地震科学进展
PROGRESS IN EARTHQUAKE SCIENCES
ISSN 2096-7780 CN 10-1665/P

云南省罗茨地电场的干扰排查及数据变化特征分析

肖 鑫，杨润海，施建明，王林岚，李 宇

Interference and changes in data characteristics of Luoci geoelectric observatory station in Yunnan Province

Xiao Xin, Yang Runhai, Shi Jianming, Wang Linlan, and Li Yu

在线阅读 View online: https://doi.org/10.19987/j.dzkxjz.2024-125

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

腾冲中心站地电场观测数据质量及典型干扰分析

Observation data quality and typical interference analysis of geoelectric field in Tengchong center station

地震科学进展. 2024, 54(12): 851–859

海南翁田台地电场数据质量及频谱分析

Data quality and spectrum analysis of geoelectric field at Wengtian station in Hainan

地震科学进展. 2024, 54(2): 153–158, 174

翁田台地电场观测受干扰的因素分析

Analysis of factors affecting the disturbance of geoelectric field observation at Wengtian station

地震科学进展. 2022, 52(2): 67–76

元谋苴林地电场改造前后数据分析

Data analysis before and after the transformation of Yuanmou Julin geoelectric field

地震科学进展. 2024, 54(7): 457–465

北京地电台网典型干扰及影响因素浅析

Analysis of typical interference and influence factors of Beijing geoelectric field observation network

地震科学进展. 2021, 51(12): 560–568

大同站FHD-2B地磁观测数据典型干扰分析

Typical interference analysis of FHD-2B observation data at Datong seismic station

地震科学进展. 2023, 53(6): 251–260

关注微信公众号，获得更多资讯信息

肖鑫, 杨润海, 施建明, 等. 云南省罗茨地电场的干扰排查及数据变化特征分析 [J]. 地震科学进展, 2025, 55(11): 628-636. doi:10.19987/j.dzkxjz.2024-125
Xiao X, Yang R H, Shi J M, et al. Interference and changes in data characteristics of Luoci geoelectric observatory station in Yunnan Province[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2025, 55(11): 628-636. doi:10.19987/j.dzkxjz.2024-125

学术论文

云南省罗茨地电场的干扰排查及数据变化特征分析

肖　鑫[1)※]　杨润海[2)]　施建明[1)]　王林岚[1)]　李　宇[3)]

1) 云南省地震局楚雄地震监测中心站, 云南楚雄　675000
2) 云南省地震局, 云南昆明　650224
3) 禄丰市地震局, 云南禄丰　651200

摘要　本文以罗茨地电场观测资料为研究对象,利用该地电场观测数据对其主要干扰源进行定位及分析,发现其主要干扰源为电极引线破损、测区温泉经营户抽水机漏电、大型基建施工及降雨所致,分别介绍此 4 类主要干扰源的排查过程及其典型变化形态,为解决干扰问题提出一些思路;利用相关性分析、差分等手段对该地电场观测数据质量进行评价,并归纳总结在实际工作中提升观测数据质量的方法;在同一个地电暴事件中,通过与周边的元谋苴林地电场做观测数据的对比,总结罗茨地电场数据在地电暴事件中的变化特点,并分析两个地电场观测记录不同的原因。本文为台站工作人员对该地电场观测资料的认识和把握提供较好的参考,并为噪声识别和震情分析提供指导,为后期该地电场的改造提供科学依据。

关键词　罗茨; 地电场; 干扰源; 数据质量; 地电暴

中图分类号: P315.6　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 2096-7780(2025)11-0628-09

doi: 10.19987/j.dzkxjz.2024-125

Interference and changes in data characteristics of Luoci geoelectric observatory station in Yunnan Province

Xiao Xin[1)], Yang Runhai[2)], Shi Jianming[1)], Wang Linlan[1)], Li Yu[3)]

1) Chuxiong Earthquake Monitoring Center Station, Yunnan Earthquake Agency, Yunnan Chuxiong 675000, China
2) Yunnan Earthquake Agency, Yunnan Kunming 650224, China
3) Lufeng Earthquake Agency, Yunnan Lufeng 651200, China

Abstract　The observation data from the Luoci geoelectric observatory station were studied. The main sources of data interference were identified and analyzed using the observation data from a geoelectric observatory station. The main

收稿日期: 2024-08-08; 采用日期: 2025-03-04。
基金项目: 2024 年度中国地震局监测、预报、科研三结合课题和云南地震局科技人员传帮带培养项目任务第四期联合资助。
※ 通信作者: 肖鑫(1991-), 男, 工程师, 主要从事地震监测、预报等研究。E-mail: 151692484@qq.com。

sources of data interference were electrode lead damage, water pump leakage in the hot spring operators, large-scale infrastructure construction, and rainfall. The typical changes in these four main interference sources were investigated, and solutions were proposed to reduce data interference. The quality of the geoelectric observatory station observations was evaluated using correlation analysis and differences between observations. Methods of increasing observation quality work are summarized. The characteristics of the Luoci geoelectric observatory station data were compared with those obtained at the nearby Yuanmou Julin geoelectric observatory station to determine their differences. The reasons for the differences between the two geoelectric observatory station observation records were identified. This study provides a reference for helping station staff understand geoelectric observatory station observation data, identifying data noise, and analyzing seismic data. A scientific basis is provided for upgrading geoelectric observatory stations.

