条线路进行分析,即锡泰线、锦苏线、晋南线和昌宣线(高压直流线路分布见图 2)。

(1) 锡泰线

2017 年 7 月 3 日至 8 日国家电网公司调试运行一条内蒙锡林浩特至江苏泰州高压直流(简称锡

泰线)干扰,该线路已于 2017 年 6 月 29 日开始进行调试运行,沿线两侧及换流站周边地磁及地电场台站受影响很大,该换流站距南京地震台高淳观测基地约 80 km,距离高邮台直线距离约 70 km,距离新沂台直线距离约 50 km,距离海安台直线距离约 70 km,台站位置与线路相对位置见图 4(a)。

高压直流线路传输时,对于地电场 NS 向观测数据,南京、高邮和海安台均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,新沂台呈现向上的方波形态,海安台表现为向下的方波形态,南京和高邮台形态不明显;对于地电场 NE 向观测数据,和地电场 NS 向数据形态类似,只是变化幅度南京台 EW 向较 NS 向大,其余三台 NE 向变化幅度较 NS 向变化幅度小。由于海安、高邮及南京台均不在高压直流线路沿线段,但处于换流站周边不平衡电流发散区域,影响明显,尤其是海安台、高邮台,新沂台位于锡泰线西北侧,由于各台电极布设方式的不同,导致这些地电场台站各方向受影响时的台阶方向及幅度有明显差异。

