ICS 点击此处添加 ICS 号

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0186—XXXX

代替 DZ/T 0186-1997

充电法技术规程

Code of practice for Mise-a-la-masse

（报批稿）

XXXX－XX－XX 发布　　XXXX－XX－XX 实施

中华人民共和国自然资源部　　发布

目　　次

前言 III
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　总则 1
4.1　方法原理 1
4.2　应用前提 2
4.3　有利条件 2
4.4　应用范围 2
5　技术设计 2
5.1　设计前的准备 2
5.2　工作精度 3
5.3　测区与测网 3
5.4　测地精度 3
5.5　观测装置选择 4
5.6　电极位置选择 4
5.7　抗干扰措施 4
5.8　设计书编写与审批 5
6　仪器设备 5
6.1　仪器设备技术指标 5
6.2　仪器设备维护 6
7　野外工作 6
7.1　准备工作 6
7.2　现场试验 7
7.3　测点布设 7
7.4　测站设置、导线敷设和电极布置 8
7.5　漏电检查 8
7.6　技术安全措施 9
7.7　观测方法及技术要求 9
7.8　系统观测质量评价 10
7.9　电阻率参数测定 11
7.10　野外资料验收 11
8　资料整理与图件编制 12
8.1　资料整理 12

8.2 图件编制 12
9 资料解释 13
9.1 基本要求 13
9.2 异常识别 13
9.3 定性解释 14
9.4 半定量解释 14
9.5 定量解释 14
10 报告编写及成果提交 14
10.1 基本要求 14
10.2 报告内容及图件 14
10.3 成果提交 15
附录 A（规范性附录） 充电法野外记录表格 16
附录 B（资料性附录） 充电法观测装置及工作方式 17
附录 C（资料性附录） 利用充电法测定地下水流向、流速方法 20
附录 D（资料性附录） 利用充电法测定堤坝渗漏和水流通道方法 23
附录 E（资料性附录） 利用充电法监测地下注液导体方位方法 27

前　　言

本标准按照GB/T 1.1－2009《标准化工作导则　第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准是在DZ/T 0186－1997《直流充电法技术规程》的基础上，结合充电法的发展现状修订而成。

本标准代替DZ/T 0186－1997《直流充电法技术规程》。与DZ/T 0186－1997相比，除结构调整和编辑性修改外主要技术变化如下：

——增加了1个规范性引用文件（见2）；

——增加了3个术语（见3.1、3.2、3.3）；

——删除了任务书内容的规定（见1997年版4.1.2）；

——增加了抗干扰措施（见5.7）；

——增加了设计书的编写基本要求和设计书的审批（见5.8.1、5.8.3）；

——修改了仪器设备的技术指标（见6.1，1997年版5.2）；

——修改了仪器一致性对比的计算公式（见7.1.2.6，1997年版6.1.2.3）；

——增加了测点布设技术要求（见7.3）；

——修改了导线漏电检查方法（见7.5.3，1997年版6.3.1.2）；

——增加了野外数据采集报告内容（见7.10.1，7.10.2）；

——修改了野外资料验收部分（见7.10.3，1997年版7.1.2）；

——删除了数据整理和成图的部分要求（见1997年版7.3.1.6，7.3.1.7）；

——修改了解释推断部分（见9，1997年版8）；

——修改了充电法野外记录格式（见附录A，1997年版附录A）；

——增加了充电法观测装置及工作方式（见附录B）；

——删除了区分充电法正常场和异常场的方法（见9.2.2，1997年版附录C）；

——增加了利用充电法测定堤坝渗漏和水流通道方法（见附录D）；

——增加了利用充电法监测地下注液导体方位方法（见附录E）。

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（SAT/TC 93）归口。

本标准起草单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所。

本标准主要起草人：孔广胜、米宏泽、邱礼泉、高文利、冯杰、贾定宇、魏中峰。

本标准历次版本的发布情况为：

1997年7月1日首次发布，本次为第一次修订。

充电法技术规程

1 范围

本标准规定了充电法工作的应用范围、适用条件，技术设计、仪器选择与维护、野外作业、野外资料验收、资料处理与解释、成果报告编写等工作的基本要求和方法。

本标准适用于矿产资源勘查及水文地质、工程地质、环境灾害地质调查等领域的充电法工作。

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。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/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

3.1 充电法 Mise-a-la-masse

通过观测和研究相对围岩为良导体的充电电场分布特征，解决地质问题的电法勘查方法。

3.2 归一化电位 normalized potential

供电观测时，M极、固定N极之间的电位差与供电电流之比。

注：用U/I 表示，单位V/A 。

3.3 归一化电位梯度 normalized potential gradient

供电观测时，M极、N极之间的电位差与供电电流之比除以测量极距。

注：用ΔU/(I•MN)表示,单位V/(A•m)。

4 总则

4.1 方法原理

充电法基于地下不同介质的电阻率差异，利用布置在地面或钻孔中良导体露头上的电极，向地下供稳定直流或不会引起明显电磁效应的超低频交流（0.1 Hz～10 Hz）或双极性方波电流或伪随机信号电流等，通过观测电位或电位梯度，研究充电电场分布特征，解决矿产资源勘查及水文地质、工程地质、环境灾害地质调查等领域的地质问题。

4.2 应用前提

应用充电法解决地质问题应具备以下前提条件：

a) 探测目标体有良好的天然露头或人工露头；

b) 探测目标体为良导体，且与围岩（或周围介质）之间存在明显电阻率差异。

4.3 有利条件

下列条件有利于应用充电法取得好的勘查效果：

a) 探测目标体与周围介质的电阻率差异大，两者电阻率均相对稳定；

b) 地形影响和地表不均匀性干扰较小；

c) 接地条件良好，极化稳定；

d) 工区内无明显电干扰。

4.4 应用范围

应用充电法可以解决下列问题：

a) 推断矿体空间形态，查明相邻矿体间连接关系，寻找新的盲矿体；

b) 判断地下水流向、流速；

c) 推断堤坝渗漏部位；

d) 检测油田注水流体动态分布。

5 技术设计

5.1 设计前的准备

5.1.1 资料收集

编写工作设计前，根据工作任务收集以下资料：

a) 测区地理、测绘等资料；

b) 测区以往的物探、化探、地质资料；

c) 可选作充电点的露头、钻孔、坑道等资料；

d) 工区内主要岩（矿）石电阻率等物性资料。

5.1.2 野外踏勘

当搜集的资料不能满足设计编写的要求，需要进行野外踏勘。野外踏勘了解、核实下列内容：

a) 可供利用的山地工程、测绘标志、物探、化探异常标志位置等；

b) 测区范围、可布测线的方向及长度；

c) 可布设充电点、无穷远极的位置及导线敷设路线；

d) 测区地形、地貌、通视和交通运输等工作条件；

e) 测区内电干扰因素。

5.1.3 方法有效性分析

5.1.3.1 设计时，依据本测区、相邻测区或其它类似地区的工作成果、正演计算或模拟试验结果以及野外踏勘的结果，分析充电法及配合其它方法解决地质问题的可能性和能达到的程度。

5.1.3.2　地质条件具备而地球物理前提不明，方法有效性不能确定的，只能作为试验项目。地质条件和地球物理前提均不具备，不可投入充电法工作。

5.2　工作精度

充电法工作精度以均方相对误差或平均绝对误差来衡量，分级列于表1。

表1　充电法工作精度表

精度级别	U（或ΔU）＞2.5 mV		U（或ΔU）≤2.5 mV	
	U/I（或$\Delta U/(I \cdot MN)$）均方相对误差(%)		U（或ΔU)平均绝对误差(mV)	
	有位误差	无位误差	有位误差	无位误差
A	±5	±3	0.2	0.1
B	±10	±6	0.3	0.2

