地震监测直流地电阻率仪台站比测技术规范

（试验报告）

《地震监测直流地电阻率仪台站比测技术规范》编写组

2024年9月

目录

[一、试验目的 1](#_Toc174296068)

[二、试验方法 1](#_Toc174296069)

[三、试验所用设备 1](#_Toc174296070)

[四、试验地点 2](#_Toc174296071)

[五、试验结果 2](#_Toc174296072)

[5.1观测装置检查 2](#_Toc174296073)

[5.2 参考仪器年观测数据精度系数 6](#_Toc174296074)

[5.3 仪器最大允许误差测试 7](#_Toc174296075)

[5.4检查仪器设备状态及功能 11](#_Toc174296076)

[5.5检查仪器试观测 12](#_Toc174296077)

[5.6检查仪器功能运行状态 12](#_Toc174296078)

[5.7连续率、有效率、故障统计 13](#_Toc174296079)

[5.8 观测数据精度分析 14](#_Toc174296080)

[5.9数据一致性分析 17](#_Toc174296081)

[六、试验结论 18](#_Toc174296082)

# 一、试验目的

在《地震监测直流地电阻率仪台站比测技术规范》规范制定过程中，为了确定比测过程中一些方法和其对应的技术要求，我们对其进行了一系列的试验，利用GEM-Ⅰ和ZD8MI多极距地电阻率仪作为试验对象，按照地震监测直流地电阻率仪台站比测技术规范制定的方法对各项比测项目进行测试，验证该规范的正确性、可行性和可操作性。

# 二、试验方法

地震监测直流地电阻率仪台站比测技术规范所进行的项目见表1。

表1 检查项目一览表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 检查项目 | 章节或附录 |
| 1 | 观测装置检查 | 附录A.1、A.2、A.3 |
| 2 | 年观测数据精度系数 | 附录B |
| 3 | 地电阻率最大允许误差测试 | 附录C.1 |
| 4 | 电压最大允许误差测试 | 附录C.2 |
| 6 | 比测仪器检查与记录表 | 附录D |
| 7 | 检查仪器试观测 | 附录E |
| 8 | 仪器运行检查 | 附录F.1 |
| 9 | 连续率、有效率及故障统计 | 附录F.2 |
| 10 | 观测资料质量分析 | 附录G |
| 11 | 数据一致性分析 | 附录H |

# 三、试验所用设备

试验中所用设备见表2。

表2试验所用设备

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 设备名称 | 型号 | 主要技术要求 |
| 1 | 标准电阻 | BZ3 | 准确度不低于0.01级 |
| 2 | 标准电池 | BC9 | 准确度不低于 0.005级 |
| 3 | 直流电位差计 | UJ34A | 准确度不低于 0.01级 |

# 四、试验地点

试验地点为高邮地震台和高邮临泽地电观测站，高邮地震台现运行仪器为ZD8M地电阻率仪，高邮临泽地电观测站现运行仪器为ZD8MI多极距地电阻率仪，两个场地观测室环境的温度在10℃~30℃范围内，相对湿度≤80%。

# 五、试验结果

# 5.1观测装置检查

5.1.1观测装置检测要求

观测装置检查分为外线路和电极检查，外线路检查方法见规范附录A.1与A.2，电极检查方法见附录A.3，该方法引用《地震地电观测方法地电阻率观测第1部分：单极距观测》（DB/T 33.1-2009）中6.2.4.3、6.2.4.6、6.2.5.1、6.2.5.2内容，其技术要求供电导线漏电电流与供电电流的比值ε1不大于0.1%，供电导线漏电电位差的绝对值与人工电位差的比值ε2不大于0.5%，测量导线对地绝缘电阻不小于5MΩ，供电电极单电极接地电阻不大于30Ω，测量电极单电极接地电阻不大于100Ω。为了确保在比测前观测装置处于良好的运行状态及查看观测装置检查设置的指标是否合理，对高邮现有场地进行检查，该场地使用的仪器为ZD8M地电阻率仪，对外线路和电极进行检查，检查结果见表3，从表中可见ε1小于0.1%的技术要求，ε2小于0.5%的技术要求，测量线对地绝缘电阻小于5MΩ技术要求，供电极单电极接地电阻小于30Ω技术要求，测量极的单极接地电阻小于100Ω技术要求。

为了确保观测装置的稳定性，观测装置除了满足上述要求后，还要求ε1、ε2、绝缘电阻、接地电阻还需满足本次测量与前期多次测量平均值的绝对值不大于前期多次测量值的3倍试验标准偏差。该处参考数据异常处理的3σ准则，即在测量次数》10次以上，计算积累的数据样本的试验标准偏差s，求取本次测量的值x与前期测量值的平均值的差值绝对值应小于3S。