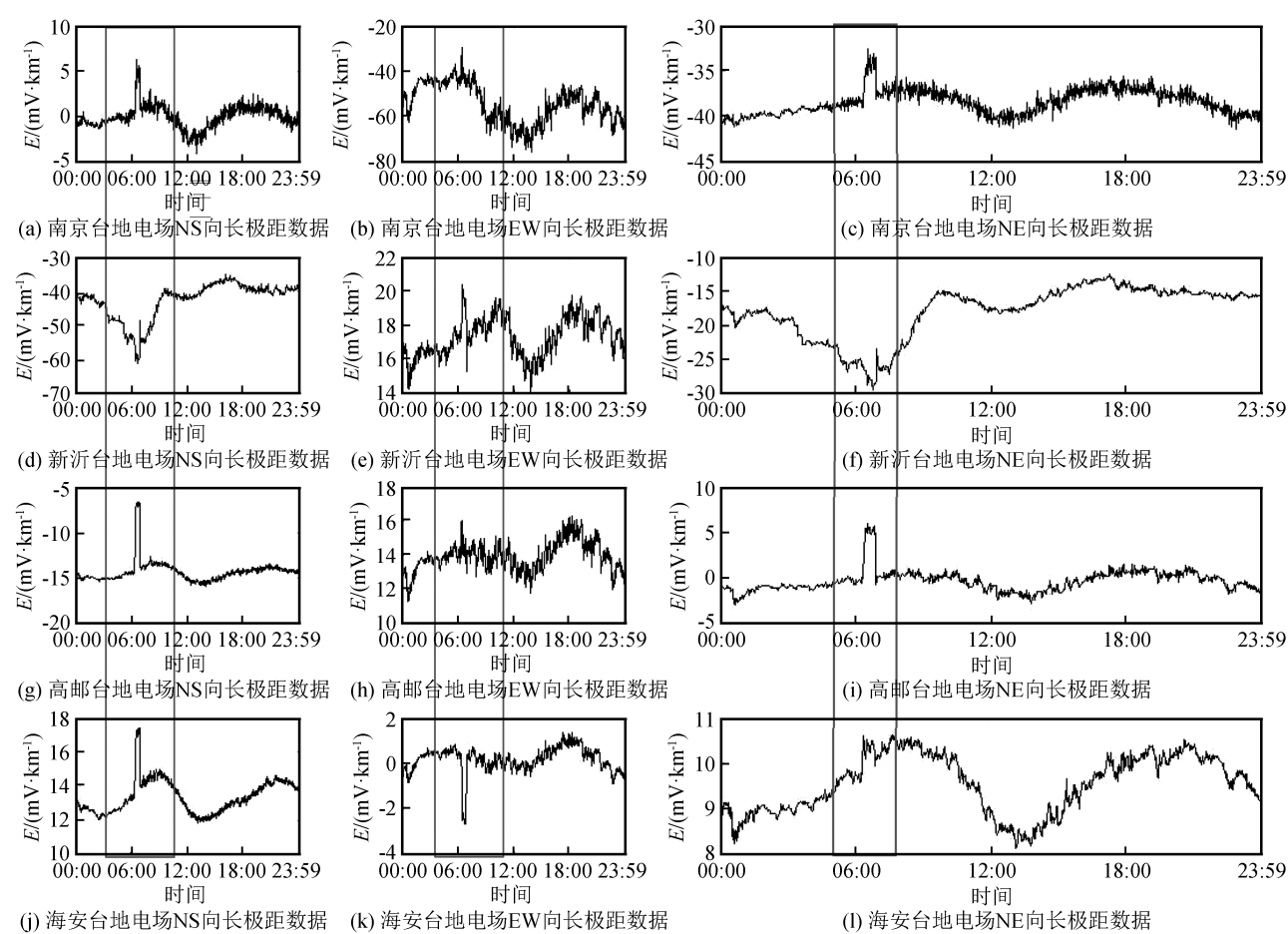


图 5 江苏区域各地电场台 2018 年 4 月 1 日受锡泰线高压直流干扰分钟值曲线

Fig.5 Minute value curve of geoelectric stations disturbed by HVDC of Xitai line in Jiangsu region on April 1, 2018

(2) 锦苏线

锦苏线是一条从裕隆换流站到同里换流站的高压直流线路,在江苏区域的干扰源主要是苏州同里换流站,该换流站距南京地震台高淳观测基地约 50 km,所以对南京台干扰幅度大,距离高邮台直线距离约 120 km,距离新沂台直线距离约 300 km,距离海安台直线距离约 120 km。

锦苏线传输时,对各台地电场观测数据造成的影响形态如下:对于地电场 NS 向观测数据,南京、新沂、高邮和海安台均产生向上的方波形态;对于地电场 EW 向观测数据,南京、新沂、高邮和海安台均产生向下的方波形态;对于地电场 NE 向观测数据,南京和新沂台不明显,海安台是呈现向上的方波形态,高邮台是在高压直流线路开始和结束时均呈现突跳,期间数据形态正常。由于该四个台站不在高压直流线路沿线段,都处于换流站周边不平衡电流发散区域,故他们的变化方向是一致的。

(3) 晋南线

晋南线是一条从朔州到江苏盱眙的线路,在江

苏区域的干扰源主要是南京换流站,位置在盱眙,换流站距离南京台直线距离约 80 km,距离高邮台直线距离约 130 km,距离新沂台直线距离约 100 km,距离海安台直线距离约 180 km,台站位置、高压线路、换流站及接地极相对位置见图 8 所示。

晋南线路传输时,对各台地电场观测数据造成的影响形态如下:对于地电场 NS 向观测数据,南京、新沂、高邮和海安台均呈现方波形态,只是南京、高邮和海安呈现向下的方波形态,新沂台呈现向上的方波形态;对于地电场 EW 向观测数据,南京台变化形态不明显,新沂、高邮和海安台均呈现向上的方波形态;对于地电场 NE 向观测数据,海安台变化形态不明显,南京台呈现向下的方波形态,新沂和高邮台呈现向上的方波形态。高邮、海安及南京台处于晋南线接地极周边入地电流发散区域,且均在换流站和接地极的西南方向,影响明显,新沂台位于沿线东侧,影响较大。对于各台影响方向问题,与线路与接地极的距离都有关系,同时不同的布极方式可能也存在关联。

