

高熹微, 张骞, 卜玉菲, 等. 地电观测仪器台站比测技术指标[J]. 华北地震科学, 2021, 39(3): 7-16. doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2021.03.002.

GAO Xiwei, ZHANG Qian, PU Yufei, et al. Comparison Test Technical Indicator of the Geoelectric Observation Instrument[J]. North China Earthquake Sciences, 2021, 39(3): 7-16. doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2021.03.002.

地电观测仪器台站比测技术指标

高熹微¹, 张 骞¹, 卜玉菲², 赵卫红^{1*}, 郭宇鑫¹, 李 玉¹

(1. 江苏省地震局高邮地震台, 江苏 高邮 225600; 2. 江苏省地震局, 南京 210014)

摘要: 在地电观测仪器技术比测规范的编写中, 为了衡量比测仪器的稳定性和观测数据的一致性, 会设置具体的技术指标值来进行约束。为了验证技术指标设置值的合理性, 利用地电场仪、直流地电阻率仪对比观测所得数据, 按照规范编写中的方法计算技术指标值, 经分析认为, 地电观测仪器技术比测规范中的技术指标值设置合理, 为地电观测仪器技术比测规范技术的编写和地电观测仪器台站比测提供依据与支撑, 从而为规范地电观测仪器和产出用于地震监测、预报的高质量地电观测数据提供保障。

关键词: 地电场仪; 直流地电阻率仪; 比测; 技术指标值

中图分类号: P315.6

文献标志码: A

文章编号: 1003-1375 (2021) 03-0007-10

doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2021.03.002

0 引言

针对地电台站建设和观测仪器入网, 中国地震局和电磁学科技术管理组编制了一系列的行业标准和技术规范^[1-7], 提出了明确的技术要求, 如地震观测仪器进网技术要求^[6], 并给出了相应的测试方法, 但未将地电仪器连入经过批准的野外观测场地进行实地测试来验证仪器实际野外观测性能。因此按照地电建设规范^[2,5]要求, 建设了高邮地电比测平台和平凉地电比测平台, 在通过认证和考核后, 承担地电学科仪器的台站野外比测工作。从环境适应性、观测一致性、运行稳定性等方面对地电仪器进行对比测试, 同时编写地电观测仪器技术比测规范, 形成地电学科专业设备台站比测完整的流程和方法, 并设置技术指标值来衡量比测仪器, 确保地震监测地电学科专业设备的性能稳定和得到高质量的观测数据。

在参考地电行业标准的基础上, 编写了地电观测仪器比测技术规范(第一部分: 地电阻率仪; 第二部分: 地电场仪), 建立了台站地电仪器比测流程和方法等内容, 并将地电场仪和地电阻率仪的《地震监测专业设备定型测试大纲》([https://www.cencc.ac.](https://www.cencc.ac.cn/cencc/_300647/352611/index.html)

[cn/cencc/_300647/352611/index.html](https://www.cencc.ac.cn/cencc/_300647/352611/index.html))中设立的 4 个技术指标扩充为 8 个来分析比测仪器产出数据的稳定性和一致性。针对这 8 个技术指标设置值是否合理及是否满足现今在用地电仪器观测要求的问题, 将 ZD9A-II 和 GEF-II 两种不同型号的仪器连接同一地电场观测装置进行对比观测。利用该试验数据来计算地电场比测规范技术指标值, 平凉台 ZD8M 地电阻率仪对比观测数据计算地电阻率比测规范技术指标值, 通过试验数据和历史观测数据计算所得结果, 来验证技术指标设置值的合理性, 为地电观测仪器比测技术规范编写中技术指标值的制定提供基础支撑。从而为后续的地电台站比测提供依据, 并为规范地电观测仪器和产出用于地震监测、预报的高质量地电观测数据提供保障。

1 数据选取

地电场所用数据为 2019 年 10 月 18 日至 2020 年 4 月 18 日期间 ZD9A-II、GEF-II 地电场仪连接台上现有的地电场观测装置按照地电学科现行要求进行观测所产出的观测数据。选取 2019 年 12 月 22—23 日的观测数据(图 1)进行对比发现, 两者对于地

收稿日期: 2020-10-30

基金项目: 2020 年度中国地震局监测、预报、科研三结合课题“地电台站比测规范编写技术指标的研究”(3JH-202001029);

地震监测业务(地震监测专业设备检测平台)

第一作者简介: 高熹微(1991—), 男, 湖南长沙人, 助理工程师, 主要从事地震前兆工作. E-mail: gxw0802@sina.com

* 通讯作者: 赵卫红(1964—), 女, 江苏建湖人, 高级工程师, 主要从事地震前兆工作. E-mail: 504305819@qq.com



电阻率供电干扰的表现方式不一致。在对比观测中将 ZD9A-II 地电场仪作为参考仪器,用以验证目前主流的 ZD9A-II 地电场仪和新型的 GEF-II 地电场仪产生的观测数据计算结果是否满足于技术规范中编写的技术指标值。其中该台 GEF-II 地电场仪已符合中国地震局定型测试大纲要求,通过定型测试。现有地电场观测装置呈 L 型布设,分别为 NS 向、EW 向和 N45°E 向 3 个测道。

由于同场地地电阻率供电干扰,高邮地电比测平台运行的地电阻率产生的观测数据量少,因而采用平凉地电比测平台地电阻率观测资料,选取了 2019 年 5 月 18 日至 2019 年 8 月 15 日两台 ZD8M 地电阻率观测仪按照地电学科现行要求运行产生的 NS、EW 向两测道观测数据(图 2)。从图 2 中可以看出,两者观测数据差异很小,故以平凉台现运行的 ZD8M 地电阻率仪作为参考仪器。

2 计算方法及结果

2.1 地电场技术指标值

2.1.1 仪器之间同装置观测结果每天的日相关系数 $r_{\text{日}}$

求解测道之间的相关系数,是地电场观测数据可靠性的一种检测方法^[8],多台比测仪器在连接同

一观测装置的前提下,其同方位、同极距(同装置)产生的观测数据应具有高度一致的变化趋势,相关系数应呈现高度相关性。因而,设立仪器之间同装置观测结果的日相关系数技术指标和符合率,即求取不同仪器之间同方位、同极距的相关系数,来衡量多台同型号、不同型号比测仪器之间所得的观测数据一致性。引用《地震监测专业设备定型测试大纲》中台站比测地电场仪器之间的相关系数指标值,并结合行业标准 DB/T 34-2009 附录 E 中小时尺度相关分析的方法^[7],给出 $r_{\text{日}}$ 计算公式(1)~(2)和技术指标值:应不小于 0.9,符合率 C 应大于 95%。

$$r_{\text{时}} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (1)$$

$$r_{\text{日}} = \frac{\sum_{i=1}^N r'_{\text{时}}}{N} \quad (2)$$

$$C = \frac{N_{r_{\text{日}}} - n_{r_{\text{日}}}}{N_{r_{\text{日}}}} \times 100\% \quad (3)$$

