

# DB43

## 湖 南 省 地 方 标 准

DB43/T 1460—2018

### 广域电磁法技术规程

Technical specification for wide field electromagnetic method

2018-09-07发布

2018-12-07实施

湖南省质量技术监督局 发布



目 次

前言..... III

引言..... V

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语、缩略语及符号..... 1

    3.1 广域电磁法..... 1

    3.2 缩略语..... 1

    3.3 常用术语、符号及计量单位..... 1

4 应用范围及条件..... 2

    4.1 应用范围..... 2

    4.2 应用条件..... 2

5 技术设计..... 2

    5.1 资料收集与踏勘..... 2

    5.2 装置形式选择..... 3

    5.3 工作参数设计..... 3

    5.4 测网设计..... 3

    5.5 工作总精度..... 4

    5.6 试验工作..... 4

    5.7 设计书主要内容..... 3

6 仪器设备..... 5

    6.1 基本要求..... 5

    6.2 检查与测试..... 5

    6.3 使用与维护..... 6

7 野外工作..... 6

    7.1 电阻率参数测定..... 6

    7.2 场源布设..... 6

    7.3 接收装置的布设..... 7

    7.4 安全措施..... 7

    7.5 数据采集..... 7

    7.6 质量检查点和覆盖点..... 8

    7.7 野外工作质量评价..... 8

    7.8 野外资料验收..... 9

8	资料处理与解释	10
8.1	数据编辑与平滑	10
8.2	静态效应校正	10
8.3	覆盖点的处理	10
8.4	定性分析	10
8.5	定量分析	10
9	成果报告编写	10
9.1	编写要求	10
9.2	报告主要内容	11
9.3	主要图件	11
附录 A(资料性附录)	广域电磁法测量装置、方式、范围及模式	12
附录 B(资料性附录)	广域电磁法各种测量方式的计算公式	15
附录 C(资料性附录)	广域电磁法在常规及非常规油气藏、干热岩压裂实时电磁监测中的使用	19
附录 D(资料性附录)	广域电磁法工作参数的选取	21
附录 E(资料性附录)	广域电磁法野外观测工作记录表	23
附录 F(资料性附录)	广域电磁法仪器设备主要技术指标要求	24
	参考文献	25

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由湖南省国土资源厅提出并归口。

本标准起草单位：湖南继善高科技有限公司、中南大学。

本标准主要起草人：何继善、李帝铨、李芳书、凌帆、杨洋、尹文斌、王永兵、张磊。



## 引 言

广域电磁法是二十一世纪初发展起来的电磁探测技术。该方法采用人工场源，从电磁场精确的（非近似的）表达式出发，严格地定义了广域电磁法视电阻率参数，改善了非远区的畸变效应，使得测深能在广大的、不局限于“远区”的区域进行，在同等收发距条件下勘探深度更大。该方法继承了可控源音频大地电磁法（简称 CSAMT 法）使用人工场源的优点，也继承了磁偶源频率测深法（简称 MELOS 法）非远区测量的优势；改良了 CSAMT 法远区信号微弱的劣势，拓展了观测适用的范围，同时摒弃了 MELOS 方法的校正办法；用适合于全域的公式计算视电阻率，保留了计算公式的高次项，大大拓展了人工源电磁法的观测范围，提高了观测速度、精度和野外效率。该方法已经在我国能源、金属与非金属等矿产资源勘查、水文、工程、环境、灾害地质调查以及常规和非常规油气压裂实时电磁监测等领域得到广泛应用。为规范广域电磁法使用中的技术工作，提高工作质量和应用水平，特编制本规程。





# 广域电磁法技术规程

## 1 范围

本规程规定了广域电磁法技术设计、仪器设备使用与维护、野外施工、质量评价、资料处理、综合解释、成果报告编写等工作的技术要求。

本规程主要适用于常规和非常规油气藏、煤炭、金属与非金属等矿产资源勘查、水文、工程、环境、灾害等地质调查以及常规和非常规油气、干热岩压裂实时电磁监测的广域电磁法工作。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本规程的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本规程。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

GB/T 14499 地球物理勘查技术符号

GB/T18314 全球定位系统（GPS）测量规范

DZ/T 0069 地球物理勘查图图式图例及用色标准

DZ/T 0153 物化探工程测量规范

DD 2006 岩矿石物性调查技术规程

## 3 术语、缩略语及符号

### 3.1

#### 广域电磁法

广域电磁法是通过人工接地场源建立谐变电磁场，向地下发送不同频率的交变电流，在广大的、不局限于传统“远区”的区域内，观测一个或多个电磁场分量，计算广域视电阻率（参见附录 B），达到探测不同埋深地质目标体的一种频率域电磁测深方法。

广域电磁法有两种测量装置，即赤道（旁侧）装置、轴向装置（参见附录 A.2、A.4）。

广域电磁法有标量、矢量和张量三种测量方式，测量的各个电磁场分量及坐标系参见附录 A.1。各个电磁场分量常用计算公式参见附录 B。本标准仅涉及广域电磁法 E-Ex 和 E-E $\Phi$  标量测量两种方式。

根据广域电磁法测量的电场分量相对于地质构造走向的关系，广域电磁法有 TM（Transverse Magnetic）和 TE（Transverse Electric）两种测量模式（参见附录 A.3）。

### 3.2

#### 缩略语

##### WFEM

英文全称 Wide Field Electromagnetic Method，简称 WFEM，中文称广域电磁法。

### 3.3

#### 常用术语、符号及计量单位

常用术语、符号及计量单位见表 1。

表 1 常用术语、符号及计量单位

序号	术语名称	符号	计量单位
1	供电电极长度	$\overline{AB}$	m, km (米或千米)
2	发射电流强度	$I$	A (安培)
3	接收电极长度	$\overline{MN}$	m (米)
4	收—发距	$r$	m, km (米或千米)
5	目标体埋深	$H$	m, km (米或千米)
6	趋肤深度	$d$	m, km (米或千米)
7	探测深度	$D$	m, km (米或千米)
8	电场振幅	$E_x, E_y, E_j$	mV / km (毫伏 / 千米)
9	磁场振幅	$H_x, H_y, H_z$	γ, nT (伽玛或纳特)
10	视电阻率	$r_s$	Ω · m (欧姆 · 米)
11	大地电阻率	$r$	Ω · m (欧姆 · 米)
12	大地电导率	$S$	S / m (西门子 / 米)
13	接地电阻	$R$	Ω (欧姆)
14	空气的磁导率	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7} \text{H} / \text{m}$ (亨利 / 米)
15	均方相对误差	$m$	% (百分比)

#### 4 应用范围及条件

##### 4.1 应用范围

- 4.1.1 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。
- 4.1.2 用于固体矿产勘探，探测金属及非金属矿体、围岩的岩性和构造。
- 4.1.3 用于立体地质填图，探测地下电性结构的立体分布。
- 4.1.4 用于地热资源、水文地质、工程地质、环境地质、灾害地质调查，探测与其有关的地质结构或目标体。
- 4.1.5 用于常规及非常规油气藏、干热岩压裂实时电磁监测。
- 4.1.6 探测其它与围岩存在电性差异的目标体。

##### 4.2 应用条件

- 4.2.1 目标体与围岩存在明显的电阻率差异。
- 4.2.2 目标体有足够的规模可以分辨。
- 4.2.3 测区内无强烈的电磁干扰。
- 4.2.4 测区内地形地貌条件适合场源布设与野外数据采集。