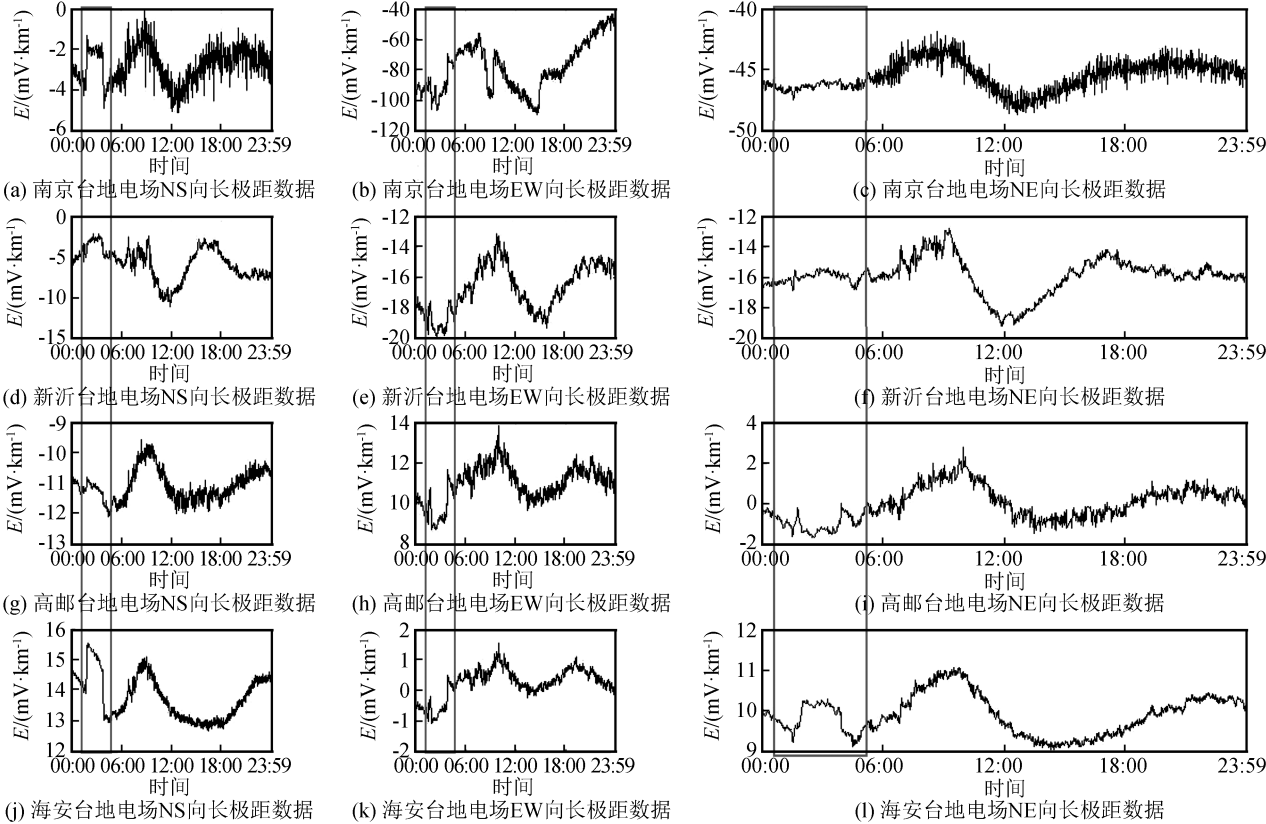


图 6 江苏区域各地电场台 2019 年 3 月 10 日受锦苏线高压直流干扰分钟值曲线

Fig.6 Minute value curve of geoelectric stations disturbed by HVDC of Jinsu line in Jiangsu region on March 10, 2019