表3观测装置检查结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 供电线漏电检测 | | | | | | | | 检测结果是否合格（Y/N） |
| 检测日期 | 线路 | I | IL | ε1 | ΔV | ΔVL | ε2 |
| A | mA | % | mV | mV | % |
| 2022.06.16 | NS | 1.03 | 0.06 | 0.006 | 15.3 | 0.01 | 0.07 | Y |
| EW | 1.03 | 0.08 | 0.008 | 15.6 | 0.01 | 0.06 | Y |
| N45°E | 1.03 | 0.08 | 0.008 | 15.5 | 0.00 | 0.00 | Y |
| 2022.12.17 | NS | 1.03 | 0.09 | 0.009 | 15.34 | 0.00 | 0.00 | Y |
| EW | 1.03 | 0.11 | 0.011 | 15.55 | 0.03 | 0.20 | Y |
| N45°E | 1.03 | 0.09 | 0.009 | 15.47 | 0.02 | 0.10 | Y |
| 测量线绝缘电阻检测 | | | | 接地电阻检测 | | | | 检测结果是否合格（Y/N） |
| 检测日期 | 方位 | M | N | A极 | B极 | M极 | N极 |
| MΩ | MΩ | Ω | Ω | Ω | Ω |
| 2022.06.16 | NS | 500 | 500 | 6 | 5 | 4.5 | 5.8 | Y |
| EW | 500 | 450 | 5.2 | 4.6 | 4.5 | 4.5 | Y |
| N45°E | 450 | 450 | 5 | 5.5 | 6.5 | 6 | Y |
| 2022.12.17 | NS | 500 | 500 | 6.3 | 5.2 | 5 | 5.6 | Y |
| EW | 500 | 500 | 5.8 | 6.5 | 6 | 6 | Y |
| N45°E | 450 | 500 | 5.2 | 4.8 | 5 | 5.5 | Y |

5.1.2 漏电系数稳定性

采用高邮地电阻率观测装置2021年度-2023年度的三个测道的ε1、ε2数据，具体数据见表4。

表4漏电系数检查结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | | NS测道（%） | | EW测道（%） | | N45E测道（%） | |
| ε1 | ε2 | ε1 | ε2 | ε1 | ε2 |
| 2021年 | 1季度 | 0.013 | 0.07 | 0.003 | 0.10 | 0.012 | 0.00 |
| 2季度 | 0.009 | 0.07 | 0.018 | 0.00 | 0.012 | 0.07 |
| 3季度 | 0.022 | 0.06 | 0.022 | 0.06 | 0.014 | 0.06 |
| 4季度 | 0.016 | 0.06 | 0.021 | 0.06 | 0.022 | 0.06 |
| 2022年 | 1季度 | 0.013 | 0.07 | 0.002 | 0.06 | 0.013 | 0.06 |
| 2季度 | 0.006 | 0.07 | 0.008 | 0.06 | 0.008 | 0.00 |
| 3季度 | 0.011 | 0.07 | 0.008 | 0.10 | 0.012 | 0.06 |
| 4季度 | 0.009 | 0.00 | 0.011 | 0.20 | 0.009 | 0.10 |
| 2023年 | 1季度 | 0.007 | 0.06 | 0.002 | 0.06 | 0.004 | 0.06 |
| 2季度 | 0.008 | 0.06 | 0.007 | 0.06 | 0.004 | 0.00 |
| 3季度 | 0.011 | 0.06 | 0.007 | 0.06 | 0.008 | 0.06 |
| 4季度 | 0.004 | 0.10 | 0.006 | 0.20 | 0.008 | 0.10 |

在表4中以2021年1季度~2023年2季度为原始积累数据，以2023年3季度做为本次测量，求取出差值和3倍标准偏差S，计算结果见表5中第2行、第3行；在表4中以2021年1季度~2023年3季度为原始积累数据，以2023年4季度做为本次测量，求取出差值和3倍标准偏差S，计算结果见表5中第4行、第5行；从结果中可见，差值小于3倍试验标准偏差。

表5漏电系数计算结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | NS测道（%） | | EW测道（%） | | N45E测道（%） | |
| ε1 | ε2 | ε1 | ε2 | ε1 | ε2 |
| 3倍试验标准偏差（2021年1季度~2023年2季度） | 0.0138 | 0.0607 | 0.0217 | 0.1465 | 0.0149 | 0.0986 |
| 差值（2023年3季度-(2021年1季度~2023年2季度)平均值） | 0.0004 | 0.0010 | 0.0032 | 0.0160 | 0.0030 | 0.0410 |
| 3倍试验标准偏差（2021年1季度~2023年3季度） | 0.0131 | 0.0579 | 0.0209 | 0.1403 | 0.0145 | 0.1005 |
| 差值（2023年4季度-(2021年1季度~2023年3季度)平均值） | 0.0074 | 0.0409 | 0.0039 | 0.1255 | 0.0027 | 0.0567 |

5.1.3 绝缘电阻稳定性

采用高邮地电阻率观测装置2021年度-2023年度的三个测道的测量导线M和N的绝缘电阻数据，具体数据见表6。

表6绝缘电阻检查结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | | NS测道（MΩ） | | EW测道（MΩ） | | N45E测道（MΩ） | |
| 测量导线M | 测量导线N | 测量导线M | 测量导线N | 测量导线M | 测量导线N |
| 2021年 | 1季度 | 500 | 450 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 2季度 | 450 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 3季度 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 4季度 | 450 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 2022年 | 1季度 | 500 | 500 | 450 | 450 | 500 | 500 |
| 2季度 | 500 | 500 | 500 | 450 | 450 | 450 |
| 3季度 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 4季度 | 500 | 500 | 500 | 500 | 450 | 500 |
| 2023年 | 1季度 | 500 | 500 | 500 | 450 | 500 | 500 |
| 2季度 | 500 | 500 | 500 | 450 | 450 | 450 |
| 3季度 | 500 | 500 | 500 | 450 | 500 | 500 |
| 4季度 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |

在表6中以2021年1季度~2023年2季度为原始积累数据，以2023年3季度做为本次测量，求取出差值和3倍标准偏差s，计算结果见表7中第2行、第3行；在表4中以2021年1季度~2023年3季度为原始积累数据，以2023年4季度做为本次测量，求取出差值和3倍标准偏差S，计算结果见表7中第4行、第5行；从结果中可见，差值小于3倍试验标准偏差。

表7绝缘电阻计算结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | NS测道（MΩ） | | EW测道（MΩ） | | N45E测道（MΩ） | |
| 测量导线M | 测量导线N | 测量导线M | 测量导线N | 测量导线M | 测量导线N |
| 3倍试验标准偏差（2021年1季度-2023年2季度） | 60 | 45 | 45 | 73 | 69 | 60 |
| 差值（2023年3季度-(2021年1季度~2023年2季度)平均值） | 10 | 5 | 5 | 30 | 15 | 10 |
| 3倍试验标准偏差（2021年1季度-2023年3季度） | 58 | 43 | 43 | 75 | 67 | 58 |
| 差值（2023年4季度-(2021年1季度~2023年3季度)平均值） | 9 | 5 | 5 | 23 | 14 | 9 |

5.1.4 绝缘电阻稳定性

采用高邮地电阻率观测装置2018年度-2023年度的三个测道的电极接地电阻数据，具体数据见表8。

表8电极接地电阻检查结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | | NS接地电阻（Ω） | | | | EW接地电阻（Ω） | | | | N45E接地电阻（Ω） | | | |
| A | B | M | N | A | B | M | N | A | B | M | N |
| 2018年 | 上半年 | 4.0 | 3.9 | 4.1 | 3.9 | 4.2 | 3.9 | 4.0 | 3.9 | 4.3 | 3.9 | 4.2 | 3.9 |
| 下半年 | 4.5 | 4.0 | 4.2 | 4.5 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.4 | 4.3 | 5.0 | 4.1 | 4.6 |
| 2019年 | 上半年 | 5.5 | 5.0 | 5.6 | 5.6 | 6.0 | 4.5 | 5.0 | 4.5 | 6.5 | 4.5 | 5.0 | 4.6 |
| 下半年 | 5.6 | 5.8 | 6.0 | 5.7 | 5.6 | 5.2 | 5.5 | 5.6 | 5.3 | 5.6 | 5.5 | 5.3 |
| 2020年 | 上半年 | 5.0 | 6.0 | 5.4 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 5.0 | 4.0 | 5.5 | 5.0 | 5.5 | 5.0 |
| 下半年 | 5.2 | 6.3 | 5.5 | 5.0 | 6.0 | 6.5 | 5.5 | 4.5 | 6.0 | 5.5 | 6.0 | 5.5 |
| 2021年 | 上半年 | 5.5 | 6.0 | 4.0 | 4.0 | 5.7 | 5.0 | 5.8 | 6.0 | 4.5 | 5.8 | 6.0 | 5.5 |
| 下半年 | 5.0 | 5.8 | 4.6 | 4.0 | 5.2 | 5.8 | 4.6 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 5.0 | 4.5 |
| 2022年 | 上半年 | 6.0 | 5.0 | 4.5 | 5.8 | 5.2 | 4.6 | 4.5 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.5 | 6.0 |
| 下半年 | 6.3 | 5.2 | 5.0 | 5.6 | 5.8 | 6.5 | 6.0 | 6.0 | 5.2 | 4.8 | 5.0 | 5.5 |
| 2023年 | 上半年 | 6.5 | 6.2 | 5.5 | 6.2 | 6.5 | 5.0 | 6.0 | 6.2 | 5.0 | 6.7 | 6.5 | 6.5 |
| 下半年 | 6.3 | 5.2 | 5.0 | 5.6 | 5.8 | 6.5 | 6.0 | 6.0 | 5.2 | 4.8 | 5.0 | 5.5 |

在表8中以2018年~2022年为原始积累数据，以2023年上半年做为本次测量，求取出差值和3倍标准偏差S，计算结果见表9中第2行、第3行；在表8中以2018年~2023年上半年为原始积累数据，以2023年下半年度做为本次测量，求取出差值和3倍标准偏差S，计算结果见表9中第4行、第5行；从结果中可见，差值小于3倍试验标准偏差。

