



# 中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0305—2017

---

## 天然场音频大地电磁法技术规程

Technical specification for natural field audio magnetotellurics

2017-03-06 发布

2017-05-01 实施

---

中华人民共和国国土资源部 发布

# 目 次

前言 .....	Ⅲ
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义、符号和计量单位 .....	1
3.1 术语和定义 .....	1
3.2 符号和计量单位 .....	1
4 总则 .....	2
4.1 应用范围 .....	2
4.2 应用条件 .....	2
5 技术设计 .....	2
5.1 设计准备 .....	2
5.2 工作精度 .....	2
5.3 设计书编写 .....	3
5.4 设计书审批与变更 .....	4
6 野外工作 .....	5
6.1 仪器准备与使用要求 .....	5
6.2 生产前试验 .....	6
6.3 测线、测点布置 .....	6
6.4 观测装置的铺设 .....	6
6.5 观测 .....	8
6.6 电阻率参数测定 .....	8
6.7 质量检查 .....	9
6.8 野外资料质量评价 .....	10
6.9 野外资料质量检查和验收 .....	10
7 资料处理与解释 .....	11
7.1 资料处理 .....	11
7.2 资料解释 .....	12
8 报告编写 .....	12
8.1 编写要求 .....	12
8.2 报告主要内容 .....	13
8.3 主要图件 .....	14
8.4 附件及附表 .....	14
8.5 资料存档 .....	14
附录 A (规范性附录) 天然场音频大地电磁法测点班报表 .....	15
附录 B (规范性附录) 天然场音频大地电磁法质量检查点误差统计计算表 .....	17
附录 C (规范性附录) 天然场音频大地电磁法视电阻率曲线、相位曲线质量评价表 .....	18
参考文献 .....	19

## 前 言

本标准按 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构与编写》的规则起草。

本标准由中华人民共和国国土资源部提出。

本标准由全国国土资源标准化技术委员会(SAC/TC 93)归口。

本标准起草单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所。

本标准起草人：雷达、谭捍东、林昌洪、张强、王刚、朱威、姚大为。

天然场音频大地电磁法技术规程

1 范围

本标准规定了天然场音频大地电磁法技术设计、野外工作、资料处理与解释和成果报告等的技术要求和规则。

本标准适用于陆地矿产资源勘查、地质填图和水文、工程、环境、灾害地质等调查中的天然场音频大地电磁法工作。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GB/T 18314 全球定位系统(GPS)测量规范

DZ/T 0153 物化探工程测量规范

3 术语、定义、符号和计量单位

3.1 术语和定义

**天然场音频大地电磁法** **natural field audio magnetotellurics**

基于电磁感应原理,在地面测量相互正交的音频范围(0.1 Hz~50 kHz)电场和磁场分量,计算视电阻率和阻抗相位(简称相位),研究地下电阻率结构的一种被动源的频率域测深方法,英文简称 AMT。

3.2 符号和计量单位

天然场音频大地电磁法的常用符号及计量单位见表 1。

表 1 常用符号及计量单位

序号	术语名称	符号	计量单位(名称)
1	频率	$f$	Hz(赫[兹])
2	周期	$T$	s(秒)
3	趋肤深度	$\delta$	m,km(米,千米)
4	探测深度	$D$	m,km(米,千米)
5	电场	$E$	mV/km(毫伏[特]每千米)
6	磁场	$H$	nT,T(纳特[斯拉],特[斯拉])
7	视电阻率	$\rho_s$	$\Omega \cdot m$ (欧[姆]米)
8	相位	$\varphi$	( $^{\circ}$ ),mrad(度,毫弧度)
9	电阻率	$\rho$	$\Omega \cdot m$ (欧[姆]米)
10	接地电阻	$R$	$\Omega$ (欧[姆])

## DZ/T 0305—2017

### 4 总则

#### 4.1 应用范围

- 4.1.1 用于地质填图,探测地下电阻率结构。
- 4.1.2 用于固体矿产勘查,探测与金属、非金属矿产有关的地质构造和地质目标体。
- 4.1.3 用于能源矿产勘查,探测与油气、煤炭、放射性矿产有关的地质构造和地质目标体。
- 4.1.4 用于水文、工程、环境、灾害地质调查,探测与其有关的地质目标体。
- 4.1.5 探测其他有电阻率差异的目标体。

#### 4.2 应用条件

- 4.2.1 目标体与围岩存在明显电阻率差异。
- 4.2.2 目标体有足够的尺度能在地表引起可分辨的异常。
- 4.2.3 信噪比能满足本标准所规定的观测数据质量要求。
- 4.2.4 地形地貌条件适合测站布设。

### 5 技术设计

#### 5.1 设计准备

##### 5.1.1 资料收集

- 5.1.1.1 应根据工作任务要求,收集相关的地质、地球物理、地球化学、勘查工程等资料。
- 5.1.1.2 收集或实测测区地层、主要岩矿石电阻率参数资料。
- 5.1.1.3 收集测区有关测绘、三角点坐标资料,用 GPS 测量时收集 GPS 校正参数。

##### 5.1.2 野外踏勘

- 5.1.2.1 实地踏勘测区地形、地貌、交通、气象、居民点、植被等条件,调查测区电磁干扰源情况;发现有电磁干扰源时,应进行实测与评价,制定相应的抗干扰措施。
- 5.1.2.2 核对收集到的地质、物化探及测绘等资料;依据实际情况,对复核性不好的资料进行补充收集。

