目　录

绪　言 …… (1)
第一章　电阻率剖面法 …… (8)
一、技术设计 …… (8)
（一）电剖面法的工作布置 …… (8)
（二）资料的收集与分析利用 …… (9)
（三）方法有效性与技术试验 …… (11)
（四）视电阻率参数观测精度 …… (13)
（五）测区范围与测网布置 …… (15)
（六）测地精度与测网联测 …… (17)
（七）装置的电极距选择原则 …… (19)
（八）岩矿电阻率与模拟实验 …… (22)
二、野外作业 …… (23)
（一）野外作业准备 …… (23)
（二）野外作业技术 …… (24)
1. 测站布置 …… (24)
2. 导线敷设 …… (25)
3. 电极接地 …… (27)
4. 漏电检查 …… (28)
5. 测站观测 …… (29)
6. 数据记录与野外草图 …… (31)
7. 困难条件下的观测和处理 …… (31)
（三）观测结果的质检评价 …… (35)
（四）技术保安 …… (37)

（五）岩矿电阻率测定……（38）
三、资料的整理和图示 ……（40）
（一）原始资料及其检查处理……（40）
（二）原始资料的编录归档……（42）
（三）图件编绘……（43）
第二章 电阻率测深法 ……（47）
一、技术设计 ……（47）
（一）电测深法的工作布置……（47）
（二）资料的收集与分析利用……（48）
（三）方法有效性与技术试验……（51）
（四）视电阻率参数的观测精度……（51）
（五）测区范围与测网布置……（52）
（六）测地精度与测网联测……（53）
（七）电极距与电极排列方向……（55）
（八）岩矿电阻率与模拟实验……（57）
二、野外作业 ……（58）
（一）野外作业准备……（58）
（二）野外作业技术……（58）
1. 测深点位的布设与施工 ……（58）
2. 测站布置与导线敷设 ……（58）
3. 电极接地 ……（59）
4. 漏电检查 ……（60）
5. 测站观测 ……（61）
6. 数据记录与野外草图 ……（62）
7. 困难条件下的观测和处理 ……（62）
（三）观测结果的质检评价 ……（63）
（四）技术保安 ……（65）
（五）岩矿电阻率测定 ……（65）

三、资料的整理和图示 …… (65)
(一) 原始资料及其检查处理 …… (65)
(二) 原始资料的编录归档 …… (65)
(三) 图件编绘 …… (6)
第三章 充电法 …… (71)
一、技术设计 …… (71)
(一) 充电法的工作布置 …… (71)
(二) 资料的收集与分析利用 …… (71)
(三) 电位及梯度参数的观测精度 …… (72)
(四) 测区范围与测网布置 …… (73)
(五) 测量方式与充电点布设 …… (76)
(六) 电性参数与模拟实验 …… (77)
二、野外作业 …… (77)
(一) 野外作业准备 …… (77)
(二) 野外作业技术 …… (77)
1. 测站布置 …… (77)
2. 导线敷设 …… (77)
3. 电极接地 …… (77)
4. 漏电检查 …… (79)
5. 测站观测 …… (79)
6. 数据记录与野外草图 …… (80)
7. 困难条件下的观测和处理 …… (81)
(三) 观测结果的质检评价 …… (81)
(四) 技术保安 …… (82)
(五) 电性参数测定 …… (82)
三、资料的整理和图示 …… (83)
(一) 原始资料及其检查处理 …… (83)
(二) 原始资料的编录归档 …… (83)

（三）图件编绘 ……（83）
第四章　自然电场法 ……（86）
一、技术设计 ……（86）
（一）自然电场法的工作布置 ……（86）
（二）资料的收集与分析利用 ……（86）
（三）方法有效性与技术试验 ……（87）
（四）电位及梯度参数的观测精度 ……（87）
（五）测区范围与测网布置 ……（89）
（六）基点的选择与联测
（七）测量方式与测量电极距
（八）岩矿电性参数
二、野外作业 ……（92）
（一）野外作业准备 ……（92）
（二）野外作业技术 ……（92）
1．测站布置 ……（92）
2．导线敷设 ……（92）
3．电极接地 ……（93）
4．漏电检查 ……（94）
5．测站观测 ……（94）
6．数据记录与野外草图 ……（95）
7．困难条件下的观测和处理 ……（95）
（三）观测结果的质检评价 ……（95）
（四）技术保安 ……（96）
（五）岩矿电性参数测定 ……（96）
三、资料的整理和图示 ……（97）
（一）原始资料及其检查处理 ……（97）
（二）原始资料的编录归档 ……（98）
（三）图件编绘 ……（98）

附录一　直流电法的仪器与技术装备 …… (100)
附录二　DDC-2A电子自动补偿仪的故障与维修 … (108)
附录三　极化继电器的检查与调节 …… (111)
附录四　兼装有电话放大器的直流电法控制面板 … (115)
附录五　常用的电源、导线及电极的类型与规格 …… (119)
附录六　直流电法的装置形式、K值计算式及K值表 …… (125)
附录七　直流电法野外记录本格式 …… (152)
附录八　岩矿标本的自然电场与自然跳跃电位的测定方法 …… (155)
附录九　直流电法模拟实验 …… (158)
附录十　利用充电法确定地下水的流速、流向 …… (175)
附录十一　五极纵轴电测深法 …… (179)
附录十二　不极化电极的制作 …… (194)
附录十三　自然电场法基点联测方法 …… (196)
附录十四　《直流电法工作规范》编写说明 …… (199)

绪　言

一

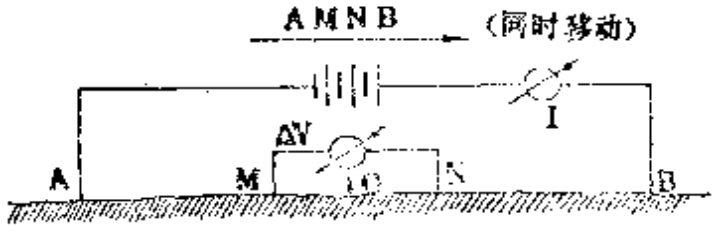
直流电法（稳定场法）是以地下岩矿的导电性、电化学活动性等电性差异为基础，通过观测和研究人工或天然直流电场的分布规律，借以达到找矿或其他地质目的的一组地球物理探测方法。

直流电法主要包括电阻率剖面法、电阻率测深法、充电法和自然电场法。

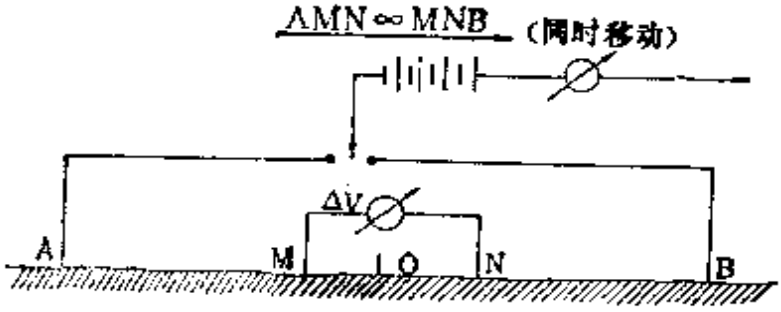
1．电阻率剖面法（简称电剖面法）：以地下不同岩矿的电阻率差异为基础，人工建立地下电流场，按某种极距的装置形式（电极排列方式）沿测线逐点观测；通过观测和研究某一深度范围内岩矿沿水平方向的空间电阻率变化，解决某些地质问题。

