

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0072—XXXX
代替 DZ/T 0072-93

电阻率测深法技术规范

Technical specifications for resistivity sounding

报批稿

201X - XX - XX 发布

201X - XX - XX 实施

中华人民共和国自然资源部

发布

目 次

目 次	I
前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、符号和计量单位	1
3.1 术语和定义	1
3.2 符号和计量单位	1
4 总则	2
4.1 应用范围	2
4.2 应用条件	2
5 技术设计	3
5.1 资料收集和分析	3
5.2 现场踏勘	3
5.3 方法有效性、可行性试验	3
5.4 测区及测网	4
5.5 工作精度	5
5.6 测地工作	5
5.7 装置	5
5.8 电阻率参数测定和模拟试验	7
5.9 设计书编写与审查	8
6 仪器设备	8
6.1 仪器的主要技术指标	8
6.2 设备的主要技术性能及指标	9
6.3 仪器设备使用和维护	9
7 野外工作	10
7.1 工作准备	10
7.2 设站、敷线、布极	11
7.3 生产观测	13
7.4 观测记录	14
7.5 原始资料日验收	15
7.6 观测结果整理	15
7.7 电阻率参数测定	15
7.8 安全保障措施	15
7.9 质量检查与评价	16
7.10 野外资料验收	17
8 图件编绘	18

8.1	要求	18
8.2	主要成果图件	18
9	异常解释推断	20
9.1	目的与原则	20
9.2	解释准备	20
9.3	定性解释	21
9.4	定量解释	21
9.5	综合解释	21
9.6	异常验证及再解释	21
10	成果报告编写	22
10.1	要求	22
10.2	内容	22
10.3	资料提交	22
附录 A	(资料性附录) 电阻率测深法的常用装置形式	23
附录 B	(规范性附录) 电阻率参数测定	27
附录 C	(资料性附录) 设计书的主要内容	32
附录 D	(资料性附录) 电阻率测深法野外记录表	34
附录 E	(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	38
附录 F	(资料性附录) 成果报告的主要内容	43
	参考文献	46

前 言

本标准按 GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》和 DZ/T 0195-1997《物探化探遥感勘查技术规程规范编写规定》给出的规则与要求起草。

本标准代替 DZ/T 0072-93《电阻率测深法技术规程》，与 DZ/T 0072-93 相比，除编辑性修改外，主要技术内容变化如下：

- 增加了术语和定义、符号和计量单位（见 3）、抗干扰观测取数方法（见 7.3.2）、装置系数 K 值的严格计算方法（见 5.7.2）、异常解释推断（见 9）等内容；
- 调整了仪器设备的性能指标（见 6.1）；提出了仪器测量电位差的新方式与指标（见 6.1.8）；补充了低频类电法仪开展电阻率测深法工作，但限制其工作频率不高于 0.1Hz（见 6.1.1）；
- 补充细化了测深装置、电极距及电极排列方向的选择原则与技术要求（见 5.7）；明确了针对不同勘查目标使用适用装置的专属条款；
- 提高了质量检查要求（见 7.9）；
- 修改完善了观测记录（见 7.4）及附录 D；
- 增补了附录 B（电阻率参数测定）；附录 E（多道轴向偶极-偶极（单极-偶极）拟断面窗口测深技术）。
- 原附录 A 和 B，其内容补充修订后分别调整为附录 C 和 F；

本标准由中华人民共和国自然资源部提出。

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、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。

本标准代替了 DZ/T 0072—93 。

DZ/T 0072—93 的历次版本发布情况为：

- DZ/T 0072—93。

电阻率测深法技术规范

1 范围

本标准规定了电阻率测深法技术设计、仪器设备、野外工作、图件编制、解释推断、报告编写的要求与技术规则。

本标准适用于矿产资源、能源、水文、工程、环境、灾害地质勘查等领域的电阻率测深工作。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的，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

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标准。其中 3.1.1、3.1.2 是《地球物理勘查术语》界定的，为了便于使用在此重复列出。

3.1.1

电阻率测深法 resistivity sounding

采用几何测深观测方式，研究地下介质电阻率垂向变化的电阻率法。

3.1.2

二维半模型 two and a half dimensional model

地下介质电性呈二维分布，场源为三维的地球物理模型。

3.1.3

电极隔离系数 electrode spacing factor

轴向偶极—偶极（或单极—偶极）装置中，电极排列轴线上最靠近供电道的接收电极和最靠近接收道的供电电极之间隔距离与接收道偶极距之比。

3.2 符号和计量单位

本标准采用的技术符号和计量单位见表 1。

表 1 符号和计量单位

编号	符号	物理含义	计量单位符号	来源
1	ρ	电阻率	$\Omega \cdot m$	GB/T 14499
2	K	装置系数	m	
3	ΔU	电位差	mV	

表 1 符号和计量单位 (续)

编号	符号	物理含义	计量单位符号	来源
4	MN	测量电极距	m	GB/T 14499
5	AB	供电电极距	m	
6	a	偶极距	m	
7	I	供电电流	mA	本标准
8	O	AB 电极中点		
9	O'	MN 电极中点		
10	OO'	OO' 距	m	
11	AO	AO 距	m	
12	BO	BO 距	m	
13	AM	AM 距	m	
14	AN	AN 距	m	
15	BM	BM 距	m	
16	BN	BN 距	m	
17	ρ_s	视电阻率	$\Omega \cdot m$	
18	n	电极隔离系数	无量纲	
19	m	均方相对误差	%	
20	ε	仪器一致性均方相对误差	%	

4 总则

4.1 应用范围

电阻率测深法主要用在下列勘查工作中：

- 划分地层，探测基岩起伏面、岩浆岩和构造等；
- 圈定矿化体（或矿化地层）、蚀变带等；
- 寻找地下水、砂砾岩含水层、高矿化度水体等；
- 探测溶洞、滑坡体、泥石流堆积体、金属埋设物、污染体及渗漏源等。

4.2 应用条件

4.2.1 开展电阻率测深法应具备以下工作条件：

- 目标体与围岩之间存在较明显的电阻率差异；
- 目标体有一定的规模和合适的埋深，在地表能实测到其可靠异常；
- 目标体异常能从干扰背景中分辨；
- 具备必要的地形条件和接地条件。

4.2.2 不宜开展电阻率测深法工作的情况如下：

- 接地严重困难，弃点、废点过多；
- 地电断面中存在强烈的电性屏蔽层；
- 存在无法压制的工业游散电流等电噪音干扰；
- 地形切割剧烈或水系发育等。

5 技术设计

5.1 资料收集和分析

5.1.1 在设计工作前，需要收集以下资料：

- a) 测区、邻区和地质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。

5.1.2 分析收集到的资料并作出如下判断：

- a) 从探测目标体与围岩的电阻率差异、实际探测深度和干扰体识别等方面判断方法有效性是否明确；
- b) 从测区测线施工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。

5.2 现场踏勘

5.2.1 踏勘原则

方法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。

5.2.2 踏勘内容

现场踏勘宜包括以下内容：

- 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) 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或可行的调整方案；
- e) 实测测区的人文电噪音水平与特点；
- f) 了解在测区开展勘查活动时的人文环境与地方性法规等。

5.2.3 踏勘分析

踏勘后，结合收集到的资料进行分析，按下列要求执行：

- a) 方法有效性和可行性基本具备，可转入设计编写阶段；
- b) 方法有效性存疑时，应开展专门的方法有效性试验；
- c) 当目标体与围岩电阻率差异不明显，或实际探测深度达不到要求或因人文干扰、通行条件导致数据采集工作不可行时，不宜开展此项工作。

5.3 方法有效性、可行性试验

5.3.1 方法有效性和可行性已明确的测区，可不开展本试验。

5.3.2 试验选区应包括已知目标体和地质干扰体、人文干扰源和表层低阻区等具有代表性的地段。试验的主要内容含已知目标体的异常特征；电噪音干扰强度、特点；AB 供电导线和 MN 接收导线需拉开的距离以及合理的测量参数等。

5.3.3 试验可采用剖面形式或单测深点形式。试验剖面两端应进入围岩区，单测深点形式的测点数不宜少于 3 个，且应包含有异常点和围岩背景点。

5.3.4 在电噪音干扰区试验过程中，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送功率、改变装置类型或参数、更换多周期叠加或单周期无叠加采集观测方式等抗干扰技术措施，进行重新试验，选择有效抗干扰措施。

5.3.5 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。

5.3.6 若电阻率物性情况已知，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。

5.3.7 当电阻率情况不明，测区及其周边附近没有已知目标体，如仍需坚持开展电阻率测深法工作的，只进行可行性试验。

5.4 测区及测网

5.4.1 测区范围

5.4.1.1 测区范围应依据工作任务及测区的地质条件确定，范围应包括目标体的异常分布区域，且适当扩延至背景区，以能较完整地反映异常为原则。如施工过程中发现设计范围内的异常不封闭，可申请外扩测区范围。

5.4.1.2 当相邻区域曾进行过电阻率测深工作，应使一部分拟设计的测深点与已知测深点重合。

5.4.1.3 确定测区应考虑地形、地貌，并兼顾施工方便，力求资料完整和测区形态规整。

5.4.1.4 线路工程勘察中的测区范围宜为线路里程段。

5.4.2 测线方向

5.4.2.1 测线应垂直于探测目标体走向且宜与勘探线重合；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，必要时也可分段控制。

5.4.2.2 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。

5.4.2.3 为了解目标体沿走向的断面电阻率特征时，测线可沿目标体走向布线。

5.4.2.4 线路工程勘察中的测线多沿线路布线，测线方向与线路一致。

5.4.2.5 在施工过程中，当发现测线方向不合适时可申请调整设计。

5.4.3 工作比例尺与测网密度

5.4.3.1 工作比例尺与测网密度，应根据测区地电断面的复杂程度与工作任务，按照既能满足地质任务，又经济合理的原则进行设计，具体要求如下：

- a) 测网密度应与工作比例尺相适应，测线距在工作比例尺图上为 1 cm 时，测点距为测线距的 1~1/2 倍；根据需要也可加密至测线距的 1/5 倍；
- b) 剖面性工作测点密度应保证最小的目标体的异常至少在三个相邻测深点上有清晰地反映。

5.4.3.2 面积性电阻率测深工作的常用比例尺和测网密度列于表 2。

表 2 面积性电阻率测深工作常用比例尺和测网密度表

比例尺	线距 (m)	点距(m)	非规则网控制测点数 (个/km ²)
1 : 100000	1000	200~1000	1~5
1 : 50000	500	100~500	4~20
1 : 25000	250	50~250	16~80
1 : 10000	100	20~100	100~500
1 : 5000	50	10~50	400~2000
1 : 2000	20	4~20	2500~12500
1 : 1000	10	2~10	10000~50000

5.4.3.3 测网点、线号宜按自西向东、自南向北增大的顺序编排。

5.5 工作精度

5.5.1 工作精度以均方相对误差来衡量，分级列于表3。视电阻率 ρ_s 的均方相对误差 m 是由一组生产观测值和之后不同日期、不同人的系统质量检查观测（测深装置全部重新布置）值计算获得的。

表3 视电阻率 ρ_s 设计精度表

精度级别	均方相对误差 m (%)
I	±3.0
II	±5.0
III	±10.0

5.5.2 表3中规定的指标原则上适用于所有种类的电阻率测深法。应依据不同测区、不同勘查对象、不同目的要求、不同地形地电条件及不同干扰水平合理选取设计精度。

5.6 测地工作

5.6.1 电阻率测深的测地工作精度要求见表4；若按实际坐标用通用公式计算 K 值（见5.7.2）时，表4中方向偏角3个级别的精度要求可对应放宽至5°、8°、15°。

5.6.2 测地野外工作方法技术的其它相关要求执行 DZ / T 0153 《物化探工程测量规范》

表4 测地工作精度表

工作 比例尺	测 点		电 极 距						
	点位中误差 (m)		高程中误差(m)	电极距均方相对误差			各电极相对布极方向偏角		
	面积性 工作	剖面性 工作		I级 精度	II级 精度	III级 精度	I级 精度	II级 精度	III级 精度
1:100000	20	点距的 1/10	目标体顶埋深≤50 m 时 高程中误差≤1 m; 50 m<目标体顶埋深<100 m 时 高程中误差≤其顶埋深的 10%; 目标体顶埋深≥100 m 时 高程中误差≤20 m	±1 %	±2 %	±3 %	3°	5°	10°
1:50000									
1:25000									
1:10000									
1:5000									
1:2000									
1:1000	0.5								

5.7 装置

5.7.1 常用装置形式

常用装置形式有对称四极、单侧三极、三极联合、轴向偶极、赤道偶极装置（见附录A）。观测方式有逐点进行的全极距测深和按排列进行的窗口测深（见附录E）两种，本文件中无专门说明时指前者。

5.7.2 装置系数 K 值通用公式与应用要求

所有装置形式的 K 值通用公式:

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

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。(1) 式计算 K 值公式适用于半空间条件下电阻率测深法工作。

5.7.3 装置选择的原则

根据勘查任务、目标体形态特征、地电条件、场地范围、地形情况、纵横向分辨力要求和干扰情况等因素合理选择, 应满足以下要求:

- a) 在探测缓倾斜层状目标体时, 宜选用对称四极或赤道偶极装置;
- b) 在探测局部目标体(二维、三维目标体)时, 宜在单侧三极、三极联合、轴向偶极等装置中选择; 若异常体的产状未知或多变, 宜采用三极联合装置。

5.7.4 电极距选择

5.7.4.1 电极距选择的原则

测深装置的电极距选择, 应遵循下列原则:

- a) 应完整控制探测目标, 最小电极距可获得被测目标顶部以浅的围岩信息, 最大电极距能探测到被测目标底部以深的围岩信息;
- b) 所选电极距系列的间隔应合理, 对应目标探测深度区间应有足够多的电极距;
- c) 每个电极距应能观测到足够大的有效信号。

5.7.4.2 对称四极(三极)测深电极距选择

5.7.4.2.1 最小供电电极距应能保证电阻率测深曲线有明显的前支渐近线; 最大供电电极距应能获得完整的电阻率测深曲线以满足解释推断之需; 最大供电电极距 $AB/2$ (AO) 宜大于目标体底板埋深的三倍以上。

5.7.4.2.2 选用的电极距大小和数量, 应确保获得完整的电阻率测深曲线。勘查缓倾斜层状介质(或其中的其它目标体)时, 应满足以下要求:

- a) 曲线前支以能追索出第一层渐近线为宜;
- b) 当以“无穷大”电阻率值的电性层为底部电性标志层时, 在反映该电性标志层呈 45° 上升的曲线尾支渐近线上应有 3 个电极距的 ρ_s 值;
- c) 当以有限电阻率值电性层为底部标志层时, 测深曲线尾支应获得明显的渐近线, 或反映该电性标志层上升(或下降)的拐点之后应有三个电极距的 ρ_s 值。

5.7.4.2.3 单侧三极或三极联合测深中的“无穷远极” B_∞ 宜位于 MN 的中垂线上, 无穷远极 B_∞ 到测点的距离应大于最大供电电极距 AO (或 $A'O$) (见图 A.3) 的 5 倍以上; 不能垂直布设时, 应增大无穷远极 B_∞ 到测点的距离至不小于 10 倍 AO (或 $A'O$)。

5.7.4.2.4 供电电极距 $AB/2$ (AO) 有对数和算术两类供选, 具体如下:

- a) 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。

示例 1:

$AB/2=1.5\text{m}, 2.5\text{m}, 4.0\text{m}, 6.5\text{m}, 9\text{m}, 15\text{m}, 25\text{m}, 40\text{m}, 65\text{m}, 90\text{m}, 150\text{m}, 250\text{m}, 400\text{m}, 650\text{m}, 900\text{m}, 1500\text{m}, 2500\text{m}, 4000\text{m}, \dots\dots;$

示例 2:

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

b) 算术间隔可细分为高密度模式和密极距模式:

1) 高密度模式是点距和极距都严格按算术等间隔排列。小间隔极距宜用于浅部工程勘察。

示例:

$AB/2=5m, 10m, 15m, 20m, 25m, 30m, 35m, 40m, 45m, 50m, \dots, (5n), \dots$;

2) 密极距模式是极距大致按算术等间隔均匀分布,同时兼顾野外施工的方便。宜浅部密,深部略稀。

示例:

$AB/2=1.5m, 2m, 3m, 5m, 7m, 10m, 15m, 20m, 25m, 30m, 50m, 70m, 90m, 110m, 130m, 150m, 170m, 200m, 250m, 300m, 350m, 400m, 450m, 500m, 600m, 700m, 800m, 1000m, 1200m, 1400m, 1600m, 1800m, 2000m, \dots$;

5.7.4.2.5 测量电极距 MN 的大小应根据以下三种情况确定:

- 非等比装置的 MN 距在 $(1/3 \sim 1/30)AB$ 范围内选择,在更换 MN 距时,应在测深曲线接头处重复两个观测极距;
- 等比装置的 MN 距与 AB 之比保持为固定值,在 $1/3 \sim 1/10$ 范围内选择;
- 在探测深度不大的密极距测深时, MN 距宜固定为一个值始终不变。

5.7.4.3 多道轴向偶极—偶极(单极—偶极)拟断面窗口测深观测方式的电极距选择偶极距选择除参考附录 E 外,还应满足以下要求:

- 分辨力为 0.5 倍偶极距;
- 对于偶极—偶极测深,探测深度不大于 $0.5 \times OO'$,偶极距宜按不小于 $0.5 \times OO'$ 设计;对于单极—偶极测深,探测深度不大于 $0.5 \times BO'$,偶极距宜按不小于 $0.5 \times BO$ 设计;
- 宜将勘查目标设计在拟断面窗口的中上部(见附录 E);
- 增大 AB 距、提高供电电流、或增大深部道的 MN 距皆对提高深部道信号幅度有益。

5.7.5 电极排列方向选择

5.7.5.1 电极排列方向应满足下列要求:

- 测深点的电极排列方向应大体相同;
- 宜与电测深剖面方向一致;
- 探测电阻率各向异性时,应设计一定数量的十字电阻率测深点。
- 探测倾斜或垂直分界面时,可布成平行与垂直于界面两个方向;

5.7.5.2 线路工程勘察中,电极排列方向宜与线路一致。

5.7.5.3 需做二维半反演解释的测深剖面方向应垂直于目标体走向,且电极排列的布极方向应与剖面方向一致。

5.8 电阻率参数测定和模拟试验

5.8.1 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。

5.8.2 电阻率参数 ρ 测定应覆盖测区内主要地层、岩性和探测目标体的岩性。

5.8.3 电阻率参数测定方法包括露头(基岩露头、矿洞露头)法、标本法、电测井和井旁测深法。测定方法参照附录 B。

5.8.4 电阻率参数测定方法按以下原则选择:

- 测区内露头测定能满足 5.8.2 的要求时,选用露头法为主,否则选用标本法为主;
- 选用标本法为主的测区存在露头时,还应选择有代表性的露头进行测定;
- 只要条件具备,应利用电测井或井旁测深方法获得电阻率参数。

5.8.5 同名岩矿石的露头数不宜少于 3 处,标本块数不宜少于 30 块。

5.8.6 同名氧化、蚀变和原生岩矿石不可混在一起进行统计,露头和标本测定结果也应分别统计。

5.8.7 电阻率参数测定的相对误差不大于±20%（见参考文献[2]）。

5.8.8 数值模拟或物理模拟时，其模型电阻率参数应按实测值设计，地电断面模式应符合测区地质规律和模拟相似性原理。

5.9 设计书编写与审查

5.9.1 依据与要求

5.9.1.1 根据任务书或合同书的要求，确定本方法的勘查目标。

5.9.1.2 按本标准 5.1~5.3 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。

5.9.1.3 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，文图并茂。

5.9.2 内容

设计书的主要内容见附录 C

5.9.3 审查与变更

设计书应经任务下达方或委托方组织审查，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 仪器的主要技术指标

6.1.1 电阻率测深仪器可以是时间域电法仪或低频电法仪，但此类低频电法仪工作时选用的频率应低于或等于 0.1Hz。

6.1.2 对于发送机和接收机分离的仪器可采用全球卫星定位系统授时同步，也可采用高精度时钟同步方式，但时钟控制精度不低于 1 ms/10 h。

6.1.3 不实时采集供电电流的发送机稳流精度应高于±2%。

6.1.4 发送机电流测量精度应高于±1%；分辨力不低于 0.1 mA。

6.1.5 仪器应有完善的过流、过压和断电保护电路。

6.1.6 仪器外壳以及人手触及的各旋钮、按钮、开关、接插件等应与仪器内部测量线路绝缘，绝缘电阻应大于 100 MΩ。该绝缘电阻应采用检测电子仪器、设备、电缆等材料绝缘性能的专用仪表检测，如使用标称电压不低于 500V 的兆欧表等专用仪表检测，不可用普通低电池电压万用表检测。本规范以下各条款中涉及的绝缘电阻指标值或漏电检查结果指标值均指采用本条款规定的专用检测仪表检测值。

6.1.7 接收机的性能应稳定，其指标要求见表 5。

表 5 接收机性能指标表

电位测量分辨力 (μV)	电位测量精度(%)		仪器输入阻抗 ($\text{M}\Omega$)	工频抑制 (dB)	自然电位补偿或零 电位校正
	$\leq 3 \text{ mV}$ 时	$> 3 \text{ mV}$ 时			
10	±1	±0.5	≥ 20	≥ 80	自动

6.1.8 时间域电法仪的 ΔU 采集起始时刻及积分宽度能依据实际供电波形调整，积分宽度应是 20 ms 的整数倍，缺省情况下启测时间为供电后 200 ms，积分宽度 100 ms。最小供电脉宽不宜低于 500 ms。

6.1.9 仪器工作温度为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在相对湿度不大于 90% ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$) 情况下能正常工作。

6.1.10 仪器工作电源宜有实时显示功能，电压不足时宜报警提示。

6.2 设备的主要技术性能及指标

6.2.1 供电电源

6.2.1.1 供电电源可选择发电机或电池组，输出功率应满足野外测量要求。

6.2.1.2 用交流发电机作电源时，应配有调压器、整流器和负载平衡器等设备。构成的发送系统要求运转正常稳定。

6.2.1.3 用交流发电机时，构成发送系统的各设备内外电路连接与外壳间以及各设备外壳与大地间的绝缘电阻应分别不小于 $50\text{M}\Omega$ 和 $10\text{M}\Omega$ 。

6.2.1.4 用电池作电源时，要求电池组的无负荷电压与额定电压差不超过 10%。供电时输出电压、电流必须稳定，无明显持续衰减现象，否则必须及时更换。电池箱对地绝缘电阻不小于 $10\text{M}\Omega$ 。

6.2.2 导线和线架

6.2.2.1 导线应为抗拉力强、导电良好、绝缘性高、耐磨损的被复线或探矿线。

6.2.2.2 供电导线电阻应小于 $30\Omega/\text{km}$ ，耐压强度不小于 $1000\text{V}/5\text{A}$ 。

6.2.2.3 供电与测量导线的拉断力不小于 500N 。

6.2.2.4 供电导线对地绝缘电阻每公里不小于 $2\text{M}\Omega$ ，测量导线对地绝缘电阻每公里不小于 $5\text{M}\Omega$ 。

6.2.2.5 线架应轻便坚固，转动灵活，与导线的绝缘性能同导线对地的绝缘电阻。

6.2.3 电极

6.2.3.1 供电电极可采用不锈钢电极、铝板或铁板、可卷起携带的带状薄铜片或带状铜丝编织带等，其规格和数量可根据工区接地条件及供电电流强度选定。

6.2.3.2 测量电极对应同质同规格，常采用铜电极、高碳钢电极或不极化电极。

6.3 仪器设备使用和维护

6.3.1 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 仪器及机电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、防晒晒；野外工作遇突发雷雨时，应及时断开供电和测量线路，防止雷击；工作完毕，应及时把所有开关或旋钮恢复到非工作状态。使用易耗易损普通干电池的应及时取出。

6.3.1.3 仪器设备发生重大故障后，经检修、鉴定并记录在案，方可用于生产。

6.3.2 发送机

6.3.2.1 工作前应先打开低压开关，工作正常后再打开高压开关开始工作；工作完成后应先关闭高压开关，然后再关闭低压开关结束工作。

6.3.2.2 发送机工作时，电流与电压不得超过仪器额定值，宜控制在额定值的 80% 以内。

6.3.2.3 对于具有多个手动电压档的整流电源发送一体机，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值选用，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 发送机在野外工作时仪器底部应放置绝缘胶垫且应在通风、避雨和遮阳处工作。

6.3.3 接收机

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。

6.3.4 导线

避免机械损伤，使用期间应定期检查导线绝缘情况、发现绝缘皮破损应及时修补、更换。长期存放或长途运输前，应将潮湿导线及时晾干。

6.3.5 电源设备

6.3.5.1 用发电机作供电电源时，宜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。

6.3.5.2 整流电源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。在执行换电压档操作前，应首先关闭整流电源的输入交流开关，然后再进行调低或调高电压操作，以免损坏整流电源。输出电流的波纹系数应小于 3 %。

6.3.5.3 各种电源工作时在仪器底部都应放置绝缘胶垫且避免受潮或过热。在夏季高温环境下，电源应尽量置于遮阳通风位置或配备遮阳伞；发电机在严寒季节工作时应采取防冻措施。

6.3.6 电极

金属电极应经常保持表面清洁无锈，用多根棒状电极作供电极时，应用裸导线连接，以保证电极与导线接触良好；不极化电极应按说明书要求保养。

7 野外工作

7.1 工作准备

7.1.1 技术准备

组织学习相关规范和设计，明确职责，必要时进行技术培训。

7.1.2 仪器准备

7.1.2.1 备齐所需仪器、设备、工具及配件等。

7.1.2.2 每工作日开工前应对仪器进行检查，发现问题应停止使用。查明原因或修复后，应进行校验，满足精度要求方可使用。应及时填写仪器档案记录。

7.1.2.3 同一测区使用两台(包括备用)及以上仪器工作时，正式开工前应进行仪器一致性检验，要求如下：

- a) 选在有电性变化的地段对各台仪器进行实测检验，检验量至少包括一个电阻率测深点的所有极距；
- b) 每台仪器在相同条件下往返观测所有极距并计算均方相对误差；
- c) 多台仪器取均方相对误差最小的一台仪器为“标准”，分别计算其它各台仪器与“标准”仪器的均方相对误差 ε_j 。其计算公式为 (2) 式：

