ICS 73.020
CCS E 10/19

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T XXXXX—XXXX

广域电磁法技术规程

Code of practice for wide field electromagnetic method

（报批稿）

XXXX－XX－XX 发布　　XXXX－XX－XX 实施

中华人民共和国自然资源部　　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、缩略语及符号 1
3.1 术语和定义 1
3.2 缩略语 2
3.3 符号和计量单位 2
4 总则 3
4.1 应用范围 3
4.2 应用条件 3
4.3 测量装置和测量模式 3
5 技术设计 3
5.1 编制原则 3
5.2 资料收集与踏勘 4
5.3 测量装置及参数选择 4
5.4 测网设计 5
5.5 工作精度 5
5.6 方法试验 6
5.7 设计书编写 6
5.8 设计书审批与变更 6
6 仪器设备 6
6.1 基本要求 6
6.2 检查与测试 7
6.3 使用与维护 8
7 野外测量 8
7.1 电性参数测定 8
7.2 场源布设 8
7.3 接收装置布设 9
7.4 测线、测点布设 9
7.5 安全措施 10
7.6 数据采集 11
7.7 质量检查点和覆盖点 11
7.8 野外工作质量评价 11
7.9 野外资料验收 12
8 资料处理与解释 14
8.1 资料处理 14
8.2 资料解释 14

9 报告编写与资料提交 15
9.1 编写要求 15
9.2 报告内容 15
9.3 主要图件 15
9.4 资料提交 15
附录 A（资料性）广域电磁法测量形式、方式及范围 16
附录 B（资料性）广域电磁法各种测量方式的计算公式 19
附录 C（资料性）广域电磁法工作参数的选取 23
附录 D（规范性）广域电磁法仪器设备主要技术指标要求 25
附录 E（规范性）广域电磁法野外观测工作记录表 26
参考文献 27

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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（SAC/TC 93）归口。

本文件起草单位：中国地质调查局油气资源调查中心、中南大学。

本文件主要起草人：何继善、张春贺、李帝铨、周惠、白名岗、杨玉茹、张聪、郭天旭、苗慧心。

广域电磁法技术规程

1 范围

本文件规定了广域电磁法的技术设计、仪器设备、野外测量、资料处理与解释、报告编写与资料提交等方面的技术要求。

本文件适用于能源、金属与非金属等矿产资源勘查以及水文、工程、环境、灾害地质调查中的广域电磁法工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中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 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

3 术语和定义、缩略语及符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1
收发距 offset
测点至发射场源中心点之间的距离。

3.1.2
趋肤深度 skin depth
电磁波透入介质的深度。电磁波传播到该深度时，振幅衰减1/e倍。

3.1.3
感应数 induction number
以趋肤深度归一化后的收发距，也称为电距离。

3.1.4
近区 near field
感应数远远小于1时的场。

3.1.5
远区 far field
感应数远远大于1时的场，也称为平面波区。

3.1.6

过渡区 transition zone

介于近区和远区之间的场。

3.1.7

广域电磁法 wide field electromagnetic method

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，在不局限于“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，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。

3.1.8

E-E_x广域电磁法 E-E_x wide field electromagnetic method

采用两端接地的导线作为电磁信号发射场源，测量水平电场的x分量的广域电磁法。

3.1.9

E-E_φ广域电磁法 E-E_φ wide field electromagnetic method

采用两端接地的导线作为电磁信号发射场源，测量水平电场的切向（φ）分量的广域电磁法。

3.1.10

TM模式 transverse magnetic mode

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。

3.1.11

TE模式 transverse electric mode

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。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

WFEM 广域电磁法 **W**ide **F**ield **E**lectro**M**agnetic method

3.3 符号和计量单位

广域电磁法常用术语对应的符号和计量单位见表 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	供电极距	$\overline{AB}$	m，km（米或千米）
2	发射电流强度	I	A（安培）
3	接收极距	$\overline{MN}$	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	δ	m，km（米或千米）
7	探测深度	D	m，km（米或千米）

表 1　常用术语、符号及计量单位（续）

序号	术语名称	符号	计量单位（名称）
8	最大探测深度	D_{max}	m，km（米或千米）
9	电场振幅	E_x，E_y，E_φ	mV / km（毫伏每千米）
10	磁场振幅	H_x，H_y，H_z	γ，nT（伽玛或纳特）
11	视电阻率	ρ_a	Ω·m（欧姆·米）
12	电阻率	ρ	Ω·m（欧姆·米）
13	电导率	σ	S / m（西门子每米）
14	装置电阻	R_{AB}	Ω（欧姆）
15	线路电阻	R_L	Ω（欧姆）
16	接地电阻	R_G	Ω（欧姆）
17	真空磁导率	μ_0	$4\pi\times10^{-7}$H / m（亨利每米）
18	均方相对误差	m	%（百分比）

4　总则

4.1　应用范围

4.1.1　用于立体地质填图，探测地下电性结构的立体分布。
4.1.2　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。
4.1.3　用于固体矿产勘查，探测金属及非金属矿体、围岩的岩性和构造。
4.1.4　用于地热、水文、工程、环境、灾害地质调查，探测与其有关的地质结构或目标体。

4.2　应用条件

4.2.1　目标体与围岩存在明显的电性差异。
4.2.2　目标体有足够的规模，观测的异常信号可以从干扰场或背景场中分离出来。
4.2.3　电磁噪声不影响曲线形态。
4.2.4　地表条件满足发射和接收的布设要求。

4.3　测量装置和测量模式

4.3.1　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.1）。
4.3.2　广域电磁法有标量、矢量和张量三种测量方式，测量的电磁场分量及坐标系参见附录 A.2。各个电磁场分量常用计算公式参见附录 B。本标准涉及广域电磁法 E-E_x 和 E-E_φ 测量两种方式。
4.3.3　根据供电电极、接收电极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 和 TE 两种测量模式。

