

### 地面电性源瞬变电磁法 地球物理勘查技术规程

2021-01-26 发布

2021-04-25 实施



## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总则 .....	2
5 技术设计 .....	3
6 仪器装备的使用及维护 .....	7
7 野外数据采集 .....	8
8 资料处理与解释 .....	13
9 报告编写与提交 .....	14
附录 A（资料性）设计书编写内容与要求 .....	16
附录 B（资料性）野外施工班报 .....	18
附录 C（资料性）野外工作验收要求 .....	19
附录 D（资料性）成果报告编写内容与要求 .....	21
参考文献 .....	24

## 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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由河南省有色金属地质矿产局提出并归口。

本文件起草单位：河南省有色金属地质矿产局第七地质大队、中国科学院地质与地球物理研究所。

本文件主要起草人：丁云河、刘强、赵志成、吴家祥、王明明、刘文毅、马鹏远、薛国强、李京、李廷彬、张克川、李冰、卢希、余文丽、李新超、陈昊龙、曾强、王胜华、韩姗姗、马莉、张盛亚、郑超勇、杨薇、秦力。

# 地面电性源瞬变电磁法 地球物理勘查技术规程

## 1 范围

本文件规定了地面电性源瞬变电磁法勘查工作的技术设计、仪器设备的使用及维护、野外数据采集、资料处理与解释、报告编写与提交的基本要求和技術规则。

本文件适用于地质矿产勘查、水工环及地质灾害勘查的地面电性源瞬变电磁法勘查工作。

## 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。

- GB/T 14499 地球物理勘查技术符号
- GB/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范
- DZ/T 0070—2016 时间域激发极化法技术规程
- DZ/T 0153 物化探工程测量规范
- DZ/T 0187 地面磁性源瞬变电磁法技术规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 地面电性源瞬变电磁法

利用接地电极，通以脉冲电流而在地下产生一次脉冲电磁场，在断电间隙观测地下介质感应的瞬变二次电磁场，经数据处理和解释获得地下电性结构的一种时间域电磁探测方法。

### 3.2

#### 赤道观测方式

接收端位于发射源AB垂直方向上，并沿平行于AB方向的剖面，在一定范围内逐点移动测量的观测方式。当收发距 $r$ 与发射源AB长度 $L_{AB}$ 的比值大于等于3（ $r/L_{AB} \geq 3$ ）时，称为电偶源装置；当收发距 $r$ 与发射源AB长度 $L_{AB}$ 的比值小于3（ $r/L_{AB} < 3$ ）时，称为线源装置。

### 3.3

#### 轴向观测方式

接收端位于发射源AB的延长线方向上，在一定范围内沿剖面逐点移动测量的观测方式。

### 3.4

#### 归一化感应电动势

将接收线圈测量所得感应电动势进行归一化处理，常用归一化方式有：电流归一化，单位为mV/A；电流及接收线圈等效面积归一化，单位为mV/A·m<sup>2</sup>。

3.5

归一化感应电场强度

将接收电极 MN 测量的电压除以 MN 电极距得到电场强度，再进行电流归一化处理，单位为  $mV/A \cdot m$ 。

4 总则

4.1 应用条件

4.1.1 宜开展电性源瞬变电磁法工作的条件主要有：

- a) 探测目标体与围岩有较明显的电阻率差异，能引起在地表可分辨的异常；
- b) 人文干扰及自然噪声特征较为明显且强度不大，经仪器滤波叠加后能得到有效压制；
- c) 工作区通行便利，在进行电场测量时，接地条件良好。

4.1.2 不宜开展电性源瞬变电磁法工作的条件主要有：

- a) 探测目标体与围岩无明显电阻率差异，或者规模较小，或者埋深较大，现有仪器设备无法测量到可分辨异常。
- b) 工作区接地条件较差，地形起伏切割严重；
- c) 人文干扰及自然噪声强度较大，无法有效压制；
- d) 地表水系较发育地区；
- e) 测区浅表层存在较大规模的强磁性地质体。

此类地区可视需求开展试验或研究。

4.2 工作装置及其工作方式

4.2.1 赤道装置

可用线圈观测垂直方向磁场分量  $H_z$ ，也可用接地不极化电极观测水平方向电场分量  $E_x$ ，见图 1。

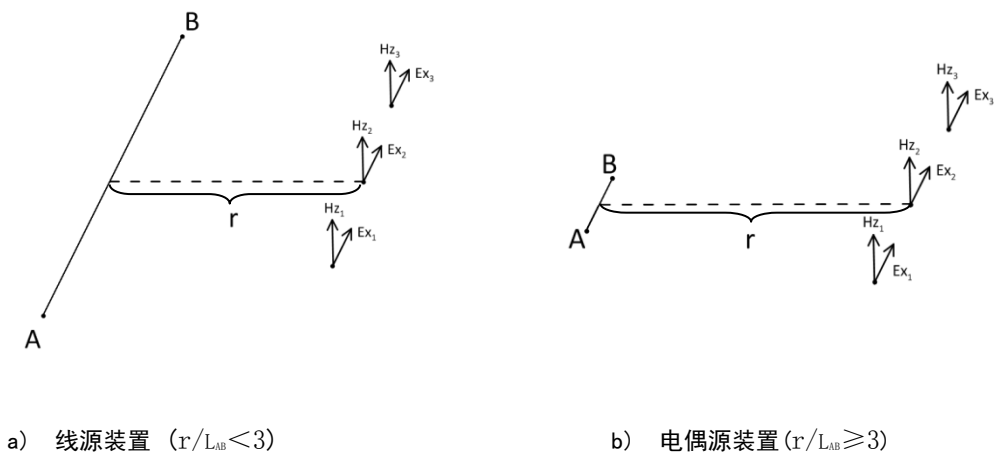


图 1 赤道装置示意图

4.2.2 轴向装置

用接地不极化电极观测水平方向电场分量  $E_x$ ，见图 2。

图2 轴向装置示意图( $r/L_{AB} \leq 3$ )

#### 4.2.3 观测范围

赤道装置观测范围为供电电极 AB 连线赤道方向两侧  $120^\circ$  张角扇形区域内，轴向装置观测范围为供电电极 AB 连线轴向两端  $60^\circ$  张角扇形区域内，见图 3。