5.3　测区与测网

5.3.1　测区范围应包括探测目标体的可能赋存范围并适当延伸，保证异常的完整性且有一定范围的背景场衬托。

5.3.2　根据工作任务确定测线布置形式。测线布置形式参见附录B。常采用的测线布置形式如下：

a)　推断矿体空间形态、寻找新的盲矿体，采用平行测线布置。测线垂直于探测目标体走向。探测目标体走向难以确定时，宜采用以露头为中心的极形测线布置；

b)　查明相邻矿体是否连接，采用单测线布置。测线穿过矿体上的充电点；

c)　测定地下水流向、流速，采用极形测线布置。参见附录C；

d)　推断堤坝渗漏部位，采用弧形测线或平行测线布置，参见附录D；

e)　检测油田注水流体动态分布，采用环形测线布置，参见附录E。

5.3.3　充电法测线尽量与地质勘探线、典型地质剖面、物化探剖面方向一致或重合。

5.3.4　已有物探资料的测区，应在相关物探异常部位布置测线。

5.3.5　采用平行测线布置进行面积性工作时，测区尽量规则。根据工作任务要求，结合矿体可能的大小及空间形态、环境干扰等因素选择适当的工作比例尺。常用工作比例尺和线距、点距关系见表2。

5.3.6　线号、点号按自西向东增大、自南向北增大的顺序编排。

5.3.7　井下或坑道工作比例尺一般为1:500～1:1 000，点距为1 m～5 m。

表2　工作比例尺与线距、点距关系表

工作比例尺	线　距 m	点　距 m
1：10 000	100	20～50
1：5 000	50	10～20
1：2 000	20	5～10
1：1 000	10	2.5～5

5.4　测地精度

充电法测地工作精度要求列于表3。

表3　充电法测地工作精度表

精度级别	平面图上点位限差 mm	相邻点距误差 %		精测剖面图上相对高程限差 mm	电极排列方向误差 °
		限差	均方相对误差		
A	2.0	±4	±2	1.2	5
B	3.0	±8	±4	1.5	10

5.5　观测装置选择

充电法观测装置形式参见附录B。根据工作任务和要求（如对工作效率、分辨能力、细致程度、压制干扰等方面的要求），选择不同的观测装置和工作方式：

a)　推断矿体空间形态，查明相邻矿体间连接关系，寻找新的盲矿体，可采用电位观测装置或电位梯度观测装置；

b)　判断地下水流向、流速，常采用电位观测装置；

c)　推断堤坝渗漏部位，可采用电位观测装置或电位梯度观测装置；

d)　检测油田注水流体动态分布，常采用电位梯度观测装置；

5.6　电极位置选择

5.6.1　充电点

根据测区的实际情况和工作任务确定充电点位置：

a)　充电点选在地表、坑道或钻孔中探测目标体的露头上。

b)　只要条件允许，在探测目标体的不同部位，选择两个或更多位置分别充电。

c)　为了判断背景场，在探测目标体之外地段进行充电。

5.6.2　“无穷远”极

无穷远”极的布设遵循如下原则：

a)　能够大致确定探测目标体走向时，“无穷远”极宜布设在垂直探测目标体的走向方向上；受地形条件限制的测区，“无穷远”极也可布设在探测目标体的走向方向上；

b)　“无穷远”极到测区的中心的距离，大于测区对角线长度的两倍，一般在1 000 m以上。确定地下水流向、流速等工程中的充电法勘查，按有关要求确定（参见附录C、附录D和附录E）；

c)　“无穷远”极远离变压器、高压线等强干扰源。

5.6.3　固定 *N* 极

固定N极的布置遵循如下原则：

a)　布置在自然电场相对稳定的地段，同时兼顾生产方便；

b)　到测区中心的距离不小于测区对角线长度的两倍，位于“无穷远”供电电极的相反方向上。

5.7　抗干扰措施

对于电干扰强的测区，采取下列措施保证数据采集质量：

a)　尽量选择电位观测装置进行观测；

b)　通过提高供电电压、减小接地电阻，提高信噪比；

c)　采用与干扰源频率差异大的超低频交流或其它非稳定直流形式供电。

5.8 设计书编写与审批

5.8.1 基本要求

根据工作任务编写充电法工作设计书。设计书应满足以下基本要求：

a) 目标任务明确具体、技术要求合理、依据充分；
b) 内容完整、重点突出、文字简明、附图附表齐全；
c) 工作布置得当，具有可操作性。

5.8.2 主要内容

设计书包括下列内容：

a) 工作任务及目的要求；
b) 地理、地质、水文与工程地质、物性条件，以往地质、物探工作简况；
c) 方法有效性及施工条件分析；
d) 数据采集工作方法、工作量、技术要求；
e) 资料处理、解释方法及要求；
f) 人员组成、仪器设备配备和经费预算；
g) 工作部署和安全生产措施；
h) 设计相关附图、附表；
i) 预期工作成果及提交的时间。

5.8.3 设计书审批

5.8.3.1 设计书经编制单位初审，由工作任务下达单位审批。

5.8.3.2 设计书经批准后方可执行。

5.8.3.3 在设计执行过程中如需变更设计，应履行相关手续。未经批准不得擅自修改设计。

5.8.3.4 对于可能对环境影响带来不确定因素的充电法施工方法，开展工作之前获得国家环境保护部门许可。

6 仪器设备

6.1 仪器设备技术指标

6.1.1 仪器

用于充电法观测的仪器应满足下列主要技术指标要求：

a) 输入阻抗：≥ 20 MΩ；
b) 电位测量精度：±1%±1个字；
c) 电流测量精度：±1%±1个字；
d) 极化补偿方式：自动补偿；
e) 极化补偿范围：-1 000 mV ～ +1 000 mV；
f) 工作环境温度：-10 ℃ ～ +50 ℃；
g) 工作环境相对湿度：≤ 90%；
h) 对50 Hz工频抑制：≥ 80 dB。

6.1.2 供电设备

6.1.2.1 根据工作任务具体情况，可采用干电池组、蓄电池直接供电，也可采用交流发电机供电。
6.1.2.2 采用交流发电机作为供电电源，配置相应的调压、整流、滤波及平衡负载等设备，保证输出稳定直流。
6.1.2.3 采用超低频交流电或其它非稳定直流电进行供电，配备专用发送机。

6.1.3 导线

根据施工要求选择电阻小、绝缘性好、拉力强的耐磨导线作为供电导线和测量导线。导线应满足下列主要技术指标要求：

a) 测量导线外皮绝缘电阻：＞5 MΩ/km；
b) 供电导线外皮绝缘电阻：＞2 MΩ/km（当供电电压为500 V 时）；
c) 供电导线耐压：＞1 500 V；
d) 供电导线电流容量：＞15 A；
e) 供电导线和测量导线断力：＞500 N；
f) 井下供电和测量电缆拉力：＞2 000 N；
g) 供电导线电阻：＜17 Ω/km。

6.1.4 电极

6.1.4.1 地面供电采用坚固耐用、导电性能良好的棒状金属电极；在接地电阻大或需大电流供电的地区，宜采用铝箔（板）或金属网作为电极；水上供电采用铝电极。
6.1.4.2 地面测量宜采用不极化电极。不极化电极的漂移应小于±0.1 mV/24 h。成对不极化电极之间的极差应小于 2 mV。
6.1.4.3 井中供电采用刷子电极或管状金属电极。
6.1.4.4 井中测量宜采用铅电极。

6.2 仪器设备维护

6.2.1 仪器发生故障时及时维修，并填写记录、存档。

6.2.2 仪器存放在阴凉、干燥、无腐蚀性气体环境中，并按仪器设备用户手册要求进行维护。

6.2.3 在运输过程中，仪器固定放置在有减震装置的运输箱中，以免颠簸导致仪器部件损坏。
6.2.4 不极化电极长期存放时，将电极底部浸在过饱和盐水中。多个不极化电极放置在一个容器中存放，用导线或电极夹将所有电极接线柱连接在一起。
6.2.5 金属电极防止生锈。

7 野外工作

7.1 准备工作

7.1.1 人员准备

7.1.1.1 配备物探工程师。物探工程师在开工前向每个成员明确岗位职责、分工、工作方法和要求，合理安排野外工作顺序和进度。
7.1.1.2 配备仪器操作员。仪器操作员应熟悉和掌握仪器使用的要求和本规程内容。

7.1.1.3　备齐安全生产防护用品并进行安全生产教育。

7.1.2　仪器设备的准备

7.1.2.1　按设计书要求的数量和规格，配备并调试全部仪器、各类技术装备。
7.1.2.2　供电导线、测量导线应满足 6.1.3 的要求；不极化电极应满足 6.1.4.2 的极差要求
7.1.2.3　仪器的技术指标应满足 6.1.1 要求。
7.1.2.4　仪器按照要求定期标定、检核。合格仪器才能用于野外工作。
7.1.2.5　使用 2 台以上仪器施工，做仪器一致性对比试验。满足一致性要求的仪器才能投入生产。
7.1.2.6　一致性采用均方相对误差衡量，利用公式（1）进行计算。该误差不应大于设计无位误差的 1/2。

