

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0070—2016

代替 DZ/T 0070-93

时间域激发极化法技术规程

Technical Specifications for Induced Polarization (IP) Method in Time Domain

2016 - 02 - 25 发布

2016 - 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	2
4 总则	3
4.1 方法特点	3
4.2 勘查目标体与干扰体	3
4.3 应用条件	3
5 技术设计	4
5.1 编制依据	4
5.2 资料收集	4
5.3 现场踏勘	4
5.4 方法有效性、可行性试验	5
5.5 测区及测网	5
5.6 工作精度	6
5.7 测地工作	7
5.8 装置、工作方式和时间制式	7
5.9 电性参数测定和模拟试验	8
5.10 设计书编写与审查	9
6 仪器设备	10
6.1 仪器设备配备	10
6.2 主要性能指标	10
6.3 使用维护要点	12
7 野外工作	13
7.1 工作准备	13
7.2 设站、敷线、布极	15
7.3 生产观测	17
7.4 技术保安	18
7.5 原始资料日验收	18
7.6 观测结果整理	19
7.7 电性参数测定	19
7.8 外业异常研究	19
7.9 质量检查	19
7.10 野外资料验收	21
8 图件编绘	22
8.1 一般要求	22

8.2 主要图件.....	22
9 异常解释推断.....	24
9.1 目的与原则.....	24
9.2 解释准备.....	24
9.3 定性解释.....	24
9.4 定量解释.....	24
9.5 综合解释.....	25
9.6 异常验证及再解释.....	25
10 成果报告编写.....	25
10.1 编写要求.....	25
10.2 主要内容.....	25
10.3 资料提交.....	26
附录 A (规范性附录) 主要装置的设计要求.....	27
附录 B (规范性附录) 电性参数测定.....	31
附录 C (资料性附录) 时间域激发极化法野外记录表参考格式.....	36
附录 D (资料性附录) 时间域激发极化法原始数据预处理算法与免费软件.....	42
附录 E (资料性附录) 电阻率和极化率观测数据处理解释代表性软件简介.....	44
附录 F (资料性附录) 多道轴向偶极-偶极(单极-偶极)拟断面窗口测深技术.....	45
参考文献.....	51

前 言

本标准按GB/T1.1—2009和DZ/T 0195—1997给出的规则与要求起草。

本标准代替DZ/T 0070—93《时间域激发极化法技术规定》，与DZ/T 0070—93相比，除编辑性修改外，主要技术变化如下：

- 按照当前国家关于技术标准制修订格式要求，调整了章节与结构；
- 明确了方法特点（见4.1）、勘查目标体和干扰体（见4.2）；
- 增加了6个术语和定义（见3.1.1~3.1.6）、GPS测地方法要求（见5.7.3~5.7.5）、抗干扰观测取数方法（见7.3.1.3）、装置系数 K 值的严格计算方法（见5.8.1.2）、外业异常研究（见7.8）、异常解释推断（见9）、设计书编写与审查（5.10）与成果报告编写（10）等内容；实现了从“技术规定”到“技术规程”的提升；
- 提高了仪器设备的性能指标参数（见6.2）；补充了多台仪器工作一致性检验的均方相对误差常用计算公式（见7.1.2.3 c））；
- 补充细化了时间制式选择（见5.8.3.1）、技术参数选择试验（见7.1.4）和一次场 ΔU_1 （或 ΔU ）讯号强度（见7.3.1.3 b））等方法与要求；
- 细化补充了质量检查工作内容（见7.9），提高了部分质量检查要求（见7.9.3.5和7.9.4.2）；
- 修改补充了野外记录簿格式（见附录C）；
- 补充修订了附录B（电性参数测定）；增加了附录D（时间域激发极化法原始数据预处理算法与免费软件）、附录E（电阻率和极化率观测数据处理解释代表性软件简介）和附录F（多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深技术）；

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：安徽省勘查技术院、安徽省地质调查院、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、四川省地质矿产勘查开发局物探队。

本标准主要起草人：崔先文、张国华、刘晓峰、张凯、黄力军。

本标准代替了DZ/T 0070—93。

DZ/T 0070—93的历次版本发布情况为：

- DZ/T 0070—1993。

时间域激发极化法技术规程

1 范围

本标准规定了时间域激发极化法工作的技术设计、仪器设备、野外工作、图件编绘、异常解释推断与成果报告编写的基本要求和技術規則。

本标准适用于地质矿产勘查、水工环和灾害地质勘察中的时间域激发极化法工作。石油及天然气勘查中的时间域激发极化法工作可参照执行。

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，仅所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 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 0020.1~0020.3 激电仪通用技术条件

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、符号和计量单位

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。其中3.1.1~3.1.4是《地球物理勘查术语》界定的(见参考文献[1])，为了便于使用以下重复列出了。

3.1.1

激发极化法 induced polarization method

观测与研究激发极化场的电化学类电法。

注：简称 IP 法或激电法。

3.1.2

时间域激发极化法 time domain induced polarization method

直流激发极化法

采用稳定电流作为激发场源的激发极化法。

注：简称 TDIP 法、或时间域激电法、或直流激电法。

3.1.3

极化率 polarizability

在时间域激发极化法中，所测得的极化二次场与总场的比值。

3.1.4

充电率 charging rate; chargeability

在时间域激发极化法中，所测得的极化二次场衰减曲线中某时段电位积分值与总场的比值。

3.1.5

半衰时 half decay time

在时间域激发极化法中，极化二次场由断电后的最大值衰减到一半的所需时间。

3.1.6

偏离度 degree of deviation

大量样品激发极化观测实验结果表明，含水岩石极化二次场衰减曲线的数学模型，可用单对数直线方程进行描述。偏离度 (r) 指实测结果与该直线方程的偏离程度，由 (1) 式计算：

$$r = \frac{1}{\bar{\eta}_i} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\eta_i + K_r \lg(t_i) - B_r)^2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\bar{\eta}_i$ ——实测衰减曲线上的极化率均值， $\bar{\eta}_i = (\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_i + \dots + \eta_n) / n$ ；

η_1 ——实测衰减曲线上，对应采样时间点 t_1 的极化率 $\eta_1(t_1)$ 值；

n ——实测衰减曲线上的采样点数， $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ；

K_r ——衰减曲线(时间 t_i 取常用对数)的整体斜率, 时间单位为秒 (s)；

B_r ——常数, 为断电后二次场 $\Delta U_2(t_i)$ 衰减到时间 $t_i = 1$ s 时的极化率 $\eta_1(t_i)$ 值；

K_r 和 B_r 应用同一条衰减曲线的全部实测数据来做单对数线性回归计算获得。

r 值小，说明衰减曲线的“线性”强， r 值大，说明“线性”差。实验表明，偏离度与含水量有负相关关系。

[本术语和定义据参考文献[2]给出]

3.2 符号和计量单位

表1 符号和计量单位

序号	符号	名称或意义	计量单位	说明
1	AB	供电电极距	m (米)	GB/T 14499
2	MN	测量电极距	m (米)	GB/T 14499
3	K	装置系数	m (米)	GB/T 14499
4	ΔU	总场电位差($\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2$)	mV (毫伏)	GB/T 14499
5	ΔU_1	一次场电位差	mV (毫伏)	GB/T 14499
6	ΔU_2	二次场电位差	mV (毫伏)	GB/T 14499
7	I	供(充)电电流强度	mA、A (毫安、安培)	GB 3102.5
8	T	供(充)电时间	ms、s (毫秒、秒)	
9	t	放电时间	ms、s (毫秒、秒)	GB 3102.1
10	t_D	采二次场延时	ms、s (毫秒、秒)	
11	t_1	二次场采样宽度	ms、s (毫秒、秒)	
12	η	极化率	% (无量纲)	GB/T 14499
13	η_s	视极化率($\eta_s = \frac{\Delta U_2}{\Delta U} \times 100\%$)	% (无量纲)	

表1 符号和计量单位 (续)

序号	符号	名称或意义	计量单位	说明
14	M	充电率	ms、mV s/V、mV/V (毫秒、毫伏秒/伏、毫伏/伏)	GB/T 14499
15	M_s	视充电率	ms、mV s/V、mV/V (毫秒、毫伏秒/伏、毫伏/伏)	
16	ρ	电阻率	$\Omega \cdot m$ (欧姆·米)	GB/T 14499
17	ρ_s	视电阻率($\rho_s = K \frac{\Delta U}{I}$)	$\Omega \cdot m$ (欧姆·米)	
18	S_t	半衰时	ms、s (毫秒、秒)	
19	r	偏离度	% (无量纲)	
20	M	均方相对误差	% (无量纲)	
21	\mathcal{E}	均方误差	% (无量纲)	

4 总则

4.1 方法特点

本方法的应用前提是岩(矿)石和含水岩土的激发极化性质存在差异,但在使用中应注意以下特点:

- 作为纯异常体积勘探方法,当勘探体积内没有可极化物质时,难以探测到极化率异常。异常强度与勘探体积内可极化物质的体积含量呈非线性正相关关系;
- 相对视电阻率而言,视极化率观测结果受地形影响较小;
- 有的勘查工作中,目标体异常和干扰体异常皆会出现,需要综合其它资料仔细识别。

4.2 勘查目标体与干扰体

4.2.1 目标体

本方法应用领域不同其勘查目标体各不一样。具体如下:

- 矿产勘查中,可以探测发现的极化目标体有含硫化物、磁铁矿、石墨的有色金属、贵金属、稀有分散元素和高岭土等矿体、矿化体和蚀变带;当探测目标体为矿体时属于直接找矿,当探测目标体为控矿地质体时属于间接找矿;
- 地下水、地热勘察中,可以探测发现砂砾岩含水层、含硫高矿化度水体等;
- 石油、天然气勘查中,可以探测发现油气藏上方油气渗逸产生的地球化学烟筒蚀变体,浅埋油气藏的圈闭体及渗溢产生的地球化学蚀变体;
- 工程、环境调查中,可以探测金属埋设物、某些渗漏源,圈定污染范围等。

4.2.2 干扰体

在各项勘查工作(如4.2.1所列)中,引起激电异常的地质体不属于或与本项目勘查目标体无关时认为是干扰体。如:常见的黄铁矿化、石墨化、磁铁矿化等非成矿蚀变地质体,在矿产勘查中,它们常以地质干扰体异常形式出现,需要综合地质、物化探等资料识别。

4.3 应用条件

4.3.1 宜开展时间域激发极化法工作的条件

宜开展时间域激发极化法工作的条件主要有：

- a) 目标体与围岩之间有明显激发极化性质差异，且目标体的规模和埋深适当，能够在地表引起可测量能分辨的异常；
- b) 人文电干扰强度不大，目标体异常能从背景或干扰中分离出来；
- c) 当存在干扰体时，能用物化探、地质方法区分异常的性质或能减少异常多解性；
- d) 具备必要的地形条件、接地条件。

4.3.2 不宜开展时间域激发极化法工作的地区

某些特殊地区本方法不宜使用，如确有工作需要，可开展试验或研究项目。这些特殊地区如下：

- a) 地形切割十分剧烈、河网发育以及通行困难的地区；
- b) 接地电阻过大，难以改善接地条件的地区，如高阻硬质岩裸露区、成片碎块石堆积区以及表层冻土过厚区等；
- c) 电阻率甚低，即使采用了相应技术措施，仍无法获得可靠数据的地区；
- d) 无法避免或无法消除工业游散电流等人文干扰，不能保证观测质量的地区。

5 技术设计

5.1 编制依据

依据任务书等文件规定的本方法工作任务，设计书中应明确探测的具体目标体并细化相关要求。

5.2 资料收集

5.2.1 搜集内容

在设计编写准备工作过程中，需要收集整理以下资料：

- a) 测区、邻区或其它条件类似地区与目的任务相关的地质、物探、化探、遥感及测绘等资料；
- b) 测区的人文、气象、地形、水体、表土、植被、车载运输及单人负重测线徒步通行条件等资料；
- c) 测区的干扰体分布与电噪音特点等资料；
- d) 测区已有的踏勘结果。

5.2.2 资料分析

依据所收集到的资料作出如下判断：

- a) 从探测目标体与围岩的物性差异、实际探测深度和干扰地质体识别等方面判断方法有效性是否明确；
- b) 从测区通行条件和人文干扰状况等方面判断方法可行性是否明确。

5.3 现场踏勘

5.3.1 踏勘原则

有效性和可行性已明确的测区，可不开展现场踏勘。方法有效性或可行性存疑的测区，应进行现场踏勘。

现场踏勘时应携带相应的仪器设备。若通过资料收集和踏勘时的地表物性工作，不能解决有效性与可行性问题，则应在已知隐伏目标体上方开展相应的试验或系统采测目标体与围岩的电性参数。

5.3.2 踏勘内容

现场踏勘通常包括以下内容：

- a) 了解测区的地形、地貌、植被、通视、通行、交通运输和通讯等工作条件；
- b) 核实可供利用的地质工程、测绘控制点标志、以往的物化探测网及异常标志等；
- c) 概略了解地质情况，侧重了解勘查目标和围岩的分布情况，现场测定电性参数或采集电性标本；
- d) 落实所有预布置测线施工的可行性和可行的调整方案；
- e) 实测测区的人文电噪音水平与特点；
- f) 了解勘查外部环境条件等。

5.3.3 踏勘分析

踏勘后，结合收集到的资料进行分析，作出如下判断：

- a) 如方法有效性和可行性不存在问题可转入设计编写阶段；
- b) 如方法有效性与可行性存疑，应开展专门的方法有效性与可行性试验或系统物性工作；
- c) 当目标体与围岩电性差异不明显，或实际探测深度达不到要求或因人文干扰、通行条件数据采集工作不可行时，建议取消下达的本方法工作任务。

5.4 方法有效性、可行性试验

5.4.1 方法有效性和可行性已明确的测区，可不开展本试验；如需开展，应在踏勘过程中或设计编写前完成。

5.4.2 试验剖面应同时或分别通过已知目标体（含天然露头 and 探矿工程控制的目标体）、干扰体和人文干扰区，目标体与干扰体在埋深、规模以及人文干扰强度等方面应具有代表性，剖面两端应进入正常场。

5.4.3 试验的主要内容是实测已知目标（目标体、干扰体）的异常特征，大致了解测区内电噪音干扰强度、特点和分布状况。

5.4.4 在人文干扰区的试验剖面，当所用的技术设备和参数不能达到观测精度要求时，应采取改换抗干扰仪器设备或加大发射功率、改变装置类型或参数、更换多周期（次）叠加或单周期（次）采集等抗干扰技术措施，进行重新试验。

5.4.5 实测目标体异常明显，且可与干扰体异常相区分，说明方法有效且可行。当采取抗干扰技术措施重新试验后，仍不能满足精度要求的，方法在测区不可行。

5.4.6 若物性情况已知，只是试验有效探测深度时，可采用正演计算或模拟实验的方式替代野外有效性试验。

5.4.7 当物性情况不明，测区及其周边附近没有已知目标体，如仍需坚持开展时间域激发极化法工作的，只进行可行性试验。

5.5 测区及测网

5.5.1 测区范围

5.5.1.1 测区范围应根据目的任务及测区的地质、地形条件确定。

5.5.1.2 以时间域激电法普查找矿为目的的测区范围，应与地质成矿预测区或根据区域物化探资料圈定的找矿远景区一致。

5.5.1.3 时间域激电法详查评价的测区范围，应与其普查推断的有意义异常区或地质、物化探资料推断的找矿有利地段一致。

5.5.1.4 找水等其它时间域激电法勘查的测区范围，应涵盖目标体的推测分布范围。

5.5.1.5 测区布置还应考虑异常的完整和足够的正常场，测区形态尽量规整，避免零碎和参差不齐。

5.5.2 测线方向

- 5.5.2.1 测线应垂直于探测目标体走向；查证物化探异常时应垂直于待查证异常的走向；目标体走向非单一时，垂直于主目标体或主构造走向。
- 5.5.2.2 探测目标体走向或地质构造走向有规律变化时，测线方向应相应调整。
- 5.5.2.3 对于走向近乎垂直的两组探测目标体，必要时应分别布置垂直于两组走向的测线，分别进行面积性工作。
- 5.5.2.4 在施工过程中，当发现测线方向不合适时可申请调整设计。
- 5.5.2.5 在满足 5.5.2.1 的条件下，测线应尽可能与已有勘探线或地质剖面重合。

5.5.3 比例尺与测网密度

- 5.5.3.1 比例尺与测网密度，应根据目标任务和地质条件确定。本方法三种任务的确定原则分别是：
- 普查线距应不大于最小目标体的走向长度，点距应保证在异常区内至少有三个测点；
 - 详查线距应保证至少有三条测线通过最小目标体上方，点距应保证在异常区内至少有五个测点；
 - 精测剖面的点距密度应达到即使再加密测点，异常的细节特征也不会有明显的改变。
- 5.5.3.2 常用工作比例尺和相应的测网密度列于表 2。面积测深的测网密度可依据目的任务及目标体特征作适当调整，其点距在图上一般为 1 mm~2 mm。