Keywords　Luoci; geoelectric observatory station; source of interference; data quality; geoelectric storm

0　引言

地球表面存在着天然的变化电场和稳定电场，总称地电场。地电场是重要的地球物理场。地电场主要包括两部分：大地电场和自然电场。前者源于外太空电离层的电流体系及其变化，分布在整个地表的较大区域；后者源于地下场源，具有相对的局部稳定性[1]。但是由于地电场观测的场地范围较大，容易受到场地环境因素以及其他不明因素的干扰[2]。本文通过对罗茨地电场日常观测数据资料、测区环境、数据内在质量进行综合分析，归纳了典型干扰及核实过程；并分析了该地电场近年来的数据质量情况，与临近的其他地电场观测数据对记录的地电暴事件做对比。这对正确认识该地电场正常变化、判断震兆信息以及进一步提高罗茨地电场观测数据质量及预报能力具有一定意义；并对今后观测资料的处理和分析、抗干扰改造都有重要帮助。

1　观测台站基本情况

罗茨地电场观测台建于 2006 年 9 月，为国家“十五”项目建设的地电观测台站，属云南省楚雄彝族自治州禄丰市地震局观测站，距县城 40 km，地电场测区位于禄丰市碧城镇罗茨温泉以东的农田之中。观测环境为国家基本农田保护区，测区较为开阔，建成初期观测环境无较大电磁干扰。当地年平均气温为 16.3℃，年平均降雨量为 937 mm。该地电场布极区位于罗茨—易门断裂西侧。该观测区内浅表覆盖层厚度约为 10 m，属第三纪泥沙岩、亚粘土，基底为元古界上昆阳群落雪组。岩层以厚层状白云岩为主，夹有部分白云质化灰岩、沙岩，整体岩层为板状产出，岩溶较发育(图 1)。

2006 年 9 月建成初期使用铅电极进行观测，但电极埋深仅有 1 m。2010 年 10 月对观测系统外场地进行了整体第 1 次改造，更换铅电极并将其埋深增加至 6.5 m，测量线路采用横截面积为 6 mm^2 的绝缘电缆，改造后罗茨地电场整体观测系统内精度达到了地电场观测的学科要求，观测数据的稳定性得到了较大提高。2016 年 1 月进行了第 2 次改造，将观测系统外场地测量电极更换为兰州地震研究所生产的固体不极化电极(LGB-3 型)，电极埋深为 2.5 m，此次改造后的电极使用至今。

罗茨地电场建成后使用的是 ZD9A-II 型地电场仪进行观测，2019 年 8 月 23 日将 ZD9A-Ⅱ型地电场仪更换为 GEF-Ⅱ地电场仪。由于罗茨地电场隶属禄丰市地震局管理，因工作人员长期缺乏系统培训，数据处理及运维未能按照学科要求进行。2021 年 9 月楚雄地震监测中心站成立后，该地电场台站才开始严格按照学科要求对观测仪器进行检查标定，并定期检查维护外场地观测系统及避雷装置等。

罗茨地电场测区周边存在村镇、温泉旅游区、国道、河流及大型基建项目等(图 2)，会对地电场观测环境造成较大影响。目前台站同时还进行气氡及气象三要素辅助观测，但因观测井坍塌，气氡观测数据长期处于异常低值，经学科判断已无预报效能，且气象三要素数据未与地电场数据录入同一数据库。测区北偏西 39°，直线相距 71 km 的是元谋苴林地电场(图 1)。在 2024 年 3 月的现场检查中发现，由于罗茨地电场长期缺少系统运维管理，外线路存在多处被网络运营商的光纤线路搭触。罗茨地电场多根电杆存在严重倾斜，且有其他线路借用罗茨地电场外线路电杆搭接。