依装置形式，电剖面法有如下主要变种：

（1）对称四极剖面装置（$AMNB$）

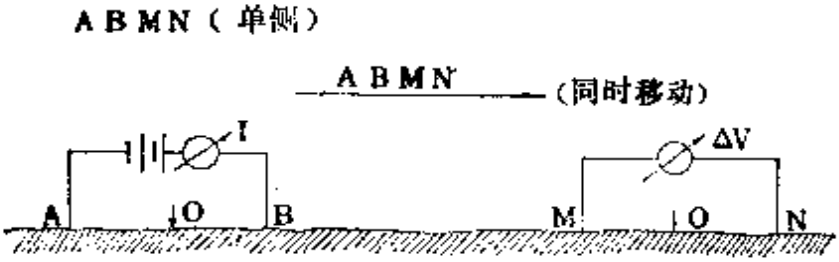


(2) 联合剖面装置（$AMN\infty MNB$）

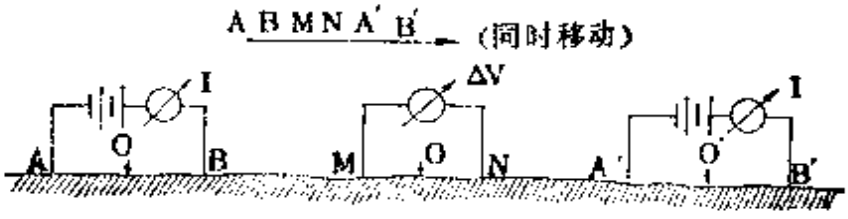


(3) 偶极剖面装置（$ABMN$或$ABMNA'B'$）

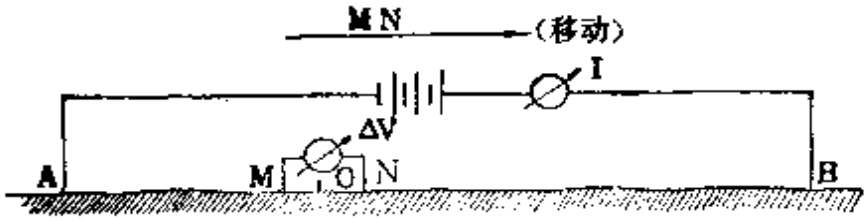
a. $ABMN$（单侧）



b. $ABMNA'B'$（双侧）



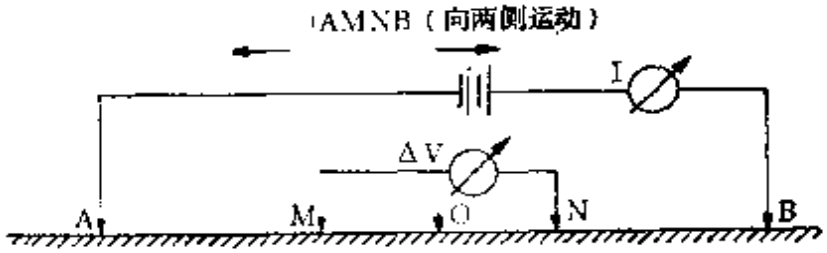
(4) 中间梯度装置（A—MN—B）



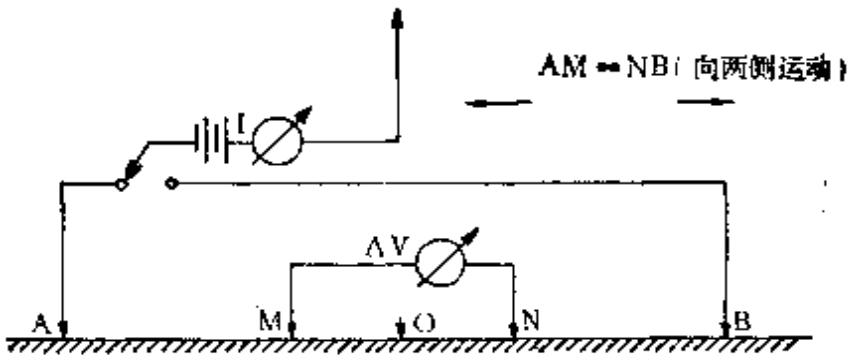
2. 电阻率测深法(简称电测深法)：以地下不同岩矿的电阻率差异为基础，建立人工电流场，并以一定的极距系列观测同一测点在不同深度处岩矿的宏观电阻率；通过研究沿垂深方向的地电断面，查明地质构造或者解决与深度有关的地质问题。

依装置形式，电测深法有如下变种：

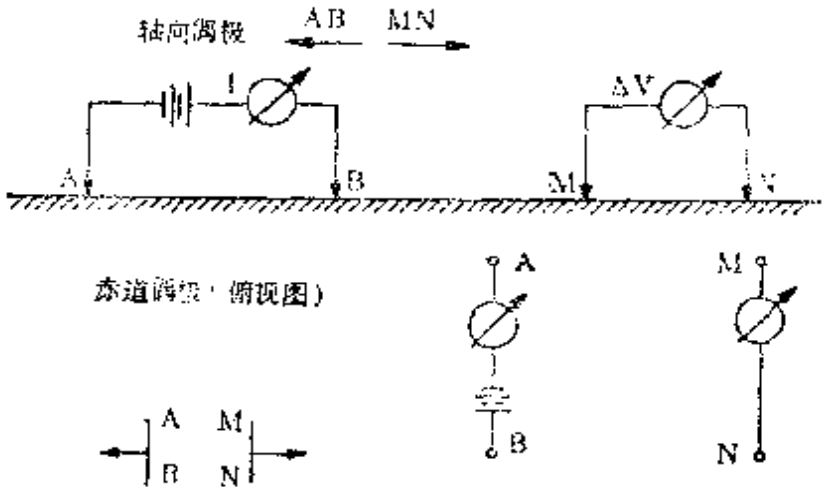
(1) 对称四极电测深



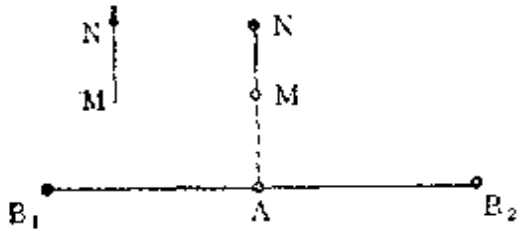
(2) 三极电测深



（3）偶极电测深



（4）五极纵轴电测深（俯视图）



3．充电法：在金属矿体或人工良导体上设置充电点供电（另一电极在“无穷远”接地），使之成为充电体；通过观测和研究该充电地质体的电场分布，解决与充电地质体有关的地质问题。

按观测方式，充电法可分为：

（1）电位测量；

（2）电位梯度测量；

（3）等位线追索测量。

4．自然电场法：直接利用地表下有限深度（几十米）范围内岩矿及其周围溶液之间复杂的天然物理化学作用或地

下水渗滤作用所产生的恒稳电流场；通过观测和研究这种天然电流场的分布规律，解决有关地质问题。

自然电场法不包括研究地下天然交变电场的大地电流法和大地电磁法。

按观测方式，自然电场法可分为

（1）电位测量；

（2）电位梯度测量。

二

直流电法的应用较为广泛，不同的装置形式有着不同的应用对象。现将各种方法、装置可能解决的地质问题分述如下：

1．对称四极剖面法，可用来探索导电性有差异的不同岩层接触界面的起伏情况（如追索某电性标志层组成的背斜或向斜构造，寻找盐丘，探索浮土之下的基岩、古河床等）；追索导电性有差异的陡立岩层接触界面；寻找和追索含水或被泥质充填的宽大破碎带以及岩溶裂隙等；寻找或者追索存在明显电性标志的断层并确定其性质；寻找或者追索具有较大规模的良导性金属矿体。

2．联合剖面法和偶极剖面法，常用来寻找和追索相对于围岩为低（高）电阻率的陡产状地质体（如矿体、岩脉、岩层、破碎带、岩溶洞等）；详细追索导电性有差异的陡立岩层接触界面；粗略计算上述地质体的规模和产状要素。

3．中间梯度装置，可寻找和追索相对于围岩为高电阻率的陡产状岩矿层或岩脉，并粗略计算其倾斜和埋深；有时也用来追索导电性有差异的陡立岩层接触界面。

4. 电测深法，常应用于区域或局部地质构造调查，探测结晶基底或断面中某些地层埋藏深度的变化，查明凹陷、隆起、褶皱、断裂等地质构造形式。

在水文及工程地质调查中，电测深法常用来解决水文地质构造及地下水含水层分布问题，圈定淡水或盐水的层位及空间位置；查明岩溶裂隙及破碎带的情况；探测滑坡面及其含水性质。在矿产资源调查中，通过对含矿层或与之有关的地层埋藏状况的了解，达到探明含油气构造、含煤地层以及盐矿与粘土矿等沉积矿床的目的。

电测深法有时也用来评价多金属矿和非金属矿的规模和分布范围。例如，通过测深剖面对比，了解矿床沿走向的埋深与赋存变化；通过视电阻率垂直断面图，了解矿床截面形状及空间分布；同时对测区内的倾斜接触面、非水平岩层也可提出定性资料。

5. 充电法，常配合地质勘探圈定良导性金属矿体的分布范围，确定产状要素，寻找盲矿体，以及了解矿体之间的连通关系。

在水文调查中，充电法常用来进行地下水的专门研究。

6. 自然电场法，主要用来寻找金属硫化矿、无烟煤、石墨等电子导电矿体。此外，它对于地质填图、热田勘查、确定地下水补给关系等地质问题也能提供有意义的资料。

三

同其他物探方法一样，直流电法在具体应用上存在局限性，即条件性和多解性。

1. 条件性。当我们采用某种直流电法来达到某项地质

目的时，首先应考虑探测对象是否具备必需的地质、地球物理前提和合适的野外施工条件；其次还应考虑当观测中遇到最大干扰电平时能否得到合乎精度的可分辨异常。

2. 多解性。具有相同形态特征的电测异常曲线可以由多种地质原因引起；同一地质原因在不同条件下反映的电测曲线，在形态上又可能是千差万别的。

鉴于直流电法在应用时受条件限制，在地质解释中又有多解的可能，故具体应用时应该注意如下几点：

(1) 通过研究和实验，正确选择工作方法技术；

(2) 尽可能利用所有已知的地球物理、地球化学特点，对地质问题进行综合物探方法研究；

(3) 运用探矿工程及时查证异常性质；结合实际地质情况对异常进行再推断；总结经验，以期指导未知区工作。

第一章　电阻率剖面法

一、技　术　设　计

（一）电剖面法的工作布置

§1.1　为使探测对象在观测结果中得到明显反映，电剖面法的工作设计必须满足下列地球物理前提：

（1）探测对象与围岩或其他地质体之间应存在明显的电阻率差异；

（2）探测对象相对其埋深具有一定的规模；

（3）探测对象的电测异常能从干扰背景中清晰分辨。

§1.2　对于能够满足§1.1中地球物理前提的测区，电剖面法可用来寻找或追索某些地质体并定性地解决某些地质问题；当条件极为有利时，可以对被探测地质体进行半定量解释，如估算地质体埋深、长度、厚度、倾向等。