表2 测网密度表

工作比例尺	线距 (m)	点距 (m)
1:50000	500	50~200
1:25000	250	50~100
1:10000	100	20~50
1:5000	50	10~20
1:2000	20	5~10

5.6 工作精度

- 5.6.1 工作精度以均方相对误差或均方误差来衡量，分级列于表 3。表 3 中的几种误差说明如下：
- 无位差（质量检查时测量和供电电极原位布置），仅包括电极极差变化、自然电位变化、仪器零点漂移等引起的误差；

表3 工作精度表

级 别	视极化率 η_s		视电阻率 ρ_s	
	总均方相对误差 m $\eta_s > 3\%$ 时	总均方误差 ϵ $\eta_s \leq 3\%$ 时	总均方相对误差 m	
			有位差	无位差
A	4 %	0.12	7 %	4 %
B	7 %	0.21	12 %	7 %

- 有位差（质量检查时测量和供电电极重新测地布置）是装置误差和无位误差的叠加；
 - 装置误差包括测地误差和布极不准导致装置系数 K 值的变化误差。
- 5.6.2 设计工作精度时，应以能可靠分辨任务要求探测深度范围内最小有意义目标体的异常为原则。
- 5.6.3 依据上述原则选择表 3 中 A、B 之一或其间某一值作为观测精度。允许视极化率和视电阻率设计不同级别的精度。一般情况下，应选择 A 级精度。

5.7 测地工作

5.7.1 测地工作的质量指标有测点点位中误差、测点高程中误差、计算 K 值的最小电极距和方向误差，工作精度要求列于表 4。

表4 测地工作精度表

精度级别	点位中误差 (图上 mm)	计算 K 值的最小电极距(AM 、 AN 、 BM 、 BN 和 MN)误差 %		测 深		高程中误差 (图上 mm)
		限差	均方相对误差	AM 、 AN 、 BM 、 BN 和 MN 均方相对误差%	电极排列 方向	
A	1.0	6.0	3.0	3.0	5°	1.0
B	1.25	10.0	5.0	5.0	10°	

5.7.2 测地工作精度应同时满足点位中误差、计算 K 值的最小电极距均方相对误差和电极排列方向误差的要求。对比例尺小于 1: 10 000 的工作，平面点位中误差应不大于 20 m。

5.7.3 按表 2 和表 4 规定的测地工作网度和精度，选用满足精度要求的测地仪器和相应的测量方法。在比例尺大于 1: 10 000 时通常宜采用测地型 GPS 仪器。当采用多台测地仪器工作时，其精度应一致。测区开工前和结束后所有测地仪器应在已知点上同时校验、检查。

5.7.4 表 4 中“计算 K 值的最小电极距 (AM 、 AN 、 BM 、 BN 和 MN)”误差是两个电极点各自定位误差的加法叠加，为 $\sqrt{2}$ 倍测点定位误差。据表 4，单点定位限差 R 应满足 (2) 式：

$$R \leq \frac{D_{\min} \times \frac{\delta}{100}}{\sqrt{2}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

D_{\min} —— AM 、 AN 、 BM 、 BN 四极距中最小极距值，单位：m；

δ ——表 4 中计算 K 值的最小电极距的限差值，%（无量纲）。

据 (2) 式，可计算出测区激电法工作满足电极距限差要求的单点定位限差值。

5.7.5 测地野外工作方法技术的其它相关要求参照 DZ / T 0153、GB / T 18314 。

5.8 装置、工作方式和时间制式

5.8.1 装置

5.8.1.1 装置选择的一般原则

根据勘查任务和测区的地形地质条件，适当地选择装置类型。常用的装置有中间梯度、联合剖面 and 单侧三极、轴向偶极-偶极和多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深、对称四极测深、近场源、地下供电装置（或激发极化充电法）等，各种装置的设计要求参照附录 A 和附录 F 执行。

装置类型一般选择原则：

- 面积性普查工作，常用中间梯度装置，也可选对称四极或偶极-偶极等装置；
- 需详细了解目标体形态特征的，应采用测深装置。常用测深装置有对称四极测深、多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深等；
- 为解决某些特定问题，如浅表目标体上顶位置和产状，可用联合剖面等装置；
- 为快速获取近地表目标体的异常，可用近场源等装置；
- 为圈定工程发现的目标体平面范围，可用地下供电等装置。

5.8.1.2 装置系数 K 值通用公式与应用要求

所有装置的 K 值通用公式：

$$K_{\text{通用}} = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

上式中，只有用 A、B、M、N 电极点的实测平面坐标计算电极距 AM 、 AN 、 BM 和 BN ， K 值计算结果才不会受电极点偏离的影响。在地面激电法工作中，各种装置皆应使用 (3) 式计算 K 值。

5.8.2 工作方式

5.8.2.1 工作方式有短导线和长导线两种。短导线方式使用收发分离式仪器，长导线方式通常使用收发一体式仪器。野外生产中，为工作方便和有较高的效率，通常采用短导线方式。

5.8.2.2 仪器的收发同步方式可分为“找 ΔU_1 升（降）沿同步”和“其它方式同步”两类。“其它方式同步”有“内控同步”、“线控同步”、“钟控同步”和“GPS 授时同步”等。

5.8.2.3 对于干扰大、一次场偏小的地区，应采用“其它方式同步”类仪器。

5.8.3 时间制式选择

5.8.3.1 脉宽

供电方式有单向长脉冲和双向短脉冲两种。一般采用双向短脉冲供电方式；研究异常或在较强人文干扰区工作时，宜采用长脉冲供电方式。

采用双向短脉冲供电方式时，脉宽应根据试验结果确定，脉宽应不小于 4 s。用于找水或研究二次场衰减曲线的脉宽应依据实际地电特征适当加长。

5.8.3.2 延时

在避开电磁耦合影响的基础上，为了获得较大的 ΔU_2 以利于突出异常，宜选择较小的延时。在低阻区、选用大极距、使用对称四极装置或中间梯度装置等导致电磁耦合较强的情况下，应通过试验确定。延时一般应不小于 100 ms，以小为宜。

5.8.3.3 采样宽度

采样宽度适当大些有利于克服高频干扰，提高观测精度；研究衰减特性时，采样宽度宜窄些。采样宽度应为 20 ms 的整数倍，以利于压制工频干扰。

5.8.3.4 采样块数

采样块数尽可能多，要求在当前脉宽下可采块数应采全。

5.8.3.5 迭加次数

一般情况下，仪器内设叠加次数宜选为 1 次~2 次。在干扰地区施工应采用“1 次内设叠加多次观测”的办法（见 7.3.1.3）。

5.9 电性参数测定和模拟试验

5.9.1 测区如已有相关的 η 、 ρ 测井资料，应予以收集、利用。

5.9.2 对测区内前人已有的电性参数测定结果进行分析，在此基础上设计补充物性测定工作。

5.9.3 电性参数（ η 、 ρ ）测定应覆盖测区内主要地层、岩性和探测目标体。

5.9.4 电性参数测定方法包括露头（基岩露头、矿硐露头）法、标本法、电测井和井旁测深法。测定方法参照附录 B。

5.9.5 电性参数测定方法选择原则如下：

- a) 据测区实际情况，当出露的岩（矿）石种类和数量能满足区内电性露头测定条件及数量统计要求时，可采用露头法；否则，应采用标本法，但对有可测的露头，还应选择具有代表性的露头进行测定。
- b) 只要条件具备，利用电测井或井旁测深方法测定电性参数。

5.9.6 每种同名岩（矿）石，露头测定点不少于 6 处，或同名岩矿石标本块数不少于 30 块。

- a) 同名氧化和原生岩矿石不可混在一起进行统计。
- b) 物性数据的代表性还应考虑浅表与深部、相变等可能的变化。

5.9.7 电性参数测定的相对误差应不大于 $\pm 20\%$ （见参考文献[3]）。

5.9.8 异常解释、数值模拟或物理模拟时，其模型电性参数应按实测值设计，地电断面模型应符合测区地质规律和模拟相似性原理。

5.10 设计书编写与审查

5.10.1 编写要求

5.10.1.1 按本标准 5.2~5.4 条之规定，在充分搜集分析资料的基础上，进行所需的现场踏勘、方法有效性和可行性试验之后编写设计书。

5.10.1.2 设计书应符合国家法律法规和相关技术标准之规定，且文字通顺、条理简练，图文并茂。

5.10.2 主要内容

5.10.2.1 序言

项目来源、任务书全文（必要时另外写明本方法的具体任务和勘查目标）、测区范围、自然地理与交通位置（附插图）、测区车载运输及单人负重测线徒步通行条件、勘查登记情况和以往的地质、电法工作程度和主要成果及存在问题等。测区电法工作程度图。

5.10.2.2 测区地质、地球物理特征

区域地质特点（测区所处大地构造部位、区域地层、岩浆岩、构造等）和测区地质特征（地层、构造、岩浆岩、矿产等）。对于矿产勘查目标，还应详述已知矿床、矿体特征（位置、埋深、大小、产状等）和控矿因素；对于其它勘查目标，应详述勘查目标和其围岩的地质特征。

电性特征，详述测区或邻区或类似地质环境下各岩（矿）石的电阻率、极化率参数资料；结合地质特征分析测区内电性分布和地电结构特征；分析区内干扰情况（地质和人文设施干扰体，人文电噪声水平与分布）；指出本方法勘查具体目标的有利和不利条件以及完成工作任务的可能性。附地质简图。

5.10.2.3 工作布置

工作布置原则；明确面积性测区范围、剖面性工作具体位置及其依据；测网密度确定及其依据；测线方向确定及其依据；外业异常研究工作预案（可选）；实物工作量；工作流程、时间安排以及与测地、地质等其它工作之间的施工顺序等衔接配合关系。

5.10.2.4 工作方法与技术

测地方法、仪器与技术要求；时间域激电方法、仪器与技术要求；抗干扰措施；质量检查方法与要求，指出本项目工作执行的规范性标准文件；明确资料整理、数据处理、反演解释与地质推断预案。隐伏目标体异常的定性通常需要采用综合物化探方法。

5.10.2.5 预期成果

阶段性成果和最终成果内容（报告、图件、数据等）及提交时间。

5.10.2.6 质量管理与进度安排

进度安排包括野外和室内各项工作的进度安排。

质量管理包括质量管理模式和质量保证措施。

5.10.2.7 组织管理及人员编制

组织管理含仪器设备、材料、车辆与人员配备计划与组织管理策划。

人员编制含分工、责任等。

5.10.2.8 经费预算

应提供预算依据与说明。

5.10.2.9 附表与附图

根据工作任务目的按设计需要提供相应的附表及附图。工作布置详图宜含地质内容图层。

5.10.3 审查与变更

设计书应经任务下达方组织审查，批准后方可执行。

在执行过程中，如需变更设计应履行变更手续；经任务下达方批准后方可实施。

6 仪器设备

6.1 仪器设备配备

6.1.1 应根据勘查任务、地电条件、勘探深度和工作精度合理地选定仪器设备的型号和数量。尤其应注意随着勘探深度的增加选用相应大功率设备；在人为干扰区工作应选用抗干扰仪器或大功率设备。

6.1.2 时间域激电仪器和设备包含发送机、接收机、标准时间域激电模拟器、供电电源、导线、电极、通讯设备、电性参数测定必需的测试仪表和检修工具等。

6.1.3 各种仪器设备应性能良好，并有一定的备用量。各种仪器设备的易损、易耗零件也应有足够的储备。

6.1.4 选择主要仪器设备时应考虑以下几点：

- a) 发送设备一般有大功率（>20 kW）、中功率（5 kW~20 kW）和小功率（<5 kW）之分；
- b) 勘探深度较大（≥150 m）、地表接地条件差或低阻背景分布区，宜选用中、大功率发送设备；
- c) 勘探深度不大（<150 m）、中高阻背景分布区，可选择中、小功率发送设备；
- d) 对于短导线工作方式而言，应尽可能选择使用具备“GPS 授时同步”，或者“钟控同步”功能的时间域激电仪，不宜选择使用“找 ΔU_1 升（降）沿同步”的时间域激电仪；
- e) 在同等情况下，尽可能选择观测精度高且性能稳定的仪器设备。

6.2 主要性能指标

6.2.1 发送机

6.2.1.1 双向短脉冲的标准时间制式为占空比 1:1 的正反向供电方式。供电脉宽应在 1 s~128 s 之间可选。

- 6.2.1.2 供电时间的精度应不低于 $\pm 1\%$ 。
- 6.2.1.3 对具有稳流功能的发送机，在测量过程中不监视电流变化时其稳流精度应高于 $\pm 2\%$ 。
- 6.2.1.4 为兼测电阻率的需要，表头显示电流的发送机，电流测量精度应高于满刻度的 $\pm 3\%$ ；数字显示电流的发送机电流测量精度应高于 $\pm 1\%$ 。
- 6.2.1.5 应有完善的过流、过压和断电保护电路。
- 6.2.1.6 仪器外壳、面板上各旋钮、插孔等与人体可接触部分均应与内线路绝缘，绝缘电阻应大于 $100\text{ M}\Omega/500\text{ V}$ 。
- 6.2.1.7 发送机应具有外控功能，以满足抗干扰及井中时间域激电之需。

6.2.2 接收机

- 6.2.2.1 基本要求是灵敏度和观测精度要高，性能稳定，抗干扰能力强。其指标要求如表 6。
- 6.2.2.2 仪器的采集功能应与占空比为 1:1 的双向短脉冲供电方式（含所有供电脉宽）相匹配。
- 6.2.2.3 仪器的延时与积分时间应可变。
- 6.2.2.4 仪器的延时与积分时间的误差应小于 $\pm 1\%$ 。
- 6.2.2.5 规定采集起始时刻为断电前 200 ms，积分宽度 100 ms 作为仪器测量 ΔU 的标准。

表 6 接收机性能指标要求表

电位测量分辨率 (μV)	极化率测量分辨率 (%)	电位测量精度 (%)		极化率测量精度 (%)		仪器输入阻抗 ($\text{M}\Omega$)
		$\leq 3\text{ mV}$ 时	$> 3\text{ mV}$ 时	$\leq 3\%$ 时	$> 3\%$ 时	
1	0.01	± 1	± 0.5	± 0.3	± 2	≥ 20

- 6.2.2.6 仪器应能测出激发极化效应的衰减过程，一般不少于 18 个采集块；延时和基准块宽度应可选，每个采集块宽度应是 20 ms 的整数倍；现场至少应显示早期的 4 个采集块，此外，还应显示半衰时、偏离度以及首块极化率对应的二次场电位差值。
- 6.2.2.7 仪器工作温度为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在相对湿度 93% ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$) 情况下能正常工作。

6.2.3 供电电源

供电电源为发电机或电池组。基本要求是输出足够的功率，满足接收机野外测量精度。具体如下：

- a) 用交流发电机作电源时，要求其整体状况良好，起动及运转正常；输出电压变化不超过 5%。配有整流器（包括调压器）和负载平衡器也正常。各设备电路与外壳间的绝缘电阻应大于 $5\text{ M}\Omega/500\text{ V}$ 。
- b) 用干电池或锂电池作电源时，要求电池组的无负荷电压与额定电压差不超过 10%。

6.2.4 导线和电极

- 6.2.4.1 导线的规格和数量应根据用途、电极距大小、供电电流强度和工区自然条件选择。一般应选用内阻小、绝缘性能好、轻便和强度高的导线。每公里供电导线电阻一般不超过 $10\text{ }\Omega$ ，耐压应高于发送机的工作电压。导线的绝缘电阻每公里应大于 $2\text{ M}\Omega/500\text{ V}$ 。对于长度为 D (km) 的导线，其绝缘电阻应按 $R_0 \geq 2/D$ ($\text{M}\Omega$) 要求。
- 6.2.4.2 供电电极一般采用铁或钢制的钎状电极、可卷起携带的带状薄铜片、带状铜丝编织带、铝板和铁板等电极，其规格和数量可根据工区接地条件及供电电流强度选定。
- 6.2.4.3 测量电极一般采用 $\text{Cu}-\text{CuSO}_4$ 液态不极化电极或 $\text{Pb}-\text{PbCl}_2$ 等固态不极化电极，其数量应根据用途、观测道多少等需求选择。要求内阻小 ($\leq 1\text{ k}\Omega$) 和极差小而稳定。