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{1}{2m(n-1)}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}u_{ij}^{2}} \times 100\% \quad \cdots\cdots (1)$$

$$u_{ij} = \frac{A_{ij} - \overline{A}}{\overline{A}}$$

式中：
σ ——均方相对误差；
m ——仪器台数；
n ——观测点数；
A_{ij}——归一化电位（或归一化电位梯度）；
$\overline{A}$——归一化电位（或归一化电位梯度）平均值。

7.2　现场试验

7.2.1　对缺少物性资料或方法有效性不明的新区，正式开工之前进行现场试验。
7.2.2　试验场地选择在地质情况比较清楚、具有代表性的区段。
7.2.3　宜沿探测目标体的走向和垂向各作一条电位及电位梯度剖面观测，确定方法的有效性。
7.2.4　在方法有效的前提下，通过对比不同设置下的观测效果，确定正式工作中应采用的观测装置、供电形式、供电电流、充电点位置、测量点距、测量极距等技术参数。

7.3　测点布设

7.3.1　按照设计的点位坐标，确定工区内电极布设位置和测点位置。每个测点埋设木桩，木桩上标明点线号。
7.3.2　测量方法按照 GB/T 18314 和 DZ/T 0153 执行。
7.3.3　采用平行测线布置，线距在设计线距 10%范围内调整。施工困难区可在 20%范围内调整；测点偏移距离不可超过原设计点距的 1/10（或测量极距的 1/5）。
7.3.4　采用其它测线布置，参见附录 B。
7.3.5　测线调整和测点偏移情况在 “定点定线原始记录表”中标明。
7.3.6　对充电法施工有影响的地形、地物、水系、高压线等作记录并绘制草图。
7.3.7　测定布设工作结束后，提交下列测量资料：
a)　定点定线测量原始记录；

b) 定点定线成果表及精度统计；
c) 展点图；
d) 定点定线测量文字说明。

7.4 测站设置、导线敷设和电极布置

7.4.1 测站设置

7.4.1.1 测站宜布置在测区中心附近，地形较为平坦、干燥、通视条件好的地方。但不宜接近充电点，并远离输电线和变压器等设施。
7.4.1.2 测站采取防潮、防雨和放暴晒措施。

7.4.2 导线敷设

7.4.2.1 与测站相连的导线一端，分别固定在不同的绝缘物体上，再接入仪器。
7.4.2.2 导线头作明确标记。4 根导线宜采用不同颜色，专线专用。
7.4.2.3 导线中间接头处连接牢固，并做好绝缘处理。
7.4.2.4 避免测量导线和供电导线互相交错，并保持一定距离。测量导线距供电导线 2 m 以上。
7.4.2.5 测量导线不宜悬空架设。必须架空时，可使用双股绝缘胶合线，并将导线拉紧、固定。
7.4.2.6 测点处于水面时，使用漂浮电缆作为测量导线。当导线漫水而过时，事先向测站报告，并进行漏电检查。
7.4.2.7 测量导线尽可能远离高压输电线和电话线。必须通过时，使该段导线与其垂直，并采取固定措施。
7.4.2.8 收放导线过程中，随时注意导线有无损伤和扭结。发现时及时进行处理。
7.4.2.9 导线必须通过铁路、公路、河道或村庄时，可采取架空、埋土或从轨道下通过等措施，并放置明显标志。必要时，安排专人看守。

7.4.3 电极布置

7.4.3.1 供电电极按设计的地点布置，并保证接地良好。
7.4.3.2 采用多根金属棒状电极供电，电极并联布成圆圈状。相邻单根电极间距离小于入土深度的 2 倍。需要较大供电电流时，可采取增加电极数量、加大入土深度、浇水等措施。
7.4.3.3 坑道或地表矿体露头上充电，可采用先凿眼、再打入棒状电极，保证电极与矿体新鲜面接触，并用盐水或泥浆灌实。也可使用铝箔（板）或金属网电极贴紧矿体并用湿土埋实。
7.4.3.4 钻孔中供电，利用绞车将供电电极放到设计的深度位置。
7.4.3.5 测量电极的接地电阻小于 10 kΩ。
7.4.3.6 电极坑内不可有砾石和杂物。岩石裸露的测点，填以湿土。地表干燥时，提前向坑内浇水。
7.4.3.7 测点处于水面时，使用漂浮电缆。

7.5 漏电检查

7.5.1 野外施工中的漏电检查遵守如下原则：
a) 一个独立测区在开始观测之前和结束观测之后，均对仪器和导线的绝缘性进行系统地检查；
b) 仪器漏电检查，在干旱地区施工时，每月检查一次；在潮湿地区时，每日工作始末均要检查。当绝缘电阻达不到仪器要求时，做干燥处理，直至达到要求方可施工；
c) 在一个野外工作日始末、测线转移、“无穷远”极布设后，对供电系统和测量系统分别进行漏电检查；

d) 在雨季或水系发育、天气潮湿地区作业时，每隔5～10个测点（或5～10个排列）进行一次漏电检查；导线被迫浸水作业时，进行漏电检查；

e) 遇到观测数据不稳或发生畸变时，进行漏电检查。

7.5.2 仪器漏电检查使用万用表测量仪器的接地电阻。

7.5.3 导线漏电检查使用兆欧表测量导线的接地电阻：将待测导线的测站一端接入兆欧表，另一端断开与电极的连接，悬空测量。

7.5.4 供电导线的接地电阻应大于 2 MΩ，测量导线的接地电阻应大于 5 MΩ。

7.5.5 观测过程中发现漏电，应查明原因。改善绝缘性能后，沿测线逐点返回进行重复观测。直至有连续三个测点的观测结果符合观测要求时，方可开始后续观测工作。

7.5.6 对漏电现象、漏电检查及处理结果记录在附录 A“充电法野外记录表格”的备注栏中，作为资料检查、验收的一项重要内容。

7.6 技术安全措施

7.6.1 供电作业人员使用绝缘防护用品，“无穷远”极附近设明显警告标志或委派专人看守。

7.6.2 在使用高压供电的测区，向当地居民宣讲有关防止触电的注意事项。与工作无关的人员不可接近电源、测站及供电电极。

7.6.3 在山区高压输电线下工作时，不可抛抖导线。

7.6.4 仪器操作员在未得到可以供电的信号前，不可供电。

7.6.5 收线、放线、转移和处理供电线路故障时，不可带电操作。

7.6.6 进行漏电检查，作业人员不可触及导线的裸露处。

7.6.7 遇雷雨天气终止野外作业。

7.7 观测方法及技术要求

7.7.1 电极极性规定

7.7.1.1 采用直流供电，全部测区施工过程中，A 极为正极，接到探测目标体上。供电电极的正负极性保持不变；M 极、N 极接线一致。无论电位观测装置还是电位梯度观测装置，都应判断、记录观测值的正负号。

7.7.1.2 采用电位梯度观测装置，沿平行测线观测或沿弧形测线观测时，M 极、N 极之间的相对位置不变：M 极始终在测线的大号端（或小号端）；沿极形测线观测时，M 极处于内侧，靠近中心点（充电点），N 极在外侧；沿环形测线观测时，M 极在内环，N 极在外环。

7.7.2 观测与记录

7.7.2.1 待电场稳定后记录每个测点的电位（或电位梯度）和供电电流。

7.7.2.2 使用现场读数仪器观测时，记录员及时回报操作员数据，进行记录、计算。使用自动记录仪器观测时，逐点及时回放数据，以便了解是否需要重复观测或对异常畸变做现场处理。仪器记录的数据文件及时备份到其它存储介质上。