表9接地电阻计算结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | NS接地电阻（Ω） | | | | EW接地电阻（Ω） | | | | N45E接地电阻（Ω） | | | |
| A | B | M | N | A | B | M | N | A | B | M | N |
| 3倍试验标准偏差（2018年~2022） | 1.9 | 2.4 | 2.0 | 2.2 | 1.8 | 2.8 | 1.9 | 2.3 | 2.1 | 1.8 | 2.2 | 1.8 |
| 差值（2023年上半年-(2018年~2022)平均值） | 1.2 | 0.9 | 0.6 | 1.3 | 1.2 | 0.3 | 1.0 | 1.5 | 0.2 | 1.5 | 1.2 | 1.5 |
| 3倍试验标准偏差（2018年~2023年上半年） | 2.1 | 2.4 | 2.0 | 2.4 | 2.0 | 2.7 | 2.0 | 2.6 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.1 |
| 差值（2023年下半年-(2018年~2023年上半年)平均值） | 0.9 | 0.2 | 0.1 | 0.6 | 0.3 | 1.2 | 0.9 | 1.1 | 0.1 | 0.5 | 0.4 | 0.3 |

# 5.2 参考仪器年观测数据精度系数

参考仪器满足试验室检测后还需考虑其长期运行的观测数据质量，验证其实际的运行能力，即仪器连接观测装置正常观测后，按照相应的公式求取其年观测数据精度系数f，其技术指标为不应小于0.9985。计算公式如下：

(1)

其中：



为第j道第i月的小时值均方差的月均值；

为第j道第i月的每天地电阻率观测值的均方差的月均值；

为第j道第i月的地电阻率观测值日均值的月均值；

如果场地有多套装置，选取其中观测质量最优的两套，在运行中遇到其他因素导致该月数据不足，以该月剩余的数据参与计算，X为开始月份。

选取2023年度高邮台地电阻率观测数据进行计算，观测数据结果见表10。

表10观测数据计算结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | ρs月均值 | σn月均值 | σn的相对月均值 | σn-1的相对月均值 | ρs月均值 | σn月均值 | σn的相对月均值 | σn-1的相对月均值 | ρs月均值 | σn月均值 | σn的相对月均值 | σn-1的相对月均值 |
|
| 2023.01 | 17.641 | 0.010 | 0.0006 | 0.0006 | 17.908 | 0.017 | 0.0010 | 0.0004 | 17.810 | 0.015 | 0.0008 | 0.0005 |
| 2023.02 | 17.571 | 0.010 | 0.0006 | 0.0003 | 17.874 | 0.018 | 0.0010 | 0.0003 | 17.810 | 0.016 | 0.0009 | 0.0003 |
| 2023.03 | 17.630 | 0.010 | 0.0006 | 0.0004 | 17.912 | 0.016 | 0.0009 | 0.0003 | 17.815 | 0.011 | 0.0006 | 0.0002 |
| 2023.04 | 17.608 | 0.010 | 0.0006 | 0.0004 | 17.903 | 0.016 | 0.0009 | 0.0003 | 17.827 | 0.013 | 0.0007 | 0.0005 |
| 2023.05 | 17.576 | 0.012 | 0.0007 | 0.0006 | 17.886 | 0.018 | 0.0010 | 0.0004 | 17.827 | 0.017 | 0.0010 | 0.0005 |
| 2023.06 | 17.571 | 0.011 | 0.0006 | 0.0009 | 17.874 | 0.017 | 0.0010 | 0.0007 | 17.810 | 0.013 | 0.0007 | 0.0010 |
| 2023.07 | 17.551 | 0.011 | 0.0006 | 0.0005 | 17.847 | 0.019 | 0.0011 | 0.0007 | 17.783 | 0.016 | 0.0009 | 0.0005 |
| 2023.08 | 17.566 | 0.010 | 0.0006 | 0.0005 | 17.846 | 0.013 | 0.0007 | 0.0003 | 17.775 | 0.013 | 0.0007 | 0.0003 |
| 2023.09 | 17.575 | 0.011 | 0.0006 | 0.0004 | 17.850 | 0.017 | 0.0009 | 0.0002 | 17.774 | 0.013 | 0.0007 | 0.0002 |
| 2023.10 | 17.583 | 0.010 | 0.0006 | 0.0003 | 17.860 | 0.015 | 0.0009 | 0.0004 | 17.776 | 0.014 | 0.0008 | 0.0003 |
| 2023.11 | 17.603 | 0.010 | 0.0006 | 0.0006 | 17.872 | 0.016 | 0.0009 | 0.0003 | 17.786 | 0.014 | 0.0008 | 0.0003 |
| 2023.12 | 17.613 | 0.010 | 0.0005 | 0.0003 | 17.883 | 0.016 | 0.0009 | 0.0004 | 17.796 | 0.015 | 0.0008 | 0.0003 |

根据公式中可见是从12个月份中选取5个月份，因而以5个月为滑动，求取出的最大值与最小值，同时两两测道组合计算得到f，见表11，从表11中最小值为0.9985，因而将指标值定为0.9985。

表11观测数据计算结果

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| NS、EW测道 | | EW、N45E测道 | | NS、N45E测道 | |
| f最小值 | f最大值 | f最小值 | f最大值 | f最小值 | f最大值 |
| 0.9986 | 0.9989 | 0.9985 | 0.9989 | 0.9985 | 0.9989 |

