

T/NMRJ

内蒙古认证和检验检测协会团体标准

T/NMRJ 013—2023

土壤电阻率测定 温纳装置法

Test Method for Measuring Soil Resistivity Using the Wenner Apparatus

2024 - 01 - 16 发布

2024 - 01 - 16 实施

目 次

前 言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
3.1 电极	3
3.2 温纳装置	3
3.3 供电电极距 (AB) source electrode spacing	3
3.4 测量电极距 (MN) potential electrode spacing	3
3.5 记录点 (O) registration point	3
3.6 装置系数 (K) geometric factor	3
3.7 供电电压 (U) voltage	4
3.8 供电电流强度 (I) current intensity	4
3.9 测量电位差 (ΔU) potential difference	4
3.10 接地电阻 (R_0) ground resistance	4
3.11 土壤电阻率 (ρ) earth resistivity	4
4 方法原理	4
5 仪器设备	4
5.1 导线	4
5.2 电极	4
6 试验方法	4
6.1 测点选择	4
6.2 现场测试	4
6.3 注意事项	5
6.4 质量控制	5
6.5 测试次数	6
6.6 测试时间	6
6.7 结果计算	6
7 精密度	6
7.1 重复性	6
7.2 再现性	6
8 报告	7
附录 A (规范性) 成果报告编写内容与要求	8
附录 B (资料性) 成果报告图表参考格式	9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由包钢勘察测绘研究院提出。

本文件由内蒙古自治区检验检测标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：包钢勘察测绘研究院、包头冶金建筑研究院、包钢（集团）公司白云鄂博铁矿、内蒙古自治区产品质量检验研究院、内蒙古自治区检验检测标准化技术委员会。

本文件主要起草人：张加刚、刘海波、王亚茹、张强、李彦婷、邸兴盛、禅哲思、赵永岗、刘峰、郭希静、张利萍、马坤佳、高雅婧。

土壤电阻率测定 温纳装置法

1 范围

本文件规定了土壤电阻率的测定方法。

本文件中土壤电阻率是在地下岩土体电性分布不均匀或地表起伏不平的情况下，按照测定均匀水平大地电阻率的方法计算的结果。

本文件所述试验方法适用于测量地表以下 30m~100m 深度范围的土壤电阻率。地表以下 100~200m 深度范围的土壤不适用于本文件。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

《电阻率剖面法技术规程（DZ/T 0073-2016）》

《电阻率测深法技术规程（DZ/T 0072-1993）》

《数值修约规则与极限数值的表示和判定（GB/T 8170-2008）》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 电极 electrode

电法勘探工作中，如图 1 所示，通过地面的点电流源 A (+) 和 B (-) 向地下供入电流，在 M、N 两点通过一对测量电极与观测电位差的仪器相接，统称 A、B 和 M、N 分别为供电电极和测量电极。

3.2 温纳装置 wenner apparatus

供电电极、测量电极的排列方式和移动方式称为电极装置。为方便起见，常将电极按照 AMNB 的顺序排列在一条直线上，当电极间距离（电极距）AM=MN=NB 时，这种对称等距排列称为温纳 (Wenner) 装置。

3.3 供电电极距 (AB) source electrode spacing

供电电极 A、B 之间的距离。

3.4 测量电极距 (MN) potential electrode spacing

测量电极 M、N 之间的距离。

3.5 记录点 (O) registration point

指测量电极 M、N 间中点。

3.6 装置系数 (K) geometric factor

各个电极位置间的几何关系，
$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}$$

3.7 供电电压 (U) voltage

供电电极 A、B 两点之间输入的电压。

3.8 供电电流强度 (I) current intensity

通过供电电极 A、B 向地下供入的电流强度。

3.9 测量电位差 (ΔU) potential difference

测量电极 M、N 两点之间电位差。

3.10 接地电阻 (R_0) ground resistance

指电流通过接地装置流向大地受到的阻碍作用。

3.11 土壤电阻率 (ρ) soil resistivity

是土壤的一种基本物理特性，是单位体积的土壤内在一定电场作用下对电流的导电性能。

4 方法原理

据实际情况，在测试场地内选择均匀分布的测试点，采用等距排列的温纳装置，通过供电电极向大地供电，通过直流电法仪器测得供电电流强度和测量电极间的电位差，计算得到测场地的土壤电阻率。

5 仪器设备

5.1 导线

供电和测量导线应根据施工要求选用拉力强、电阻小、绝缘高的耐磨导线。

5.2 电极

供电和测量电极应符合下列要求：

- A: 供电电极应坚固耐用，导电性能良好，一般宜采用金属棒状电极；
- B: 在接地电阻大或需大供电电流工作的测区，宜采用铝箔或铜箔电极；
- C: 测量使用的铜、高碳钢或不极化测量电极，要求电化学性能稳定，极差变化小；
- D: 当测区水系比较发育或地表腐殖层极不均匀时，应使用不极化电极。