#### 5.2 工作精度

- 5.2.1 工作精度应根据地质勘查任务、测区噪声水平以及其他因素进行设计。
- 5.2.2 工作精度分为两档,并依据 6.7.4 中公式(7)来衡量。视电阻率和相位用均方相对误差来衡量。在电磁干扰小的地区,视电阻率和相位的均方相对误差不大于 7%;在电磁干扰很强的地区,视电阻率和相位的均方相对误差可适当放宽到 15%。

##### 5.2.3 方法技术有效性分析及试验

###### 5.2.3.1 方法技术有效性分析

在编写设计前,应对采用 AMT 法可解决的具体地质任务的方法技术有效性做详细分析与评价。

a) 应依据下列资料对方法的有效性进行分析:

- 1) 相邻地区或其他条件类似地区的实际工作成果;
  - 2) 根据收集到的岩矿石电阻率参数等综合资料,建立测区的地电模型,进行正演计算,研究所需探测的主要电性层(体)在天然场音频大地电磁测量曲线上显示的特征及其探测的可行性,并进行有效性分析;
  - 3) 根据野外现场踏勘和试验情况,对电磁干扰程度进行评价;
  - 4) 以往的经验勘查模式。
- b) 对于地质条件具备而方法有效性尚不能完全肯定的测区,应做野外方法有效性试验,包括应用条件和抗干扰方法试验,合理地选择测网、电极距、观测频段和观测时间等技术参数,为施工方案设计提供依据或检验施工方案的正确性。

### 5.2.3.2 有效性试验

5.2.3.2.1 在编写设计前因地质条件具备而方法有效性尚不能完全肯定的测区和在开工初期应安排必要的技术试验,以确定最佳技术方案。技术试验剖面应符合以下要求:

- a) 技术试验剖面应选在地质情况比较清楚、有代表性的地段,以确定合理施工参数及参考点位置。
- b) 试验点应选在地形平坦、干扰背景平静地区,在条件许可时,宜在已知地质剖面上或钻孔旁进行。
- c) 选择多个地形平坦、干扰背景平静地方,通过试验确定最佳的远参考点。
- d) 通过实测测区电磁干扰信号,判断电磁干扰源的类型、强度、频率分布范围和干扰时段等特征,为避开、减少或压制电磁干扰场的影响提供方法依据。

5.2.3.2.2 技术试验内容包括:

- a) 测量电极距:试验可依据设计书和工作目的要求,一般选多个不同电极距,对观测结果对比,确定电极距范围。
- b) 观测时间长度:根据探测深度和干扰水平确定观测时间,并进行观测时间长度试验,结合视电阻率和相位曲线圆滑连续情况,选取合理的观测时间长度。

## 5.3 设计书编写

### 5.3.1 要求

在编写设计时,应根据工作目的任务和测区的实际情况,确定野外施工的测网、观测装置、观测频段和观测时间,以及工作精度。

### 5.3.2 参数选择

5.3.2.1 观测频率范围应依据勘查任务目标拟探测的最大深度和测区介质的平均电阻率初步确定。

5.3.2.2 测量电极距应根据所勘查的地质目标体规模和电场信号强弱程度确定。实际观测过程中,可根据实际情况(如地形、障碍物等因素)适当改变电极距的大小。

### 5.3.3 测网选择

5.3.3.1 测网应根据地质任务、工作性质、勘查对象和地形地貌合理选择,点线距应能良好反映目标地质体尺度(参照 GB/T 18314 及 DZ/T 0153)。AMT 法常用比例尺和测网密度见表 2。

5.3.3.2 测点的平面点位误差在工作比例尺成果图上应不大于 1 mm。

5.3.3.3 测线方向尽可能垂直于探测主要地质目标体的走向。

5.3.3.4 测点位置应避开高压线等电力设施,以及大的村镇、厂矿区、山峰和狭窄的沟谷。

DZ/T 0305—2017

表 2 测网密度表

比例尺	线距/m	点距/m
1 : 100 000	1 000	500~1 000
1 : 50 000	500	250~500
1 : 25 000	250	100~250
1 : 10 000	100	50~100
1 : 5 000	50	20~50
1 : 2 000	20	10~20

- 5.3.3.5 测线尽可能与已有的地质、物化探勘查剖面重合。
- 5.3.3.6 测点、测线号编排采用相同比例尺,点线号按自西向东、自南向北增大的顺序编排。

5.3.4 设计书内容

设计书包括如下内容:

- a) 序言:简述测区与 AMT 测量有关的自然地理、经济地理概况及测区的特点。
- b) 任务与目的及工作布置:按照任务书的要求,简述项目来源、工作目的任务、工作范围及比例尺、勘查目标物、工作布置、实物工作量、技术经济指标、预期成果等。
- c) 测区概况,地质、地球物理特征,以往工作成果和评价:阐述测区内与工作任务有关的地质及地电情况。一般可包括:以往的地质和电磁法工作程度、主要成果(包括条件类似的邻区的电磁法测深、电测井成果),以及对这些工作的评价;测区的地质特点,包括地层、构造、岩浆岩、矿产及水文地质等;测区的地电特点,列举与工作有关的各种岩性介质的电阻率参数及各种地质体或构造的物理场特点;测区的干扰情况。根据收集和踏勘取得的资料,分析开展 AMT 法工作的有利和不利条件以及完成工作目的任务的可行性。
- d) 方法技术、仪器设备、技术指标、工作量及质量要求:阐述设计的 AMT 测深要解决的具体地质问题,分析其合理性和有效性。阐述技术试验的选择及试验结论。阐述野外工作方法技术的选择,包括测区、剖面布置及测网选择,对仪器的性能及使用、标定和测定等要求;观测技术与质量要求;资料整理、数据预处理方法与要求;电阻率参数测定的要求等。
- e) 工作部署,各阶段工作安排及时间分配。
- f) 数据处理与解释推断方法:说明数据处理、解释推断的方法及保证成果资料质量的措施。
- g) 安全生产、组织与管理:阐述保证野外工作质量、工作安全(人员及仪器)、提高工作效率的技术措施。
- h) 提交成果的内容及时间。
- i) 经费预算。
- j) 有关附图及附表(交通位置图、工作布置图、地质图等)。