# 5.3 仪器最大允许误差测试

5.3.1地电阻率最大允许误差测试（改变电流）

地电阻率最大允许误差测试方法见规范附录C.1.2，该方法参考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》中5.10的方法和技术指标值（各测道的差值均不大于（）Ω·m，按照上述方法布设模拟测量装置，以改变供电电流的方式来检验观测过程的稳定性，即设置装置系数为2000，供电时间大于3s、每次地电阻率测量次数n（n=5），进行测量时分别将供电电流设为0.5A、1.0A、2.0A。随后每组装置系数测量5次，计算测量值与标准值的差值，再求取差值的平均值，该值作为电阻率最大允许误差。

将GEM-1地电阻率仪按照上述方法进行连接测试，测试时间为2022年10月20日-10月25日，得到以下测试结果（表12），从表14中可以看出，该方法得到的结果满足设置的技术指标值，该方法和技术指标值适宜。

表12 电阻率最大允许误差测试结果表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 仪器编号 | 2021002 | | 仪器名称及型号 | | GEM-I | |
| 出厂时间 | 2021 | | 生产厂家 | | 预测所 | |
| 装置系数 | 2000/m | | 测试时间 | | 2022.10.20 -10.25 | |
| 序号 | 供电电流A | 标准视电阻率值Ω·m | 测量值  Ω·m | 差值(测-标）Ω·m | | 最大允许误差  Ω·m |
| 1 | 0.5 | 20.00 | 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 20.01 | 0.01 | | 0.04 |
| 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 均值 | 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 2 | 1.0 | 20.00 | 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 均值 | 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 3 | 2.0 | 20.00 | 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 均值 | 20.00 | 0 | | 0.04 |
| 测试人员 |  | | | | |  |

5.3.2地电阻率最大允许误差测试（改变装置系数）

按照规范附录C.1.3所示方法进行，其技术指标值为各测道的差值均不大于|（0.1%读数＋0.02）|Ω·m该方法引用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》中5.10所述内容，按照上述方法布设模拟测量装置，将GEM-I设备分别连接到有负载电阻和取样电阻组成的模拟测试系统中进行地电阻率最大允许误差测试，测试结果见表13，从表13中可以看出，该方法得到的结果满足设置的技术指标值，该方法和技术指标值适宜。

表13 电阻率测量误差测试

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 仪器名称 | 直流地电阻率仪 | | 申请单位 | 中国地震局地震预测研究所 | |
| 仪器型号 | GEM-Ⅰ | | 仪器编号 | 2021002 | |
| 电流 | 2/A | | 测试时间 | 2021-11-25 | |
| 序号 | 装置系数/m | 标准值/Ω·m | 测量值/Ω·m | 差值(测-标）/Ω·m | 最大允许误差/Ω·m |
|
| 1 | 1000 | 10 | 10.00 | 0 | 0.03 |
| 10.00 | 0 | 0.03 |
| 10.00 | 0 | 0.03 |
| 10.00 | 0 | 0.03 |
| 10.00 | 0 | 0.03 |
| 均值 | 10.00 | 0 | 0.03 |
| 2 | 2000 | 20 | 20.00 | 0 | 0.04 |
| 20.00 | 0 | 0.04 |
| 20.00 | 0 | 0.04 |
| 20.00 | 0 | 0.04 |
| 20.00 | 0 | 0.04 |
| 均值 | 20.00 | 0 | 0.04 |
| 3 | 4000 | 40 | 40.00 | 0 | 0.06 |
| 40.00 | 0 | 0.06 |
| 40.00 | 0 | 0.06 |
| 40.00 | 0 | 0.06 |
| 40.00 | 0 | 0.06 |
| 均值 | 40.00 | 0 | 0.06 |

5.3.3电压最大允许误差测试

电压最大允许误差测试见规范附录C.2，其技术指标值为各测道的差值均不大于（）mV。该方法引用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》中5.3内容，利用饱和标准电池校准直流电位差计的工作电流，随后利用高精度直流电位差计对直流地电阻率仪的电压测量进行电压测量误差直接校准，计算其与直流标准电压源的电压输出值的差值作为电压的测量误差。试验仪器为GEM-Ⅰ设备，其最大量程为±1200mV，测试结果见表14，从表中可见均符合技术要求。