6.3 使用维护要点

6.3.1 一般要求

- 6.3.1.1 主要仪器和设备均应建立使用档案，并随同仪器一起保存。
- 6.3.1.2 所有仪器设备应按操作规程和其说明书使用，及时维修保养。
- 6.3.1.3 主要仪器设备应由专人分工保管和使用，人员变动时，交接双方应共同对仪器设备进行鉴定并办理交接手续。
- 6.3.1.4 仪器及发电机等设备均应定期检查和维修。在使用和运输过程中，应注意防潮、防震、防晒和防冻裂。工作完毕，应及时把所有开关或旋钮恢复到非工作状态，水冷引擎冬季应注意防冻。
- 6.3.1.5 仪器设备的历次检查、维修要详细载入档案，仪器性能鉴定情况应同原始材料一起提交有关部门审验。
- 6.3.1.6 仪器设备发生重大故障后，经检修、鉴定和记录在案，方可用于生产。
- 6.3.1.7 在长途运输或长期存放前，应对仪器设备进行检修、维护及妥善包装。仪器内部的一次性电池应取出，若为可充电电池则应根据厂家要求定期充电。
- 6.3.1.8 用可充电电池作仪器电源时，工作前应检查电池电压是否满足当天工作时间要求，禁止在电压不足的情况下工作。
- 6.3.1.9 操作人员必须仔细阅读仪器说明书，了解仪器的工作原理并掌握仪器的正确使用方法。

6.3.2 发送机

- 6.3.2.1 工作前应先低压“预热”，工作正常后再转换到高压档工作。
- 6.3.2.2 发送机工作时，电流与电压不得超过仪器额定值。
- 6.3.2.3 对于具有多个手动电压档的发送机，在执行换电压档操作前，应确认发送机处在非供电的状态，有特殊要求的发送机还应按要求在关闭高压并等待确认电压为0伏或小于10伏后进行。
- 6.3.2.4 仪器保险丝应按允许电流选用，不得用高熔点导线代替。保险丝烧断后，应查明原因，排除故障后方可更换。
- 6.3.2.5 发送机应在通风、避雨和遮阳处工作。

6.3.3 接收机

- 6.3.3.1 在进行标本、露头物性测量和小极距测深时，总场电位不得超过仪器的最大测程。
- 6.3.3.2 用镉镍电池或锂电池作仪器电源时，工作前应充足电，工作时注意电池电压是否满足要求，禁止在电压不足的情况下工作。
- 6.3.3.3 如暂停观测时间较长，应及时切断仪器电源。
- 6.3.3.4 如仪器带有拨盘开关，应尽可能减少拨动次数。
- 6.3.3.5 仪器出现错误指示或故障时，如仪器是智能式的，并自带检查程序，操作员可在现场按检查程序检查仪器，但不得在野外打开仪器进行检修。
- 6.3.3.6 仪器检修时应关机，焊接时应切断烙铁电源。

6.3.4 导线

- 6.3.4.1 应绝缘良好，避免机械损伤，使用期间应定期检查及时修补。
- 6.3.4.2 长期存放或长途运输前，应将潮湿导线及时晾干。
- 6.3.4.3 新的或生产用的导线，不得剪断移作它用。

6.3.5 电源

- 6.3.5.1 用干电池或锂电池作供电电源时，连续的供电电流不得超过电池额定的最大放电电流。需要大电流时，应用多组电池并联。并联电池的彼此电压不得超过百分之五，内阻差不得超过百分之二十。

停止用电后，应将电池与外部连线断开。

6.3.5.2 用发电机作供电电源时，应配有可调的平衡负载，禁止空载或超载。工作时应随时注意其运转是否正常。

6.3.5.3 整流器的工作电流与电压不得超过额定值。禁止过载工作。其工作频率应与发电机输出相数和频率一致。波纹系数应小于3%。

6.3.5.4 各种电源均应避免受潮或过热。在严寒季节工作时应采取防冻措施。

6.3.6 电极

6.3.6.1 金属电极应经常保持表面清洁无锈，用多根电极作供电极时，应用裸导线连接。

6.3.6.2 当采用 Cu-CuSO₄ 液态不极化电极工作时，应尽量使其不被曝晒，不被雨淋，并保持清洁，注意补充饱和硫酸铜溶液。

6.3.7 其他设备

6.3.7.1 使用万用表时，注意选用相应的档和合适的量程，不应超过允许的测量范围。

6.3.7.2 使用兆欧表时，不得在外电路短路情况快速摇转。

6.3.7.3 用对讲机作通讯工具时，禁止在没有连接天线状态下发送。

7 野外工作

7.1 工作准备

7.1.1 技术准备

7.1.1.1 组织学习相关规范和设计，让工作者明确相关技术要求，必要时进行技术培训。

7.1.1.2 实地了解测区情况后，拟定或修改施工顺序和与其他工作协调工作的方案。

7.1.2 仪器准备

7.1.2.1 基本要求

7.1.2.1.1 按设计要求的数量和规格，备齐全部仪器、检测校验设备、工具、专用记录本或表格等，配备安全生产防护用品，明确专职使用、维护人员。

7.1.2.1.2 校验、调节仪器使其达到仪器说明书标称和本规范规定的技术指标，并留存校验记录。

7.1.2.1.3 同一测区使用多台仪器工作时，正式开工前应进行仪器一致性检验。

7.1.2.2 仪器性能室内标定检查

每个项目工区开工前和结束后撤离工地前皆应进行一次仪器性能标定检查。具体要求如下：

- a) 能用标准时间域激电模拟器进行标定检查的接收机，应用同一模拟器对各台仪器进行准确性和一致性标定检验。
- b) 用标准时间域激电模拟器标定检查接收机时，应选用模拟器 ΔU_1 为 1 mV ~ 100 mV、在 2% ~ 20% 之间选择三个极化率值的标准输出信号对接收机作标定检测，其电位和极化率测量精度均应满足表6要求。
- c) 采用自身或其它专用检测仪器标定检查接收机的，其电位、极化率测档选择、精度要求等可参照使用标准时间域激电模拟器的要求执行。

7.1.2.3 仪器精度剖面实测检验

在野外工作开工前，仪器精度应进行剖面实测检验，检验内容、方法流程和合格标准如下：

- a) 内容：每台仪器沿剖面往返观测计算各自观测精度，多台仪器应做一致性检验；
- b) 方法流程：选择一条极化率有明显变化的异常地段剖面，测点数大于20个，选择AB、MN和I，尽可能使 ΔU_1 在30 mV以上，每台仪器在相同条件下往返观测计算均方相对误差。多台仪器取均方相对误差最小的一台仪器为“标准”，分别计算各台仪器与“标准”仪器的均方相对误差。计算均方相对误差公式为（4）式：

$$m = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_{si} - Z'_{si}}{Z'_{si}} \right)^2} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- Z_{si} ——第 i 点仪器观测数据；
- Z'_{si} ——第 i 点“标准”仪器观测数据；
- n ——参加统计计算的测点数。

如工区仅有一台接收机，则：

- Z_{si} 、 Z'_{si} ——第 i 点仪器往、返观测数据；

- c) 误差合格标准与选用：若某仪器误差 m 值大于设计精度的三分之二，应对该仪器调试，使其达到上述要求或不在本区使用。本区多台可用仪器的一致性误差可选合格 m 值中最大者；也可以对全部取用仪器的单趟观测数据，按常用公式（3）式计算一致性检验的均方相对误差 m 值，该误差 m 值应不大于设计精度的三分之二。

$$m = \pm \sqrt{\frac{1}{(s-k)} \sum_{i=1}^s u_i^2} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- u_i ——某次观测值与该测点各仪器观测值平均数的相对误差， $i = 1, 2, 3, \dots, s$ ；
- k ——单趟观测点数；
- s ——总观测次数，等于全部取用仪器在各单趟观测点上的观测次数之和。

7.1.3 日常施工准备

- 7.1.3.1 每天出工前（或前一天工作结束后），作业组长应向组员交待当天（或第二天）的准备工作，强调安全生产、明确岗位职责、组员分工，确保协作配合。
- 7.1.3.2 明确测网及测线、测点编号，工作量分配，装置形式，极距及电极排列方向，电极的种类与数量，接地技术措施，收放线路径和方法，车辆接送点等。
- 7.1.3.3 每工作日开工前（可在前一天晚上）应对仪器进行检查，发现问题的应停止使用。对发现问题的仪器须查明原因并修复，然后采用标准时间域激电模拟器或现场实测剖面等方式进行标定检测，待正常后方可再次使用。
- 7.1.3.4 检查需用的辅助设备、工具是否正常，记录、标志及安全保护用品是否够用等。
- 7.1.3.5 使用可充电电池的仪器设备，应检查电池电压，对需要充电的电池进行充电。

7.1.4 技术参数选择试验

7.1.4.1 基本要求

7.1.4.1.1 凡没有开展技术参数选择试验的测区，正式开工前应进行技术参数选择试验。电极距、供电脉宽、延时、人文噪音水平及其特点（信噪比测试）等试验工作，应在地质情况已知的剖面上进行，剖面选择的要求同 5.4，试验剖面应包含有连续的已知目标体异常段和其背景段。

7.1.4.1.2 存在较强人文干扰时，应测量噪声水平，分析其特点，计算信噪比，针对测区人文干扰特点进行多周期（次）叠加或单周期（次）采集、加大发射功率、更换抗干扰仪器和错时测量等抗干扰试验，选定既抗干扰又便利施工的措施与参数。其中，抗干扰能力以质量检查结果满足精度要求为准。

7.1.4.2 试验的内容和要求

7.1.4.2.1 电极距选择

应同时满足探测深度、水平分辨力和对一次场 ΔU_1 （或 ΔU ）幅度的要求（见 7.3.1.3）。

7.1.4.2.2 供电脉宽选择

原则是在满足抗干扰和探深的前提下兼顾施工效率。

标准为已知目标体上视极化率异常明显且相对背景的衬度值较大（一般不小于 2%）。

选择 8 s 供电脉宽开展试验，当试验结果符合上述标准和原则时，选定 8 s 作为供电脉宽；否则，加宽或缩短供电脉宽继续试验，直至选择出符合要求的供电脉宽。

7.1.4.2.3 延时选择

应满足避让电磁感应、兼顾提高二次场 ΔU_2 幅度。在电磁耦合较强的情况下，延时一般应不小于 100 ms。

7.2 设站、敷线、布极

7.2.1 测站或供电站的设置

7.2.1.1 供电站的设置应尽量靠近测线的观测段，以跑极方便为宜。通常，供电站设置在发电机附近，长导线测站不宜距发电机过远。在地形恶劣、电源设备搬运受到限制时，应兼顾发电机设置的需要。

7.2.1.2 对测站、供电站和发电机均应采取必要的防漏电、防潮、防雨和防晒的措施。其中，仪器对地绝缘电阻不小于 50 M Ω 。

7.2.1.3 每天观测开始前，操作员和电机员应进行下述工作：

- a) 发电机试车，观察其空载和有负载时的运转情况；
- b) 检查仪器、装备和通讯工具的基本性能；
- c) 检查不极化电极极差和内阻；
- d) 检查各线路连接是否正确；
- e) 检查测站、供电站、发电机及导线对地是否漏电；
- f) 粗略测量供电回路电阻，在确定电路接通和人员离开供电电极后方可试供电，选择合适的供电电压并调节平衡负载（对需要人工调节平衡负载的发送机而言）；
- g) 核对各电极所在的点号。

对上述各项检查，不符合要求者应立即处理。

7.2.2 导线敷设

7.2.2.1 自测站或供电站引出的导线均应分别固定后再引出。中间梯度装置和测深装置的供电线与测量线，应按规定距离分离敷设。通常，中梯装置面积性工作的分离敷设距离取测线间距的一半。

7.2.2.2 中间梯度装置施测时，供电线架上未放完的导线应在 A、B 端点附近以“之”字形往返放开。测深装置施测时，每个极距上供电线架中未放完的导线应放开；允许供电线架带线跑极，但应在测深工作开始前通过专项试验选择适合的延时，以减小电磁耦合影响，全区测深工作的延时应统一。

7.2.2.3 测量导线不应悬空架设而随风摆动，但在横穿河沟、水塘等须架空的特殊地段时，应将导线拉紧。

7.2.2.4 导线通过铁路、公路、河流时，要采取适当的措施，以防止其受损。

7.2.3 供电电极布设

7.2.3.1 供电电极通常用多根钎状电极并联组成。接地时，一般打成垂直于测线方向的一排或几排。无穷远极常打成圆圈状。对于铜制带状电极根据带长挖槽埋设，通常应垂直测线挖槽。为降低接地电阻需要埋设多条带状电极时，应采用放射状方式挖槽埋设。

7.2.3.2 钎状电极要求：

- a) 电极或电极组应在整个装置中满足点电极条件；
- b) 单电极间的距离应不小于电极入土深度的两倍；
- c) 电极的根数应满足供电电流不随时间变化的需要；对直径为 2 cm~3 cm，入土深度为 0.5 m 左右的电极，每根通过的电流以不超过 0.2 A 为宜；不锈钢电极每根通过的电流可稍大些。

7.2.3.3 带状电极要求：

- a) 单根薄片状铜带或铜编织带的长度一般为 1.5 m~2 m，薄片状铜带宽约 0.4 m，厚约 0.2 mm~0.4 mm；铜编织带厚约 4 mm，宽约 0.1 m~0.2 m；
- b) 埋设每根铜制带状电极时，应开挖与带状电极长宽相配的槽体，槽深一般 0.5 m~0.8 m（干旱区或沙漠区应加深至相对潮湿层），槽内倒入（饱和洗衣粉）水，再加厚 0.3 m~0.4 m 浆糊状泥浆体，将铜制带状电极留出接头后全部压进泥浆体内即可；
- c) 单根铜制带状电极槽无法满足要求时，可按放射状埋设多根铜制带状电极槽进行并联降阻；
- d) 不宜将多根铜制带状电极埋设在同一个带状电极槽内，否则起不到并联降阻供电的作用；
- e) 尽量不要使用盐水以减小对铜材的快速腐蚀作用。

7.2.3.4 其它电极要求：

- a) 对其它金属板状、带状等供电电极可参照上述两种供电电极的要求埋设；
- b) 不应使用难以取出的铝箔纸等一次性金属纸状电极，以免人工污染和形成浅埋金属导体干扰；
- c) 对其它新型供电电极，只要能达到降阻、环保、对后续激电测量不产生干扰即可。

7.2.3.5 需要较大供电电流时，可采取增加电极根数、加大入土深度、放射状埋设多根铜制带状电极槽等措施降阻，如仍未达到降阻目的，可移动到接地较好位置重新布设供电电极。

7.2.3.6 供电电极移动后的实际点位应及时记录。导致 K 值的改变在 $\pm 2\%$ 以内时，对不按电极点坐标计算 K 值的可不改算 K 值。按 A、B、M、N 电极点坐标计算 K 值（参见附录 D）的，应实测电极点坐标计算 K 值。为确保能供出较大的电流，允许 A、B 电极点有一定的偏离，中梯装置的偏离半径不大于 $(0.1\sim 0.15) AB$ 距，其它装置参照 7.2.4.3。

7.2.4 测量电极布设

7.2.4.1 埋设测量电极的接地电阻应小于 $7\text{ k}\Omega$ ，越小越好。具体要求以下：

- a) 测量电极一般应挖坑埋设，电极坑内不应留有碎石和植物，干燥时应提前向坑内浇水；
- b) 在有风化壳的岩石裸露区，坑深应穿过表面松散破碎层；在碎石堆积区，坑深应穿过碎石堆积层；
- c) 布极前先将水灌满电极坑让其下渗；再将土与水入坑搅拌成足量的浆糊状泥浆垫；最后放置不极化电极罐。

7.2.4.2 测量电极应避免埋设在流水、污水里或砂石堆上；应尽量减小两电极极差；电极引出的裸线不应与线架、杂草、表土等接触；在测量过程中，电极附近不得有人为扰动，不应在接收操作时在附近用对讲机通话。

7.2.4.3 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；当需要移动较大距离时，可将两个测量电极垂直于测线作同方向、同距离移动，移动后的接地点要在记录本中注明。导致 K 值的改变在 $\pm 4\%$ 以内时，对不按电极点坐标计算 K 值的可不改算 K 值。按 A、B、M、N 电极点坐标计算 K 值（参见附录 D）的，应实测电极点坐标计算 K 值。M、N 单极点的最大偏离量为：

- a) 沿测线方向不大于 0.5 倍 MN 距；
- b) 沿垂直测线方向不大于 0.5 倍相邻测线线距；

- c) 偏离后的 M、N 连线与测线的夹角不大于 45° 。

7.2.5 导线的漏电检查

7.2.5.1 漏电检查应使用兆欧表（500 V/1000 V）进行。

7.2.5.2 漏电检查应经常进行，在导线易损区或在潮湿状态下工作时更应加强。结束一个区段的观测工作将线收回驻地时，应进行系统的绝缘检查（如过水检查等）和修补。

7.2.5.3 在一天的工作中，至少应在开始和结束观测时、转移测线前后、装置改变或重新铺设导线时，应进行供电和测量导线的漏电检查。其结果应记录在野外记录簿中，记录格式见附录 C。