5　技术设计

5.1　编制原则

5.1.1 技术设计应以地质任务为依据。

5.1.2 同一项目由几个单位同时施工，应统一编制技术设计。

5.2 资料收集与踏勘

5.2.1 了解工区内的地理、地质、地球物理特征及勘探程度并收集相关资料，收集的主要资料包括：

a) 地质资料；
b) 地层、岩石物性等资料；
c) 钻井和测井资料；
d) 地球物理资料；
e) 地球化学资料；
f) 遥感资料；
g) 测绘资料；
h) 地形、水系、气候、人文、交通等资料；
i) 其它相关资料。

5.2.2 进行工区踏勘，了解工区地形、地貌特征，掌握交通、气象和人文相关情况。调查工区电磁噪声干扰情况，并评估电磁噪声水平。

5.2.3 根据收集的地质、地球物理资料，建立工区的地电模型，进行可行性研究和施工参数模拟。

5.3 测量装置及参数选择

5.3.1 测量装置组成

广域电磁法测量装置由两部分组成，即发射装置和接收装置。发射装置采用电性源；接收装置为电场接收装置。

5.3.2 发射装置设计

发射装置设计应符合以下技术要求：

a) 场源宜布设在构造简单、电性均匀的地方；
b) 宜使研究对象处于信号可覆盖的区域内；
c) 在探测具有明显走向的目标体时，场源宜布设在与目标体走向正交的方向上；在探测无明显走向的目标体时，场源宜布设在与区域构造走向正交的方向上；
d) 收发距依据目标探测深度、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 应大于最大探测深度 D_{max} 的 3 倍以上（参见附录 C）；
e) 供电极距 $\overline{AB}$ 的选取范围 1 km~3 km；
f) 二维探测时，场源宜与测线平行，两者之间的夹角应小于 3 °；
g) 若一个场源不能覆盖探测目标，在变换场源时至少应重复观测三个测点；
h) 三维探测时，同一测量单元至少应在不同方向布设两个发射场源，发射场源宜分别布设在探测目标的对称两侧，最多可以在四个方向布设四个发射场源，全区所有测点宜采用相同的场源覆盖方式。

5.3.3 接收装置设计

接收装置设计应符合以下技术要求：

a）接收电极MN距离根据所勘查的地质目标体的规模、深度和测量信号的信噪比及工作比例尺确定，并通过试验最终确定。$\overline{MN}$ 的选取范围20 m～200 m；

b）一般采用E-E_x广域电磁法测量方式，如果不满足要求，可采用E-E_φ广域电磁法测量方式。

5.3.4　工作频段

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，初步确定测量使用的工作频率范围。最低工作频率F_L应由公式(1)和公式(2)确定，并通过试验最终确定。

$$F_L = 0.4 f_L \quad (1)$$

$$f_L = \left(356 D_{max}\right)^2 \cdot \rho \quad (2)$$

式中：

f_L ——探测最深目标时所需要的频率，单位为赫兹（Hz）；

D_{max}——最深目标的深度，单位为米（m）；

ρ ——估计的测区大地平均电阻率，单位为欧姆·米（Ω·m）。

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 和 DZ／T 0153 的相关要求执行。测线方向应垂直于所探测地质目标体的走向，比例尺和测网密度见表 2。

表2　测网密度

比例尺	线距 km	点距 km
1:100 000	1～4	0.5～1
1:50 000	0.5～2	0.25～0.5
1:25 000	0.25～1	0.1～0.25
1:10 000	0.1～0.5	0.05～0.1
1:5 000	0.05～0.25	0.02～0.05
1:2 000	0.02～0.1	0.01～0.02

5.4.2　测线宜与已有的地质勘查线、物化探测线重合及通过钻孔。

5.4.3　测线位置应避开高压输电线等电力设施，以及村镇、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：同一测区应统一编号，采用相同比例尺，通常采用自西向东、自南向北增大的顺序编排。

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 2 mm。

5.5　工作精度

5.5.1　工作精度以全区的视电阻率精度确定，根据检查点重复观测结果，按 7.7.3 条中公式(8)和公式(9)计算的均方相对误差来衡量。

5.5.2　工作精度分为三级，I 级精度均方误差≤3 %，II 级精度均方误差≤5 %，III 级精度均方误差≤7 %。

5.5.3　工作精度应根据勘查地质任务目标进行设计，首先考虑能够观测与分辨最小勘查对象产生的最弱异常，应使均方相对误差的绝对值小于有意义相对异常的 1/3。

5.5.4　勘查对象产生的异常由 5.2.3 条中建立的地电模型进行数值模拟预估。
5.5.5　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　方法试验

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。
5.6.2　通过实测测区标志层或地质目标体的异常响应，了解地下介质或工作参数及场源对测深曲线形态的影响及曲线分布特征。
5.6.3　通过井旁测深或 5.2.3 条中建立的地电模型数值模拟检验标志层或地质目标体的异常响应。
5.6.4　通过实测了解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。
5.6.5　开展发射源位置选址试验，充分了解不同位置发射源与接收之间的地电结构对接收视电阻率曲线形态的影响，了解场源效应。

5.7　设计书编写

5.7.1　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，编写设计书，报上级技术主管部门批准。
5.7.2　设计书主要内容包括：

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)　生产进度；
h)　提交成果内容；
i)　经费预算；
j)　有关附图及附表。

5.8　设计书审批与变更

5.8.1　设计书应由项目主管单位或委托单位审批，经批准后，方可执行。
5.8.2　项目实施过程中，因故无法按原设计执行时，可根据实际情况做相应变更，并将变更依据及变更内容及时报告设计审批单位，变更得到批准后方可执行。

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附录 D 的要求和设计书的要求，不符合要求的仪器不得用于施工。
6.1.2　供电电极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。
6.1.3　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。当电压为 1000 V 时，绝缘电阻应大于 2 MΩ/km。

