



## 元谋苴林地电场改造前后数据分析

肖鑫, 杨润海, 施建明, 周建荣, 王林岚

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

Xiao Xin, Yang Runhai, Shi Jianming, Zhou Jianrong, and Wang Linlan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzqxjz.2023-133>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 京沪高铁干扰地电场观测的实验研究

Experimental study on interference of Beijing—Shanghai high-speed railway in geoelectric field observation

地震科学进展. 2019(12): 36–42

#### 北京地电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(12): 560–568

#### 青海地区大地电场异常变化特征分析

Analysis on the variation characteristics of geoelectric field in Qinghai region

地震科学进展. 2019(8): 57–57

#### 云南地震地电场前兆异常观测研究

Study on seismological precursory anomaly of geo-electric field in Yunnan, China

地震科学进展. 2018(8): 125–125

#### 天津台网水温观测系统事件数据跟踪分析

Data tracking analysis of water temperature observation system events in Tianjin network

地震科学进展. 2021(1): 7–14

#### 河北阳原台地电阻率年变消除方法及映震效果

Elimination of annual variation of resistivity at Yangyuan station in Hebei Province and its seismic response

地震科学进展. 2020(6): 22–27



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

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. doi:10.19987/j.dzqxjz.2023-133

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. doi:10.19987/j.dzqxjz.2023-133

## 学术论文

# 元谋苴林地电场改造前后数据分析

肖 鑫<sup>1)\*</sup> 杨润海<sup>2)</sup> 施建明<sup>1)</sup> 周建荣<sup>1)</sup> 王林岚<sup>1)</sup>

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 650000

**摘要** 以楚雄地震监测中心站元谋苴林地电场观测资料为研究对象, 结合该地电场观测以来两次改造的思路与具体内容, 对两次改造前后共 3 个时间段内的观测数据曲线变化特征及数据质量进行对比分析, 得到以下经验, 供其他地电场观测台站进行改造与建设作参考: ①固体不极化电极的抗干扰能力及稳定性远超铅电极; ②电极埋深需更多考虑土壤电性一致而非注重埋设深度, 应在建台时做好场地的地勘工作, 确保各电极埋设后接地电阻无较大差距, 同时还应注意电极引线埋深一定要大于农户日常耕作可能触及的深度; ③双“L”型布极需严格按照地电台站建设规范布设长短极距; ④对于架空线路绝缘问题, 可做抱箍与电杆间先通过绝缘橡胶垫绝缘, 再做抱箍与钢绞线间通过绝缘子再次绝缘, 特别是有地电阻率同场地观测的台站, 更应注重钢绞线绝缘问题。

**关键词** 元谋苴林; 地电场; 改造; 观测质量

中图分类号: P315.6 文献标识码: A 文章编号: 2096-7780(2024)07-0457-09

doi: 10.19987/j.dzqxjz.2023-133

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

Xiao Xin<sup>1)</sup>, Yang Runhai<sup>2)</sup>, Shi Jianming<sup>1)</sup>, Zhou Jianrong<sup>1)</sup>, Wang Linlan<sup>1)</sup>

1) Chuxiong Earthquake Monitoring Center Station, Yunnan Earthquake Agency, Yunnan Chuxiong 675000, China

2) Yunnan Earthquake Agency, Yunnan Kunming 650000, China

**Abstract** Taking the geoelectric field observation data of Yuanmou Julin of Chuxiong Earthquake Monitoring Center Station as the research object, combined with the ideas and specific contents of the two transformations since the geoelectric field observation, the observation data curve variation characteristics and data quality in three time periods before and after the two transformations are compared and analyzed, and the following experience is obtained, which can be used as a reference for the transformation and construction of other geoelectric field observation stations: ① The anti-

收稿日期: 2023-09-25; 采用日期: 2024-03-20。

基金项目: 云南地震局科技人员传帮带培养项目任务书第四期资助。

\* 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。



interference ability and stability of solid non-polarized electrodes far exceed lead electrodes; ② Electrode buried depth need to consider more consistent soil electrical properties rather than pay attention to the buried depth, should do a good job in the construction of the site geological prospecting work, to ensure that the electrode buried after the grounding resistance without a big gap, but also should pay attention to the electrode lead buried depth must be greater than the farmers daily farming may touch the depth; ③ Double “L” type pole arrangement needs to be strictly in accordance with the construction specifications of the geoelectric station to arrange the long and short pole spacing; ④ For the insulation problem of overhead lines, it can be done between the hoop and the pole first through the insulation rubber pad insulation, and then between the hoop and the steel strand through the insulator re-insulating, especially the ground resistivity with the site observation station, more attention should be paid to the insulation of the steel strand.