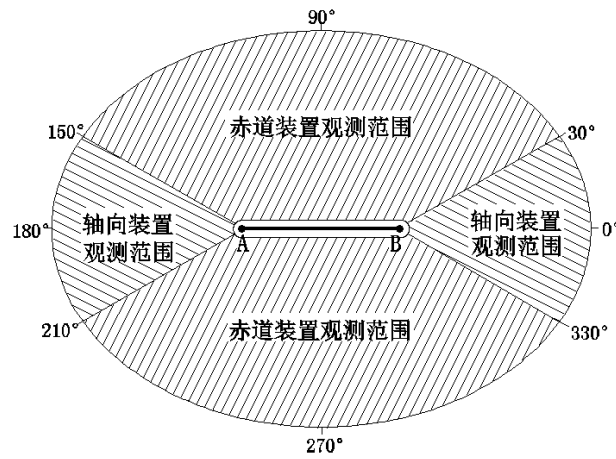


图3 电性源瞬变电磁观测范围示意图

## 5 技术设计

### 5.1 资料收集

根据任务要求，应收集以下资料：

- a) 测区的人文、气象、交通等资料；
- b) 测区的地形、水系、土壤、植被等资料；
- c) 测区及邻区的地质、物化探、遥感及测绘等资料。

### 5.2 踏勘

新区或地电条件不明的地区应组织现场踏勘，主要踏勘目的如下：

- a) 核对已收集的地质、物化探及测绘等资料；
- b) 了解可布工程的测区范围、测线方向和长度；
- c) 了解工区地形、水系分布、通视和交通运输等工作条件；
- d) 测试主要岩矿石的电阻率参数，初步了解探测目标体与围岩的电性参数的关系；
- e) 了解地质和人文干扰因素的种类、强度及分布等情况。

### 5.3 方法可行性分析

应从以下几方面对方法的可行性进行分析：

- a) 分析探测目标体与围岩之间是否存在可分辨的电性差异，探测方法是否具备应用前提条件；
- b) 利用滤波、叠加等降噪技术是否能使勘查成果满足设计精度要求；
- c) 探测目标体埋深和预测规模大小是否在现行仪器有效探测范围内。

#### 5.4 方法有效性分析

应从以下几个方面对方法的有效性进行分析：

- a) 依据邻区或其他条件类似地区的实际工作效果；
- b) 依据正演运算或模拟试验结果；
- c) 根据野外现场踏勘试验结果。

#### 5.5 方法试验

凡属下列情况之一者，应进行方法试验，以确定方法的可行性及有效性：

- a) 地区或探测目标体电性特征不明确，未开展过电法类工作；
- b) 人文干扰较严重，不能确定现有设备方法是否可以有效压制干扰；
- c) 探测地质目标体与围岩之间的电性差异较小，或探测地质目标体的规模相对于其埋深较小，不能确定测出地质目标体异常响应的地区。

试验剖面应选在地质情况比较清楚、具有典型地电特征的地段，并尽可能使其通过天然露头 and 探矿工程，使技术试验剖面具备代表性，且便于资料对比。

#### 5.6 工作装置与工作参数选择

##### 5.6.1 工作装置选择

工作装置选择应考虑探测目标体的特性、地质环境和电磁噪声干扰程度等，要求如下：

- a) 当探测目标体二维特征明显，埋深较大时，宜采用赤道观测方式的电偶源装置；
- b) 当探测目标体三维特征复杂且埋深小于 2000 m 时，宜采用赤道观测方式的线源装置；
- c) 当符合 b) 款，工作区电磁强干扰主要来自空中且地下工业散流较弱时，宜采用轴向观测方式。

##### 5.6.2 工作参数选择

工作参数的选择应包括下列四个方面。

- a) 发射电极距AB长度 $L_{AB}$ 与发射电流：发射电极距AB长度 $L_{AB}$ 和发射电流应根据发射装备的功率合理确定，以获得合理的发射磁矩，确保探测深度。对于近区观测，即线源装置和轴向装置： $L_{AB}$ 应大于收发距 $r$ 的1/3，且大于等于最大探测深度的0.79倍。对于远区观测，即电偶源装置： $L_{AB}$ 应小于等于收发距 $r$ 的1/3，且小于最大探测深度的0.79倍。
- b) 最大探测深度估算：在实际工作中，估算探测深度，应考虑接收信号强度、仪器噪声水平、外部干扰噪音、地电参数等，定义探测深度为信号衰减至最小可分辨信号时的扩散深度，通常最小可分辨信号 $N_m$ 取 $10^{-8}V/m^2 \sim 10^{-9}V/m^2$ 。

线源装置和轴向装置最大探测深度的计算见式（1）：

$$d_a = 0.48 \sqrt{\frac{IrL_{AB}}{N_m}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $d_a$  ——线源装置和轴向装置的最大探测深度，单位为米（m）；
- $I$  ——发射电流，单位为安（A）；
- $r$  ——收发距，单位为米（m）；



- $L_{AB}$  ——发射电极距, 单位为米 (m) ;  
 $N_m$  ——最小可分辨信号, 单位为伏每平方米 ( $V/m^2$ ) 。

电偶源装置最大探测深度的计算见式 (2):

$$d_b = 0.28 \sqrt{\frac{IrL_{AB}}{N_m}} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $d_b$  ——电偶源装置的最大探测深度, 单位为米 (m) ;  
 $I$  ——发射电流, 单位为安 (A) ;  
 $r$  ——收发距, 单位为米 (m) ;  
 $L_{AB}$  ——发射电极距, 单位为米 (m) ;  
 $N_m$  ——最小可分辨信号, 单位为伏每平方米 ( $V/m^2$ ) 。

c) 最晚可观测时间: 各装置的最晚可观测时间的计算见式 (3)、式 (4)、式 (5) 。

$$t_a = \frac{\mu}{\pi} \left[ \frac{(IL_{AB}/N_m)^2}{144\rho} \right]^{1/3} \dots\dots\dots (3)$$

$$t_b = \frac{\mu}{\pi\rho} \left[ \frac{IrL_{AB}}{60N_m} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (4)$$

$$t_c = \frac{\mu d^2}{2\rho} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- $t_a$  ——轴向装置的最晚可观测时间, 单位为秒 (s) ;  
 $t_b$  ——线源装置的最晚可观测时间, 单位为秒 (s) ;  
 $t_c$  ——电偶源装置的最晚可观测时间, 单位为秒 (s) ;  
 $\mu$  ——地层磁导率, 单位为亨每米 (H/m) ;  
 $I$  ——发射电流, 单位为安 (A) ;  
 $L_{AB}$  ——发射电极距, 单位为米 (m) ;  
 $N_m$  ——最小可分辨信号, 单位为伏每平方米 ( $V/m^2$ ) ;  
 $\rho$  ——地层电阻率, 单位为欧姆米 ( $\Omega \cdot m$ ) ;  
 $r$  ——收发距, 单位为米 (m) ;  
 $d$  ——最大探测深度, 单位为米 (m) 。

d) 发射基频: 发射基频应根据最晚可观测时间依据设备“频率时窗对应表格”适当选择。

## 5.7 测区与比例尺

5.7.1 确定测区范围时, 应遵循下述要求:

- 测区范围应包括整个被勘查对象可能赋存的地段, 并应向外扩延至能使所反映的异常有足够的背景场相衬托;
- 追索性工作的测区范围应包括全部或部分已知地质体, 在前人工作的基础上扩大测区范围时, 测区边缘应重复部分测线或测点;
- 在其他物化探成果基础上布置更大比例尺工作时, 应充分利用已知资料来考虑测区的实际范围, 并应尽可能包括与勘查对象有关的岩(矿)露头和探矿工程。

5.7.2 工作比例尺应根据任务确定, 常用测网比例尺见表 1。比例尺按照既能满足地质任务所要求的

详细程度和精确程度，又经济合理的原则进行设计。

表 1 常用测网比例尺

单位为米

比例尺	测线间距	点距
1:10000	100	20~50
1:5000	50	10~20
1:2000	20	5~10

5.7.3 确定测线方向时，应遵循下述要求：

- a) 测线方向应垂直于勘查对象的走向；
- b) 根据需要，测线方向应与工作区中的地质勘探线、典型地质剖面或其他物化探剖面等方向一致，并与其重合或靠近。

## 5.8 工作精度

### 5.8.1 工作精度要求

确定工作精度时应遵循下述要求：

- a) 根据工作地区、工作任务及工作装置的特点，以取得较好的地质效果为原则确定工作精度；
- b) 根据仪器的技术性能和测区人文干扰情况合理设计，其总精度不能超过现有仪器设备所能达到的精度；
- c) 以能够观测与分辨勘查对象所产生的最弱异常为原则，使最大误差的绝对值小于任何有意义异常的三分之一。

### 5.8.2 工作精度分级

地面电性源瞬变电磁法工作的精度以归一化感应电动势或归一化感应电场强度的均方相对误差衡量。弱干扰地区，工作精度要求达到 I 级标准，强干扰地区工作精度要求达到 II 级标准。工作精度分级见表 2。

表2 工作精度分级表

级别	均方相对误差/%	
	有位误差	无位误差
I	10	5
II	15	10

注 1：表中无位误差是指检查工作中观测点、布极点与原始点位置相同，由发射场误差、仪器噪声、环境噪声等叠加引起的误差。

注 2：表中有位误差是指重新布极后进行检查工作时由发射、接收布极测地误差与无位差叠加后的综合误差。

### 5.8.3 测地工作精度要求

测地工作的质量指标应包括平面点位中误差、相邻点距中误差、方向偏差及高程中误差，工作精度列于表 3。测地工作方法技术要求依据 GB/T 18314、DZ/T 0153 执行。

表 3 测地工作精度

级别	平面点位中误差 mm (图上)	相邻点距中误差 %	方向偏差 °	高程中误差 mm (图上)
A	1.0	3.0	5	
B	1.25	5.0	10	1.0

注：“图上”指按照不同比例尺的成图精度要求，选择相应的点位及高程限差。

## 5.9 设计编写与审查

设计应在收集分析资料的基础上，进行工作区踏勘、方法有效性和可行性分析之后，以勘查合同或任务书的要求为依据进行编写。设计编写内容与要求见附录 A。

设计书由编制单位组织初审，工作任务下达单位组织评审并下达审批文件。设计执行中，如有重大变更（如工作方法、测线方向、测区范围、工作量），应根据勘查合同约定或相关项目管理办法的要求，及时完成变更方案的备案或审批。

## 6 仪器装备的使用及维护

### 6.1 基本要求

6.1.1 所使用的主要仪器设备的名称、型号及数量应在设计书中予以明确，并按设计书中的要求配备相应的仪器设备以及常用的检测校验仪表和工具。

6.1.2 野外生产期间仪器设备应由操作员按照操作规程进行使用及管理，并建立仪器运行档案。操作员除必须掌握仪器操作规程、熟悉仪器设备性能，还应具备日常保养知识和安全操作知识。

6.1.3 仪器设备发生故障时应报告项目负责人，并由项目负责人根据故障严重程度组织相应维修。

6.1.4 完工后须对仪器进行全面检查，将检查结果填入仪器档案，由项目负责人确认仪器完好后将仪器设备和仪器档案一并入库存放。

6.1.5 仪器存放场所应避开阳光直射，保持通风、干燥、清洁，仪器使用、运输过程中应注意防尘、防震、防水。

### 6.2 发射系统

6.2.1 发电机、发射机布置场所应平整且通风良好，发电机附近无易燃物。供电前应首先检查发电机油路、电路是否正常，发射机及相关部件连线是否正确，电缆绝缘是否良好，测量发射电极 A、B 接地电阻是否正常，在确保无误的情况下，方可通知所有工作人员，再通电工作。

6.2.2 发射机开机后首先应待机使发射机充分预热，发射供电应先置于低电流挡位进行小功率供电，然后逐步增加至工作电流，供电电压挡位应逐挡升高，不能跳挡。关机时先将电压挡位调至低压挡再关断电源。

6.2.3 发电机、发射机长时间连续工作时，总功率不宜大于额定功率的 80%，推荐采用低压大电流的供电方式。

6.2.4 发电机使用要注意工作环境温度，必要时增加外置辅助降温风扇。

### 6.3 接收系统

6.3.1 接收机应根据噪声调查结果，设置陷波滤波器参数及动态响应设置，使仪器接收信号在正常的动态响应范围之内。

6.3.2 接收线圈电量、电阻及电偶极接地电阻应正常,具体要求见 7.10.3。

6.4 导线及电极

6.4.1 供电导线应选用多股铜芯绝缘软导线,导线耐压值及可持续载流量不低于实际工作的电压与电流,导线电阻应小于 10 Ω/km,导线绝缘电阻应大于 2 M Ω/km。

6.4.2 供电电极应采用铜板、铝板、铝箔、带状铜丝编织带等,规格和数量可根据工区接地条件及供电电流选定。

6.4.3 测量电极使用不极化电极,要求内阻不大于 1 k Ω,极差小于 2 mV。

7 野外数据采集

7.1 技术要求

7.1.1 作业人员应明确与本项工作有关的各项技术要求,熟悉技术设计。

7.1.2 了解测区概况,合理安排工作进度,提出并征集野外工作的施工顺序与其他方法协调配合的意见和建议。

7.2 仪器设备

7.2.1 按设计要求准备仪器、各类技术装备及常用的检测校验仪表和工具。

7.2.2 同一测区如有两台或两台以上的接收系统,应在同一点上采用相同的工作装置、工作参数进行接收系统的一致性校验。对其对应时间窗口的观测值进行一致性计算,误差应小于表 3 无位误差要求。