#### 5 技术设计

##### 5.1 资料收集与踏勘

5.1.1 编写设计前，应根据工作任务的性质和要求，收集相关的地质、地球物理、地球化学、钻探及测绘等资料。

5.1.2 收集测区主要岩、矿石物性资料，尤其是主要岩、矿石的电性资料。

5.1.3 进行地质踏勘工作，了解主要地质、地形、地貌特征，掌握交通、气象和人文相关情况。对当地进行电磁噪声检测，并评估电磁噪声水平。

5.1.4 在综合分析已有资料，评估并确认方法有效性的基础上，选择并确定测网密度、场源及位置、测量方式、装置形式、工作参数、压制电磁干扰的措施等，编写正式的工作设计书，报上级技术主管部门批准。

## 5.2 装置形式选择

综合考虑地质任务、测区地质构造特征、地形地貌、噪声水平、仪器设备性能等条件，选择合适的装置形式（参见附录 A）。

## 5.3 工作参数设计

### 5.3.1 工作频段

测量使用的工作频率范围依据勘查任务目标，拟探测的最大深度和测区大地平均电阻率初步确定（参见附录 D）。实际测量时，使用的最低频率应比计算的频率再低 1~3 个频点，并通过试验最终确定。

### 5.3.2 收发距

依据目的探测深度、测区大地电阻率、信噪比等因素确定。在保证一定的信噪比前提下，收发距  $r$  应尽可能大于最大探测深度的 3 倍（参见附录 D）。

### 5.3.3 供电电极长度

供电电极  $AB()$   $\overline{D\_Dd}$   $\overline{AB}$  取 1~3km。

### 5.3.4 接收电极长度

接收电极  $MN$  长度根据所勘查的地质目标体的规模、埋深和信噪比的大小确定，通常在 20~200m 之间选择。 $\overline{MN}$  距离大，信号强，横向分辨率低； $\overline{MN}$  距离小，信号弱，横向分辨率高。

## 5.4 测网设计

5.4.1 测网应根据地质任务、勘查对象和地形地貌情况，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（参照 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）。测线方向要尽可能垂直于所探测地质目标体的走向（TM 测量模式时），点线距应能良好地反映目标地质体，广域电磁法常用比例尺和测网密度见表 2。

5.4.2 测线尽量与已有的地质勘探线、物化探测线重合，并尽量通过已知钻孔。

5.4.3 测线位置应尽量避免避开高压线等电力设施，以及大的村镇、厂矿区等电磁干扰强烈的区域。

5.4.4 测点、测线号编排规则：同一测区编号应统一，通常采用自西向东、自南向北增大的顺序编排，相邻测点、测线的编号应预留一定的间距，避免采用连续编号的方式，起始点线号也不应该从 0 或 1 开始。

5.4.5 测点的平面点位误差在工作比例尺的成果图上应不大于 2mm。

表 2 测网密度表

比例尺	线距 (km)	点距 (km)
1:100000	1.00~4.00	0.50~1.00
1:50000	0.50~2.00	0.25~0.50
1:25000	0.25~1.00	0.10~0.25
1:10000	0.10~0.50	0.05~0.10
1:5000	0.05~0.25	0.02~0.05
1:2000	0.02~0.10	0.01~0.02

### 5.5 工作总精度

5.5.1 工作总精度是指全区的视电阻率精度。

5.5.2 设计广域电磁法总精度时，应主要依据下列原则：

- a) 根据勘查地质任务、测区噪声水平以及其它因素进行设计，总精度应首先考虑能够观测与分辨最小勘查对象产生的最弱异常，一般应使均方相对误差的绝对值小于有意义相对异常的 1/3。
- b) 设计的总精度不应超过所用仪器所能达到的最高精度。

5.5.3 工作总精度根据广域视电阻率检查点重复观测结果，按公式（3）计算的均方相对误差来衡量，一般要求小于 5%。电磁干扰很强的地区，可以分区设计精度或适当放宽，并由设计书另行规定。

### 5.6 试验工作

5.6.1 在新测区应用条件不明或测区地质条件比较复杂时，开工初期应选择有代表性的地段进行方法试验研究，在条件许可时，可在已知地质剖面上进行试验研究。

5.6.2 通过实测测区标志层或目标体的异常响应，了解地下介质或工作参数及场源对广域电磁法测深曲线形态的影响及曲线分布特征，为施工方案设计提供依据或检验施工方案的正确性。

5.6.3 通过实测测区电磁干扰源的类型、强度、频率分布范围和干扰时段等特征，为如何避开、减少或压制电磁干扰的影响提供依据。

5.6.4 通过试验工作检验仪器的性能等。

5.6.5 依据试验结果对技术设计做进一步修改和补充。

### 5.7 设计书主要内容

5.7.1 设计书编写应以本标准及相关技术规范为依据，在充分分析测区已有资料、现场踏勘的基础上，结合测区实际情况和工作任务有针对性地编写。

5.7.2 设计书内容力求完整、重点突出，附图、附表齐全。主要包括：

- a) 目的任务；
- b) 测区概况，地质、地球物理特征，以往工作评价；
- c) 方法技术、仪器设备、技术指标、工作量及质量要求；
- d) 工作部署；
- e) 数据处理与解释；
- f) 安全生产、组织与管理；
- g) 提交成果内容及时间；
- h) 经费预算；

i) 有关附图及附表。

## 6 仪器设备

### 6.1 基本要求

6.1.1 仪器主要性能指标应达到广域电磁法技术（见附录 F）和设计书的要求，不符合要求的仪器不得用于生产。

6.1.2 仪器及其附属设备等应建立专门档案，并有专人负责管理和维护。

6.1.3 仪器及其附属设备存放场所应避开阳光直射，保持通风、干燥、清洁和无腐蚀气体；运送、使用中应注意防尘、防雨、防潮、防冻、防震、防暴晒。

6.1.4 仪器设备所配的零部件、备件及工具要随仪器妥善保管，不得用于它用。

6.1.5 仪器设备发生故障要及时检修，不得带病作业，检修须由熟悉仪器性能、原理、掌握检修技能的专门人员负责。

6.1.6 仪器设备长时间存放应定期通电检查，有充电电池的仪器，要定期充、放电维护。

6.1.7 供电电极 A、B 的材质导电性能要良好，可选用铁板、钢板、铜板、铜丝网、铝箔或采用铁或钢制的金属棒做电极，其规格和数量可根据工区接地条件及供电电流强度选定，一般采用铁板、铜板等片状电极。一般供电导线应选用内阻小、绝缘性能好、轻便、强度高的多芯全铜导线，其内阻应小于  $5\ \Omega/\text{km}$ 。当电压为 500V 时，供电导线的绝缘电阻应大于  $2\text{M}\ \Omega/\text{km}$ 。

6.1.8 接收电极 M、N 应采用电化学性能稳定、极差变化小的不极化电极或铜电极。接收导线也应选用内阻小、绝缘性能好、拉力强的耐磨导线，当电压为 500V 时，接收导线的绝缘电阻应大于  $5\text{M}\ \Omega/\text{km}$ 。

### 6.2 检查与测试

#### 6.2.1 仪器标定

6.2.1.1 施工仪器在检测和标定合格后才能运往工区。

6.2.1.2 仪器进入工区后应按不同仪器的要求定期进行标定时，相邻两次标定结果间相对误差应不大于  $\pm 1\%$ 。

#### 6.2.2 仪器一致性测定

6.2.2.1 当两台（道）或两台（道）以上仪器在同一测区施工，开工前和收工后应进行仪器一致性测定。

6.2.2.2 仪器一致性应在野外条件下，选择电磁干扰小的地段进行单点全频段测定。

6.2.2.3 各台仪器采用相同装置进行观测，观测的电位差均方相对误差 不大于 3%。

6.2.2.4 仪器一致性对比结果由某测点 m 台（道）仪器观测的总均方相对误差来衡量，计算公式为：

$$m' = \pm \sqrt{\frac{1}{n(m-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( \frac{A_{ij} - \bar{A}_i}{\bar{A}_i} \right)^2} \quad (1)$$

$$\bar{A}_i = \sum_{j=1}^m A_{ij} / m \quad (2)$$

式中：

$m'$ ——衡量仪器一致性的均方相对误差；

$n$ ——频点个数；

$m$ ——仪器台（道）数；

$A_{ij}$ ——第  $j$  台仪器第  $i$  个频点电位差；

$\bar{A}_i$ ——各仪器第  $i$  频点电位差平均值。

### 6.2.3 仪器稳定性测定

施工仪器开工前、收工后和长期施工满六个月，应在对比点采用相同装置观测，同台（道）仪器相邻两次测定视电阻率的均方相对误差应不大于 3%。开工前、收工后的测定允许与仪器一致性合并进行。