**Keywords** Yuanmou Julin; geoelectric field; transform; observed mass

## 0 引言

地电场不仅能够反映空间电磁场的变化,还能反映与之有关的地壳和地表的电性结构及其变化,对地电场各种特性及其包含的有用信息的观测和研究,已经在地震监测领域得到广泛应用<sup>[1]</sup>。元谋苴林地电场自 2015 年 1 月 1 日起开始正式观测,观测数据各测道相关性长期偏低,差值超出学科规范要求。于是在 2022 年 9 月和 2023 年 8 月对该地电场观测装置进行两次改造,本文通过对两次改造前后数据观测质量进行分析,总结改造方式与成果,为将来其他地电场的改造与新建提供重要经验。

## 1 台站基本情况

元谋苴林地电场位于云南省元谋县黄瓜园镇苴林小村田坝内,离元谋地震台近 20 km。隶属云南省地震局楚雄地震监测中心站,海拔 1 135 m。该观测点位于元谋断陷盆地西侧,距离绿汁江大断裂西侧 30 km,在距离此观测站东面约 120 km 处是著名的小江断裂带,在此建观测点可用来监测滇中北部地区南北构造带—南北向绿汁江大断裂和小江断裂一带的地震活动情况(图 1)。该观测点于 2014 年 6 月初完成“十五”项目的建设,并试运行,2015 年 1 月 1 日正式运行。为无人职守台站,使用 ZD9A-2B 型地电场仪进行观测,无备机,仪器运行稳定,外线路为架空观测,该场地同时还有地电阻率观测。元谋苴林地电场外线路按北南、东西两个方向采用“L”型方式布设,未明显区分长短极距测道。北南向长极距 262 m、短极距 255 m,东西向长极距 231 m、短极距 226 m,斜道北东向长极距 349 m、短极距 341 m(图 2)。

地电场观测采用铅电极,电极规格尺寸为 25 mm×250 mm,形状为圆柱形,电极埋深 10 m,接地电阻在 10.0~50.0 Ω 之间(建设初期同时埋设了固体不极

化电极与铅电极,因固体不极化电极使用寿命有限,使用铅电极观测)。外线路采用 2 mm×10 mm×0.5 mm 铜芯电缆架空敷设,电极引线为 2 mm×10 mm×0.5 mm 铜芯电缆线。

## 2 改造情况

### 2.1 第 1 次改造

由于自 2015 年 1 月 1 日开始正式观测起,观测数据各测道相关性长期偏低,差值超出学科规范要求,长极距测道常有不明原因的大幅度漂移,短极距测道数据相对正常(图 3)。在学科要求的季度半年检查中,线路绝缘良好,避雷装置及各接头接触良好无氧化情况,仪器标定正常。因后期改用铅电极观测,发现西端电极  $A_1A_2$  接地电阻远超其他 4 个电极。

针对数据出现的情况,台站多次与省局专家进行实地测试与检查,未能找出数据观测质量超出学科规范的原因,于是在 2022 年 4 月对该场地做了 1 次地电阻率电法勘测,根据测试所得电阻率反演剖面图发现,在西端  $A_1$  和  $A_2$  电极所在位置(地下 5~20 m)存在大量高阻异常区,而中心点  $O_1$ 、 $O_2$  及  $B_1$ 、 $B_2$  电极所在区域无此类高阻异常区。于是在 2022 年 9 月 9—15 日进行了第 1 次改造,改造内容为在原电极位置重新埋设 6 只新的固体不极化电极替换原有电极进行观测,并且为了避免电极埋深位于高阻异常区,导致各电极坑电性不一致,因而将电极埋深从改造前的 10 m 调整为 2.5 m,此次改造使用的固体不极化电极为兰州地震研究所陆阳泉老师于 2018 年生产的。

此次改造后,观测数据各测道相关性很好,差值在学科要求范围内,大幅漂移减少(图 4)。由此可见各电极坑,特别是同一测道电极坑土质及电性应接近,电极埋深并非越深越好,应确保电极坑电性的一致性,特别是同一测道的两个电极坑电性宜相同,且