6.1.4　接收电极应根据工区情况采用不极化电极或铜电极，优先采用电化学性能稳定、极差变化小的不极化电极。

6.1.5　接收导线应选用内阻小、绝缘性能好、拉力强的耐磨导线，当电压为500 V时，绝缘电阻应大于5 MΩ/km。

6.2　检查与测试

6.2.1　发射仪器测试

6.2.1.1 开工前和收工后应对发射仪器进行测试，施工周期较长的应增加测试次数，两次测试间隔不大于90天。

6.2.1.2 测试发射方波的电流纹波，电流纹波应小于发射波幅度的3%。

6.2.2　接收仪器标定

开工前和收工后应对接收仪器进行标定，施工周期较长的应增加标定次数，两次标定间隔不大于90天。相邻两次标定按照公式(3)和公式(4)计算的相对误差应小于1%。

$$m=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\left|A_i-A_i'\right|}{\overline{A}_i}\times 100\% \quad \cdots\cdots (3)$$

$$\overline{A}_i=\frac{A_i+A_i'}{2} \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：

m——两次标定的相对误差；

i——频点号（i=1，2，3，…，n）；

n——频率个数；

A_i——第一次标定时第i个频点的电位差；

A_i'——第二次标定时第i个频点的电位差；

$\overline{A}_i$——第i个频点的电位差平均值。

6.2.3　一致性测定

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对比，施工期较长时应增加一致性测定次数，两次一致性测定间隔不大于90天。根据公式(5)和公式(6)计算的一致性对比误差应不大于3 %。

$$m'=\sqrt{\frac{1}{n\left(m_c-1\right)}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m_c}\left(\frac{A_{ij}-\overline{A}_i}{\overline{A}_i}\right)^2} \quad \cdots\cdots (5)$$

$$\overline{A}_i=\sum_{j=1}^{m_c}A_{ij}/m_c \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：

m'——一致性测定均方相对误差；

n——频点个数；

m_c——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。

6.2.4 稳定性测定

稳定性测定应达到以下技术要求：

a) 开工前和收工后应进行仪器稳定性测定，施工期较长时应增加稳定性测定次数，两次稳定性测定间隔不大于90 天；

b) 同台（道）仪器应在对比点采用相同装置进行稳定性测定。根据6.2.3条中公式(5)和公式(6)计算的均方相对误差应不大于3 %；

c) 稳定性测定应在工作频段进行；

d) 开工前、收工后的稳定性测定允许与仪器一致性合并进行。

6.3 使用与维护

6.3.1 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。

6.3.2 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。

6.3.3 仪器设备所配的零部件、备件及工具要随仪器妥善保管，不得作其它用。

6.3.4 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，仪器检修后性能指标应达到 6.1.1 的要求，方可投入使用。

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

6.3.6 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。

6.3.7 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。

6.3.8 对施工用的仪器、设备及发射源车载车辆要进行年检。

6.3.9 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。

6.3.10 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。

6.3.11 每天工作前应对发电机组、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。

6.3.12 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 %。

6.3.13 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应立即停止使用并进行检修，直至正常后再继续使用。

6.3.14 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。

7 野外测量

7.1 电性参数测定

对工区的主要地质目标体，进行电性参数测定。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 AB 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。实际接地点坐标按照 GB / T 18314 和 DZ / T 0153 的相关要求测定。

7.2.2　场源电极 AB 布设时应满足下列要求。

a) 电源线绝缘电阻应大于2 MΩ。

b) 按公式(7)定义的装置电阻率R_{AB}小于30 Ω。

$$R_{AB} = R_L + R \quad (7)$$

式中：

R_{AB}——装置电阻，单位为欧姆（Ω）；

R_L——线路电阻，单位为欧姆（Ω）；

R_G——接地电阻，单位为欧姆（Ω）。

7.2.3　供电电极应选择土壤潮湿处埋设，采用多块金属板、网、箔（约 1 m×2 m）等材料，挖数个电极坑埋设，坑深不低于 0.3 m，相邻坑距不小于 3 m。一般每端需要挖掘 3～4 个电极坑，往导电材料（如厚度为 1 mm 铝箔）上浇导电液（如氯化钠溶液），然后压土夯实，保证接地良好；也可用多根柱状电极弧形并联相接。

7.2.4　场源电极 AB 布设要尽量避开高压输电线、矿山（洞）上方、暗埋管道、溪流水域等，减少电磁干扰。

7.2.5　场源电极 AB 布设应尽量避开已知矿山、变电站、湖泊、溶洞、平行的断裂构造和局部电性不均匀体等，减少场源效应。

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

7.2.7　多余的供电导线应“S”型摆放，不能绕圈放置。

7.2.8　同一测线需要更换场源时，场源电极 AB 应尽量布设在地质构造相似的一侧，减少场源效应。

7.2.9　测区面积较小时，应采用一个发射源，保证场源效应的一致性。测区较大，需要两个以上发射源时，应保证不同发射源在同一测点视电阻率曲线形态的相关性。

7.3　接收装置布设

7.3.1　接收电极 MN 与土壤接触良好，并浇盐水后用土掩埋、压实，两电极埋置条件基本相同。

7.3.2　接收电极不能埋在树根处、流水旁、繁忙的公路边，同时应避免埋设在沟、坎边。

7.3.3　如果观测时出现信号不稳现象，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　应按设计的规定布设接收电极 MN，MN 的长度及方位应实测，MN 极距的误差不应大于设计的 1 %，方位误差应小于 1°。

7.3.5　两极相对高差与极距之比应小于 10 %，在地形复杂地区，可适当放宽到 30 %。

7.3.6　接收电极 MN 的接地电阻应小于 2 kΩ，如遇基岩裸露地区，可适当放宽，但不应大于 10 kΩ。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。