5.4 设计书审批与变更

- 5.4.1 设计书应由任务来源单位组织审批,未经批准的设计书不得施工。
- 5.4.2 在施工过程中,因客观条件的影响,无法按照设计书执行时,可根据实际情况对设计书进行调整,调整结果需得到任务来源单位的确认。

## 6 野外工作

### 6.1 仪器准备与使用要求

6.1.1 仪器设备的主要性能指标应达到设计的技术要求。

6.1.2 测量电极应采用不极化电极,电极放置在水中检测,电极电位差不超过 2 mV。

6.1.3 对仪器设备进行标定与检测,仪器标定应满足以下要求:

- 工区开工前和仪器发生故障后应对仪器进行标定以检查仪器是否正常。
- 测区工作前和工作期间应视工期长短定期对接收机和附属设备进行调节检测。接收机具有自检功能的,应定期进行自动校准检测。磁探头应在开工前进行校准,若发现出现异常现象应及时校准(校准方法可依据各仪器自带的说明书的规定)。
- 应按不同仪器的要求定期进行标定,相邻两次标定的视电阻率的相对误差应不大于 2%。
- 所有使用的仪器设备都应进行标定,不能标定的仪器,应进行仪器稳定性测试。各项指标合格后方可进行野外工作。

6.1.4 野外测量仪器应在测区开工和收工前进行平行测试,相邻电道或磁道间测试的频率域结果相对误差应不大于 2%。

6.1.5 仪器一致性检查,应按下列要求进行:

- 同一测区有两台或两台以上仪器测量时,测量开工前与结束后应进行多台仪器一致性对比试验,应有 80% 以上的频点测量结果的均方相对误差不大于 5%。
- 仪器一致性对比应在野外条件下,选择电磁干扰小的地段进行单点全频段测定。
- 仪器一致性由某测点多台仪器观测的视电阻率总均方相对误差  $\epsilon_{\text{一致性}}$  来衡量,计算公式为

$$\epsilon_{\text{一致性}} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{V_{ij}^2}{(L-n)}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$V_{ij}$  ——第  $j$  台仪器在第  $i$  频点视电阻率观测值与  $m$  台仪器在第  $i$  频点上视电阻率观测值平均值的

相对误差,  $V_{ij} = \frac{(\rho_{ij} - \bar{\rho}_i)}{\bar{\rho}_i}$  (其中,  $\rho_{ij}$  为第  $j$  台仪器在第  $i$  频点视电阻率观测值;  $\bar{\rho}_i$  为  $m$  台仪器

在第  $i$  频点视电阻率观测值平均值,  $\bar{\rho}_i = \sum_{j=1}^m \frac{\rho_{ij}}{m}$ );

$m$  ——参加一致性观测的仪器台数;

$n$  ——参与一致性试验的观测频点数;

$L$  ——相对误差的总个数,  $L = m \times n$ 。

d) 一致性试验的  $\epsilon_{\text{一致性}}$  应不大于设计的观测误差,否则应从参加试验的  $m$  台仪器中找出偏离均方误差  $\epsilon_{j\text{偏}}$  大的某仪器不予使用,或经调节该仪器性能后达到一致性要求时方可使用。

e) 从参加一致性试验的  $m$  台仪器中找出  $\epsilon_{j\text{偏}}$  大的仪器可采用以下公式:

$$\epsilon_{j\text{偏}} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n (\rho_{ij} - \bar{\rho}_i)^2 / (n-1)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\rho_{ij}$  ——第  $j$  台仪器在第  $i$  频点视电阻率观测值;

$\bar{\rho}_i$  —— $m$  台仪器在第  $i$  频点视电阻率观测值平均值,  $\bar{\rho}_i = \sum_{j=1}^m \frac{\rho_{ij}}{m}$  (其中,  $m$  为参加一致性观测的仪器



DZ/T 0305—2017

台数)；

 $n$  ——参与一致性试验的观测频点数。

6.1.6 施工仪器在开工前、收工后和施工满六个月，应在干扰小的对比点采用相同装置观测，同台仪器相邻两次测定同一极化模式视电阻率和相位的均方相对误差应不大于5%。开工前、收工后的测定允许与仪器一致性合并进行。

6.1.7 仪器维护与要求应做到：

- a) 仪器应配有专门操作员，野外工作期间严格按仪器使用说明书和操作规程进行使用与维护；
- b) 仪器设备应定期保养检查，发生故障时应及时检修，检修标定合格后方可继续使用；
- c) 仪器设备检修须由熟悉仪器设备性能的专业人员进行，应填写完整的检修记录并存档；
- d) 仪器及设备在搬运、埋设过程中应轻装、轻放，避免碰撞；
- e) 野外工作期间，如遇到仪器发生无法排除的故障，应立即停止野外观测并送回修理；
- f) 探头发生碰撞或跌落，应对其进行检测。

## 6.2 生产前试验

开工初期可根据具体情况，按工作设计 5.2.3.2 的要求，开展必要的方法技术试验。

## 6.3 测线、测点布置

测线应按照设计书要求布置，当设计的测点位置遇到陡崖、居民区、变电所及其他工业设施或障碍物时，可在二分之一距范围内或垂直测线方向二分之一线距范围内将测点平移到适合的地方以避免障碍，并记录实际点位坐标、高程。当平移无法避开障碍时，可舍去该测点。