## 6.3 使用与维护

6.3.1 接收机、发射机、发电机组应配有专职操作员，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。

6.3.2 每天工作前必须对发电机组、发射机进行预热除潮处理，特别是在潮湿、寒冷天气或发电机组、发射机长期未使用情况下务必进行预热除潮处理。发射机的预热应在低电压、小电流下进行，确保可在大电流或高压条件能正常工作后才能开始大功率供电工作。

6.3.3 发射机工作时最大工作电压和电流一般不应超过额定值的 80%。

6.3.4 发电机组要定期更换滤清器及机油，轴承部位要及时加注润滑油，工作期间应保持通风系统畅通。发电机组的冷却系统工作不正常时必须立即停止使用并进行检修，直至正常后再继续使用。

6.3.5 发射机供电结束后，发电机组、发射机冷却系统应继续运行足够的时间散热至冷却，以防止损毁发射系统。

6.3.6 仪器及附属设备应定期保养检查。发生故障时应及时检修，检修合格后方可继续使用。

6.3.7 仪器设备检修须由专业人员进行，应填写完整检修记录并存档。

6.3.8 发电机组的使用与维护应参考发电机组的使用说明书，在野外做出相关规定。

## 7 野外工作

### 7.1 电阻率参数测定

为后期综合解释需要，应对测区的主要地质体进行电阻率参数测定。测定方法可选用标本、露头测定或小极距测深，以及电测井和井旁测深等方法。

### 7.2 场源布设

7.2.1 场源电极（A、B）应根据任务要求和实际地形、地物情况，选择合适的场地进行布设。场源电极 AB 间距一般要求 1~3km，实际接地点（A 或 B）应按照测量规范要求测定其坐标。

7.2.2 供电电极应选择土壤潮湿处埋设，采用多块金属板、网、箔（约 1m×2m）等材料，挖数个电极坑埋设，坑深不低于 0.5m，相邻坑距不小于 3m；也可用多根柱电极弧形并联相接，保证接地良好，以满足供电电流要求。

7.2.3 供电电极处须有明显的警示标志，供电导线连接处应用绝缘胶布包裹，遇障碍物应挖沟架空埋设（保证绝缘）。供电点和导线均应挂上高压危险标志，在 A、B 接地电极周围 10m 范围内拉警戒线，沿线派专人查护，确保人畜生命安全。供电站应选在地面干燥处，发射机操作人员应配备有高压防护措施及装备。

7.2.4 场源电极 AB 布设要尽量避开高压线、矿山（洞）上方、暗埋管道、溪流水域、平行的断裂构造等以减少电磁干扰。

7.2.5 场源电极 AB 布设应尽量避免避开已知矿山、变电站、湖泊、溶洞和局部电性不均匀等可能引起场源效应的已知地质体。

7.2.6 场源电极 AB 设完毕后，应检查供电导线是否有漏电情况，是否正确连接、接地情况是否良好，各连接点是否牢固。

### 7.3 接收装置的布设

7.3.1 MN 电极采用不极化电极或铜电极，与土壤接触良好，并浇水压实。

7.3.2 MN 电极的接地电阻一般应小于  $2k\Omega$ ，如遇基岩裸露地区，可适当放宽，但不应大于  $10k\Omega$ 。在沙漠、戈壁以及高阻岩石裸露区，应采用多电极并联，电极周围采取垫土浇水等措施降低接地电阻。

7.3.3 MN 电极与土壤接触良好，两电极埋置条件基本相同，不能埋在树根处、流水旁、繁忙的公路边和村庄内，同时应避免埋设在沟、坎边。如果观测时有信号不稳现象，应检查电极埋设质量和接地条件，处理达到稳定要求后再观测。

7.3.4 MN 连线不能悬空，防止晃动干扰。

### 7.4 安全措施

7.4.1 出工前必须对供电导线进行检查，可采用人工目检方式完成，任何损坏和开裂都必须进行及时的修复和替换，接头处应使用高压绝缘胶布包裹。仪器绝缘性检测，采用绝缘电阻测试仪分别测量 A、B 供电端子对仪器面板的绝缘电阻，测量结果要求不低于仪器规定的技术指标。

7.4.2 在山区收、放导线经过高压线时，严禁抛抖导线或手持长物，以防高压触电。在供电电极和导线经过的村庄、路口等障碍物的位置，应有明显清晰的高压警示标志，并派专人巡视看管。

7.4.3 供电前，操作员必须仔细检测供电线路，确认接线正确、连通和接地情况良好后，明确发出供电指令，当确认所有工作人员已离开 A、B 极，方可开始供电。

7.4.4 供电期间，操作员应密切看护发射机及配套设备，保证其处于正常工作状态并随时处置出现的故障；在改变发射机输出电压挡位、变换频点前，必须退出发射状态；需手动调节发射机输出电流时，必须平稳缓慢调节；退出发射状态前，必须将输出电流调节至最小。

7.4.5 发电机组运行期间，不得添加燃油。

7.4.6 连接或断开供电导线、发射控制器电缆、发射机电源输入电缆时，必须确认发射机是处于关机状态。

7.4.7 移动测站前或全天工作结束后，在尚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和电极。

7.4.8 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讯工具；供电系统人员必须使用绝缘胶鞋、绝缘手套等防护用品。

7.4.9 雷雨天气，应停止野外作业。突遇雷电，应迅速关机、断开连接仪器设备的所有电缆。

7.4.10 布线需要经过水域时，除处理好导线外，应保证过水安全、严禁徒手托拽导线涉水（或泅渡）；水上或冰上作业必须制定相应的安全制度和应急措施。

### 7.5 数据采集

7.5.1 数据采集前，操作员应确保接收机与发射机的时钟处于同步状态；操作员应检测 MN 连线与电极的连通情况，确保电极接地良好。

7.5.2 在供电之前，应观测噪声水平，根据噪声情况，设定叠加次数和重复观测次数。供电观测时，应停止无线电通信。当工频干扰较严重时，可选取陷波滤波器抑制噪声。强干扰条件下应选择避开干扰严重的时间段采集数据。当干扰较小时，单个频点一般至少取两次读数；

在干扰较强时，应增加观测次数。

7.5.3 观测时应做好野外观测现场工作记录（参见附录 E），应使用铅笔清晰地书写，字迹工整。除按规定记录点、线号等信息外，还应记录观测点附近影响观测结果的地质现象、地形地貌、可能引起噪声的干扰源等。

7.5.4 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。

7.5.5 野外工作期间，如遇仪器发生故障无法排除时，应立即送回基地（或返厂）维修，不得自行拆卸，并做好记录。严禁仪器带故障工作。野外必须建立仪器检测、维护记录，详细记述仪器使用中出现的故障和排除故障的措施，野外施工过程需要有严谨全面的备忘录。

## 7.6 质量检查点和覆盖点

7.6.1 质量检查应确保“一同三不同”（即：检查点测点位置相同、检查人员不同、检查时间不同、检查仪器不同），难以满足一同三不同的至少要保证“一同两不同”（即：检查点测点位置相同、检查人员不同、检查时间不同）。