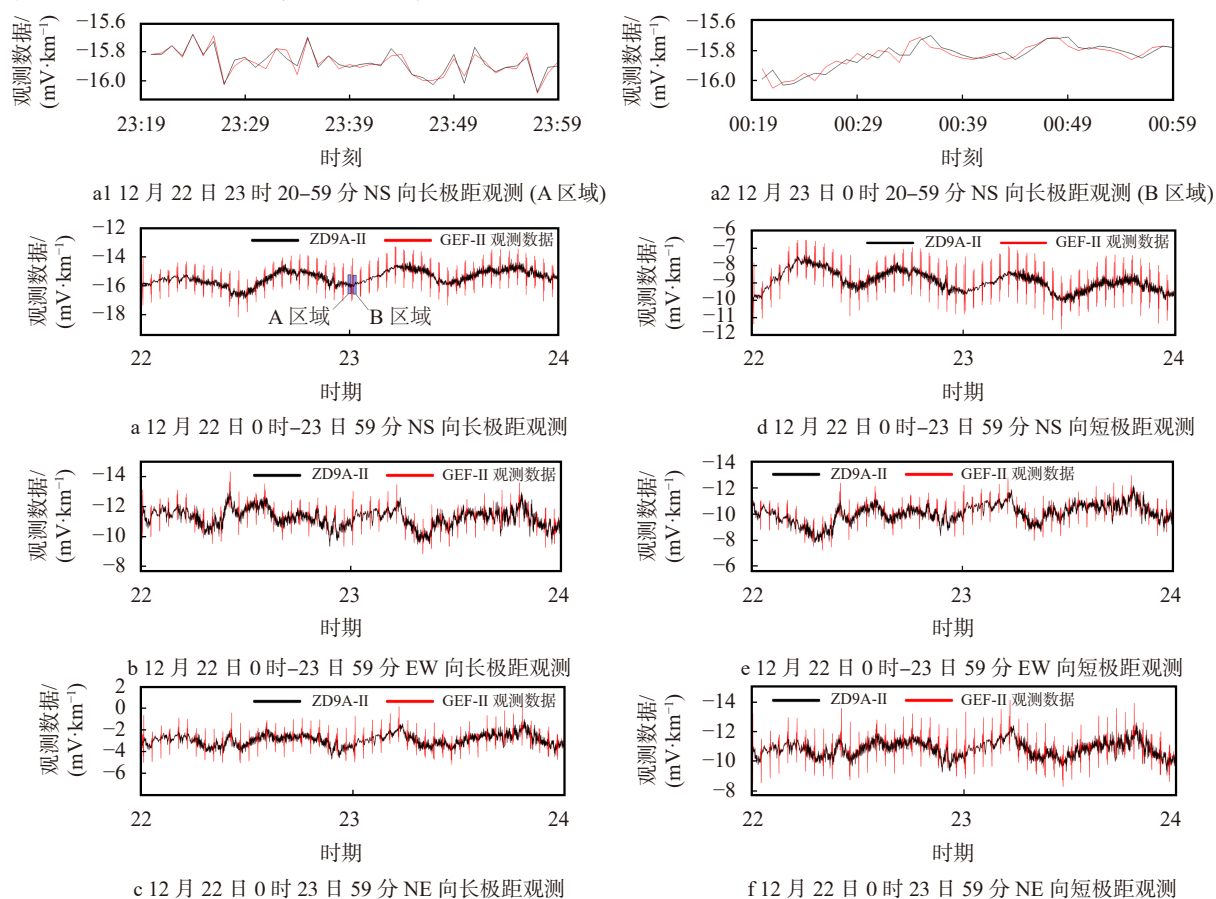


图1 ZD9A-II与GEF-II仪器2019年12月22—23日观测数据

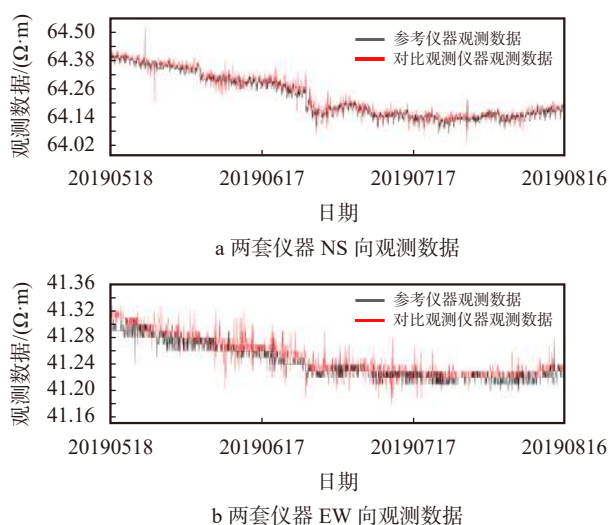


图2 地电阻率仪器2019年5月18日至2019年8月15日对比观测数据

式中: $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$; y_i 、 x_i 为不同仪器、同方位、同极距测道的小时数据序列; $r'_{\text{时}}$ 为 $r_{\text{时}}$ 经过粗差剔除后的相关系数, 即对不在范围内 ($r_{\text{时}}$ 的算术平均值 $\pm r_{\text{时}}$ 的 3 倍均方差) 的不合理数据剔除; n 为第 i 小时观测数据的个数; N 为参与计算的小时相关系数的个数; $N_{r_{\text{日}}}$ 、 $n_{r_{\text{日}}}$ 分别为 $r_{\text{日}}$ 的总个数、 $r_{\text{日}}$ 未达

到 0.9 的总个数。

将 ZD9A-II、GEF-II 所测数据中地电阻率供电时段的干扰数据舍弃。因为同场地观测的地电阻率中存在供电干扰, ZD9A-II 使用设置的门限来抑制供电干扰^[9], GEF-II 没有门限设置, 因而计算两者的技术指标值时舍弃供电时段的数据。从仪器面板观察, ZD9A-II 为当前时间观测后, 存储为下一分钟观测值; GEF-II 为当前时间观测后, 存储为当前时间的观测值, 因而将 ZD9A-II 仪器数据超前 1 分钟参与计算。考虑同场地地电阻率供电对地磁、地电产生干扰, 高邮地电比测平台的地电阻率观测设置为每天工作 2~4 次不等。这不固定的供电干扰掺杂在地电观测数据中造成一定影响, 因而在 2019 年 10 月 17 日停止观测, 地电场技术指标计算所选取的数据从 2019 年 10 月 18 日开始。按照公式(1)~(3)计算日相关系数和符合率, 得到两套仪器各个方位长极距与长极距、短极距与短极距之间的每日相关系数(图 3)。两台仪器共六测道的日相关系数结果在 0.8~1.0 之间波动(异常点除外), 统计六测道计算结果, 两种仪器之间的同装置相关系数大于 0.9 的个数为 340, 符合率为 33.51%。