7.3.7　接收电极 MN 采用不极化电极时，电极应埋入土中 20 cm～30 cm。采用铜电极时，电极应埋入土中＞30 cm。

7.3.8　接收电极 MN 的连接线不能悬空或并行放置，需压实或掩埋，防止晃动。多余的电极连接线应“S”型摆放，不能绕圈放置。

7.3.9　接收电极 MN 的电极线与接收仪器电道序号一致，避免出现一极两用的情况发生。

7.4　测线、测点布设

测线、测点布设应符合以下技术要求。

a) 测点平面坐标和高程按照GB/T 18314 和DZ/T 0153的规定测定。

b) 测点选择周围开阔、地面相对高差较小的地方；测点不宜选在山顶、深沟、岩石裸露区或电磁干扰源附近。

c) 困难区测点的布设遵循以下原则：

1)一般困难区，当原测点位置无法按照要求布设测点时，可在沿测线方向不超过点距的10 %的范围内选择合适位置布设测点；

2)地形复杂区，可在垂直测线方向不超过线距的30%、沿测线方向不超过点距的10 %的范围内选择合适位置布设测点；

3)连续障碍区，应将测线段整体平移；

4)面积性障碍区，测点的覆盖密度宜达到正常区的50 %以上；

5)强干扰区，测点的布设应避开干扰源，避开距离见表3。

表3　测点避开干扰源的距离

序号	干扰源类型	避开距离 m
1	工厂、矿山、电气铁路、变电站	≥1 000
2	广播电台、雷达站、通讯基站等	≥1 000
3	高压输电线、钻井平台	≥300
4	繁忙的公路	≥200
5	金属栏杆、栅栏、管道	≥100

7.5　安全措施

7.5.1　出工前应对供电导线进行检查，任何损坏和开裂都应及时修复和替换，接头处应使用高压绝缘胶布包裹。

7.5.2　在山区收、放导线经过高压输电线时，严禁抛抖导线或手持长物，以防高压触电。

7.5.3　供电导线连接处应用绝缘胶布包裹，遇障碍物应挖沟埋设或架空布设（保证绝缘）。

7.5.4　供电点和导线均应挂上高压危险标志，在 AB 接地电极周围 10 m 范围内拉警戒线，沿线派专人查护，确保人畜生命安全。

7.5.5　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。

7.5.6　供电前，操作员应仔细检测供电线路，确认接线正确、连通和接地情况良好后，明确发出供电指令，确认所有工作人员已离开 AB 极后，方可开始供电。

7.5.7　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，应退出发射状态；需手动调节发射机输出电流时，应平稳缓慢调节；退出发射状态前，应将输出电流调节至最小。

7.5.8　发电机组运行期间，不得添加燃油。

7.5.9　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，应确认发射机处于关机状态。

7.5.10　移动测站前或全天工作结束后，在未收到发射机操作员明确断电的指令前，不允许任何人接触供电导线和电极。

7.5.11　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；供电系统人员应使用绝缘胶鞋、绝缘手套等防护用品。

7.5.12　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。

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

7.6　数据采集

7.6.1　同一排列的数据采集应按设计频率扫频观测，分别采集发射电流数据和测点接收数据。
7.6.2　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 与电极的连通情况，确保电极接地良好。
7.6.3　在供电之前，应观测噪声水平，设定叠加次数和重复观测次数。
7.6.4　强干扰条件下应选择避开干扰严重的时间段采集数据。
7.6.5　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。
7.6.6　观测时应按照附录 E 进行野外观测现场工作记录，应使用铅笔记录。除按规定记录点、线号等信息外，还应记录观测点附近的地质现象、地形地貌、干扰源等，要求字迹清晰。
7.6.7　数据采集完成后，发射电流数据和测点接收数据应制作备份保存并及时转交室内处理组。

7.7　质量检查点和覆盖点

7.7.1　质量检查应在同一场源、重新布设接收排列、不同操作员、不同时间条件下进行，应测量全部工作频段。
7.7.2　检查点总数不得少于全测区观测点的 5 %，要求检查点在测区内分布均匀，重点检查电性异常部位以及质量可疑地段。

7.7.3　检查点前后两次数据的均方相对误差按公式(8)和公式(9)计算。

$$m=\sqrt{\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{A_i-A_i'}{\bar{A}_i}\right)^2} \quad \cdots\cdots (8)$$

$$\bar{A}_i=\frac{A_i+A_i'}{2} \quad \cdots\cdots (9)$$

式中：

i——频点号；

n——频点数；

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；

$\bar{A}_i$——第i个频点的前后两次广域视电阻率的平均值。

7.7.4　同一测线需改变场源位置时，应至少有 3 个覆盖观测点。改变场源位置前后覆盖点的广域视电阻率曲线形态应大体一致或基本重合。

7.8　野外工作质量评价

7.8.1　单测点视电阻率质量评价标准分为：

a) Ⅰ级：无畸变频点，曲线圆滑连续，能唯一确定曲线，误差不超过设计工作精度；
b) Ⅱ级：无三个以上的连续畸变频点，曲线形态明确，误差不超过2 倍设计工作精度；
c) Ⅲ级（不合格）：数据点分散，不能满足Ⅱ级的要求。

7.8.2　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。

7.8.3 全区物理点质量评价标准：

a) 测点质量评价满足 I 级品率不小于 80 %，且 III 级品率不大于 2 %，视为野外工作质量合格；
b) 测点质量评价满足 I 级品率小于 80 %，或 III 级品率大于 2 %，视为野外工作质量不合格；
c) 强干扰地区或地形复杂区可适当调整。

7.9 野外资料验收

7.9.1 验收内容

7.9.1.1 原始资料

原始资料主要包括：

a) 原始数据；
b) 原始记录曲线（频率-电流、频率-电场、频率-视电阻率）；
c) 仪器测试记录；
d) 布极班报及操作记录表；
e) 电性参数测量记录表。

7.9.1.2 统计表

统计表主要包括：

a) 电性参数统计表；
b) 仪器一致性误差统计表；
c) 广域电磁法勘查地质任务完成情况表（格式见表 4）；
d) 广域电磁法勘查生产进度情况统计表（格式见表 5）；
e) 广域电磁法勘查视电阻率曲线质量评定表（格式见表 6）；
f) 广域电磁法勘查检查点误差统计表（格式见表 7）。

7.9.1.3 测地资料

测地资料包括：

a) 发射源及接收点点位测量记录；
b) 检查点误差统计表。

7.9.1.4 现场整理资料

现场整理资料包括：

a) 电场和视电阻率曲线；
b) 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）；
c) 视电阻率拟断面图；
d) 深度－电阻率断面图。