在地质条件或地球物理前提不具备的地区，不得布置电剖面法工作；在地质条件具备而地球物理前提不明、方法有效性不肯定的测区，只能将电剖面法作为试验项目。

§1.3　遇下列复杂条件时，一般不应设计电剖面法工作：

（1）地形切割剧烈，悬崖峭壁，河网发育以及通行困难的地区；

(2) 覆盖层厚度大，电阻率低，形成低电阻屏蔽干扰而无法保证可靠观测信号的地区；

(3) 无法避免或无法消除工业游散电流干扰的地区；

(4) 接地电阻过大，又无法采取一般措施改善接地条件的地区，如大面积砾石分布区、风化石堆积区、表土冰冻达1～2米的冻土地带。

（二）资料收集与分析利用

§1.4 在着手编制电剖面法工作设计时，既要重点收集和深入分析与工作任务及电剖面方法技术直接有关的资料；也要收集和了解测区及其外围可能与工作有关的其他资料。做到普遍规律、传统经验和测区特点相结合，以便正确布置和处理电剖面法工作布局、方法技术以及和他种探测工作的配合关系。

在分析利用所收集的资料时，既要尊重前人成果，借鉴其见解与经验教训，也要注意资料编制的时间和背景，分析其精确性和可靠程度。

§1.5 在着手编制电剖面法工作设计时，收集和分析测区的地形、地貌，水系分布和土壤植被的发育程度，对设计测区测网有重要意义。其中特别应注意地形走向、起伏幅度、坡度大小以及水系、沼泽、丛林、村落、流沙、陡坎、风化石流的分布状况，估计它们对野外观测的影响程度。

此外，还应注意分析地区性气象资料，以便妥善安排野外作业计划。

§1.6 在着手编制电剖面法工作设计时，应收集和分析下列地质资料：

(1) 研究地层构造时，应注意地层接触关系；地

质填图时，应按电性差异选择目的层，并注意其厚度变化及与上下地层的关系；直接找矿时，应注意含矿层位、可能的干扰体所在层位及其分布规律。

收集地层资料时，还应注意收集有关第四纪覆盖层分布和厚度的资料。

(2) 岩浆岩。研究构造时，应注意岩浆活动对构造的作用，岩浆岩基底与构造形态的关系；地质填图时应注意接触带、蚀变带及各种岩脉的分布形态、空间位置和产状要素；直接找矿时应注意与成矿有关的侵入体或脉岩，分析它们能否作为找矿标志。

(3) 构造。当电剖面工作只研究构造时，应注意分析构造的形态、走向、规模、空间位置及产状要素等有关资料。应选择具有明显电阻率差异的“客体”作为电性标志，并分析该“客体”是否对构造的形态、规模、产状等确有指示意义。

在直接找矿或者地质填图时应重视：构造形态与成矿的关系、受构造控制的电性标志层或矿体的空间分布、断层或破碎带的低阻反映对分辨矿与非矿异常的干扰。

(4) 矿床成因及矿体围岩之间的关系。包括控矿地质因素、矿体赋存条件、围岩性质，矿石类型、矿石品位、矿物成分、结构构造，矿体空间分布及产状要素等。其中应特别注意岩矿的孔隙度，片理、层理或节理的发育程度，风化蚀变程度，良导性矿物的连通情况。

§1.7 在着手编制电剖面法工作设计时，应收集和分析下列水文地质资料：

(1) 测区中地下水类型，可能影响电剖面法工作的含水层埋深、厚度、分布与运动规律；

（2）测区中断层及断层破碎带的含水性；

（3）测区中岩溶裂隙及溶洞的发育情况；

（4）各种岩石和矿石的孔隙度及其含水性。

§1.8 在着手编制电剖面法工作设计时，应收集和分析下列物探资料：

（1）拟设计测区及其附近地区被前人确定为有效的物探成果资料；

（2）拟设计测区及其附近地区以往电性参数资料，包括各种岩石和矿石的电阻率及其统计曲线、地质物性综合柱状图、物探综合剖面、井旁电测深或电测井资料、电性层分层资料等；

（3）经前人工作实践被肯定为有效的方法技术资料，如收放线条件、电极接地条件、测地工作中的通视条件、电测干扰因素的种类和分布、困难条件下的观测技术、引起漏电的种种原因、露头和工程的分布以及岩矿风化程度等；

§1.9 在着手编制电剖面法工作设计时，应收集和分析测区及附近地区的测绘资料。它包括与工作有关比例尺的地形图或航空照片、三角点与水准点的大地座标资料、控制联测资料。另外，必须分析它们的工作精度，分析它们在布置测区测网时可能被利用的程度，并以此为依据来设计测地（测地在此指为物探工作需要而进行的各类测量定点工作，下同）工作，预测地形对测地工作特别是对电测工作的影响。

（三）方法有效性与技术试验

§1.10 在电剖面法工作的技术设计中，必须事先分析方法的有效性。分析方法有效性时至少应根据下列资料：

(1) 邻区或条件类似的其他地区的实际工作结果；

(2) 正演运算或模拟实验结果；

(3) 野外现场踏勘试验结果。

设计过程中应详细分析采用电剖面法将可能解决的具体地质问题，并逐项分析解决这些地质问题的可能途径和可能达到的程度。

对于地质条件具备而方法有效性不肯定的测区，电剖面法只能作为试验项目。

§1.11 当引用邻区或条件类似的其他地区的实际工作结果来说明设计地区电剖面工作的方法有效性时，必须以充分的资料佐证设计地区的地质和地球物理条件与其相仿；而且也应佐证曾经被采用的方法技术在该设计测区内将切实可行，地区性差异不会导致方法有效性发生重大改变。

当以正演运算或模拟实验结果来佐证设计地区电剖面法的有效性时，必须充分说明假设的地电断面、电阻率值、各向异性系数以及探测对象的空间位置和产状要素等条件大体与实际情况相同。应保证一级近似的模拟程度和计算方法的正确性，模拟实验中的简化处理不会导致方法有效性发生重大改变。

§1.12 当引用野外现场踏勘的工作结果来说明电剖面方法的有效性时，必须以充分的资料佐证踏勘试验的代表性和踏勘试验结果的可靠程度。

野外现场踏勘一般应包括下列内容：

(1) 核对已收集的地质、物探、化探及测绘资料；

(2) 实地考察可能被包括的测区范围，了解与工

作任务有关的地形、地貌、交通及生活条件；

（3）测定某些岩石及矿石的电性参数，如电阻率、极化率、自然跳跃电位、各向异性系数等，应根据需要和可能来研究它们与金属矿物富集程度的相关性；

（4）初步了解探测对象在拟设计电剖面中的反映特点；了解测区中干扰因素种类、干扰电平和分布范围，并分析通过各种技术措施消除或减少干扰影响的可能性。

§1.13 在肯定了方法有效性之后，还必须进行生产前的技术试验，以便检验原设计的正确程度和确定生产所需要的最佳技术方案。

设计技术试验工作一般应满足下列要求：

（1）技术试验剖面应选择在地质情况比较清楚、地质断面相对比较简单的地段，同时应尽可能考虑通过天然露头和探矿工程；

（2）应选择具有不同地电断面、不同地形和不同接地条件的试验地段，使技术试验不乏代表性和便于资料对比；

（3）技术试验的工作量应以能达到试验目的为原则；

（4）试验时常应采用多种装置形式和电极排列方式；试验结果至少应达到生产观测的精度，质量达不到要求的试验结果不能作为补充设计书的依据。

情况许可时，技术试验应尽可能与野外现场踏勘结合进行。

（四）视电阻率参数观测精度

§1.14 视电阻率的观测总精度通常应根据地质目的、探测对象、干扰因素以及装备技术等客观条件来进行设

计。

设计总精度时，首先应考虑能够观测与分辨最小探测对象产生的最弱异常的原则。一般来说，最大误差的绝对值应小于任何有意义异常的三分之一；其次需考虑非探测目标所引起的所谓“干扰异常”，一般原则是干扰水平不应大于设计精度的一倍。