表14 电压最大允许误差测试

单位：mV

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 被测对象 | 仪器名称 | 直流地电阻率仪 | | 申请单位 | | 中国地震局地震预测研究所 | |
| 仪器型号 | GEM-Ⅰ | | 出厂编号 | | 2021002 | |
| 测试时间 | 2021年11月9日 | | 测量条件 | | 温度：17℃，湿度：65%RH。 | | |
| 标准值/mV | | 测得值/mV | | 误差/mV | | | 最大允许误差 |Vmax|/mV |
| V1 | | V2 | | |V2-V1| | | |
| 1200.00 | | 1199.970 | | 0.030 | | | 0.396 |
| 1000.00 | | 999.971 | | 0.029 | | | 0.336 |
| 800.00 | | 799.991 | | 0.009 | | | 0.276 |
| 600.00 | | 599.994 | | 0.006 | | | 0.216 |
| 400.00 | | 400.002 | | 0.002 | | | 0.156 |
| 200.00 | | 200.005 | | 0.005 | | | 0.096 |
| 100.00 | | 100.011 | | 0.011 | | | 0.066 |
| 80.00 | | 80.008 | | 0.008 | | | 0.060 |
| 60.00 | | 60.016 | | 0.016 | | | 0.054 |
| 40.00 | | 40.008 | | 0.008 | | | 0.048 |
| 20.00 | | 20.013 | | 0.013 | | | 0.042 |
| 10.00 | | 10.011 | | 0.011 | | | 0.039 |
| 8.00 | | 8.013 | | 0.013 | | | 0.038 |
| 6.00 | | 6.008 | | 0.008 | | | 0.038 |
| 4.00 | | 4.009 | | 0.009 | | | 0.037 |
| 2.00 | | 2.011 | | 0.011 | | | 0.037 |
| 1.00 | | 1.003 | | 0.003 | | | 0.036 |
| 0.80 | | 0.803 | | 0.003 | | | 0.036 |
| 0.60 | | 0.611 | | 0.011 | | | 0.036 |
| 0.40 | | 0.407 | | 0.007 | | | 0.036 |
| 0.20 | | 0.205 | | 0.005 | | | 0.036 |
| 0.10 | | 0.097 | | 0.003 | | | 0.036 |
| 0.00 | | 0.011 | | 0.011 | | | 0.036 |
| -0.10 | | -0.089 | | 0.011 | | | 0.036 |
| -0.20 | | -0.184 | | 0.016 | | | 0.036 |
| -0.40 | | -0.385 | | 0.015 | | | 0.036 |
| -0.60 | | -0.588 | | 0.012 | | | 0.036 |
| -0.80 | | -0.787 | | 0.013 | | | 0.036 |
| -1.00 | | -0.986 | | 0.014 | | | 0.036 |
| -2.00 | | -1.988 | | 0.012 | | | 0.037 |
| -4.00 | | -3.986 | | 0.014 | | | 0.037 |
| -6.00 | | -5.987 | | 0.013 | | | 0.038 |
| -8.00 | | -7.989 | | 0.011 | | | 0.038 |
| -10.00 | | -9.987 | | 0.013 | | | 0.039 |
| -20.00 | | -19.986 | | 0.014 | | | 0.042 |
| -40.00 | | -39.988 | | 0.012 | | | 0.048 |
| -60.00 | | -59.988 | | 0.012 | | | 0.054 |
| -80.00 | | -79.984 | | 0.016 | | | 0.060 |
| -100.00 | | -99.985 | | 0.015 | | | 0.066 |
| -200.00 | | -199.979 | | 0.021 | | | 0.096 |
| -400.00 | | -399.972 | | 0.028 | | | 0.156 |
| -600.00 | | -599.971 | | 0.029 | | | 0.216 |
| -800.00 | | -799.964 | | 0.036 | | | 0.276 |
| -1000.00 | | -999.956 | | 0.044 | | | 0.336 |
| -1200.00 | | -1199.942 | | 0.058 | | | 0.396 |
| 测试人员 | | 李玉、郭宇鑫、高熹微 | | | | | |

# 5.4检查仪器设备状态及功能

检查比测仪器外观、各部分结构、各接插件连接、各器件完好情况，无影响正常工作的机械损伤，通电之后各项功能能够正常工作，其功能方面能够满足地震行业需求，能够进行台站日常工作。试验仪器为GEM-Ⅰ地电阻率仪，检查结果见表15，均符合技术要求。

表15 功能检测及仪器状态记录表

测试时间： 2021 年 11 月 10 日

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 仪器序号 | | 仪器编号 | | 仪器名称及型号 | 出厂时间 | 生产厂家 | | |
| 仪器\_1\_ | | 2021002 | | GEM-I | 2021 | 中国地震局地震预测研究所 | | |
| 仪器\_\_ | |  | |  |  |  | | |
| 仪器\_\_ | |  | |  |  |  | | |
| 检查名称 | | | 检查项目 | | 检查内容 | 检查结果(Y/N) | | |
| 仪器\_1\_ | 仪器\_\_ | 仪器\_\_ |
| 仪器设备及状态 | | | 外观完好、无机械破损 | | 无破损 | Y |  |  |
| 基础文件完备 | | 无缺失 | Y |  |  |
| 各配件齐整、各接口完好 | | 无缺失 | Y |  |  |
| 仪器开机工作情况 | | 正常工作 | Y |  |  |
| 功能检查 | 工作参数设置功能 | | 测向分量代码 | | 查看、修改 | Y |  |  |
| 台站名称、台站代码、仪器ID | | 查看、修改 | Y |  |  |
| 各测道的装置系数K | | 查看、修改 | Y |  |  |
| 控制功能 | | 仪器自动校时、人工校时 | | 可切换 | Y |  |  |
| 网络功能 | | 地震行业规定网络通信协议 | | 正常入库 | Y |  |  |
| 文件下载 | | 下载、浏览 | Y |  |  |
| IP地址、网关、子网掩码 | | 查看、修改 | Y |  |  |
| 显示功能 | | 仪器当前时间和结果\* | | 查看、修改 | Y |  |  |
| 校准功能 | | 零点、满度\* | | 校准 | Y |  |  |
| 检查人员 | | | 高熹微、郭宇鑫 | | | | | |
| 说明：带\*号的检查项目为可选内容，不做判定依据。 | | | | | | | | |