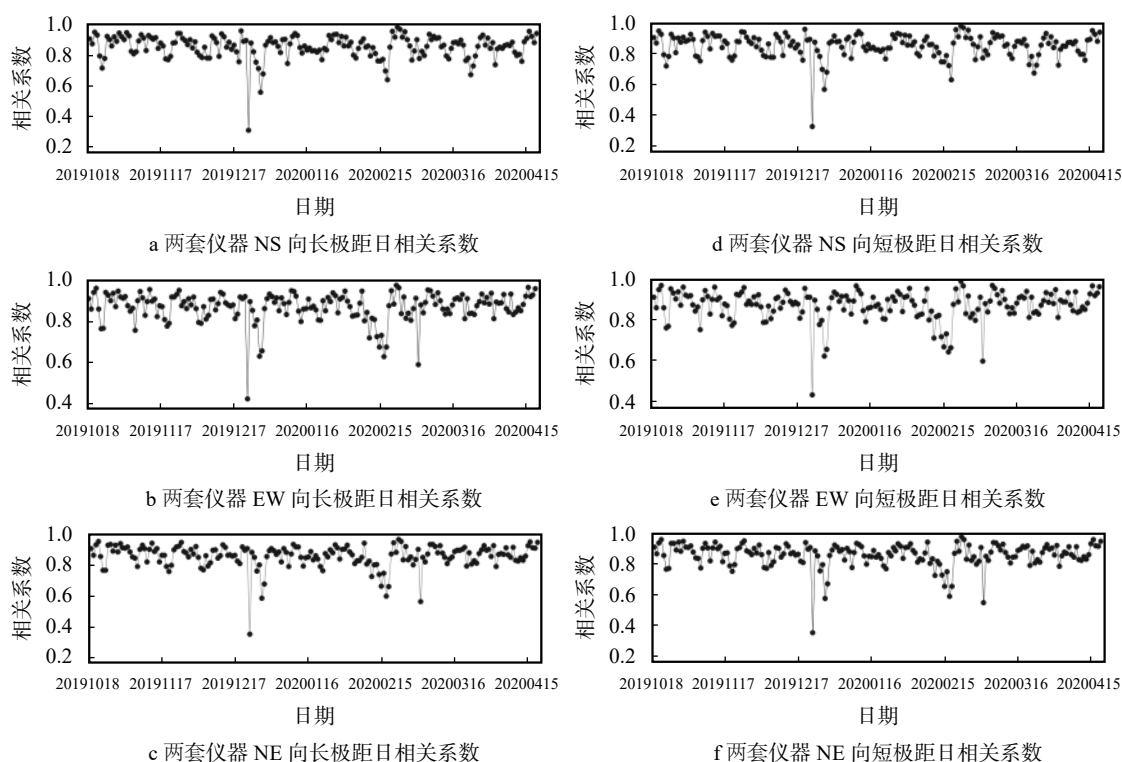


图3 ZD9A-II 与 GEF-II 仪器同方位同极距日相关系数

对照图 3 可看出, 在 12 月 22 日两台仪器六测道的相关系数低至 0.4 附近。从图 1a~f 中可见, 两

者观测数据并无数据突跳等畸变。根据两者面板观察, 两者存储的数据相位应存在 1 分钟的差异,

但从图 1a1 中可以看出, 12 月 22 日 23 时 20—59 分的观测数据两者相位一致, 两台仪器存在时间差; 从图 1a2 中看出, 12 月 23 日两者的观测数据存在着明显的相位差异, 其中 GEF-II 仪器每天进行 4 次自动校时。因而将 12 月 21—23 日的 ZD9A-II 仪器观测数据与 GEF-II 仪器观测数据按正常时间序列计算仪器之间同装置相关系数(表 1), 12 月 22 日正常时间序列计算结果优于超前 1 分钟计算结果, 这说明两种仪器存在时间差。在实际的观测过程中, ZD9A-II 仪器使用时间长达十多年, 虽然定时对两台仪器校时, 也难以确保两者的仪器时间完全一致, 时间的不同步导致观测数据变化不同步, 进而使两者同方位同极距的相关系数低。

表 1 ZD9A-II 与 GEF-II 相关系数计算统计表

极距	ZD9A-II 观测数据超前1分钟			ZD9A-II 观测数据正常时间		
	12月21日	12月22日	12月23日	12月21日	12月22日	12月23日
NS长	0.896	0.316	0.879	0.646	0.950	0.516
EW长	0.922	0.426	0.899	0.732	0.948	0.657
NE长	0.910	0.355	0.886	0.695	0.940	0.596
NS短	0.890	0.326	0.873	0.657	0.947	0.524
EW短	0.909	0.439	0.895	0.738	0.947	0.674
NE短	0.910	0.359	0.888	0.703	0.943	0.611

为了进一步探究该技术指标值的设置是否合理, 采用 3 台 GEF-II 仪器记录 2019 年 5 月 8 日至 2019 年 6 月 7 日比测期间的观测数据按照公式(1)~(2)计算该技术指标值。考虑地电阻率同场地供电对地电场观测的干扰, 选取 3 台 GEF-II 仪器记录的 5 月 10 日中 0—1 时观测数据(图 4), 图中 5—14 分、34—42 分时间段分别是台上和比测平台的地电阻率供电时间。从图 4 可以看出, 受供电干扰的 3 台仪器观测数据变化幅度不一致, 且远大于正常数据的变化幅度, 形态也略有差异。GEF-II 仪器产出的分数数据是由其秒数据取均值得到, 因 GEF-II 仪未进行 GPS 授时, 3 台仪器时间难以确保秒同步。因此在供电干扰时段内, 3 台仪器存在秒值数据上的差异, 进而表现分数数据供电时段内差异, 这种已知的供电干扰影响 3 台仪器同方位同极距的相关计算结果。因此, 为了得到更准确的结果, 地电阻率供电时段数据不参与计算。

将 3 台 GEF-II 观测数据的相关系数计算结果绘制成图 5, 图中的圆形点为仪器 1 和仪器 2 同方位、同极距计算结果, 其中仪器之间六测道的日相关系数大于 0.9 的个数为 183, 符合率为 98.39%; 图

中三角形点为仪器 1 和仪器 3 同方位、同极距计算结果, 其中仪器之间六测道的日相关系数大于 0.9 的个数为 179, 符合率为 96.24%; 图中正方形点为仪器 2 和仪器 3 同方位、同极距计算结果, 其中仪器之间六测道的日相关系数大于 0.9 的个数为 186, 符合率为 100%。3 台 GEF-II 仪器之间的同装置观测结果日相关系数满足于设定的技术指标值。

根据 ZD9A-II 仪器与 GEF-II 仪器观测数据、3 台 GEF-II 仪器观测数据的计算结果, 分析认为前者所得计算结果不满足于设置的技术指标值的原因在于两种仪器之间的时间差。

2.1.2 仪器之间同装置观测数据差值绝对值的日均值 ΔX

连接同一观测装置进行比测的观测仪器, 由于仪器本身存在的仪器差的原因, 不同仪器产出同装置(同方位、同极距)的观测数据做差值分析, 差值应在相对稳定的范围内变化。因此设立仪器之间同装置观测数据差值绝对值的日均值, 并给出该技术指标值和符合率, 从差值角度来衡量多台仪器观测数据变化趋势, 确定仪器是否存在漂移现象。参考《地震监测专业设备定型测试大纲》中台站比测地电场仪器之间的同测道观测数据日差值技术指标值, 给出 ΔX 技术指标值: 应不大于 0.5 mV/km, 符合率 C 应大于 95%, ΔX 按公式(4)~(5)计算。

$$\Delta X = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|}{n} \quad (4)$$