7.9.1.5 野外工作总结报告

野外生产工作总结报告主要包括：

a) 项目概况（任务来源、地质任务、测区概况、工作要求等）；
b) 任务完成情况；
c) 仪器测试、使用情况；

d) 方法技术及质量控制措施；
e) 质量效果；
f) 初步成果分析；
g) 其它。

7.9.2 验收要求

7.9.2.1 项目承担单位自验收合格后，应提前向项目主管单位或委托单位提交验收申请，项目主管单位或委托单位组织验收组对野外资料进行验收。

7.9.2.2 承担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。

7.9.2.3 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。

7.9.2.4 野外资料验收合格后，方可结束野外工作。

表4 广域电磁法勘查地质任务完成情况表

施工单位名称		起止时间		项目负责人			
测区名称		线距		点距		仪器类型	
地质任务							
地质任务完成情况							
存在的问题							
有无安全（质量）事故发生							

表5 广域电磁法勘查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	有效点数量	检查点数量	

表6 广域电磁法勘查视电阻率质量评定表

线—点号	视电阻率曲线级别			备 注
	I	II	III	

表7　广域电磁法勘查检查点误差统计表

点号	频点	ρ	ρ'	%	备　注

8　资料处理与解释

8.1　资料处理

8.1.1　数据编辑与平滑

数据编辑与平滑应按以下技术要求：

a）对曲线中偏离度大、畸变明显的频点数据应进行剔除或平滑处理；

b）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。

8.1.2　静态效应校正

静态效应校正应按以下技术要求：

a）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，判断静态效应原因及严重性；

b）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。

8.1.3　覆盖点处理

覆盖点处理应按以下技术要求：

a）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，＜ 5%可不做处理；

b）相对误差较大的覆盖点，应分析产生的原因，采取有效的处理方法。可根据多个场源位置或者互换测量点的数据对测量结果做归一化处理，也可根据独立的天然场源测量结果作直接改正。

8.2　资料解释

8.2.1　定性分析

定性分析应包括以下内容：

a）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；

b）分析频率-视电阻率拟断面图，初步了解测线上的电性分布、基底起伏、断层分布、电性层划分等断面特征，并进行对比分析。

8.2.2　定量解释

定量解释应包括以下内容：

a）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；

b）确定初始模型后，开展一维反演解释；

c）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；

d）面积性测量时，应开展三维反演，利用已知的地质和地球物理资料约束，使解释趋于合理；

e）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 报告编写与资料提交

9.1 编写要求

9.1.1 报告应实事求是，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、附件应规范、合理、美观，文字说明简练、清楚。