7.7.2.3 原始记录按照附录 A 规定的格式如实填写，在备注栏记录与观测有关的事项。如测点处地形、地质情况、是否见露头、矿化、蚀变情况等。

7.7.2.4 野外草图上标明测区、测线号、测点号、充电点位和观测日期等。对发现的干扰源在草图上标注相应的位置。

7.7.3 重复观测

7.7.3.1 凡出现下列情况之一者，进行重复观测：

a) 观测过程中非主动的供电中断，恢复供电后重新观测时；

b) 观测过程中发现有明显的干扰现象，难以保证观测精度时；

c) 出现异常的突变点；

d) 与相邻测线对比差异较大或明显无规律的测线段；

e) 测线的接头点。

7.7.3.2 重复观测时保持接地位置不变，改变供电电流。供电电流变化不小于 10%。

7.7.3.3 在参加统计的一组重复观测数据中，归一化电位（或归一化电位梯度）的最大值 A_{max} 和最小值 A_{min} 之差相对于二者的算术平均值 $\overline{A}$ 的相对误差不超过 $\sqrt{2n}\cdot m$，则原观测数据合格。即：

$$\frac{A_{max}-A_{min}}{\overline{A}}\times 100\,\% \leqslant \sqrt{2n}\cdot m \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：

n ——重复观测次数；

m ——设计的无位均方相对误差。

7.7.3.4 在一组重复观测的数据中，误差过大的观测数据可以舍弃，但舍弃数据的数量应少于总重复观测次数的 1/3。重复观测数据的有效值和舍弃值都应在相应的备注栏中注记。

7.7.3.5 以各次合格观测结果的算术平均值作为最终观测结果。

7.7.4 补充观测

7.7.4.1 有意义的异常未圈闭，则扩大观测范围，使异常完整。

7.7.4.2 需要掌握细节的异常和需要定出异常特征点位置的异常，则加密测点观测。如异常的极值点、过零点等。

7.8 系统观测质量评价

7.8.1 按时间均匀、空间均匀的原则，随机抽取部分测点、测段或整条测线进行系统检查观测。

7.8.2 一般遵循同点位、不同时间、不同仪器、不同操作员的原则进行。

7.8.3 检查工作量不少于测区总工作量的 3%，检查点数不得少于 20 个。

7.8.4 系统检查结果的均方相对误差或绝对误差满足达到表 1 的精度为合格。统计误差采用公式（3）或公式（4）计算。

$$\delta = \pm\sqrt{\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}u_i^{\,2}}\times 100\% \quad \cdots\cdots (3)$$

$$u_i = \frac{A_i - A_i'}{\overline{A_i}}$$

或 $$\Delta = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|A_i - A_i'\right| \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：

δ ——均方相对误差；

n ——观测点数；

u_i ——相对误差；

Δ ——绝对误差；

A_i ——原始观测的归一化电位（或归一化电位梯度）；

A_i'——检查观测的归一化电位（或归一化电位梯度）；

$\overline{A_i}$——同一观测点两次观测的归一化电位（或归一化电位梯度）平均值。

7.8.5　当系统检查观测误差超过设计精度要求时，可舍弃部分观测值重新计算，但弃点数不应超过1%。也可增加检查工作量重新计算。但增加至20%，误差仍然不符合要求时，原始观测工作量报废。

7.9　电阻率参数测定

7.9.1　根据具体情况选择露头法或标本法，测定岩（矿）石的电阻率参数。工区内有钻孔时，尽可能进行电阻率测井。

7.9.2　采用露头法时，选择新鲜露头和合理的观测装置参数。

7.9.3　标本采集点均匀分布在测区内天然露头或人工露头（浅井、探槽、矿坑、钻孔）上，所采集的标本在本工区具有代表性，如：

a)　探测目标体；

b)　分布较广的围岩和电阻率参数变化较大的岩（矿）石；

c)　钻孔中探测目标体的顶、底板岩（矿）石及典型地质体。

7.9.4　标本测定数量视需要而定。重点测定的岩（矿）石，每一类不少于30块。

7.9.5　测定时除了记录观测数据之外，同时记录标本的岩性、编号、位置等。对岩芯标本，记录钻井号和取样深度。

7.10　野外资料验收

7.10.1　原始资料

充电法的原始资料包括下列内容：

a)　野外记录和数据光盘（限于自动记录仪器）；

b)　野外数据采集报告。

7.10.2　野外数据采集报告

7.10.2.1　野外数据采集报告包括以下内容：

a)　仪器工作状态(包括校验、精度、性能、工作稳定性等)；

b)　测线布置；

c)　观测装置、工作方式选择；

d)　完成工作量及原始资料质量评价；

e)　定点、定线测量质量；

f)　完成地质任务初步分析；

g)　结论；

h)　附图、附表。

7.10.2.2　野外数据采集报告的附图、附表包括：

a)　实际材料图；

b)　测量展点图；

c)　测量成果及精度表；

d)　工作量统计表；

e)　工作质量评价表。

7.10.3 检查验收

7.10.3.1 每个测点(测线)观测完毕后，操作员对记录数据和曲线进行全面检查、初评。

7.10.3.2 每日工作结束后，野外作业组将原始记录和曲线移交室内组，由室内组进行逐点、逐项检查验收。各种计算的错误率应低于1%。检查的内容包括：

a) 记录表格中的内容是否完整、清晰和有规律性，是否做了必要的标记；
b) 各项技术指标是否达到设计书或本规程的要求；
c) 畸变点、突变点、异常点是否进行了重复观测；
d) 发现的异常是否完整。

7.10.3.3 检查中发现的问题，作如下处理：

a) 达不到质量要求的测点、测线返工；
b) 个别测线段数据质量较差，但对比相邻测点或测线，认为资料仍可利用者，作重点检查，并视情况予以补救。

7.10.3.4 施工单位在数据采集完成之后、收队之前进行原始资料质量检查验收，编写“野外数据采集报告”。

7.10.3.5 资料最终验收由工作任务下达单位进行。

7.10.3.6 野外资料验收合格后，方可结束野外工作。

8 资料整理与图件编制

8.1 资料整理

8.1.1 剔除畸变点等可疑点，为图件编制准备数据。

8.1.2 对观测数据进行点位校正、归一化处理。

8.1.3 对不同观测装置采集的数据进行电位与电位梯度之间转换。

8.2 图件编制

8.2.1 基本要求

8.2.1.1 正式图件的编制使用检查验收合格的数据。

8.2.1.2 每张图件都有明确的目的。图件内容能集中、全面、形象地反映工作成果。

8.2.1.3 图件编制的具体要求、编制方法和编制程序，按照DZ/T 0069的规定执行。

8.2.1.4 图件中使用的技术符号，按照GB/T 14499的规定执行。

8.2.2 图件种类

野外数据采集工作结束后，根据工作任务要求、所采用的观测装置和工作方式，编制相应图件。涉及的图件种类包括：

a) 剖面图；
b) 剖面平面图；
c) 等值线平面图；
d) 综合剖面图；
e) 综合平面图。

8.2.3 几种主要图件的绘制要求

8.2.3.1 剖面平面图

剖面平面图的要求如下：

a) 可根据具体情况需要，改绘为剖面顺序图；
b) 参数比例尺的选择应避免剖面间异常曲线的过多穿插；在同一图上尽量采用同一参数比例尺。如不够醒目，可采用两种参数比例尺，但每一种参数比例尺要占有一定的面积，并加框说明不同参数比例尺的范围；
c) 图上应标明充电点的位置（或投影位置）和异常轴位置。

8.2.3.2 等值线平面图

等值线平面图的要求如下：

a) 等值线平面图比例尺与工作比例尺一致；
b) 等位线间隔大小视观测精度和异常强度而定。等位线过稀的地段，可勾绘辅助等值线，但其醒目程度需次于一般等值线；
c) 图上应标明充电点的位置（或投影位置）。

8.2.3.3 综合剖面图

综合剖面图的要求如下：

a) 图上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（通常要将背景地段由观测误差所引起的曲线跳动压缩在1 mm以内）。异常幅度很大时，为了突出较弱的异常，也可采用对数比例尺；
b) 图上应反映以下内容：地形、地质剖面及相关地质工程；所采用的观测装置、极距、充电点（投影）位置；其它有关的物探、化探工作成果；资料解释成果及提出的验证工程位置。

8.2.3.4 综合平面图

综合平面图的具体要求如下：

a) 图上应包括充电法工作的资料解释成果；
b) 图上应反映充电法与其它物探、化探方法和地质工作成果。突出充电法与其他方法取得一致的结果和不同结果的特点和相互关系。