对电剖面法异常强度的估计，可参考下列标准：

(1) 对于ρ_s曲线具有极值的类型，异常值Y表示为：

$$Y=\frac{\rho_s-\rho_0}{\rho_0}\times 100\%$$

式中ρ_0——正常背景值。

(2) 对于ρ_s曲线呈阶梯状的类型，异常值Y表示为：

$$Y=\frac{\rho_{s2}-\rho_{s1}}{\frac{\rho_{s2}+\rho_{s1}}{2}}\times 100\%$$

式中ρ_{s1}与ρ_{s2}——分别为阶梯两侧的视电阻率值。

§1.15 电剖面法工作的总精度（总均方相对误差）分级以及各影响因素引起的误差分配值列于表1。

视电阻率ρ_s的观测精度既受电测自身观测误差的限制，又受测地工作精度的影响，电测自身的观测误差应包括ΔV的观测误差、I的观测误差（档差、视差、微漏电、电流变化等因素列入ΔV和I的观测误差之中）和“其他”误差。“其他”误差包括布极不准引起的误差以及电极极差变化、自然电位变化、仪器零点位移等引起的误差。另外，湿度因素引起的表层电阻率不规则变化也归入“其他”之中。凡此

电剖面法总精度及有关误差分配表 表 1

分项 / 分配值 / 级别	总均方相对误差		装置均方相对误差	电测均方相对误差		
	有位误差	无位误差		ΔV	I	其他
A	±5%	±3%	±4%	±1.5%	±1.5%	±2%
B	±10%	±6%	±8%	±3%	±3%	±4%

种种，叠加成所谓的“无位误差”。

测地误差和电极位置布设不准确引入的微小的K值变化称为“装置误差”，它与点位密切相关。

“装置误差”和“无位误差”叠加，即构成所谓的“有位误差”。

表1中规定的指标原则上适用于所有种类的电剖面法工作；但应分别不同的工作地区、不同的工作目的、不同的详细程度以及测区中不同的干扰电平来选择合适的精度级别。

§1.16 在充分研究测区探测对象、干扰因素、地形条件并取得可靠依据的前提下，设计者可以适当调整表1的总精度，但必须满足工作任务要求，并不致影响地质效果。

被调整确定的总精度经大队一级单位批准，就可作为最终评价全区系统质量的标准。

在野外工作过程中，分队技术负责人可根据测区地形地电条件、干扰因素和干扰电平、装备配置及人员配备等具体情况，在不改变设计总精度的条件下，灵活调整各项影响因素引起的误差分配关系。

（五）测区范围与测网布置

§1.17　电剖面法工作测区范围（或剖面长度）的布置，应考虑下列原则：

（1）测区范围应包括整个被探测地质体可能赋存的地段，并应向外扩延至能使所反映的异常有足够的背景场相衬托。

（2）追索性工作的测区范围应包括全部或部分已知地质体，以便能运用已知地段资料对比未知区；在前人工作的基础上扩大测区范围时，应在测区边缘重复部分测线，以便于成果的联系利用。

（3）在其他物化探成果基础上布置更大比例尺工作时，应充分利用已知资料来考虑测区的实际范围，并应尽可能包括与研究目的有关的岩矿露头和探矿工程。

（4）确定测区范围还要考虑地形、地貌，并应兼顾施工方便，力求资料完整和测区边界大体规则。

§1.18　设计电剖面工作的测线（或剖面）方向，应考虑下列原则：

（1）测线或剖面应尽量垂直于探测对象的走向，并尽可能避免或减小地形影响和其他干扰因素的影响。

（2）测线或剖面还应尽量与测区中的地质勘探线、典型地质剖面相重合。

（3）当探测对象的走向变化复杂以至于测线方向无法随之变化时，可以垂直其平均走向布置测线，并按实际需要将测线加密；当发现有意义地质体的走向与测线交角过小以至于影响解释推断和地质效果时，必须以实际资料来说明其影响程度，并垂直有意义地质体走向另行布置补充剖面。

（4）当工作过程中发现电测主体异常走向与测网

基线的交角过大，以致影响解释推断和地质效果时，应放稀测网并改为控制剖面观测。在充分了解待测地段异常走向变化的复杂程度之后，可酌情改变测线方向。

（5）对于某些特定情况，还应设计纵剖面测量。

§1.19 电剖面法工作的测网形式取决于探测对象的分布范围和平面分布形态；测网密度则应根据地质目的、工作性质、探测对象规模、探测对象的空间位置以及所采用的装置形式等因素确定。一般情况下可按表2的规定布置。

当测线上反映单个异常的测点数达不到表2的规定要求时，必须保证至少有三条剖面在相应位置上有异常反映。

设计精测剖面，应以无论怎样加密测点也不至改变异常基本形态为准则。

电剖面法测网密度表 表 2

工作性质 / 穿过异常测线测点数 / 工作方法	普查		详查	
	测线数	每条测线上的测点数	测线数	每条测线上的测点数
对称四极剖面法	1～2	3～5	3～5	5～10
联合偶极剖面法	1～2	6～10	3～5	10～16
中间梯度法	1～2	3～5	4	5～10

（六）测地精度与测网联测

§1.20 电剖面法的测地工作精度分列于表3。

§1.21 控制测量是保证评价测网敷设质量的手段，它对于电剖面法工作成果的长期使用具有重要意义。

电剖面法测地工作精度表 **表 3**

工作性质	平面点位限差(毫米)	相邻点距误差(%)		相对高程限差(毫米)	电极排列方向
		限差	均方相对误差		
普查	2.5	8	4	—	10°
详查	2.5	4	2	—	5°
剖面	2.0	4	2	1.2	5°

凡基线或重要剖面的端点，都应与测区附近的三角点（或物控点）联测并计算座标。对于尚未建立大地控制网（点）的地区，应自行建立座标系或者将测网与区内已有的独立座标系统联测。

测网基线或重要剖面的端点应该埋设固定标志。

需要标绘在成果图上的主要地物、工程及异常固定标志等也应联测，但不必计算座标。

有正式地形图而缺少三角点（或物控点）资料、由于某种限制又不可能建立独立座标系时，允许只将测网与附近永久性地物标志联系，但应按联测关系将测网位置标绘在地形图上。

对于能满足表4关系的小面积测区，允许其测网只与附近永久性地物标志联系，但也应按联测关系将测网位置标绘在地形图上。

§1.22 与测地工作设计有关的其他具体事项，应遵照《物化探测量工作规范》的有关条款执行。

允许不联测的测区面积表　　表 4

工作比例尺	测区成图面积（厘米²）
1∶10000	<10×10
1∶5000	<10×10
1∶2000	<20×30

（七）装置的电极距选择原则

§1.23　确定电剖面装置的供电电极距$\overline{AB}$、偶极距OO'（指电偶极子AB及MN的中点O'、O之间的距离）、测量电极距$\overline{MN}$，一般应依从下列原则：

（1）$\overline{AB}$必须大于被探测地质体顶部埋深；地质体埋深增大时，$\overline{AB}$或OO'必须相应增大。

（2）规模和埋深相当的两个地质体，其覆盖层的电阻率不同时，所选择的电极距也不相同。当为低电阻率时，应选择较大的$\overline{AB}$或OO'；当为高电阻率时，极距可相对减小。

（3）当探测对象的规模与埋深有一定程度的变化，或者需要了解不同深度处这种变化的具体情况时，可以设计多种电极距观测，以便获得较多的信息。

（4）$\overline{MN}$应选择在$\left(\frac{1}{50}\sim\frac{1}{3}\right)\overline{AB}$范围内，一般还应注意取其为点距的整数倍。

（5）在表土不均匀性严重时，$\overline{MN}$不宜选择过小。若$\overline{MN}$与$\overline{AB}$的比例取得合适，可以将表土不均匀性的影响降到最低程度。

(6) 选择电极距应在已知地质剖面上进行。

§ 1.24 选择对称四极剖面装置或复合对称四极剖面装置的电极距，应符合下列原则：

(1) 供电电极距$\overline{AB}$至少应为探测对象顶部埋深的4～6倍；测量电极距$\overline{MN}$应不小于探测对象的顶部埋深，但也不宜超过$\frac{1}{3}AB$，否则装置的探测深度将显著下降。

(2) 在复合对称四极装置中，较小的供电电极$\overline{A'B'}$主要反映浅部电性层；较大的供电电极距$\overline{AB}$主要反映深部电性层。在大多数情况下，AB应为探测对象顶部埋深的6～10倍；$\overline{A'B'}$应为探测对象顶部埋深的2～4倍。