7.2.5.4 对于长度为 $D(\text{km})$ 的导线，供电导线对地绝缘电阻应满足 $R_D \geq 2/D (\text{M}\Omega)$ ，测量导线应满足 $R_D \geq 5/D (\text{M}\Omega)$ 。

7.2.5.5 在观测中，发现有漏电存在时，应立即排除并根据漏电点的位置等因素分析漏电对已有观测结果的影响。应在漏电排除后逐点返回重新观测，直至有连续三个点的结果符合要求时为止。

7.3 生产观测

7.3.1 观测方法与技术要求

7.3.1.1 短导线工作方式，一般采用双向短脉冲供电，读取参数为 ΔU_1 （或 ΔU ）和 η_s 。

7.3.1.2 长导线工作方式，可采用双向短脉冲或长脉冲供电，读取参数为 ΔU_1 （或 ΔU ）和 η_s 。

7.3.1.3 观测技术要点如下：

- 应供大电流（一般不小于 1 A）激发；
- 使用“找 ΔU_1 升（降）沿同步”的仪器系统，一般要求一次场 ΔU_1 （或 ΔU ） $\geq 5 \text{ mV}$ （有干扰时应明显大于干扰强度，且不低于 10 mV ）；使用“其它方式同步”的仪器系统，一般要求一次场 ΔU_1 （或 ΔU ） $\geq 3 \text{ mV}$ （有干扰时应明显大于干扰强度，且不低于 6 mV ）；
- ΔU_2 一般要求大于 0.3 mV ；在干扰较小的地区，应大于 1 mV ；在明显干扰的地区， ΔU_2 宜大于干扰信号幅度的 3 倍；
- 选择二次场多块采样输出模式，固定仪器内设叠加次数为 1 次，进行多次观测；当出现两次观测值满足衰减规律（即 $\eta_{s1} > \eta_{s2} > \eta_{s3} > 0$ ）且首块极化率值相近时，即为合格数据；两次首块极化率值相近指的是当 $\eta_{s1} > 3\%$ 时，两次观测值的相对误差 $\delta \leq 20\%$ ； $\eta_{s1} \leq 3\%$ 时，两次差值的绝对值 $\Delta \leq 1\%$ ；
- 相邻点视极化率值突变、仪器读数不稳或显示出超差等错误指示信息时，应分别检查仪器及其外部回路是否存在问题，观测周围是否存在人文干扰因素，并采取重复观测等措施以查明原因；必要时，应逐点回测至与 3 个正常点的观测值相符或相近。

7.3.1.4 视极化率重复观测的取数要求：

- 参与平均的一组 η_s 中，最大值与最小值之差与其平均值之比不得超过 $\sqrt{2n} m$ ，在需要用均方误差衡量观测质量的地段，最大值与最小值之差不得大于 $\sqrt{2n} \varepsilon$ （ m 、 ε 分别为设计观测均方相对误差与均方误差， n 为参与平均的观测次数）；
- 误差过大的观测数据可不参与计算平均值，但舍去的次数应少于总观测次数的三分之一（因某些故障或突然性干扰影响而中断的观测，不作舍数计算）；若超限的观测数据过多，说明不具备观测所要求的基本条件（干扰太大，或仪器、电源、线路有问题），应停止观测，进行检查和处理；
- 重复观测数据应作为原始观测数据对待，并应对一组重复观测的有效数据计算算术平均值，以此平均值作为该观测点最终的基本观测数据。

7.3.2 观测结果的记录和整理

7.3.2.1 野外仪器观测的全部结果均应及时记录在记录簿中或保存在仪器的存储器中。

7.3.2.2 操作员观测到的电极点号、首块极化率值、存储号、测点附近地质露头、干扰源以及偏点标注等均应记在野外记录簿中。野外记录簿作为野外原始资料，与仪器内数据转移到磁盘或光盘介质上后一同整理存档，记录格式见附录 C。

7.3.2.3 野外记录要求：

- a) 野外记录簿应采用规范格式；
- b) 野外记录簿不应兼作其他杂项记录，不允许空页、撕页和贴其他纸张，每天应换页记录；
- c) 对不同测区、不同比例尺、不同装置形式、不同工作目的，或者属同一区段但性质不同的观测（生产观测和系统质量检查观测）结果，应分别记录在不同的野外记录簿中；
- d) 野外记录簿中各栏应认真填写，各项原始记录应在观测当时记录清楚，不得追记，操作者和记录者应签名；
- e) 野外记录簿应使用中等硬度的铅笔填写。字迹应工整清晰，原始数据不得涂改或擦改，记错时可以划去重记（保留原记录可辨认），并注明原因；
- f) 在干扰大或极化率跳动大的地区应在备注栏对可能的起因加必要的描述；
- g) 不得用转抄结果代替原始记录；
- h) 对于自动记录功能强大的仪器，其内部记录格式（或输出格式）应与人工记录格式（附录 C）基本一致；此外，仪器还应能自动实时绘制显示和采后及时绘制显示剖面图或测深曲线图。

7.3.2.4 对称四极测深每个极距测毕应及时记录或存储；此外，还应在野外观测现场采用人工或电脑绘制测深曲线草图（参见图 C.1），并作为原始资料汇集装订成册。

7.3.2.5 多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深除了及时做好相应的记录外，还应按附录 F 的要求现场上数手工勾绘视极化率拟断面草图。

7.3.2.6 仪器中的数据当天工作结束后，应及时传输到计算机存储；按天以日期建文件夹保存，做好表头；除存入电脑硬盘外，还应备份到另外两个存储介质上，并打印一份记录保存。

7.4 技术保安

7.4.1 野外工作期间，应经常进行安全生产教育。

7.4.2 在使用仪器设备时，应遵守有关操作规程规定。

7.4.3 所有野外工作人员，应有安全用电和触电后急救的常识，电源和发送机工作人员应着绝缘胶鞋和绝缘手套等防护用品。

7.4.4 对供电电流较大的测段或附近有人、牲畜活动的工区，应派专人看守供电电极，巡视供电导线。

7.4.5 应在确信供电回路和电极接地均属正常，且人员已离开裸露导线和供电电极时方可供电；在未确认停止供电时不得触摸供电电极。在发电机停息后方可通知收线和移动供电电极。在供电回路上有人处理故障时不得供电，即使故障已经排除，也要与处理故障者取得联系并确认后方可供电。

7.4.6 雷雨时停止野外工作。

7.5 原始资料日验收

7.5.1 对原始记录应当天进行检查验收，以及时发现问题和处理问题。

7.5.2 日验收的具体内容如下：

- a) 人工记录的野外记录簿（或仪器记录表通过电脑打印装订的记录册）各栏目及数据填写是否完整、清晰，是否作了必要的标记；
- b) 各项技术指标是否达到设计要求，野外出现的“突变点”、“异常点”等是否进行了必要的检查观测，发现的异常是否完整，不完整的异常是否追索完整了。

7.5.3 日验收发现的问题，应按以下原则处理：

- a) 凡因违反设计规定致使数据无法利用或质量不合格的应予返工。
- b) 凡不明原因的质量存疑地段，应安排重点检查，并视情况予以补救。

c) 检查出的记录不规范、异常不完整等问题，应采取改正、补救措施。

7.5.4 对当日合格纸质和电子记录进行整理，对电子记录做备份，专人履行签字等验收手续。

7.6 观测结果整理

7.6.1 在对原始记录检查的基础上，室内人员应对全部参数计算进行 100%的复算，发现错误及时纠正。

7.6.2 野外观测结果复算后，应及时编绘各种成果草图，以便指导下一步野外工作和进行资料的综合研究。草图的内容和成果综合程度应随着野外工作的推进而逐步完善。

7.6.3 野外工作期间应按阶段对地质、仪器性能检测、试验、测地、观测数据、质量检查、电性参数测定等资料，随工作的进展及时整理并编绘相应图件和表格。

7.6.4 上交的原始资料应统一装订、编目并刻盘保存。

7.7 电性参数测定

7.7.1 采用露头法时，测量点处同一岩性地质体的大小、延深应符合要求；应涵盖所有地层、岩性（尤

7.7.2 其探测目标体与干扰体）；所有同名岩性在平面上分布力求具有代表性；所有同名岩性测定露头数不少于 6 处。不满足数量要求的，以标本法为主。

7.7.3 采用标本法时，物性标本可按剖面方式也可按面积方式基本均匀采集。如采用剖面方式，应尽可能与地质剖面重合。标本应涵盖所有地层、岩性（尤其探测目标体与干扰体），每种同名岩性标本数不少于 30 块。标本采集应作记录，对标本的岩性进行定名、必要的描述和编号，并将采集点位置以实测坐标标在图上。对岩芯标本，还应记录钻井号和取样深度。

7.7.4 测区内物性标本测量应统一测定条件。

7.7.5 测定前标本应浸水，浸泡时间见附录 B；应测定标本的饱和极化率值，供电电流密度一般不宜过大，详见附录 B。

7.7.6 物性测定允许当日进行质量检查，但操作者应不同。相对误差应满足设计要求。

7.7.7 视探测目标体种类，对测定结果按岩石单元或地层单元进行统计、分析。

7.7.8 物性测定的相关细节及要求等参见附录 B。

7.8 外业异常研究

如果设计书中布置了外业异常研究工作，根据具体内容，可按以下要求实施：

- a) 在对异常进行分析、研究的基础上，选择推断的重要目标体异常和对推断解释具有代表性的异常进行外业异常研究；
- b) 外业异常研究通常采用综合剖面测量方式进行。异常研究剖面长度应涵盖异常的整体范围，两侧皆应进入一段背景场；
- c) 外业异常研究的方法应首选同参数测深类电法；剖面应实测地形、地表地质、物性；一般还应视探测目标体种类进行化探采样；异常定性难度大的应视目标体物性条件增加其他物探方法；为提高异常定量反演的可靠性或加大探测深度，允许采用不同种类（或装置）电法参与异常研究工作；
- d) 异常研究剖面应绘制地形-地质-物探（化探）综合剖面图；
- e) 异常研究工作应为全测区异常定性、定量解释推断提供重要依据。

7.9 质量检查

7.9.1 质量检查工作部署

7.9.1.1 系统质量检查应根据生产情况安排在整个野外工作过程中，尽量做到在时间、地段上均有代表

性（大致均匀）。

7.9.1.2 应加强对解释推断、异常验证有重要意义和疑似人文干扰等质量存疑地段的检查。

7.9.1.3 测区内不同装置的采集工作都应安排检查工作；测深点（包括所有极距）检查应含异常点和非异常点；中梯扫面的检查工作主要针对所发现的异常进行安排。

7.9.2 质量检查工作方式

7.9.2.1 系统质量检查，使用一台仪器工作时采用二同二不同（同点位、同仪器、不同的操作者、不同日期）方式；使用多台仪器工作时，采用一同三不同（同点位、不同仪器、不同的操作者、不同日期）方式。

7.9.2.2 工区技术负责人应亲自参与系统质量检查观测。

7.9.3 质量检查工作量

7.9.3.1 面积性时间域激电工作的系统质量检查量不小于面积工作量的 3 %。多种装置施工的测区，每种装置的质量检查也不小于本装置工作量的 3 %。

7.9.3.2 剖面性时间域激电工作的系统质量检查量不小于剖面工作量的 5 %。

7.9.3.3 物性测定质量检查工作量不小于物性工作量的 10 %。

7.9.3.4 当不能对质量作出肯定的评价时，增加检查工作量，但增至总工作量的 20 %，质量仍不符合要求时，则相应范围内的原始观测资料应作废品处理。

7.9.3.5 工区技术负责人应亲自参与检查工作量不小于总检查工作量的 20 %。

7.9.4 质量检查结果

7.9.4.1 系统质量检查结果应列入专门的统计报表内。

7.9.4.2 系统检查观测结果，按以下各式计算误差，并应满足设计要求：

a) 视极化率的均方相对误差见公式（6）：

$$m = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\eta_{si} - \eta'_{si}}{\bar{\eta}_{si}} \right)^2} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

η_{si} ——第 i 点生产观测数据；

η'_{si} ——第 i 点系统检查观测数据；

$\bar{\eta}_{si}$ —— η_{si} 与 η'_{si} 的平均值；

n ——参加统计计算的测点数；

b) 在低极化率（ $\leq 3\%$ ）数据段，使用均方相对误差达不到设计要求时，可改用均方误差来评价（见表 3），总均方误差见公式（7）：

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\eta_{si} - \eta'_{si})^2}{2n}} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

η_{si} ——第 i 点生产观测数据；

η'_{si} ——第 i 点系统检查观测数据；

n ——参加统计计算的测点数；

c) 计算视电阻率的均方相对误差见公式（8）：

$$m = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\rho_{si} - \rho'_{si}}{\bar{\rho}_{si}} \right)^2} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- ρ_{si} ——第 i 点生产观测数据；
- ρ'_{si} ——第 i 点系统检查观测数据；
- $\bar{\rho}_{si}$ —— ρ_{si} 与 ρ'_{si} 的平均值；
- n ——参加统计计算的测点数。

甩点数应不大于系统质量检查点数的 1 % 。

7.9.4.3 诸受检点的 $\left| \frac{\eta_{si} - \eta'_{si}}{2\bar{\eta}_{si}} \right|$ 值（或 $\left| \frac{\eta_{si} - \eta'_{si}}{2} \right|$ 值）及 $\left| \frac{\rho_{si} - \rho'_{si}}{2\bar{\rho}_{si}} \right|$ 值的分布应满足如下要求：

- a) 超过设计均方相对误差（或均方误差）的测点数，应不大于受检点总数的三分之一；
- b) 超过二倍设计均方相对误差（或均方误差）的测点数，应不大于受检点总数的百分之五；
- c) 超过三倍设计均方相对误差（或均方误差）的测点数，应不大于受检点总数的百分之一。

7.9.4.4 应绘制质量检查对比曲线和误差分布曲线。

7.9.5 质量评述

评价一个测区或地段的野外观测质量，应结合下述各点全面分析：

- a) 工作方法是否正确，仪器的性能是否符合要求，作业的规范性如漏电检查，重复观测和取数等；
- b) 质量检查结果及其可靠性（含检查方式的规范性、检查点的代表性、统计计算的规范性、是否存在系统误差等）；
- c) 可疑点是否都进行了复查；
- d) 异常的完整性（含丢点情况）；
- e) 异常研究是否充分；
- f) 物性工作是否满足要求等。

7.10 野外资料验收

7.10.1 资料内容

7.10.1.1 原始资料

提交验收的原始资料包括：

- a) 仪器（含测地）鉴定检验记录、室内标定检查记录和剖面实测检验（见 7.1.2.3）记录；
- b) 原始观测数据（含技术参数试验、测地成果、生产观测、物性测定、质量检查等）记录。

7.10.1.2 基础资料

提交验收的基础资料包括：

- a) 实际材料图；
- b) 资料整理或预处理过程中形成的各种图表；
- c) 质量检查误差统计表及曲线；
- d) 电性参数测定统计表；
- e) 野外工作小结。

7.10.2 资料验收

7.10.2.1 凡符合设计要求的原始资料，予以验收。

7.10.2.2 验收中发现质量可疑的资料，进行补充检查，发现问题及时补救。

7.10.2.3 下列情况的原始观测结果应予作废：

- a) 采用不符合设计要求的仪器设备所取得的观测结果；未规范使用仪器而严重影响质量的观测结果；
- b) 在测地工作不合格前提下布设的电极点上取得的观测结果；
- c) 系统检查观测工作量增大至 20 % 时仍不能达到设计要求的观测结果。

7.10.2.4 野外资料验收在日常验收的基础上进行，由项目负责人亲自组织实施，并形成书面意见。

野外资料验收合格后，方可结束野外工作。

8 图件编绘

8.1 一般要求

8.1.1 正式图件的编绘，必须在观测数据经过质量验收的基础上进行，正式图件中不应包括不可靠数据，杜绝错误数据，如人文干扰所致数据等。

8.1.2 整套图件应包括参数类和推断成果类两部分。每种图件应突出主要内容，图面负担不宜过大，格式、文字、符号规范，图面清晰、醒目。

8.1.3 成果图件中的技术说明应包括下列内容：

- a) 工作方法和工作比例尺；
- b) 测地坐标高程系统，必要时说明测地仪器、布网联测及引自的三角点等；
- c) 时间域激电方法的工作参数，含装置形式、电极距、供（放）电时间、延时等；
- d) 等值线图中应说明数据网格化剖分方法、密度、大值限制及滤波参数等。