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

式中：

Z_{si} ——第 i 个极距其它各台仪器观测数据；

Z'_{si} ——第 i 个极距“标准”仪器观测数据；

n ——参加统计计算的观测极距数；

j ——第 j 台仪器与“标准”仪器的均方相对误差。

- d) 误差合格标准与选用：若某仪器误差 ε_j 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 ε_j 值中最大者；也可以对全部取用仪器的单趟观测数据，按公式 (3) 式计算一致性检验的均方相对误差 ε 值，该误差 ε 值应小于设计精度的三分之二。

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{1}{(s-k)} \sum_{i=1}^s u_i^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

u_i ——某次观测值与该极距各仪器观测值平均数的相对误差， $i = 1, 2, 3, \dots, s$ ；

k ——单趟观测极距数；

s ——总观测次数，等于全部取用仪器在各单趟观测极距上的观测次数之和。

7.1.3 技术试验

7.1.3.1 试验的目的是验证设计技术参数的合理性。

7.1.3.2 试验内容：

- a) 最大电极距；
- b) 供电电极距和测量电极距最佳间隔；
- c) 供电电流范围；
- d) 抗干扰的仪器、脉宽等采集参数、远离干扰源的距离、躲避干扰的采集时段、最小信噪比等抗干扰措施。

7.1.3.3 依据试验结果确定上述技术参数。

7.2 设站、敷线、布极

7.2.1 测站和供电站的设置

7.2.1.1 测站应布置在测深点附近，且仪器、电源应分开放置；电源与测量电极间的距离以施工方便为宜。多道轴向偶极—偶极（单极—偶极）拟断面窗口测深方式的测站（发送系统）宜固定在测深剖面的一端，供电电极对和多道接收系统在另一侧，详见附录 E 中的布极图。

7.2.1.2 测站应尽量远离输电线、变压器、探矿或采矿工程所在地和交通繁忙的道路；尽量避开易漏电、障碍物多及地形差的地段。

7.2.1.3 对测站、供电站、发电机均应采取必要的防漏电、防潮、防雨和防晒的措施。仪器宜放置在绝缘胶垫上，对地绝缘电阻不小于 $5\text{ M}\Omega$ 。

7.2.2 导线敷设

7.2.2.1 供电导线与测量导线应分别固定在测站的绝缘桩上，沿电极排列线方向的两侧向外敷设，两者相隔的距离应保证全测区不会出现明显的电磁耦合现象。多道轴向偶极—偶极（单极—偶极）拟断面窗口测深方式的供电导线由固定的测站向一侧延伸，测量导线为短导线。

7.2.2.2 测量导线宜远离输电线或通讯电缆，当必须通过时，应使导线与之垂直。

7.2.2.3 测量导线宜避免悬空架设。当必须架空时，应将导线拉紧。

7.2.2.4 不宜将导线浸入水中，无法架空只能漫水而过时，应事先向测站报告，并随时进行漏电检查。

7.2.2.5 导线的连接接头应确保牢固和外皮绝缘良好，以免造成漏电。

7.2.2.6 导线通过公路、铁路、村庄时，应架空、埋土或从地下穿过。

7.2.3 供电电极布设

7.2.3.1 供电电极接地点应避免沥青、垃圾堆、炉渣、碎石等高阻地点；在戈壁盐碱滩、冰上或表层土壤冻结地区进行测量时，电极应穿透盐碱壳、冰层、冻土层；在孔隙较大的干燥地段或水泥地上测量时，接地点宜提前浇水以降低接地电阻。

7.2.3.2 供电电极由一根或多根钎状电极组成。使用多根钎状电极组成的电极组时，宜打成垂直于测线方向的一排或几排。无穷远电极组常成圆圈状分布。对于铜制带状电极根据带长挖槽埋设，宜垂直测线挖槽。为降低接地电阻需要埋设多条带状电极时，应采用放射状挖槽埋设。

7.2.3.3 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；
电极组中单根电极与设计供电电极点间的最大距离 d 应满足：
 - 1) 电极组垂直布极方向排列时， d 不大于 $AB/2$ 的 $1/10$ ；
 - 2) 电极组顺布极方向排列时， d 不大于 $AB/2$ 的 $1/20$ 。
 - 3) 电极组环形排列时， d 不大于 $AB/2$ 的 $1/20$ ；
- b) 电极组相邻电极间的距离不小于电极入土深度的两倍；
- c) 电极组的电极根数应满足供电电流不随时间变化的需要；对直径为 $2\text{ cm}\sim 3\text{ cm}$ ，入土深度为 0.5 m 左右的电极，单根电极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不宜超过 0.25 A 。

7.2.3.4 带状电极要求：

- a) 单根薄片状铜带或铜编织带的长度宜为 $1.5\text{ m}\sim 2\text{ m}$ ，薄片状铜带宽约 0.4 m ，厚约 $0.2\text{ mm}\sim 0.4\text{ mm}$ ；铜编织带厚约 4 mm ，宽约 $0.1\text{ m}\sim 0.2\text{ m}$ ；
- 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，槽深宜为 $0.5\text{ m}\sim 0.8\text{ m}$ （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，与泥土调成厚 $0.3\text{ m}\sim 0.4\text{ m}$ 的浆糊状泥浆体，将铜制带状电极留出接头后全部压进泥浆体内。

7.2.3.5 在设计布极点位不便于布设电极时，可适当移动接地点位，电极移动后的实际点位应及时记录，并按实际电极点坐标用 $K_{\text{通用}}$ 值公式计算装置系数。

7.2.4 测量电极布设

7.2.4.1 测量电极对应使用同质同规格电极，常采用铜电极或不极化电极。接地差的点位应浇水或注入泥浆水；在风化壳的岩石裸露区或碎石堆积区，测量电极应穿过表面松散破碎层并在其周围注入浆糊状泥浆。

7.2.4.2 同一轴线上布极的电阻率测深装置中，测量电极 MN ，可与测深装置轴线（如对称四极的 AB 轴线）的方向有一定偏离，但偏离角不宜大于 $\pm 5^\circ$ 。遇测量电极无法布设而需移动时应按以下要求执行：

- a) 将两个测量电极垂直于测深装置轴线作同方向、同距离平行移动时，移动距不超过点距的一半；
- b) 移动的测量电极点应记录，并按实际的电极点坐标用 $K_{\text{通用}}$ 值公式计算装置系数。

7.2.5 漏电检查

7.2.5.1 当用标称电压为 500V 的兆欧表检测导线对地绝缘电阻时，对于长度为 $D(\text{km})$ 的导线，供电导线对地绝缘电阻 R_D 应满足 $R_D \geq 2/D (\text{M}\Omega)$ ，测量导线对地绝缘电阻 R_D 应满足 $R_D \geq 5/D (\text{M}\Omega)$ 。

7.2.5.2 漏电检查和处理应遵守下列原则：

- a) 一个测区在观测之前和结束之后，均应对仪器和导线的绝缘性能进行系统地检查；
- b) 在一个电阻率测深点或一个排列始末，曲线畸变段，无穷远极布设后，均应对供电系统和测量

系统分别进行漏电检查；

- c) 对称四极测深或三极测深装置时，电阻率测深的 $AB/2$ (AO) ≥ 500 m 的所有极距点均应进行漏电检查；多道轴向偶极—偶极（单极—偶极）拟断面窗口测深时，每排列均应进行漏电检查；
- d) 导线通过潮湿地区和有疑问的异常区，均应进行漏电检查；
- e) 当发现漏电时，应查明原因并予以消除。

7.2.5.3 漏电现象、漏电检查及处理结果应进行记录。

7.3 生产观测

7.3.1 观测前的技术检查

每个测深点（或测深排列）观测开始前，操作员应进行以下检查，不合要求者应立即处理：

- a) 核对各电极所在的点号；
- b) 检查各线路连接是否正确，并检查各线路的漏电情况；
- c) 检查供电、测量电极的接地电阻；
- d) 发电机试车、观察其空载和有负载时的运转情况；
- e) 选择合适的供电电压并调节平衡负载。

7.3.2 观测取数方法

7.3.2.1 每个测深极距的观测读数应在满足下列条件下取得：

- a) 适当的供电电流强度，使 ΔU 值既不超量程也能以高信噪比观测；
- b) ΔU 有效信号幅值与噪声之比宜大于 3，最小观测电位差不宜小于 0.3 mV；在低阻分布区，尽管采取了大电流供电，其 ΔU 仍无法满足时，只要读数可靠且基本稳定，可继续采集；如读数不够稳定，可采用重复观测取参考值并在记录备注中说明；
- c) 当 ΔU 小于 3 mV 时，不能使用“找 ΔU 升（降）沿同步”方式仪器；
- d) 在弱电噪音干扰区且 ΔU 不小于 1 mV 时，仪器内部采集叠加周期数设为 1~2，单次观测即可；其它情况下，仪器内部采集叠加周期数设为 1，进行多次观测；当读数满足 7.3.2.2 时，即取为观测数据。

7.3.2.2 在生产观测中需重复观测时，应符合下列要求：

- a) 参加平均的一组视电阻率读数最大值与最小值之差相对于二者的算术平均值应满足公式（4）

$$\frac{\rho_s^{\max} - \rho_s^{\min}}{\rho_s^{\max} + \rho_s^{\min}} \times 100\% \leq \sqrt{2N} m \dots \dots \dots (4)$$

2

式中

N ——参加平均的 ρ_s 值个数(不舍舍去数)

m ——设计的均方相对误差。

- b) 两次重复读数不能满足（4）式时，应增加观测次数；
- c) 重复观测应改变供电电流；
- d) 在一组重复观测数据中，误差过大的观测数据可以舍去，但必须少于总观测次数的 1/3，且舍弃的读数应在备注栏内注明原因；
- e) 重复观测数据中有效数据的算术平均值作为该测点最终的生产观测数据，记录在相应极距的下一行。

7.3.3 畸变处理要求

7.3.3.1 当测深曲线出现畸变时，应查找原因。检查读数与点图是否有误、仪器状况、电极位置、接地电阻、导线漏电、导线架空摆动、人文干扰等，并采取相应纠正措施。当不属于上述原因，自检几组数据，检查结果与原始观测一致时，可继续下一步观测。

7.3.3.2 对称四极装置非等比电极距观测曲线接头脱节反常、喇叭口、大交叉等变异现象在模数为6.25cm的双对数坐标纸中超过4mm时，应连续在3~4个供电电极距上用两组测量极距观测，并查明供电、测量电极附近的地表电性、地形及浅层地质构造情况，找出变异的原因，纠正后可继续观测。

7.3.4 回测处理

7.3.4.1 野外工作中，遇下列情形时应进行回测处理：

- a) 在排除仪器故障后；
- b) 在消除漏电后；
- c) 发现较强人文干扰，采取类似7.1.3.2 d)的抗干扰措施并确认可以压制后。

7.3.4.2 回测处理要求按序返回观测，直至连续三个极距的观测值与原观测值的相对误差满足2倍设计精度要求为止。

7.3.4.3 当发现较强人文干扰，采用抗干扰措施不能有效压制时，应停止工作。

7.3.5 异常追索

野外工作中，遇下列情形时宜增加工作量：

- a) 有意义的异常未封闭时，应延长测线或扩大测区，或加大电极距观测；
- b) 需要追索有意义的单点异常时应加密测量。

7.3.6 自检观测

7.3.6.1 对观测曲线上的畸变点及质量有疑义的测段，应进行自检观测。

7.3.6.2 进行自检观测时，需将电极重新布设或者改变电极接地状况，供电电流的改变量应大于10%。

7.3.6.3 自检观测若需要重复观测时，也应按7.3.2.2条的有关规定执行。

7.3.6.4 自检观测后，生产观测数据与自检观测数据之间的相对误差应满足(5)式的要求：

$$\frac{|\rho_{si} - \rho'_{si}|}{\frac{\rho_{si} + \rho'_{si}}{2}} \times 100\% \leq \sqrt{2} m \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

ρ_{si} 与 ρ'_{si} 分别为第*i*个生产观测与自检观测的视电阻率值。

7.3.6.5 自检观测结果证明生产观测确实有误时，可以用自检观测数据代替生产观测数据；其误差统计，不做为衡量测区观测质量的指标，只做为分析质量的参考。

7.4 观测记录

7.4.1 观测数据应及时保存在仪器的存储器中，当天收工后应及时打印仪器记录的全部数据（含存储的图、表），所有数据除存入电脑硬盘外还应备份。

7.4.2 野外人工记录要求如下：

- a) 使用中硬（相当于2H）铅笔，字迹清晰、页面清洁、项目齐全、备注明确；
- b) 记录内容不得涂改或擦抹，记错的必须划去，另起一行重记，并在备注栏中注明原因；
- c) 野外记录严禁追记、混记或转抄，记录簿不得空页、撕扯或粘贴其他纸张，更不得兼做它用；
- d) 遇地质露头、干扰源以及偏点时均应记录；
- e) 电阻率测深曲线应绘制在6.25cm为模数的双对数坐标纸上，标注首尾电阻率值及测点号。