6 试验方法

6.1 测点选择

6.1.1 测试点应选择在有代表性区域，如坝址区、主厂房、变压室、开关站、尾调室、尾水洞、压力管道、避雷建筑、升压站等场地或位置。

6.1.2 对于需要平整的场地，应在回填土层施工完成后再进行测量。

6.1.3 测试点在测试场地内应均匀分布，每个场地测点不宜少于 3 个，测点距不宜大于 30m。

6.2 现场测试

6.2.1 如图 1 所示，对称四极装置的特点是 $AM=NB$ ，记录点 O 位于 MN 中点。如果 $AM=MN=NB=a$ 时，这种等距排列称为温纳装置，此时装置系数为 $K=2\pi a$ 。常用的电极距布置如

表 1 所示。

6.2.2 通过供电电极 AB 向大地供电,通过直流电法仪器测得供电电流强度 I 和测量电极 MN 间的电位差 ΔU , 通过公式得到被测场地的土壤电阻率。

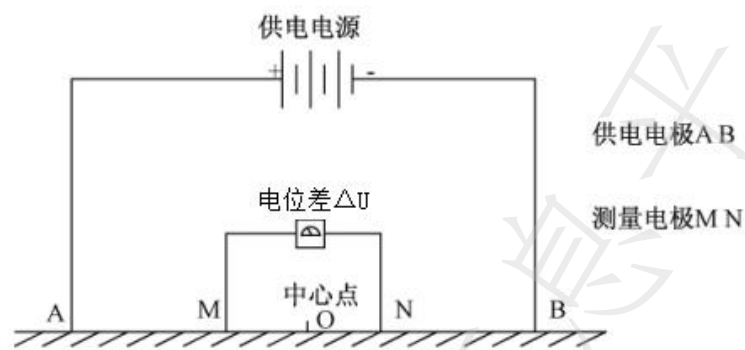


图 1 温纳装置法测定土壤电阻率

表 1 电极距布置

AB/2 (m)	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0
MN/2 (m)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0

6.3 注意事项

6.3.1 四根电极必须严格的对称布设在测点两侧的同一条直线上,电极间距离 a 应不小于电极埋设深度 h 的 20 倍,即 a 大于或等于 $20h$ 。

6.3.2 电极的连接顺序应和测试仪上的端口严格对应。

6.3.3 电极必须和地层充分接触,接地电阻 R_0 应小于 $5k\Omega$ 。如果遇到表层松散的土体,应先清理掉松散层,再把电极打入地层,在电极周围浇灌盐水,压实,使电极和地层充分接触;如果地层坚硬,不能直接打入电极,为了防止损坏电极,应先使用工具凿开一个小孔,再插入电极,在小孔周围充填粘土,浇灌盐水压实,保证电极和地层充分接触。

6.3.4 土壤电阻率测试应在干燥季节或天气晴朗多日后进行,严禁在雨后 48h 内进行土壤电阻率测试。

6.4 质量控制

6.4.1 检查观测遵循“一同三不同”或“二同二不同”的原则,即按同点位、不同时间、不同仪器(进行过仪器一致性测定并符合技术要求的仪器)、不同操作员的原则进行;在只使用一台仪器的测区,应按同点位、同仪器、不同时间、不同操作员的原则进行。

6.4.2 检查工作量一般应为测区总工作量的 3%,且不少于 1 个测点(站)。检查测量的总均方

误差不应大于 5%。

6.5 测试次数

对每个独立的测点进行两次测定，取其平均值，数值修约应按照 GB/T 8170 执行。

6.6 测试时间

测试时供电时间常用值为 0.5s，当接地电阻较大时可适当增加；供电电流低于 20mA 时结果作废。

6.7 结果计算

按照式 (1) 计算被测场地的土壤电阻率 ρ ：

$$\rho = K \cdot \frac{\Delta U}{I} = 2\pi a \cdot \frac{\Delta U}{I} \dots\dots\dots (1)$$