8.1.4 成果报告附图的其它要求参照 DZ/T 0069 《地球物理勘查图图式图例及用色标准》。

8.2 主要图件

8.2.1 实际材料图

一般包含测区位置范围、测网、三角点、联测点位置；剖面位置、编号；测深点位置、编号和测深点电极移动方向；一些特殊点（如供电点、充电点、无穷远极等）位置；质量检查点位置；电性标本采集点位置及编号；地质工程位置。

不同方法及不同装置的时间域激电工作，应采用不同符号或颜色在图中加以区分。

8.2.2 剖面图

剖面图中表示参数的比例尺一般用算术比例尺，其大小可根据观测精度和异常特点而定。异常幅度很大时，要突出较弱的异常，也可采用对数比例尺。

8.2.3 剖面平面图

比例尺应与工作比例尺一致，在同一图上宜采用相同的比例尺。如需要改换作图比例尺时，放大或缩小的倍数，一般不得超过原比例尺的一倍。

参数比例尺应按 8.2.2 要求选择，并避免剖面间异常曲线的过多穿插。对视极化率背景较高的测区，纵坐标起始值可不为零，但应在技术说明中注明。

8.2.4 等值线平面图

8.2.4.1 时间域激电的中间梯度和测深面积性工作后应绘制视极化率和视电阻率等值线平面图，绘图宜采用专业软件绘制。

8.2.4.2 等值线起始线一般依据观测误差确定，也可始于背景值，终于异常最大值。

8.2.4.3 等值线间隔一般采用等差间隔或对数等间隔，间隔大小依据观测误差确定，异常强度变化大时，可依据异常梯度特征合理选择间隔，为突显特定异常特征可在局部增减等值线。

8.2.4.4 在勾绘正式等值线图之前，在施工阶段应及时用计算机绘制草图且宜满足以下要求：

- a) 不丢任何点；
- b) 网格化宜选用三角剖分或三角网线性插值正方形高密度网格；
- c) 不滤波；
- d) 根据需要在踏勘异常后，合理地调整网格方向及网格密度。

8.2.4.5 绘制正式等值线图要求：

- a) 勾绘正式等值线时，应充分考虑地质特点、观测误差和干扰水平。在对资料初步推断基础上进行。合理选择网格化方向、方法、参数，有针对性地滤波（只允许滤除随机误差，不应滤掉地质体非均匀性异常）等；
- b) 网格化方法和参数选择的前提是实测可利用信息尽可能不失真；如果采用三角剖分或三角网线性插值正方形高密度网格后能基本反映数据信息且图形清晰的，可不采用其他网格化，也不必滤波；否则，继续选择其它网格化方法(如克吕格等)和参数；
- c) 正方形高密度网格边长依据数据特点合理选取；
- d) 等值线平面图上应有成果报告中提到的地理信息；
- e) 技术说明应注明网格化参数、是否做过滤波以及滤波参数等；
- f) 等值线平面图一般以同比例尺的地质简图为底图。

8.2.5 推断成果图

8.2.5.1 对称四极测深综合剖面图

以地形剖面为垂向坐标的起始点绘制综合剖面图，并由下列各图按点号由上至下对齐排列而成：

- a) 对称四极测深视电阻率 ρ_s 视极化率 η_s 曲线类型图；
- b) 对称四极测深视极化率 η_s 断面图；
- c) 对称四极测深视电阻率 ρ_s 断面图；
- d) 对称四极测深反演极化率 η 断面图；
- e) 对称四极测深反演电阻率 ρ 断面图；
- f) 推断地质剖面图。

8.2.5.2 多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深综合剖面图

以地形剖面为垂向坐标的起始点绘制综合剖面图，并由下列各图按点号由上至下对齐排列而成：

- a) 多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深视极化率 η_s 断面图；
- b) 多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深视电阻率 ρ_s 断面图；
- c) 多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深反演极化率 η 断面图；
- d) 多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深反演电阻率 ρ 断面图；
- e) 推断地质剖面图。

8.2.5.3 综合平面图

以地质简图为底图，内容可根据不同探测目的进行组合，图面负担不宜过重，应突出重点，图面整洁、清晰。宜包括测区范围、地质、视极化率（或视电阻率）等值线以及推断的极化目标体、地质构造及建议工程位置等。

9 异常解释推断

9.1 目的与原则

9.1.1 异常解释推断的目的是将隐含在实测数据中异常源的地质体属性及其几何参数等信息提取并表达出来。

9.1.2 异常解释推断包括定性解释、定量解释、地质解释及相关的数据处理。

9.1.3 异常解释推断的基本原则是：

- a) 每个异常均需进行定性解释，异常定性应力求减少多解性；
- b) 解释推断的重点是任务书和设计明确的探测目标体，凡推荐验证的异常，其解释推断须精细；
- c) 凡需图示的推断成果，均应进行定量反演，对异常源几何与物性参数的反演力求准确；
- d) 避免欠推断与过度推断；
- e) 定性解释、定量反演结果均应经另一人独立重新解释推断复核。

9.1.4 数据处理不是独立环节，是为解释推断服务的，应有明确的针对性。一般用于滤除干扰，其基本原则是确保处理后有用信息的高保真度。

9.2 解释准备

9.2.1 应充分收集、分析、利用已有资料，包括地质、地形、综合物化探和前人推断的成果及其依据。

9.2.2 对资料的完整性、质量、异常划分与分类的合理性等进行初步判断，应注意识别并剔除由人文干扰引起的假异常；分析资料的可用性。对资料完整性有缺陷的，必要时应进行补充采集。

9.2.3 定性解释前，一般先进行异常划分。异常划分的原则是：

- a) 相对背景值用衬度的相对大小来圈定异常，不同勘查目标圈定异常的衬度相对大小不同，应根据测区内已知目标和潜在目标可能的异常衬度相对大小来圈定异常；
- b) 推断为同一异常源引起的异常宜划分为同一异常；
- c) 推断地质属性相同且位置邻近的不同异常源引起的同类异常可划分为同一异常带（区）。

9.3 定性解释

9.3.1 解释推断的首要任务是对异常源的性质属性作出定性解释。

9.3.2 异常定性的途径应包括：

- a) 现场踏勘；
- b) 从“已知到未知”，含沿走向追索和与已知目标体异常特点类比（强度、形态、规模、走向等）；
- c) 与地质资料对比，分析异常与地质体的对应关系；
- d) 依据物性资料；
- e) 依据综合物化探资料；
- f) 定量论证。

9.3.3 依据物性和已有地质资料分析异常的多解性，制定减少多解性的措施。

9.3.4 野外生产过程中，应对异常进行现场踏勘检查，确认异常区地质、地形环境，采测物性标本，观察可能的人文干扰源，判断异常源的大致埋深，筛选与目标体相关的异常（尤其半隐伏地质体引起的异常）。

9.3.5 使用“从已知到未知”的类比原则时，类比双方的地质环境应近似，避免漏掉有意义的地质体。

9.3.6 应分析、评价每个异常定性的依据及其可靠性。

9.4 定量解释

9.4.1 在异常定性解释的基础上进行，可细分为半定量解释与定量反演解释。

9.4.2 检查定量反演数据的质量、配套性和完整性，分析是否具备反演条件。对于不具备反演条件的数据不进行定量反演或补充采集后再反演。

9.4.3 根据数据特点和适用性第一的原则合理选择反演方法。一般先进行半定量解释，再进行定量解释。

9.4.4 定量反演应按以下规定执行：

- a) 地形起伏地区，应使用带地形的反演方法（参见附录 E）；
- b) 三维观测数据体和定性为三维异常源且有三维观测数据体的，宜使用三维反演方法；
- c) 自动反演的初始模型应依据半定量解释结果、已知地质、物性资料构建，一般不宜采用均匀半空间模型；
- d) 人机联作反演的模型应受先验信息（物性、测区地质规律、地表地质、钻探结果等）约束。
- e) 进行反演时，应导入原始视参数（ η_s 、 ρ_s ）、地形参数和背景电性值等。一般宜先进行预反演，再据预反演结果并参考物性参数等调整背景值重新反演。

9.4.5 对反演结果进行合理性分析，分析是否符合测区地质规律。当反演结果明显与地质规律不符时，应认真分析研究，若不属于有依据的新发现，应改变反演方法重新反演。

9.4.6 定量反演解释结果必须由另一技术人员进行独立检验。

9.5 综合解释

9.5.1 综合地质、其它物化探资料对单个异常解释结果的地质属性进行确认解释。

9.5.2 在对单个异常解释推断的基础上，分析异常间的相关性并与地质、其它物化探资料进行综合，作出全测区目标体分布特征的地质推断解释。

9.6 异常验证及再解释

9.6.1 对于推断的重要探测目标体异常应提出工程验证建议书，建议书内容包括异常、物性、地质、地形、推断结果、建议工程位置、深度及注意事项等资料，并附相应的综合剖面图。

9.6.2 工程验证后，应对时间域激电资料进行“再解释”，内容包括岩矿石电参数测定、依据工程所见极化体和实测物性数据进行正演计算、与实测异常对比等，并提出是否达到验证目的的结论。若因原推断可靠性问题或钻孔孔深、孔斜、靶标偏移等原因未钻遇推断目标体，则依据再解释结果提出开展地下物探后再验证、或直接再验证的建议。再验证也需提供异常验证建议书。

10 成果报告编写

10.1 编写要求

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

10.1.2 报告所用资料应是经过质量验收合格的正式资料。

10.1.3 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。成果报告要全面反映设计书规定的任务完成情况和所取得的成果，附有表示工作情况和成果的图片。

10.1.4 应在全面掌握实际资料的基础上，分析、研究、综合，逐步形成有依据且合理的结论。

10.1.5 应结合实际情况，合理组织内容与取材，立论有据，观点明确，重点突出，文图呼应。对于重大争论问题，应加以反映。

10.1.6 文字报告层次清楚，内容简明扼要，以成果解释推断和工作结论、建议为重点。所用名词、术语、符号、编号、格式等符合标准或规范。

10.1.7 插图（表）、附图和附表内容力求完整、系统，图表清楚醒目、繁简得当、美观整洁，便于使用。

10.2 主要内容

10.2.1 序言

简述项目来源、工作性质、目的任务、完成情况、取得的主要成果与致谢。

10.2.2 测区地质及地球物理特征

测区概况和以往工作评价；测区的地质特征（包括区域地质特征和矿区地质特征）；测区的电性特征；建立目标体及其围岩的地质——电性特征关系和干扰体及其围岩的地质——电性特征关系，找出目标体和干扰体的识别特征；分析可能产生异常的其它地质原因。

10.2.3 工作方法技术与质量评价

时间域激电、测地测区布置；野外方法技术；质量检查工作情况(包括检查方法、检查量、分布等)；质量检查结果；资料处理和测深剖面(或三维观测数据)反演方法技术及其质量检查结果与可靠性评价。

10.2.4 解释推断

简述解释推断的方法；叙述测区背景区确定、异常划分和背景区地质解释推断的依据与结果。

阐述测区局部地段(或测深剖面)的地质解释推断依据与结果(含推断图件)；特别是对被测目标体异常的地质解释推断，应有异常描述，含综合物性资料、已知地质资料、典型已知地质断面的异常特征和反演解释深度标定结果等资料进行地质解释推断的内容；对存在多解性的异常(或电性块体)，给出带条件的1~2种倾向性的地质解释推断依据与结果；分析解释推断结果的可靠性。

对可构成面积性的多剖面激电工作，在上述解释推断基础上，还应综合给出测区激电工作资料的整体性地质解释推断依据与结果(含推断图件)。根据全区异常平面、测深拟断面和反演断面(或三维测深数据体与三维反演电性体)的空间分布特点与变化规律，结合区内地质体的空间展布特征与演化活动规律，归纳局部地段的解释推断结果，阐述整体性地质解释推断的依据与结果。重点针对全区性异常、异常区(带)和被测目进行归纳性阐述。对解释推断结果的可靠性进行评述。

10.2.5 结论与建议

对照本项目的地质任务，对激电勘查成果给出明确的地质结论并进行评价，对取得的其它成果给出结论和说明，对未解决或未肯定的地质问题及原因予以说明。

具体提出测区内进一步地质、物化探及异常工程查证工作的建议，说明这些工作的意义、任务、范围、配合程序及应注意的问题。

10.2.6 附表与附图

附表根据任务目的的要求按需编制，附图如下：

- a) 实际材料图；
- b) η_s 、 ρ_s 等值线平面图(仅限于面积性工作)；
- c) η_s 、 ρ_s 剖面平面图(仅限于面积性工作)；
- d) 综合成果平面图(含推断成果，仅限于面积性工作)；
- e) 综合剖面图(含推断成果)。

10.3 资料提交

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

- a) 原始资料：物性资料、测地资料、生产观测资料、系统质量检查观测资料；
- b) 成果资料：成果报告；
- c) 相关资料：任务书、设计书等。

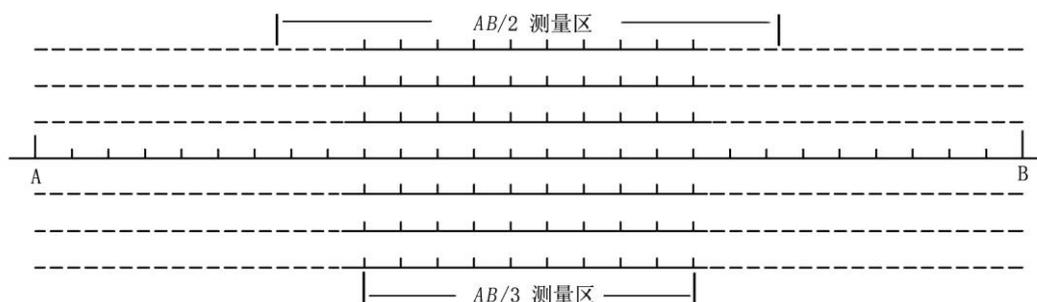
附 录 A
(规范性附录)
主要装置的设计要求

A.1 中间梯度装置

A.1.1 装置说明

本装置(图 A.1)敷设一次供电电极(A、B),可在 AB 之间一个较大的范围内观测,且异常形态简单易于解释,常用于时间域激电普查扫面。其大小和观测范围由 A、B 位置决定。

单剖面工作时,只布设测量图 A.1 中的主剖面。



图A.1 中间梯度装置(排列)示意图(1主6旁7测线系统)

A.1.2 AB距、MN距选择

A.1.2.1 其它条件一致时,较大 AB 距建立的中间均匀场区观测面积大,工效高,探深能力也较强;但一次场电位差较小。AB 距一般由固定 MN 为测网点距的对称四极测深试验确定。视极化率测深曲线随极距增大,不再明显升降的测深 AB 距为发现测深点下极化体异常的“最小 AB 距”。本装置 AB 距应大于“最小 AB 距”,如果电源功率允许,在一次场 ΔU_1 (或 ΔU) 满足观测要求的条件下,宜选较大 AB 距。

A.1.2.2 也可按主要探测目标极化体的 4 倍顶深或其它经验值来估算 AB 距。

A.1.2.3 MN 距一般应适合关系式 $MN = (1/50 \sim 1/25) AB$; 还应适应时间域激电法中间梯度装置发现目标体的规模大小和施工方便,一般宜选 MN 距等于 (1 或 2) 倍的测点距。

A.1.2.4 在水平均匀大地介质中,AB 极供电建立的中间均匀场区内,激发体电流束是水平半圆柱体形的,其水平面的中心线与地表 AB 极连线重合、其半径至少可达 0.25 AB 距。

A.1.2.5 在 MN 固定不变的情况下,AB 距增大,本装置探深也加大。随着 AB 距进一步增大,时间域激电中梯探深逐渐增加,到达一定 AB 距后,其有效探深不再随 AB 距增大而增大。因此,大 AB 距只是时间域激电中梯探深的一个因素,另一重要因素是地下目标极化体的规模大小和它上覆岩(矿)石导电性与激电性的屏蔽强度,也就是地下目标极化体被激发后产生的极化电流(二次场)能否穿过上覆岩岩到达地表被接收机有效检测出。

A.1.2.6 在其它条件相同时,大 AB 距建立的中间均匀场区内的电流密度、 ΔU_1 (或 ΔU) 比小 AB 距中的小,因此减小 AB 距是提高 ΔU_1 (或 ΔU) 的技术手段之一。

A.1.2.7 用横向中间梯度装置确定目标极化体走向长度时,允许采用比纵向中间梯度装置有较大的 MN 极距。

A.1.3 测量范围

A.1.3.1 当工作目的以发现异常为单一目的时，测线观测范围应选择在排列中心 AB 距的三分之二内；当不仅限于发现异常，还需要利用中梯资料解决地层划分、矿化蚀变带圈定、单个异常体埋深估算解释（如类磁选择法见参考文献[4]P293-294）等问题时，测线观测范围应选择在排列中心 AB 距的二分之一或三分之一内。