2　常见干扰源排查

2.1　电极引线破损

罗茨地电场自 2016 年改造后，观测数据经常有

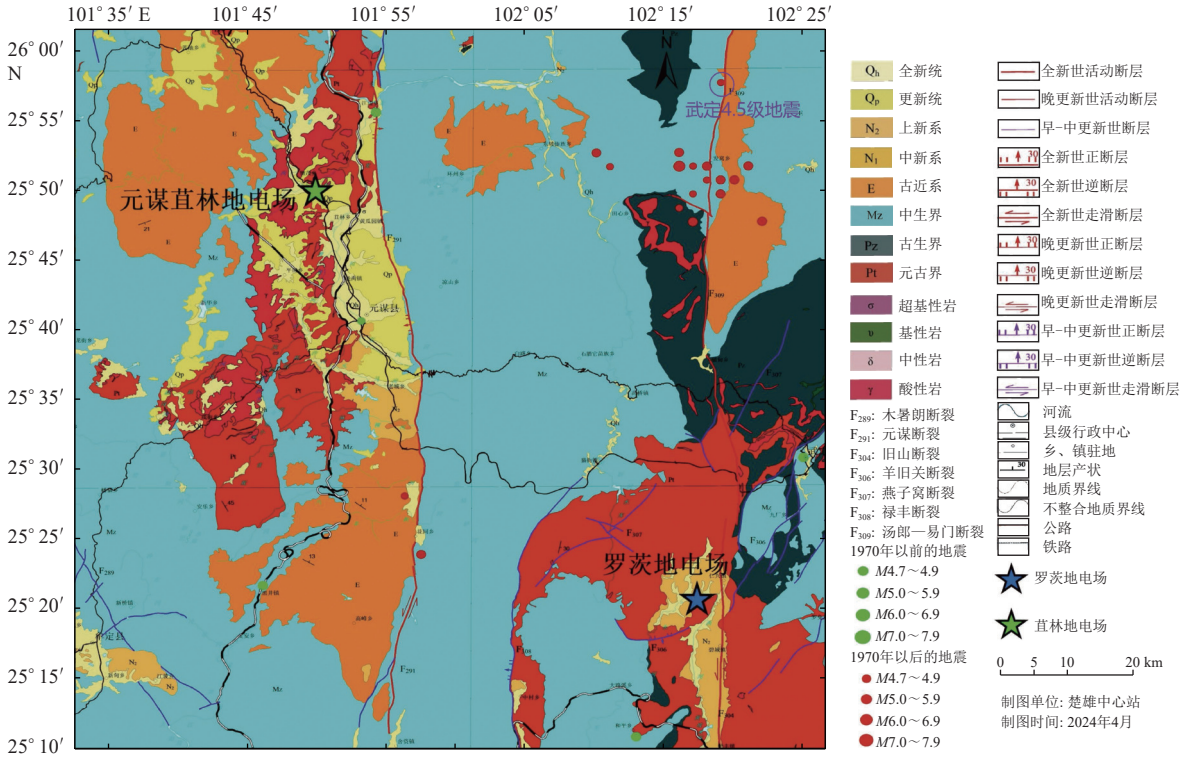

图 1 罗茨地电场与元谋苴林地电场地质构造图

Fig. 1 Geological structure of Luoci and Yuanmou Julin geoelectric fields

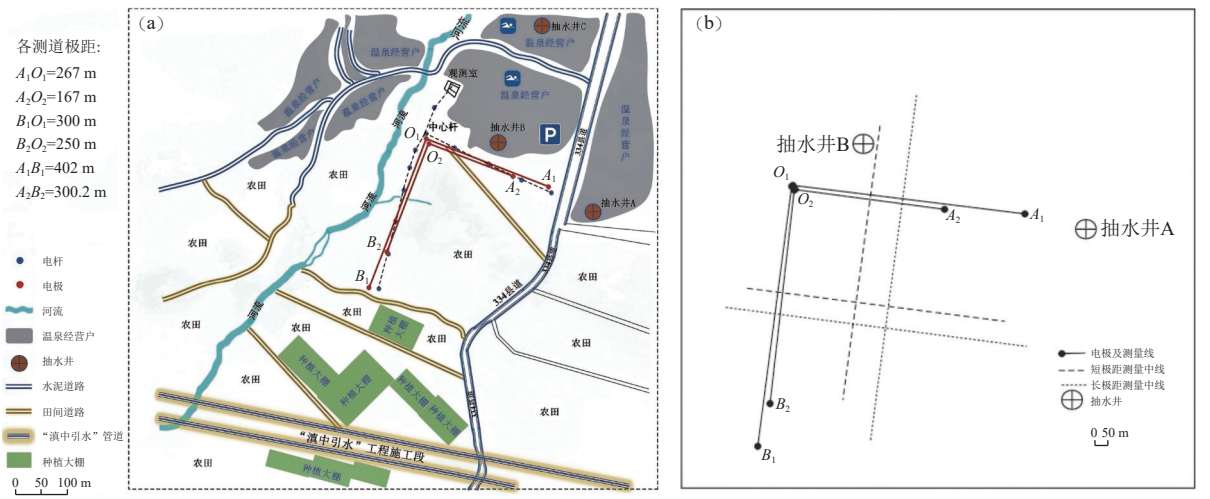

图 2 罗茨地电场测区环境(a) 与电极、抽水井(b) 位置图

Fig. 2 Map of environment (a), electrode, and pumping well (b) locations for Luoci geoelectric field

长极距 NS、EW 测向同步出现大幅漂移，但短极距 NS、EW 测向数据在该时段内变化较小，并且 NE 测向该时段内无论长短极距测道均未出现类似漂移，该情况导致 NS 测向及 EW 测向相关系数减小，差值增大，NE 测向未受影响。由绘制的 2023 年 11 月 11—13 日罗茨地电场观测数据曲线(图 3)可知，12 日 08:50—13 日 12:20 NS 测道长极距及 EW 测道长极距同步出现大幅漂移，变化幅度约为 57 mV/km 和 68 mV/km，但 NS 测道短极距与 EW 测道短极距数据在该时段内此变化情况较小，并且 NE 测向该时段内无论长短极距均未出现类似漂移。经查阅整理该地电场基础资料，并与当初建设的项目负责人确认，O_1O_2 电极埋设于同一电极坑中且相距不到 1 m，故同一电极坑内两个电极周围土壤电性结构应一致[3]。经过查看比较 2016 年至今的数据发现，在 2019 年后 NS 测道长极距与 EW 测道长极距数据在该情况