- a) 施工时如所获的资料表明原设计的测线长度不足以完成地质任务时，可根据需要及时延长测线。
- b) 沿测线上布置测点，点距一般应按设计要求布设。如有测深曲线异常或失去连续性，可加密测点。
- c) 测点坐标和高程应对测点进行实测。

## 6.4 观测装置的铺设

6.4.1 张量测量时宜采用“十”字形装置，装置的铺设应采用森林罗盘，水平方向的两对测量电极( $E_x$ 、 $E_y$ )分别和两个磁棒( $H_y$ 、 $H_x$ )相交垂直布设，各自方位偏差不大于 $1^\circ$ ，水平磁棒( $H_x$ 、 $H_y$ )埋设于其顶端距中心点 8 m~10 m 处，垂直磁棒( $H_z$ )垂直向下，误差不大于 $1^\circ$ ，埋设于  $H_x$  方向的顺时针夹角为  $225^\circ$ ，且距中心点 10 m 的位置(见图 1)，在施工条件允许的地方，应采用这种布设方式。

6.4.2 在施工条件不适宜“十”字形布设的情况下，可采用“L”形和“T”形装置(见图 2，图 3)，使两对测量电极不以测点中心为对称布设的观测装置。依据试验或设计书规定的电极距布置，应按实测水平距布极，极距误差应小于 1%。

6.4.3 电极接地电阻应不大于 2 k $\Omega$ ，避免布设在流水、污水、腐殖土中或废石堆上，极坑内不得残留有砾石和杂物；地表干燥时，应提前向坑内浇水以减小接地电阻；在沙漠、戈壁、高阻岩石露头区，应采用电极四周垫土、周围浇水等方法来降低接地电阻。

6.4.4 水平磁棒与垂直磁棒埋入土中保持水平或垂直，磁棒应保持稳定，尽量埋入土中，用水平仪校准。

6.4.5 电极、磁棒连线及仪器或前置放大器的电缆均不能悬空，不能平行放置，每隔 3 m~5 m 需用土或石块压实，防止晃动。避免因风吹使导线晃动产生电磁干扰。

6.4.6 参考道工作方法要求包括：

- a) 野外施工宜采用参考道法。

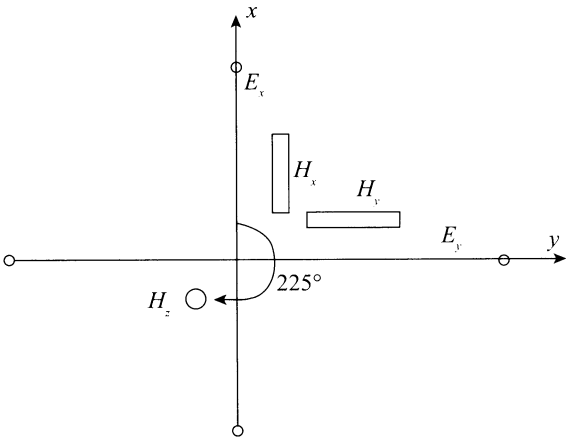


图1 “十”字形布极示意图

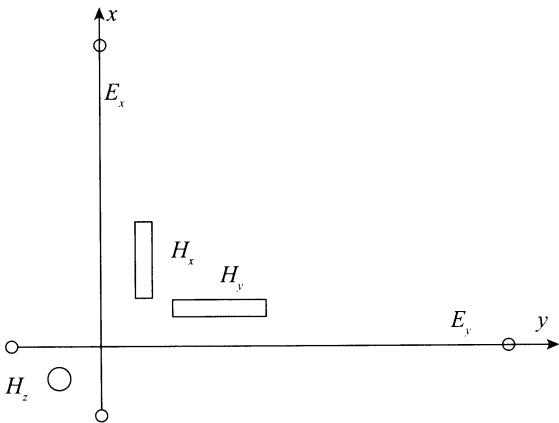


图2 “L”形布极示意图

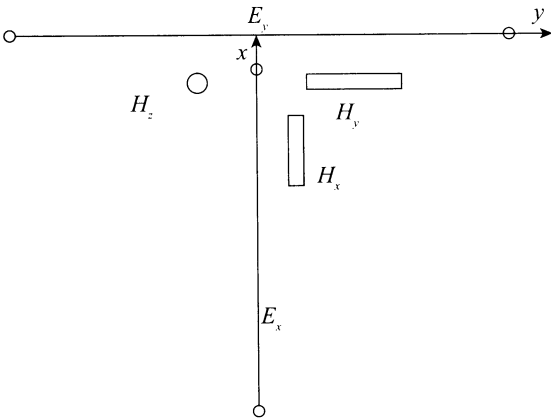


图3 “T”形布极示意图

- b) 远参考道法是在测点与固定参考点上同步观测,固定参考点选择在距测区一定距离且干扰较小的地方。在电磁干扰影响范围较大时,宜采用远参考道法。
- c) 互参考道法是在相距一定距离的两点上同步观测,两测点的磁道(或电道)分别互作参考。在局

部范围有电磁干扰时,宜采用互参考道法。

## 6.5 观测

6.5.1 仪器到达测点,电极、磁棒的布设连接工作就绪后,观测前应检查以下内容:

- a) 电道、磁道信号线与屏蔽层的绝缘度应大于  $2\text{ M}\Omega$ ;
- b) 各信号线与大地的绝缘电阻应大于  $2\text{ M}\Omega$ ;
- c) 电极、磁棒、信号线的埋置和敷设应按 6.4.1 至 6.4.6 的规定进行。
- d) 应检查仪器与传输线连接是否正确、是否牢固,接收电极接地是否良好,电源电压和仪器是否正常,探头摆向是否正确。
- e) 按班报表各项内容逐项检查、记录。