7.2.3 仪器一致性由同测点多台仪器观测值的总均方相对误差  $\epsilon_{\text{一致性}}$  来衡量,总均方相对误差  $\epsilon_{\text{一致性}}$  的计算见式 (6) :

$$\epsilon_{\text{一致性}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^p (v_{ij} - \bar{v}_i)^2}{(N-q)}} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- $\epsilon_{\text{一致性}}$  ——观测值总均方相对误差;
- $q$  ——参与一致性试验的单台观测时间窗口数;
- $p$  ——参与一致性试验的仪器总台数;
- $v_{ij}$  ——第  $j$  台仪器在第  $i$  个时间窗口的观测值;
- $\bar{v}_i$  —— $m$  台仪器在第  $i$  个时间窗口的观测平均值;
- $N$  ——参与一致性试验的多台仪器总时间窗口数 ( $N = p \times q$ )。

7.2.4 一致性试验的  $\epsilon_{\text{一致性}}$  应小于设计的工作误差,否则应从参加试验的  $m$  台仪器中找出偏离均方误差  $\epsilon_{j\text{偏}}$  偏大的仪器不予使用,或经调节该仪器性能达到一致性要求后方可使用。 $\epsilon_{j\text{偏}}$  的计算见式 (7)、式 (8) :

$$\epsilon_{j\text{偏}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^q (v_{ij} - \bar{v}_i)^2}{q-1}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\bar{v}_i = \frac{\sum_{j=1}^p v_{ij}}{p} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- $\varepsilon_{j\text{偏}}$  ——第  $j$  台仪器偏离均方误差；
- $q$  ——参与一致性试验的单点观测时间窗口数；
- $v_{ij}$  ——第  $j$  台仪器在第  $i$  个时间窗口的观测值；
- $\bar{v}_i$  —— $m$  台仪器在第  $i$  个时间窗口的观测平均值；
- $p$  ——参与一致性试验的仪器总台数。

### 7.3 噪声调查

噪声调查的目的是用于定性了解工作区内噪声分布规律，设计抗噪措施，提高数据质量。

噪声调查工作应在野外踏勘的基础上依据噪声源分布情况确定野外噪声实测点，噪声实测点应大致平均分布于测区，并能代表一定范围内的噪声强度与特征。

噪声野外采集应选用示波器或接收机的高采样率模式，并关闭设备自带抗噪及叠加选项。噪声实测点根据工作设计的接收参量进行电道或磁道的采集，单次采集数据不低于 3000 个采样点。噪声采集应有多组数据，采集间隔应根据预估单日施工时长，分时间段合理规划，以了解噪声在单日内的强度变化规律，制定施工计划。

对实测结果进行频谱分析，了解噪声的频带与分布特征，确定陷波滤波器设定参数，数据叠加策略等抗噪措施。

### 7.4 生产试验

生产试验工作要求如下：

- a) 在工作区已知矿体或目标地质体上布置试验剖面，通过实测工作区标志层或目标体的异常响应特征，了解地下介质、场源和工作参数对观测曲线的影响和分布特征；
- b) 确定收发距  $r$ 、发射电极距长度、发射频率、电流、接收时间窗口等工作参数；
- c) 检查仪器设备的工作性能。

### 7.5 电性参数测定

7.5.1 岩（矿）石电性参数是异常解释的重要依据，异常解释之前应进行电性参数测定工作，同时要注意收集前人测定结果，并进行对比分析。

7.5.2 电性参数测量点应均匀分布在测区内具有代表性的各类岩（矿）石的天然及人工露头或钻孔岩心（浅井、探槽、坑道、钻孔等）上。

7.5.3 电性标本测定时除做好编号和位置记录外，还应简要记录岩（矿）石的成分、结构、构造、蚀变、矿化情况。

7.5.4 电性参数测定方法有露头法、标本法、电测井法等，工作中可根据实际情况选用。测定方法依据 DZ/T 0070—2016 执行，测量电阻率参数。

7.5.5 采用标本法测定时，每类岩（矿）石一般不少于 30 块。电性参数测定的相对误差应不大于 20%。

### 7.6 日常施工准备

7.6.1 项目实施前要组织项目组成员进行学习，明确所承担任务的工作方法和质量要求。

7.6.2 每天开工前，作业组长应向组员交待应做的准备工作，明确岗位职责、组员分工，确保协作配合，强调安全生产。

7.6.3 每天开工前应对仪器及辅助设备进行检查，并对记录本、定位标识及安全防护用品等进行检查。

7.6.4 使用可充电电池的仪器设备，应每天检查电池电压，对需要充电的电池进行充电。

### 7.7 漏电检查

7.7.1 项目开工前及完工后均应对仪器和导线的绝缘性进行系统检查。生产过程中也应经常进行，在导线易损区或在潮湿状态下工作时更应加强检查。

7.7.2 供电线路、测量线路和外壳三者之间的绝缘电阻应大于  $50\text{ M}\Omega$ ，供电导线对地绝缘电阻应大于  $2\text{ M}\Omega/\text{km}$ ，测量导线对地绝缘电阻应大于  $5\text{ M}\Omega/\text{km}$ 。

7.7.3 当发生漏电时，应立即查找漏电原因并进行排除。排除后应逐点返回观测，当连续三个测量点达到自检要求时，才可以认为已经排除漏电现象。

7.7.4 漏电现象和漏电检查及处理结果应做好记录。

## 7.8 发射站及接收站布设

7.8.1 发射站布设应尽量靠近发射极 A、B 连线，且交通便利。发射站场地应尽量平整，且无易燃物，发射站应配备灭火器等消防设备。发射站应通风良好，发电机排烟应布置于发射站下风位置，避免操作人员废气中毒。

7.8.2 接收站布设应尽量远离房屋、厂房、电线。

7.8.3 接收站如因客观条件限制需偏移则应记录实际点位坐标及偏移原因，如偏移距超点线距 50%，应以弃点处理并记录弃点原因。

7.8.4 发射站、接收站须准备防雨、防晒及防风设备。

## 7.9 发射装置布设

7.9.1 供电电极应按设计长度及方位布设，其方位误差应小于  $5^\circ$ ，且 AB 供电线尽量保持直线布设。

7.9.2 A、B 极电极应布设在交通方便、接地良好的位置。供电极应采用挖极坑，埋设金属板或铝箔纸的方式，极坑应挖至湿润土层深度，并浇盐水，用湿土压实。必要的情况下可采用多极坑并联的方式进一步降低接地电阻。极坑引线要做好绝缘，同时极坑周围应设立警示装置并派专人看守。A、B 极布设要尽量避开高压线、施工矿山、溪流水域、断裂构造等以减少电磁干扰。

7.9.3 敷设供电线时，导线连接处应做好绝缘与固定，剩余导线不得留在绕线架上，应将其全部展开，并以 S 型平铺于地面。供电导线通过道路，要采取掩土、布置保护线槽等方式进行保护，且道路侧要竖立警示标志，不宜进行架空处理。