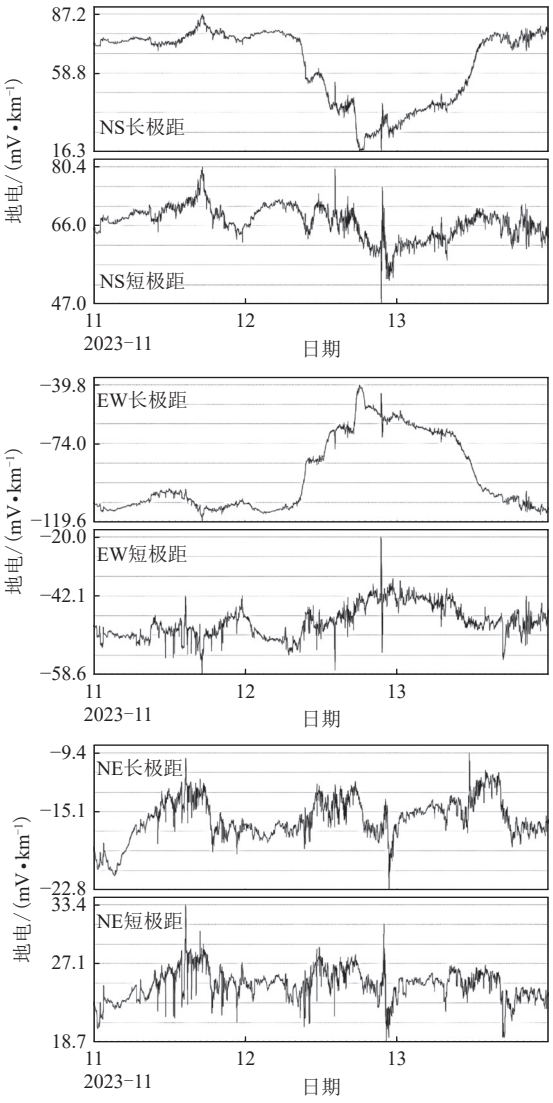

图 3　罗茨地电场 2023 年 11 月 11—13 日原始数据曲线

Fig. 3　Original data for Luoci geoelectric field on November 11—13, 2023

下漂移幅度逐渐减弱，结合以往经验和前人研究[4]，初步判断为 O_1 电极引线表皮存在破损，当电极坑受农户灌溉被浸泡，导致 O_1 和 O_2 电极所测数据出现差异。

2.2　测区温泉经营户抽水机漏电干扰

在罗茨地电场观测过程中，观测数据常有 3～9 h 不等的台阶变化，且主要分为 2 种形态（以下按台阶 1 和台阶 2 描述）。由绘制的 2024 年 2 月 1—5 日罗茨地电场观测数据曲线（图 4）发现，在 2024 年 2 月 2—4 日数据出现常有的 2 种形态的台阶变化共 3 个，分别计算此 3 个台阶的时间及各测道数据变化情况，得到表 1。

利用此 3 个台阶的计算结果，结合 2 种类型台阶的变化形态特征及出现时间，根据以往滇中地区地电场观测所受干扰曲线变化特征及场地周围主要用电设备类型的经验分析，疑为近场抽水机漏电造成的[4-5]。通过利用地电场观测的相同场地长短极距测量结果差异的特性，重新定位了干扰源[6]。

在罗茨地电场测量中，NS 测道所测电场值为 $(U_B-U_O)/L_{BO}$，EW 测道所测电场值为 $(U_O-U_A)/L_{OA}$，NE 测道所测电场值为 $(U_B-U_A)/L_{BA}$。以 2024 年 2 月 2—4 日台阶计算结果为例（表 1），假设该干扰为近场干扰，在均匀半空间模型下，干扰源越靠近测道中线，则其造成的电场值变化越接近零，相对测道中线靠近正方向电极时，测值为正值，靠近负方向电极时，测值为负值，且越靠近某端电极时，其干扰强度越大。当然，部分地电场观测区受地下介质及观测系统的影响，干扰源在部分测道的数值响应上并不一定遵从此规律[7]。

由于 2 月 2 日和 2 月 3 日的形态、影响数值及比值相近，应为同一干扰源所致。台阶 1 在 EW 测道（$(U_O-U_A)/L_{OA}$）中计算结果为负值，即 U_O 小于 U_A，证明该干扰点更接近于 A 电极；台阶 1 在 NS 测道（$(U_B-U_O)/L_{BO}$）中计算结果为负值且数值较小，即 U_O 大于 U_B，证明该干扰点在 NS 测道中线北侧但可能离电极距离较远或正好处于测道中线附近。在 2024 年 2 月第 1 次现场干扰源排查中，通过干扰时段与抽水机工作时段对比，确定了台阶 1 是由抽水井 A 抽水时设备漏电造成的（图 2）。至于 EW 测道上干扰幅度的长极距小于短极距，可能是由两个电极坑电性差异造成的。因观测场地较为复杂，为非均匀

表 1　罗茨地电场 2024 年 2 月 2—4 日观测数据台阶变化信息统计表

Table 1　Statistics of step change information in observation data from Luoci geoelectric field in February 2—4, 2024

测量时间	地电/(mV•km⁻¹)					
	NS长极距	NS短极距	EW长极距	EW短极距	NE长极距	NE短极距
2024-02-02 11:36—19:17	−1.11	−0.65	−13.49	−27.49	−9.63	−17.32
2024-02-03 09:48—16:52	−0.54	−0.08	−13.89	−29.42	−9.79	−18.25
2024-02-04 00:32—08:03	−1.35	−1.66	30.84	10.8	19.18	5.5

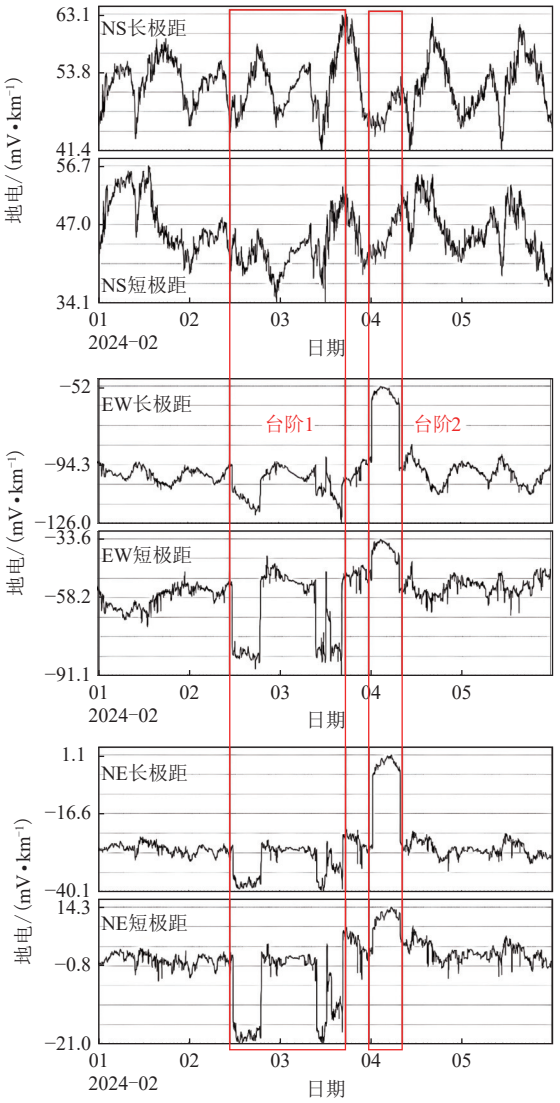

图 4 罗茨地电场 2024 年 2 月 1—5 日原始数据曲线

Fig. 4 Original data for Luoci geoelectric field on February 1—5, 2024

半无限空间，A_1 电极所处位置为高地，而 A_2 电极处在洼地水田内，加之测区内分布有大量灌溉沟渠，两个电极坑的电性可能存在较大差异，故而造成台阶 1 的变化中长极距电极干扰幅度低于短极距电极[4]。