6.5.2 仪器启动后应按仪器操作说明书进行各项测试,如噪声测试、增益测试和极性比较等。

6.5.3 每个测点应达到完成地质任务所必须观测的最低观测频率。

6.5.4 每一个频点应有足够的叠加次数,特别是低频段数据质量,如达不到要求,应延长观测时间,增加叠加次数,以保证数据质量。

6.5.5 开始观测时,除操作人员以外的其他人员应远离测站;在观测过程中,对有实时监测功能的仪器应随时注意监视各道变化,如遇记录道饱和、严重干扰等现象,应及时调整参数和补测。

6.5.6 观测时要做野外观测现场工作记录(见附录 A)。除按规定认真填写工作记录和测点布置等信息外,还应记录观测点附近的地质现象、地形地貌、可能引起噪声的干扰源等。应使用 2H 铅笔记录,要求字迹清晰,不应出现涂改。

6.5.7 每天收工后应及时将当天采集的数据传入计算机,经检查确认无丢失遗漏数据后,另存盘备份并设定为唯一标识,直至确认所有数据无遗漏并备份成功后方可清除仪器内存储的数据。

6.5.8 每天应及时对所测的数据进行处理,并对数据进行评价,填写视电阻率曲线、相位曲线质量评价表(见附录 C),对不符合数据质量要求的应择日重测。

6.5.9 野外施工结束,应将本区观测记录刻制光盘存档。光盘应贴标签,注明施工单位、测区、测线号、测点号、光盘编号、操作员姓名、日期等。

## 6.6 电阻率参数测定

6.6.1 电阻率参数测定点(或标本采集点)应均匀分布在测区中不同种类岩(矿)石的天然或人工露头(浅井、探槽、矿坑、钻孔)上。对不同结构构造、矿化程度、蚀变程度的标本,应分类测定和统计。

6.6.2 电阻率参数测定点(或标本采集点)还应以下列对象为研究重点:

- a) 探测目标物和干扰地质体;
- b) 电阻率变化范围较大的岩(矿)石;
- c) 地下水性质表现复杂地段的岩(矿)石;
- d) 不均匀覆盖层,特别是盐碱化不均匀所引起的电性变化的覆盖层;
- e) 以肯定方法有效性为目的的试验地段,以及需要研究探矿工程结果是否达到目的的某些地段的岩(矿)石。

6.6.3 对探测目标物和干扰体的电阻率参数测定点至少应有 30 个有效观测数据。

6.6.4 野外作业中通常采用露头法、标本法、井旁测深法和电测井法来测定岩(矿)石电阻率值,实际工作中应根据具体情况选择测定方法。当因客观条件限制或者难于直接肯定某种测定方法的效果时,宜采用综合性的测定方法。

6.6.5 测定岩(矿)石电阻率,除了记录观测数据之外,还应记录观测点编号、位置,并应简略描述测点附近岩石的成分、结构、构造、蚀变、矿化和含水性。电阻率值应在观测现场计算,同时还应在现场分析比较

同类岩(矿)石电阻率数据差异及其与地质环境和测定点条件的关系。

6.6.6 电阻率参数的测定结果,允许当日进行检查,同类岩(矿)石电阻率的系统检查观测结果,应按均方相对误差公式计算精度,其均方相对误差应不大于 20%。

6.6.7 同类岩(矿)石电阻率测定结果的统计方法:

a) 算术平均值:

$$\bar{\rho}_{\text{算术}} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \cdots + \rho_n}{n} \quad \dots\dots\dots (3)$$

b) 几何平均值:

$$\bar{\rho}_{\text{几何}} = \sqrt[n]{\rho_1 \rho_2 \cdots \rho_n} \quad \dots\dots\dots (4)$$

c) 加权平均值:

$$\bar{\rho}_{\text{加权}} = \frac{m_1 \rho_1 + m_2 \rho_2 + \cdots + m_n \rho_n}{m_1 + m_2 + \cdots + m_n} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$m_i$ ——第  $i$  个测定点岩(矿)石电阻率的权系数。

d) 当测定超过 30 个数据时,应绘制直方图或分布曲线。

## 6.7 质量检查

6.7.1 测区的观测质量以“系统检查观测”来评价。系统检查观测点数不得少于全区观测点总数的 3%,并在测区内和时间上大体均匀分布,在异常区段必须有一定数量的检查点。

6.7.2 系统检查观测应在原始观测完成之后,于相同测点、不同日期、重新布置和采用相同或不同仪器进行观测。

6.7.3 检查点的检查观测和原始观测全频段视电阻率( $\rho_{xy}$ 、 $\rho_{yx}$ )曲线和相位( $\varphi_{xy}$ 、 $\varphi_{yx}$ )曲线形态应一致,经编辑整理后两次观测同一极化模式的视电阻率和相位的均方相对误差均不应大于 7%。计算观测误差时,可剔除个别干扰大的频点,但删除频点数在每个级次不应超过本级次的三分之一频点,并不大于检查总频点数的 15%。误差计算结果应编制误差统计表,格式见本标准的附录 C。