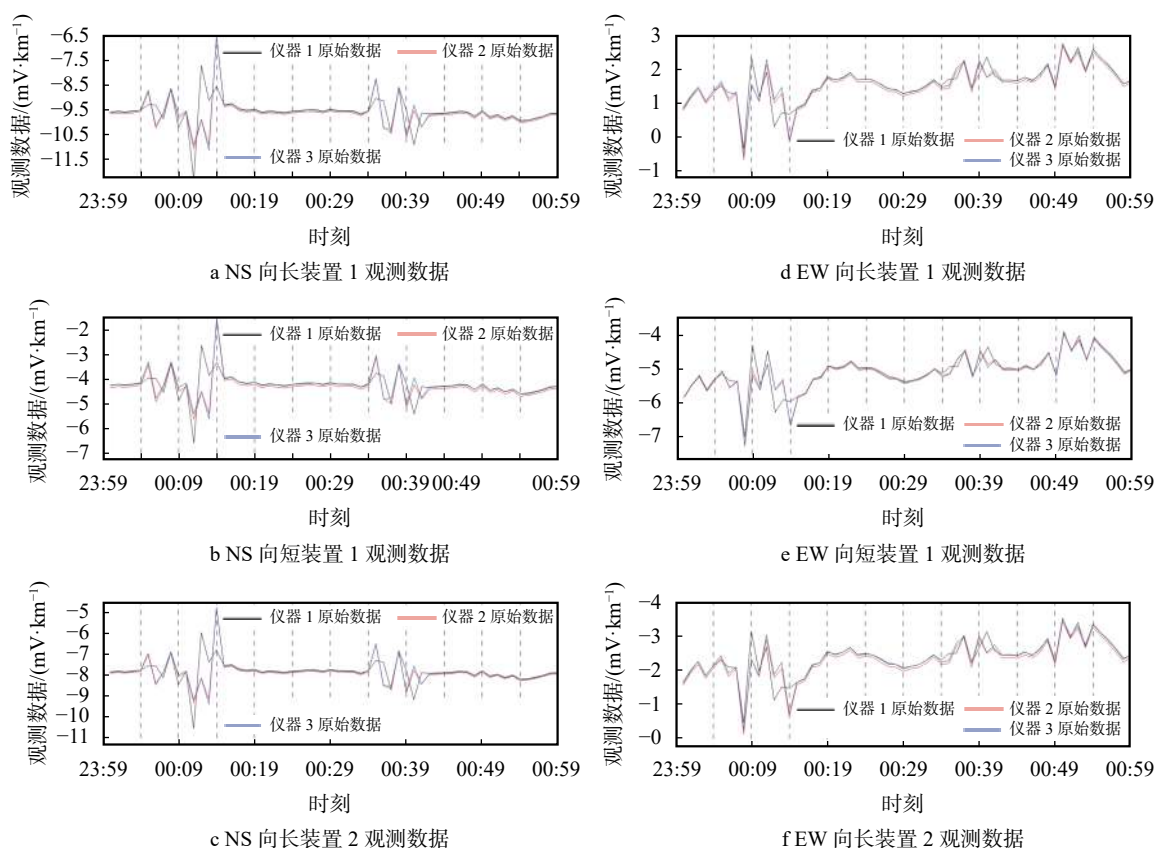
$$C = \frac{N_{\Delta X} - n_{\Delta X}}{N_{\Delta X}} \times 100\% \quad (5)$$

式中: x_i 、 y_i 为不同仪器的观测数分钟值序列; n 为参与计算的数据个数, 不大于 1440; $N_{\Delta X}$ 、 $n_{\Delta X}$ 分别为 ΔX 的总个数、 ΔX 超过 0.5 mV/km 的总个数。

将 ZD9A-II、GEF-II 观测数据, 舍弃地电阻率供电时段的干扰数据, 按照公式(4)进行计算, 得到两套仪器各个方位长极距与长极距、短极距与短极距之间的观测数据差值绝对值的日均值(图 6)。统计 6 个测道的计算结果, 两种仪器之间的同装置观测数据差值绝对值的日均值大于 0.5 的个数为 0, 符合率为 100%, 满足于设定的技术指标值。

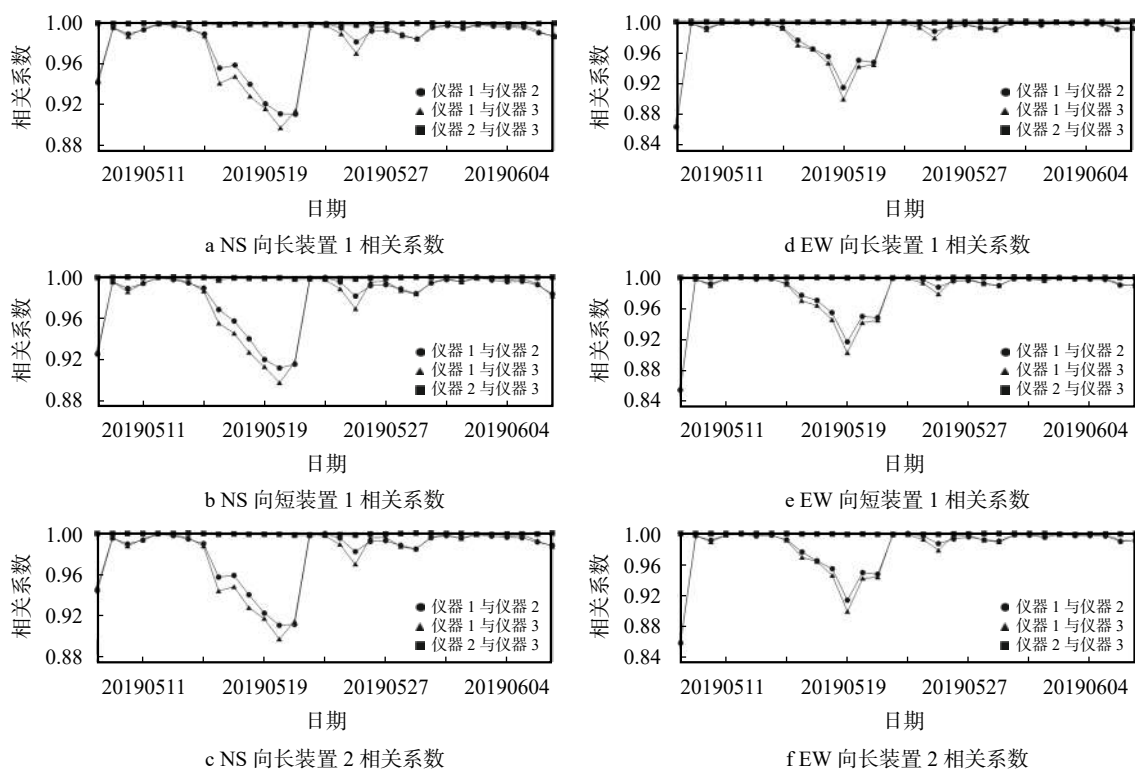
2.1.3 同一台比测仪器同一方位不同装置观测结果差值的月均值 $D_{\text{月}}$

在理论上, 局部区域内地电场是基本稳定的, 同一方位不同测道观测数据的变化幅度应该是一



注: 图中黑色为仪器 1 观测数据; 红色为仪器 2 观测数据; 蓝色为仪器 3 观测数据; 比测观测装置中每个电极坑都埋有 4 个电极, 分别为铅、固体大与小不极化电极, 构成多套观测装置, 装置 1 为固体大不极化电极, 装置 2 为固体小不极化电极。