由于台阶 2 在 EW 测道（$(U_O-U_A)/L_{OA}$）中长极距观测数值绝对值大于短极距观测数值绝对值，且计算结果为正值，即 U_O 大于 U_A，长极距数值大于短极距数值，即在 U_O 相同的情况下（同一电极坑内），但 U_{A_2} 大于 U_{A_1} 且接近于 U_O，可推断该干扰点靠近中心 O 电极且接近 O_2 电极与 A_2 电极中线处以西；台阶 2 在 NS 测道（$(U_B-U_O)/L_{BO}$）中计算结果为负值且数值较台阶 1 偏大，即 U_O 大于 U_B，证明该干扰点在 NS 测道中线北侧，但离台阶 1 的干扰点近 O 电极。

台阶 2 在 2024 年 2 月排查中未找到对应的抽水井。经再次对观测数据进行定位计算分析，确定在中心杆（O 电极）东北方向大概率存在另一台抽水机漏电的情况。在 2024 年 6 月再次对观测场地进行细致排查，发现了温泉经营户隐藏的违规抽水井 B。自此对应了 2 月 2 日及 2 月 3 日的台阶 1 为井 A 违规抽水时抽水机漏电导致，2 月 4 日数据的台阶 2 为井 B 违规抽水时抽水机漏电导致（图 2）。

2.3 大型基建施工干扰

2021 年 12 月—2024 年 4 月期间，由于罗茨地电场测区南侧进行“滇中引水”工程的建设，其工地最近端距离电极 O_1O_2 约为 570 m，电极 B_1 约为 295 m，电极 B_2 约为 370 m，电极 A_1A_2 约为 550 m（图 2）。“滇中引水”项目作为目前全国在建的引调水工程中投资规模最大、建设难度最高的水利工程，其工地存在大量的大型机械施工作业及管道焊接工作。在 2024 年 2 月罗茨地电场周边工程完成之前，长期存在施工设备漏电情况，导致罗茨地电场数据受干扰产生大幅突跳变化，数据变化幅度约为 14 ～181 mV/km，其数据变化幅度的大小跟漏电设备及“滇中引水”沿线工地的漏电位置不同有关。该情况的处理只能依靠数据处理人员删除受干扰的错误数据。由于此漏电干扰所删除数据多为点数据，不会对观测数据造成大量的成片缺数，处理后数据依然可以被地震预报工作所用，且完工后目前来自“滇中引水”工地的干扰频次已明显减少。

2.4 降雨干扰

在对罗茨地电场的预报效能做梳理时，曾出现将降雨干扰错判为震前异常的情况。在 2021 年 9 月楚雄地震监测中心站对罗茨地电场工作人员进行数据处理及基本运维的培训之前，罗茨地电场观测数据处理及记录均不规范。在对罗茨地电场预报效能梳理工作中，查找了罗茨地电场 300 km 内的历史地震记录。根据地震记录对罗茨地电场观测数据进行异常排查，仅发现 2018 年 10 月 17 日武定 4.5 级地震震前数据有明显异常，该地震与罗茨地电场的震中距为 61.6 km，且位于罗茨地电场所在的汤郎—易门断裂的北端，异常表现为 2018 年 9 月 28 日各测道数据异常漂移，10 月 12—16 日各测道数据再次出现漂移（图 5）。经对比以往电磁扰动和场地干扰造成的数据形态，排除以上两种情况，并对比周边的元谋水化站地电场与苴林地电场、以及元谋水化站的流体观测数据，以上观测手段在此时段内均未出现异常变

化。后又查询罗茨当地气象记录，发现在 2018 年 9 月 28 日—10 月 2 日、10 月 12—14 日测区有降雨，降雨量分别为 9 月 28 日 10.9 mm，9 月 29 日 1.2 mm，10 月 1 日 15.1 mm，10 月 2 日 5.3 mm，10 月 12 日 11.3 mm 和 10 月 13 日 7.4 mm。结合 2021 年在楚雄中心站对罗茨进行的第 1 次外线路绝缘检查时的发现，罗茨地电场外线路接头仅用绝缘胶布包裹后无遮挡的悬垂于空中，且有多处外线路接头存在严重氧化迹象，故判断此次数据异常为降雨干扰所致。究其原因为罗茨地电场气象三要素仪观测数据未入库，且当时日志记录不完整，故而导致预报人员在异常分析时造成误判。