7.9.4 供电导线应选用多股铜线，耐压值及直径应根据实际工作最大负载进行选定，导线应满足外业施工温度变化大、防潮、抗拉的要求。

7.9.5 供电线布设完成后，应检查供电导线是否有漏电情况；接地情况是否良好，各连接点是否牢固。

7.9.6 野外工作结束后，应及时对 AB 供电极坑进行回填处理，尽可能恢复原状。

## 7.10 接收装置布设

7.10.1 测站布设时，在测量点应以红旗或木桩进行留标。

7.10.2 接收导线应贴地布设，避免因导线晃动产生电磁干扰，风力较大时应对导线进行覆土压埋。

7.10.3 当接收装置为接地电极时，具体要求如下：

- a) 测量电极应挖坑埋设，电极坑内应剔除碎石和植物；
- b) 在基岩裸露或硬化路面区域无法挖坑埋设时应进行偏移，也可尝试利用糊状泥土保持不极化电极与地面的接触进行试验性采集；
- c) 测量电极应避免埋设在流水、污水附近，电极引线应做好绝缘；
- d) 实际接地点无法埋设电极而需移动时，在测地误差允许范围内可以自由移动，同时应在野外施工班报（见附录 B）备注记录。

7.10.4 当接收装置为线圈时，应固定在专用支架上，摆放接收线圈时以线圈架或线圈的水泡居中为准。遇大风天气时，应采取挡风措施，以降低风动噪声。

7.10.5 接收装置靠近电磁干扰源时（如金属栏杆、金属管道、高压线、信号塔、房屋、铁路等）应适当平移，同时记录实际坐标并在野外施工班报（见附录 B）备注记录。

7.10.6 在数据采集过程中，施工人员应避免在仪器附近走动并停止使用通信设备。

### 7.11 安全措施

7.11.1 安全生产教育应贯穿野外工作全过程。野外工作开展前应对工作区的自然地理环境进行实地考察，查明潜在危险因素，制定相应的应急救援预案，应对野外工作人员开展应急救援及野外生存、自救基本常识培训。

7.11.2 野外作业人员应熟练掌握安全用电和触电急救知识。供电作业人员须使用绝缘防护用品。对附近有人、牲畜活动的工作区，应派专人看守供电电极，巡视供电导线。

7.11.3 放线、收线和处理供电故障时，严禁供电。在未收到发射机操作员明确断电的指令前，为确保人身安全，不允许任何人接触供电导线、电极、供电设备和发射输出设备。

7.11.4 应避免在供电线下进行供电作业。

7.11.5 雷雨时停止野外工作。突遇雷电，应迅速关机，断开连接仪器设备的所有电缆。

7.11.6 发电机组运行期间，不得添加燃油。

7.11.7 发射机最高供电电压和电流不超过额定值的 80%，以确保系统安全。

7.11.8 野外作业车辆应配备灭火器、急救箱等；野外人员应配齐可靠的通信工具。在人烟稀少地区、危险地区不得单人外出作业。

### 7.12 绿色勘查措施

7.12.1 项目驻地应建立科学的管理制度，划分生活区和工作区，设立环保措施标牌。生活区垃圾应分类收集处理，有毒有害垃圾要进行回收处理。

7.12.2 在确保勘查效果的前提下应选择对环境影响较小的探测方法，发射基站、测量点的布设应合理避让草地、林地、耕地等。

7.12.3 在勘查工作结束后，应及时回收设立的标识牌，并清理干净场地内的各种垃圾。

### 7.13 观测与记录

7.13.1 为保证观测数据的可靠性，采集数据应多次叠加压制随机干扰。对干扰较强地区，可尝试少叠加、多次测量的策略来降低瞬时尖峰干扰的影响。

7.13.2 当剖面测量需要分日完成、重新布板或改变发射电极位置时，观测段应保证有 2-3 个重叠接头点。

7.13.3 野外观测时，若数据曲线出现跳变、反向等畸变，应查明原因后重新观测。可根据现场情况对测点进行偏移避开干扰源，并在野外施工班报作详细记录。

7.13.4 在工作过程中如遇有意义物探异常未封闭时，应适当延长剖面或扩大测区对异常进行控制。

7.13.5 接收站操作员认真填写野外施工班报，野外记录应用 2H 铅笔填写，记录应整洁、工整、清晰，不得擦改，记错事项应横线划掉并注明原因。

7.13.6 每日完成外业工作后应及时将仪器数据回放至电脑，并归类整理，原始数据应有外置存储设备进行备份。

### 7.14 质量检查与评价

7.14.1 质量检查根据使用的合格仪器数量分别遵循“二同二不同”、“一同三不同”原则，当仅有一台仪器工作时按照同一仪器、同点位、不同操作员、不同时间的原则进行；当使用多台仪器工作时按照同点位、不同仪器、不同操作员、不同时间的原则进行。

7.14.2 质量检查工作应随野外工作同步进行，质量检查点在工作区应分布均匀，对突变点、异常区段应重点检查，全区质量检查量应不低于全区总工作量的 3%，工作区采用不同工作装置时均需布设相应检查工作。

7.14.3 电性参数测定的质量检查工作量不小于电性参数测定工作量的 10%，具体计算方法按照 DZ/T 0070—2016 执行。

7.14.4 在进行误差统计时，只统计设计时间窗口内的测道，质量检查结果应满足设计工作精度要求，质量检查统计全区检查点的单点均方相对误差和总均方相对误差，计算方法如下：

- a) 计算单点均方相对误差时检查点两次观测的曲线形态应一致，对应道的数值接近，单点均方相对误差的计算见式 (9)：

$$M_j = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{V_{ij} - V'_{ij}}{\bar{V}_{ij}} \right]^2} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- $M_j$  ——单点均方相对误差；
- $n$  ——参加统计计算的时间窗口数；
- $V_{ij}$  ——第  $j$  点第  $i$  个时间窗口的观测值；
- $V'_{ij}$  ——第  $j$  点第  $i$  个时间窗口的检查观测值；
- $\bar{V}_{ij}$  ——第  $j$  点第  $i$  个时间窗口的观测值与检查观测值的平均值。

- b) 全区所有检查点总的均方相对误差的计算见式 (10)：

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{2mn} \sum_{i,j=1}^{i=m,j=n} \left[ \frac{V_{ij} - V'_{ij}}{\bar{V}_{ij}} \right]^2} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- $M$  ——总均方相对误差；
- $m$  ——检查点数；
- $n$  ——参加统计计算的时间窗口数；
- $V_{ij}$  ——第  $j$  点第  $i$  个时间窗口的观测值；
- $V'_{ij}$  ——第  $j$  点第  $i$  个时间窗口的检查观测值；
- $\bar{V}_{ij}$  ——第  $j$  点第  $i$  个时间窗口的观测值与检查观测值的平均值。