7.6.2 检查点总数不得少于全测区观测点的 3%，要求检查点在测区内大体分布均匀，异常区段以及质量可疑地段必须有一定数量的检查点。

7.6.3 检查点前后两次数据得到的广域视电阻率曲线形态须一致，对应频点数值接近，均方相对误差  $m$  小于 5%，计算观测误差时，可剔除个别干扰大的频点，按公式（3）计算。

$$m = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{A_i - A'_i}{\bar{A}} \right)^2} \quad (3)$$

式中：

$\bar{A} = (A_i + A'_i) / 2$ ；

$i$ ——频点号；

$A_i$ ——第  $i$  个频点的广域视电阻率；

$A'_i$ ——第  $i$  个频点检查观测的广域视电阻率。

7.6.4 同一测线需改变场源位置时，应至少有 3~5 个重复观测点。改变场源位置前后重复点的广域视电阻率曲线形态应大体一致或基本重合。

## 7.7 野外工作质量评价

7.7.1 单测点全频段视电阻率质量评价标准分为：

一级：曲线圆滑连续，无畸变频点，平均均方误差小于 5%，关键频点作过重复观测。

二级：曲线形态清楚，无连续三个以上的畸变频点，平均均方误差大于 5%，小于 10%。曲线高频或低频段个别频点存在畸变，但不超过总频点个数的 20%。

三级：曲线形态不清、连续的畸变频点超过总频点的 20%，均方误差大于 10%，为不合格点。

7.7.2 每个测点的视电阻率应分别评定，按级登记，对三级曲线还应注明原因。

7.7.3 全区系统检查观测质量评价标准：

I 级：80%以上单测点视电阻率质量达到 7.7.1 的一级标准，相邻测点的曲线类型规律性较好，原始记录（班报及曲线）清楚齐全。

II 级：50%以上单测点视电阻率质量达到 7.7.1 的一级标准，其余为二级，经平滑后能保证曲线形态清楚，规律性好，原始记录齐全。

III 级：低于二级要求。



7.8 野外资料验收

7.8.1 验收内容

7.8.1.1 原始资料

- a) 原始数据盘;
- b) 操作员工作记录、测点班报及日报;
- c) 视电阻率原始记录曲线;
- d) 测量记录及数据盘;
- e) 电性参数测定记录;
- f) 仪器设备检测、维护及标定记录。

7.8.1.2 基础资料

- a) 电阻率参数统计表;
- b) 视电阻率拟断面图;
- c) 生产进度情况统计表 (见表 3);
- d) 视电阻率曲线质量评定表 (见表 4);
- e) 质量检查点误差统计表 (见表 5);
- f) 质量检查曲线对比图;
- g) 实际材料图;
- h) 野外工作总结;
- i) 其他相关资料。

7.8.2 验收要求

7.8.2.1 承担单位先行验收合格后, 应提前向项目委托单位提交验收申请, 委托单位组织验收组对野外资料进行验收。验收时, 施工单位应向验收组详细汇报任务完成情况、资料质量自检情况、初步解释成果等。

7.8.2.2 验收组根据承担单位提交的任务完成情况、原始资料、基础资料等相关资料, 依据任务书 (合同)、设计书及相关行业技术标准等进行检查验收, 形成书面意见书。

7.8.2.3 野外资料验收合格后, 方可结束野外工作。

表 3 广域电磁法勘探生产进度情况统计表

起始日期	截止日期	生产天数	起止线号点号	剖面		物理点数		备注
				计划 km	完成 km	有效点数目	检查点数目	

表 4 广域电磁法勘探视电阻率质量评定表

线一点号	视电阻率曲线级别			备注
	I	II	III	

表 5 广域电磁法勘探检查点误差统计表

点号	频点	$\rho$	$\rho'$	%	备注

8 资料处理与解释

8.1 数据编辑与平滑

- 8.1.1 对测点中偏离度大、畸变明显的的数据应进行剔除或平滑处理。
- 8.1.2 对曲线畸变严重的频点，应参考相邻测点，采用数字滤波的方法处理。

8.2 静态效应校正

- 8.2.1 根据已知地质资料和原始视电阻率拟断面图及地形起伏情况，判断静态效应现象及严重性。
- 8.2.2 结合已知资料对数据进行静态效应校正，应采用多种方法进行比对，如空间滤波法、小波多尺度分析法等，选择最佳校正方案。

8.3 覆盖点的处理

- 8.3.1 对相对误差在 10%以内的覆盖点，可以采用算术平均方法处理，小于 5%可不作处理。
- 8.3.2 相对于误差较大的覆盖点，应分析产生的原因，采取有效的处理方法。

8.4 定性分析

- 8.4.1 分析频率-视电阻率拟断面图，初步了解测线上的电性分布、基底的起伏、断层的分布、电性层的划分等断面特征，并进行测线对比分析。
- 8.4.2 研究测区的曲线类型，对井旁测深数据进行正反演数值模拟，确定电性层对应的地质层位和测区的地电模型。

8.5 定量分析

- 8.5.1 根据定性分析资料，综合其它地质、地球物理资料，确定反演初始地电模型。
- 8.5.2 确定初始模型后，开展一维反演解释。
- 8.5.3 在一维反演的基础上，开展二维反演，利用已知的地质和地球物理资料做约束，使剖面解释趋于合理。
- 8.5.4 综合利用已有的地质、地球物理、地球化学、钻井等资料，对各电性层和构造进行标定和确认，进行综合反演成像和解释。

9 成果报告编写

9.1 编写要求

- 9.1.1 报告要实事求是，内容全面，重点突出，论述及推断有据且充分，文字简练，逻辑严密，结论客观明确。
- 9.1.2 报告附图、附表、附件要规范、合理、美观，文字说明简练、清楚。

9.1.3 勘查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。

## 9.2 报告主要内容

- a) 地质任务及完成情况；
- b) 工作区概况及以往工作评价；
- c) 工作区地质及地球物理特征；
- d) 野外工作方法、技术和质量评述；
- e) 资料处理；
- f) 解释推断；
- g) 结论和建议。

## 9.3 主要图件

- a) 实际材料图（测网位置、检查点位置、覆盖点位置、场源位置、物性测定点位等）；
- b) 典型测深曲线、拟断面图、等频率视电阻率图；
- c) 电阻率—深度断面图，对面积性工作，可根据需要加附不同深度电阻率平面图、电阻率立体图；
- d) 推断地质断面图；
- e) 推断地质平面图；
- f) 仪器一致性对比图；
- g) 质量检查点数据对比图；
- h) 其它推断的图件。

附件 A  
(资料性附录)  
广域电磁法测量装置、方式、范围及模式

A.1 测量方式

广域电磁法有标量、矢量和张量三种测量方式。

A.1.1 标量测量

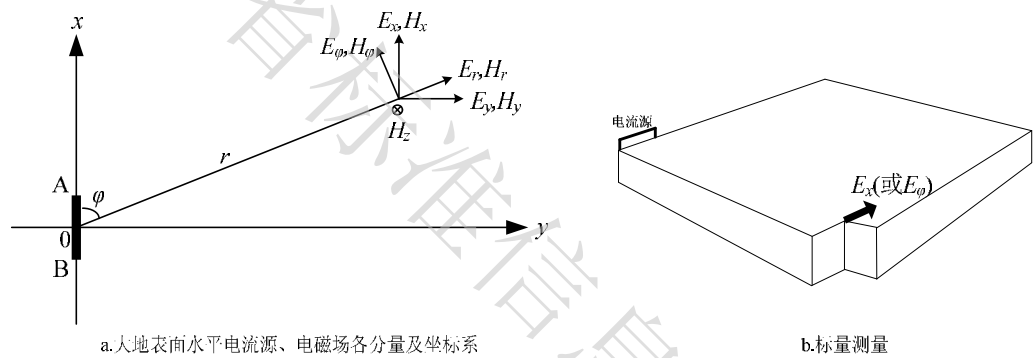


图 A.1 标量测量方式

对水平电流源的一个分量（磁场或者电场分量）进行观测的方式称之为广域电磁法的标量测量，具体有 E-E<sub>x</sub>（或 E<sub>φ</sub>）、E-H<sub>z</sub>、E-H<sub>y</sub>（或 H<sub>r</sub>）、E-H<sub>x</sub>（或 H<sub>φ</sub>）等多种方式（参考附录 B），最常用的为 E-E<sub>x</sub> 和 E-E<sub>φ</sub> 方式（图 A.1.b）。