7.4.3 仪器具有自动计算 ρ_s 值,但不具备自动绘制电阻率测深曲线,也不具备自动列表记录观测数据功能的,野外现场应按附录 D 进行表格记录和电阻率测深曲线绘制。

7.4.4 仪器具有自动计算 ρ_s 值、自动绘制电阻率测深曲线功能的,但应按附录 D 表格进行人工记录。

7.4.5 仪器具有自动计算 ρ_s 值、自动绘制电阻率测深曲线、自动列表记录观测数据,且可在记录页面上作电子备注等功能的,野外可略去纸质记录,也不必进行电阻率测深曲线草图绘制等。

7.4.6 选用多道轴向偶极—偶极(单极—偶极)拟断面窗口测深方式工作时,观测现场应点绘拟断面数据草图,记录相应表格,详见附录 D 和附录 E。

7.5 原始资料日验收

7.5.1 原始资料应当天进行检查验收,内容及要求如下:

- a) 仪器记录、手工记录和电阻率测深曲线草图(或拟断面数据草图)等是否齐全、符合要求;
- b) 观测中出现的“突变点”、“异常点”是否进行了必要的检查测量、处理和记录;
- c) 是否按规定检查了仪器工作状态、观察系统的漏电等情况并作有记录;
- d) 是否对电极点移动后的视电阻率进行了改算;
- e) 查看仪器记录的备份文件是否正确完整。

7.5.2 日验收的问题处理

7.5.2.1 凡因违反设计规定致使数据无法利用或质量严重降低者应予返工。

7.5.2.2 凡不明原因的质量存疑地段,应安排重点检查。

7.5.2.3 记录不规范的内容应指出提醒。

7.5.3 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 在日验收的基础上,室内人员应对全部人工计算结果进行 100% 的复算。

7.6.2 野外观测结果复算后,应及时编绘成果草图,进行资料的综合研究,对异常不完整的部位应安排追索工作。

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进行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,电子资料应及时刻盘保存。

7.7 电阻率参数测定

7.7.1 采用露头法时,测量点处同一岩性地质体的大小、延伸应符合 B.1.2 的要求;应涵盖所有地层、岩性(尤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。

7.7.2 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,宜与地质剖面重合。标本应涵盖所有地层、岩性(尤其探测目标体与干扰体),每一统计单元的标本数量不宜少于 30 块。标本采集应作记录,对标本的岩性进行必要的描述、定名和编号,并将采集点位置以实测坐标标在图上。对岩芯标本,还应记录钻孔号和取样深度。标本的几何尺寸应适合选定的电参数测定方法(见 B.2.1)。

7.7.3 测区内物性标本测量应统一测定条件。

7.7.4 测定前标本浸泡时间参见表 B.1,测定时供电电流密度不宜过大。

7.7.5 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。

7.7.6 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。

7.7.7 物性测定的相关细节及要求等见附录 B。

7.8 安全保障措施

7.8.1 应进行经常性安全生产教育。

7.8.2 仪器设备的使用应遵守有关操作规定。

7.8.3 野外作业人员应具备安全用电和触电急救的一般常识。当工作电压超过安全电压（36 V）时，供电作业人员应使用绝缘防护用品。

7.8.4 使用高于安全电压供电的电极区附近、供电导线沿线有人、牲畜活动的区段，供电电极（含“无穷远”极）附近应设明显警告标志并派专人看守，供电导线沿线应派人巡视。

7.8.5 应在确认供电回路和电极接地均属正常，且人员已离开供电电极时方可供电；在确认停止供电后方可通知收线和移动供电电极。

7.8.6 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。

7.8.7 雷雨时必须停止野外工作。

7.9 质量检查与评价

7.9.1 质量检查要求

7.9.1.1 电阻率测深的系统质量检查，应以一条完整的电阻率测深曲线为单元，检查一个测深点的全部极距；多道轴向偶极—偶极（单极—偶极）拟断面窗口测深方式的系统质量检查，以一个完整排列作为一个单元，检查由近至远的全部测道。

7.9.1.2 系统质量检查应根据生产情况合理安排，在时间和空间上大致均匀分布，严禁集中在工作结束时突击检查。

7.9.1.3 检查应有侧重地放在质量存疑地段（含人文干扰地段）和异常上，对解释推断有关键意义的地段，尤其对拟验证异常应进行质量检查。

7.9.2 质量检查工作方式

7.9.2.1 单台仪器工作时，采用“二同二不同”方式（同点位、同仪器、不同操作者，不同日期）；多台仪器工作时，采用“一同三不同”方式（同点位、不同仪器、不同操作者，不同日期）。

7.9.2.2 工区技术负责人应参与系统质量检查观测。

7.9.3 质量检查工作量

7.9.3.1 电阻率测深的系统质量检查工作量不小于总工作量的 3%。

7.9.3.2 物性测定质量检查工作量不小于物性工作量的 10%。

7.9.4 质量检查统计

7.9.4.1 系统检查观测结果应列专门的统计表，检查观测结果应以单个测点（多道轴向偶极—偶极（单极—偶极）拟断面窗口测深方式时指单个排列）为单位，计算该测点的均方相对误差 m ，其均方相对误差应满足设计或表 3 规定的要求，必要时应绘制质量检查对比曲线和误差分布曲线。

7.9.4.2 系统检查观测结果应按（6）式计算均方相对误差：

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

式中：

ρ_{si} ——第 i 个极距原始观测数据；

ρ'_{si} ——第 i 个极距检查观测数据；

$\bar{\rho}_{si}$ —— ρ_{si} 与 ρ'_{si} 的平均值；

n ——参加统计计算的极距数。

7.9.5 质量评价

7.9.5.1 系统检查观测结果，应以单个测点为单位，编列出各个极距相对误差统计表，必要时应绘制误差分布曲线，单个极距相对误差的计算公式为（7）式

$$\mu_i = \frac{\rho_{si} - \rho'_{si}}{\frac{\rho_{si} + \rho'_{si}}{2}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中： ρ_{si} 与 ρ'_{si} 分别为第*i*个供电电极距上同组*MN*的生产观测数据与系统检查观测数据。

7.9.5.2 单个测深点的系统检查结果，凡出现下列情况之一者，应以不合格论：

- a) $\mu_i/2$ 超过设计精度的电极距数目大于该测深点极距总数的 32% ；
- b) $\mu_i/2$ 超过 2 倍设计精度的电极距数目大于该电阻率测深点电极距总数的 5% ；
- c) $\mu_i/2$ 超过设计精度的观测值在相邻的三个电极距上连续出现；
- d) 均方相对误差 *m* 大于设计精度。

当可以肯定由于地表及浅层湿度变化使得电阻率测深曲线起始段的系统检查出现规律性偏差时，可将其剔除。然后再评价质量。

7.9.5.3 评价全区或一个地段的电阻率测深观测质量，应在单个电阻率测深点系统检查评价的基础上进行。符合质量标准的电阻率测深工作，应达到下面两点要求：

- a) 不合格的电阻率测深点数不超过被评价区域内经系统检查的电阻率测深点总数的 32% ；
- b) 全区系统检查观测结果按（6）式计算的均方相对误差 *m*，应符合表 3 或设计规定的精度。统计计算时，无规律性的个别畸变极距可剔除，但剔除的极距数不超过系统检查观测极距总数的 1% 。

7.9.5.4 当各测深点的电极距相同或相近时，全区的观测精度可按单个测深点的均方相对误差 m_i 统计，其公式为（8）式

$$m = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n m_i^2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

m_i —— 第 *i* 个测深点的均方相对误差；

n —— 全区系统检查观测的电阻率测深点数。

7.9.5.5 对于较大面积的电阻率测深测区当区段之间的观测条件相差较大时，可分区段评价质量。

7.9.5.6 系统检查工作量已达总工作量的 20%，基本观测质量仍达不到合格时，此测区的全部观测资料作废。

7.10 野外资料验收

7.10.1 验收内容

7.10.1.1 原始资料

提交验收的原始资料应包括：

- a) 仪器鉴定校验记录：测地仪器的性能检定记录、电阻率测深仪器的定期检查记录和一致性试验记录等；
- b) 原始数据及记录：技术参数试验、测地成果、电阻率测深观测、物性测定、质量检查等；
- c) 电阻率测深曲线草图册，使用多道轴向偶极—偶极（单极—偶极）拟断面窗口测深方式工作的提交拟断面数据草图。

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对比曲线；
- d) 电性参数测定统计表；
- e) 野外工作小结。

7.10.2 质量评价

7.10.2.1 评价标准以本标准和设计规定为准，冲突时以设计为准。

7.10.2.2 合格的原始资料应满足下列要求：

- a) 仪器性能符合设计要求；
- b) 观测精度满足设计要求；
- c) 测线上的畸形点和异常点进行了必要检查；
- d) 异常完整性满足设计要求；
- e) 漏电检查、重复观测和自检观测完善；
- f) 物性工作满足设计要求。

7.10.2.3 验收中发现质量可疑的资料，应重新在可疑段（或可疑点）上布置工作，消除疑点后进入验收程序。

7.10.2.4 下列情况之一的原始观测结果应予作废：

- a) 采用不符合本标准技术要求的仪器设备所取得的观测结果；
- b) 质量达不到设计要求的观测结果。

8 图件编绘

8.1 要求

8.1.1 正式图件的编绘，须在观测数据经过质量验收的基础上进行，数据正确可靠。

8.1.2 整套图件应包括参数类和推断成果类两部分。图件应突出主要内容，图面负载不宜过大，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；
- b) 测地坐标高程系统；
- c) 工作参数；
- d) 等值线图中的数据网格化方法、网格密度、大值限制及滤波参数等。

8.1.4 图件编制要求应按照 DZ/T 0069 《地球物理勘查图图式图例及用色标准》执行。

8.2 主要成果图件

8.2.1 实际材料图

宜包含测区位置范围、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（如地质工程位置、供电点、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等。不同方法、不同装置的电阻率测深工作，应采用不同符号或颜色在图中加以区分。

8.2.2 电阻率测深曲线类型图

电阻率测深曲线类型图可绘制成平面图或剖面图。可用缩小的电阻率测深曲线表示，也可用曲线类型符号表示。当以曲线图表示时，应以 ρ_s 为横坐标轴， $AB/2$ (AO) 为纵坐标轴。多道轴向偶极—偶极（单极—偶极）拟断面窗口测深方式工作可不作此图。

8.2.3 视电阻率等值线拟断面图

本图应符合下列要求：

- a) 测深剖面线为横坐标轴，采用算术刻度；垂直向下的 $AB/2$ (AO) 或 $AB/4$ ($AO/2$) 等为纵坐标轴，用算术（或对数）刻度，各测深点位置为纵轴原点；
- b) 在相应供电电极距上标出 ρ_s 值，绘制 ρ_s 等值线。

8.2.4 视电阻率等值线平面图

8.2.4.1 等值线勾绘区间宜始于极小值，终于极大值，等值线间隔宜采用对数等差间隔，必要时也可用算术等差间隔，异常强度变化大时，可依据其梯度特征合理选择间隔。

8.2.4.2 在勾绘正式等值线图之前，应在施工阶段及时绘制草图且宜满足以下要求：

- a) 不丢任何点；
- b) 宜选用三角剖分或三角网线性插值正方形高密度网格剖分；
- c) 不滤波。

8.2.4.3 绘制正式等值线图要求：

- a) 勾绘正式等值线时，应依据地质特点、观测误差和干扰水平。在对资料初步推断基础上进行。合理选择网格剖分方法、参数以及矩形网格方向，同时应有针对性地采用最佳滤波方式；
- b) 网格剖分方法和参数选择的前提是实测信息不宜失真；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，可不采用其他网格剖分，也不必滤波；否则，继续选择其它网格剖分方法和尺度；
- c) 正方形高密度网格边长依据数据特点合理选取；
- d) 是否需滤波则应依据网格剖分后的图形数据信息而定。经判断存在确属干扰时应通过滤波等手段压制，否则，这些易导致数据失真的处理手段不能使用；
- e) 等值线平面图上应有实测点的位置标记，必要时可标出每个实测数据。技术说明应注明网格剖分方法和尺度、是否做过滤波以及滤波参数等；
- f) 等值线平面图宜与同比例尺的地质图绘在一起，以地质简图为底图。

8.2.5 推断成果图

推断成果图宜包括推断剖面（断面）图和推断平面图，内容如下：

- a) 推断成果剖面（断面）图主要包括电阻率测深断面等值线、地质内容、推断成果及建议工程位置等，宜绘在综合断面图（见 8.2.6）中；
- b) 推断成果平面图宜在电阻率测深面积性工作基础上绘制，内容宜包括地质、视电阻率等值线、推断成果（如标志层顶板高程等值线或埋深等值线平面图等）及建议工程位置等。宜绘在综合平面图（见 8.2.7）中。