9 资料解释

9.1 基本要求

9.1.1 充电法资料解释应在充分掌握和分析已有地质、物探资料的基础上，遵循由已知到未知的原则，根据工作任务要求给出地质解释结果。

9.1.2 充电法地质解释结果与地质验证结果差异很大时，应认真分析原因，并依据验证孔揭示的地质体及其实测电阻率值，进行重新分析、解释。依据再解释结果，可重新提出验证意见。

9.1.3 推断矿体空间形态、查明相邻矿体间连接关系、寻找新的盲矿体的充电法资料解释按照异常识别、定性解释、半定量解释、定量解释的流程进行。

9.2 异常识别

9.2.1 在充分了解不同观测装置下背景场形态特征的前提下，识别异常。

9.2.2 根据归一化电位等值线平面分布特征或归一化电位梯度剖面的变化特征区分背景场和异常场。

9.2.3 异常的幅度大于充电法工作精度的 2～3 倍。

9.2.4 同一探测目标体引起的异常，划分为一个异常；不同探测目标体引起的异常分别处理。

9.3 定性解释

9.3.1 在充分分析物性资料、测区地质资料、化探资料、钻探资料和地质规律的基础上，判断异常的起因，区分由探测目标体产生的异常和由干扰因素导致的异常。

9.3.2 干扰因素包括地形、介质不均匀、断层、覆盖层等。

9.3.3 当异常定性解释不能给出确切地质起因时，应具体说明。

9.4 半定量解释

9.4.1 在确认探测目标体引起的异常后，进行半定量解释。

9.4.2 根据工作任务要求，大致确定探测目标体的边界和空间形态。

9.4.3 可采用特征点法、数值模拟法和物理模拟法等。

9.5 定量解释

9.5.1 在定性解释的基础上，对探测目标体引起的异常进行定量解释。

9.5.2 在设计初始模型时，利用半定量解释的结果。

9.5.3 尽量利用已有的地质和物性资料作为约束条件。

9.5.4 定量解释宜采用带地形的 2.5D 或 3D 反演。

10 报告编写及成果提交

10.1 基本要求

10.1.1 按照工作任务和设计书要求编写报告。

10.1.2 报告中所用资料是经验收合格的资料。

10.1.3 报告结构严谨，依据充分，结论客观，重点突出。

10.1.4 报告附图、附表和附件符合规范要求，文字说明清楚简练。

10.2 报告内容及图件

10.2.1 根据工作任务要求，确定报告内容。对于工程类应用的报告，内容可适当精简。

10.2.2 以找矿为目的的工作任务，正文部分一般包括下列内容：

a) 工作任务及任务完成情况；
b) 工区地理、地质（水文地质、工程地质）概况及以往工作程度；
c) 野外工作方法技术和质量评价；
d) 资料整理方法和结果；
e) 异常解释和推断；
f) 结论与建议。

10.2.3 图件包括实际材料图和根据具体的任务要求、采用的观测装置和工作方式所绘制的相应图件。

10.2.4 以找矿为目的、采用平行测线工作方式的工作任务，图件包括：

a) 实际材料图；

b) 归一化电位剖面平面图和（或）归一化电位梯度剖面平面图；

c) 归一化电位等值线平面图和（或）归一化电位梯度等值线平面图；

d) 综合平面图。

10.3 成果提交

10.3.1 由施工单位向任务下达单位提出成果验收申请。

10.3.2 验收合格后，由施工单位向任务下达单位提交成果报告和全部原始资料。

附　录　A
（规范性附录）
充电法野外记录表格

A.1　记录格式 1（现场读数仪器）

工　　区_____　测　　线_____　观测日期_____　天　　气_____
仪器型号_____　仪器编号_____　供电电压_____工作频率_____
测站位置_____　*A* 极位置_____　*B* 极位置_____
□电位观测装置　　固定 *N* 极位置_____　□电位梯度观测装置　*MN* 极距_____

点线号	*I* A	*U* mV	⊿*U* mV	*U/I* mV/A	⊿*U/*（*I*•*MN*） mV/(A•m)	备　注

操作员：　　记录者：　　检查者：

A.2　记录格式 2（自动记录仪器）

工　　区_____　测　　线_____　观测日期_____　天　　气_____
仪器型号_____　仪器编号_____　供电电压_____工作频率_____
测站位置_____　*A* 极位置_____　*B* 极位置_____
□电位观测装置　　固定 *N* 极位置_____　□电位梯度观测装置　*MN* 极距_____

点线号	观测时间	文件名	文件存放路径	备　注

操作员：　　记录者：　　检查者：

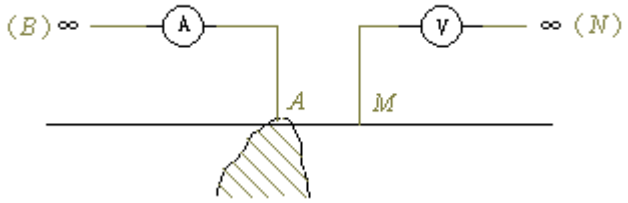
附　录　B
（资料性附录）
充电法观测装置及工作方式

B.1　观测装置

充电法观测装置分为电位观测装置和电位梯度观测装置两种。

B.1.1　电位观测装置

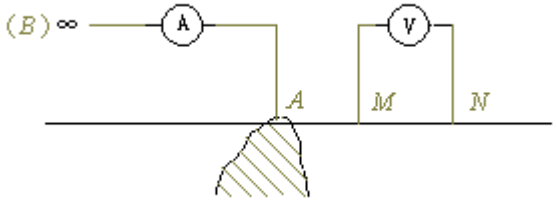
以探测目标体露头为*A*极，*B*极放置于无穷远处，固定*N*极放在另一侧的无穷远处，在露头周围布置测线。在观测过程中，*A*极、*B*极、固定*N*极不动，*M*极沿着测线移动。这种装置形式称为电位观测装置。如图B.1所示。



图B.1　电位观测装置

B.1.2　电位梯度观测装置

以探测目标体露头为*A*极，*B*极放置于无穷远处，在露头周围布置测线。在观测过程中， *A*极、*B*极不动， *M*极和*N*极之间距离及相对位置保持不变，沿着测线同时移动。这种装置形式称为电位梯度观测装置。如图B.2所示。



图B.2　电位梯度观测装置

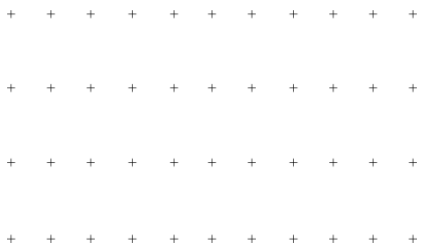
B.2　工作方式

B.2.1　单测线工作方式

穿过探测目标体露头布置一条测线。观测时*M*极或*M*、*N*极沿测线移动，在测点上依次观测，完成测量。这种工作方式称为单测线工作方式。

B.2.2　平行测线工作方式

在探测目标体露头周围布置多条测线，测线之间相互平行。如图B.3所示。图B.3上的十字符号为测点的位置。观测时M极或M、N极沿测线移动，在测点上依次观测，完成测量。这种工作方式称为平行测线工作方式。



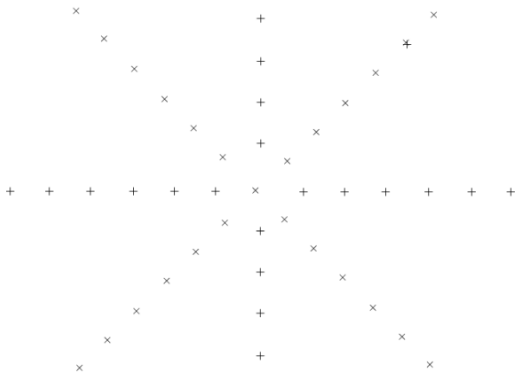
图B.3　平行测线布置

B.2.3　极形测线工作方式

以探测目标体露头为中心在周围布置多条测线。各测线方向不同，相邻测线之间夹角相同。因测线总体呈放射状，又称放射状测线布置。如图B.4所示。

观测时M极或M、N极从中心点开始沿测线移动，在测点上依次观测，完成测量。这种工作方式称为极形测线工作方式。

也可以在一条测线上选定一个测点进行观测，然后在相邻测线上的附近测点观测，寻找电位相同的点。依次确定各测线上具有相同电位的点位，完成测量。这种观测方法称为追踪等位线法，为极形测线工作方式的一个变种。