6.7.4 根据原始观测和检查观测数据,计算观测误差。

a) 计算各个频点的视电阻率( $\rho_{xy}$ 、 $\rho_{yx}$ )或相位( $\varphi_{xy}$ 、 $\varphi_{yx}$ )相对误差  $m_i$ ,编列统计表并绘制  $m_i$  分布曲线。 $m_i$  计算公式为

$$m_i = \frac{A_{ai} - A'_{ai}}{(A_{ai} + A'_{ai})/2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$A_{ai}$ ——第  $i$  频点原始观测视电阻率( $\rho_{xy}$ 、 $\rho_{yx}$ )或相位( $\varphi_{xy}$ 、 $\varphi_{yx}$ );

$A'_{ai}$ ——第  $i$  频点检查观测视电阻率( $\rho_{xy}$ 、 $\rho_{yx}$ )或相位( $\varphi_{xy}$ 、 $\varphi_{yx}$ )。

检查点观测结果按式(7)计算均方相对误差  $M$ :

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n m_i^2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$m_i$  ——第  $i$  个频点的视电阻率( $\rho_{xy}$ 、 $\rho_{yx}$ )或相位( $\varphi_{xy}$ 、 $\varphi_{yx}$ )相对误差;

$n$  ——检查观测并参与统计的频点数。

6.7.5 在噪声干扰强的地区,检查点的均方相对误差达不到 6.7.3 的规定时,可适当放宽到 15%,应经任务来源单位同意后在设计书中明确规定。

## 6.8 野外资料质量评价

### 6.8.1 全频段视电阻率曲线和相位曲线的质量评价分为：

- a) I级：数据曲线连续性好，能严格确定曲线类型；
- b) II级：数据曲线无明显脱节现象，曲线形态明确；
- c) III级（不合格）：数据点分散，不能满足II级的要求。

### 6.8.2 测深点质量评价分为：

- a) I级：一个测点的视电阻率和相位四条曲线I级不少于两条，且无III级，频率范围符合设计要求；
- b) II级：一个测点的视电阻率和相位四条曲线II级不少于三条，频率范围符合设计要求；
- c) III级（不合格）：不能满足II级的要求。

### 6.8.3 对每个测深点的视电阻率( $\rho_{xy}$ 、 $\rho_{yx}$ )曲线和相位( $\varphi_{xy}$ 、 $\varphi_{yx}$ )曲线分别进行评定，四条曲线按级填写评价表(见本标准的附录D)，对不合格曲线注明原因。

## 6.9 野外资料质量检查和验收

### 6.9.1 验收内容

#### 6.9.1.1 原始资料包括：

- a) 仪器标定、平行测试、一致性检测记录(含电子文档)；
- b) 磁探头、仪器的校准文件(含电子文档)；
- c) 野外观测班报记录；
- d) 测地数据(含电子文档)；
- e) 各测点和质量检查点的时间序列数据(含电子文档)。

#### 6.9.1.2 基础资料包括：

- a) 实际材料图(测网位置、检查点位置、物性测定点位、干扰源位置和比例尺等)；
- b) 各测点的视电阻率及相位-频率测深曲线图册(含电子文档)；
- c) 各测线的视电阻率及相位-频率测深拟断面图(含电子文档)；
- d) 质量检查点误差统计表及曲线；
- e) 电阻率参数测定记录及质量评价表；
- f) 野外工作小结。

### 6.9.2 原始资料质量检查

#### 6.9.2.1 原始数据应保存完整无损，采集量、记录时间符合设计要求，文件头各项参数齐全无误。

#### 6.9.2.2 各项工作记录表填写完整、齐全、正确、字迹清楚。

#### 6.9.2.3 野外观测班报记录填写齐全，对测点周围地形、干扰源等要有草图和描述。

#### 6.9.2.4 未按设计书要求完成的工作量，不予验收，按不合格品工作量计算。

#### 6.9.2.5 编辑过的视电阻率和相位曲线，有以下情况的应视为不合格点：

- a) 删掉的频点超过观测频点数的15%；
- b) 连续删掉多于三个频点；
- c) 删掉跳点后，仍有不规则跳点，曲线无规律者；
- d) 保留的频点在整条曲线上分布不均匀；
- e) 高频段和低频段频率未满足设计要求的。

6.9.2.6 对项目完成的全频段视电阻率曲线和相位曲线的质量评价进行复核。

6.9.2.7 测深点质量评价满足Ⅰ级品率不小于70%、Ⅲ级品率不大于2%，且全区满足设计工作精度规定的，视为野外工作质量合格。

6.9.2.8 当质量不满足6.7.3的要求时，可增加系统检查工作量（直至总工作量的20%）后进一步统计。若系统检查观测精度仍旧达不到合格规定时，不得再增加检查工作量，确定此测区全部观测资料作废。

### 6.9.3 野外资料验收

应按任务来源单位和本标准要求对野外资料进行验收，野外资料验收合格后，方可结束野外工作。

## 7 资料处理与解释

### 7.1 资料处理

#### 7.1.1 逐点检查

对野外资料逐点检查，有下列情况者需做进一步处理：

- a) 数据分散、噪音水平高的点；
- b) 曲线形态异常的点；
- c) 需切除时间漂移的点。

#### 7.1.2 数据计算

对于采用参考道工作方法获取的数据应用参考道的磁场参与阻抗张量元素计算，求得互功率平均值和阻抗，达到抑制噪音干扰的目的。

#### 7.1.3 数据整理

7.1.3.1 对数据偏离太大、明显不合理的频点予以删除，删除频点的原则为：

- a) 删掉频点数在每个级次不应超过本级次频点数的三分之一；
- b) 删掉的频点数不大于总频点数的15%；
- c) 不能连续删掉多于三个的频点；
- d) 保留的频点在整条曲线上应均匀分布。

7.1.3.2 由张量测量结果，通过数据处理确定主轴方向，进而获得TE(transverse electric)和TM(transvers magnetic)模式的视电阻率和相位曲线。