9.1.3 成图符号、图示图例及用色标准按照 GB / T 14499 和 DZ / T 0069 的相关要求执行。

9.1.4 勘查工作若是分阶段完成的，应提交阶段性成果报告；全面完成工作任务后，应提交最终成果报告。

9.2 报告内容

报告内容主要包括：

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

主要图件包括：

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）其它推断的图件。

9.4 资料提交

成果报告完成评审后应尽快整理相关资料，及时提交如下纸质和电子资料。提交的资料应包括：

a）野外工作资料：原始资料、统计表、测地资料、现场整理资料、野外生产工作总结报告；

b）成果资料：成果报告及主要图件；

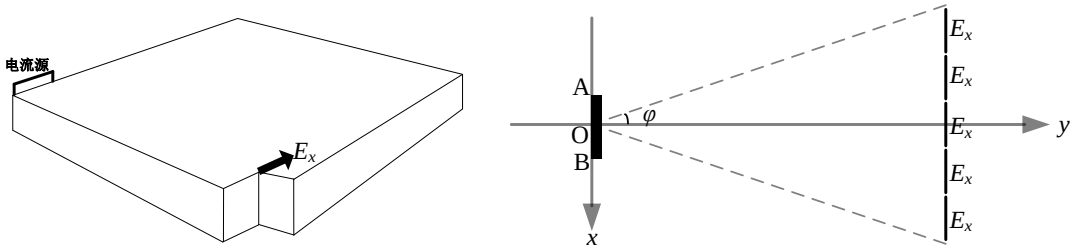
c）相关资料：任务书、设计书、过程质量检查资料等。

附　录　A
（资料性）
广域电磁法测量形式、方式及范围

A.1　测量形式

A.1.1　E-E_x旁侧装置

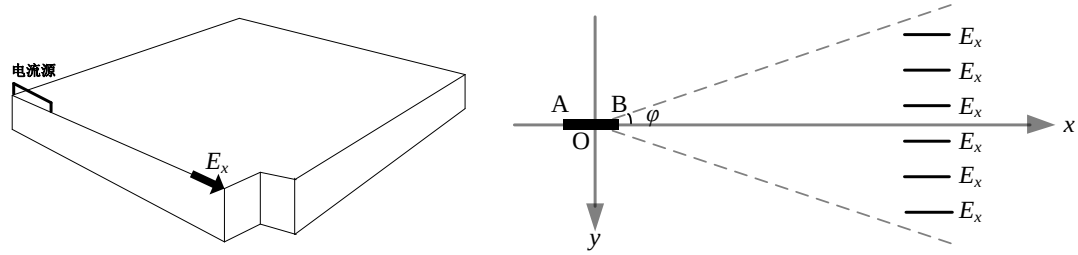
测量形式见图A.1，接收电极MN分布在发射中垂线两侧各一定张角的扇形区域内。



图A.1　E-E_x旁侧装置测量形式

A.1.2　E-E_x轴向装置

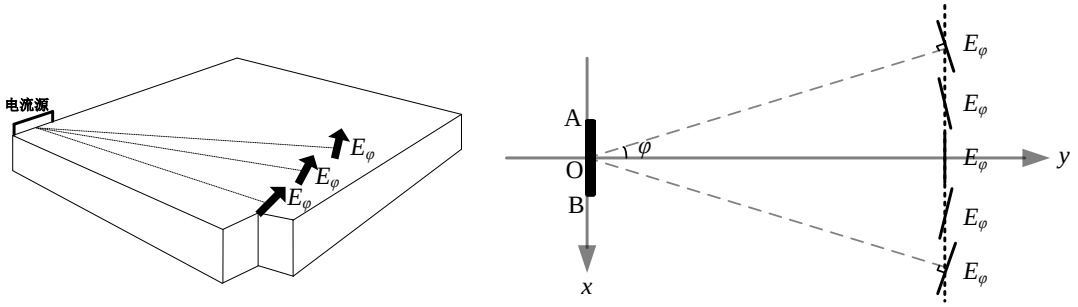
测量形式见图A.2，接收电极MN分布在发射轴向线两侧各一定张角的扇形区域内。



图A.2　E-E_x轴向装置测量形式

A.1.3　E-E_φ装置

测量形式见图A.3，接收电极MN分布在发射中垂线两侧各一定张角的扇形区域内。

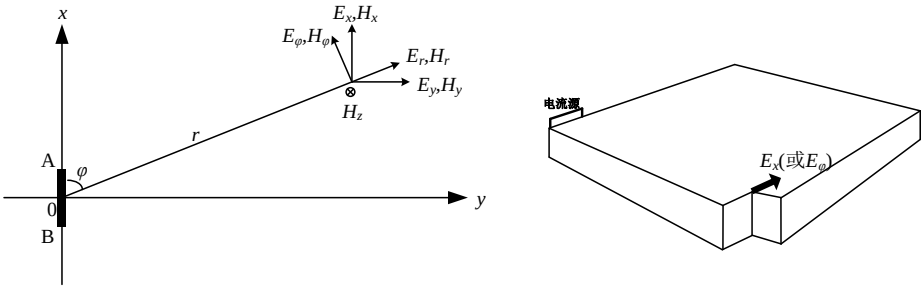


图A.3　E-E_φ装置测量形式

A.2 测量方式

A.2.1 标量测量

对水平的一个分量（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_x（或E_φ）、E-H_z、E-H_y（或H_r）、E-H_x（或H_φ）等多种方式（参见附录B），最常用的为E-E_x和E-E_φ方式见图A.4b）。

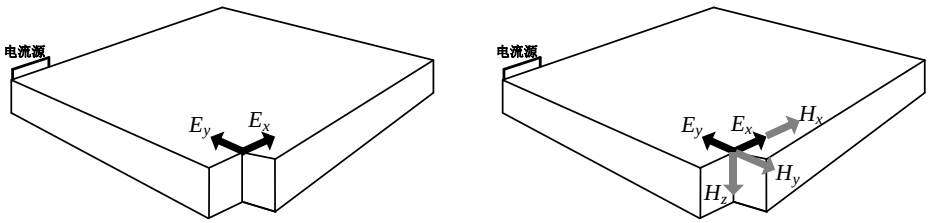


a）大地表面水平电流源、电磁场各分量及坐标系　　b)标量测量

图A.4　标量测量方式

A.2.2 矢量测量

对水平的两个分量（E_x、E_y）（图 A.5a））或五分量（E_x、E_y、H_x、H_y、H_z）（图 A.5b））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。



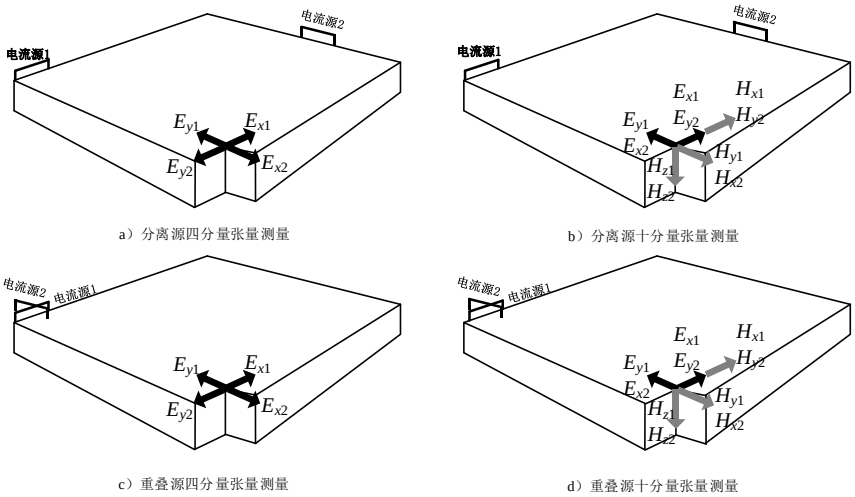
a）二分量矢量测量　　b）五分量矢量测量

图A.5　矢量测量方式

A.2.3 张量测量

利用两个分开（图 A.6a）或图 A.6b））或重叠的场源（图 A.6c）或图 A.6d）），测量 4 个电场分量（E_{x1}、E_{y1}、E_{x2}、E_{y2}）或 10 个电场和磁场分量（E_{x1}、E_{y1}、H_{x1}、H_{y1}、H_{z1}、E_{x2}、E_{y2}、H_{x2}、H_{y2}、H_{z2}）。

张量测量方式可提供更多的信息，一般用于探测地下复杂（二维、三维）或各向异性的地质目标体。由于成本高、效率低，野外实际工作很少使用。



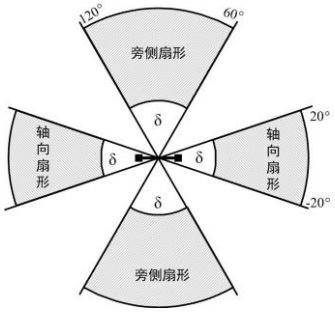
图A.6　张量测量方式

A.3　测量范围

A.3.1　E-E_x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 $r \geq \delta$ 的两个扇形区域（见图 A.7）。低频测量时张角适当减小。

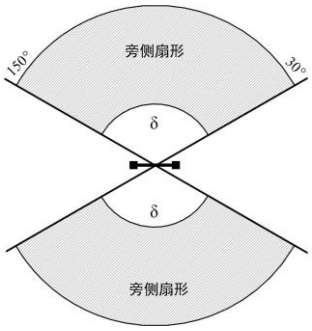
轴向装置：测量范围一般在发射偶极轴向线两侧各 20 ° 张角、且 $r \geq \delta$ 的两个扇形区域（见图 A.7）。低频测量时张角适当减小。



图A.7　E-E_x 装置的测量范围示意图

A.3.2　E-E_φ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 $r \geq \delta$ 的两个扇形区域（见图 A.8）。