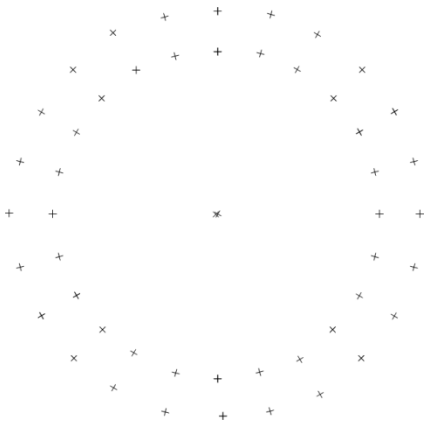


图B.4　极形测线布置

B.2.4　环形测线工作方式

以探测目标体露头为中心，布置两条测线。两条测线呈半径不同的两个同心圆周。两个圆周上测点均匀分布，数目相同。内环上的测点分别在外环测点与探测目标体露头的连线上，如图B.5所示。两个圆周半径之差为测量极距。

观测时，以两个圆周上相对露头方位相同的两个测点为一组，内环测点布置*M*极，外环测点布置*N*极，沿一个方向（顺时针或逆时针方向）进行电位梯度观测，完成测量。这种工作方式称为环形测线工作方式。

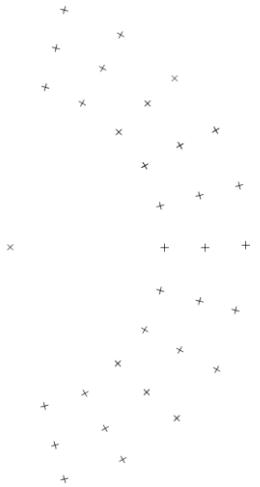


图B.5　环形测线布置

B.2.5　弧形测线工作方式

以探测目标体露头为中心，在中心一侧布置半径不同的多条同心弧形测线。如图B.6所示。

观测时，*M*极或*M*、*N*极沿弧形测线移动，在测点上依次观测，完成测量。这种工作方式称为弧形测线工作方式。弧形测线工作方式是平行测线工作方式的变种。



图B.6　弧形测线布置

附　录　C
（资料性附录）
利用充电法测定地下水流向、流速方法

C.1　基本原理

将食盐溶解于钻孔或水井中，这时溶有食盐的水形成电导率较高的导电带。开始时导电带的中心和井轴一致。随着地下水的流动，导电带将向水流方向扩展，其中心将向地下水流动方向移动。在井中充电时，地表所观测到的等位线也将随时间向水流方向逐渐位移。根据此位移的方向和速度可以判断地下水的流向和流速。

C.2　工作方法

C.2.1　测线布置

以井口为中心，在地表布置 8 条测线（测线互成 45°的 8 个方位），或 12 条测线（互成 30°的 12 个方位）。测线以井口为中心呈放射状分布。

C.2.2　供电电极布置

供电电极 *A* 置于井内含水层深度位置，“无穷远”*B* 极置于地面距井口较远处。*B* 极到井口的距离不小于含水层深度的 20 倍。

C.2.3　测量电极布置

固定 *N* 极布置在事先估计的水流方向相反的方向上，到井口的距离等于含水层的深度。当井内有较长的金属套管时，将固定 *N* 极到井口的距离增加 2～3 倍。测量电极 *M* 沿各条测线移动进行观测，完成测量。

C.2.4　背景场测量

在往井内加盐之前，先观测一次背景场等位线。*M* 极依次沿着各条测线移动，找出各条测线上与固定 *N* 极电位相同的点。测量各条测线上等电位点到井口的距离，按一定比例尺绘制背景等位线图。当井周围介质均匀和各向同性时，背景等位线是以充电点在地表投影为中心的圆；当周围介质不均匀或各向异性时，背景等位线可能是椭圆或其他形状的封闭曲线。

C.2.5　盐化

测出背景等位线后，往井内注入一定数量的浓食盐溶液，同时放入装有食盐的布袋。布袋悬挂在正对待测含水层的深度。记录放入盐水和盐袋的时间 t_1。

在整个观测过程中随时注意检查盐袋，当发现食盐溶解将近完时更换新的盐袋，一般水井或钻井每观测一次约需食盐 15 kg～20 kg。

C.2.6　异常场测量

放入食盐后，隔一定时间（视地下水流速而定，一般为 2 h～3 h；在流速很慢地区，有时需 5 h～

6 h），按前述相同的方法沿各条测线找出新的等位点，并测量各等位点到井口的距离，并记录观测时间t_2 t_2。

在背景等位线图上，以相同比例尺绘制异常等位线。

观测过程中，在等位点位移最大的测线两侧（偏 15°～25°）加点，以便更精确地判定地下水的流向。

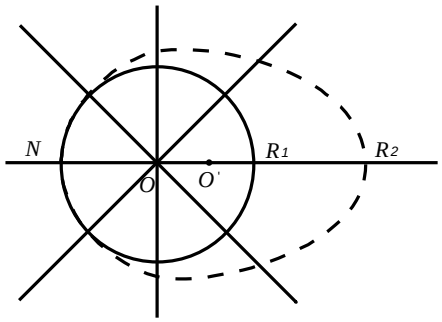
当观测时间较长时，以位移最大的等位点的观测时间为准。

异常等电位线相对于背景场等电位线向外位移最大的方向，即为地下水的流向。当发现固定 N 极未正好位于与流向相反的方向上时（这时常会观察到在某些测线上异常等电位线向内位移），应改变固定 N 极位置，把它沿背景场等位线移到与流向相反的方向上，重新进行观测。

C.3 成果解释

C.3.1 中心点位移法

地下水盐化一定时间后所观测到的异常等电位线通常是向某一方向延长的椭圆或其他形状封闭曲线。异常等电位线相对于背景等电位线偏离最大的方向，为地下水流向。如图 C.1。



图C.1 不同时间等位线图

地下水流速 v 可按异常等电位线中心 O' 相对于背景等电位线中心 O 的偏移速度来决定，即：

$$v=\frac{2\overline{OO'}}{t_2-t_1} \quad \text{(C.1)}$$

也可按沿水流方向上等电位线的移动速度来决定，即：

$$v=\frac{\overline{R_1R_2}}{t_2-t_1} \quad \text{(C.2)}$$

C.3.2 矢量法

在平面图上，以井口为公共原点，绘出沿各个方位测线上异常等电位点相对于背景等电位点的位移矢量。这些矢量的长度等于沿各方位测线异常等电位点与背景等电位点之间的距离，并以自背景等电位点指向异常等电位点的方向为矢量的方向，用作图法求出所有方位位移矢量的总矢量，此矢量所指的方向即为地下水的流向，地下水的流速可由总位移矢量的长度（R）和观测时间间隔求得。

当采用 8 个方位时，流速按：

$$v=\frac{R}{2(t_2-t_1)} \quad \cdots\cdots (C.3)$$

当采用 12 个方位时，流速按：

$$v=\frac{R}{3(t_2-t_1)} \quad \cdots\cdots (C.4)$$

在新区工作时，先用不同工作方法和解释方法进行试验，与已知资料进行对比，选择适当的工作方法和解释方法。本附录所介绍方法只适用于埋藏不深（＜100 m）且矿化很低的含水层，对矿化度较高或埋藏较深的含水层，一般不能取得良好的效果。

附　录　D
（资料性附录）
利用充电法测定堤坝渗漏和水流通道方法

D.1　基本原理

相对堤坝土体、石材或水泥而言，堤坝内的水体及渗漏通道呈现较低的电阻率。当堤坝存在渗漏、裂隙等地下水流通道时，在堤坝外侧渗水点充以稳定电流或伪随机信号电流，在堤坝水体一侧的渗漏位置处将出现电位增高和电流增大，在坝基上也会出现电位变化，即出现异常。因此利用充电法，依据异常特征的形态，可判断堤坝水体一侧的渗漏点或渗漏裂隙位置，查明、追踪渗漏通道的走向、位置。