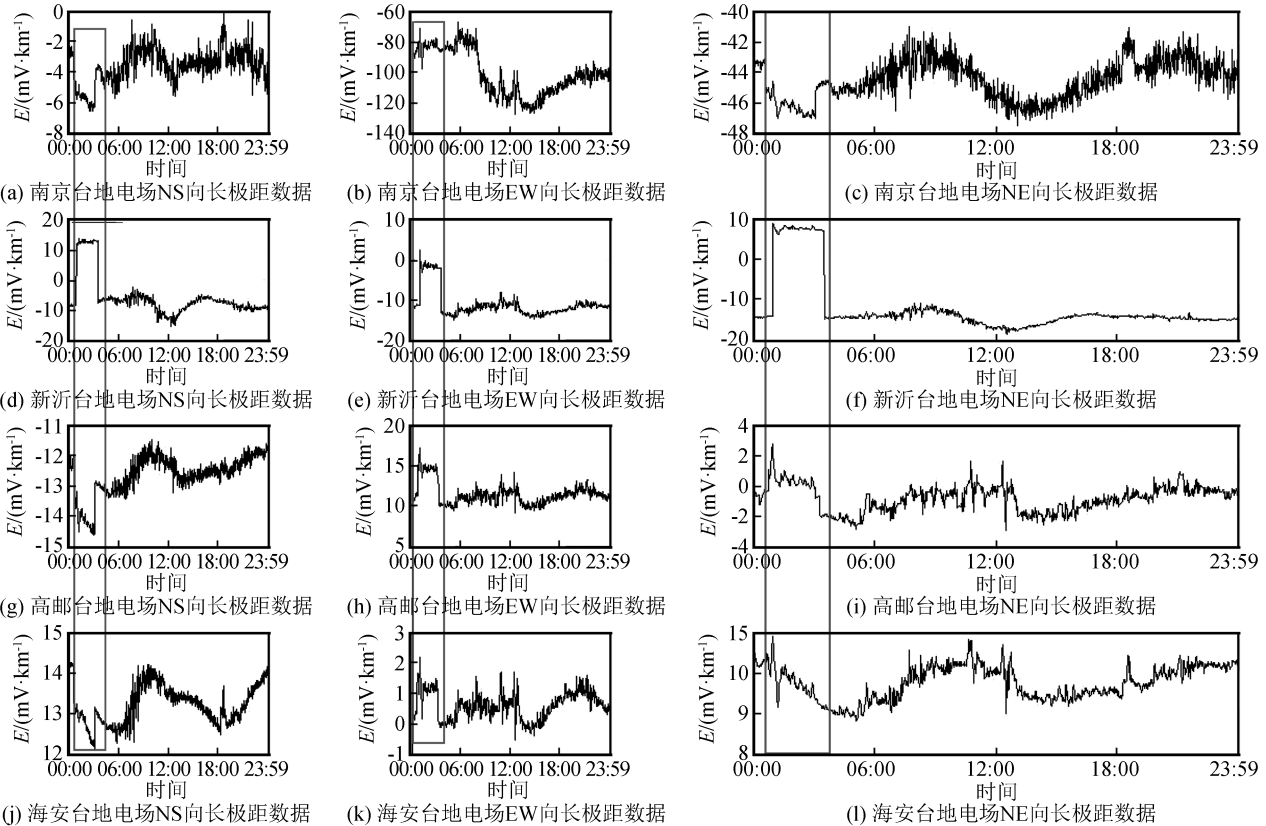


图 7 江苏区域各地电场台 2019 年 3 月 26 日受晋南线高压直流干扰分钟值曲线

Fig.7 Minute value curve of geoelectric stations disturbed by HVDC of Jinan line in Jiangsu region on March 26, 2019