A.1.3.2 当 AB 排列内测线观测长度超出可测范围时，需移动 AB 排列完成相邻测线段的观测。在相邻测线段间应有 2~3 个重复观测点。

A.1.3.3 一线供电多线观测时，旁侧剖面与主剖面间的最大距离，应不超过 AB 距的五分之一。

A.2 联合剖面和单侧三极装置

联合剖面装置（图 A.2）在一个测点可获得两种参数的四个值，但生产效率低，一般多用于激电详查剖面。激电联合剖面通常利用一条剖面上的两条 η_s 和两条 ρ_s 曲线，判断极化体位置和产状等，比较适用于研究一定产状的近地表地质体。电极距选择应满足下述要求：

- $AO = BO \geq 3H$ (H 为拟探测地质体的顶部埋深)；
- 对一般常见的脉状极化体，最佳电极距 $AO = BO = (L + d)/2$ ，式中： L 为脉状极化体走向长度； d 为脉状极化体延深长度；

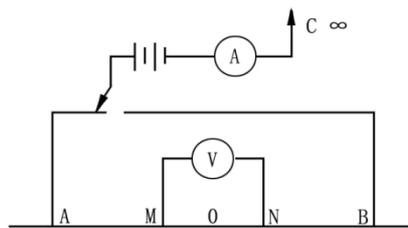


图 A.2 联合剖面装置示意图

- $MN = (1/15 \sim 1/3) AO$ ；
- “无穷远”极，应垂直测线方向布设，它与最近测线的距离应不小于 AO 的 5 倍。当在测线两端方向布设无穷远极时，它与最近测线及测点的距离应不小于 AO 的 10 倍。

单侧三极（又称单极-偶极）装置是联合剖面装置的一半，去掉图 A.2 中的 B 极（或 A 极）就是单侧三极装置的示意图，其生产效率比联合剖面装置略高，一般多用于激电详查剖面或多道单极-偶极剖面测深。

做电剖面观测时，单侧三极装置的电极距选择要求与联合剖面相同；做多道单极-偶极拟断面窗口测深方式观测时参见附录 F。

A.3 轴向偶极-偶极装置

本装置（图 A.3）适用于“短导线”工作方式的激电剖面性普查工作。它比中间梯度装置具有较高的横向分辨率。偶极测深用于研究极化效应的垂向变化，以识别异常源的空间分布形态。解释较复杂。设计要点如下：

- 本装置电剖面工作时，极距 OO' （ O 和 O' 分别是 AB 和 MN 的中点）的选择，同 A.2 联合剖面装置极距 AO ；
- OO' 的中点为本装置电剖面工作的观测数据记录点；
- 本装置电测深工作时， $AB = MN = a$ ， $OO' = (n + 1)a$ ，隔离系数 $n = 1, 2, \dots$ ，拟断面图的记录点位于 OO' 中垂线上，下方 $OO'/2$ 处；

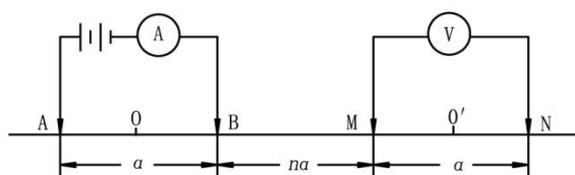


图 A.3 轴向偶极-偶极装置示意图

d) 多道轴向不对称偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深方式观测时的要求见附录 F；

A.4 对称四极测深装置

A.4.1 本装置（图 A.4）用于研究地层电性的垂向变化，可大致解决地质断面和极化体空间分布问题。因生产效率低，通常用于中梯装置等面积性测量的异常研究或专门的剖面研究工作，也用于面积性测深。

A.4.2 最小 AB 距应使测深曲线的前段有渐近线。最小 $AB/2$ 为 1.5 m 或 3 m。如果只是求出极化体顶端埋藏深度，可不测出后支渐近线。

A.4.3 电阻率测深曲线尾支应获得明显的渐近线，或反映目标体上升(或下降)的拐点之后应有三个电极距的 ρ_s 值。

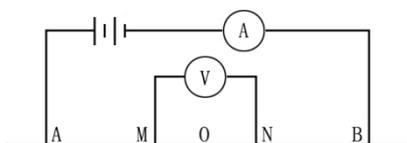


图 A.4 对称四极测深装置示意图

A.4.4 电极排列 (AMNB) 的布极方向视任务目的而定，一般有以下几种情况：

- 研究极化体的产状，应垂直于极化体的走向布极；
- 当极化体为低阻且沿走向有一定长度，为取得明显的异常和确定极化体的走向长度时，应顺极化体走向布极；
- 面积性测深或剖面测深，各点的布极方向宜基本相同；
- 研究极化体的走向方位时，应在时间域激电异常点上按“十字”型乃至“米”型的方位布极，进行多方位测深。

A.4.5 测深受地形影响较大。当极化体上方地形起伏较大时，电极排列方向应尽可能与地形等高线方向一致。在敷设小极距时，如电极附近存在突变地形，应设法避开或在记录本中加注。

A.4.6 测深剖面如果要做 2.5 维反演解释，剖面方向应垂直于地形或极化体走向，且电极排列 (AMNB) 的布极方向应与剖面方向一致。

A.4.7 $MN/2$ 距选择应与测深极距 $AB/2$ 相适应，具体有以下选法与要求：

- 非等比测深极距的 $MN/2$ 在 $(1/3 \sim 1/30) AB/2$ 范围内选择，随着 $AB/2$ 的增大需增大 $MN/2$ 时，应在测深曲线接头处重复两个测深极距 $AB/2$ ；
- 等比测深极距的 $MN/2$ 与 $AB/2$ 之比保持为固定值，通常为 $1/3 \sim 1/10$ ；
- 在浅源目标勘察时，为了提高纵向灵敏度， $MN/2$ 可取较小值且固定不变。

A.4.8 测深极距 $AB/2$ 通常有对数间隔和算术间隔两类供选，具体如下：

- 对数间隔要求在模数 6.25 cm 的对数纸上，取 0.8 cm ~ 1.2 cm，使其大致均匀分布。如 $AB/2=1.5$ m, 2.5 m, 4.0 m, 6.5 m, 9 m, 15 m, 25 m, 40 m, 65 m, 90 m, 150 m, 250 m, 400 m, 650

m, 900 m, 1500 m, 2500 m, 4000 m, ……;

或按下列序列方式选取:

$AB/2=1$ m, 2 m, 3 m, 5 m, 8 m, 13 m, 21 m, 34 m, 55 m, 89 m, 144 m, 233 m, 377 m, 610 m, 987 m, 1597 m, 2584 m, …… , ($f_{n+1}=f_n+f_{n-1}$);

b) 算术间隔可细分为高密度和密极距两种模式:

- 1) 高密度模式是点距和 $AB/2$ 距都严格按算术等间隔增大; 如 $AB/2=5$ m, 25 m, 45 m, 65 m, 85 m, 105 m, 125 m, ……;
- 2) 密极距模式是 $AB/2$ 距大致按算术等间隔增大, 同时兼顾野外施工的方便。一般浅部密深部略稀。例如, 应用于 1: 10 000 找矿时间域激电剖面测深工作时, 通常取 $AB/2=5$ m, 10 m, 30 m, 50 m, 70 m, 90 m, 110 m, 130 m, 150 m, 170 m, 200 m, 250 m, 300 m, 350 m, 400 m, 450 m, 500 m, 600 m, 700 m, 800 m, 1000 m, 1200 m, 1400 m, 1600 m, 1800 m, 2000 m, ……。

A. 4. 9 测深极距 $AB/2$ 的选取原则如下:

- a) 当探测目标体规模较大, 使用较稀极距就能达到测深勘探目的时, 可采用对数间隔;
- b) 当探测目标体规模一般, 使用较稀极距难以达到测深勘探目的时, 宜采用算术间隔的密极距或高密度测深模式或换用其它装置;
- c) 当探测目标体规模不明时, 应通过试验来选择合适的极距模式或装置类型;
- d) 最大供电电极距 $AB/2$ 一般不应小于勘查目标体顶部埋深的 3 倍, 也可通过技术参数选择试验确定。

A. 4. 10 测深剖面的跑极施工宜按跑极点点号坐标和手持 GPS 来作业。步骤如下:

- a) 用测地型 GPS 以测深点点距布设跑极控制点;
- b) 准备附录 D 中 D. 2. 3 d) 所要求的输入文件;
- c) 使用附录 D 中 D. 2. 3 d) 模块做计算, 打印各测深点的 A、B 极跑极点点号坐标;
- d) 用手持导航型 GPS 和测绳等设备观测施工;
- e) 使用附录 D 中 D. 2. 3 e) 模块做计算各测深点电阻率, 按方便绘图的列表形式输出。

A. 5 近场源装置

本装置(图 A. 5)是一种小极距二极装置(电位装置)。供小电流, 便可有较大的观测信号强度, 所以它具有轻便、经济的优点。适合探测浅层矿化体或用以快速检查物化探异常。

“无穷远”B 极和 N 极既可分别布置在测线两侧, 也可布置在测线两端点之外并位于测线之延长线上。它们各自到测线的垂直距离(前一种情况)或到测线两端端点的距离(后一种情况)应不小于 10 倍 AM 。

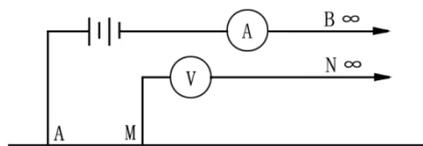


图 A. 5 二极装置(电位装置)示意图

A. 6 地下供电装置

在地面采用梯度装置(M 极距很小)观测时, 在充电点上方会出现视极化率“大正大负”的复杂异常。故宜采用电位装置作观测。

附录 B

(规范性附录)

电性参数测定

B.1 露头测定

B.1.1 常用测定方法

一般多用露头小四极法、小极距测深法。

B.1.2 选择露头

一般要求所测单一岩性岩(矿)石的露头直径比所用 AB 极距大一倍以上,向下延深应大于 AB 极距。露头可以是完全充分裸露,也可主要部分裸露。同时要考虑其接地条件,不宜选择在完全由碎块石堆积而成的区块。

B.1.3 确定工作参数

小四极法通常使用小极距温纳装置也可用其它小极距装置,极距依据同名岩石露头大小、表层风化程度等确定,通常温纳装置 $a=0.4\text{ m}\sim 1.0\text{ m}$;其它装置 $MN=0.4\text{ m}\sim 1.0\text{ m}$; $AB/2=0.6\text{ m}\sim 2.0\text{ m}$ 。

小极距测深法宜选用小极距对称四极测深装置。

极距应依据露头大小确定。一般 $MN/2$ 选 0.4 m 或 0.6 m ;最小的 $AB/2$ 选 0.6 m 或 0.8 m ;此后 $AB/2$ 依次为: 1.0 m 、 1.2 m 、 1.5 m 、 2 m 、 2.5 m 、 3.0 m 、 3.5 m 、 4.0 m 、 5.0 m ,最大 $AB/2$ 不宜大于 5 m 。

供电脉宽选生产观测用供电脉宽。

B.1.4 测定方法技术

测定仪器可使用生产观测用时间域激电仪、具有时间域激电测试功能的多功能电法仪和专用物性测定仪。

装置应排列在露头的中部。

在完全充分裸露区,每个电极点应使用泥浆土或粘性土辅助接地,在保证良好接地的前提下降低接触面积;在薄层覆盖区,电极和接收极罐尽可能接触到所测的岩石。

供电电流选择使其所测一次场满足观测精度且合适为宜,不宜过大。

对矿化不均匀和各向异性的露头,可识别且露头范围够大时应改变电极排列方向,作多个方位的观测记录。

B.1.5 分析实测数据

对于完全充分裸露区,由于长期暴露,所测得电阻率数据往往偏高(个别因风化强烈会偏低)。应在统计表中说明实测状况。

对于在薄层覆盖区所测得电阻率是视参数,应在双对数上绘制电阻率曲线,求取其渐近线作为真电阻率值。

小四极法所测得每个数据均可认为露头测定的真电阻率值;小极距测深法测定获取的渐近线值方为真电阻率值。

B.2 标本测定

B. 2. 1 常用测定方法

B. 2. 1. 1 蜡封法

将标本置于瓷盆中，把标本的三个面与盆壁间用石蜡或橡皮泥封住，使其两边的水仅可由标本内渗透（见图 B. 1）。要求所用的石蜡中无金属矿杂质，封蜡时注意使标本两侧有较大的面积与水接触。A、B、M、N 电极可用铅材（或电工用保险丝等），M、N 极要贴近标本两侧，A、B 极靠盆边。

B. 2. 1. 2 双盆边架法

装置结构如图 B. 2 所示，A、B、M、N 电极可用铅材（或电工用保险丝等）。将标本放在两只盛水瓷盆中间的盆边上，标本与水之间用浸水纱布或棉花连接，测量电极与纱布或棉花接触。这样可达到电流集中通过标本的目的。工作效率较高。

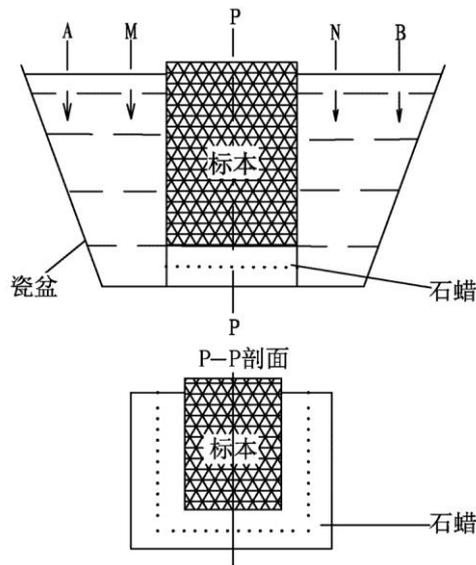


图 B. 1 蜡封法示意图

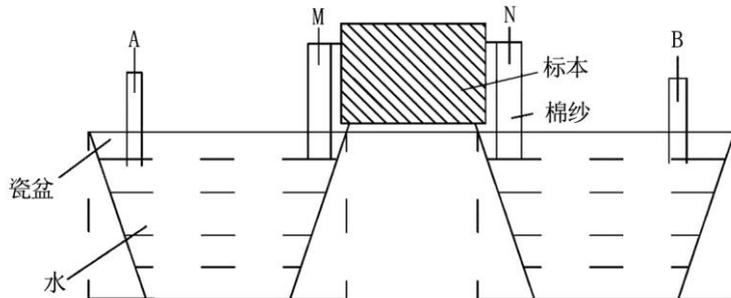


图 B. 2 双盆边架法示意图

B. 2. 1. 3 标本架法

标本架的全貌如图 B. 3 a) 所示，它由两部分组成：一为夹固架，其作用是托起和夹固待测标本；另一部分为不极化电极共有两块，每块中装有供电和测量电极，电极都采用铜棒和饱和硫酸铜溶液，也可皆用铅棒和水（或硫酸铅溶液）。

夹固架多为木制的，其中镶有黄铜螺母，参考尺寸如图 B. 3 b)。不极化电极的构造及参考尺寸如图 B. 3 c)。所用材料一般为有机玻璃或其他绝缘材料；渗透片一般为素陶板，要求渗透性合适。

工作时，不极化电极中应有足量的硫酸铜溶液。夹标本时，标本两端需用潮湿棉纱垫平，以保证接触全面、良好并保护电极，要求标本除与电极接触外与其他部分绝缘，注意防止供电电源及夹固系统漏电。