D.2　工作方法

实际工作中，测线可以布置在堤坝的坝基或其附近的地面上，也可以布置在堤坝水体一侧。在堤坝外出现的出水口（管涌）进行充电，采用电位观测装置和电位梯度观测装置进行观测，推断堤坝和库水水底渗漏位置、岩溶裂隙引起的坝基渗漏位置、地下水流通道和地下暗河地面位置。充电法与其它方法（如自然电场法）配合使用，效果更好。

在水体中进行电流密度测量，推断水库或堤坝内水底出现的漏水口位置和规模的方法，称为流场法。

D.2.1　测线布置

为查明堤坝和库水水底渗漏位置，*A* 极布置在出水口（管涌），“无穷远”*B* 极布置在离查漏区较远的水体一侧。将观测仪器放在船上，探头放置在水底随船而行。进行水平电位梯度观测时，*M* 极、*N* 极方向与测线一致；进行垂直电位梯度观测时，*M* 极在上，*N* 极在下并接近水底。流场法进行电流密度测量。

为查明岩溶裂隙或河床中溶沟未清理彻底引起的坝基渗漏位置，采用平行堤坝岸的走向布置测线。在背水坡和迎水坡均布置平行测线，线距 1 m～5 m，点距 0.5 m～1.0 m。也可采用 1 m×1 m 的测网。

为查明地下水通道、地下暗河和污染水流地面位置，在水流露头或水井布置 *A* 极。以充电点为中心布置线距相等的若干弧形（或直线）测线。在测线上进行电位梯度观测。

D.2.2　供电电极布置

对于充电法：*A* 极置于已知渗出点或疑似渗出位置，若在不明渗出位置条件下可将其放置在堤坝外坡脚处。“无穷远”*B* 极置于与待测堤坝对称一侧或其下游较远处，离测区最近边缘的距离不小于最大测线长度的 10 倍。

对于流场法： *A* 极与上述充电法相同。“无穷远”*B* 极置于距待查区域较远处的水域一侧，以保证测量区域的电流场不受其影响。一般要“无穷远”*B* 极到探测中心点的距离为探测区域长度的 5～6 倍。

D.2.3　测量电极布置

对于充电法，固定 *N* 极布置在与 *A* 极相反方向，距离测区边界为测线长度 2～3 倍处。采用电位

装置观测，*M* 极在水域沿各条测线移动。采用电位梯度装置观测，*M* 极、*N* 极间距一般为两个测点距。水域中观测使用三组正交方向上的 *M* 极、*N* 极。

对于流场法，使用专用水域三维电流密度或垂直电流密度探头。三组正交方向上的 *M* 极、*N* 极，其间距固定。

D.2.4 观测装置

陆地充电法电位观测和电位梯度观测，与常规充电法测量相同。

水域充电法电位观测和电位梯度观测，重点测量垂直梯度和水平梯度。均采用水中不极化电极，既可在水底测量，也可在水下固定深度上观测。要求导线绝缘状态良好。

对于异常变化较大区段要适当加密测点。

对每一测点均要记录观测点点位、电位 U 或电位梯度值 ΔU 、充电电流强度 I 。并计算归一化电位或归一化电位梯度。将归一化电位或归一化电位梯度绘制出相应的剖面平面图和等值线平面图。

流场法则沿事先布置的测线，连续（连续扫描速度一般为 2 m/s）或逐点观测，其探头一般距水底 5 cm～10 cm，接收机观测并记录读数，每个测点上重复观测 2～3 次，读数应稳定。由于接收探头中的 *M* 极、*N* 极间距固定，水体的导电率稳定，则观测到的电位差用电流归一化后可视为电流密度。将观测到的电流密度绘制成剖面平面图或等值线平面图。重点测量电流密度垂直分量。

D.3 仪器设备

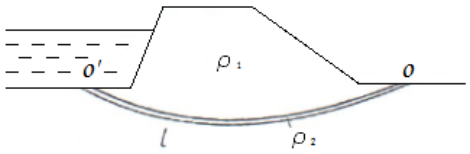
充电法使用一般电法勘查的供电电源、发送机和接收机。水域观测使用特制电极，以适合于水中使用。

流场法发送部分包括专用高压供电电源、供电电极、供电导线等。接收部分包括专用接收机和测量探头。可选配件有 *GPS* 定位系统、计算机、对讲机、快艇、专用汽车等。

D.4 资料解释

D.4.1 查明堤坝和库水水底渗漏位置

图 D.1 为堤坝底部渗漏模型示意图。



图D.1 堤坝底部渗漏模型示意图

从水底漏水口 *O'*到堤坝外出水口 *O* 间的漏水通道 l ，电阻率为 ρ_2 。坝基的电阻率为 ρ_1 。漏水通道相对堤坝为低阻体。

图 D.2 为存在漏水通道时，在出水口 *O* 为充电，水底中心测线上采用电位、垂直电位梯度和水平电位梯度观测装置进行观测获得的归一化电位曲线。图 D.2 为示意图。

图中 *(a)*为采用电位观测装置； *(b)*为采用水平电位梯度观测装置； *(c)*为采用垂直电位梯度观测装置。图中曲线 1 反映水层为巨厚时的曲线；曲线 2 反映水层较薄时的曲线。

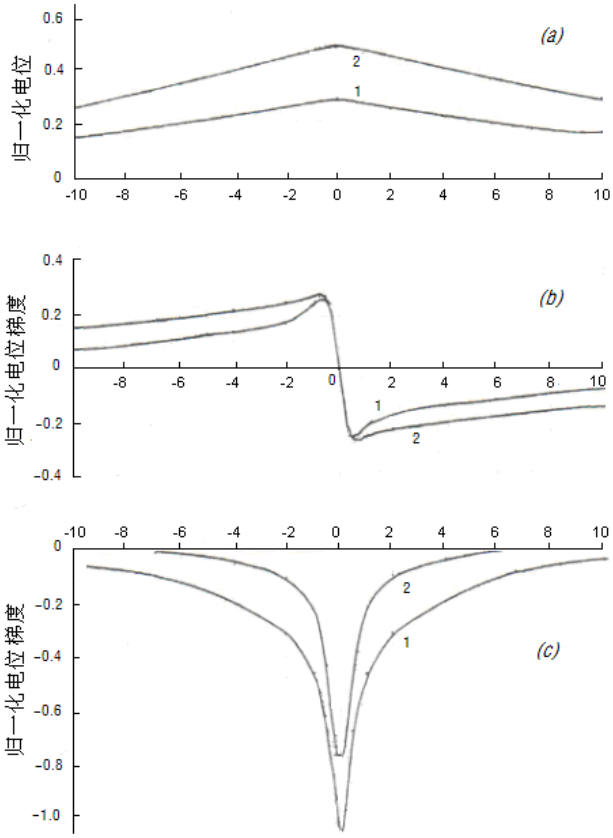
图 D.2-*(a)*中的曲线在漏水口处出现极大值，但整条曲线表现平缓。当水层较薄时的归一化电位

曲线比水层巨厚时有较大抬高，对异常形状没有什么影响。

图 D.2-*(b)*中曲线在漏水口附近由正变负出现零值点。同样，当水层较薄时的归一化电位曲线在幅值上比水层巨厚时有较大抬高，对异常形状没有什么影响。

图 D.2-*(c)*中曲线在漏水口处出现尖锐的负极值。当水层较薄时的垂直电位梯度曲线在幅值上比水层巨厚时有较大降低（这是因为电源与其镜像的梯度方向相反），极值异常形状更为狭窄，但对异常形状没有明显影响。