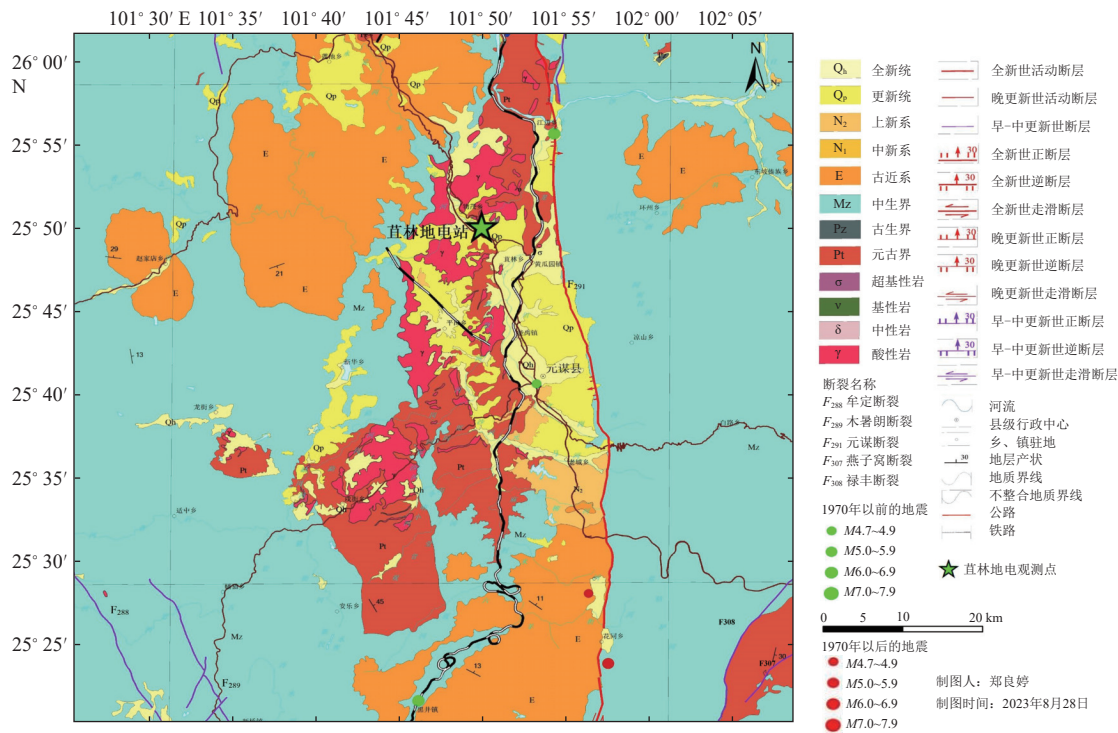


图 1 元谋苴林地电场地质构造图

Fig. 1 The geological structure map of Yuanmou Julin geoelectric field

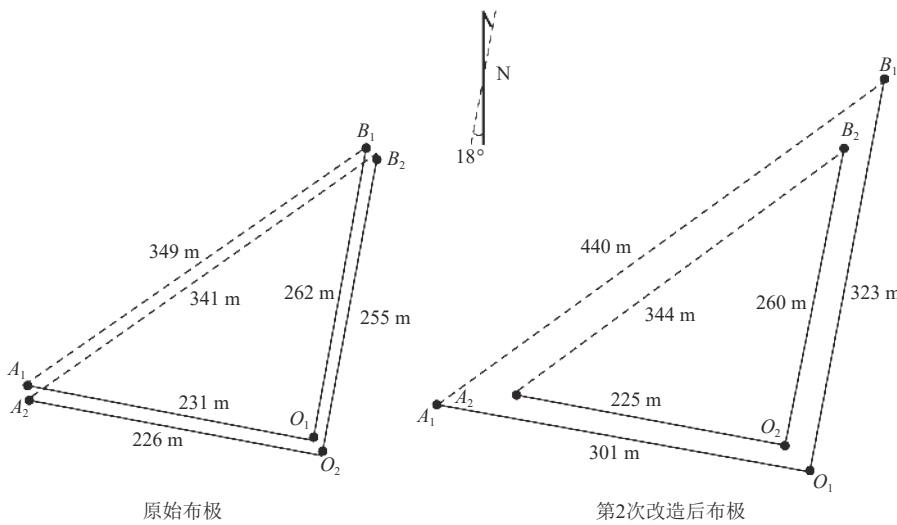


图 2 元谋苴林地电场改造前后布极图

Fig. 2 Distribution map of before and after renovation of Yuanmou Julin geoelectric field

从以往研究及改造后实际情况表明，不极化电极抗干扰能力优于铅电极，故降低埋深后应优先考虑不极化电极<sup>[2]</sup>。但由于第 1 次改造电极引线至电杆表箱段埋深较浅，仅有 0.3 m，虽套有 PVC 管，在观测过程中还是多次发生电极引线被农户机械耕作挖断的情况，严重影响观测数据的准确性和连续性<sup>[3]</sup>。且第 1 次改造后布极方式和最初建设一样，为极距几乎相等的双“L”型布设，算是无长短极距区分，虽数据相

关性很好，但不符合《地震台站建设规范 地电台站第 2 部分：地电场台站》(DB/T18.2—2006)中关于长短极距的要求<sup>[4]</sup>。

### 2.2 第 2 次改造

鉴于第 1 次改造后的问题及 2019 年开始出现的钢绞线绝缘性变差甚至部分位置为 0 的情况，元谋苴林地电场于 2023 年 8 月进行了第 2 次改造，此次改造内容为：①更改布极方式，把之前极距几乎相等