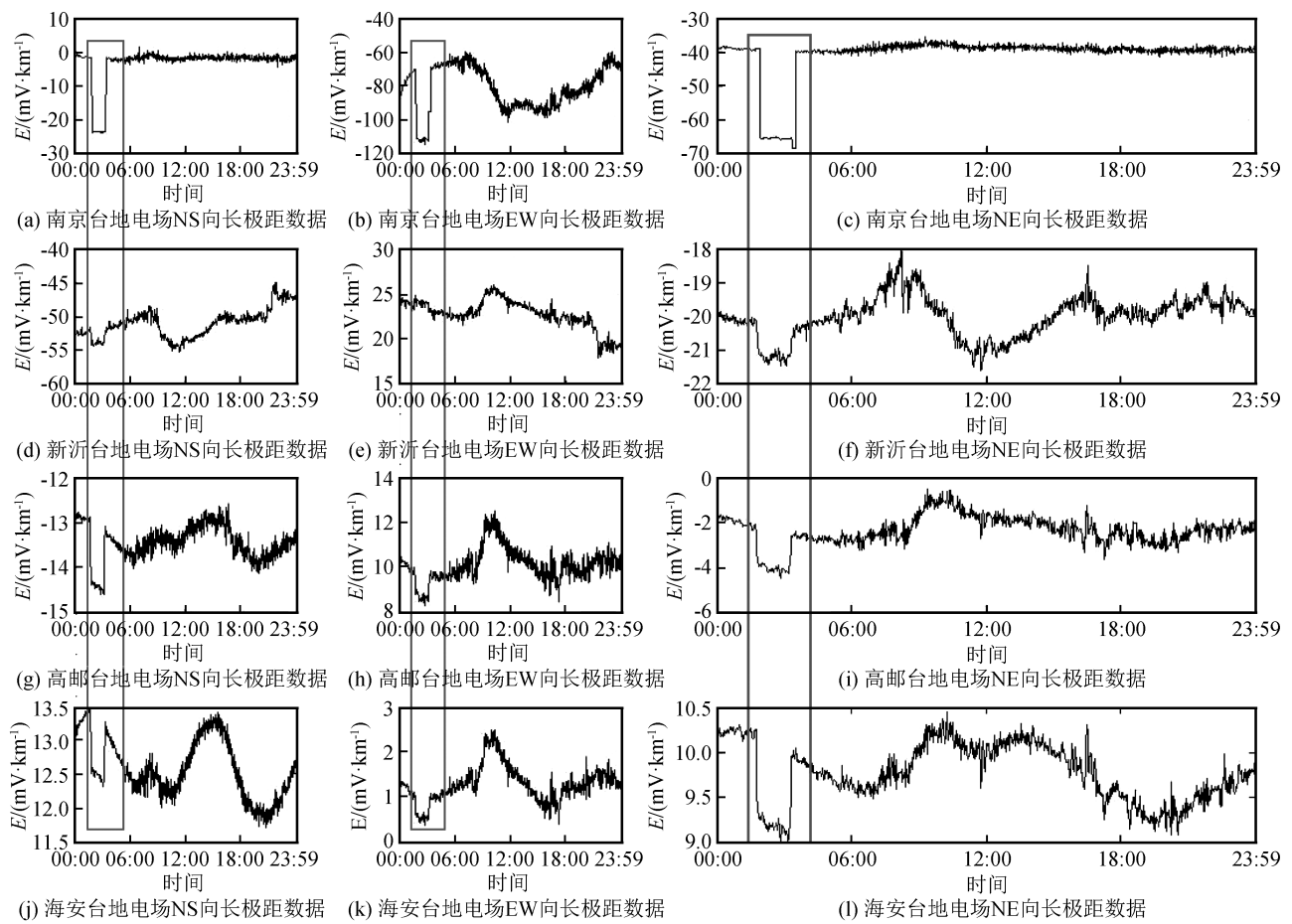


图 8 江苏区域各地电场台 2018 年 11 月 30 日受昌宣线高压直流干扰分钟值曲线

Fig.8 Minute value curve of geoelectric stations disturbed by HVDC of Changxuan line in Jiangsu region on November 30, 2018

(4) 昌宣线

国家电网公司于 2018 年 10 月新增一条新疆昌吉至安徽宣城(简称昌宣线)干扰,该线路已于 2018 年 10 月 2 日开始进行调试运行,台站位置、高压线路、换流站及接地极相对位置见图 4.3.6。南京台距离换流站约 40 km,影响最大,最远的台站为新沂台,约 370 km,海安台距离换流站约 240 km,高邮台距离换流站约 130 km,因位置及距离的不同,这些地电场台站受昌宣线的影响程度不同。

昌宣线传输时,对各台地电场观测数据的影响变化形态如下:对于地电场 NS 向观测数据,南京、新沂、高邮和海安台均呈现向下的方波形态;对于地电场 EW 向观测数据,南京、高邮和海安台均呈现向下的方波形态,新沂台呈现向上的方波形态;对于地电场 NE 向观测数据,南京、新沂、高邮和海安台均呈现向下的方波变化形态。由于海安、高邮、新沂及南京台处于昌宣线接地极周边入地电流发散区域,且均在换流站和接地极的东北方向,影响明显。

昌宣线的接地极基本位于新沂台的正南方向,南京、高邮和海安台相当于是在 EW 方向的 W 端增加了一个场强,而新沂台是在 E 端增加了一个场强,故新沂台在 EW 方向与其余三台反向。

4 结论与展望

由于全国高压直流干扰线路越来越多,对江苏乃至全国地电场观测资料都产生极大的影响,本文通过对江苏境内四个地电场台站受影响最大的几条线路进行探究,通过对它们的变化方向 and 变化幅度进行分析研究,得出以下结论:

- (1) 当高压直流输电线路运行漏电时,它对地电场观测数据产生一定的干扰,同一台站同一方向上不同极距的观测数据产生的干扰幅度基本一致,这表明高压直流输电线路产生的干扰是一个远场干扰源。
- (2) 当台站位于高压直流线路沿线两侧及换流站周边时,地电场观测数据受很大影响。在高压直

线路换流站附近的台站,受高压直流供电干扰时,在高压直流供电线路干扰开始和结束时,呈现的是直上直下的台阶形态,中间构成一个方波形态;在高压直流线路中间的台站,在高压直流供电线路干扰开始和结束时,呈现的是单点突跳加方波形态。

(3) 目前江苏区域的地电场受影响形态仍为台阶,当高压直流输电线路产生干扰时,各地

电场台站受其影响产生的数据变化形态、变化形态和变化幅度也各不相同,这与台站位置、高压线路换流站位置及接地极相对位置有很大关系。

参考文献(References)