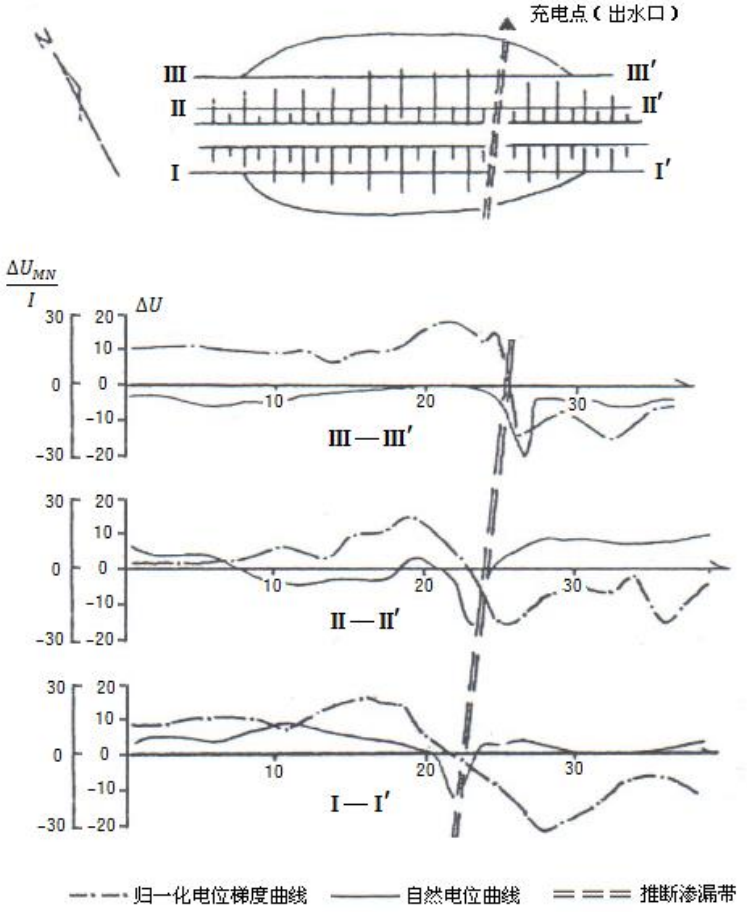
异常的确定以大于或等于背景值的 3 倍为标准。



图D.2　水底中心测线上不同观测装置归一化曲线

D.4.2　查明坝基渗漏、地下水通道等地面位置

查明岩溶裂隙或河床中溶沟未清理彻底引起的坝基渗漏位置，查明地下水通道、地下暗河和污染水流地面位置等，利用剖面平面图进行解释。剖面平面图上归一化电位曲线极大值点连线和归一化电位梯度曲线零值点连线，基本上对应了渗漏地段的地面位置、走向。见图 D.3。



图D.3　探查坝基渗漏带剖面平面图

D.4.3　流场法渗漏点的判断

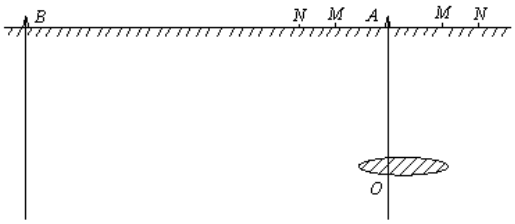
在无渗漏地段的水体中电流场分布均匀，可视为正常电流密度分布场。因在堤坝渗漏通道的渗漏口处电流密度最大，可利用电流密度异常圈定渗漏入口位置，其异常及其异常范围的确定是以大于等于正常电流密度值的 3 倍为标准。

附　录　E
（资料性附录）
利用充电法监测地下注液导体方位方法

E.1　基本原理

油田开采中进行压裂和注液，煤成气和某些水工建筑工程中需要向地层中注水。所注液体形成新地下水体。如果注水时放入了食盐等电解质，这个水体就成为导电水体。这个导电水体的形状和规模随时间而变化，称为“动态导体”。利用充电法在注水钻孔中充电，在钻孔周围布置电极，通过观测不同时间、不同方位上电位差变化，可以监测压裂和注液的效果。

图 E.1 为充电法观测动态导体地电模型示意图。在钻孔 *A* 和钻孔 *B* 构成的垂直剖面上，工作钻孔 *A* 的套管作为 *A* 极，钻孔 *B* 作为“无穷远”极。在钻孔 *A* 中的 *O* 点处注入盐水，在钻孔 *A* 周围采用环形测线布置。每一对测量电极 *M* 极、*N* 极与钻孔井口在一条直线上，*M* 极靠近井口。在注入盐水之前和注入盐水之后，分别观测所有方位上 *M* 极、*N* 极之间的电位差。通过观测导电水体生成前后电场变化，确定水体方位。在有利条件下估计水体规模和产状。



图E.1　充电法观测动态导体地电模型剖面图

E.2　野外观测

E.2.1　布极形式

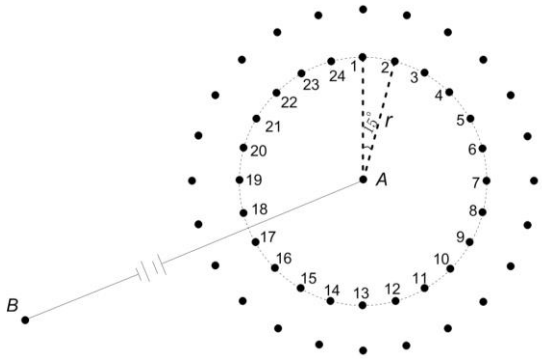
图 E.2 是利用充电法监测地下注液导体方位方法的野外布置图。

在以钻孔 *A* 孔口为中心、*r* 为半径的环线上等角度间隔（ 15° ）布置 24 个测量电极，作为 *M* 极。沿径向方向布置 24 个测量电极，作为 *N* 极。每一对 *M* 极和 *N* 极在一条直线上，*M* 极、*N* 极之间等距离。

环线半径 *r* 为注液点深度的 1/6～1/10。测量极距 *MN* 为环线半径 *r* 的 1/5～1/2。

24 对 *M* 极、*N* 极为一组，通过电缆与接收系统（包括转换开关）连接。为了增强观测效果，可布设不同环线半径的几组电极。

供电系统通过导线连接钻孔 *A* 的套管和钻孔 *B* 的套管。供电导线尽量远离测量导线。必须相交时要垂直交叉。



图E.2　野外工作布置图

E.2.2　观测方法

注水压裂前供电并观测各个方向上 *M* 极、*N* 极间的电位差。压裂后以同样装置供电并观测 1 次至数次。供电电极 *A* 的极性为正（＋）、“无穷远”极为负（－）。在观测各点电位差同时，观测相应的供电电流。计算归一化电位差。

为了保证测量精度，预先布置好所有测量电极和各道测量导线，并且在整个观测过程中保持固定不动。

尽量采用不极化电极。如用铜电极，在自然电位稳定后再开始工作。

为了保证质量可选择第 2 个“无穷远”极。理论证明，不同“无穷远”极的异常曲线形状相同，仅幅值有较小差异。为了突出异常，可以将两条曲线叠加，作为解释用曲线。

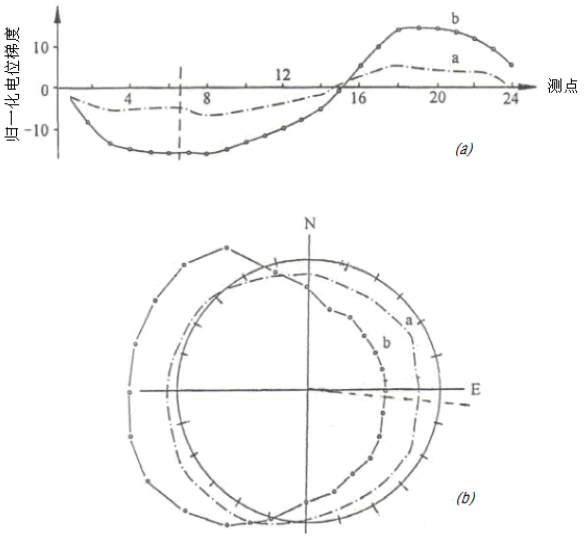
通常按每 100 m^3 压裂液掺入 3 t 食盐，可使裂缝与围岩介质的电性差异接近 2 个级次。

E.3　资料解释

观测结果采用两种方式作图：一是直角坐标法，见图 E.3-*(a)*：横坐标表示观测点（或角度），纵坐标表示注液前后的归一化电位梯度。二是环行图法，见图 E.3-*(b)*：将横轴弯曲成圆环形，使其首尾相接。前者可突出曲线特征，后者可突出曲线形象。二者兼用有助于解释推断。

动态导体相对注液点的对称程度是非常重要的。不对称动态导体，异常明显；动态导体的对称程度越高，异常则越弱。

确定导体方位：一般归一化电位梯度曲线在 0°～360° 周期内，出现一个极大值和一个极小值。极小值点对应了导体的主方位。



图E.3　归一化电位梯度异常图