B. 2. 1. 4 泥（面）团法

用土或面粉团（其中加少许硫酸铜）作接触介质，供电及测量电极插在其中，要求所用土或面粉团的极化率小于 1 %。

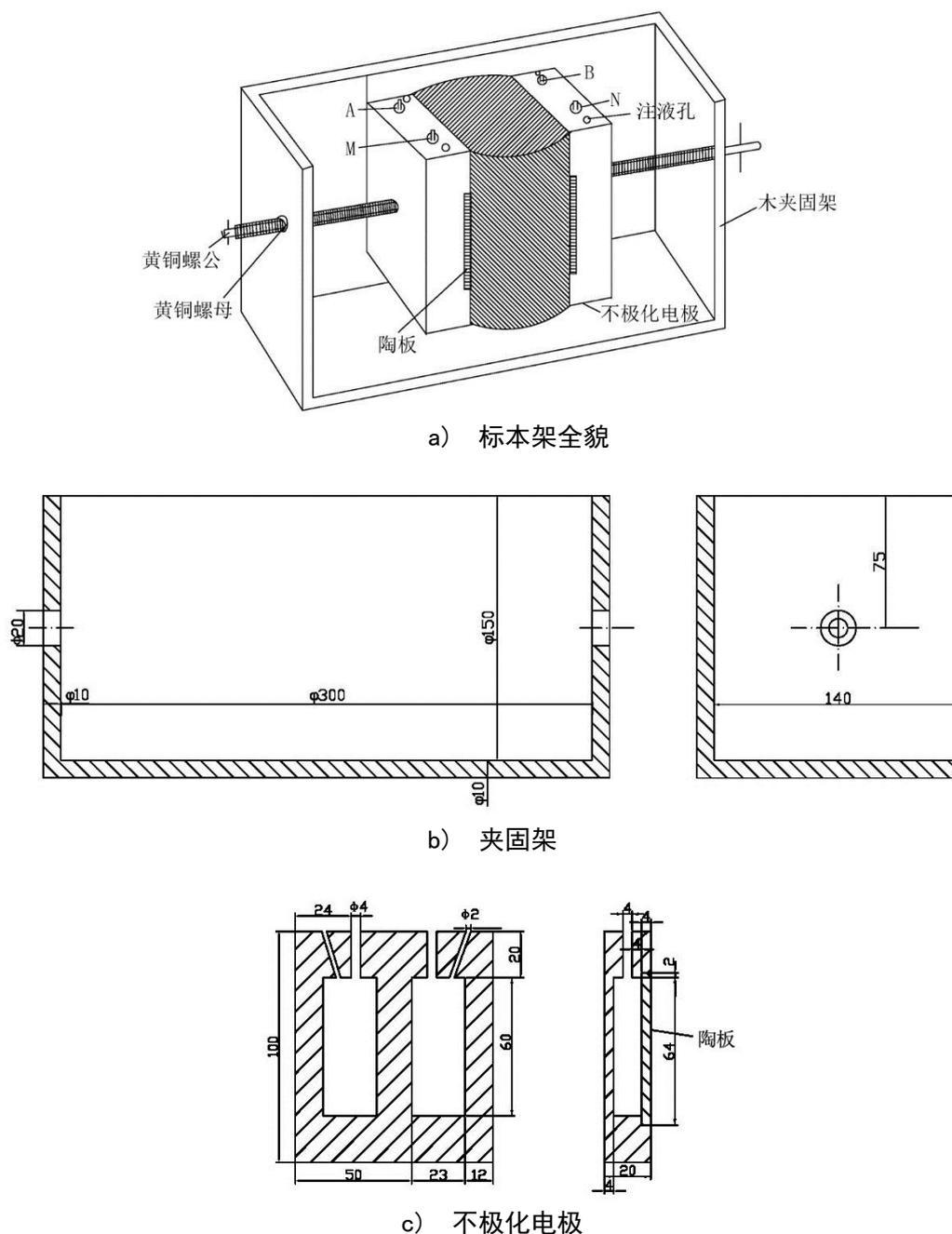


图 B. 3 标本架法示意图

B.2.2 电性参数计算公式

$$\eta = \frac{\Delta U_2}{\Delta U} \times 100 \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$\rho = \frac{s}{L} \cdot \frac{\Delta U - \Delta U_2}{I} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

S ——为接触面积；

L ——为标本厚度。

B.2.3 制备加工

标本应取自新鲜岩（矿）石中，根据选用测量方法和计算公式对标本进行加工，确保水泡后大小合适，形态规整。

B.2.4 测定技术要求

B.2.4.1 浸水时间

标本的浸水时间应有所不同（参见参考文献[4]P274-275 或表 B.1）。标本不能多次浸水，否则导电矿物表层氧化不断加深，标本致密程度也相继降低，标本的极化率和电阻率也随之变化。标本从水中取出后，待表层晾干方可测量。

B.2.4.2 充电时间

通过充电试验确定，取接近饱和值的充电时间，测区内应统一。

B.2.4.3 充电电流密度

以多次观测结果稳定为宜，闪锌矿不大于 $5 \mu A/cm^2$ ，其它，一般不大于 $10 \mu A/cm^2$ （参见参考文献[4]P275）。也可参考表 B.1。

B.2.4.4 其它

对矿化不均匀和各向异性的标本，应改变标本放置方向，作 2~3 个立面的观测记录，非定向标本取几何均值。

为使电流在观测过程中能比较稳定，应采用容量较大的电池作供电电源。

表 B.1 岩（矿）石标本的浸水时间、充电时间和充电电流密度表

岩（矿）石类型	浸水时间 (h)	充电时间 (s)	充电电流密度（参考值） ($\mu A/cm^2$)
致密块状岩石	6~24	近饱和时间 (通过试验选定)	$n \times 10^0 \sim n \times 10^1$
致密浸染状矿化岩石	<6		$n \times 10^0 \sim n \times 10^1$
致密块状矿石 致密石墨矿石	1~2		$n \times 10^0$
疏松状矿（岩）石	几分钟		$n \times 10^1$
坑道标本	采集后及时测量		

B.3 井旁测深

在已知钻孔旁侧进行时间域激电测深，通过测深数据反演结果与钻孔柱状图已知地质资料对比，获取地下岩矿石等目标体的电性参数。

B.4 电测井

利用测区内或相邻地区的钻孔作电阻率和时间域激电测井（特别是“横向测深”），获得钻孔所穿过地层的电性参数。

B.5 数据统计

对露头法、标本法、电测井测定的数据，宜分别统计其测定结果，并在统计表中注明测定条件。

对于大于等于 30 个数据的标本参数，应先判断其数据的分布特点。属于正态分布的，计算其常见值及相关参数。不符合正态分布的，可取其几何均值或算术均值等。

附录 C
(资料性附录)

时间域激发极化法野外记录表参考格式

C.1 时间域激发极化法记录表格式

表A.1 时间域激发极化法野外记录表 (适用于剖面等装置)

工区: _____ 测线方位角: _____ 仪器号: _____ 操作记录: _____ 验收: _____
 电极排列: _____ 接收极距: _____ m 供电波形: 正 _____ s 停 _____ s 负 _____ s 停 _____ s
 延时: _____ ms 首块取样宽度: _____ ms 块数: _____ 叠加次数: _____ 次 日期: _____ 天气: _____
 供电线漏电检查: 开工: _____ MΩ 收工: _____ MΩ 接收线漏电检查: 开工: _____ MΩ 收工: _____ MΩ

序号	线号	电极点位置 (点号)				η_s 应正常衰减		存储号	时间 (时:分)	I (mA)	ρ_s ($\Omega \cdot m$)	备注
		A	B	M	N	ΔU (mV)	η_{s1} (%)					

第__页, 共__页

表A.2 时间域激发极化法中间梯度装置接收机野外记录表

工区: _____ 测线方位角: _____ 仪器号: _____ 操作记录: _____ 验收: _____
 $MN =$ _____ m 测量范围在 AB 中心且 $= AB =$ _____ m 供电波形: 正 _____ s 停 _____ s 负 _____ s 停 _____ s
 延时: _____ ms 首块取样宽度: _____ ms 叠加次数: _____ 次 日期: _____ 天气: _____

序号	排列号 AxBx	线号	接收电极点号		η_s 应正常衰减		存储号	时间 (时:分)	MN 线漏电检查 (MΩ)	备注
			M	N	ΔU (mV)	η_{s1} (%)				

第__页, 共__页

表A.3 时间域激发极化法中间梯度装置发射站野外记录表

工区：_____ 测线距=_____m 方位角=_____ 操作记录：_____ 验收：_____

测量范围在 AB 中心且=_____ AB = _____m 供电波形：正_____s 停_____s 负_____s 停_____s 延时：_____ms

供电站设备（发射机、逆变器、假负载、发电机）对地隔离措施：_____

仪器号（发射机）：_____ 日期：_____ 天气：_____

序号	排列号 AxBx	AB 极 所在 线号	AB 极 距离 (m)	AB 极供电导线敷设情况			供电输出		时 间 (时:分)	备 注
				至测线最 近距(m)	绝缘(MΩ/500V)		电压 (V)	电流 (A)		
					A	B				

第__页，共__页

表A.4 时间域激发极化法多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深装置接收机野外记录表

工区：_____ 测线方位角：_____ 仪器号：_____ 操作记录：_____ 验收：_____

电极排列：_____ 接收偶极距：_____m 供电波形：正_____s 停_____s 负_____s 停_____s

延时：_____ms 首块取样宽度：_____ms 叠加次数：_____次 日期：_____ 天气：_____

序号	线号	各测道电极 (ABMN) 点号				η_s 应正常衰减		存 储 号	时 间 (时:分)	MN 线漏 电检查 (MΩ)	备 注
		A	B	M	N	ΔU (mV)	η_{s1} (%)				

第__页，共__页

表A.5 时间域激发极化法多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深装置发射站野外记录表

工区：_____ 测线方位角：_____ 操作记录：_____ 验收：_____

电极排列：_____ 接收偶极距：_____m 供电波形：正_____s 停_____s 负_____s 停_____s

供电站设备（发射机、逆变器、假负载、发电机）对地隔离措施：_____

仪器号（发射机）：_____ 日期：_____ 天气：_____

序号	AB 电极点号		线号	AB 极供电线绝缘 (MΩ/500V)		供电输出		时间 (时:分)	备注
	A	B		A	B	电压 (V)	电流 (A)		

第__页，共__页

表A.6 时间域激发极化法对称四极测深装置记录表

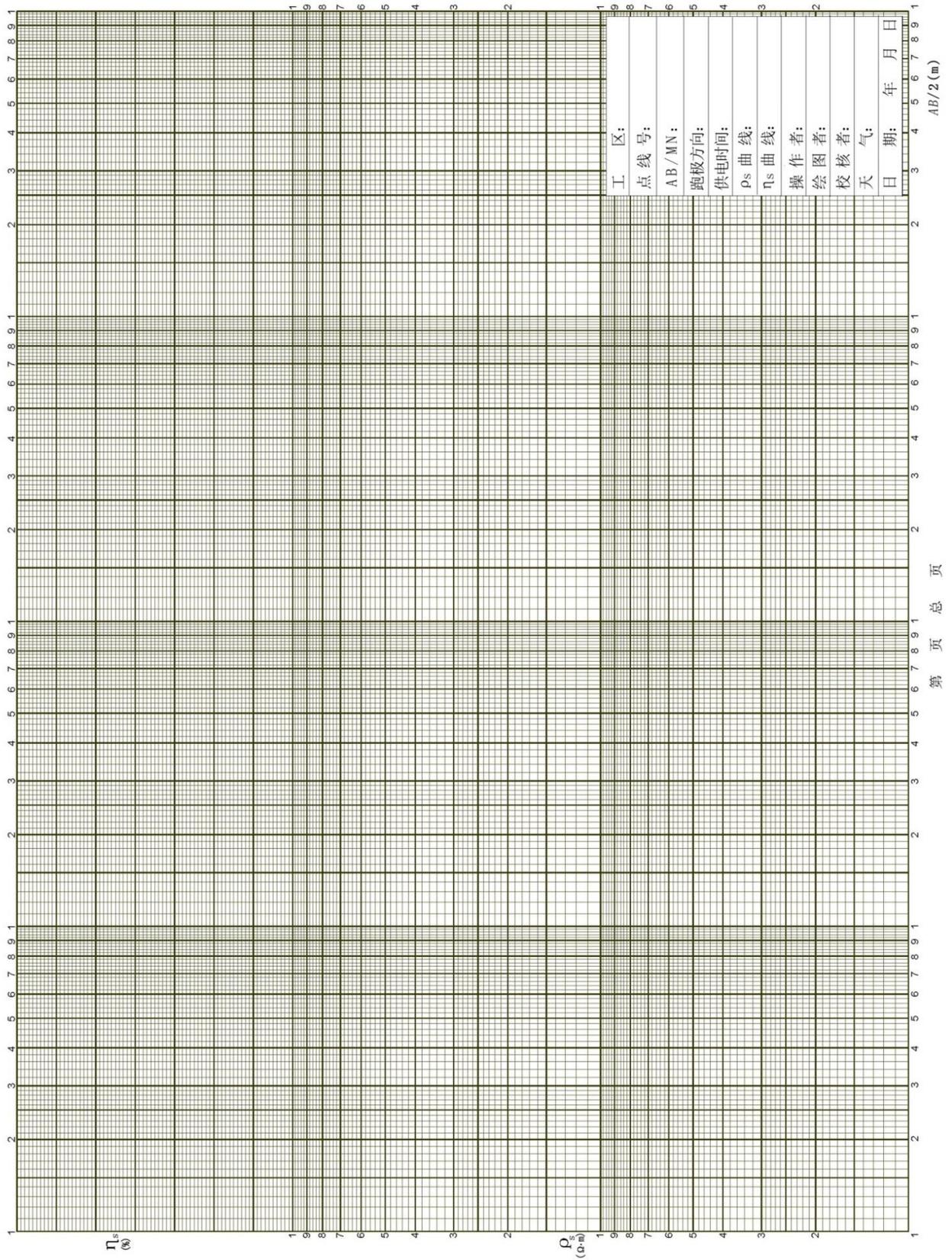
工区：_____ 日期：_____ 天气：_____ 操作记录：_____ 验收：_____

仪器号：_____ 波形：正_____s 停_____s 负_____s 停_____s 延时：_____ms 首块宽度：_____ms 块数：_____ 叠加次数：_____次

测线号：_____ 测线方位：_____ 测深点号：_____ 布极方位：_____ MN 线漏电检查：_____ (MΩ)

序号	AB/2 (m)	MN/2 (m)	电极点位置（点号）				η_s 应正常衰减		AB 线漏 电检查 (MΩ)	I (mA)	ρ_s (Ω·m)	存 储 号	备注
			A	M	N	B	ΔU (mV)	η_{s1} (%)					

第__页，共__页



图A.2 双-单对数坐标纸

表A.7 时间域激发极化法对称四极测深装置记录表(激电找水测深)

工区: _____ 日期: _____ 天气: _____ 操作记录: _____ 验收: _____
 仪器号: _____ 波形: 正___s 停___s 负___s 停___s 延时: ___ms 首块宽度: ___ms 块数: ___ 叠加次数: ___次
 测线号: _____ 测线方位: ___ 测深点号: _____ 布极方位: ___ MN线漏电检查: _____ (MΩ)

序号	AB/2 (m)	MN/2 (m)	电极点位置(点号)				η_s 应正常衰减		半衰时 St (ms)	偏离度 r (%)	AB线 漏电检查 (MΩ)	I (mA)	ρ_s (Ω·m)	存储号	备注
			A	M	N	B	ΔU (mV)	η_{s1} (%)							

第__页, 共__页

C.2 电性参数测定记录表格式

表A.8 岩(矿)石标本极化率和电阻率参数测定记录表

工区_____ 测定方式: _____ 仪器号_____ 日期_____ 天气_____
 波形: 正___s 停___s 负___s 停___s 延时: ___ms 首块宽度: ___ms 块数: ___ 叠加次数: ___次

顺序号	标本号	岩(矿)石 名称	采样坐标		标本 放置方向	L (mm)	S (mm ²)	I (μA)	ΔU (mV)	ρ (Ω·m)	$\bar{\rho}$ (Ω·m)	η_1 (%)	$\bar{\eta}$ (%)	备注
			X(m)	Y(m)										

采样者_____ 操作者_____ 记录者_____ 复算者_____ 检查者_____

第__页, 共__页

表A.9 露头小四极温纳装置极化率和电阻率参数测定记录

工区：_____ 仪器号：_____ 操作记录：_____ 验收：_____

供电波形：正__s 停__s 负__s 停__s 延时：__ms 首块采样宽度：__ms 块数：__ 叠加次数：__次

极距：__ $AM=MN=NB=a$ 装置系数：__ $K=2\pi a$ 日期：_____ 天气：_____

序号	露头岩(矿)石名称	位置坐标		η_s 应正常衰减		存储号	极距 a (m)	I (mA)	ρ_s ($\Omega \cdot m$)	备注
		X(m)	X(m)	ΔU (mV)	η_{s1} (%)					

第__页，共__页

表A.10 物性点极化率和电阻率参数对称四极测深测定记录

工区：_____ 日期：_____ 天气：_____ 操作记录：_____ 验收：_____

仪器号：__ 波形：正__s 停__s 负__s 停__s 延时：__ms 首块宽度：__ms 块数：__ 叠加次数：__次

测深点号：__ 测深点位置：X=_____ m Y=_____ m H=_____ m

序号	$AB/2$ (m)	$MN/2$ (m)	η_s 应正常衰减		$\bar{\eta}_s$ (%)	I (mA)	ρ_s ($\Omega \cdot m$)	$\bar{\rho}_s$ ($\Omega \cdot m$)	存储号	地质描述	备注
			ΔU (mV)	η_{s1} (%)							