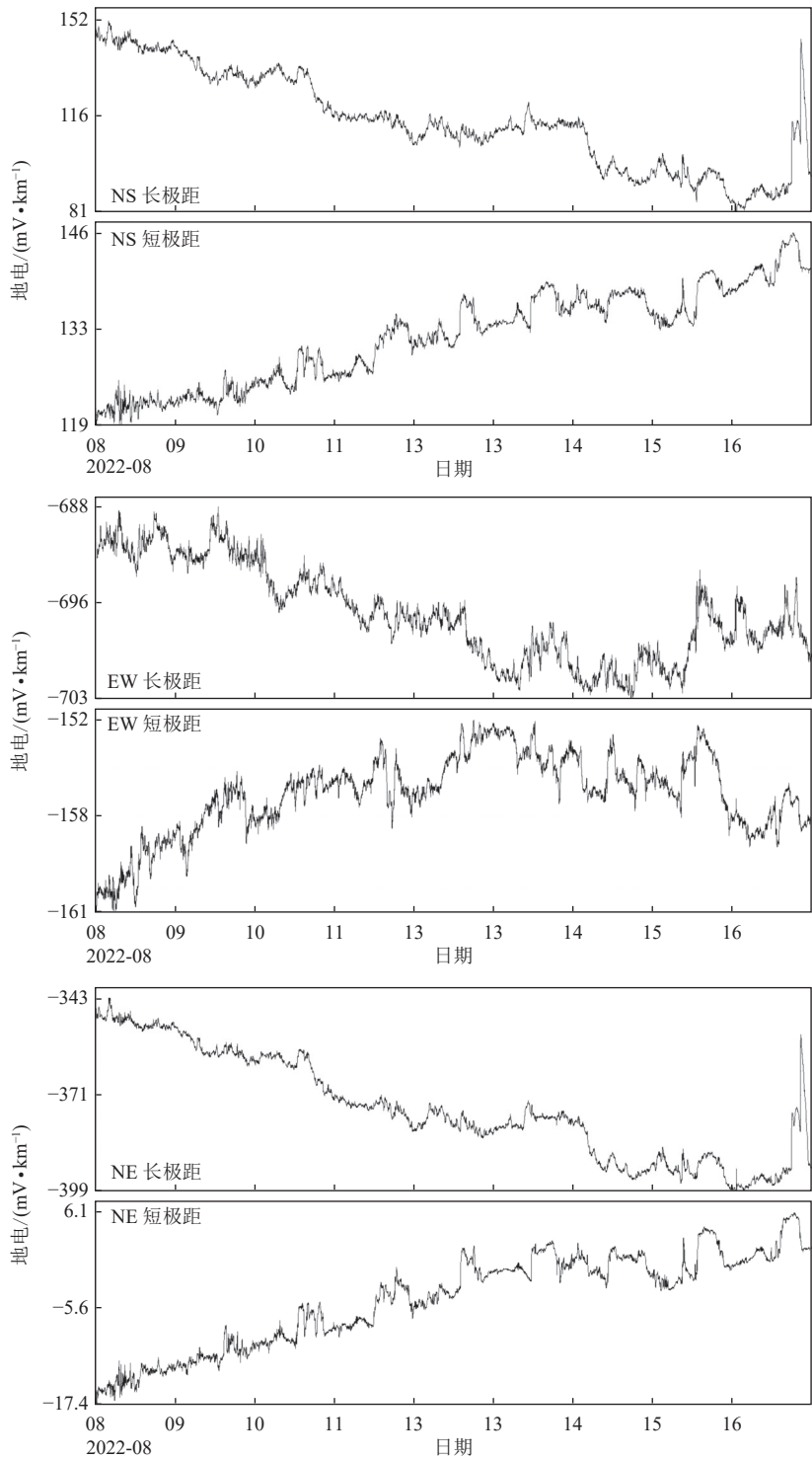


图 3 元谋苴林地电场改造前的数据(2022-08-08—16)

Fig. 3 Yuanmou Julin geoelectric field data before the transformation (2022-08-08—16)

的双“L”型布极改为极距不等的长短极距双“L”型布极，在  $B_1B_2$  段、 $A_1A_2$  段均加挂一段电缆线(6 mm<sup>2</sup> 单铜芯电缆)和钢绞线(用于借助现有电杆延伸长极距测道距离)，北南向长极距 323 m、短极距 260 m，东西向长极距 301 m、短极距 225m，斜道北东向长极

距 440 m、短极距 344 m(图 2)；②新埋设固体不极化电极 6 只和铅电极 6 只，使用固体不极化电极观测，铅电极为备用电极，每对电极(1 只固体不极化电极和 1 只铅电极)埋设在同一电极坑中，间隔 1.2 m；③对所有钢绞线进行绝缘处理，抱箍与电杆之间均



安装绝缘胶垫(10 kV 级),且在抱箍上安装陶瓷绝缘子,将钢绞线挂于陶瓷绝缘子上,使其与抱箍隔开;  
④加深电极及电极引线埋深,将电极从第 1 次改造的埋深 2.5 m 加深到 3.5 m,电极引线埋深从 0.3 m 加深到 0.8 m,此次改造使用的固体不极化电极为兰州