图A.8　E-E_φ 装置的测量范围示意图

附　录　B
（资料性）
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

$$E_r = \frac{IdL\rho}{2\pi r^3}\cos\phi[1+\mathrm{e}^{-\mathrm{i}kr}(1+\mathrm{i}kr)] \quad \text{(B.1)}$$

$$E_\phi = \frac{IdL\rho}{2\pi r^3}\sin\phi[2-\mathrm{e}^{-\mathrm{i}kr}(1+\mathrm{i}kr)] \quad \text{(B.2)}$$

$$E_x = \frac{IdL\rho}{2\pi r^3}[3\cos^2\varphi-2+\mathrm{e}^{-\mathrm{i}kr}(1+\mathrm{i}kr)] \quad \text{(B.3)}$$

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

$$H_r = -\frac{IdL}{4\pi r^2}\sin\varphi[6I_1K_1+\mathrm{i}kr(I_1K_0-I_0K_1)] \quad \text{(B.5)}$$

$$H_\phi = \frac{IdL}{2\pi r^2}\cos\varphi\cdot I_1K_1 \quad \text{(B.6)}$$

$$H_x = -\frac{IdL}{4\pi r^2}\sin\varphi\cos\varphi[8I_1K_1-\mathrm{i}kr(I_0K_1-I_1K_0)] \quad \text{(B.7)}$$

$$H_y = \frac{IdL}{2\pi r^2}[(1-4\sin^2\varphi)I_1K_1+\frac{\mathrm{i}kr}{2}\sin^2\varphi(I_0K_1-I_1K_0)] \quad \text{(B.8)}$$

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

B.2　E-E_x广域视电阻率计算公式

$$\rho_a = K_{E-E_x}\frac{\Delta V_{\overline{MN}}}{I}\frac{1}{f_{E-E_x}(\mathrm{i}kr)} \quad \text{(B.10)}$$

式中：

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

$$\Delta V_{\overline{MN}} = E_x\cdot\overline{MN} = \frac{\mathrm{I}dL\rho}{2\pi r^3}f_{E-E_x}(\mathrm{i}kr)\cdot\overline{MN} \quad \text{(B.12)}$$

$$E_x = \frac{\mathrm{I}dL\rho}{2\pi r^3}f_{E-E_x}(\mathrm{i}kr) \quad \text{(B.13)}$$

$$f_{E-E_x}(\mathrm{i}kr) = 1-3\sin^2\varphi+\mathrm{e}^{-\mathrm{i}kr}(1+\mathrm{i}kr) \quad \text{(B.14)}$$

B.3 E-E_φ广域视电阻率计算公式

$$\rho_a = K_{E-E_\phi} \frac{\Delta V_{\overline{MN}}}{I} \frac{1}{f_{E-E_\phi}(\mathrm{i}\,kr)} \quad \text{(B.15)}$$

式中：

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

$$\Delta V_{\overline{MN}} = E_\phi \cdot \overline{MN} = \frac{I\mathrm{d}L\rho}{2\pi r^3} f_{E-E_\phi}(\mathrm{i}\,kr) \cdot \overline{MN} \quad \text{(B.17)}$$

$$E_\phi = \frac{I\mathrm{d}L\rho}{2\pi r^3} f_{E-E_\phi}(\mathrm{i}\,kr) \quad \text{(B.18)}$$

$$f_{E-E_\phi}(\mathrm{i}\,kr) = \sin\phi\left[2 - \mathrm{e}^{-\mathrm{i}kr}(1+\mathrm{i}kr)\right] \quad \text{(B.19)}$$

B.4 E-H_z广域视电阻率计算公式

$$\rho_a = K_{E-H_z} \frac{|H_z|\omega\mu}{I \cdot f_{E-H_z}(\mathrm{i}\,kr)} \quad \text{(B.20)}$$

式中：

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

$$|H_z| = \frac{I\rho}{K_{E-H_z}} \left| f_{E-H_z}(\mathrm{i}\,kr) \right| \quad \text{(B.22)}$$

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

B.5 E-H_r广域视电阻率计算公式

$$H_r = -\frac{IdL}{4\pi r^2} \sin\phi \cdot f_{E-H_r}(\mathrm{i}\,kr) \quad \text{(B.24)}$$

式中：

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

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

广域视电阻率的计算采用迭代方法求解。

B.6 E-H_φ广域视电阻率计算公式

$$H_\phi = \frac{IdL}{2\pi r^2} \cos\phi \cdot f_{E-H_\phi}(\mathrm{i}\,kr) \quad \text{(B.27)}$$

式中：

$$K_{E-H_\phi}=\frac{2\pi r^2}{dL\cdot\cos\phi} \quad \text{……(B.28)}$$

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

广域视电阻率的计算采用迭代方法求解。

B.7 E-H_y广域视电阻率计算公式

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

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_x广域视电阻率计算公式

$$H_x=-\frac{IdL}{4\pi r^2}\sin\phi\cdot\cos\phi\cdot f_{E-H_x}(\mathrm{i}kr) \quad \text{……(B.33)}$$

式中：

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

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

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 Ω·m、电场 E 用 mV / km、时间用秒（s）作单位。

趋肤深度：

$$\delta=\sqrt{2\rho/\mu\omega}=503\sqrt{\rho/f} \quad \text{……(B.36)}$$

探测深度：

$$D\approx\delta/\sqrt{2}=356\sqrt{\rho/f} \quad \text{……(B.37)}$$

波长：

$$\lambda=2\pi\delta \quad \text{……(B.38)}$$

传播常数：

$$k=(1\pm \mathrm{i})\sqrt{\omega\mu/2\rho} \quad \text{……(B.39)}$$

(B.1)～(B.39)式中：

r——收－发距（米或千米）

φ——r 与 AB 夹角（度）

dL——发射偶极长度（米或千米）

I ——电流强度（安培）

E——电场振幅（毫伏每千米）

H——磁场振幅（伽玛或纳特）

$\mu=\mu_0=4\pi\times10^{-7}$ ，空气磁导率（亨利每米）

$\sigma=1/\rho$，大地电导率（西门子每米）

$\omega=2\pi f$ ，角频率（弧度每秒）

$\rho=1/\sigma$，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-ikr/2 为宗量的虚宗量贝塞尔函数，0 和 1 表示阶数。