A.1.2 矢量测量

对水平电流源的两个分量（E<sub>x</sub>、E<sub>y</sub>）或五分量（E<sub>x</sub>、E<sub>y</sub>、H<sub>x</sub>、H<sub>y</sub>、H<sub>z</sub>）进行观测。矢量测量方式一般用于探测地下二维和三维地质目标体。

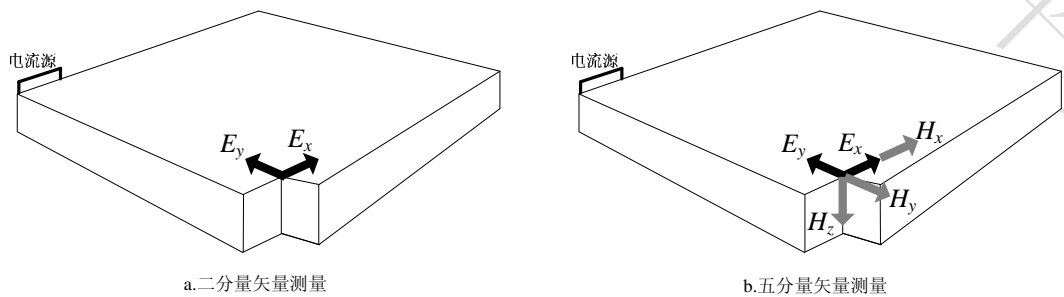


图 A.2 矢量测量方式

A.1.3 张量测量

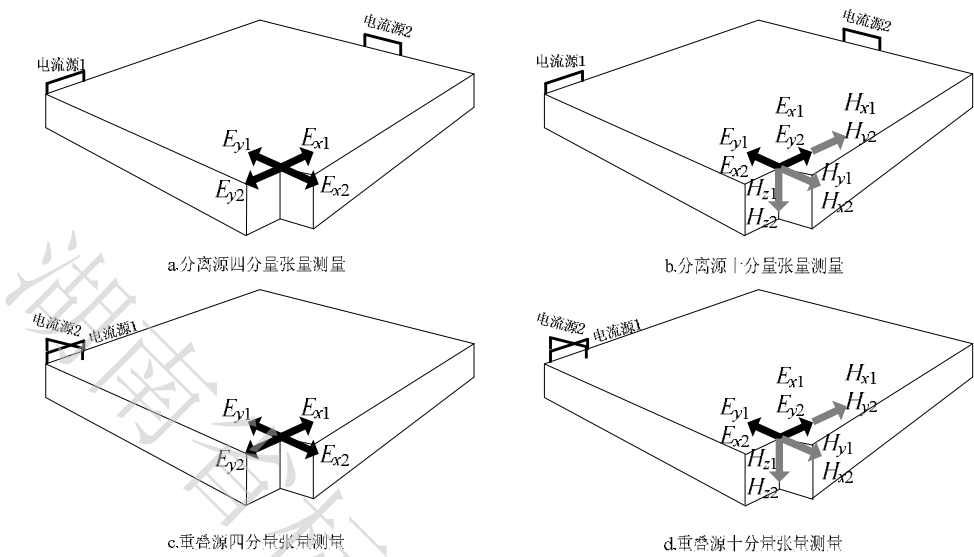


图 A.3 张量测量方式

A.2 装置形式

A.2.1 E-E<sub>x</sub> 旁侧装置

接收电极 MN 分布在发射电流源中垂线两侧各一定张角的扇形区域内 (见图 A.6)。

A.2.2 E-E<sub>x</sub> 轴向装置

接收电极 MN 分布在发射电流源轴向线两侧各一定张角的扇形区域内 (见图 A.6)。

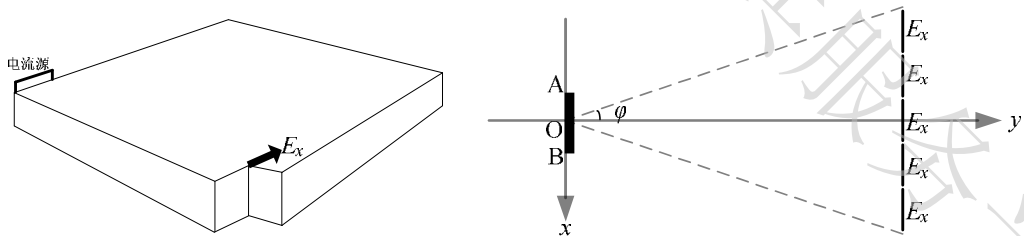


图 A.4 E-E<sub>x</sub> 装置测量方式

A.2.3 E-E<sub>φ</sub> 装置

接收电极 MN 分布在发射电流源轴向线两侧各一定张角的扇形区域内 (见图 A.7)。

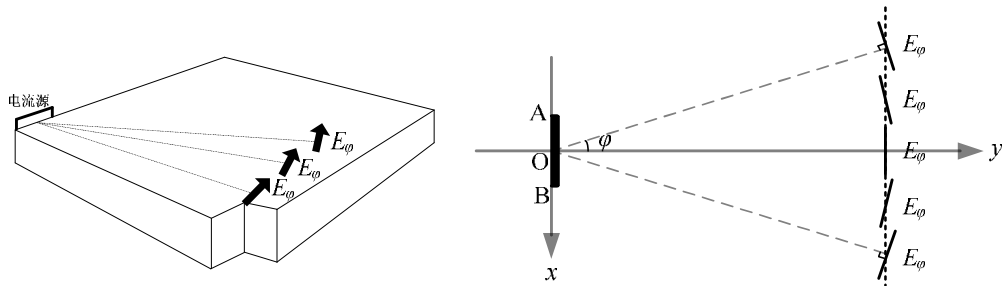


图 A.5 E-E<sub>φ</sub> 装置测量方式

### A.3 测量模式

根据发射电极 AB、接收电极 MN 和测线布设方向相对于地质构造走向的关系，广域电磁法有 TM (Transverse Magnetic) 和 TE (Transverse Electric) 两种测量方式。