$AB:\overline{A'B'}$应大于2，其最佳比值应根据地质目的、测区地电性质，由野外试验确定。

另外，$\overline{AB}$和$\overline{A'B'}$也应取为$\overline{MN}$的整数倍。

§ 1.25 选择联合剖面装置的电极距时，应满足下列几点：

(1) 在普查良导性脉状地质体时，应使$\overline{AO}$等于最小探测对象的走向长度与其下延长度（估计值）之和的半值；当欲分辨相邻地质体时，应使$\overline{AO}$不大于地质体间距的三分之一；在进行地质填图或追索异常时，一般要求$\overline{AO}$至少应为被探测地质体顶部埋深的三倍：

$$\overline{MN}=\left(\frac{1}{3}\sim\frac{1}{5}\right)\overline{AO}$$

(2) 当探测对象的规模与埋深不清楚或变化范围较大时，应尽可能设计多种电极距进行观测，其极距变换比值以不小于2为宜。

(3) “无穷远”电极一般应垂直测线方向布设，

要求它与最近测线的距离为$\overline{AO}$的5～10倍；当因地形或通行条件及其他地质、地貌原因需要沿测线或斜交测线方向布设“无穷远”电极时，应适当增大它与最近测线观测段之间的距离，一般应超过$\overline{AO}$的10倍。

§1.26 选择偶极剖面装置的电极距，应使电偶极子间的距离$\overline{OO'}$大致等于解决同一地质问题的联剖装置中的AO的长度；供电偶极子$\overline{AB}$和测量偶极子$\overline{MN}$的长度应相同，且均应远小于O点至O'点间的距离$\overline{OO'}$。

§1.27 设计中间梯度装置电极距时，应注意下列几点：

(1) 应考虑装置为某一极距时的有效探测深度，通常可根据覆盖层厚度及其地电性质，并结合电源功率和施工方便程度等因素设计。一般来说，应使该装置能够达到所期望的有效探测深度，并反映出探测对象的明显异常。

(2) 应使$\overline{AB}$与$\overline{MN}$适合关系式：

$$\overline{MN} \geqslant \left(\frac{1}{50} \sim \frac{1}{30}\right)\overline{AB}$$

当探测对象电阻率达围岩电阻率的10倍时，$\overline{MN}$应不超过探测对象厚度的1～2倍；当为50倍时，$\overline{MN}$允许增至探测对象厚度的5倍。

(3) 观测段应选择在装置中部$\left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}\right)\overline{AB}$处。

(4) 旁侧剖面至中心观测剖面的最大距离应不大于$\frac{1}{6}\overline{AB}$。

(5) 当必须移动两次或多次装置来完成整条测线的观测时，在相邻装置的接合部位应有2～3个重复观测点。

（八）岩矿电阻率与模拟实验

§1.28 在设计物性参数测定工作时，应注意下列几点：

（1）明确生产过程中各阶段物性参数测定的目的、任务，并提出各生产阶段应该达到的研究程度。

（2）提出物性参数测定点（或采样点）的布置原则和具体工作方案。

（3）提出各种物性测定方法的具体布置、技术措施和精度指标。

（4）确定物性参数记录、计算、统计与图示的具体方法，提出最终应上交的物性资料。

§1.29 当物性参数测定旨在提供普查性电剖面工作的方法前提依据时，只要求对测区内各类岩矿的电阻率做概括性了解；对于同样目的的详查工作，则必须详细了解被探测地质体与围岩的电阻率关系。

当物性参数测定旨在提供解释推断的依据时，应特别注意异常地段各类岩矿的电阻率差异，研究岩矿成分、结构变化对电阻率的影响，研究沿水平或垂深方向岩矿电阻率的变化趋势。

当物性参数测定旨在研究地质工程查证结果是否达到目的，也即查证所见地质客体是否能够引起所观测的异常时，要对工程揭露的岩矿标本进行较全面和较精确的测定分析。同时为做正演计算提供物性数据。

§1.30 测区中应有足够数量的、颇具代表性的地质物性综合剖面。其中至少要有1～2条剖面能够比较完整地穿越测区中不同地层及各种岩体和矿体(受条件限制时，可用若干短剖面分段代替)。综合剖面应尽量选择在地质情况比较清

楚、构造比较简单以及露头比较发育或工程揭露比较充分的地段。

§1.31 在设计地质工作时，应考虑下列几点：

(1) 按电剖面技术要求确定地质工作重点和应该达到的详细程度，拟定各阶段工作方案。

(2) 确定具体的工作方法技术。

(3) 拟定与电测配合的某些具体要求，如地质图与物探测网的扣合，电性标志层与地层的关系。

(4) 列出最终应提交的地质资料。

§1.32 在设计模拟实验时，应考虑下列几点：

(1) 模拟实验必须按野外实际地电断面、矿体与围岩的电阻率、围岩各向异性情况、矿体的空间位置和产状要素等条件布置，或者大体符合相似性原理。

(2) 提出模拟实验的研究课题，并初步估计该地质问题被解决的可能性。

(3) 依据客观条件选择合适的模拟方法，提出模拟的具体布置，规定模拟实验的各种技术要求和精度指标。

(4) 提出最终应上交的模拟实验资料。

二、野 外 作 业

(一) 野外作业准备

§1.33 电剖面法野外正式生产前，分队应组织进行下列作业准备：

(1) 学习设计书和本规范的有关内容，使分队人员都明确所担负的地质任务、将投入的方法技术、应达到的工作精度以及与本职工作有关的各种技术要求；

(2) 实地了解测区范围，测网分布，简略的地质、地形地貌、交通、居民点等环境情况；合理安排野外工作进度；征集并提出电剖面法工作的施工顺序及其与其他工种协调配合的意见或建议；

(3) 对参加生产的仪器及技术设备进行全面系统的检查、调节或标定；

(4) 对野外作业人员进行必要的专业知识和安全用电常识教育。

§1.34 野外作业开工前，作业组长（操作员）应按岗位职责对全组作业人员进行具体明确分工，如每个作业人员应具体负责的工种或工序，出工应负责携带的仪器设备，工具的分配与委托保管。

作业组长还应负责领取生产用品并指导制作生产中临时需要的某些器材。

§1.35 野外作业开工前，作业组长应向全组作业人员交待下列事项：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、收放线方法、通讯联络方法等。

（二）野外作业技术

1. 测站布置

§1.36 测站是野外作业中枢，其位置应尽量靠近观测地段的中心，以便能控制足够多的测区面积。通常可将测站选择在视野开阔、地势平坦、通行方便、避风干燥处。为避免电磁感应与电源漏电影响，测站还应远离高压输电线及变压器，当地形太坏限制电源搬迁时，还应兼顾到供电站的布设。

测站与供电站应采取必要的防潮、防雨和防曝晒措施。

§1.37 野外作业中通常采用固定式测站，只有在遇

到下列某种困难且工作量极少时才考虑采用移动式测站：

（1）漏电经常存在且难于消除；

（2）树木较多，地形较差，阻碍拉线，影响观测；

（3）表土电性不均匀且又必须在观测中及时辨认；

（4）工作时间短暂，施工条件恶劣，有必要轻装突击任务。

§1.38 一个野外工作日开始观测之前，作业人员应服从野外组长分配，协同做好下列工作：

（1）发电机试车以观察空载和负载条件下的运转情况；当采用干电池作电源时，电池箱应按规定方式连接，并要分段检查电压；

（2）检查仪器和控制面板线路连接情况；

（3）检查仪器、控制面板及通讯设备的电源；检查各开关旋钮的机械性能和灵活程度；检查通讯设备授话和收听的效果；

（4）检查仪器、导线及线架的漏电情况并记录检查结果；

（5）核对各电极线点号；

（6）接通电源，粗略测试供电回路电阻并进行试供电，选择合适的工作电压、电流，匹配好平衡负载。

经逐项检查，凡不符合技术要求的仪器设备应进行现场处理，直到症状消除且合乎规定的技术要求后，方可进行生产观测。

2．导线敷设

§1.39 自电极或供电站引入测站的导线，都应该分

别性质固定在不同的绝缘物体上。不得将未固定的导线直接引入仪器或拴在仪器脚架上。

导线头应予标记，各种连接线最好分别采用不同颜色的导线并且做到专线专用，以免连接线紊杂扰乱视觉而造成误接。

§1.40 为防止导线敷设不当而引起感应或漏电，导线敷设应遵守下列规定：

(1) 供电导线和测量导线应尽可能分列于测线两边，并注意使它们保持一定的距离。当M线（或N线）的长度小于1公里时，该间距可为1～5米；大于1公里时，应加大到5～20米。