附　录　C
（资料性）
广域电磁法工作参数的选取

C.1　收发距

C.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$r_{\min} > \delta$（δ为趋肤深度），但为了更好的勘探效果，要求$r>3D_{\max}$（$D_{\max}$为最大探测深度）。

C.1.2　最大收发距

根据远区水平电场公式，

$$E_{\varphi} \approx \frac{IdL\rho}{\pi r^3}\sin\varphi \quad \text{……(C.1)}$$

对于E-E_x测量装置，当收发距$r >> AB$时，有

$$r_{\max} \approx \left(\frac{IdL\rho\sin\varphi}{\pi E_{\min}}\right)^{1/3} \quad \text{……(C.2)}$$

式中：

I——电流强度（安培）

ρ——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ρ为100 Ω.m，I=50 A，dL=1 km，赤道（旁侧）E-E_x装置（φ=90 °）测量，外界随机噪声水平10 μV，当$E_{\min}$=0.1 μV/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 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 μV/km，因此实际$r_{\max}$应小于25.2 km才能观测到最小准确信号。

C.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（C.3）

初步估算所要勘查的地质目标探测深度，公式（C.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（C.3）计算的简便列线图。估算探测深度 D 的经验公式为：

$$D \approx \delta / \sqrt{2} = 356\sqrt{\rho / f} \quad \text{(C.3)}$$

式中：

δ ——趋肤深度（米）；

ρ ——大地电阻率（欧姆·米）；

f ——工作频率（赫兹）；

D ——探测深度（米）。

C.3 最低工作频率

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，初步确定测量使用的工作频率范围。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。最低工作频率F_L应由公式(C.4)和公式(C.5)确定，并通过试验最终确定。

$$F_L = 0.4 f_L \quad \text{(C.4)}$$

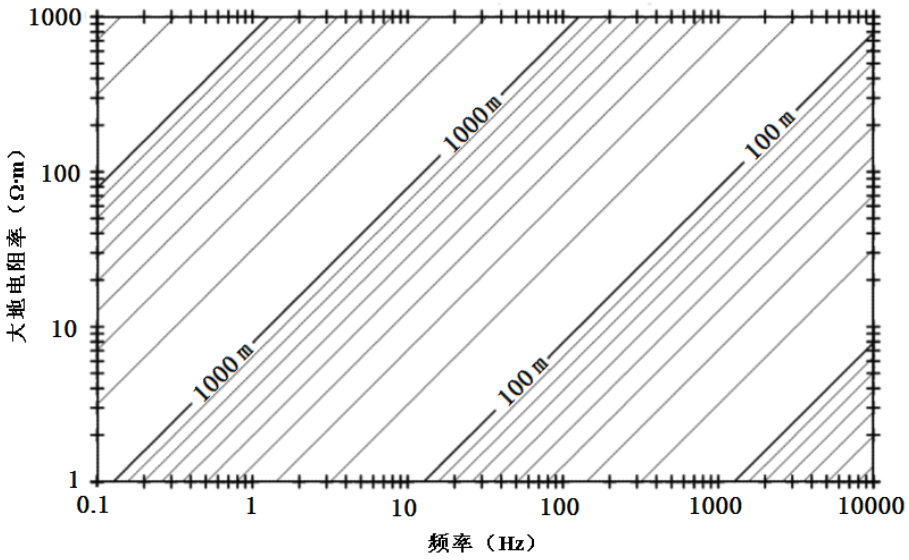
$$f_L = \left(356 D_{max}\right)^2 \cdot \rho \quad \text{(C.5)}$$

式中：

f_L ——探测最深目标时所需要的频率，单位为赫兹（Hz）；

D_{max}——最深目标的深度，单位为米（m）；

ρ ——估计的测区大地平均电阻率，单位为欧姆·米（Ω·m）。



图C.1 估算探测深度的列线图

附 录 D
（规范性）
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D.1和表D.2。

表D.1　接收机主要技术指标要求

参数	技术指标	备注
输入阻抗	≥3 MΩ	
动态范围	120 dB	
信号测量范围	-200 mV ~ +200 mV	
最小检测信号	0.1 μV	
电位差测量精度	±1 %	
频率范围	0.01Hz ～ 10kHz	
A / D 模数转换	24 位	
A / D 模数转换速率	≤128 KSPS	
工频压制	≥80 dB	
时基同步精度	1 μs	
工作温度	－20 ℃ ～ ＋45 ℃	
工作湿度	0 %～ 80 %	

表D.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	0.01 Hz ～ 10k Hz	
电流测量精度	±1 %	
发送电流	≥20 A	根据工作任务选择
功率	≥10 kW	根据工作任务选择
时基同步精度	1 μs	
工作温度	－20 ℃ ～ ＋45 ℃	
工作湿度	0 %～80 %	

附 录 E
（规范性）
广域电磁法野外观测工作记录表

广域电磁法野外观测工作记录表见表E.1。

表E.1　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	地质描述、地形地物、电磁干扰源等	测点描述	接地电阻	采集起始时间/采集结束时间	备注

参 考 文 献

[1] DZ/T 0195-1997 物探化探遥感勘查技术规程规范编写规定
[2] DZ/T 0280-2015 可控源音频大地电磁技术规程
[3] DZ/T 0368-2021 岩矿石标本物性测量技术规程
[4] MT/T 898-2000 煤炭电法勘探规范
[5] SY/T 5772-2002 可控源声频大地电磁法勘探技术规程
[6] SY/T 5820-1999 石油大地电磁测深法技术规程
[7] SY/T 5930-2000 大地电磁测深仪使用与维护
[8] SY/T 6289-1997 连续电磁剖面法勘探技术规程
[9] SY/T 6589-2016 陆上可控源电磁法勘探采集技术规程
[10]何继善. 广域电磁法和伪随机信号电法[M]. 北京，高等教育出版社，2010.
[11]朴化荣编著，电磁测深法原理，北京，地质出版社，1990.
[12]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.