7.1.3.3 对视电阻率、相位曲线按极化模式分别按7.1.3.1剔除干扰大的频点，再按曲线形态进行剔除频点内插；并应保留原始数据，供以后的再处理和检查处理之用。

#### 7.1.4 静位移校正和地形校正

7.1.4.1 按测线对平滑后曲线进行静态效应分析，可参考利用相位资料进行识别，依据地质构造和地形起伏情况，判断静态效应及其严重程度；根据分析结果对视电阻率曲线进行静态校正，或者选取二维、三维反演软件进行反演以消除静态效应。

7.1.4.2 对地形复杂地区，宜采用合适的方法进行地形校正，例如比值法校正，或者选取带起伏地形反演的二维、三维软件进行反演以直接校正地形影响。

7.1.4.3 为判别多次资料处理过程的真实性、可靠性,应检查处理过程正确与否,并将处理结果与原始资料进行比较,还应对多次处理引起的误差进行评估,以确保原始数据中的固有真实信息或趋势在处理结果中得到保留或增强。

## 7.2 资料解释

### 7.2.1 总则

解释工作分为定性解释、定量解释和综合地质解释。实际工作中,资料处理、定性解释、定量解释和综合地质解释需要交叉或反复进行,使资料解释工作逐步深化。

### 7.2.2 定性解释

7.2.2.1 定性解释的任务是划分异常,并初步确定引起异常的地质原因。

7.2.2.2 根据初步建立的地质-地球物理模型和标志,对全测区 AMT 测深曲线类型进行分析、对比,总结相同类型曲线分布特征,了解构造分区的地电规律。

7.2.2.3 定性解释通常采用从已知到未知的类比法和模型对比法等,有时还需运用定量计算的结果来支持定性的结论,定性解释要多次反复进行。

7.2.2.4 利用张量阻抗分解方法得出的阻抗特征,对测区成果做出相应的定性解释。

### 7.2.3 定量解释

7.2.3.1 在完成定性解释基础上进行定量解释,在定量解释中对定性解释进行修正,两者相互结合。

7.2.3.2 定量解释要尽可能利用测区内实测的物性参数、已有地质勘探控制的地下地质情况以及其他物探资料作为约束条件和先验控制信息,并利用定性解释的分析结论或认识建立反演初始模型,以减少定量反演的多解性。

7.2.3.3 在地形平缓和横向电阻率变化不太大的地电条件下,一般先进行一维反演;在进行一维反演后,结合曲线特征,确定是否进一步进行高阶反演。

7.2.3.4 对地形起伏较大和横向电阻率变化较大地电条件下的成果资料,一般应进行带地形的二维反演或三维反演。利用反演结果绘制电阻率-深度断面图或电阻率立体图等成果图件,描述地下电性空间分布。

### 7.2.4 综合地质解释

7.2.4.1 在定性解释和定量解释的基础上,依照勘查目标任务要求,根据各种地质体的地质-地球物理模型特征,结合测区的地质情况和勘查工程资料,将地球物理定性和定量解释成果客观合理地转变成推断的地质体或现象,最终确定地质体或现象的性质、深度、规模、形态及其相互关系。

7.2.4.2 根据定性、定量和综合地质解释结果编绘地质-地球物理综合解释成果图。与此同时要对资料解释成果的可靠性进行评估,说明可能存在的问题与不足。

7.2.4.3 在综合地质解释后提出书面的异常验证建议书,包括定性依据、定量反演结果和建议的工程布置参数及注意事项。

## 8 报告编写

### 8.1 编写要求

8.1.1 成果报告编写的准备工作应与野外工作同时进行,并有计划地系统收集、整理所需的资料。

- 8.1.2 野外工作若是分阶段完成的,要提交阶段性成果报告;全面完成后,提交最终成果报告。
- 8.1.3 成果报告编写应由专人负责,在合同或设计规定的时间内完成。
- 8.1.4 报告所用资料应是经过质量验收合格的正式资料。
- 8.1.5 成果报告应在全面掌握实际资料的基础上,经过分析、研究及综合比对后,给出有依据、合理的结论。
- 8.1.6 报告要实事求是,内容全面、详尽,并重点突出,论述及推断有依据且充分,文字简练,逻辑严密,结论客观明确。
- 8.1.7 报告附图、附表、附件要规范、合理、美观,文字说明应简练、清楚。

## 8.2 报告主要内容

报告主要包括:

### a) 序言。

简述方法工作项目来源、项目性质和工作任务;测区的自然地理及经济地理概况。

### b) 地质任务及完成情况。

工作的具体任务;所使用的装置形式;所使用的主要仪器装备;野外施工过程;野外工作开工日期、收队日期;完成的野外勘查总工作量;室内资料处理工作结束日期等。

### c) 工区位置、概况,前人工作程度及主要研究成果。

介绍测区概况(如测区场地范围、测网位置、剖面方位、电极接地条件和干扰情况等);测区以往的地质及物探工作程度,以及对这些工作的评价;总结本次勘查工作的主要研究成果。

### d) 工区地质及地球物理特征。

工区的地质特征,包括地层、构造等,对其中与工作任务有关的内容,应做较详细的描述;工区的电性特征,根据以往的工作和本项目工作所取得的资料,列举与工作任务有关的岩(矿)石的电阻率参数;结合工区的地质特点,分析勘查目标体及各种地层、构造等在观测结果中的反映,从而建立起解释推断所需要的正演模型。