(2) 供电导线和测量导线不允许互相交错；供电导线至少应离开测量电极2米。

(3) 测量导线一般应避免悬空架设，当导线穿越河道、池塘必须架空时，应注意将导线拉紧。无法架空而只能漫水通过的导线，应事先向测站报告并进行漏电检查。

(4) 测量导线尽可能远离高压输电线。当必须通过时，应使那段测量导线与高压输电线方向垂直。

(5) 在测量导线经常需要架空的地区工作时，为避免导线随风摆动而产生感应电动势，M与N测量导线可使用同一条双股的绝缘绞合线。

(6) 由多段连接而成的导线，应确保其接头牢固和外皮绝缘良好。

§1.41 导线通过铁路、公路、河道或村庄时，应采取架空、埋土或从道轨下通过等临时性措施，以无碍车、船、人、畜通行和避免导线伤损。

§1.42 在导线收放过程中，应随时注意导线有无破

损或扭结。破损处应包扎绝缘；扭结处应放松理顺。此外，还应注意尽量不使导线承受过大拉力，当手感力量忽然增大时，切勿硬拉，应及时查明处理。

3. 电极接地

§1.43 电极接地通常应遵守下列原则：

(1) 电极应尽量靠近预定接地点标志布设，并应与土层密实接触。

当单根电极接地不能满足作业要求时，应采用多根电极的并联组。该电极组通常应垂直测线排列，只有受客观条件限制时才可以绕接地点环形分布或者沿测线排列。

(2) 电极入土深度一般应小于$\overline{AB}$电极距离长度的二十分之一，当电极距很小时，也应不超过电极距的十分之一。

(3) 为使装置系数K的相对误差不超过1%，电极组中单根电极与预定接地点之间的最大距离d应满足：

a. 当电极组垂直测线排列时，d应不大于$\frac{1}{10}\overline{AO}$，且电极组在接地点两侧的分布长度应大致相等；

b. 当电极组沿测线排列时，d应不大于$\frac{1}{20}\overline{AO}$；

c. 当电极组环形分布时，d（半径）也不应大于$\frac{1}{20}\overline{AO}$；

(4) 电极组任意电极间距应大于二倍电极入土深度；

(5) 单根电极因客观条件限制只能向接地点某一侧偏离时，其垂直于测线方向的位移应小于$\frac{1}{40}\overline{AO}$，沿测

线方向的位移应小于 $\frac{1}{100}\overline{AO}$；当不能满足上述要求时，应按一定精度测出其移动后的实际位置，并在记录本上注明，同时重新计算K值；

（6）供电电极的数目应根据供电电流强度和接地条件而定；单根电极通过的电流不应过大，对于直径2～3厘米、入土深度50厘米左右的电极，通过的电流强度以不超过0.2安培为宜，以减小电流不稳现象。

4. 漏电检查

§1.44 一个独立测区在观测工作之前和结束之后，均应对仪器和导线的绝缘性能进行系统检查。

在一个野外作业日的观测始末、测线转移、中梯改变排列或者变换极距的情况下，都应对供电系统和测量系统分别进行漏电检查。

为使漏电不致影响观测结果，在雨季施工或者是在水系发育、天气潮湿地区作业时，应该因地制宜地增加漏电检查次数；在干燥季度施工或者在干旱草原、戈壁荒漠地区作业时，例行漏电检查可仅在每个工作日的观测始末进行。

当发现漏电并可能影响观测结果时，应每隔5～10个测点进行一次漏电检查；受条件限制，导线被迫浸水作业时，应进行漏电检查。

§1.45 仪器的漏电检查

在仪器电源断路的情况下，用500伏兆欧表分别测定AB插孔、MN插孔、仪器外壳三者之间的绝缘性能，要求测定的电阻值均不小于100兆欧。若测定的电阻值小于100兆欧，则认为仪器绝缘性能不合乎规定要求，其漏电影响不容忽视。

§1.46 在开工前对导线的漏电进行检查，一般可将导线铺于地面上，采用500伏兆欧表，观测导线对地的漏电电阻。对于供电导线，每公里导线的绝缘电阻应不小于2兆欧；对于测量导线，每公里导线的绝缘电阻应不小于5兆欧。

§1.47 当仪器设备在观测现场无法满足§1.45及§1.46所规定的绝缘强度指标时，应进一步对供电系统和测量系统进行下述漏电检查。

（1）供电系统漏电检查一般可轮流断开一端供电电极接地，同时观测供电线路中的等效漏电电流强度和测量线路等效漏电电位差（两次电压不同时可按电压正比关系换算成工作电压下的“等效值”）。要求两端等效漏电电流强度的总和不超过该点供电电流强度的1%；两端等效漏电电位差的总和不超过该点观测电位差的2%。

进行漏电检查的电源电压一般应不超过300伏。

（2）当在潮湿地区需要对测量线路做漏电检查时，可采用兆欧表测试，若达不到每公里5兆欧的要求时，应立即查线并排除局部漏电点。

§1.48 当观测过程中发现有不能允许的漏电现象时，测站应着手改善导线、电源、仪器或控制面板的绝缘状况，并根据观测曲线的畸变特征来寻找漏电点位置，分析漏电对已有观测结果的影响程度。绝缘状态改善后，应沿测线逐点返回进行重复观测，直至连续有三个测点的观测结果符合§1.60的规定要求，才能认为此漏电影响已被排除。

漏电现象与漏电检查处理结果应记录在记录本备注栏中，作为资料检查、验收的一项重要内容。

5. 测站观测

§1.49 基本观测技术要求

（1）在测深过程中，应将供电电流的变化控制在±2%之内。当电流不稳（在±3%范围中变化）时，应采取“$I-\Delta V-I$”的读数方式和短暂供电的办法观测，并应以I的平均值来参与视电阻率计算。当外部干扰使ΔV观测时间较长时，应以“$\Delta V-I$”的方式读数。

（2）供电电压不宜低于15伏，以免因低压供电电极极化缓慢致使供电电流不稳；同时供电电压低将造成极化电压所占比例增大，影响观测精度。

（3）应选择合适的测程来度量输入讯号，一般以指针偏转不小于表头刻度的三分之一为宜。在指针稳定的情况下，其最小读数对于满度为100小格的表头应不低25小格，即最小电位差读值应高于0.25毫伏，最小电流读值应大于2.5毫安。指针不稳定时，最小读数应加倍。

（4）对于单个测回（指对测点完成一次ΔV和I的连续测定过程），应采用短暂而相同的观测时间，以避免观测过程中电极极化引起电流变化以及某些地质体的激电效应给观测带来影响。

（5）供电电流强度和总场电位差应尽量估读至三位有效数字；视电阻率值应算至三位有效数字。

§1.50 在野外观测现场，记录员必须及时回报核实操作员读数，进行记录，计算并绘制草图，以便确定是否应当检查观测或者是否应进行异常及畸变情况的检查处理。

§1.51 工人跑极应服从测站指挥，与测站协同动作，以便提高劳动生产率。

跑极工人除了应遵守有关导线敷设、电极接地和通讯设备的使用规则之外，还应在作业过程中注意测站指令，并应及时向测站报告测点位置、地形、接地情况。当确认已与测

站中断联系并估计到外线路有可能发生故障时，应主动查巡并尽快与测站取得联系，配合测站查明故障原因。

6. 数据记录与野外草图

§1.52 野外观测现场的全部观测数据都应该如实地记录在专用记录本上。记录本除记录原始数据及记录与观测有关的事项之外，不得兼做他种用途。记录本不允许空页、撕页或者粘贴其他纸张。

§1.53 对于不同测区、不同比例尺、不同装置形式、不同工作目的的观测结果，或者属同一区段但性质不同的观测（基本观测和检查观测）结果，应尽可能地分别记录在不同的记录本上。

在野外观测过程中发现的曲线畸变或者干扰现象，应在记录本相应页次的备注栏中简要注记。

§1.54 记录本中的各分类事项应认真填写，不得遗漏。各种数据应在观测现场记录，事后不得追记或修改，也不准以转抄的结果来替代原始观测记录。

§1.55 数据记录时只允许使用中等硬度（2H或3H）的铅笔。要求记录得正确、工整，字迹清晰，原始数据不得涂改或擦改，记错了的数据必须划去重记，并在备注栏中注明原因。

§1.56 野外草图应标明测区、比例尺、剖面号、剖面方位、测点号、装置形式和观测日期。必要时还应该将所发现的干扰影响注在草图的相应位置。野外工作日结束，观测者与记录者应审查记录并签名，以示负责。

绘制草图的座标纸应统一规格，以便生产过程中充分利用。

7. 困难条件下的观测和处理

§1.57 在野外观测现场，当干扰影响造成观测困难甚至破坏正常观测时，应首先检查仪器设备的性能；当确信仪器设备为正常工作状态，影响观测的原因来自仪器外部时，应根据干扰的各种表象特征来判断干扰原因，并拟定相应的处理措施。

现将观测过程中常见的外部干扰现象和产生这种现象的可能原因分述如下：

（1）仪器无输出或指针满偏度超格，极化补偿失灵，表明测量回路不通。

（2）“极化不稳”，即指针匀速地向一个方向偏转。当测量电极布设于流水、腐殖层，或与地中金属导体接触，测量导线破损致使铜丝直接接地，以及两测量电极间温差过大时，都可能引起上述现象。