8.2.6 综合断面图

横坐标标注点号位置，由上至下对齐排列而成：

- a) 视电阻率 ρ_s 曲线类型图（可选），多道轴向偶极—偶极（单极—偶极）拟断面窗口测深方式不做此 ρ_s 曲线类型图；
- b) 视电阻率 ρ_s 等值线断面图；
- c) 带地形反演的电阻率 ρ 等值线断面图；
- d) 推断断面图

应符合下列要求：

- 1) 绘制测深剖面的实测地形线及地表面地质情况；
- 2) 标绘地质工程位置及被揭露的地质情况；
- 3) 绘出推断的电性层（或电性块体）等推断成果，注明电性参数；
- 4) 对于已确定与某一地层（或地质体）有对应关系的电性层（或电性块体）还应标注地质符号。
- e) 若拥有其他物探、化探异常资料，应排列在视电阻率 ρ_s 曲线类型图之上。

8.2.7 综合平面图

电阻率测深面积性工作应绘制此图。要求如下：

- a) 综合显示本次电阻率测深和其它物探异常以及地质、化探成果信息；
- b) 内容应包括测区范围、异常信息及推断成果；
- c) 图面以简洁清晰为准，重点应突出本次电阻率测深的内容。

8.2.8 电性柱状图

应符合下列要求：

- a) 与地层柱状图绘在一起，单个钻孔电性柱状图可同测井曲线图合并绘制；
- b) 对于各向异性的电性层宜同时标绘平均电阻率及各向异性系数；
- c) 不同测定方法的电性参数曲线或数值应有区别的绘制，不得互相混淆。

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) 解释推断的重点是设计中明确的探测目标体；
- c) 每条剖面均应进行定量反演；
- 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，宜用于滤除干扰，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 应充分研究、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，应识别并剔除由人文干扰引起的假异常，分析资料的可用性，必要时进行异常踏勘检查验证。对资料完整性有缺陷的，必要时进行补充采集。

9.2.3 定性解释前，宜先进行异常划分。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，判断异常源的地质属性。

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。宜先进行半定量解释，再进行定量解释。

9.4.4 对地形起伏小且最大极距($AB/2$)不大于100米的密极距(或高密度极距)对称四极电阻率测深资料，除使用定量解释外，还可采用经验系数法(参见参考文献[3])、斜率法(参见参考文献[4])进行测深剖面的快速近似半定量解释。

9.4.5 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；
- 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，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(ρ_s)、地形参数和背景电性值等。宜先进行预反演，据预反演结果并参考物性参数等调整背景值重新反演。

9.4.6 地层近水平层状，地形起伏不大时，可采用一维反演法进行解释。

9.4.7 对反演结果进行合理性的地质解释，分析是否符合测区地质规律。

9.4.8 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 工程验证后可对电阻率测深资料进行“再解释”，内容包括岩矿石电参数测定、根据工程所见电性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 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件。

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，合理组织内容和取材，应立论有据，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 内容

成果报告的主要内容见附录 F

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。提交的资料应包括：

- 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) 其它资料：任务书、设计书等。

附 录 A
(资料性附录)
电阻率测深法的常用装置形式

A.1 对称四极装置

本装置常用于研究层状地层电性的垂向变化,单点测深可大致确定目标体的埋深和厚度等;测深剖面可大致确定目标体在剖面上的形态或倾向等空间分布问题。因生产效率低,宜在重点异常区布置测深点、测深剖面或面积性测深。

装置符号 ←AMNB→

装置简图(图 A.1)

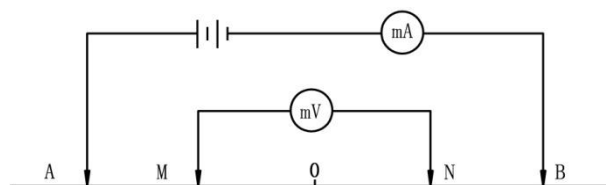


图 A.1 对称四极测深装置简图(AB 与 MN 同步或不同步向两侧移动)

AMNB 极位置标准的装置系数 K 值简化计算公式(A.1):

$$K = \pi \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2}{2\left(\frac{MN}{2}\right)} \dots \dots \dots (A.1)$$

当 $AB/2$ 比 $MN/2$ 为定比,且比值为 $j(j=3,4,\dots,100)$ 、AMNB 极位置标准时,装置系数 K 值公式简化为式(A.2):

$$K = \frac{\pi}{2} \left(j - \frac{1}{j}\right) \cdot \frac{AB}{2} \dots \dots \dots (A.2)$$

A.2 三极装置

本装置探测深度相对较大。因生产效率低多用于电法详查。比较适用于研究相对围岩为低电阻率、陡产状的目标体。

A.2.1 单侧三极装置

装置符号 ←AMN∞

装置简图(图 A.2)

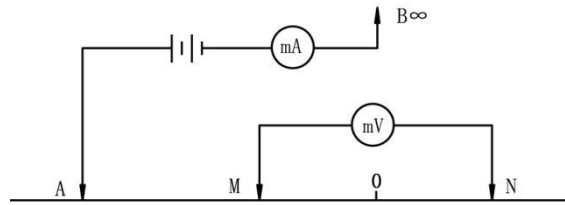


图 A.2 单侧三极测深装置简图

AMNB 极位置标准的装置系数 K 值简化计算公式(A.3):

$$K = \pi \frac{(AO)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2}{\frac{MN}{2}} \dots \dots \dots (A.3)$$

当 AO 比 $MN/2$ 为定比, 且比值为 $j(j=3,4,\dots, 100)$ 、AMNB 极位置标准时, 装置系数 K 值公式简化为式(A.4):

$$K = \pi \left(j - \frac{1}{j}\right) AO \dots \dots \dots (A.4)$$

A.2.2 三极联合装置

装置符号 $\leftarrow AMN\infty$
 $\infty MNA' \rightarrow$
 装置简图 (图 A.3)

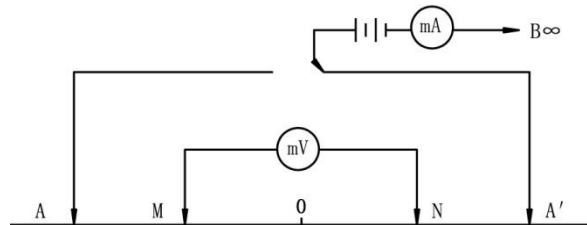


图 A.3 三极联合测深装置简图 (两侧三极)

AMNB 极位置标准的装置系数 K 值简化计算公式同(A.3)或(A.4)式。

A.3 偶极装置

A.3.1 轴向偶极装置

本装置比对称四极装置具有较高的横向分辨率, 垂向分辨率也较好, 常用于探测三维异常体的空间分布形态。其解释较复杂。

装置符号 $\leftarrow AB \quad MN \rightarrow$
 装置简图 (图 A.4)

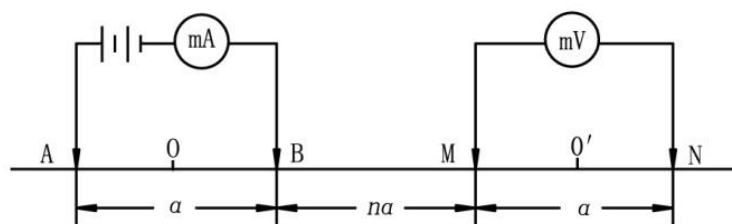


图 A.4 轴向偶极测深装置简图(单侧移动 AB 或 MN)

装置系数 K 值计算公式 (A.5)、(A.6)

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \dots\dots\dots (A.5)$$

当 $AB=MN=a$, $BM=na$, 且 AMNB 极位置标准时, 则

$$K = \pi na(n+1)(n+2) \dots\dots\dots (A.6)$$

$n=1, 2 \dots\dots\dots n$

A.3.2 赤道偶极装置

装置符号



装置简图 (图 A.5)

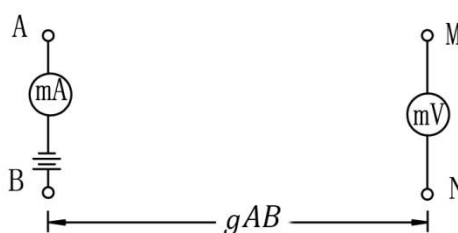


图 A.5 赤道偶极测深装置简图(单侧移动 AB 或 MN)

装置系数 K 值计算公式同 (A.5) 式,

当 $AB=MN=a$, $AM=BN=ga$, 且 AMNB 极位置标准时, 则公式 (A.7)

$$K = \frac{\pi a}{g - \frac{1}{\sqrt{g^2+1}}} \dots\dots\dots (A.7)$$

$g=1, 2 \dots\dots\dots g$

DZ/T 0072-XXXX

附录 B

(规范性附录)

电阻率参数测定

B.1 露头测定

B.1.1 常用测定方法

宜用露头小四极法、小极距测深法。

B.1.2 选择露头

宜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

小四极法宜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, 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。 $MN/2$ 宜选 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 。时间域仪器的供电脉宽等工作参数选生产观测用参数。

B.1.4 测定方法技术

测定仪器可使用多功能电法仪、激电仪或专用物性测定仪。

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, 供电极和接收极宜接触到所测的岩石。

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, 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是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。

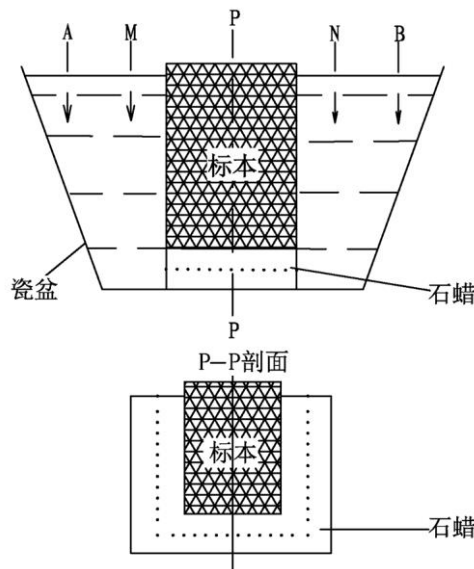


图 B. 1 蜡封法示意图

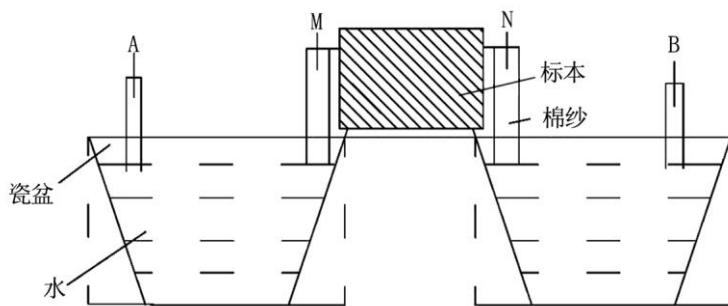


图 B. 2 双盆边架法示意图

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)。所用材料宜为有机玻璃或其他绝缘材料；渗透片宜为素陶板，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%。