图 4 多台 GEF-II 同装置 05 月 10 日 0 时 0—10 分观测数据



注: 比测观测装置中每个电极坑都埋有 4 个电极, 分别为铅、固体大与小不极化电极, 构成多套观测装置; 装置 1 为固体大不极化电极; 装置 2 为固体小不极化电极;

图 5 多台 GEF-II 同装置日相关系数

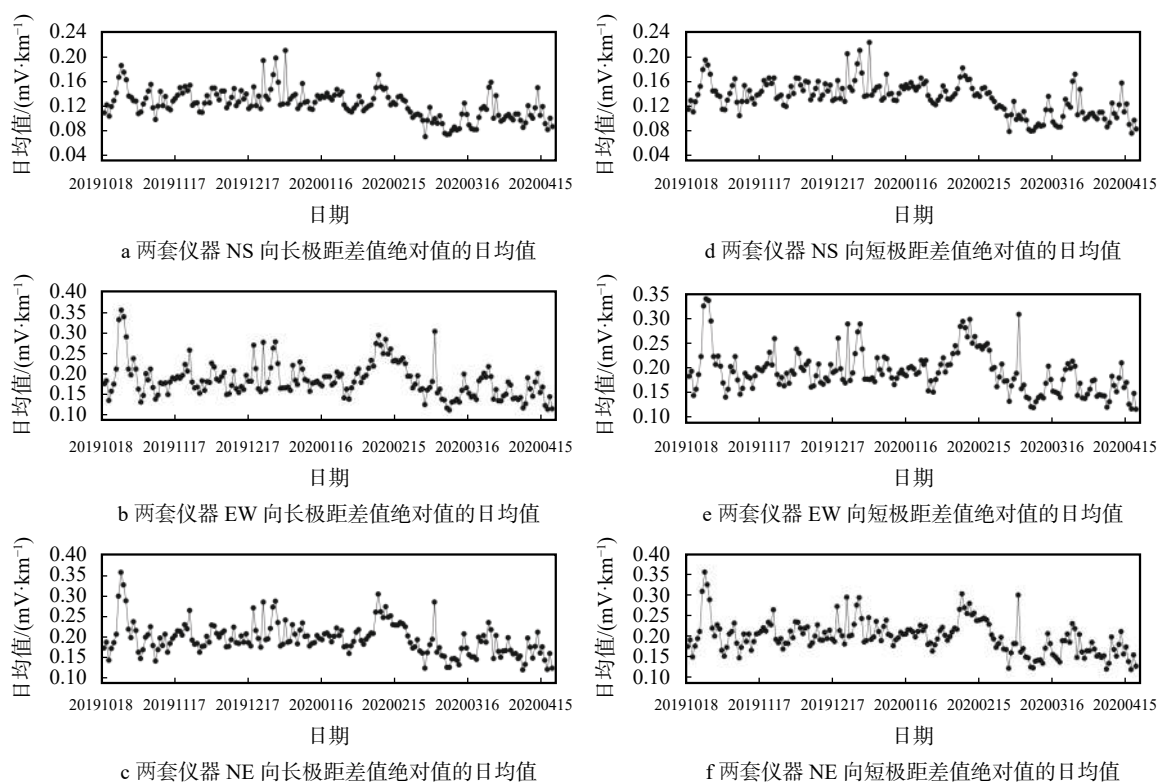


图6 ZD9A-II与GEF-II同方位同极距差值绝对值的日均值

致的^[10],这体现观测数据的内在质量及观测仪器的稳定性。同时查看参考仪器的运行稳定程度,设置差值月均值技术指标值。参照现行地电场观测资料质量评比办法,对同台仪器产生的观测数据计算其同方位的长、短极距的差值月均值, $D_{\text{月}}$ 按公式(6)~(7)计算, $D_{\text{月}}$ 技术指标值应不大于2 mV/km。

$$D_{\text{天}} = \frac{\sum_{i=1}^n |(X_i - \bar{X}_0) - (Y_i - \bar{Y}_0)|}{n} \quad (6)$$

$$D_{\text{月}} = \frac{\sum_{j=1}^N D_{\text{天}}}{N} \quad (7)$$

式中: X_i, Y_j 分别为同一观测方向2个不同装置的地电场分钟观测值; $\bar{X}_0, \bar{Y}_0$ 分别为当日0时0分至3时59分的观测值的平均值; n 为一天中参与差值计算的地电场分钟值个数; N 为1月中参与月平均值计算的天数。

利用ZD9A-II与GEF-II仪器6个月观测数据按照公式(4)~(5)分别计算,得到其同仪器、同方位、不同装置的差值月均值(表2)。参考仪器ZD9A-II观测数据所有方位的差值月均值均小于2 mV/km,这说明观测场地和参考仪器运行稳定,GEF-II仪器6个月观测数据所有方位的差值月均值也均小于2 mV/km,两者的计算结果均满足该技术指标设定值。

表2 同仪器同方位不同装置的差值月均值统计表

时间	GEF-II			ZD9A-II		
	NS	EW	NE	NS	EW	NE
10月18日至11月17日	0.301	0.099	0.225	0.298	0.112	0.232
11月18日至12月16日	0.239	0.149	0.158	0.232	0.153	0.168
12月17日至1月16日	0.364	0.325	0.150	0.363	0.338	0.157
1月17日至2月16日	0.209	0.232	0.087	0.206	0.237	0.102
2月17日至3月16日	0.238	0.303	0.140	0.236	0.309	0.153
3月17日至4月18日	0.250	0.252	0.149	0.249	0.259	0.165

2.1.4 同一台比测仪器同方位不同极距观测结果的日相关系数 $r_{1\text{日}}$

假定同一测量场地的地下介质电性结构是均匀的,地电场布设方式为L型,同一方位分为长、短极距两道观测,则在同方位不同极距正常观测得到的地电场远场变化形态应具有一致性^[11-13]。因而,设置同方位不同极距观测结果的日相关系数技术指标和符合率,即计算同台仪器同方位长、短极距的日相关系数,衡量仪器产生的观测数据内在质量,同时也验证参考仪器和观测场地的质量。参照仪器之间同装置观测结果的日相关系数技术指标值, $r_{1\text{日}}$ 技术指标值为:应不小于0.9,符合率 C 应大于95%,按照公式(1)~(3)计算,其中 y_i, x_i 为同仪器同方位长、短极距测道的观测数据。

利用 ZD9A-II 与 GEF-II 仪器 6 个月的观测数据,得到其同仪器、同方位、不同极距的日相关系数和符合率,统计计算结果见图 7。ZD9A-II 所有方位长、短极距之间的日相关系数大于 0.9 的个数为 533,符合率 96.56%;GEF-II 所有方位长、短极距之间的日相关系数大于 0.9 的个数为 551,符合率 99.82%。两者求得结果均满足设置的技术指标值。