（3）指针运动迟缓，极化补偿时指针运动滞后于操作动作，小测程档灵敏度降低，往往反映测量电极的接地电阻过大。

（4）指针呈无规律摆动、小幅度抖动或不间歇地左右漂浮，但测量电极正常。这可能是机械震动、严重漏电、导线摆动产生的感生电动势、大地电流或者工业游散电流的干扰。

§1.58 对于§1.57中的部分干扰，若讲究循章作业和对症处理，是可能避免或者减小其影响程度的；工业游散电流的干扰，应在实践过程中摸索抑制和消除的途径。

当外部干扰不致影响观测时，可适当增加重复观测的次数；当严重影响观测数据而又无法避免时，应停止野外现场观测工作。

§1.59 重复观测

重复观测是指在读数条件比较困难（仪器表头指针不稳以及读数小于0.3毫伏或3毫安）、单次观测难以保证精度的情况下，操作者通过增加观测次数以使最终观测结果符合精度指标的一种观测方式。另外，对于电测曲线的突变点、与相邻测线对比显得无规律的测段，亦需进行重复观测。重复观测仍属于原始观测之列。

§1.60 重复观测应符合下列要求：

（1）在参加统计的一组ρ_s观测中，最大值和最小值之差相对于二者的算术平均值应不超过$\sqrt{2n}\cdot m$。判别式为

$$\frac{\rho_{s\max}-\rho_{s\min}}{\rho_{s\max}+\rho_{s\min}}\cdot 100\% \leqslant \sqrt{2n}\cdot m$$

式中 n——参加平均的ρ_s值个数（即一组重复观测数据的个数与被舍弃的观测数据的个数之差）；

m——设计的无位均方相对误差。

（2）在一组重复观测数据中，误差过大的观测数据可以舍弃，但必须少于总观测次数的三分之一。例如，观测为4～6次时，可舍弃其中的1次；7～9次时，可舍弃其中的2次。若超限的观测数据过多，说明可能不具备观测所要求的基本条件，或者是操作者本人的观测技术尚存在问题。

（3）重复观测应改变电流（改变量不限制），但应不改变接地位置。

（4）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进行算术平均值计算，以作为该测点最终的基本观测数据。一组重复观测数据中的有效值和舍弃值都应在相应备注栏中注记。

§1.61 对原始观测结果中质量有疑义的地段，操作

者需进行检查观测。

检查观测应以曲线特征点、畸变段以及位于典型地电断面地段的测线等为主要对象，但也应对于正常背景地段做适量的检查。检查工作量不做具体限制，可视具体情况而定。

进行检查观测时，需将测量电极重新布设或者改变供电电极接地状况，即改变原始观测时的工作条件（改变条件的重复观测称为检查观测）。

检查观测若需要重复观测时，也应按§1.60的有关规定执行。检查观测应较原始观测条件更为严格，当分析与查明原始观测数据确实有误的原因之后，可以用检查观测数据代替原始观测数据。

检查完毕，应计算原始观测数据与检查观测数据之间的相对误差v_i，其公式为：

$$v_i = \frac{|\rho_{si} - \bar{\rho}'_{si}|}{\rho_{si}} \times 100\%$$

式中ρ_{si}与$\rho_s'_i$分别为原始观测与检查检观测的视电阻率值；v_i一般应小于无位均方相对误差。

检查观测与原始观测数据计算与统计的相对误差，不作为衡量测区观测质量的一项指标，但可以作为分析工作质量情况的一种参考。

§1.62 对工作过程中已发现的异常和曲线畸变，应及时进行实地考察。对所观察到的地质现象，特别是干扰地质体，应估计其干扰电平与实际影响程度，并进而拟定处理方案。

上述地质现象应在记录本的备注栏中简要注记。

§1.63 在野外观测过程中遇下列某种情形时，应考虑增补工作量：

（1）延伸至测区之外、需要追索的较小异常；

（2）需要掌握细节的有意义异常，需要准确定出异常曲线特征点位置的异常。例如，要求出联合剖面正交点位置，可加密测点观测或者变换电极距观测。

（三）观测结果的质检评价

§1.64 系统检查观测

系统检查观测是指对于基本观测所进行的全区性同精度系统性检验。它独立于基本观测且常取得优于基本观测的工作条件。

布置系统检查观测应注意下列几点：

（1）应考虑在不同时间过程中的基本观测，必须使系统检查观测工作量均匀分布于不同的测区或地段。

应注意选择无规律测线及突变点等工作质量有怀疑的地段，异常带、典型剖面、定量解释剖面、拟设工程剖面等具备典型意义的观测地段。其具体分配方案应由分队技术负责人最终确定。

（2）系统检查观测可使用参加过基本观测的同一台仪器（用他台仪器检查时，应测定仪器之间的一致性并应合乎规定要求），但应尽量避免检查当日观测的测线、测点。观测者应由分队技术负责人或由他指派专人充任，从事于基本观测的操作者本人一般不宜再对自己的观测结果进行系统检查观测。

（3）系统检查观测时可以带出基本观测记录和野外草图，以便现场肯定工作质量或者检查超过误差的原因；但在未取得系统检查观测数据之前，不允许参看基本观测结果。

（4）如果不重新布置独立的测地工作并按原测点

位置接地，则应按无位误差来衡量观测质量，否则应按有位误差情况处理。

（5）系统检查工作量一般应为测区总工作量的3%～5%，该比例数不能肯定结论时允许增大；但当增大至20%仍然证明观测质量不合要求时，则相应受检范围内的基本观测工作量应予报废。

（6）系统检查观测结果应编列专门的统计表，必要时应绘制质量检查对比曲线和误差分布曲线。

§1.65 系统检查观测结果应按下式计算均方相对误差，并应满足表1的精度要求

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

式中 ρ_{si}——第i点原始观测数据；

ρ'_{si}——第i点系统检查观测数据；

ρ_{si}——第i点ρ_{si}与ρ'_{si}的平均值；

n——参加统计计算的测点数。

诸受检点的观测误差分布应满足如下要求：

（1）相对误差 $\left(\frac{1}{2}\cdot\frac{\rho_{si}-\rho'_{si}}{\rho_{si}}\right)$ 超过实达精度的测点数应不大于受检点总数的32%；

（2）相对误差超过二倍实达精度的测点数应不大于受检点总数的5%；

（3）相对误差超过三倍实达精度的测点数应不大于受检点总数的1%。

§1.66 对于有较大面积的测区，当各地段之间的观测条件相差颇大时，应分区段评价质量。

测区或地段的野外观测质量，除应以系统检查观测的统

计结果作为主要依据之外，还应该结合仪器性能、观测方法技术的具体实施、异常与畸变情况的现场处理、检查观测的统计结果等综合分析。

（四）技术保安

§1.67 技术保安是完成地质任务的重要环节。在野外作业期间，必须对有关人员进行经常性的安全生产教育，并应定期检查仪器设备的使用情况。讲究文明生产，杜绝人身和仪器事故。

§1.68 野外安全用电事项

(1) 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500伏时，供电作业人员应使用绝缘防护用品；“无穷远”供电极附近应设置明显警告标志或委派专人看守。

(2) 在测站布置妥当和电极接地完成之后，测站应通知作业人员开始供电观测。观测结束时应先通知发电机停车或切断电池箱电源，然后才能通知工人收线或转移供电极位置。在作业人员处理供电线路故障的过程中，测站不得供电；故障处理者也应尽量避免身体触及裸露导线；只有当故障排除、作业人员与测站通话联系之后，才允许继续供电观测。

(3) 当需要借助供电导线通话联系时，应将电话耳机与供电极并联；当确信一个观测点观测完毕，并在耳机中听到测站呼叫信号时，才允许将耳机与供电导线串联通话。

(4) 按§1.45～§1.47进行漏电检查，必须事先约定具体时间。在该时间间隔内，作业人员不得触及导线的裸露部分和进行导线的检修连接；在该时间间隔外，测站应

停止进行漏电检查。

§1.69 在使用高压电源工作的测区，物探分队应经常主动地向当地居民宣讲有关防止触电的注意事项；在高压条件下工作时，不允许与工作无直接关系的其他人员接近电源、测站及供电极。

§1.70 雷雨时不得进行野外作业。

（五）岩矿电阻率测定

§1.71 电性参数测定点（或标本采集点）应均匀分布在测区中不同岩矿的天然或人工露头（浅井、探槽、矿坑、钻孔）上。对不同结构构造、矿化程度、蚀变现象的岩矿，应分类测定和统计。

§1.72 电性参数的测定点（或标本采集点）可以是孤立点，也可以为密集连续的测点群。对于孤立露头，可依一定距离连续测定，并应视具体情况以其统计平均值参加同类岩矿的电性参数统计。