### e) 野外工作方法技术和质量评价。

简要介绍工作中采用的仪器设备及具体方法技术,论述方法技术的合理性和所取得资料的正确性与精度。具体包括:论述所用方法要解决的具体地质问题及有效性和合理性;介绍所采用的具体方法技术,包括 AMT 测深、测地、地质等工种的测区布置、测网选择、观测方法、质量要求等,并根据技术试验结果及其他有关资料说明所采用方法技术的合理性;介绍保证野外工作质量的措施,说明质量检查工作情况(包括检查方法、检查量、分布等),并根据质量检查结果及其他有关资料说明野外观测结果的质量(包括完整性、可靠性、精确性等)。

### f) 资料处理方法。

包括资料整理、数据预处理方法、反演方法和图件编绘等。

### g) 解释推断。

分类描述通过定性解释、定量解释发现的电阻率异常,说明其特征、相互联系、分类的原则及依据;综合地质解释分析、解释电阻率异常,阐明引起异常的地质现象或原因,并编出推断成果图;讨论所有解释推断结果的可靠程度以及定量解释结果的精确程度。

### h) 结论与建议。

全面和总结性地给出主要结论并对本区下阶段工作提出建议。具体包括:论述所取得的各项成果,并说明未得出肯定结论的原因;详细而具体地提出地质工作、物化探工作及异常工程查证的建议,并说明这些工作的意义、具体任务、方法手段、施工范围、配合程序及应注意的问题等。



### 8.3 主要图件

主要图件包括：

- a) 实际材料图(测网位置、检查点位置、物性测定点位、干扰源位置和比例尺等)；
- b) 典型测深曲线、拟断面图；
- c) 电阻率-深度断面图,对面积性工作,可根据需要增加不同深度电阻率平面图或电阻率立体图；
- d) 综合解释推断剖面图；
- e) 综合解释推断平面图；
- f) 其他图件。

### 8.4 附件及附表

附件及附表包括：

- a) 岩石物性资料的收集和测定说明；
- b) 正反演数据表；
- c) 质量检查点误差统计计算表；
- d) AMT 的视电阻率曲线、相位曲线质量评价表；
- e) 其他附件。

### 8.5 资料存档

成果报告通过评审后,对其进行修改,将正式的成果报告和资料提交给有关部门存档。

## 附录 A

(规范性附录)

## 天然场音频大地电磁法测点班报表

天然场音频大地电磁法测点班报表(A面)见表 A.1,天然场音频大地电磁法测点班报表(B面)见表 A.2。

表 A.1 天然场音频大地电磁法测点班报表(A面)

工区: 测线: 测点: 天气:

仪器型号:		仪器编号:			
X 坐标/纬度: _____				地形地貌:	
Y 坐标/经度: _____				高程/m:	
电极方向(°)		电极距/m		接地电阻/ $\Omega$	
$E_x$ :		$E_x$ :		$E_x$ :	
$E_y$ :		$E_y$ :		$E_y$ :	
探头方向 (°)	$H_x$ :	$H_y$ :		$H_z$ :	
探头 编号	电极类型: ① Pb—PbCl <sub>2</sub> ( ) ② Cu—CuSO <sub>4</sub> ( ) ③ 其他_____				
		前放 增益	$E$ Gain: ① Low( ) ② Normal( ) ③ High( )		
			$H$ Gain: ① Low( ) ② Normal( ) ③ High( )		
频段	采样率/Hz	文件名		备注	
观测起始时间: 时 分 秒		结束时间: 时 分 秒			

年 月 日

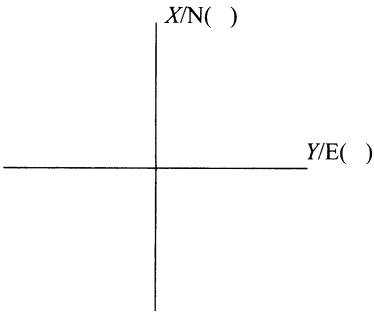
表 A.2 天然场音频大地电磁法测点班报表(B 面)

操作员：

记录者：

检查者：

测点布极方式及周围环境描述：



年 月 日

附 录 B  
(规范性附录)

天然场音频大地电磁法质量检查点误差统计计算表

天然场音频大地电磁法质量检查点误差统计计算表见表 B. 1。

表 B. 1 天然场音频大地电磁法质量检查点误差统计计算表

工区：

测线：

测点：

频率	$\rho_{xy}$			$\varphi_{xy}$			$\rho_{yx}$			$\varphi_{yx}$			备注
	原始 观测 $\rho_{xy}$	检查 观测 $\rho'_{xy}$	相对 误差 $m_i$	原始 观测 $\varphi_{xy}$	检查 观测 $\varphi'_{xy}$	相对 误差 $m_i$	原始 观测 $\rho_{yx}$	检查 观测 $\rho'_{yx}$	相对 误差 $m_i$	原始 观测 $\varphi_{yx}$	检查 观测 $\varphi'_{yx}$	相对 误差 $m_i$	
均方相对 误差或均 方误差 (M)													

计算者：

检查者：

年 月 日



参 考 文 献

- [1] DZ/T 0173—1997 大地电磁测深法技术规程
  - [2] DZ/T 0073—2016 电阻率剖面法技术规程
  - [3] SY/T 5820—1999 石油大地电磁测深法技术规程
  - [4] EJT 1196—2005 地浸砂岩型铀矿音频大地电磁测量规范
  - [5] 考夫曼 A A,凯勒 G V, 著. 刘国栋, 晋光文, 邓前辉, 等, 译. 大地电磁测深法. 北京: 地震出版社, 1987
  - [6] 陈乐寿, 刘任, 王天生. 大地电磁测深资料处理与解释. 北京: 石油工业出版社, 1989
-