2.2 地电阻率技术指标值

2.2.1 小时观测值 3 倍相对均方差的日均值 $K_{(\sigma_{n-1})\text{日}}$

地电阻率观测数据为小时观测值,每次观测多个数值,取其平均作为该小时的观测值,同时产出该次测量的均方差值。目前 ZD8M 地电阻率仪中产出的均方差已乘以 3,即小时观测值 3 倍均方差。在此基础上求取其相对均方差,取其平均值,得到小时观测值 3 倍相对均方差的日均值用来分析仪器的稳定性,同时利用参考仪器的结果来确保观测场地的稳定。将小时观测值 3 倍相对均方差的日均值作为技术指标,指标值设置为应不大于 0.3%,以此来分析参考仪器和比测仪器每次观测内所得到的数据的离散程度。用参考仪器的结果确保观测场地稳定的基础上,查看比测仪器的运行稳定程度。引用《地震监测专用设备定型测试大纲》中台站比测地电阻率仪器的小时观测值 3 倍相对均方差的日均值的技术指标值,给出 $K_{(\sigma_{n-1})\text{日}}$ 技术指标值:应不大于 0.3%。 $K_{(\sigma_{n-1})\text{日}}$ 按公式(8)~(9)计算。

$$K_{(\sigma_{n-1})i} = \frac{\sigma_{(n-1)i}}{\rho_s} \times 100\% \quad (8)$$

$$K_{(\sigma_{n-1})\text{日}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{(\sigma_{n-1})i}}{n} \quad (9)$$

式中: n 为每天观测次数,一般为 24; $K_{(\sigma_{n-1})i}$ 为第 i 小时观测值的 3 倍相对均方差。

将参考仪器和比测仪器小时观测值 3 倍相对均方差的日均值计算结果绘制成图 8。从图中可看出,参考仪器和比测仪器的 NS 向计算结果和 EW 向计算结果在小范围内波动,处于 0.07% 以下。表明两者产出观测数据稳定,同时两者的计算结果均小于 0.3%,满足设置的技术指标值。

2.2.2 观测值日均值的 3 倍相对实验标准偏差 $K_{\text{日}}$

比测台站的环境需稳定、优良,在此基础上建设地电台站比测观测装置,再经过相关认证和考核,形成比测平台,因而比测平台的观测环境是处于相对稳定的状态。在相对稳定状态下的观测场地内,地电阻率仪产出的观测数据也应在一定范围内出现波动。因此,设立观测值日均值的 3 倍相对实验标准偏差,以考察比测仪器观测的稳定性,同时利用参考仪器的该技术指标值来体现观测场地的环境。观测值日均值的 3 倍相对实验标准偏差 $K_{\text{日}}$ 按公式(10)计算, $K_{\text{日}}$ 应不大于 0.3%。

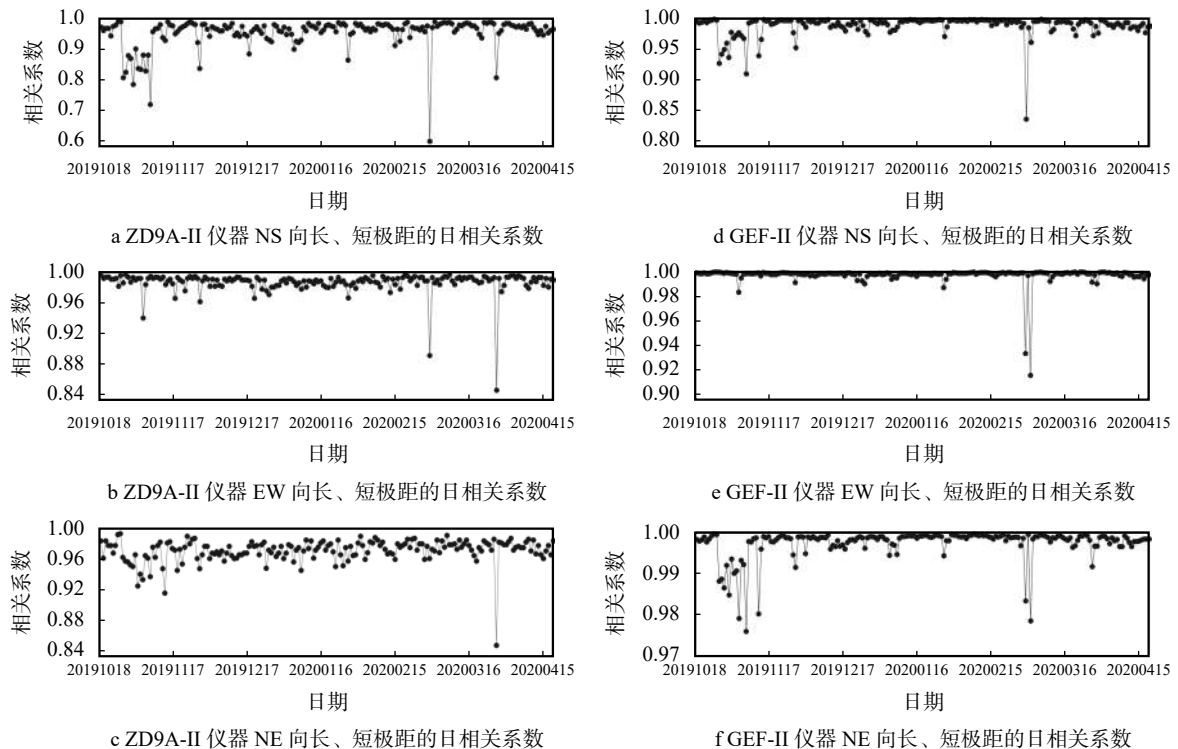
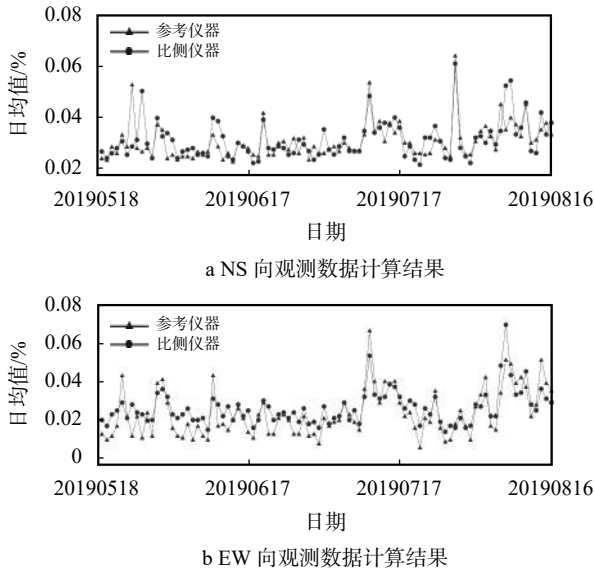