7.14.5 检查点单点均方相对误差要求如下：

- a) 超过设计工作精度要求的测点数，应低于质量检查点数的三分之一；
- b) 超过设计误差要求 2 倍的测点数，应低于质量检查点数的 5%；
- c) 超过设计误差要求 3 倍的测点数，应低于质量检查点数的 1%；
- d) 突变值不参加统计。

7.14.6 质量检查精度不符合设计书要求时应增加检查工作量。当检查工作量增至总工作量的 20% 仍不合要求时应返工。当质量不合格的检查点数超过被评价区域内检查点总数的三分之一时，可增加系统检查工作量（可直至总工作量的 20%）后进一步统计，若系统检查观测精度仍旧达不到合格标准时，不得再增加检查工作量，确定为此区域全部资料作废。

7.14.7 质量评价应从资料的完整性、齐全性、工作参数选择、原始数据质量、噪声干扰水平和质量检查与误差统计的规范性等方面进行。主要包括：

- a) 数据质量的定性评价：对相邻延时道的衰减曲线进行分析，一般来说，衰减曲线连续性好的数据质量可靠，反之，衰减曲线连续性不好的数据质量不可靠；



- b) 测区工作参数选择的分析：应对施工参数（发射电流、发射源长度、收发距、发射基频、发射延时、时窗范围、固定增益、叠加次数等）进行评价。

## 7.15 野外验收

野外工作结束后应进行验收，不符合本文件或设计书规定、严重影响质量的观测结果应予作废。未经野外工作验收或验收不合格，不应结束野外工作。验收内容与要求见附录 C。

## 8 资料处理与解释

### 8.1 原始资料的整理和检查

#### 8.1.1 原始资料整理

原始资料整理包括：

- a) 测地工作成果记录表与误差统计表；
- b) 仪器一致性试验报告及误差统计表、噪声调查试验；
- c) 测点原始数据及数据整理计算表、质量检查记录及误差统计表；
- d) 电性参数标本采样记录、电性参数测定记录及误差统计表；
- e) 原始数据曲线图册；
- f) 实际材料图；
- g) 野外施工班报表册、工作日志和野外工作总结。

#### 8.1.2 原始资料检查

每天野外工作结束后，操作人员应对野外记录和原始数据进行 100%检查，并签名交技术负责人复核。原始资料的检查内容包括：

- a) 野外测地成果；
- b) 实际点位与设计点位的偏差及造成原因；
- c) 数据曲线是否出现异常和畸变现象，是否进行了妥善处理与检查；
- d) 野外施工班报表记录是否有缺项、错项，对于测点实地异常情况是否记录清楚。

### 8.2 数据预处理

数据预处理包括噪声压制、冗余数据剔除、装置校正等一系列数据处理过程。常用方法与要求如下：

- a) 根据野外施工班报记录，对原始数据块进行分析甄别，剔除异常数据块；
- b) 根据探测发射关断斜波时间、探测目标深度和实测早晚期时间窗口数据质量对数据时间窗口进行截取；
- c) 分析原始数据曲线，进行合理滤波、平滑处理；
- d) 复杂地形条件下需进行地形校正。

### 8.3 数据反演

在数据预处理后对数据进行反演，得到测区电阻率空间分布特征，为资料解释提供依据。主要包括以下内容：

- a) 根据已搜集测井、地质等资料，结合测区电性参数统计成果，初步分析目标体与围岩的电性特征与空间特征，为反演建立初始模型；

- b) 应先对试验剖面或已知剖面进行反演参数试验，初步推断测区反演参数；
- c) 通过已知地层资料、钻孔资料、电测井资料等进行约束反演，提高反演结果的可靠性；
- d) 反演应结合测区地质特征，通过反复修正反演模型及参数使反演成果符合地质规律和已有的可靠的研究成果。

#### 8.4 资料解释

资料解释指实测资料成果经处理反演后，结合矿区已知其他地质成果，对测区进行的合理地质推断。有下面几方面要求：

- a) 应遵从由已知到未知，由局部到全面的原则；
- b) 应充分考虑各项人文、地质干扰引起的实测数据改变；
- c) 应根据已知资料的增加不断修正、完善解释成果；
- d) 应充分考虑物探成果的多解性，应多方法、多角度进行综合分析；
- e) 解释过程中应从定性、定量两个方面进行分析。

#### 8.5 图件编绘

##### 8.5.1 主要图件种类

主要图件应包括：

- a) 实际材料图；
- b) 测点曲线图；
- c) 多测道归一化感应电动势或归一化感应电场强度剖面曲线图；
- d) 视电阻率反演断面图；
- e) 综合剖面图；
- f) 其他推断的图件。

##### 8.5.2 实际材料图

应包括以下内容：

- a) 测区交通状况、水系和特殊建筑物等；
- b) 测区范围、测网和电磁干扰分布位置等；
- c) 点线编号、供电点位，实测点位、试验点位、试验线位、检查点位和丢点点位等。

##### 8.5.3 多测道归一化感应电动势、感应电场强度剖面曲线图

横坐标为剖面点位，比例尺与工作比例尺一致；纵坐标为归一化感应电动势、感应电场强度振幅，采用对数比例尺；不同测道采用不同颜色表示；将相同测道不同点位振幅值连成曲线绘制而成。

##### 8.5.4 综合剖面图

由视电阻率反演电阻率断面图以及其他物化探异常和地质、地形及解释成果按点号对齐排列而成。

##### 8.5.5 编绘要求

正式图件编绘要使用经过检查验收的数据，且编绘内容要全面、清晰的反映工作成果。采用的技术符号按照 GB/T 14499 规定执行。

#### 9 报告编写与提交

## 9.1 成果报告编写

### 9.1.1 编写要求

成果报告编写应按照以下要求进行：

- a) 野外工作验收合格后，由项目负责人组织进行报告编写；
- b) 报告编写应根据任务书、设计书、设计审查意见书、设计批复意见书、工程变更审批表、野外工作验收意见书及有关标准和要求进行；
- c) 成果报告应在全面系统掌握资料，经过定性解释、定量反演和综合研究的基础上编写，提出有实际应用价值的结论与建议；
- d) 文字报告层次清楚，简明扼要，以成果解释推断和工作结论、建议为重点，结论客观明确；
- e) 报告附图、附表、附件要规范、合理、美观，文字说明简练、清楚。

### 9.1.2 成果报告主要内容

成果报告编制主要内容见附录 D，应包括：

- a) 前言；
- b) 地质及地球物理特征；
- c) 工作方法与质量评述；
- d) 解释推断；
- e) 结论及建议；
- f) 附表及附图。

### 9.1.3 成果报告附图

成果报告附图应包括实际材料图、剖面图、拟断面图、断面图、综合剖面图、综合平面图等。

## 9.2 报告提交

报告提交应遵循下述要求：

- a) 成果报告编写完成后首先由项目承担单位组织初审，编写组根据初审意见对报告修改完善，修改完成后上报任务委托单位组织审查；
- b) 任务委托单位审查后提出评审意见，编写组对报告修改完善并经任务委托单位复核后提交报告。