第__页，共__页

附录 D
(资料性附录)

时间域激发极化法原始数据预处理算法与免费软件

D.1 预处理算法

D.1.1 计算公式

D.1.1.1 所有实测视电阻率计算中的装置系数 K 值, 皆采用 K 值通用公式, 见 5.8.1.2 式 (3)。该公式中的电极距 AM 、 AN 、 BM 、 BN 都用对应两电极点的距离公式计算。距离公式中的坐标只用两电极点的实测平面坐标值。

D.1.1.2 所有实测记录点的视电阻率 ρ_s 值由表 1 中第 17 项所列公式计算, 公式中的电位差 ΔU 值和电流 I 值皆来自观测仪器的输出数据文件。

D.1.1.3 所有实测记录点的视极化率 η_s 值为观测仪器实时测量、计算和存储的结果。通常按二次场电位差衰减曲线 $\Delta U_2(t)$ 顺序同时测出多个视极化率值 $\eta_s(t)$ (或表示为: η_{s1} , η_{s2} , η_{s3} , ……), 位于观测仪器的输出数据文件中。

D.1.1.4 所有实测记录点的剖面点号、平面坐标和高程值分别由接收电极 (M、N) 点的剖面点号、平面坐标与高程值来计算。

D.1.1.5 记录点的地面高程是其前后 (或其左右) 最近距离的两个实测电极点的高程值的算术均值; 位于接收电极 (M、N) 中间的记录点, 其地面高程是电极 (M、N) 点的高程值的算术均值。

D.1.2 数据结构

D.1.2.1 所有输入、输出数据文件宜是 ASCII 码文本型文件。

D.1.2.2 输入文件有三种: 电法仪器采集的数据文件、电极点点号坐标文件和测点数据识别文件。其中, 第一种一般为采集仪器输出的原始数据文件。工作装置不同、仪器不同皆可以有不同形式的文本数据。

D.1.2.3 视电阻率 ρ_s 值计算 (D.1.1.2) 公式中的电位差 ΔU 数据和电流 I 数据通过日期时间来进行同步配对。

D.1.2.4 同点多次观测数据的识别与采集现场备注信息的传递由测点数据识别文件来协助。

D.1.2.5 据工作目的和工作装置的要求, 按查阅、存档、绘图、数据处理和反演等后续工作的方便, 组织预处理结果以多种排列格式的文本型数据文件输出, 输出列表中根据需要可包含采集现场的备注信息。

D.1.2.6 针对同类工作装置, 既可按天或按测线先进行局部处理输出局部结果, 后期将局部结果拼接成整体结果; 也能按整条剖面或整个工区 (面积) 进行一次性处理输出整体结果。

D.2 免费软件

D.2.1 使用上述 (D.1) 算法, 专门为本标准开发了时间域激发极化法原始数据预处理免费软件。经应用检验: 该软件计算正确使用方便快捷, 操作提示遇错警示等交互信息完备, 可作为实用可靠的免费工具软件供选用。

D.2.2 本软件建立在 Windows 平台上, 有友好的用户界面、五个功能模块和详细的功能介绍与使用说明文档。

D. 2.3 本软件的五个功能模块如下：

- a) 中间梯度装置原始数据计算整理；
- b) 多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深原始数据计算整理；
- c) 多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深数据文件合并转换；
- d) 对称四极测深剖面电极点点号及坐标计算；
- e) 对称四极测深剖面原始数据计算整理。

附录 E (资料性附录)

电阻率和极化率观测数据处理解释代表性软件简介

E.1 国内主要电阻率和极化率反演软件简介

基于Windows平台、可视化、实用、高效的软件系统已成为国内外电法软件的主流。目前，国内开发了一些电法软件，并已投入实际数据处理应用中。不作为任何使用性推荐与暗示，仅用来介绍性举例的代表性软件如下：

- a) GeoElectro 电法数据处理系统
包括一个单独的时间域激电测深法子系统，主要功能包括对视电阻率/视极化率数据进行一维和二维电阻率/极化率反演（参见参考文献[5]）。
- b) 电阻率/极化率二维正、反演软件
针对时间域电阻率/激电法开发的电法数据处理系统（参见参考文献[6]）。
- c) 非等距偶极-偶极装置视电阻率/视极化率数据的 2.5 维带地形反演软件
适用于非规则极距的观测装置，如多道偶极-偶极（单极-偶极）断面测深等断面测深装置（参见参考文献[7]）。
- d) 高密度电阻率法 2.5 维反演软件
可以对基于高密度观测装置的视电阻率/视极化率数据进行二维自动反演（参见参考文献[7]）。
- e) 电法工作站 WEM2.5
包括了时间域电阻率/激电法、MT、CSAMT、MTEM 和幅相激电法 5 个子系统。其中，激发极化法子系统主要功能包括基于层状介质和连续介质的一维反演，二维人机交互反演以及基于高密度观测装置的二维自动反演（参见参考文献[8]、[9]）。

时间域激发极化法工作者可自行选择使用任何正确且适用的数据处理解释软件。

E.2 国内电阻率、极化率的二维圆滑反演程序的特点

该类程序有如下特点：

- a) 考虑到大多情况下，岩石中矿物的组成、湿度、温度等是连续变化的，岩石的电导率和极化率参数也是连续变化的，程序中将网格单元中的电阻率和极化率参数均匀的假设修改为连续变化，使其更符合实际情况；
- b) 在二维有限元计算中，采用三角单元，使其能适用于各种地形，实测数据反演前不需要进行地形改正；
- c) 在目标函数中加入“最小构造模型”及背景场等先验信息，使反演结果更接近实际情况；
- d) 在最小二乘反演中，采用电位函数与模型参数的简单关系来计算偏导数，大大减少了 Jacobian 矩阵的计算工作量；
- e) 程序适用于二极、三极、联合剖面、对称四极和偶极-偶极等多种装置形式。

附录 F

(资料性附录)

多道轴向偶极-偶极(单极-偶极)拟断面窗口测深技术

F.1 多道轴向偶极-偶极拟断面窗口测深设计

设计应考虑以下要点:

- a) 将勘查目标放在多道偶极-偶极测深拟断面窗口的中上部如图 F.1 或图 F.2;

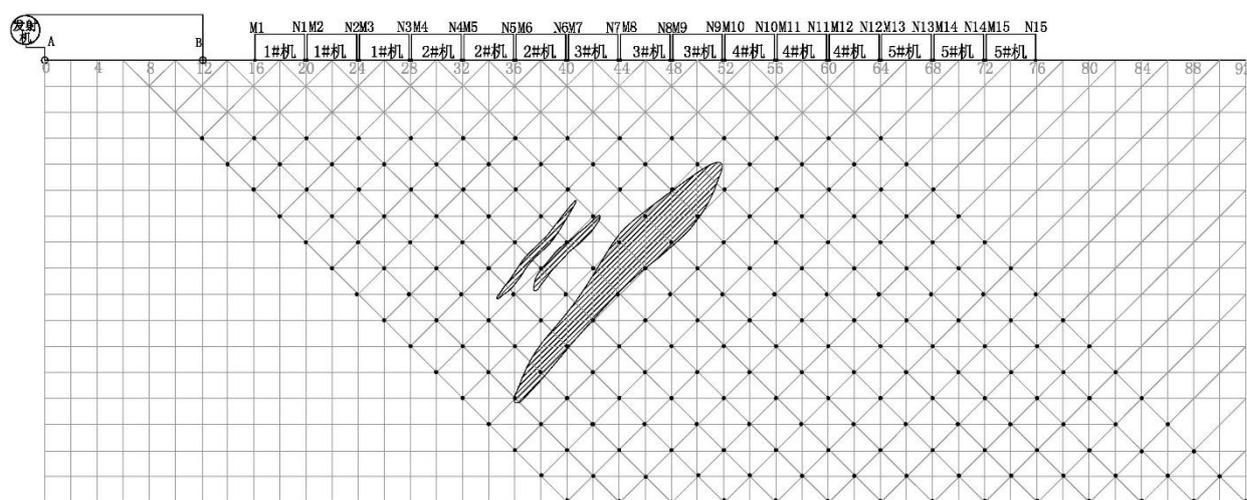


图 F.1 15 道轴向偶极-偶极拟断面窗口测深布极图 (ABMN 方向)

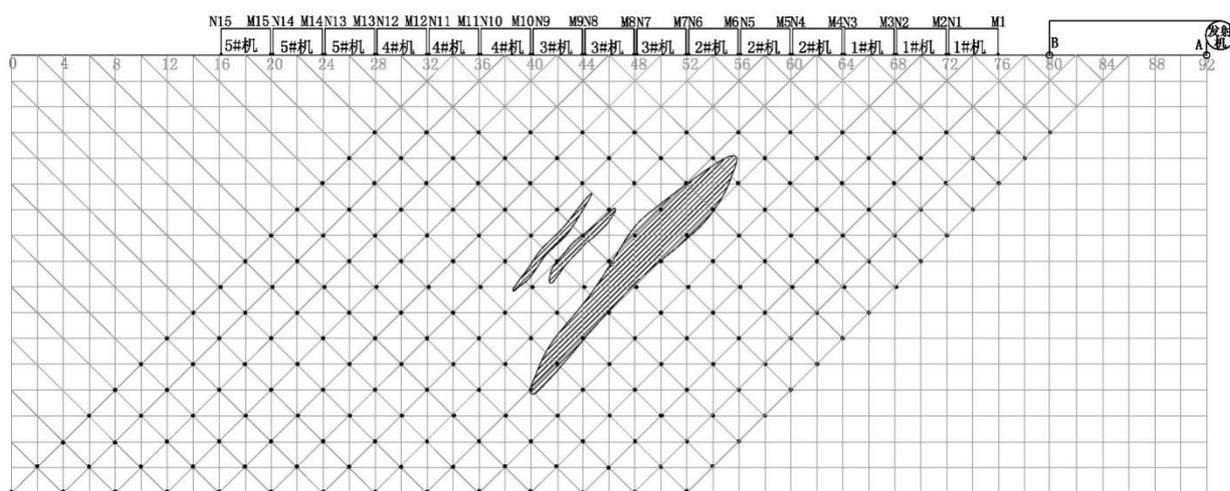


图 F.2 15 道轴向偶极-偶极拟断面窗口测深布极图 (NMBA 方向)

- b) 通过试验确定提高所需深部道讯号的办法,如增大 I 、增大 AB 距或增大深部道的 MN 距(可在野外现场试验后调整);
- c) 与设计相关的其它内容参见本标准第 5 章的要求;

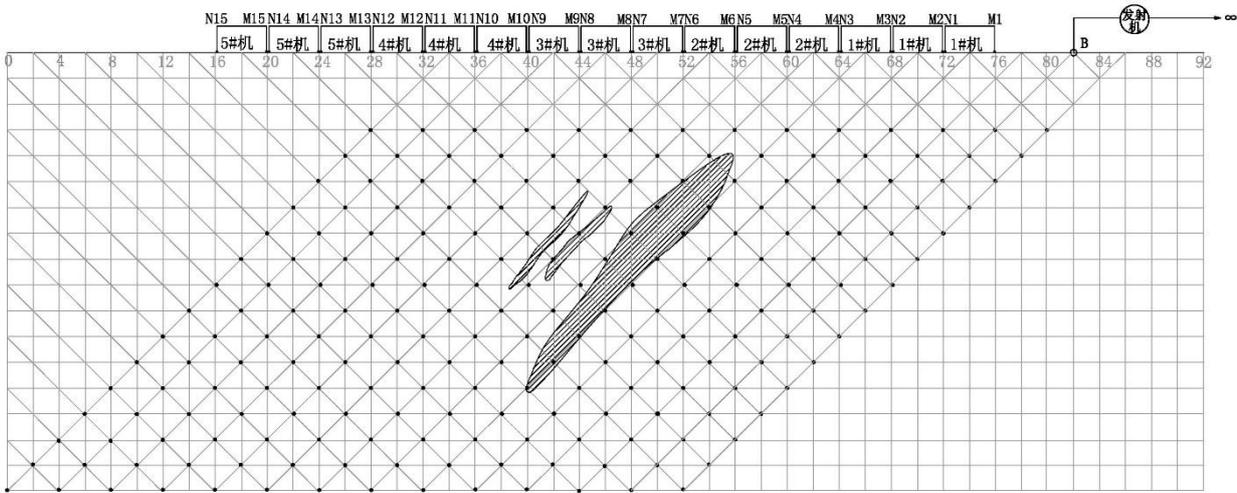


图 F.5 15 道轴向单极-偶极拟断面窗口测深布极图 (NMBA ∞ 方向)

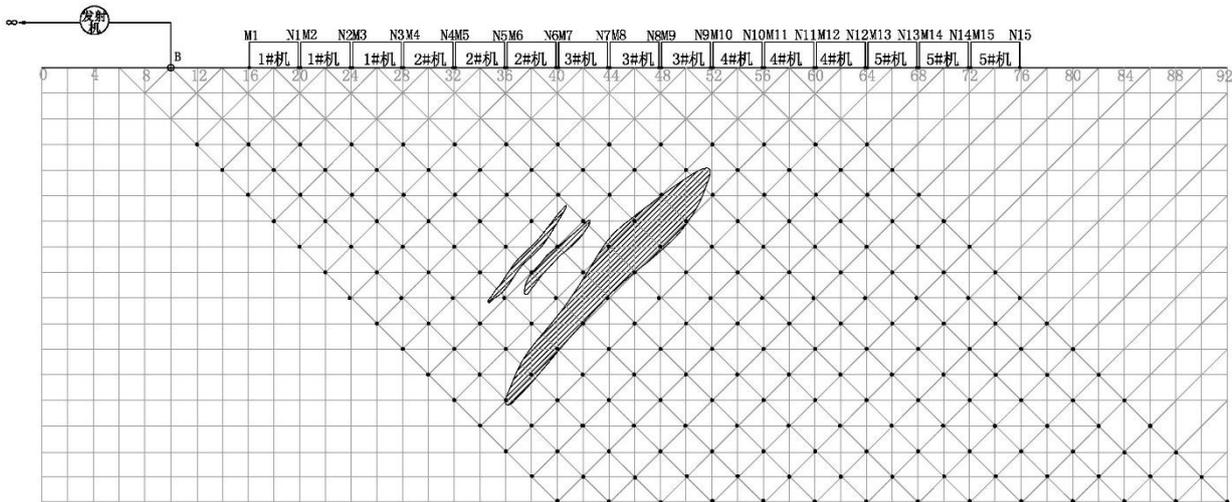


图 F.6 15 道轴向单极-偶极拟断面窗口测深布极图 (∞ ABMN 方向)

F.5 多道轴向单极-偶极拟断面窗口测深数据采集

采集施工除按本标准第 7 章的要求外，还应做到以下几点：

- a) AB 供电导线与 MN 测量导线不能交叉，平行时二者相距应不小于 2 倍 MN 距；
- b) 宜按图 F.7 或图 F.8 现场点绘极化率参数拟断面草图，以便监控现场采集质量；
- c) 当图中发现某道 η_{s1} 值突变时，要现场检查并重测之（见 7.3.1.3）；
- d) 当图中的 η_{s1} 异常区未测全时，应增加排列工作量予以追索控制。

- b) 一般用拟断面图做定性解释；
- c) 一般用带地形的 2.5D 反演软件做 2D 断面反演(参见附录 E)。
- d) 其它参见本标准第 9 章的规定。

参 考 文 献

- [1] 孔广胜、赵经祥、于德武、刘国辉、王俊茹、候胜利。地球物理勘查术语。中国地质调查局，2013，P23（5.2.4.2、5.2.4.2.2），P21（5.1.13、5.1.14、5.1.18）。
- [2] 李金铭。激电找水新参数——偏离度[J]。勘察科学技术，1993，6，52—56。
- [3] 郭友钊、林天亮、李磊。DD2006—03 岩石物性调查技术规程。中国地质调查局，2006，P3（5.6）。
- [4] 傅良魁主编。激发极化法。北京，地质出版社，1982，P293-294，P274-275，P275。
- [5] 翁爱华，刘国兴。垂向电测深交互反演软件设计[J]。地质与勘探，2001，3，62—63。
- [6] 阮百尧，村上裕，徐世浙。电阻率/激发极化率数据的二维反演程序[J]。物探化探计算技术，1999，5，116—125。
- [7] 罗延钟。高密度电阻率法的2.5维反演软件。物探化探计算技术，2006，8，187—193。
- [8] 吴文鹏。电法勘探工作站软件系统简介[J]。地质与勘探，2003，10，147—151。
- [9] 顾观文，吴文鹏，高艳芳。电阻率/激电测深二维人机交互正演模拟[J]。物探化探计算技术，2007，10，89—93。
-