#### A3.1 TM 模式

发射电极 AB、接收电极 MN 及测线方向垂直于地质构造方向布设。

#### A3.2 TE 模式

发射电极 AB、接收电极 MN 及测线方向平行于地质构造走向布设。

### A.4 测量范围

根据电偶源电磁场分量分布特征和信噪比要求，在广域电磁法野外测量中，标量测量 E-E<sub>x</sub>、E-E<sub>φ</sub> 观测范围各不相同。

#### A4.1 E-E<sub>x</sub> 的观测范围

旁侧装置：测量范围一般在发射偶极中垂线两侧各 30° 张角、且  $r \geq d$  的两个扇形区域（见图 A.6）。低频测量时张角适当减小。

轴向装置：测量范围一般在发射偶极轴向线两侧各 20° 张角、且  $r \geq d$  的两个扇形区域（见图 A.6）。低频测量时张角适当减小。

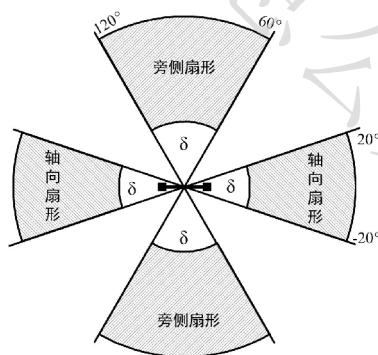


图 A.6 E-E<sub>x</sub> 装置的测量范围示意图

#### A4.2 E-E<sub>φ</sub> 的观测范围

测量范围一般在发射偶极中垂线两侧各 60° 张角、且  $r \geq d$  的两个扇形区域（见图 A.7）。

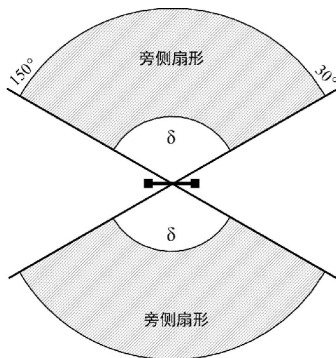


图 A.7 E-E<sub>φ</sub> 装置的测量范围示意图

## 附件 B

## (资料性附录)

## 广域电磁法各种测量方式的计算公式

## B.1 均匀半空间表面水平电偶源的电磁场公式

$$E_r = \frac{IdLr}{2\pi r^3} \cos f [1 + e^{-ikr} (1 + ikr)] \quad (\text{B.1})$$

$$E_f = \frac{IdLr}{2\pi r^3} \sin f [2 - e^{-ikr} (1 + ikr)] \quad (\text{B.2})$$

$$E_x = \frac{IdLr}{2\pi r^3} [3 \cos^2 j - 2 + e^{-ikr} (1 + ikr)] \quad (\text{B.3})$$

$$E_y = \frac{3IdLr}{2\pi r^3} \sin j \cos j \quad (\text{B.4})$$

$$H_r = -\frac{IdL}{4\pi r^2} \sin j [6I_1 K_1 + ikr(I_1 K_0 - I_0 K_1)] \quad (\text{B.5})$$

$$H_f = \frac{IdL}{2\pi r^2} \cos j \cdot I_1 K_1 \quad (\text{B.6})$$

$$H_x = -\frac{IdL}{4\pi r^2} \sin j \cos j [8I_1 K_1 - ikr(I_0 K_1 - I_1 K_0)] \quad (\text{B.7})$$

$$H_y = \frac{IdL}{2\pi r^2} [(1 - 4 \sin^2 j) I_1 K_1 + \frac{ikr}{2} \sin^2 j (I_0 K_1 - I_1 K_0)] \quad (\text{B.8})$$

$$H_z = -\frac{IdL}{2\pi r^4 k^2} \sin j [3 - e^{-ikr} (3 + 3ikr - k^2 r^2)] \quad (\text{B.9})$$

B.2 E-E<sub>x</sub> 广域视电阻率计算公式

$$r_a = K_{E-E_x} \frac{\Delta V_{MN}}{I} \frac{1}{f_{E-E_x}(ikr)} \quad (\text{B.10})$$

$$\text{式中 } K_{E-E_x} = \frac{2\pi r^3}{dL \cdot MN} \quad (\text{B.11})$$

$$\Delta V_{MN} = E_x \cdot \overline{MN} = \frac{IdLr}{2\pi r^3} f_{E-E_x}(ikr) \cdot \overline{MN} \quad (\text{B.12})$$

$$E_x = \frac{IdLr}{2\pi r^3} f_{E-E_x}(ikr) \quad (\text{B.13})$$

$$f_{E-E_x}(ikr) = 1 - 3 \sin^2 j + e^{-ikr} (1 + ikr) \quad (\text{B.14})$$

广域视电阻率的计算采用迭代方法求解。

B.3 E-E<sub>φ</sub> 广域视电阻率计算公式

$$r_a = K_{E-E_f} \frac{\Delta V_{\overline{MN}}}{I} \frac{1}{f_{E-E_f}(ikr)} \quad (\text{B. 15})$$

$$\text{式中 } K_{E-E_f} = \frac{2\pi r^3}{dL \cdot \overline{MN}} \quad (\text{B. 16})$$

$$\Delta V_{\overline{MN}} = E_f \cdot \overline{MN} = \frac{IdLr}{2\pi r^3} f_{E-E_f}(ikr) \cdot \overline{MN} \quad (\text{B. 17})$$

$$E_f = \frac{IdLr}{2\pi r^3} f_{E-E_f}(ikr) \quad (\text{B. 18})$$

$$f_{E-E_f}(ikr) = \sin f \left[ 2 - e^{-ikr} (1 + ikr) \right] \quad (\text{B. 19})$$

广域视电阻率的计算采用迭代方法求解。

#### B.4 E-H<sub>z</sub> 广域视电阻率计算公式

$$r_a = K_{E-H_z} \frac{|H_z|wm}{I \cdot f_{E-H_z}(ikr)} \quad (\text{B. 20})$$

$$\text{式中 } K_{E-H_z} = \frac{2\pi r^4}{3dL \cdot \sin f} \quad (\text{B. 21})$$

$$|H_z| = \frac{Ir}{K_{E-H_z}} |f_{E-H_z}(ikr)| \quad (\text{B. 22})$$

$$f_{E-H_z}(ikr) = 1 - e^{-ikr} \left( 1 + ikr - \frac{1}{3} k^2 r^2 \right) \quad (\text{B. 23})$$

广域视电阻率的计算采用迭代方法求解。

#### B.5 E-H<sub>r</sub> 广域视电阻率计算公式

$$H_r = -\frac{IdL}{4\pi r^2} \sin f \cdot f_{E-H_r}(ikr) \quad (\text{B. 24})$$

$$\text{式中 } K_{E-H_r} = \frac{4\pi r^2}{dL \cdot \sin f} \quad (\text{B. 25})$$

$$f_{E-H_r} = -K_{E-H_r} \frac{H_r}{I} \quad (\text{B. 26})$$

广域视电阻率的计算采用迭代方法求解。

#### B.6 E-H<sub>φ</sub> 广域视电阻率计算公式

$$H_f = \frac{IdL}{2\pi r^2} \cos f \cdot f_{E-H_f}(ikr) \quad (\text{B. 27})$$



$$\text{式中 } K_{E-H_f} = \frac{2\pi r^2}{dL \cdot \cos f} \quad (\text{B. 28})$$

$$f_{E-H_f} = K_{E-H_f} \frac{H_f}{I} \quad (\text{B. 29})$$

广域视电阻率的计算采用迭代方法求解。

#### B.7 E-H<sub>y</sub> 广域视电阻率计算公式

$$H_y = \frac{IdL}{2\pi r^2} \cdot f_{E-H_y}(ikr) \quad (\text{B. 30})$$

$$\text{式中 } K_{E-H_y} = \frac{2\pi r^2}{dL} \quad (\text{B. 31})$$

$$f_{E-H_y} = K_{E-H_y} \frac{H_y}{I} \quad (\text{B. 32})$$

广域视电阻率的计算采用迭代方法求解。

#### B.8 E-H<sub>x</sub> 广域视电阻率计算公式

$$H_x = -\frac{IdL}{4\pi r^2} \sin f \cdot \cos f \cdot f_{E-H_x}(ikr) \quad (\text{B. 33})$$

$$\text{式中 } K_{E-H_x} = \frac{4\pi r^2}{dL \cdot \sin f \cdot \cos f} \quad (\text{B. 34})$$

$$f_{E-H_x} = -K_{E-H_x} \frac{H_x}{I} \quad (\text{B. 35})$$

广域视电阻率的计算采用迭代方法求解。

#### B.9 其他常用公式

以上公式均采用 CGSM 单位制。在实际工作中，常使用 MKS 制单位，即电阻率用  $\Omega \cdot \text{m}$ 、电场 E 用 mV / km、时间用秒 (s) 作单位。