# 5.5检查仪器试观测

将GEM-1地电阻率仪器通电之后连接观测装置进行试观测，测试时间为2022年10月20，得到以下测试结果（表16），各项功能够正常工作和显示，能完成整个测量过程。

表16 仪器功能运行状态检查记录表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **仪器名称及型号** | | GEM-I | | **仪器编号** | 2021002 | |
| **出厂时间** | | 2021 | | **生产厂家** | 预测所 | |
| **仪器序号** | **测向** | **自然电位** | **地电阻率** | **均方差** | | **检查结果(Y/N)** |
| 1 | 1 | √ | √ | √ | | **Y** |
| 2 | √ | √ | √ | | **Y** |
| 3 |  |  |  | |  |
| ... |  |  |  | |  |
| 2 | 1 |  |  |  | |  |
| 2 |  |  |  | |  |
| 3 |  |  |  | |  |
| ... |  |  |  | |  |
|  |  |  |  |  | |  |

# 5.6检查仪器功能运行状态

检查GEM-I地电阻率仪运行时的功能状态，检查结果见表17，此检查内容只为体现仪器功能的运行状态，未设置技术要求。

表17 仪器功能运行状态检查记录表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 仪器名称 | | 直流地电阻率仪 | | | 出厂编号 | | 2021002 | | |
| 仪器型号 | | GEM-I | | | 申请单位 | | 中国地震局地震预测研究所 | | |
| 检查时间 | 检查项目 | | | | | | | 观测室 | |
| 网页内容是否完整（Y/N） | | 数据入库是否正常（Y/N） | 数据文件下载是否正常（Y/N） | | 仪器时间差(仪器时间-标准时间)/秒 | | 温度/℃ | 湿度/%RH |
|
| 11.14 | Y | | Y | Y | | 1 | | 19 | 50 |
| 11.15 | Y | | Y | Y | | 3 | | 19 | 48 |
| 11.16 | Y | | Y | Y | | 2 | | 20 | 50 |
| 11.17 | Y | | Y | Y | | 3 | | 19 | 60 |
| 11.18 | Y | | Y | Y | | 2 | | 19 | 60 |
| 11.19 | Y | | Y | Y | | 3 | | 20 | 64 |
| 11.20 | Y | | Y | Y | | 2 | | 19 | 63 |
| 11.21 | Y | | Y | Y | | 2 | | 19 | 66 |
| 11.22 | Y | | Y | Y | | 1 | | 18 | 46 |
| 11.23 | Y | | Y | Y | | 2 | | 18 | 36 |
| 11.24 | Y | | Y | Y | | 0 | | 17 | 38 |
| 11.25 | Y | | Y | Y | | 1 | | 17 | 44 |
| 11.26 | Y | | Y | Y | | 1 | | 18 | 50 |
| 11.27 | Y | | Y | Y | | 2 | | 18 | 52 |
| 11.28 | Y | | Y | Y | | 2 | | 17 | 54 |
| 11.29 | Y | | Y | Y | | 2 | | 18 | 54 |
| 11.30 | Y | | Y | Y | | 3 | | 17 | 42 |
| 12.01 | Y | | Y | Y | | 3 | | 16 | 34 |
| 12.02 | Y | | Y | Y | | 3 | | 16 | 42 |
| 12.03 | Y | | Y | Y | | 3 | | 16 | 42 |
| 12.04 | Y | | Y | Y | | 1 | | 16 | 48 |
| 12.05 | Y | | Y | Y | | 2 | | 17 | 50 |
| 12.06 | Y | | Y | Y | | 2 | | 17 | 50 |
| 12.07 | Y | | Y | Y | | 1 | | 17 | 69 |
| 12.08 | Y | | Y | Y | | 2 | | 15 | 58 |
| 12.09 | Y | | Y | Y | | 3 | | 16 | 57 |
| 12.10 | Y | | Y | Y | | 3 | | 16 | 60 |
| 12.11 | Y | | Y | Y | | 3 | | 15 | 52 |
| 12.12 | Y | | Y | Y | | 2 | | 16 | 52 |
| 12.13 | Y | | Y | Y | | 3 | | 15 | 60 |

# 5.7连续率、有效率、故障统计

对比测时段内的连续率、有效率和故障进行统计，其技术要求为比测时段内连续率、有效率不得低于95%。其中无效数据为比测期间比测仪器与参考仪器的观测数据差值大于（）Ω·m。

在这其中观测数据无效的数据定为比测期间比测仪器与参考仪器的观测数据差值大于（）Ω·m的比测仪器观测数据总个数，其中测值为参考仪器同时段观测数据。为了验证该指标值是否合理，利用2021年度高邮比测平台进行GEM-1地电阻率仪器台站比测产出地表NS、EW向两测道约6个月对比观测数据，参考仪器为高邮台现运行的ZD8MI多极距地电阻率仪，计算产出的2021年11月14日至2022年5月13日的地表NS、EW向两测道观测数据差值，绘制成图1，两台GEM-1比测仪器与参考仪器ZD8MI多极距地电阻率仪的差值均小于（）Ω·m，表明该技术指标值能够满足，见图1。同时该仪器在比测期间未出现故障。