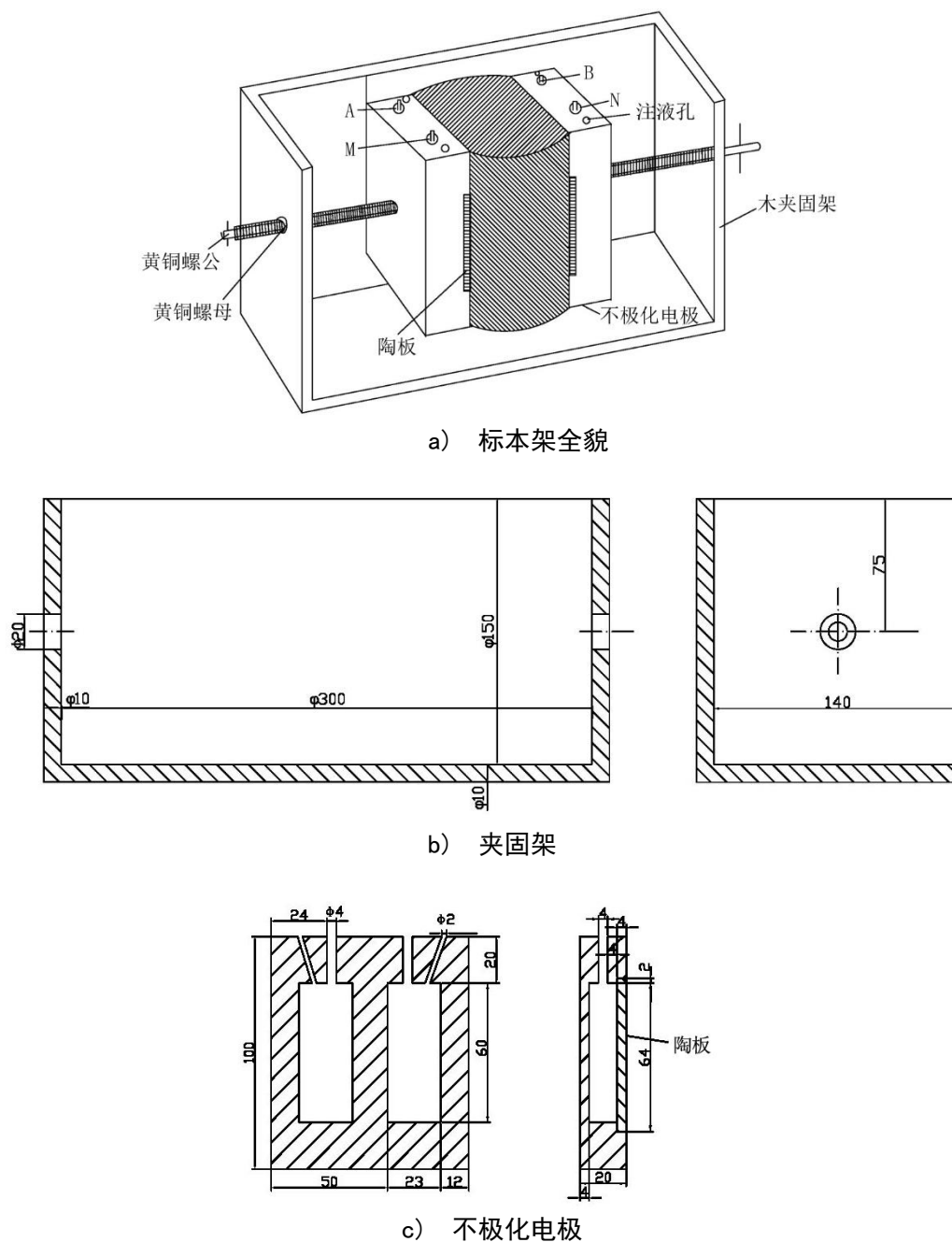


图 B. 3 标本架法示意图

B.2.2 电性参数计算公式

$$\rho = \frac{s}{L} \cdot \frac{\Delta U}{I} \dots\dots\dots (B.1)$$

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[5]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 供电时间

时间域仪器的供电时间等参数用野外工作参数。

B.2.4.3 电流密度

以多次观测结果稳定为宜，不宜大于 10 μ A/cm²（参见参考文献[5]P275）。

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。

表 B.1 岩（矿）石标本的浸水时间表

岩（矿）石类型	浸水时间 (h)
致密块状岩石	6~24
致密浸染状矿化岩石	<6
致密块状矿石 致密石墨矿石	1~2
疏松状矿（岩）石	几分钟
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电阻率测深，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测井（特别是“横向测深”），获得钻孔所穿过地层的电阻率参数。

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，接近正态分布的，计算其常见值及相关参数，其它情况取几何均值。

附 录 C
(资料性附录)
设计书的主要内容

C.1 序言

C.1.1 项目来源与目的任务

简述项目来源、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。

C.1.2 测区概况

简述交通位置(附插图)、测区与电阻率测深法工作有关的自然及人文地理概况(重点介绍人工设施干扰目标和人文电噪声源分布情况);说明施工测线的人员通行条件,列出与矿产勘查有关的地方法规等。

C.1.3 以往工作程度

列出测区内与勘查任务相关的项目名称,工作年份,工作单位及与本次工作有关的工作成果和不足。若不存在与勘查任务相关以往工作,此项内容可省略。

C.2 测区地质概况、电阻率特征

C.2.1 区域地质特点

简述工区所处大地构造部位、区域地层、岩浆岩、构造和矿产的简要特点。若工作任务非矿产勘查的,此项内容可省略。

C.2.2 测区地质概况

对照地质图叙述测区地层、岩浆岩、构造和矿产分布特点。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。

C.2.3 测区电阻率特征

详述区内或邻近地区或类似地质环境下各岩(矿)石的电阻率参数资料;结合地质特征分析测区内电阻率分布和地电结构特征;给出开展电阻率测深法工作的有利和不利条件以及完成工作任务的可能性。

C.3 工作布置

根据任务书要求参照本标准 5.4 条和 5.7 条之规定进行工作布置,阐述测区、测线、测网密度和比例尺选择的理由。若需要还应说明与测区内其它地质物化探工作的衔接关系或配合关系。列表给出各项工作的数量和单位。

C.4 工作方法与技术

C.4.1 野外工作方法与技术指标

电阻率测深项目相关工作的方法技术要求与指标如下:

- a) 测地工作,包括仪器、方法、技术要求和测地工作精度,参照本标准 5.6 条阐述;
- b) 电阻率测深工作,包括仪器、装置、极距等技术要求和精度,参照本标准“6 仪器设备”、5.7 条、5.5 条阐述;
- c) 开工前的仪器一致性试验、施工技术参数试验要求分别参照本标准 7.1.2、7.1.3 和 5.3 条来阐述;根据需要应在设计书中写明哪些指标、参数和技术要求要在开工前通过试验选择;

- d) 野外观测过程中抗电噪声干扰的方法与技术措施；
- e) 电阻率参数测定参照本标准 5.8 条、7.7 条和附录 B 来阐述。

C.4.2 质量检查

质量检查方法与要求参照本标准 7.9 条来阐述；应明确本项目工作执行的规范性标准文件。

C.4.3 资料整理与处理

包括资料整理、图表制作方法与要求、室内质量控制方法、计算及图示错误率指标等。

数据处理方法的选择、要求及依据，每一种处理方法应有明确的目的；应有资料处理后的质量控制要求。

C.4.4 反演与解释推断

包括定性解释、定量反演和综合推断。定性解释应贯彻每一个编号异常都要解释的原则和室内对比与野外现场踏勘相结合的原则。定量反演方法的选择应给出理由，地质推断应列出依据。对解释结果应给出质量控制要求。

C.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。

C.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。

C.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。

C.8 经费预算

按相关规定或约定的预算编制标准编写。

C.9 附图

主要附图如下：

- a) 工作程度图（可选）；
- b) 工作布置图（可用测区简化的地质图为底图编制）。

附录 D
(资料性附录)
电阻率测深法野外记录表

D.1 电阻率测深法野外记录表格式

表 D.1 是依据供电极、测量极实际坐标, 利用 K 值通用公式计算电阻率值, 适用于任意装置。
表 D.2 是针对规则电极点, 利用 K 值简化公式计算电阻率值, 适用于对称四极电阻率测深装置。
表 D.3 是针对规则电极点, 利用 K 值简化公式计算电阻率值, 适用于三极电阻率测深装置。
其它装置可参考表 D.1、表 D.2 或表 D.3 格式自行设计。

表 D.1 电阻率测深法野外记录表

工区 _____ 日期 _____ 天 气 _____ 仪器型号及编号 _____
 线号 _____ 点号 _____ 放线方位角 _____ 叠加次数 _____ 次
 供电线漏电检查: 测点开始 \geq _____ $M\Omega$ 测点结束 \geq _____ $M\Omega$ 接收线漏电检查: 测点开始 \geq _____ $M\Omega$ 测点结束 \geq _____ $M\Omega$

序号	电极点坐标				ΔU (mV)	I (mA)	K (m)	ρ_s ($\Omega \cdot m$)	$\bar{\rho}_s$ ($\Omega \cdot m$)	备注
	A 极	B 极	M 极	N 极						
	(X) (Y)	(X) (Y)	(X) (Y)	(X) (Y)						

操作者 _____ 记录者 _____ 复核者 _____

表 D.2 对称四极电阻率测深野外记录表

工区 _____ 日期 _____ 天 气 _____ 仪器型号及编号 _____
线 号 _____ 点 号 _____ 放线方位角 _____ 叠 加 次 数 _____ 次
供电线漏电检查：测点开始 \geq ____M Ω 测点结束 \geq ____M Ω 接收线漏电检查：测点开始 \geq ____M Ω 测点结束 \geq ____M Ω

序号	AB/2 (m)	MN/2 (m)	ΔU (mV)	I (mA)	K (m)	ρ_s ($\Omega \cdot m$)	$\bar{\rho}_s$ ($\Omega \cdot m$)	备注

操作者 _____ 记录者 _____ 复核者 _____

表 D. 3 三极电阻率测深野外记录表

工区 _____ 日期 _____ 天 气 _____ 仪器型号及编号 _____
 线号 _____ 点号 _____ 放线方位角 _____ 叠加次数 _____ 次
 供电线漏电检查：测点开始 \geq ____M Ω 测点结束 \geq ____M Ω 接收线漏电检查：测点开始 \geq ____M Ω 测点结束 \geq ____M Ω

序号	AO (m)	MN/2 (m)	ΔU (mV)	I (mA)	K (m)	ρ_s ($\Omega \cdot m$)	$\bar{\rho}_s$ ($\Omega \cdot m$)	备注

操作者_____ 记录者_____ 复核者_____

D.2 电性参数测定记录表格式

D.2.1 岩（矿）石标本电阻率参数测定记录表格式

表 D.4 岩（矿）石标本电阻率参数测定记录表

工区_____ 日 期_____ 天 气_____

仪器型号及编号 _____ 供电时间 T : _____s 测定方式: _____

标本号	岩（矿）石 名称	采样坐标			$K = S/L$		I (μA)	ΔU (mV)	ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)	$\bar{\rho}$ ($\Omega \cdot \text{m}$)	备注
		X(m)	Y(m)	Z(m)	L (mm)	S (mm^2)					

操作者_____ 记录者_____ 复算者_____ 检查者_____

D.2.2 物性点露头小四极电阻率参数测定记录表

表 D.5 露头小四极电阻率参数测定记录

工区: _____ 仪器号: _____ 日期: _____ 天气: _____

露头编号	露头岩（矿）石 名称	位置坐标			AB/2 (m)	MN/2 (m)	ΔU (mV)	I (mA)	ρ_s ($\Omega \cdot \text{m}$)	备注
		X(m)	Y(m)	Z(m)						

操作者_____ 记录者_____ 复算者_____ 检查者_____

附录 E
(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

E.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 E.1 或图 E.2;
- b) 通过试验确定提高所需深部道信号的办法, 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);

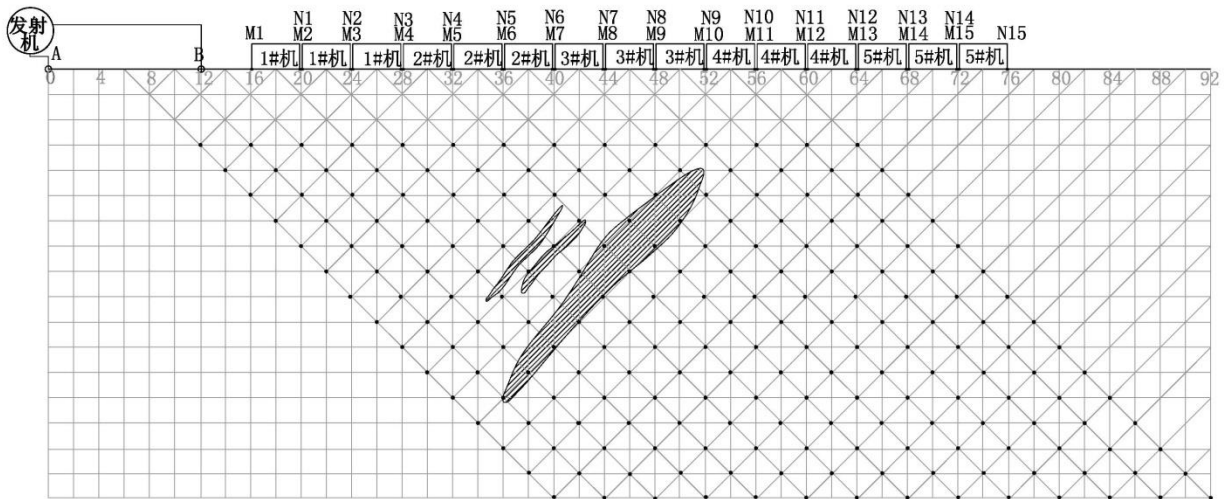


图 E.1 15 道轴向偶极-偶极拟断面窗口测深布极图 (ABMN 方向)