- [1] 马钦忠.与 2008 年汶川 $M_s8.0$ 地震有关的成都台地电场异常信号[J].地震学报,2018,40(3):351-363.
MA Qinzong. Abnormal Signals of Geoelectric Field Related to Wenchuan $M_s8.0$ Earthquake Recorded at the Chengdu Station[J]. Acta Seismologica Sinica, 2018, 40(3): 351-363.
- [2] 叶青,杜学彬,周克昌,等.大地电场变化的频谱特征[J].地震学报,2007,29(4):382-390.
YE Qing, DU Xuebin, ZHOU Kechang, et al. Spectrum Characteristics of Geoelectric Field Variation[J]. Acta Seismologica Sinica, 2007, 29(4): 382-390.
- [3] 王倩,韩小宾.河北昌黎台地电场数据与固体潮的初步研究[J].地震工程学报,2017,39(A01):117-120.
WANG Qian, HAN Xiaobin. Preliminary Study of Geoelectric Field Data and Earth Tide at Changli Station[J]. Northwestern Seismological Journal, 2017, 39(A01): 117-120.
- [4] 李江华,曾柯,冯家铎.地电场观测及强震前大地电位异常特征[J].西北地震学报,1996,18(4):9-16.
LI Jianghua, ZENG Ke, FENG Jiaduo. The Observations of Electrotelluric Field and Anomaly Characters of Geodetic Potential before Strong Earthquakes[J]. Northwestern Seismological Journal, 1996, 18(4): 9-16.
- [5] 汪忠德.中国大陆自然电场的前兆机理与特征[J].西北地震学报,2008,30(4):360-365.
WANG Zhongde. Possible Precursor Mechanisms and Characteristics of Natural Geoelectrical Field before Earthquakes in Chinese Mainland[J]. Northwestern Seismological Journal, 2008, 30(4): 360-365.
- [6] 范莹莹,安张辉,陈军营,等.岷县漳县 $M_s6.6$ 地震前平凉台地电场变化[J].地震工程学报,2013,35(4):827-834.
FAN Yingying, AN Zhanghui, CHEN Junying, et al. The Variation of Geoelectrical Field at Pingliang Station, Gansu Province, before the Minxian — Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(4): 827-834.
- [7] 马钦忠,赵卫国,张文平.文县地电场震前异常变化及其在 2001 年昆仑山口西 $M_s8.1$ 地震预测研究中的应用[J].地震学报,2009,31(6):660-670.
MA Qinzong, ZHAO Weiguo, ZHANG Wenping. Abnormal Variations of Geoelectric Field Recorded at Wenxian Station Preceding Earthquakes and Their Application to the Prediction of the 2001 $M_s8.1$ Kunlun Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 2009, 31(6): 660-670.
- [8] 解滔,刘杰,卢军,等.2008 年汶川 $M_s8.0$ 地震前定点观测电磁异常回溯性分析[J].地球物理学报,2018,61(5):1922-1937.
XIE Tao, LIU Jie, LU Jun, et al. Retrospective Analysis on Electromagnetic Anomalies Observed by Ground Fixed Station before the 2008 Wenchuan $M_s8.0$ Earthquake[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2018, 61(5): 1922-1937.
- [9] 马钦忠,方国庆,李伟,等.芦山 $M_s7.0$ 地震前的电磁异常信号[J].地震学报,2013,35(5):717-730.
MA Qinzong, FANG Guoqing, LI Wei, et al. Electromagnetic Anomalies before the 2013 Lushan $M_s7.0$ Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 2013, 35(5): 717-730.
- [10] 陈俊,蒋延林,张秀霞,等.地磁台网高压直流输电判别处理系统设计[J].地震地磁观测与研究,2014,35(Z2):270-274.
CHEN Jun, JIANG Yanlin, ZHANG Xiuxia, et al. The Design of HVDC Discrimination and Processing System for Geomagnetic Network[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2014, 35(Z2): 270-274.
- [11] 江苏省地震局.江苏省地震监测志[M].南京,河海大学出版社,2010:22-149.
Seismological Bureau of Jiangsu Province. Seismological Monitoring Records of Jiangsu Province[M]. Nanjing, Hehai University Press, 2010: 22-149.
- [12] 杜学彬,席继楼,谭大诚,等.地震台站建设规范 地电台站 第 2 部分:地电场台站.中华人民共和国地震行业标准[S].北京:地震出版社,2006:2-5.
DU Xuebin, XI Jilou, TAN Dacheng, et al. Standard for Construction of Seismic Stations Part 2: Geoelectric Stations. Earthquake Industry Standard of the People's Republic of China[S]. Beijing: Earthquake Press, 2006: 2-5.