## 9.3 资料汇交

### 9.3.1 基本要求

成果报告通过评审后应尽快整理相关资料，将原始及成果资料（包含电子文档）按时完成汇交。

### 9.3.2 主要内容

资料汇交应包括：

- a) 项目申请书、项目执行任务书、项目设计书以及审批意见等相关资料；
- b) 原始资料，包括观测现场记录，测地数据，观测数据及处理后的成图数据；
- c) 数据处理结果及图件；
- d) 成果报告及附图、附表等附件。

**附 录 A**  
**(资料性)**  
**设计书编写内容与要求**

## A.1 前言

应包括以下主要内容：

- a) 工作目的与任务：主要包括任务来源、任务书主要内容、工作周期以及工作目的；
- b) 勘查登记情况；
- c) 测区概况：主要包括测区地理位置、坐标范围、行政区划、自然地理环境、气候概况、交通条件以及社会经济概况等。

## A.2 以往工作程度

简述以往地质、物探工作情况及其成果，对以往工作中存在的问题与不足，特别是和本次工作目的任务相关的问题，应予以详述。

## A.3 地质及地球物理特征

### A.3.1 地质特征

简述区域及测区大地构造位置、地层、构造、岩浆岩及矿产特征，对于勘查对象或电性标志层特征应详述。

### A.3.2 地球物理特征

详列本区或邻区或类似条件地区以往的物性资料和干扰因素，提供目标地质体与干扰体物性数据或地质—地球物理模型，分析地面电性源瞬变电磁法的有效性及其干扰因素。

若工作区以往进行过相同或类似方法的勘查工作，应描述矿体异常特征及干扰体异常特征。

## A.4 工作方法和技术要求

### A.4.1 工作方法

应包含以下主要内容：

- a) 本次工作所采用的比例尺以及剖面方位、仪器设备、工作装置等具体内容，以及相关参数的选取依据。
- b) 数据处理方法及流程，并说明各个处理步骤的目的及依据。
- c) 使用的制图软件及制图方法。

### A.4.2 技术要求

主要包括测地工作、物探测量、电性参数测量、数据处理与制图的相关要求以及质量评价指标等。

## A.5 实物工作量

为完成目标任务设计实物工作量（附实物工作量一览表）。

## A.6 组织管理与进度安排

### A.6.1 项目组织

简要叙述勘查单位情况，具体叙述项目组人员组成以及设备配置情况。

#### A. 6.2 项目管理

项目所实行的质量管理体系、安全保障体系以及绿色勘查措施。

#### A. 6.3 进度安排

说明工作的总周期以及各项具体工作的起止时间。

#### A. 7 预期提交成果

通过本次工作所能取得的最终成果内容（报告、图件、数据等）及提交时间。

#### A. 8 经费预算

根据工作量编制经费预算。

#### A. 9 设计附图

工作布置图及其他必要图件等。

附 录 B  
(资料性)  
野外施工班报

表B.1给出了野外施工班报表的样式。

表 B.1 野外施工班报表样式

施工单位： 施工时间： 编号：

项目名称					工作装置	
施工地点		天气			日期时间	
接收操作员		发射操作员			放线负责人	
收发距 (m)		AB 极长度 (m)			接收机编号	
发射频率 (Hz)		接收框有效面积 (m <sup>2</sup> ) / 接收偶极长度 (m)			发射电流 (A)	
序号	文件号	点线号	坐标	接地电阻 (Ω) / 探头电阻 (Ω)	备注	
1			X:			
			Y:			
			H:			
2			X:			
			Y:			
			H:			
3			X:			
			Y:			
			H:			
4			X:			
			Y:			
			H:			
5			X:			
			Y:			
			H:			
注：此表行数可增减。						

**附 录 C**  
**(资料性)**  
**野外工作验收要求**

### C.1 验收要求

野外工作完成后应当在 5 日内提出野外工作验收申请。野外工作完成标准如下：

- a) 已完成设计规定的全部野外工作；
- b) 原始资料齐全；
- c) 已经按有关规定对原始资料进行了整理、质量检查和编目造册，编写野外工作总结；
- d) 承担单位已完成初步野外验收。

野外工作验收由项目主管部门组织实施, 野外工作结束转入报告编写前，应完成野外工作验收。

### C.2 验收依据

项目任务书、设计书、设计审查意见书、设计批复意见、设计调整及批复意见以及相关技术标准。

### C.3 验收内容

#### C.3.1 任务完成情况

野外工作是否按照任务书和设计书中下达的工作量和规定的工作质量全面完成。

#### C.3.2 测网布设

结合工作区实际材料图等资料检查测区范围、比例尺、测线方向等内容是否与批复的设计书一致。

#### C.3.3 仪器试验

检查仪器型号、仪器调节、校验记录以及仪器性能试验等内容。

#### C.3.4 野外观测

检查测地工作、测点观测的各种记录是否准确、齐全，是否达到了设计书的要求。

检查野外观测质量检查记录是否准确、齐全，是否达到了设计书的要求，重点内容如下：

- a) 观测质量检查是否随着野外工作经常进行；
- b) 观测质量检查是否按“一同三不同”或者“两同两不同”的方法进行；
- c) 检查量是否达到工作量的 3%~5%；
- d) 对于畸变点和异常突变点是否进行了 100%检查。

#### C.3.5 物性工作

检查物性标本采集、测定的方法是否符合设计书要求，采集、测定的记录是否齐全、准确。物性测定质量检查量和检查结果是否符合设计书要求。

#### C.3.6 资料整理及质量体系和绿色勘查运行

野外计算、整理的各种资料是否内容完整、真实可靠、字迹清晰、页面整洁和规格统一。

质量管理体系是否运行良好，生产环节是否严格执行了自检、互检、项目检、大队检等各级检查规定。项目实施过程中绿色勘查措施执行情况。

### C.3.7 工作量完成情况评价

对工作部署的合理性和工作量完成情况（不合格数据不能计入完成的工作量）做出评价，填写质量验收登记表，见表 C.1。

表 C.1 质量验收登记表样式

项目名称			项目地点:	
勘查单位:				
项目区范围	经度:	至	项目区面积	
	纬度:	至		
开工日期			竣工日期	
设计物理点			完成物理点	
施工仪器				
工作装置			收发距	
叠加次数			时窗范围	
供电电流			增益	
质量评级:	甲级		甲级率	
	乙级		乙级率	
	丙级		丙级率	
	废品		废品率	
全区质量评价				
验收单位				
参加验收人员 (签字)			验收日期	
填表人			审核人	