E:\gy\地电平台规程编制\计量规范项目申报\规范编写\规范说明技术参数计算\数据有效率\数据有效率.tif

图1 参考仪器与比测仪器差值

# 5.8 观测数据精度分析

1）小时观测值相对均方差的日均值

小时观测值相对均方差的日均值的技术指标值为应不大于0.3%。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，即小时观测值均方差，在此基础上在求取其相对均方差，取其平均值，得到小时观测值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。为了验证该指标值是否合理，利用2021年度高邮比测平台进行GEM-1地电阻率仪器(2台)台站比测产出地表NS、EW向两测道约6个月对比观测数据，参考仪器为高邮台现运行的ZD8MI多极距地电阻率仪，计算产出的2021年11月14日至2022年5月13日的地表NS、EW向两测道观测数据小时观测值相对均方差的日均值，绘制成图2，从图中看出均满足0.3%技术指标值，表明该技术指标值能够满足。

E:\gy\地电平台规程编制\计量规范项目申报\规范编写\规范说明技术参数计算\小时观测值3倍相对均方差的日均值\高邮台\小时观测值3倍相对均方差的日均值.tif

图2 小时观测值相对均方差的日均值

2）观测值日均值的相对试验标准偏差

观测值日均值的相对试验标准偏差的技术指标值为应不大于0.3%。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相对试验标准偏差，以考察仪器观测的稳定性。为了验证该指标值是否合理，利用2021年度高邮比测平台进行GEM-1地电阻率仪器(2台)台站比测产出地表NS、EW向两测道约6个月对比观测数据，参考仪器为高邮台现运行的ZD8MI多极距地电阻率仪，计算产出的2021年11月14日至2022年5月13日的地表NS、EW向两测道观测值日均值的相对试验标准偏差，绘制成图3，从图中看出均满足0.3%技术指标值，表明该技术指标值能够满足。

E:\gy\地电平台规程编制\计量规范项目申报\规范编写\规范说明技术参数计算\地电阻率观测值3倍相对均方差\高邮台\观测值日均值的3倍.tif

图3 观测值日均值的3倍相对试验标准偏差

3）月观测精度

按月观测精度的技术指标值为应不大于0.3%。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，以考察仪器观测的稳定性。为了验证该指标值是否合理，利用2021年度高邮比测平台进行GEM-1地电阻率仪器(2台)台站比测产出地表NS、EW向两测道约6个月对比观测数据，参考仪器为高邮台现运行的ZD8MI多极距地电阻率仪，计算产出的2021年11月14日至2022年5月13日的地表NS、EW向两测道观测值月观测精度，见表18，从表中看出均满足0.3%技术指标值，表明该技术指标值能够满足。

表18 月观测精度计算结果表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | 月观测精度/% | | | | | |
| 参考仪器 | | 比测仪器1 | | 比测仪器2 | |
| NS向 | EW向 | NS向 | EW向 | NS向 | EW向 |
| 11.14-12.13 | 0.024 | 0.012 | 0.022 | 0.015 | 0.024 | 0.014 |
| 12.14-1.13 | 0.029 | 0.019 | 0.039 | 0.026 | 0.029 | 0.021 |
| 1.14-2.14 | 0.012 | 0.006 | 0.011 | 0.013 | 0.015 | 0.013 |
| 2.15-3.12 | 0.015 | 0.009 | 0.012 | 0.012 | 0.015 | 0.010 |
| 3.13-4.12 | 0.023 | 0.008 | 0.023 | 0.018 | 0.023 | 0.014 |
| 4.13-5.12 | 0.037 | 0.030 | 0.039 | 0.031 | 0.038 | 0.033 |

# 5.9数据一致性分析

观测值差值绝对值的平均值的技术指标值：应不大于（0.2%测值+0.04）Ω·m，符合率应大于95%。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技术指标值，以此来考察比测仪器是否存在漂移。为了验证该指标值是否合理，利用2021年度高邮比测平台进行GEM-1地电阻率仪器(2台)台站比测产出地表NS、EW向两测道约6个月对比观测数据，参考仪器为高邮台现运行的ZD8MI多极距地电阻率仪，计算产出的2021年11月14日至2022年5月13日参考仪器与比测仪器的地表NS、EW向两测道观测值差值绝对值的平均值，计算结果见图4，从图中看出均满足（0.2%测值+0.04）Ω·m技术指标值，表明该技术指标值能够满足。

E:\gy\地电平台规程编制\计量规范项目申报\规范编写\规范说明技术参数计算\差值\高邮台\差值绝对值的平均值.tif

图4 观测值差值绝对值的平均值

# 六、试验结论

通过对高邮地震台场地电观测场地的观测装置检查，GEM-1直流地电阻率仪和ZD8MI多极距地电阻率仪的试验验证，证明制定的《地震监测直流地电阻率仪台站比测技术规范》中的比测方法及其技术要求合理、可靠，可以为直流地电阻率仪在实际工作中长期运行的可靠性以及观测数据的真实、准确提供基础数据支撑。