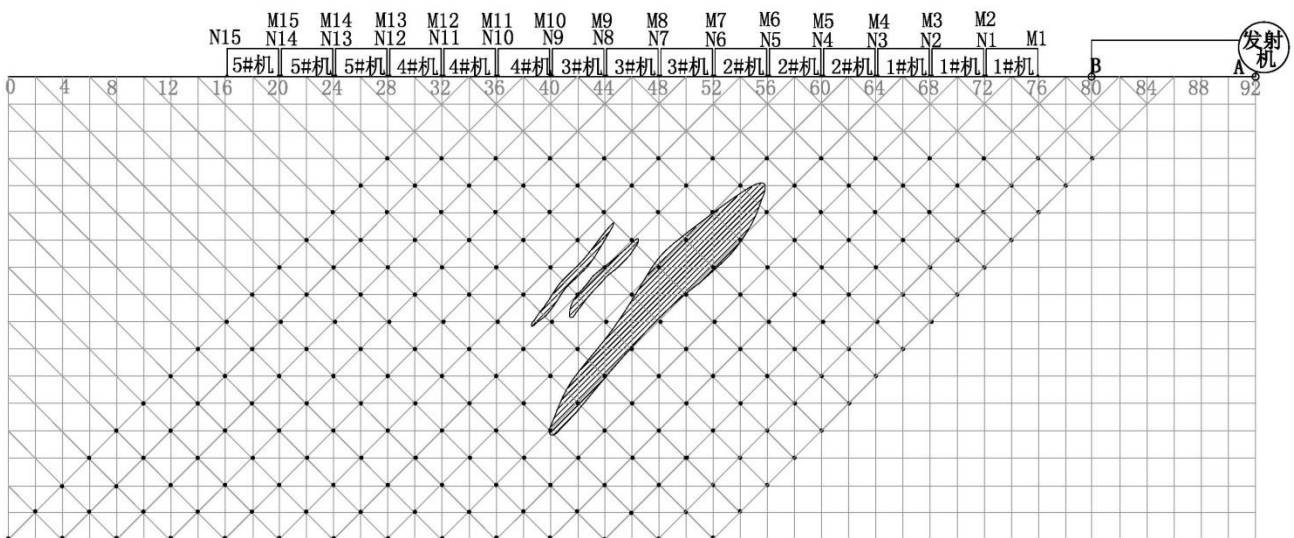


图 E.2 15 道轴向偶极-偶极拟断面窗口测深布极图 (NMBA 方向)

- c) 与设计相关的其它内容参见本标准“5 技术设计”的要求；
- d) 仪器可用一发多收的中梯扫面组合或其它适用系统。

E.2 多道轴向偶极-偶极拟断面窗口测深数据采集

采集施工除按本标准“7 野外工作”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，平行时二者相距不小于 2 倍 MN 距；
- b) 宜按图 E.3 或图 E.4 现场点绘视电阻率参数拟断面草图，以便监控现场采集质量；
- c) 当图中发现某道 ρ_s 值突变时，要现场检查并重测之(见 7.3)；
- d) 当图中的 ρ_s 异常区未测全时，应增加排列工作量予以追索控制。

E.3 多道轴向偶极-偶极拟断面窗口测深数据处理解释

处理解释的要点如下：

- a) 宜用拟断面图做定性解释；
- b) 宜用带地形的二维半反演软件做视电阻率二维反演；
- c) 其它参见本标准“9 异常解释推断”的规定。

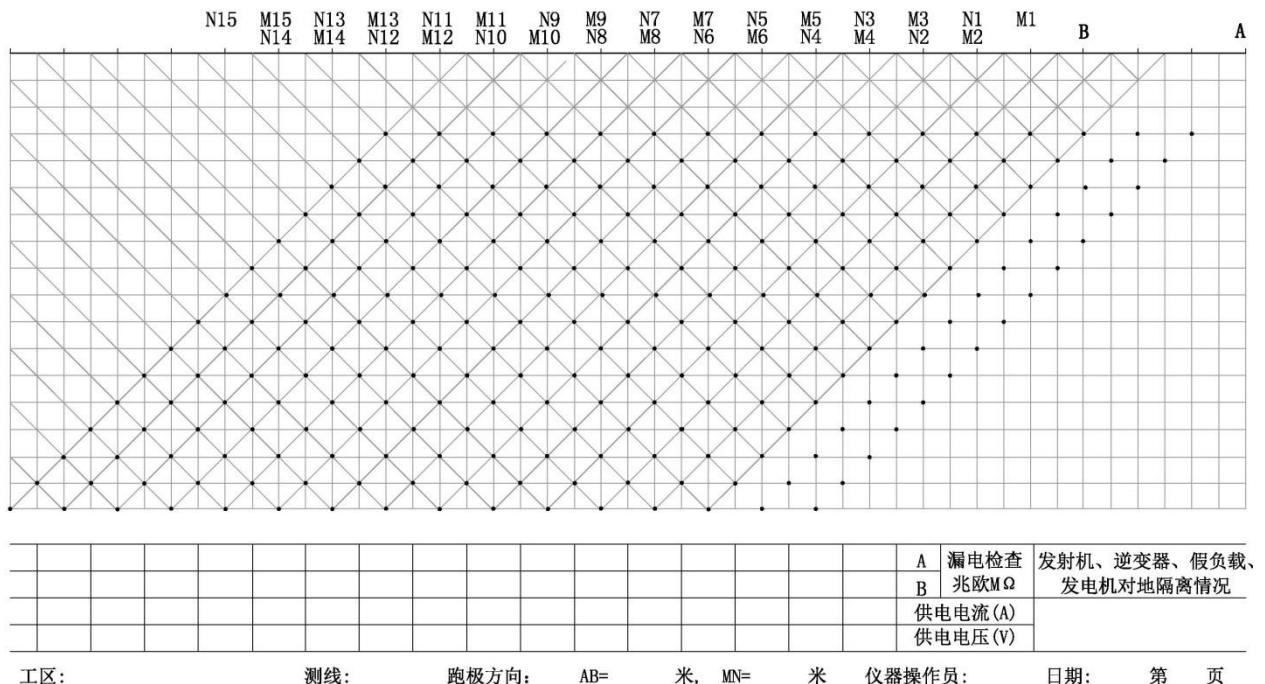


图 E.3 15 道轴向偶极-偶极拟断面窗口测深工作数据野外记录图 (NMBA 方向)

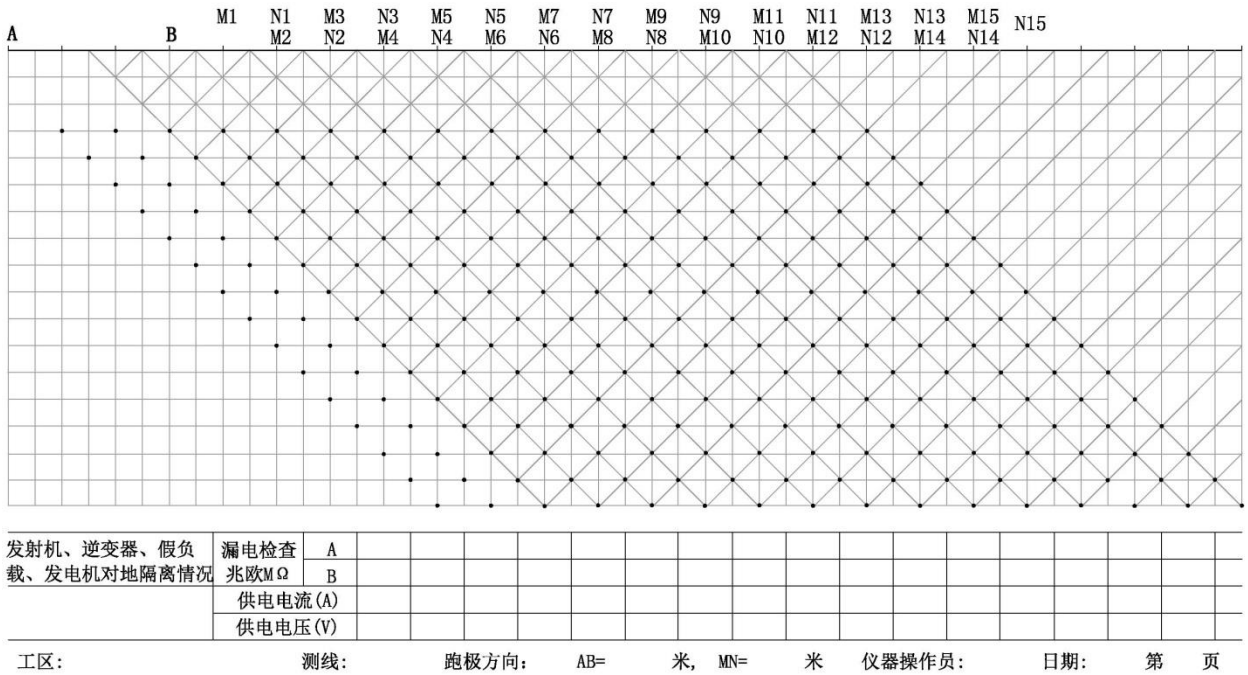


图 E. 4 15 道轴向偶极-偶极拟断面窗口测深工作数据野外记录图 (ABMN 方向)

E. 4 多道轴向单极-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单极-偶极拟断面窗口的中上部如图 E. 5 或图 E. 6;

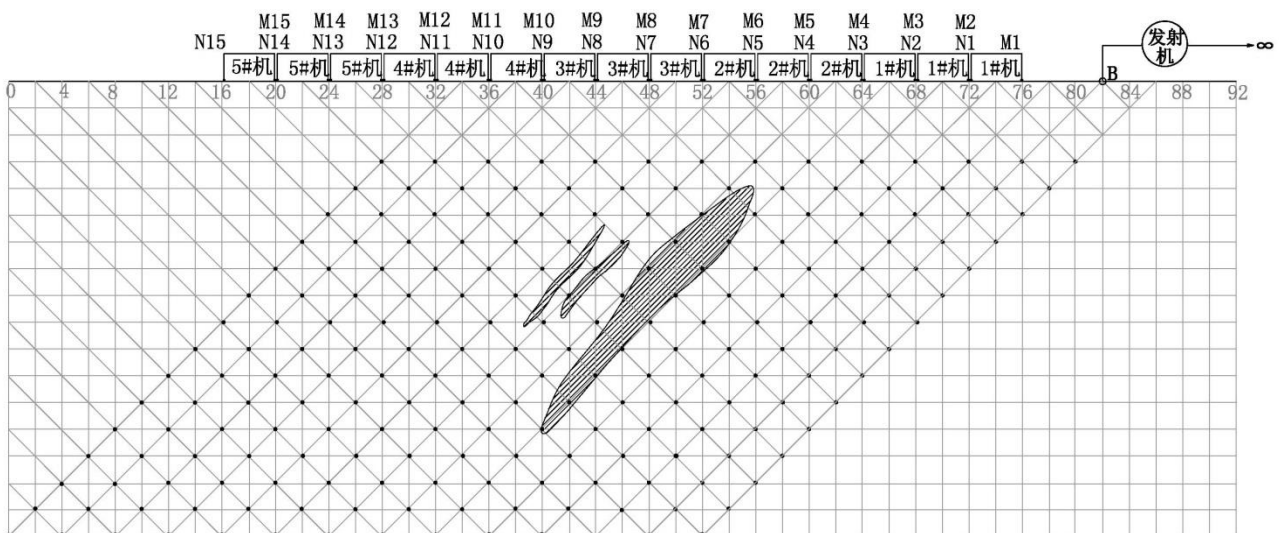


图 E. 5 15 道轴向单极-偶极拟断面窗口测深布极图 (NMB ∞ 方向)

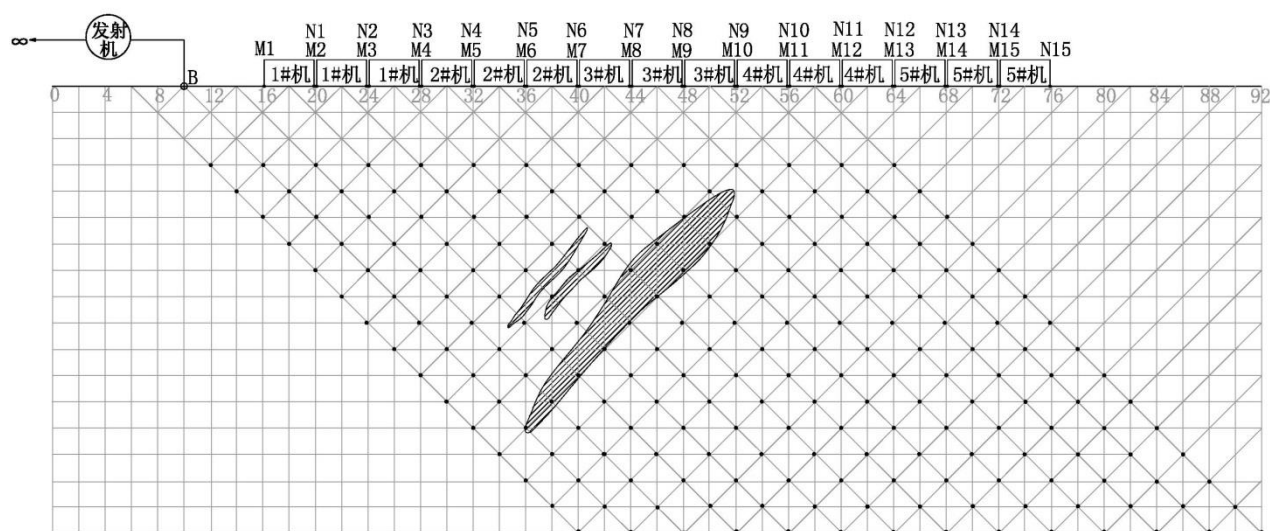


图 E.6 15 道轴向单极-偶极拟断面窗口测深布极图 (∞ BMN 方向)