地震研究所陆阳泉老师于 2023 年生产的<sup>[5]</sup>。  
改造完成后,观测数据各测道相关性良好,差值在学科要求范围内,地电场日变形态清晰(图 5)。相较第 1 次改造后,数据受地表游散电流干扰明显减少,与新的固体不极化电极性能及埋深有关<sup>[6-7]</sup>。同

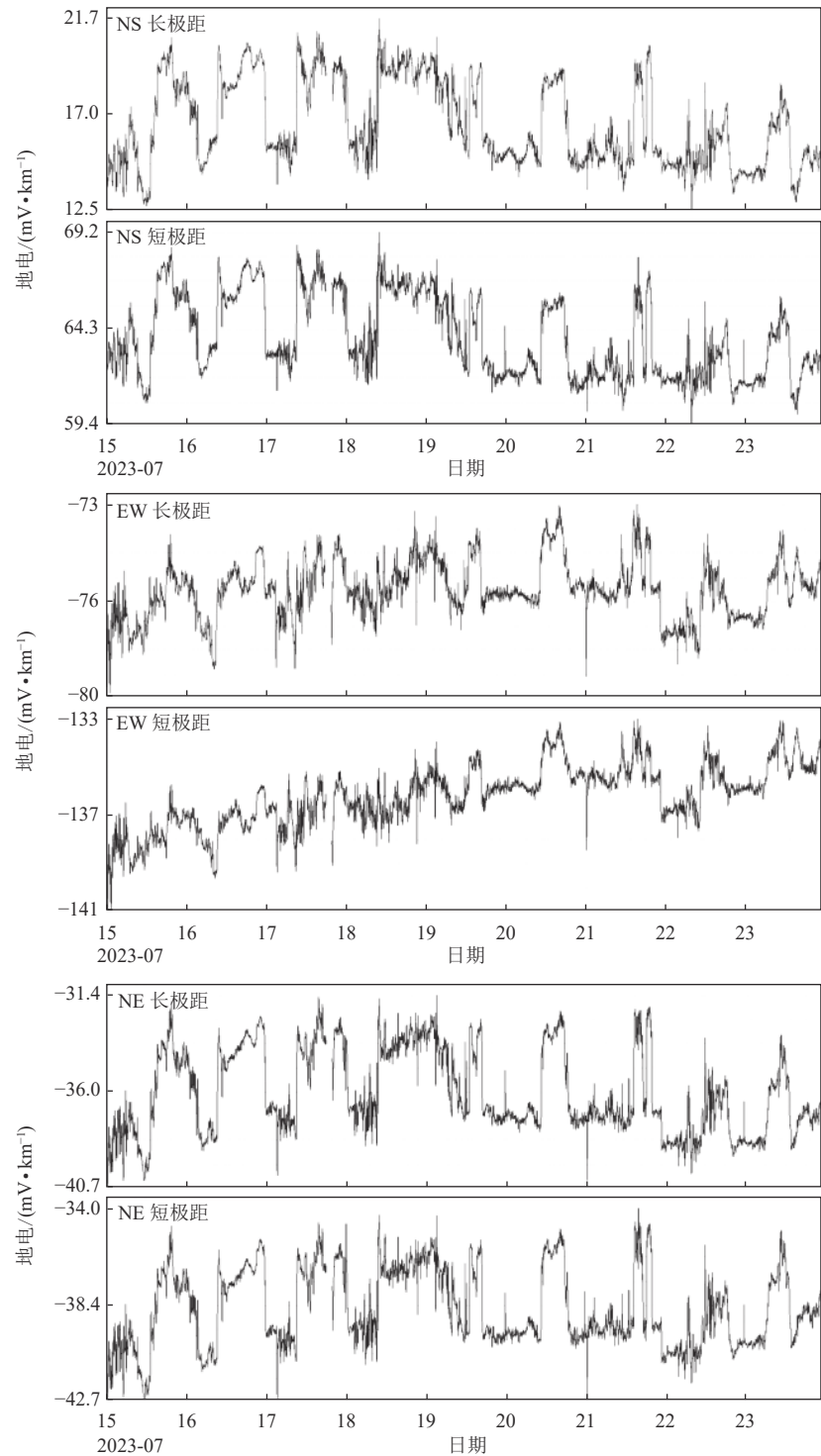


图 4 元谋苴林地电场第 1 次改造后的数据(2023-07-15—23)

Fig. 4 Data after the first transformation of Yuanmou Julin geoelectric field (2023-07-15—23)

时由于第2次改造在每个电极坑间隔1.2 m各埋设一个铅电极和一个固体不极化电极,因固体不极化电极的特性,不能测量其接地电阻。根据每个电极坑埋设时对土壤的观测,若把整个电极坑看为一个整体,理论上可通过测量铅电极的接地电阻,得到该电

极坑区域的土壤电性,避免出现6个电极埋设区域土壤电性差距较大的情况。从表1对比改造前后各电极接地电阻测试结果来看,在进行第2次改造后, $A_1$ 、 $A_2$ 点位的接地电阻降低, $B_1$ 、 $B_2$ 、 $O_1$ 、 $O_2$ 点位的接地电阻升高,导致该结果的原因为电极埋深从