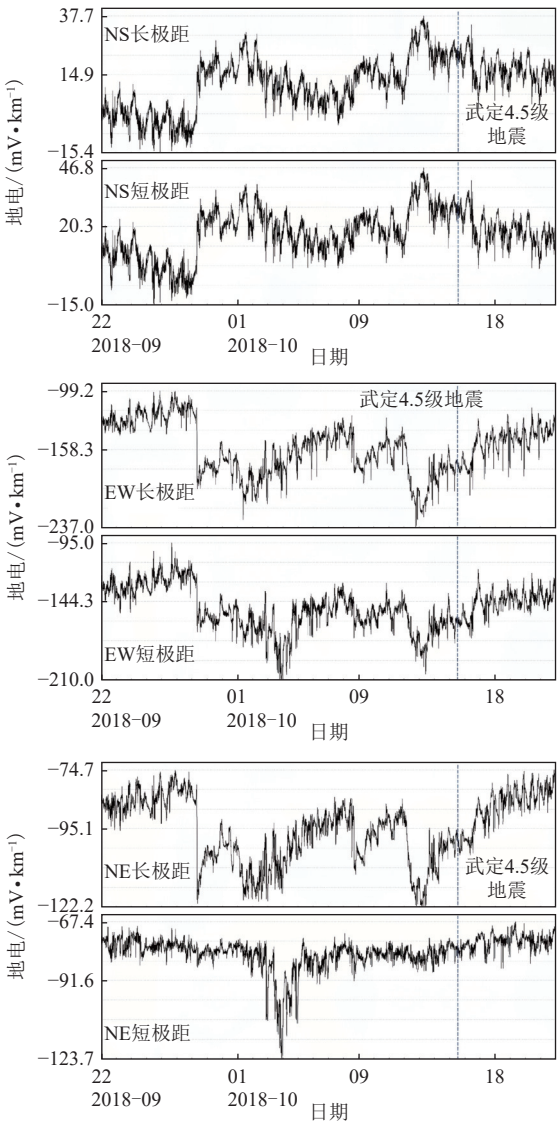

图 5　罗茨地电场 2018 年 9 月 22 日—10 月 21 日剔除已知干扰突跳后数据曲线

Fig. 5　Data curve of Luoci geoelectric field from September 22 to October 21, 2018 after eliminating known interference issues

3　数据变化特征分析

3.1　罗茨地电场观测数据质量分析

从罗茨地电场数据中可看出，罗茨地电场有正常日变化，只是受干扰影响有时日变形态清晰会被压制(图 3 和图 5)。通过对同测向不同测道的观测数据计算得到的相关系数与差值，以及数据的连续率及完整率(表 2)，可评价地电场的观测数据质量及初步判断观测系统稳定性[8]。在地电场观测中，相关系数越接近 1 且差值越接近 0，表示相同测向两个测道的观测数据越一致，观测数据越稳定。通过计算数据的相关系数、差值、连续率及完整率，可初步判断地电场的观测数据质量及观测系统稳定性[5, 9-11]。

表 2　罗茨地电场观测数据质量统计

Table 2　Statistics of observation data quality of Luoci geoelectric field

年份	相关系数	差值	连续率/%	完整率/%
2018	0.828	5.976	95.178	94.327
2019	0.861	4.124	61.181	60.883
2020	0.729	5.354	98.367	98.365
2021	0.768	3.454	97.858	97.549
2022	0.873	3.422	99.371	98.995
2023	0.875	3.845	97.084	97.020
2024年1—3月	0.878	5.300	98.788	98.437

注：2021年10月楚雄地震监测中心站开始对罗茨地电场进行运维

计算罗茨地电场观测数据质量，分析得出的数据结果。自从 2021 年 9 月楚雄地震监测中心站成立并对罗茨地电场开始维护及培训后，罗茨地电场 2022 年起观测数据质量得到明显提升。2023 年上半年因罗茨地电场观测人员变动，导致设备故障死机后恢复时间较长，致使该年运行率及完整率有所下降。但在楚雄地震监测中心站、楚雄州地震局与禄丰市地震局多次沟通努力后，2023 年下半年该问题得到有效解决。且经过楚雄地震监测中心站对罗茨地电场工作人员数据处理及基本运维的培训，数据处理人员能正确分辨并处理已知干扰造成的坏数情况，使罗茨地电场观测系统的可信度及稳定性均明显提升。

3.2　地电暴对比分析

针对 2024 年 2 月 11 日发生的地电暴事件进行分析，此次地电暴事件被云南省内多个地电场台站

观测到。在罗茨地电场北偏西 39°，直线相距 71 km 的元谋苴林地电场，该地电场隶属云南省地震局楚雄地震监测中心站，位于元谋断陷盆地西侧，距离绿汁江大断裂西侧 30 km。

将罗茨地电场与元谋苴林地电场在此次地电暴事件中记录到的曲线形态及变化幅度进行对比分析（图 6 和表 3）。虽然在该次地电暴过程中，罗茨地电场记录到了测区干扰，但并不影响对两个地电场数据进行对比。经对比分析该地电暴事件的观测数据，得到以下结论：①两个地电场在该此次地电暴事件中观测到的急始脉冲信号及两个最大峰值信号均同步，分别在 10:11，10:12 和 10:40；②通过计算两个地电场的最大变幅并做比较，发现元谋苴林地电场同测向长短极距测道记录到的最大变幅几乎相等，而罗茨地电场在 NS 向长短极距测道记录到的差值为 10.74 mV/km，相差 23%；同时两个地电场 NS 向及 EW 向的最大变幅比也接近 5∶1。结合两个地电场的场地条件分析，应与两个地电场所处位置的地下电性结构有关。罗茨地电场场地浅表覆盖层厚度 10 m 左右，表层为亚粘土，往下为泥沙岩，基底为白