- b) 无穷远极布置要求如下:
- 1) 布在垂直测深剖面的中垂线上时, 离剖面的垂距不小于 5 倍的多道测深排列中最大 BV 距;
 - 2) 布在测深剖面供电端的延长方向上时, 离供电电极 B 的距离不小于 10 倍的多道测深排列中最大 BV 距;
 - 3) 同一测深剖面上最好只布置一个无穷远极。
- c) 通过试验确定提高所需深部道信号的办法, 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);
- d) 与设计相关的其它内容参见本标准“5 技术设计”的要求;
- e) 仪器可用一发多收的中梯扫面组合或其它适用系统。

E.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“7 野外工作”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, 平行时二者相距不小于 2 倍 MN 距;
- b) 宜按图 E.7 或图 E.8 现场点绘视电阻率参数拟断面草图, 以便监控现场采集质量;
- c) 当图中发现某道 ρ_s 值突变时, 要现场检查并重测之 (见 7.3);
- d) 当图中的 ρ_s 异常区未测全时, 应增加排列工作量予以追索控制。

E.6 多道轴向单极-偶极拟断面窗口测深数据理解释

处理解释的要点如下:

- a) 宜用拟断面图做定性解释;
- b) 宜用带地形的二维半反演软件做二维反演;
- c) 其它参见本标准“9 异常解释推断”的规定。

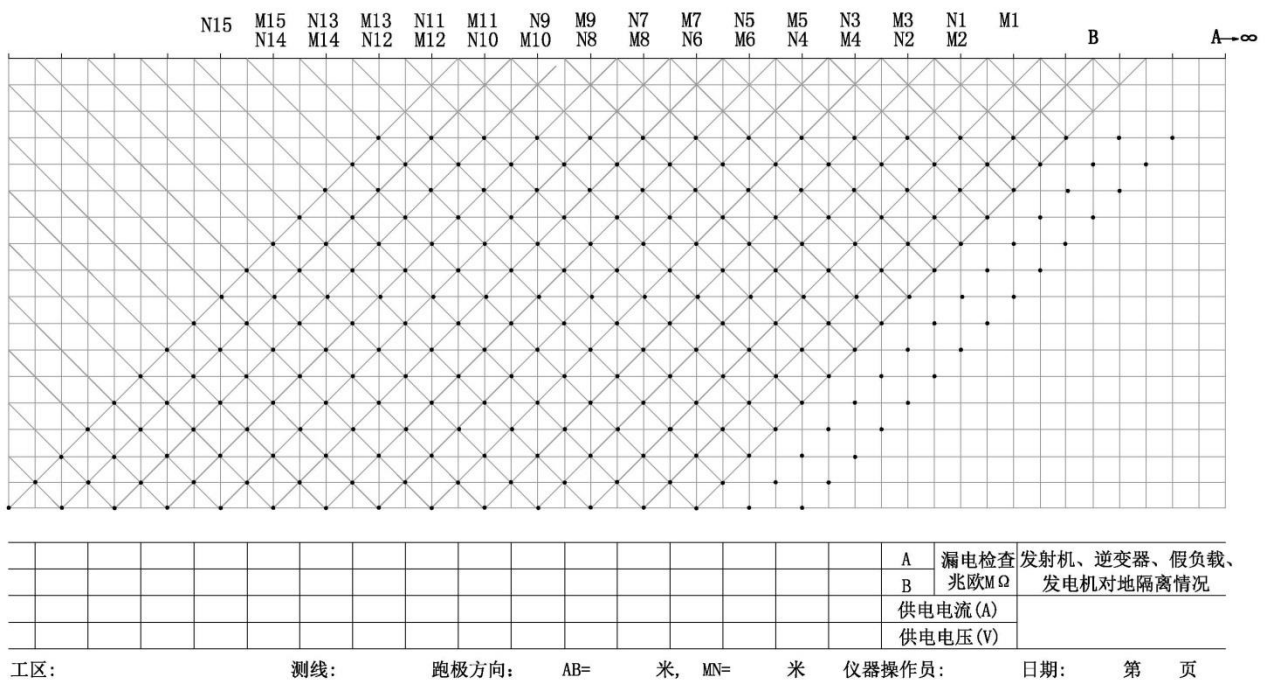


图 E. 7 15 道轴向单极-偶极拟断面窗口测深工作数据野外记录图 (NMB ∞ 方向)

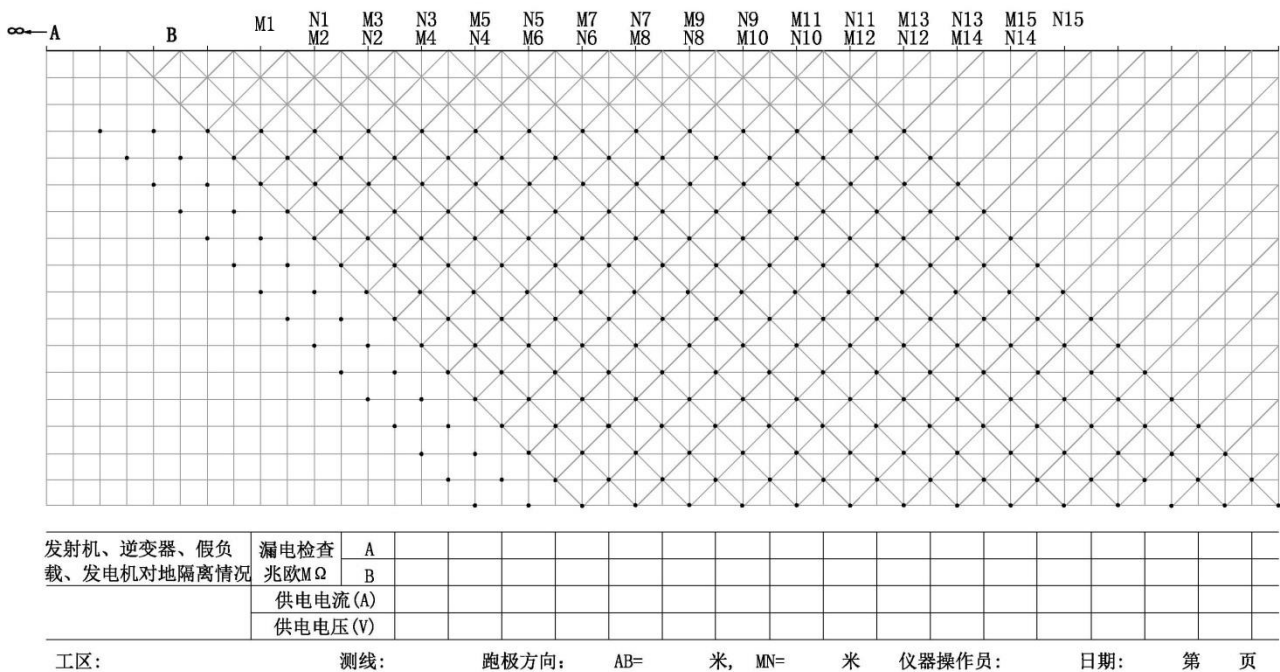


图 E. 8 15 道轴向单极-偶极拟断面窗口测深工作数据野外记录图 (∞ BMN 方向)

附 录 F
(资料性附录)
成果报告的主要内容

F.1 序言

F.1.1 测区概况

简述测区位置、所属行政区划、交通简况、自然地理简况、电噪音干扰源及其它人文干扰体设施等。

F.1.2 工作任务

简述电阻率测深法工作项目来源、性质和任务目的。

F.1.3 任务完成情况

对照任务书和设计分阶段叙述。

F.1.4 取得的主要成果

简述主要工作成果。

F.2 测区地质及电阻率特征

F.2.1 以往工作评价

对与本项目工作任务相关的以往工作进行简评,对比以往项目工作和本项目工作所取得的成果与不足,阐述本项目工作体现出了哪些重要意义。

F.2.2 地质特征

包括地层、构造、岩浆岩、水文地质、矿产等内容。其中,测区内覆盖层的岩性、范围、厚度等特征要写清楚;对典型勘查对象(详见4.1所列)可能的赋存形态、产状、规模、层位、岩性或其围岩的地质特征进行叙述。

F.2.3 电阻率特征

结合地质特征,分别对测区的背景电阻率特征、勘查对象及其围岩和干扰体及其围岩的电阻率特征进行叙述;建立目标体及其围岩的地质——电阻率特征关系和干扰体及其围岩的地质——电阻率特征关系,并分析目标体和干扰体的识别特征。

F.3 工作方法技术与质量评述

F.3.1 测地工作与质量评述

叙述本项目的测地工作各阶段所采用的测量方法、测地仪器、测区测网(或测线)的敷设技术及其施测情况;测地室内资料计算、整理与处理情况;测地仪器校验情况;系统质量检查情况;测地工作质量评价。

F.3.2 电阻率测深数据采集工作与质量评价

电阻率测深仪器校验情况;工作装置、极距等施工参数选择试验情况;采用的漏电检查方法、生产观测方法、记录方法以及采取的抗干扰等质量保证措施;室内资料日验收、计算整理、成果草图编绘和异常认定与检查情况;系统质量检查情况;岩(矿)石电阻率搜集、测定与检查工作情况;电阻率测深数据采集工作整体验收评价结果。

F.3.3 电阻率测深数据处理和反演解释的方法技术与质量评价

说明对观测数据进行过哪些处理以及所使用的方法、软件、给定的条件和参数等;阐述畸变点、电干扰点(区)、人文干扰体异常的剔除处理及合理性;处理后是否出现了假异常,是否保留了有意义的低缓异常等,处理的效果与数据保真性情况。这些处理换人进行检查处理的结果情况。

反演使用的软件、方法、边界和模型参数约束条件、模型参数初始值、收敛条件;反演结果的认

定方法；换人进行检查反演的结果等。

F.4 解释推断

F.4.1 解释推断的方法简述

简述本项目各测区解释推断全过程中采用了哪些方法，比如对比法、标定法、归纳——演绎法、排除法和综合法等。即电阻率异常值与对应的已知岩性块体中的组分和结构的比对分析认定法，电阻率异常（或反演的电性块体）的规模、形态、空间分布等空间几何参数与已知地质体的空间几何特征的比对分析确认法；用哪些已知钻孔、地质断面和出露地质体标定了何种岩性（或地质体）的电阻率值以及反演解释深度；总结归纳了哪些已知岩性（或地质体）的电阻率常见值与变化区间以及何种已知地质断面的视电阻率测深断面（或反演断面）典型模式，将归纳提炼的哪些确定性且共有的规律或模式，怎样使用（或演绎）到对未知地质断面、未知部位与未知地质体的推断解释上；对存在多解性的哪些电阻率异常（或电性块体），综合了何种资料进行了多少种可能的排除性解释推断；综合使用了什么地质规律与地质等其它勘查资料对分散在各剖面各部位的解释推断结果进行合理有效的调整汇集、互连对接与截断封闭，给出全区完整的整体性解释推断。

F.4.2 测区电阻率背景区确定、异常划分与背景区地质解释推断

叙述测区电阻率背景区确定、异常划分和背景区地质解释推断的依据与结果。同一测区的背景区和电阻率异常可能会有多个，结合视电阻率测深断面、反演断面、电阻率物性资料、已知地质断面、地表出露地质体等其它资料给出背景区确定和电阻率异常划分的依据。对推断为同一异常源引起的异常宜划分标注为同一异常并给出理由；对划分到同一异常带（区）内的多个异常阐述划分依据。有关异常划分和电阻率背景区地质解释推断参见本标准“9 异常解释推断”。

F.4.3 测区局部地段电阻率测深资料的地质解释推断

叙述测区局部地段（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电阻率异常的地质解释推断，应有视电阻率测深断面与反演断面的异常描述，含综合电阻率物性资料、已知地质资料、典型已知地质断面的电阻率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。对存在多解性的电阻率异常（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。

异常解释推断的相关要求参见本标准“9 异常解释推断”。

F.4.4 全测区电阻率测深资料的整体性地质解释推断(适合可构成面积性的多剖面测深工作)

叙述测区电阻率测深资料的整体性地质解释推断依据与结果（含推断图件）。根据全区视电阻率测深断面和反演断面（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。重点针对全区性电阻率异常、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。

F.5 结论与建议

F.5.1 结论

对照地质任务，对测深勘查成果给出明确的地质结论并进行评价；对未解决或未肯定的地质问题及原因予以说明；对取得的其它成果与认识给出结论和说明。

F.5.2 建议

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。

F.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) ρ_s 等值线平面图 (仅限于面积性测深工作);
- c) 综合成果平面图 (含推断成果, 仅限于面积性测深工作);
- d) 综合剖面图 (含推断成果)。

参 考 文 献

- [1] 孔广胜、赵经祥、于德武、刘国辉、王俊茹、侯胜利。地球物理勘查术语。中国地质调查局，2013，P22（5.2.3.1.2），P5（2.19.4）。
- [2] 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 P3（5.6）。
- [3] 李 坚。综合物探在南昆线岩溶复查工作中的应用[J]。地质与勘探，1998，05，42-47。
- [4] 崔先文，张国华，罗延钟。电法找岩溶体、温泉热水源和水库坝漏水部位的应用实例[J]。工程地球物理学报，2004，04，318-324 。
- [5] 傅良魁主编。激发极化法。北京，地质出版社，1982，P293-294，P274-275，P275 。
-