趋肤深度：

$$d = \sqrt{2r/mw} = 503\sqrt{r/f} \quad (\text{B. 36})$$

探测深度：

$$D \approx d/\sqrt{2} = 356\sqrt{r/f} \quad (\text{B. 37})$$

波长：

$$l = 2\pi d \quad (\text{B. 38})$$

传播常数：

$$k = (1 \pm i)\sqrt{wm/2r} \quad (\text{B. 39})$$

(B.1) ~ (B.39) 式中:

$r$ ——收—发距 (米或千米)

$dL$ ——发射偶极长度 (米或千米)

$E$ ——电场振幅 (毫伏 / 千米)

$m = m_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ , 空气磁导率 (亨利 / 米)

$s = 1/r$ , 大地电导率 (西门子 / 米)

$w = 2\pi f$ , 角频率 (弧度每秒)

$j$  ——  $r$  与 AB 夹角 (度)

$I$  ——电流强度 (安培)

$H$ ——磁场振幅 (伽玛或纳特)

$r = 1/s$ , 大地电阻率 (欧姆 · 米)

$I_0$ 、 $I_1$  和  $K_0$ 、 $K_1$  分别是第一类和第二类以  $-i kr/2$  为宗量的虚宗量贝塞尔函数, 0 和 1 表示阶数。

附件 C  
(资料性附录)

广域电磁法在常规及非常规油气藏、干热岩压裂实时电磁监测中的使用

广域电磁法可用于常规及非常规油气藏、干热岩压裂裂缝监测。具体通过在平行或垂直于水平井方向一定距离外布置包括若干主频及谐波的信号发射源,信号发射源包括电磁波激励信号激发源和电偶极子(电极 A 和 B)。

获取压裂监测范围内若干监测点处在压裂前的电场或者磁场信号和压裂过程中的电场或者磁场信号,具体包括:

在压裂监测范围内布置若干监测点,每个监测点设置有电场(或磁场)监测传感器,用于连续监测每个压裂段不同压裂时间压裂目标层对电磁波激励信号响应的电场或者磁场信号。

记录不同频率电磁波激励信号对应的电流强度,利用信号发射站所获得的电流强度对电场或者磁场信号归一化,不同压裂时间段归一化后的电场或者磁场信号强度绘制成频率-电场、频率-磁场、频率-电阻率的曲线。

获取监测点在压裂前的电场或者磁场信号和压裂过程中不同频率电磁波激励信号对应电场或者磁场信号,根据不同频率电磁波激励信号对应的电流强度对压裂过程中电场或者磁场信号归一化,并以压裂前所测的电场或者磁场信号为基准,对压裂施工期间不同时间监测到的电场或者磁场信号进行差分计算,得到各个监测点的残差电场或残差磁场,用残差电场或残差磁场绘制频率-残差电场或残差磁场曲线,利用各监测点残差电场或残差磁场曲线结合响应量板分析推断每段的压裂裂缝横向波及范围,包括缝长、缝高、缝宽、改造体积等几何特征,缝网特征,段间串缝影响等裂缝特征。

计算残差电场或残差磁场的过程简介如下:

监测接收机首先获得不同压裂阶段各监测点的电位差数据计算出电场,  $E_{if} = \Delta V_{if} / (I_{if} \cdot MN)$ ,

利用磁棒采集  $H_{if}$ , 其中  $i$  表示监测点位置,  $f$  表示频率,  $MN$  表示监测点的距离。

利用压裂前和压裂过程中各监测点的电位差数据,计算出残差电场或残差磁场或残差电阻率,公式如下:

$$dE_{ift} = E_{ift} - E_{ift_0} = (\Delta V_{ift} / I_{ift} - \Delta V_{ift_0} / I_{ift_0}) / MN \quad (C.1)$$

$$dH_{ift} = H_{ift} - H_{ift_0} \quad (C.2)$$

$$dr_{ift} = r_{ift} - r_{ift_0} \quad (C.3)$$

其中  $t_0$  表示压裂前,  $t$  表示压裂过程中某一时刻。

基于所述残差电场或残差磁场得到频率-残差电场或残差磁场关系,对所述频率-残差电场或残差磁场关系中的负异常进行积分处理,得到电场或磁场残差度或残差电阻率。

用残差电场或残差磁场绘制频率-残差电场或残差磁场曲线,利用各监测点频率-残差电场或残差磁场曲线分析推断每段的压裂裂缝横向波及范围。对频率-残差电场或残差磁场曲线中的负异常进行积分,形成评价单点压裂效果的参数-电场或磁场残差度或残差电阻率。

计算电场或磁场残差度或残差电阻率公式如下:

$$P_{it} = \int_{f_1}^{f_{13}} (E_{ift} - E_{ift_0}) \cdot df \quad (\text{C.4})$$

$$P_{it} = \int_{f_1}^{f_{13}} (H_{ift} - H_{ift_0}) \cdot df \quad (\text{C.5})$$

$$P_{it} = \int_{f_1}^{f_{13}} (r_{ift} - r_{ift_0}) \cdot df \quad (\text{C.6})$$

上式表示压裂过程中第*i*个监测点*t*时刻的电场或磁场残差度或残差电阻率。

基于每个监测点的电场或磁场残差度或残差电阻率获取压裂裂缝在空间的展布范围和压裂效果,具体包括:

用残差电场或残差磁场绘制频率-残差电场或残差磁场曲线,利用各监测点残差电场或残差磁场曲线分析推断每段的压裂裂缝横向波及范围,包括缝长、缝宽及改造体积;通过分析每个监测点的频率-残差电场或残差磁场曲线特征,结合根据压裂井地电模型建立的监测响应量板获得压裂裂缝在纵向的厚度,及逢高;即利用反馈的电场或者磁场信号在空间和时间上的变化特征来监测压裂段横向、纵向分布裂缝几何展布范围;

利用所有压裂段每个监测点的电场或磁场残差度或残差电阻率绘制平面等值线图,可推断压裂裂缝在空间的展布范围及压裂效果,电场或磁场残差度或残差电阻率越小,压裂效果越好,反之压裂效果差;油气压裂理想效果是压裂施工后形成均匀的缝网,本实施例中利用连续观测获得电场随时间的变化曲线特征来分析裂缝特征,可以推断压裂所形成的裂缝是主大裂缝还是均匀缝网。

另外,通过实时监测相邻压裂段在当前压裂过程中的曲线变化,可获取段间裂缝是否串缝、串缝位置、规模、方向等信息,为压裂段段间影响评价提供数据基础。

附件 D  
(资料性附录)  
广域电磁法工作参数的选取

### D.1 收发距

广域电磁法测量, 由于有限场源的使用使地面上允许采集数据的范围受到限制。限制因素有三个: 1) 最小收发距  $r_{\min}$ , 它受到探测深度的限制; 2) 最大收发距  $r_{\max}$ , 它受到最小可探测信号的限制; 3) 信号强度与偏离场源中垂线方位角  $j$  的依赖关系。因此, 要保证所使用的工作频率满足探测深度要求, 且在目标最大探测深度处信号强度足够强, 需要对收发距进行估算。

#### D.1.1 最小收发距

在广域电磁法勘查中, 收发距是以趋肤深度为标准来确定, 广域电磁法可以在不限于远区的广大区域测量, 只要求  $r_{\min} > 3d$  ( $d$  为趋肤深度)。

#### D.1.2 最大收发距

根据远区水平电场公式,

$$E_j \approx \frac{IdLr}{\pi r^3} \sin j \quad (\text{D.1})$$

对于 E-Ex 测量装置, 当收发距  $\gg$  时, 有

$$r_{\max} \approx \left( \frac{IdLr \sin j}{\pi E_{\min}} \right)^{1/3} \quad (\text{D.2})$$

式中:

$I$  —— 电流强度 (安培)