**附录 D**  
**(资料性)**  
**成果报告编写内容与要求**

## D.1 前言

### D.1.1 工作目的与任务

简述任务来源及任务书编号，本次物探测量工作所要达到的地质目的，以及批复下达的工作量。

### D.1.2 测区概况

测区概况主要包括以下内容：

- a) 位置交通情况：包括坐标范围，行政区划及交通情况；
- b) 自然地理情况：包括地形地貌、山川河流、土壤植被及气候特点；
- c) 经济人文情况：包括经济发展、供电供水、村镇、居民集散特点等。

### D.1.3 任务完成情况及主要成果

简述本次工作的起止时间、完成的实物工作量及检查验收情况，取得的主要地质成果及存在问题。

## D.2 地质及球物理特征

### D.2.1 以往地质及物探工作

简述以往开展过的地质及物探工作简况，结合其工作成果和存在问题做出简要评价，同时阐明本次工作的意义。

### D.2.2 地质特征

地质特征主要包括以下内容：

- a) 区域地质特征：简述区域地质成矿背景、区域矿产分布及成矿规律；
- b) 矿区地质特征：重点叙述与目标任务有关的地层、构造、岩浆作用、变质作用等；
- c) 矿床地质特征：矿体产出部位、围岩或顶底板、蚀变、矿化形态、矿石特征、品位等。

### D.2.3 地球物理特征

根据以往及本次工作取得的物性参数，对物性特征进行统计计算与分析，对地球物理前提进行分析。根据本次物探测量取得的成果，简要介绍工作区异常分布特征。

## D.3 工作方法与质量评述

### D.3.1 工作部署

采用的工作方法、工作装置、工作参数的选择及依据。

### D.3.2 测地工作

工作比例尺，剖面与电极接地点的布设方法及精度。

### D.3.3 野外观测

野外观测包括以下内容：

- a) 仪器：观测所用仪器、仪器技术参数指标、仪器检查调节与性能试验等；
- b) 试验过程分析及工作参数选择分析；
- c) 野外观测方法、观测总精度的确定及配置、质量检查、误差统计等。

### D.3.4 物性测定

物性标本的采集、测定及质量检查、物性参数的统计等。

### D.3.4 资料处理及质量体系 and 绿色勘查运行

资料处理与质量体系运行包括以下内容：

- a) 资料整理：原始资料的检查验收及处理、资料整理方法、各项改正（含所用公式）及其改正的误差统计等；
- b) 数据处理：数据处理的具体流程，每个处理步骤所采用的方法及目的；
- c) 图件与表册的编绘：制图精度、编制方法、主要图件和表册；
- d) 质量体系运行：项目实施过程中三级检查、两级验收等质量管理体系运行情况。
- e) 绿色勘查：项目实施过程中绿色勘查措施执行情况。

## D.4 解释推断

### D.4.1 异常的识别与分类

异常的识别、异常下限的确定，异常范围圈定，异常分类、异常编号以及异常特征描述。当测区背景值变化较大时，可分区确定异常下限。

### D.4.2 异常的解释推断

异常的解释推断是物探工作的重要环节，要在充分研究已有地物化成果的基础上进行。

所有圈定的异常均要进行定性解释，对具有重要地质意义的异常和所有推断的矿体异常要进行定量反演并求取异常源埋深、形态、产状、延伸等要素。

异常解释推断要严谨、深入，对于和本次工作的目的任务紧密相关的部分要详细论述。

## D.5 结论及建议

### D.5.1 结论

对本次工作所要解决的地质任务提出地质结论并进行评价，说明本次工作的成效。

### D.5.2 建议

提出下步地质工作、物化探工作及异常工程查证的建议。

### D.5.3 问题

说明本次工作中存在的问题与不足。

## D.6 附图及附表

成果报告附图应包括实际材料图、剖面图、拟断面图、断面图、综合剖面图、综合平面图等。  
附表为成果中应包含的各类表格。

### 参 考 文 献

- [1] 薛国强, 闫述, 周楠楠, 陈卫营. 2015. 人工源电磁测深方法技术研究[M]. 北京地质出版社
- [2] Kurt M. Strack. 1992. 电性源瞬变电磁测深技术[M]. 薛国强, 闫述, 周楠楠, 陈卫营译. 北京: 科学出版社
- [3] 牛之璉. 2007. 时间域电磁法原理[M]. 长沙: 中南大学出版社
- [4] 朴化荣. 1990. 电磁测深法原理[M]. 北京: 地质出版社
- [5] 李貅. 2002. 瞬变电磁测深的理论与应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社
- [6] A. A. 考夫曼. 1987. 频率域和时间域电磁测深[M]. 王建谋译. 北京: 地质出版社
- [7] 纳吉比安主编. 1992. 勘查地球物理电磁法第一卷理论[M]. 赵经祥, 王艳君译. 北京: 地质出版社
- [8] 陈明生. 1999. 电偶源瞬变电磁测深研究(一)[J]. 煤田地质与勘探
- [9] 陈明生. 1999. 电偶源瞬变电磁测深研究(二)[J]. 煤田地质与勘探
- [10] 魏明君, 丁云河, 李冰等. 2013. 线源瞬变电磁在熊耳山区多金属找矿中的应用研究(2011-622-24)[R]. 郑州: 河南省有色金属矿产探测工程技术研究中心
- [11] 魏明君, 丁云河, 李冰等. 2015. 线源瞬变电磁法在熊耳山区多金属找矿中的应用研究[J]. 地球物理学进展, 30(1)
- [12] 丁云河, 薛国强, 刘强等. 2019. SOTEM 在银多金属矿深找矿中的应用[J]. 山东大学学报(工学版), 49(S1)
- [13] 薛国强, 闫述, 陈卫营. 2013. 电性源瞬变电磁短偏移探测方法[J]. 中国有色金属学报, 23(9)
- [14] 薛国强, 陈卫营, 周楠楠, 李海. 2013. 接地线源短偏移瞬变电磁深部探测技术[J]. 地球物理学报, 56(1)
- [15] 薛国强, 闫述, 底青云, 李貅等. 2015. 多道瞬变电磁法(MTEM)技术分析[J]. 地球科学与环境学报, 37(1)
- [16] 王显祥, 底青云, 唐静. 2015. 电性源瞬变电磁初探[J]. 地球物理学进展[J], 30(2)
- [17] 何继善, 薛国强. 2018. 短偏移距电磁探测技术概述[J]. 地球物理学报, 61(1)
- [18] 薛国强, 陈卫营, 武欣等. 2020. 电性源短偏移距瞬变电磁研究进展[J]. 中国矿业大学学报, 49(2)
- [19] 卡麦涅茨基. 1980. 金属物探过渡过程法指南[M]. 李立等译. 北京: 地质出版社
-