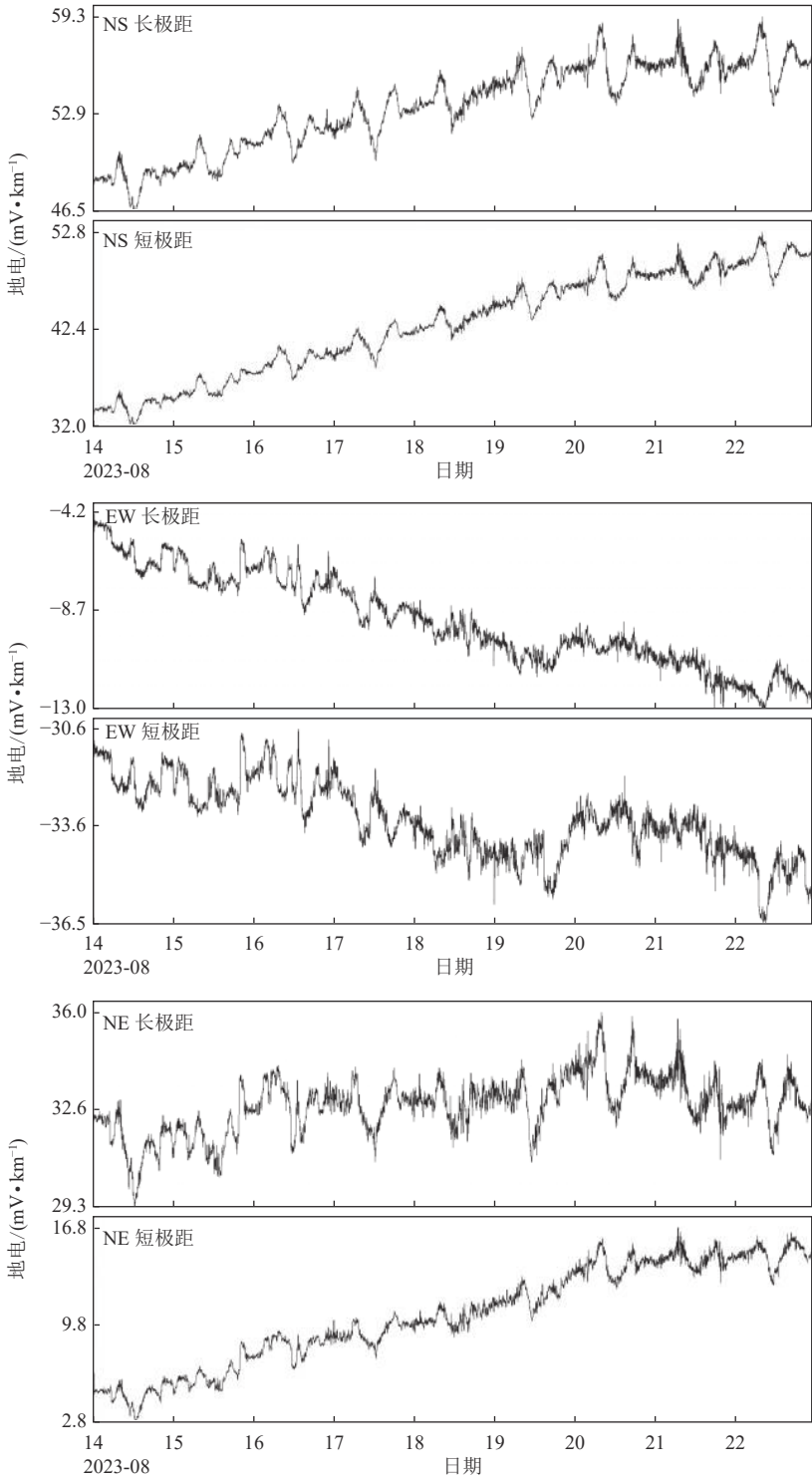


图5 元谋苴林地电场第2次改造后的数据(2023-08-14—22)

Fig. 5 Data after the second transformation of Yuanmou Julin geoelectric field (2023-08-14—22)

10 m 调整到 3.5 m 后,  $A_1$ 、 $A_2$  点位脱离了该场地的地下高阻异常区域, 电阻降低, 而  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $O_1$ 、 $O_2$  点位电极埋设深度变浅, 电阻有所升高, 最终满足了电极坑电性一致的情况, 特别是同一测道的两个电极坑电性基本相同。

表 1 元谋苴林地电场改造前后各电极接地电阻(铅电极)测试结果

Table 1 The test results of grounding resistance of each electrode (lead electrode) before and after the transformation of Yuanmou Julin geoelectric field

电极点位	未改造前的 接地电阻/ $\Omega$	第2次改造后的 接地电阻/ $\Omega$
$A_1$	33	10.4
$A_2$	35	8.15
$B_1$	9.8	21.7
$B_2$	6.9	17.2
$O_1$	11	13.6
$O_2$	10.4	12.8