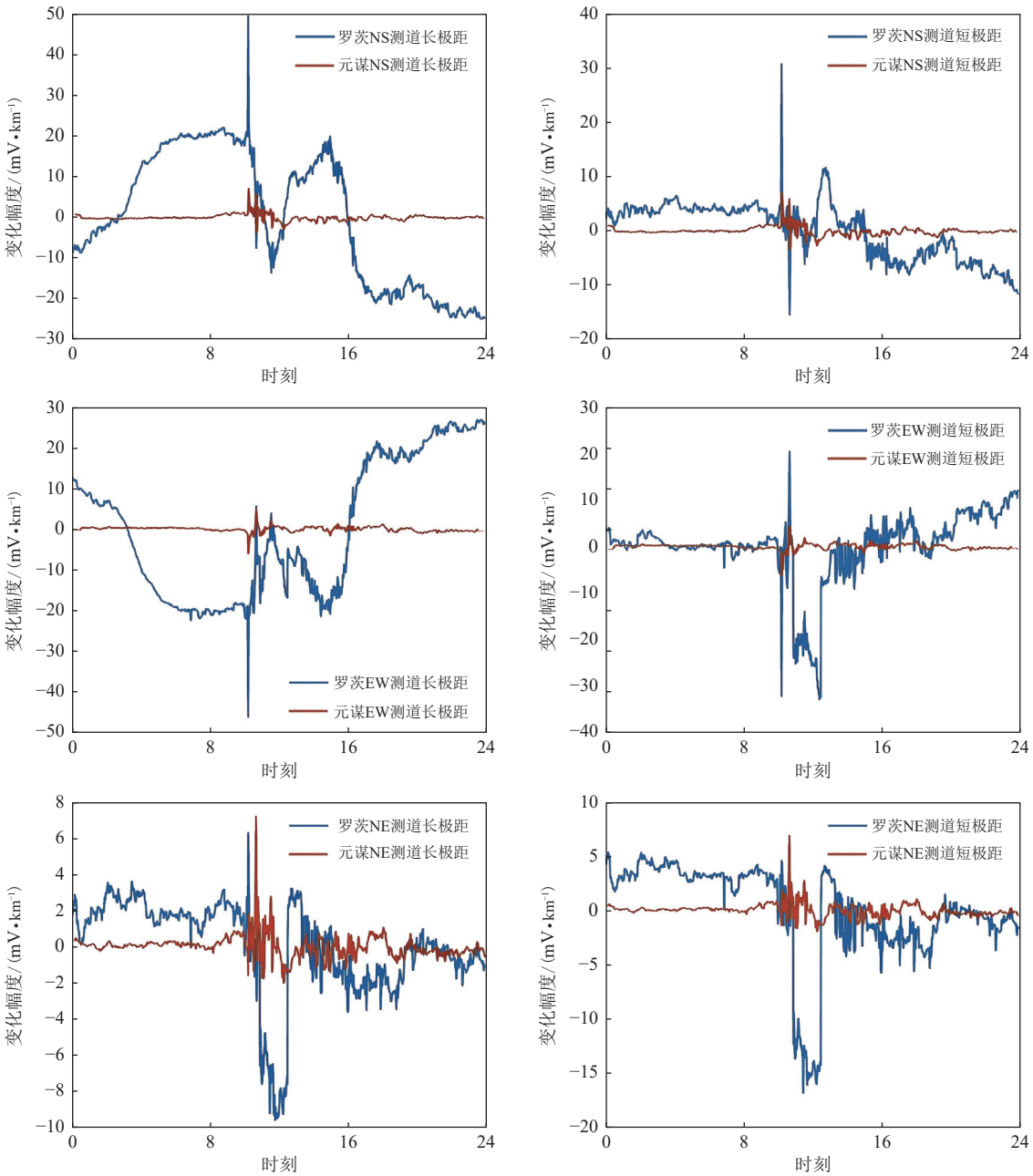

图 6 元谋苴林地电场与罗茨地电场 2024 年 2 月 11 日原始数据对比曲线

Fig. 6 Original data comparison of Yuanmou Julin and Luoci geoelectric fields on February 11, 2024

表 3　2024 年 2 月 11 日受地电暴事件影响罗茨地电场与元谋苴林地电场观测数据最大变幅对比表

Table 3　Comparison of maximum electric field observations of Luoci and Yuanmou Julin geoelectric field, which were affected by geoelectric storm event on February 11, 2024

场地	地电/(mV•km^{-1})					
	NS长极距	EW长极距	NE长极距	NS短极距	EW短极距	NE短极距
罗茨地电场	57.15	51.96	9.35	46.41	52.72	6.32
元谋苴林地电场	10.92	11.12	8.99	10.73	10.73	8.69

云岩为主，夹有部分白云质化灰岩、沙岩。而元谋苴林地电场场地浅表覆盖层厚度 8 m 左右，表层为粉砂、粉土夹卵砾石层(人工填土)，往下为粉质粘土含卵砾石，基底为石灰岩。两块观测场地均属于基本农田，长期种植农作物并进行灌溉。由于两块场地大尺度和局部小尺度地下电性结构均不同，导致了同一个地电暴事件对两个地电场观测影响在变化幅度上的差异[12-13]。

4　结论与讨论

结合现场排查的情况，通过对罗茨地电场的观测数据质量及数据曲线的变化特征进行对比分析，得出如下结论：

(1)罗茨地电场观测受测区周边生产生活设备的漏电影响较为频繁，现干扰源主要为测区周边温泉经营户违规抽水时抽电机漏电和“滇中引水”工程施工设备漏电等，反映在数据曲线上的显著特征分别为台阶及突跳变化，突跳数据经处理删除后不会对预报工作造成影响。

(2)罗茨地电场对于地电暴事件能完整记录，经与元谋苴林地电场对比，两个地电场在同一个地电暴中同步观测到了初动及最大峰值，但因两个地电场观测系统的布极差异及两块场地大尺度和局部小尺度地下电性结构均不同，造成观测到的地电暴数据变化幅度差距明显。