$r$  —— 大地电阻率 (欧姆·米)

$AB$  —— 供电电极长度 (千米);

$E_{\min}$  —— 为在一定噪声条件下可探测到的最小电场信号强度 (微伏 / 千米);

$r_{\max}$  —— 最大收发距 (千米)。

估算最大收发距  $r_{\max}$  示例:

若  $r$  为  $100 \Omega \cdot \text{m}$ ,  $I=50\text{A}$ ,  $dL=1\text{km}$ , 赤道 (旁侧) E-Ex 装置 ( $\Phi=90^\circ$ ) 测量, 外界随机噪声水平  $10 \mu\text{V}$ , 当  $E_{\min}=0.1 \mu\text{V/km}$  时 (假定最低信噪比为 1: 100, 目前的广域电磁法数字采集系统可在信噪比为 1: 100 时随机噪声条件下经过叠加和平均得到最小准确信号), 由 C.2 式可计算得到  $r_{\max}=25.2\text{km}$ 。 $r_{\max}$  随电阻率增高和噪声水平降低而增大, 反之则减小。事实上, 仪器观测系统本身的分辨率由于各种噪声的存在,  $E_{\min}$  一般应大于  $0.5 \mu\text{V/km}$ , 因此实际  $r_{\max}$  应小于  $25.2\text{km}$  才能观测到最小准确信号。

### D.2 探测深度

在技术设计中, 首先要对测区内大地平均电阻率有一个恰当的估计, 这个估计可根据收集或采集的岩 (矿) 石物性样品的电阻率值、测井电阻率值, 以及测区以往经验来估计, 然后可根据经验公式 (D.3) 初步估算不同频率的最大探测深度, 公式 (D.3) 说明探测深度与大地电阻率和信号频率有关。图 C.1 是根据公式 (D.3) 计算的简便列线图。估算探测深度 的经验公式为:

$$D \approx d / \sqrt{2} = 356 \sqrt{r / f} \quad (\text{D.3})$$

式中:

$d$ ——趋肤深度 (米);

$r$ ——大地电阻率 (欧姆·米);

$f$ ——工作频率 (赫兹);

$D$ ——探测深度 (米)。

### D.3 最低工作频率

技术设计中, 根据勘查地质目标深度的要求在确定最大探测深度后, 可根据最大探测深度估算所需要的最低工作频率  $f_L$ 。

$$f_L = (356/D)^2 \cdot r \quad (\text{D.4})$$

当大地电阻率已知时, 保证在远区测量的最低工作频率  $f_L$  与可探测到最小信号时的收发距  $r_{\max}$  有关, 因此可根据公式 (D.5) 来进一步估算  $f_L$ 。计算  $f_L$  的经验公式为:

$$f_L = 0.06 r / r_{\max}^2 \quad (\text{D.5})$$

这两个公式假定最低信噪比为 1: 100。

D.1~D.5 式中:

$D$ ——探测深度 (米);

$r_{\max}$ ——最大收发距 (千米);

$r$ ——估计的测区大地平均电阻率 (欧姆·米);

$f_L$ ——最低工作频率 (赫兹)。

通常, 为保证不漏掉所要探测的地质目标体, 要求野外应测到比最低工作频率  $f_L$  还要低的几个频率, 以确保适合的探测深度。

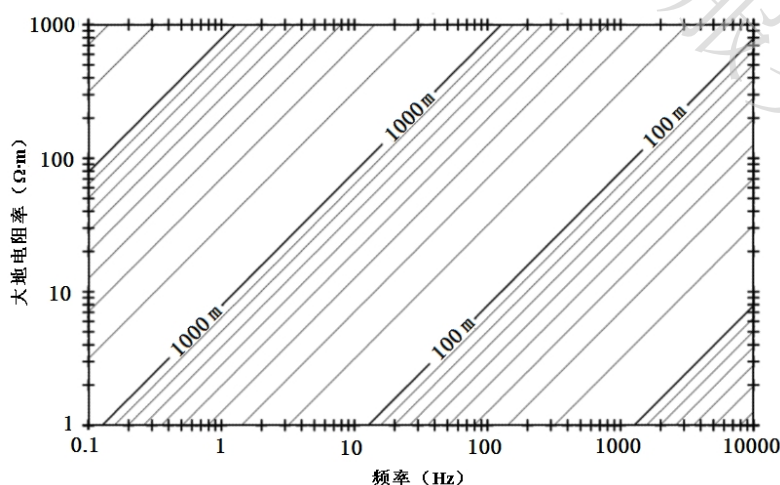


图 D.1 估算探测深度的列线图

附件 E  
(资料性附录)  
广域电磁法野外观测工作记录表

工区：\_\_\_\_\_.

A 极坐标：\_\_\_\_\_.

B 极坐标：\_\_\_\_\_.

工作装置几何参数：AB：\_\_\_\_\_m MN：\_\_\_\_\_m

接收机型号及编号：\_\_\_\_\_.

发射机型号及编号：\_\_\_\_\_.

操作员：\_\_\_\_\_ 记录员：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_ 天气：\_\_\_\_\_.

点号 / 线号	收-发距 (m)	频率范围 (Hz)	数据块 标识	测点描述 (地质描述、地形地物、电磁干扰源等)	备注

附件 F  
(资料性附录)

广域电磁法仪器设备主要技术指标要求

广域电磁法接收机、发射机的主要技术指标要求分别列于表 F.1、F.2。

表 F.1 接收机主要技术指标要求

参数	技术指标	备注
输入阻抗	$\geq 3 \text{ M}\Omega$	
信号测量范围	-200 mV ~ +200 mV	
最小检测信号	0.1 $\mu\text{V}$	
电位差测量精度	$\pm 1 \%$	
频率范围	3/256Hz ~ 8192Hz	
A / D 模数转换	24 位	
A / D 模数转换速率	$\leq 128 \text{ KSPS}$	
工频压制	$\geq 80 \text{ dB}$	
工作温度	-20℃ ~ +45℃	
湿度	0 ~ 80%	

表 F.2 发射机主要技术指标要求

参数	技术指标	备注
输出电压范围	100 V ~ 1000 V	
频率范围	3/256Hz ~ 8192Hz	
电流测量精度	$\pm 1\%$	
发送电流	$\geq 20 \text{ A}$	根据工作任务选择
功率	$\geq 30 \text{ kW}$	根据工作任务选择
工作温度	-20℃ ~ +45℃	
湿度	0 ~ 80%	
绝缘电阻	$> 50 \text{ M}\Omega @ 1000\text{V}$	



## 参 考 文 献

- [1] 何继善. 广域电磁法和伪随机信号电法[M]. 高等教育出版社, 2010.
- [2] 朴化荣编著, 电磁测深法原理, 北京, 地质出版社, 1990.
- [3] A. A. 考夫曼, G. V. 凯勒著, 王建谋等译校, 频率域和时间域电磁测深, 北京, 地质出版社, 1987.
- [4] 地质调查标准汇编——地球物理勘查第一分册, 中国地质调查局, 2006.
- [5] 地质调查标准汇编——地球物理勘查第二分册, 中国地质调查局, 2006.
- [6] 物探化探遥感勘查技术规程规范编写规定 (DZ/T 0195—1997) .
- [7] 可控源音频大地电磁技术规程 (DZ/T 0280—2015) .
- [8] 可控源声频大地电磁法勘探技术规程 (SY/T 5772—2002) .
- [9] 连续电磁剖面法勘探技术规程 (SY/T 6289—1997) .
- [10] 石油大地电磁测深法技术规程 (SY/T 5820—1999) .
- [11] 大地电磁测深仪使用与维护 (SY/T 5930—2000) .
- [12] 煤炭电法勘探规范 (MT/T 898—2000) .
- [13] 岩矿石物性调查技术规程 (DD 2006—03) .
-