2.3 数据质量分析

分析元谋苴林地电场两次改造前后的数据, 从数据形态来看, 发现第 1 次改造后长极距测道数据消除了之前未知原因的数据漂移, 但数据容易记录到大量的台阶及突跳变化, 经台站工作人员现场核实, 这些台阶及干扰多为测区内农户机械耕作或抽水灌溉时设备漏电造成的。

在地电场观测中, 在同一地区自然电场部分基本稳定, 因此同一测向两个测道观测的数据变化规

律应当接近。若变化趋势一致, 说明数据可信度较高; 反之, 需要考虑观测系统工作是否正常, 测区内是否存在干扰等。通过利用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, 评价地电场的观测质量, 并初步判断观测系统的可信度。相关系数越接近 1, 差值越小, 同一测向两个测道的观测数据越一致, 观测数据越稳定<sup>[8-9]</sup>。

相关系数计算方法:

$$R = \frac{\sum_i (|x_i - \bar{x}|)(|y_i - \bar{y}|)}{\sqrt{\sum_i (|x_i - \bar{x}|)^2 \sum_i (|y_i - \bar{y}|)^2}} \quad (1)$$

式中,  $R$  为 1 天的相关系数,  $x_i$  为第  $i$  时刻长极距测值,  $y_i$  为第  $i$  时刻短极距测值,  $\bar{x}$  为长极距日均值,  $\bar{y}$  为短极距日均值。

差值计算方法:

$$\Delta xy = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |(x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y})| \quad (2)$$

式中,  $\Delta xy$  为 1 天的差值,  $x_i$  为第  $i$  时刻长极距测值,  $y_i$  为第  $i$  时刻短极距测值,  $\bar{x}$  为长极距日均值,  $\bar{y}$  为短极距日均值。

根据公式(1)和公式(2), 取元谋苴林地电场两次改造前后 3 段, 各 9 天数据, 计算得到元谋苴林地电场 3 个时段各测向的相关系数(表 2)及差值(表 3)。

通过对比, 发现第 1 次改造后, 数据质量有了明显提升, 第 2 次改造后相关系数及差值没有第 1 次改造后好, 但也符合学科规范要求, 且优于全国许多地电场台站数据质量。第 2 次改造为何会比第 1 次改造后有所下降, 主要是由于布极方式的改变和测

表 2 元谋苴林地电场相关系数统计结果

Table 2 Statistical results of correlation coefficient of Yuanmou Julin geoelectric field

观测 时间	相关系数								
	NS测道			EW测道			NE测道		
	改造前	第1次改造后	第2次改造后	改造前	第1次改造后	第2次改造后	改造前	第1次改造后	第2次改造后
第1天	0.616	0.988	0.943	0.479	0.962	0.763	0.609	0.993	0.930
第2天	0.464	0.957	0.932	0.397	0.926	0.867	0.674	0.969	0.957
第3天	0.572	0.976	0.926	0.272	0.968	0.898	0.675	0.986	0.948
第4天	0.475	0.975	0.938	0.269	0.931	0.898	0.605	0.964	0.957
第5天	0.487	0.981	0.963	0.357	0.876	0.930	0.553	0.976	0.970
第6天	0.329	0.935	0.971	0.318	0.884	0.865	0.427	0.950	0.950
第7天	0.333	0.979	0.970	0.166	0.927	0.908	0.597	0.978	0.965
第8天	0.39	0.952	0.971	0.344	0.936	0.939	0.518	0.972	0.975
第9天	0.167	0.932	0.956	0.183	0.892	0.879	0.191	0.961	0.924
平均	<b>0.426</b>	<b>0.964</b>	<b>0.952</b>	<b>0.309</b>	<b>0.922</b>	<b>0.883</b>	<b>0.539</b>	<b>0.972</b>	<b>0.953</b>



表 3 元谋苴林地电场差值统计结果  
Table 3 Statistical results of differentials of Yuanmou Julin geoelectric field

观测 时间	差值								
	NS测道			EW测道			NE测道		
	改造前	第1次改造后	第2次改造后	改造前	第1次改造后	第2次改造后	改造前	第1次改造后	第2次改造后
第1天	4.00	0.45	0.32	1.48	0.22	0.46	3.80	0.43	0.56
第2天	7.26	0.12	0.43	1.27	0.28	0.33	6.15	0.25	0.57
第3天	4.31	0.11	0.43	2.92	0.28	0.21	4.37	0.24	0.49
第4天	5.04	0.19	0.48	1.44	0.31	0.14	4.64	0.34	0.48
第5天	2.79	0.15	0.54	2.48	0.55	0.11	3.36	0.27	0.48
第6天	1.96	0.15	0.49	2.21	0.19	0.45	1.51	0.19	0.68
第7天	13.67	0.12	0.48	1.16	0.19	0.26	9.59	0.18	0.46
第8天	7.38	0.08	0.44	1.57	0.13	0.28	4.56	0.11	0.53
第9天	8.13	0.13	0.45	1.51	0.16	0.57	5.27	0.10	0.26
平均	6.06	0.17	0.45	1.80	0.26	0.31	4.81	0.23	0.50