(3)罗茨地电场因为采用的是不极化电极，不能直接测试电极的接地电阻，但是从长期数据分析发现，罗茨地电场长极距 NS 测道及 EW 测道偶有数据漂移的情况，判断为 O_1 电极地下引线部分破损导致。电极坑受农户灌溉浸泡时，便导致 O_1O_2 电极所测数据的差异，引起长极距 NS 测道及 EW 测道数据的漂移。

(4)根据以上情况提出罗茨地电场的改造意见如下：针对罗茨地电场近场干扰较多，且场地限制，建议易地搬迁；因原场地改造如果是场地内平移电极位置，仅有向南平移约 30 m 的空间，对于抗干扰作用不大；如减小极距，但此方法对于预报效能是否有影响仍需试验探究。目前应及时采取的措施有以下 5 点：①更换电极或将原接 O_1 电极的线路接到 O_2 电极上共用，消除 NS 测向长极距及 EW 测向长极距数据漂移；②对外线路进行更换并扶正倾斜电杆，剔除现挂于外线路及电杆上的其他线路；③与地方政府沟通，对正在违规开采温泉的温泉经营户进行处罚并禁止此类行为；④将罗茨地电场的气象三要素仪器数据调入正式数据库，方便预测人员在异常核实时利用观测场地气象因素做分析；⑤增加对罗茨地电场日常数据处理的指导与监督，确保观测数据的预处理正确有效，使观测数据能更好地服务于预报工作。

参考文献

[1] 傅承义，陈运泰，祁贵仲. 地球物理学基础 [M]. 北京：科学出版社，1985：447
Fu C Y，Chen Y T，Qi G Z. Geophysical fundamentals[M]. Beijing：Science Press，1985：447

[2] 席继楼，赵家骝，王燕琼，等. 地电场观测技术研究 [J]. 地震，2002，22(2)：67-73
Xi J L，Zhao J L，Wang Y Q，et al. Research on observational technology of the geoelectric field[J]. Earthquake，2002，22(2)：67-73

[3] 李瑞卿，郭学增，张蕾，等. 地电场电极故障判定及机理分析 [J]. 地震工程学报，2020，42(2)：438-446
Li R Q，Guo X Z，Zhang L，et al. Fault determination and mechanism analysis for electrodes in the geoelectric field[J]. China Earthquake Engineering Journal，2020，42(2)：438-446

[4] 肖鑫，杨润海，施建明，等. 元谋苴林地电场改造前后数据分析 [J]. 地震科学进展，2024，54(7)：457-465
Xiao X，Yang R H，Shi J M，et al. Data analysis before and after the transformation of Yuanmou Julin geoelectric field[J]. Progress in

Earthquake Sciences，2024，54(7)：457-465

[5] 肖鑫，王杰，施建明，等.元谋水化站地电场观测质量及典型干扰分析[J].高原地震，2022，34(4)：48-54
Xiao X，Wang J，Shi J M，et al. Analysis on observation quality and typical interference of geoelectric field at Yuanmou hydration station[J]. Plateau Earthquake Research，2022，34(4)：48-54

[6] 谭洁玉，李蓝萍，孙君嵩.长短极距比值干扰源定位方法及其在地电场观测中的实际应用[J].地震学报，2023，45(4)：685-694
Tan J Y，Li L P，Sun J S. A method for locating interference source by long-and-short polar distance ratio and its practical application in geoelectric field observation[J]. Acta Seismologica Sinica，2023，45(4)：685-694

[7] 马钦忠，李伟，赵文舟，等.人工源地电场空间变化区域性特征[J].地震学报，2017，39(4)：455-468
Ma Q Z，Li W，Zhao W Z，et al. Regional characteristics of artificial source geoelectric field spatial variations[J]. Acta Seismologica Sinica，2017，39(4)：455-468

[8] 牛延平，田野，张远富，等.天水台井下地电综合观测系统及监测效能分析[J].地震，2023，43(2)：14-24
Niu Y P，Tian Y，Zhang Y F，et al. The deep-well geo-electrical synthesis observation system of Tianshui station and its monitoring efficiency analysis[J]. Earthquake，2023，43(2)：14-24

[9] 郭明瑞，王锡娇，卢启明，等.海南翁田台地电场数据质量及频谱分析[J].地震科学进展，2024，54(2)：153-158，174
Guo M R，Wang X J，Lu Q M，et al. Data quality and spectrum analysis of geoelectric field at Wengtian station in Hainan[J]. Progress in Earthquake Sciences，2024，54(2)：153-158，174

[10] 番绍辉，邵维晔，熊家伟，等.腾冲中心站地电场观测数据质量及典型干扰分析[J].地震科学进展，2024，54(12)：851-859
Fan S H, Shao W Y, Xiong J W, et al. Observation data quality and typical interference analysis of geoelectric field in Tengchong center station[J]. Progress in Earthquake Sciences，2024，54(12)：851-859

[11] 张华美，刘阳，陈祥开，等.翁田台地电场观测受干扰的因素分析[J].地震科学进展，2022，52(2)：67-76
Zhang H M，Liu Y，Chen X K，et al. Analysis of factors affecting the disturbance of geoelectric field observation at Wengtian station[J]. Progress in Earthquake Sciences，2022，52(2)：67-76

[12] 胡小静，付虹.云南地区地电暴变化分析研究[J].地震研究，2013，36(4)：490-495
Hu X J，Fu H. Analysis and research on geoelectric storm variation in Yunnan region[J]. Journal of Seismological Research，2013，36(4)：490-495

[13] 赵文舟，马钦忠，李伟，等.人工源地电场“选择性”现象研究[J].地球物理学报，2002，65(5)：1742-1752
Zhao W Z，Ma Q Z，Li W，et al. Selectivity phenomenon of artificial-source geoelectric field[J]. Chinese Journal of Geophysics，2022，65(5)：1742-1752