图 7 ZD9A-II、GEF-II 同方位不同极距的日相关系数



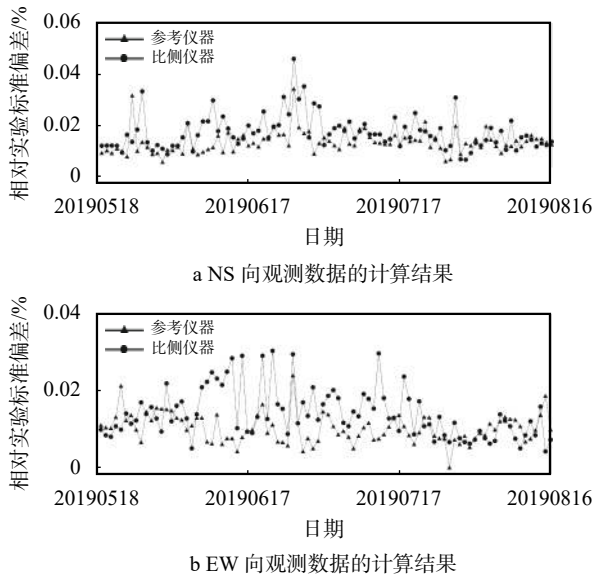
注: 图中参考仪器为平凉台现运行的 ZD8M 地电阻率仪, 比测仪器为对比观测的 ZD8M 地电阻率仪。

图 8 小时观测值 3 倍相对均方差的日均值

$$K_{\text{日}} = \frac{3}{\bar{\rho}_s} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_{si} - \bar{\rho}_s)^2}{n(n-1)}} \times 100\% \quad (10)$$

式中: n 为每天观测次数, 一般为 24; ρ_{si} 为第 i 小时 ρ_s 观测值; $\bar{\rho}_s$ 是 ρ_s 日均值。

将两者观测数据按照公式(10)计算, 结果绘制成图 9。从图中可见, 参考仪器和比测仪器的 NS 向观测值日均值 3 倍相对实验标准偏差处于 0.05% 以下, EW 向观测值日均值 3 倍相对实验标准偏差处于 0.04% 以下。两者仪器所得结果皆小于 0.3%, 满足于该技术指标的設置值。



注: 图中参考仪器为平凉台现运行的 ZD8M 地电阻率仪, 比测仪器为对比观测的 ZD8M 地电阻率仪。

图 9 观测值日均值的 3 倍相对实验标准偏差

2.2.3 月观测精度 $k_{\sigma n}$

在仪器长时间观测期间内, 为确定日与日之间的观测数据波动是否能在稳定的范围内, 因此以日为单位, 求取参考仪器的月观测精度, 作为观测场地的稳定性依据; 再求取比测仪器各个测道的月观测精度, 衡量比测仪器的稳定性。 $k_{\sigma n}$ 按公式(11)计算, $k_{\sigma n}$ 应不大于 0.3%。

$$K_{\sigma n} = \frac{1}{\bar{\rho}_s} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_{si} - \bar{\rho}_s)^2}{n(n-1)}} \times 100\% \quad (11)$$

式中: n 为每月观测的天数; ρ_{si} 为每天 ρ_s 的日均值; $\bar{\rho}_s$ 的 ρ_s 月均值。

两者观测数据的月观测精度计算结果见表 3, 可看出参考仪器和比测仪器的 NS 向和 EW 向月观测精度都小于 0.1%, 满足于该技术指标值设置值 0.3%。

表 3 月观测精度统计表

时间	参考仪器月观测精度/%		比测仪器月观测精度/%	
	NS向	EW向	NS向	EW向
5月18日至6月16日	0.0105	0.0058	0.0111	0.0070
6月17日至7月16日	0.0143	0.0042	0.0147	0.0054
7月17日至8月15日	0.0045	0.0017	0.0043	0.0016

2.2.4 仪器之间观测值差值绝对值的平均值 $\overline{\Delta\rho_{sijk}}$

两台仪器连接相同的观测装置, 根据地电阻率观测原理, 产出的数据应一致。但由于两台仪器的仪器差存在, 其两者的观测数据应在一定范围内波动, 因此设立仪器之间观测差值绝对值的平均值, 其应不大于 (0.2% 测值 + 0.04 $\Omega \cdot m$), 符合率 C 应大于 95%, 以此来考察比测仪器是否存在漂移。两台仪器中一台为平凉台现行仪器, 其产出数据在全国地电资料评比中多次获得佳绩, 因此其产出的数据可靠性较高, 故将其作为参考仪器与另一台仪器对比分析。引用《地震监测专用设备定型测试大纲》中台站比测地电阻率仪器中被测仪器和参考仪器观测数据日均值差值的技术指标值, 各个测道的 $\overline{\Delta\rho_{sijk}}$ 和符合率公式(12)~(14)计算, $\overline{\Delta\rho_{sijk}}$ 应不大于 (0.2% 测值 + 0.04 $\Omega \cdot m$), 符合率 C 应大于 95%。

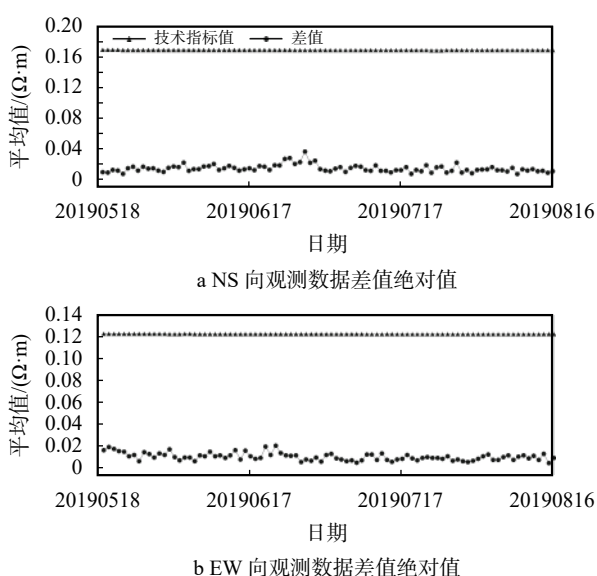
$$\Delta\rho_{sijk} = \rho_{sij} - \rho_{sik} \quad (12)$$

$$\overline{\Delta\rho_{sijk}} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta\rho_{sijk}|}{n} \quad (13)$$

$$C = \frac{N_{\overline{\Delta\rho_{sijk}}} - n_{\overline{\Delta\rho_{sijk}}}}{N_{\overline{\Delta\rho_{sijk}}}} \times 100\% \quad (14)$$

式中: n 为一天内比测仪器观测次数; ρ_{sij} 、 ρ_{sik} 为第 j 、 k 台仪器第 i 次的观测值; $\Delta\rho_{sijk}$ 为第 i 次比测仪器 j 和 k 观测值的差值; $N_{\Delta\rho_{sijk}}$ 、 $n_{\Delta\rho_{sijk}}$ 分别为 $\Delta\rho_{sijk}$ 的总个数、 $\Delta\rho_{sijk}$ 未达到要求 (0.2% 测值 $+0.04 \Omega \cdot m$) 的总个数。

将参考仪器的同时段观测值的平均值作为测值得到具体的技术指标值, 然后得到参考仪器与比测仪器每天的观测数据差值绝对值的平均值, 两者进行比较 (图 10)。从图中可见, 两者 NS 向和 EW 向的差值绝对值的平均值远远小于其技术指标设置值。



注: 图中三角形曲线为技术指标值, 技术指标值中测值为参考仪器同时段观测值的平均值; 参考仪器为平凉台现运行的 ZD8M 地电阻率仪, 差值为比测仪器与参考仪器的观测值差值绝对值的平均值

图 10 仪器之间观测值差值绝对值的平均值

3 结果

按照地电观测仪器比测技术规范中的计算方法, 对地电场、地电阻率观测数据进行计算, 并与其设置的技术指标值比较, 得到以下结论:

1) 从仪器之间同装置的数据形态和差值、仪器的长短极距的数据形态和差值考虑, 设立地电场仪 4 个技术指标和技术指标值, 并给出计算方法。利用 ZD9A-II、GEF-II 地电场仪和多台 GEF-II 地电场仪的观测数据, 按照计算方法得到 4 个地电场仪技术指标值, 与设定的技术指标值对比, 其满足于地电台站比测技术规范中的设置值, 分析认为地电台站比测技术规范中地电场的技术指标值设置合

理, 能够用于地电场仪台站比测, 能够满足于现今地电场仪器的观测水平。

2) 从仪器之间同装置的数据差值、仪器的观测精度考虑, 设立地电阻率仪 4 个技术指标和技术指标值, 并给出具体的计算方法。利用平凉比测平台两台 ZD8M 地电阻率仪的观测数据, 按照计算方法得到 4 个地电阻率仪技术指标值, 与设定的技术指标值对比, 其满足于地电台站比测技术规范中的设置值, 分析认为地电台站比测技术规范中地电阻率仪的技术指标设置合理, 能够用于地电阻率仪台站比测, 能够满足于现今地电阻率仪器的观测水平。

4 分析与讨论

1) 在计算仪器之间同装置观测结果每天的日相关系数时, ZD9A-II、GEF-II 地电场仪所得到的结果不满足于该技术指标设置值, 查看其观测数据两者相位存在滞后, 分析认为两台地电场仪时间不同步是导致计算结果不佳的主要原因, 也可能是 ZD9A-II、GEF-II 地电场仪的工作原理、仪器结构的差异造成, 如频率范围不同, 这有待后续进一步研究。在台站比测中多台地电场仪之间同装置的日相关系数是基于观测数据形态的高度一致性, 需要多台地电场仪观测时间同步, 只有在确保时间一致的前提下, 仪器之间所得数据相位才会保持一致。在以后的台站比测中, 参考仪器应是经实验室的定期检测, 或是参考仪器和比测仪器都增加 GPS 对时模块, 确保时间的准确性和一致性。

2) 通过对现有所得的资料分析, 地电台站比测技术规范中地电场仪和地电阻率仪的技术指标值设置合理, 能为地电观测仪器技术比测规范技术指标的编写和地电观测仪器台站比测提供依据与支撑, 从而为规范地电观测仪器台站比测和产出用于地震监测、预报的高质量地电观测数据提供保障。由于试验条件所限, 用于分析的观测数据样本不多, 所提出的技术指标值可能存在一定的局限性。在后续研究中, 还需多研究更多的技术指标和其对值, 以此来更全面地衡量比测仪器。

致谢 感谢应急管理部国家自然灾害防治研究院胡哲高级工程师的对本文的指导, 感谢甘肃省平凉台提供本文中所用的地电阻率观测数据。

参考文献:

- [1] 中国地震局. 地震及前兆数字观测技术规范(试行): 地震信息网络 [M]. 北京: 地震出版社, 2001: 1-25.
- [2] DB/T 18.1-2006, 地震台站建设规范 地电台站 第 1 部分: 地电阻率台站 [S]. 北京: 地震出版社, 2006.
- [3] DB/T 29.1-2008, 地震观测仪器进网技术要求 地电观测仪 第 1 部分: 直流地电阻率仪 [S]. 北京: 地震出版社, 2008.
- [4] DB/T 33.1-2009, 地震地电观测方法 地电阻率观测 第 1 部分: 单极距观测 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [5] DB/T 18.2-2006, 地震台站建设规范 地电观测台站 第 2 部分: 地电场台站 [S]. 北京: 地震出版社, 2006.
- [6] DB/T 29.2-2008, 地震观测仪器进网技术要求 地电观测仪 第 2 部分: 地电场仪 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [7] DB/T 34-2009, 地震地电观测方法 地电场观测 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [8] 董晓娜, 苏道磊, 鲁成义, 等. 山东区域地电场观测质量分析 [J]. 地震地磁观测与研究, 2012, 33(5/6): 128-134.
- [9] 席继楼. 地电场观测方法与观测技术研究 [J]. 地震地磁观测与研究, 2019, 40(2): 1-20.
- [10] 刘春国, 李正媛, 吕品姬, 等. 数字化地震前兆台网观测数据质量评价方法 [J]. 中国地震, 2017, 33(1): 112-121.
- [11] 鲍海英, 蒋延林, 樊晓春, 等. 高压直流输电对地电场观测的影响探讨 [J]. 中国地震, 2020, 36(3): 607-619.
- [12] 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.
- [13] 鲍海英, 李飞, 卜玉菲, 等. 江苏地区地电暴特征及差异性 [J]. 地震地磁观测与研究, 2018, 39(5): 55-61.

Comparison Test Technical Indicator of the Geoelectric Observation Instrument

GAO Xiwei¹, ZHANG Qian¹, PU Yufei², ZHAO Weihong^{1*}, GUO Yuxin¹, LI Yu¹

(1. Gaoyou Seismic Station, Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 225600, China;

2. Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 210014, China)

Abstract: In order to measure the stability of the instrument and the consistency of the observation data, specific technical index values will be set for constraint during the compilation of technical comparison specifications of geoelectric observation instruments. In order to verify the rationality of the set value of the technical index, the geoelectric field meter and DC georesistivity meter were used to compare the observed data, and the technical index value was calculated according to the method in the specification. It is concluded that the specific technical indicator values in the comparison test specification of the geoelectric observation instrument are reasonable. This study provides basis and support for the comparison test specification of the geoelectric observation instrument and the comparison of geoelectric observing instrument stations, so as to standardize geoelectric observing instruments and produce high-quality geoelectric observation data for earthquake monitoring.

Key words: geoelectrical field meter; DC meter for geoelectrical resistivity; comparison test; technical indicator values

(上接第 6 页)

Quaternary Active Features of the Chihe-Taihu Fault on the Fuchashan Segment of the Tanlu Fault Zone

FANG Lianghao, SHU Peng, LU Shuo, ZHENG Yingping, XIE Huiting, YANG Yuanyuan,

CAO Junfeng, PAN Haobo

(Anhui Earthquake Agency, Hefei 230031, China)

Abstract: In this paper, field investigation was carried out in the western margin of Fuchashan, and typical fault profiles were found. ESR dating samples of fault gouge were collected. The dating results were (152 ± 30) ka BP and (188 ± 23) ka BP. A shallow seismic exploration line is set up for vertical fault, which reflect the shallow structural characteristics of the fault. The fault profiles and shallow seismic interpretation results show that the fault is located between Proterozoic quartzite and Cretaceous sandstone, with similar structural characteristics and normal fault component. According to the characteristics of fault geomorphology, dating results of fault gouge, shallow seismic exploration results and regional fault structure comparison, it shows that the Chihe-Taihu fault on the Fuchashan segment of the Tanlu fault zone is a Middle Pleistocene fault, and its activity has been weak since the Quaternary. This may be a tectonic background factor mainly composed of small and medium-sized seismic activity in the study area.

Key words: Tanlu fault zone; Hefei basin; Chihe-Taihu fault; ESR dating; Quaternary