区内干扰导致的。第 1 次改造沿用最初的等极距双“L”型布极,且  $A_1A_2$ 、 $B_1B_2$ 、 $O_1O_2$  电极两两相隔距离仅为 5 m 左右,导致同向对应测道所观测的几乎为相同的信号数据,当然相关性良好。第 2 次改造将布极方式更换为长短极距双“L”型,  $A_1O_1$  和  $A_2O_2$ 、 $B_1O_1$  和  $B_2O_2$ 、 $A_1B_1$  和  $A_2B_2$  6 条 3 组对应测道极距比均增大(表 4),按照地电场观测原理,必然相同测向长短极距能观测到的内容信号会存在不同或相同内容信号强弱不等的情况,例如对于一个干扰源,相同测向长短极距两个测道所测量数据定会有一定差别,所以相关系数及差值略有下降是正常的,但这并不意味着观测质量不如之前,反而可以根据相同异常源在长短极距上记录到的不同信息,更好的达到监测定位异常源的目的。

表 4 两次改造前后地电场布极极距比  
Table 4 The pole spacing ratio of geoelectric field before and after two transformations

项目	测道极距比		
	$A_1O_1 : A_2O_2$	$B_1O_1 : B_2O_2$	$A_1B_1 : A_2B_2$
改造前	0.978	1.027	1.023
第1次改造	0.978	1.027	1.023
第2次改造	1.338	1.242	1.279

3 结论与讨论

通过对元谋苴林地电场两次改造前后观测数据曲线变化特征及数据质量进行对比分析,结合两次改造的内容,得出如下结论:

(1) 电极选择。在地电场观测中,固体不极化电极的抗干扰能力及稳定性远超铅电极,且兰州地震研究所陆阳泉老师 2023 年生产的固体不极化电极在抗干扰性能上,较之前元谋苴林地电场使用的固体不极化电极(2018 年生产)有明显提升。

(2) 电极埋深。埋深更深的确能有效降低地表游散电流的干扰,但深埋电极的前提一定是各电极所埋设区域的土壤电性须一致,如各电极埋设后接地电阻差距较大,则可能降低观测数据质量及观测数据的可靠性,为避免此情况,应在建台时做好场地的地勘工作。同时电极引线埋深一定要大于农户日常耕作可能触及的深度,避免电极引线被农户破坏而产生错误数据及影响观测的连续性。

(3) 布极。等极距双“L”型布极相关系数及差值较不等极距双“L”型布极更好,但在观测中干扰源位置确定与地震震后的应力分析等需要反推具体方位时,不如不等极距双“L”型布极。为了更好地定位异常点位及服务于地震前兆异常观测研究,建议建台与改造时还需严格按照地电台站建设规范布设长短极距。

(4) 架空线路。新建台站钢绞线应严格按照学科要求,利用在每根电杆两端加装绝缘子做到钢绞线“切割”分段,这样能最佳保证钢绞线的绝缘效果,但此种做法对施工难度及经费要求较高。如果经费有限,也可做抱箍与电杆间先通过绝缘橡胶垫绝缘,再做抱箍与钢绞线间通过绝缘子再次绝缘,这样也能起到较好的绝缘效果。特别是有地电阻率与地电

场同场观测的台站,更应注意钢绞线绝缘问题,避免地电阻率供电造成的数据干扰。

### 参考文献

- [1] 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
- [2] 李学波.基于不同类型电极的地电场变化与活动断裂关系[J].大地测量与地球动力学,2022,42(2):119-124  
Li X B. Relationship between geoelectric field variation and active faults based on different types of electrodes[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2022, 42(2): 119-124
- [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] 中国地震局.地震台站建设规范 地电台站 第2部分:地电场台站:DB/T 18.2—2006[S].北京:地震出版社,2006  
China Earthquake Administration. Specification for the construction of seismic station Geoelectrical station Part 2: Geoelectrical field observatory: DB/T 18.2—2006[S]. Beijing: Seismological Press, 2006
- [5] 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
- [6] 褚金学,李朝明,张平.地电场电极深埋试验研究[J].防灾科技学院学报,2012,14(1):35-38  
Chu J X, Li Z M, Zhang P. Experiment research of deeply-buried electrodes in electric field[J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2012, 14(1): 35-38
- [7] 韩和平,张广莉.电极类型及深埋对地电场观测精度的影响分析[J].山西地震,2020(3):20-24,56  
Han H P, Zhang G L. Analysis of the influence of electrode type and deep burial on the observation accuracy of geoelectric field[J]. Earthquake Research in Shanxi, 2020(3): 20-24, 56
- [8] 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
- [9] 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