式中

ρ ——被测场地的土壤电阻率，欧 [姆]·米 ($\Omega \cdot m$)；

K ——温纳装置系数， $K=2\pi a$ ，米 (m)；

ΔU ——测量电极 MN 间的电位差，毫伏 [特] (mV)；

I ——供电电流强度，毫安 [培] (mA)。

7 精密度

7.1 重复性

在重复性条件下，两次测量结果的相对误差 u_i 应小于 $\sqrt{2}m$ ，其中， m 表示设计的无位均方相对误差（本试验方法的设定值为 3%）。 u_i 的计算公式为：

$$u_i = \frac{|\rho_i' - \rho_i|}{(\rho_i' + \rho_i)/2} \times 100\%$$

式中：

ρ_i, ρ_i' ——原始观测与检查观测的视电阻率值。

7.2 再现性

在再现性条件下，检查工作量一般应为测区总工作量的 3%，且不少于 1 个测点(站)。检查测量的总均方误差 M 不应大于 5%。 M 的计算公式为：

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n u_i^2}$$

式中：

M ——总均方相对误差；

n ——参加统计计算的数据个数；

u_i ——诸受检点的相对误差（第 i 个参加评定的单个极距的相对误差）。

8 报告

8.1 成果报告主要内容参照附录 A，提供实测电阻率值表、电性参数分层数值表，绘制场地各测点分布图、电测深曲线，并说明测点土壤性质、湿度及其他需要特别说明的情况。

8.2 电测深曲线以 $AB/2$ 为横坐标轴，以电阻率值 ρ 为纵坐标轴。应提供测试点下部土壤电性分层情况。图表格式参见附录 B。

附录 A
(规范性)
成果报告编写内容与要求

A.1 工程概述

描述任务来源、具体任务、工作目的。

A.2 方法名称及编号

《土壤电阻率测定 温纳装置法 (T/NMRJ 013-2023)》。

A.3 数据采集

描述工作所使用的的仪器及其参数指标；描述测线测点的布置情况。

A.4 资料处理

描述资料处理的方法；绘制实测电阻率值表和电测深曲线；对数据进行解释推断。

A.5 结论建议

绘制电性分层表，描述主要成果，提出应用建议。

附录 B
(资料性)
成果报告图表参考格式

B.1 实测电阻率值表格式

表 B.1 实测电阻率值表 (单位: $\Omega \cdot m$)

AB/2(m)	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	12.0	15.0
MN/2(m)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	4.0	5.0
深度(m)	0—0.75	0.75—1.5	1.5—2.25	2.25—3	3—3.75	3.75—6	6—7.5
1							
2							
3							
4							
5							

B.2 测点电测深曲线格式

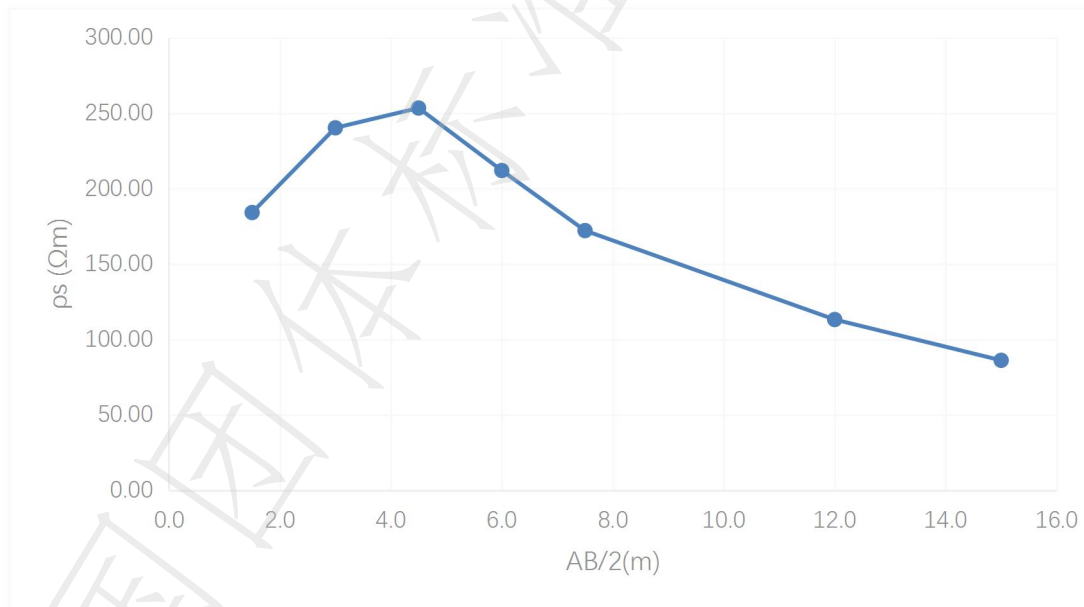


图 B.2 测点电测深曲线

B.3 电性参数分层数值表格式

表 B.3 电性参数分层数值表

电性分层(m)			实测范围值 ($\Omega \cdot m$)	测期建议值 ($\Omega \cdot m$)	备注
顶深	底深	厚度			
0.00	0.75	0.75			
0.75	1.50	0.75			

表 B.3 续

电性分层(m)			实测范围值 ($\Omega \cdot m$)	测期建议值 ($\Omega \cdot m$)	备注
顶深	底深	厚度			
1.50	2.25	0.75			
6.00	7.50	1.50			
2.25	3.00	0.75			
3.00	3.75	0.75			