§1.73 露头测定点（或标本采集点）除应在测区大致均匀分布外，还必须以下列对象为研究重点：

（1）有效探测深度内的各类岩矿；

（2）探测对象和干扰体；

（3）电阻率变化范围较大的岩石；

（4）地下水性质表现复杂地段的岩石；

（5）不均匀覆盖层，特别是盐碱化不均匀所引起的覆盖层电性变化；

（6）以肯定方法有效性为目的的试验地段，以及需要研究探矿工程结果是否达到目的的某些地段。

§1.74 对于测区中某一基本因素的了解（如了解某种岩石在一地段的变化，或者研究这种变化与某种矿化活动

的相关性），至少应有30个子样（标本）的有效观测数据；当上述子样数不能充分解决问题时，应予适当增加。

§1.75 野外作业中通常采用露头法、标本法、分析法和电测井来测定岩矿电阻率值。

露头法的测定结果近于野外实际，常应用于露头广布的测区（或地段）；标本法精度低，常应用于踏勘或普查性电测工作；分析法结果间接，仅能作为解释推断的参考性依据，常应用于覆盖层研究或了解覆盖层之下的深部电性情况；电测井资料在条件较优时，有可能获得近于岩矿电阻率真值的测定结果。

实际工作中应根据具体情况选择测定方法。当因客观条件限制或者难于直接肯定某种测定方法的效果时，宜采用综合性测定方法。

§1.76 电测井测定岩层电阻率的方法技术及注意事项，应符合§2.72的规定。

§1.77 露头小四极法或参数电测深点宜在人工露头或天然露头上点测或按一定距离作剖面观测。测定时应注意下列几点：

（1）选择比较新鲜的、有平坦表面的岩石露头，其长度至少应为$2\overline{AB}$，宽度至少为$1.5\overline{AB}$；坑道测定类似；

（2）选择两个相垂直的方位布极，以了解岩石的各向异性；

（3）供电极必须满足点电源要求；

（4）配备附加电阻，需要时串入供电回路，以减小供电电流；

（5）接地电阻过大时，可滴以硫酸铜溶液。

§1.78 标本小四极法测定电阻率时，应注意下列几

点：

（1）选择较平坦的标本面等距排列电极，$\overline{AB}$至多为标本长度的三分之二，但不应超过标本的宽度；

（2）为了了解岩石的各向异性，应分别不同方向布极；

（3）电极应尽可能小；改善接地条件可滴以硫酸铜溶液，但不应使液面扩散直径大于十分之一电极距；

（4）干燥标本应浸水处理，测量时应将水擦净；

（5）以采用较短的供电时间为宜。

§1.79 测定岩矿电阻率，除了应记录观测数据之外，还必须记录观测点编号、位置，并应简略描述测点附近岩石的成分、结构、构造、蚀变、矿化和含水性能。

电阻率值必须在观测现场计算；同时还应在现场分析比较同类岩矿数据的差异及其与地质环境和测定点条件的关系。

§1.80 同类岩矿电阻率的系统检查观测结果，应按照§1.65公式计算精度，要求其均方相对误差不大于20%。

系统检查观测统计结果的误差分布、观测数据的取舍原则，以及系统检查的工作量等，可参§1.65规定执行。

三、资料的整理和图示

（一）原始资料及其检查处理

§1.81 电剖面法工作的原始资料通常应包括：

（1）各种装置形式、工种或工序的原始数据记录本或表格，如仪器性能检查标定记录、野外观测记录、采样记录、工作底图、穿孔纸带、分析鉴定报告；

(2) 资料整理和解释推断过程中形成的各种记录、图表；

(3) 成果报告底稿、成果图件底图与透明图。

§1.82 原始资料的检查是确保电剖面成果质量与提高地质效果的重要环节，应严格制定制度并贯彻于整个生产技术过程的始终。

野外观测记录是最基本和为数最多的原始观测资料，其检查程序、检查内容和处理方法将在§1.83、§1.84、§1.85中具体规定。其他原始资料的验收处理，应遵照《物化探生产技术管理办法》和有关制度执行。

§1.83 原始观测记录的检查

一个野外工作日结束，操作员和记录员应在逐页审查观测记录后，签名交室内组。室内组应对野外记录数据及计算结果进行百分之百的检查复核，并签名以示负责。这种复核检查应逐日进行，并在下一个工作日内完成。经检查复核的原始观测记录，应根据质量情况逐日做例行登记。

§1.84 原始观测记录本的检查内容应包括：

(1) 野外作业过程中各种仪器设备的性能和各种技术指标是否达到本规范或设计书的规定要求，漏电检查是否齐全及符合要求；

(2) 观测曲线是否完整，出现的异常和畸变现象是否进行了必要的重复观测和检查观测，观测结果是否合乎本规范或设计书的规定要求；

(3) 数据的计算是否达到本规范或设计书的要求，系统检查观测结果是否达到设计精度；

(4) 记录本中各栏是否填写完整，数据的记录是否符合本规范§1.52～§1.55的规定条款。

§1.85 原始观测记录的处理

凡符合本规范规定或已达到设计书要求的原始观测记录应予验收，并统计有效工作量；经检查不合要求的资料，室内组应向分队建议报废，并统计报废工作量；对于执行设计书不够严格、无确切理由说明质量可靠程度但事后通过相邻测线对比认为仍可能有利用价值的资料，应列为系统检查观测的重点，并针对检查情况采取补救措施。经补救认为资料可靠的应予验收；有严重缺陷的可据其程度确定是否作为参考资料或予废弃。

下列情况的原始观测记录应予作废：

(1) 采用不符合本规范技术要求的仪器设备所取得的全部观测结果；观测过程中某些主要方法技术指标未达到本规范或设计书要求而严重影响质量的观测结果；

(2) 测线上相邻点距或电极距不能保证精度时取得的观测结果；

(3) 系统检查观测精度未达到设计要求，当扩大检查工作量至20%时仍不能达到设计要求的全部观测结果；

(4) 不能辨认的观测数据、被橡皮擦改过的观测数据、记录欠完整无法被利用的观测数据、伪造的观测数据。

(二) 原始资料的编录归档

§1.86 具有长期使用价值的原始资料应予详细编录，分类归档，妥善保存。其编录、归档和管理的一般要求，应遵照《物化探生产技术管理办法》以及有关制度。

§1.87 电剖面法野外记录本的编录

(1) 不再用来记录新观测数据的野外记录本，应由室内组按照工作的先后顺序统一编制目录。

(2) 在编制目录的基础上，可进一步编制索引。

编制索引的目的在于查询方便。

同一项目工作的索引，应以测区、方法、比例尺等进行分类，并按测线号顺序登记。

（3）同一项目工作的全部野外观测记录本，应分测区、比例尺、方法装置进行统一编号。

统一编号由总编号与分编号组成，一般可取下列格式：

总编号　地区——工作年度——总顺序号

分编号　测区——工作方法——比例尺——分顺序号。

具体编定时，各项内容应缩写。例如，1981年在日月山天重峡铜矿区工作，联合剖面装置野外观测记录本可如此编号：

总编号　日—81—21

分编号　天—联—1/5千—07

（三）图件编绘

§1.88　野外生产过程中只编制各种简化草图。最终应提交的电剖面成果图件必须通过资料正式验收，并结合草图的施用情况拟编绘制。其一般质量要求、绘制方法和程序，应遵照《物化探图件编制规范》规定的有关条款执行。

§1.89　实际材料图

实际材料图的内容应包括测区的地理位置、测网和工作比例尺，三角点（或物探点）及其与基线联测关系、基线的闭合或附合关系及其闭合差，各种固定标志埋设位置及各种异常查证工程位置、剖面及其编号、方法或装置代号、各种性质的测深点位置编号和拉线方向，总基点、供电极或“无穷远”极接地点等特殊点位置，重要的电性标本或地质标本采集点位置及编号，经系统检查观测的测线或测线段。

实际材料图的绘图比例尺应与工作比例尺相同。

§1.90 电参数剖面图

选择电参数剖面图的绘图比例尺，应注意使基本点距在该比例尺剖面图上为2～10毫米。地形线的高程比例尺亦应服从这个原则；只有在特殊目的时，高程比例尺才允许放大。

另外，还应根据观测精度和异常特点选择合适的算术比例尺来表示电参数数值的大小。当异常幅度变化很大但又必须突出弱异常时，电参数值可采用对数比例尺表示。

综合剖面图应包括下列内容：

（1）地形线、地质剖面和探矿工程；

（2）各种装置、极距的电剖面成果资料，电极接地点及测深点位置；

（3）其他物化探成果；

（4）解释推断成果、建议的异常查证工程。

§1.91 剖面平面图

为对比不同剖面的异常和研究异常的平面分布特点，应编绘电参数剖面平面图。

确定剖面平面图的比例尺时，应注意下列几点：

（1）剖面平面图的绘制比例尺常等于工作比例尺。有特殊需要时可以变换比例尺成图，但必须使基本点距在该比例尺的剖面平面图中为2～10毫米，线距为10～40毫米；

（2）选择的电参数比例尺应能较好地反映出有意义异常的细节，但应不使曲线过多重叠以至相互混淆；

（3）同一测区的电参数应尽可能只采用一种比例尺绘图。当只用一种参数比例尺不能清晰地反映异常特点时，才允许采用另一种辅助比例尺对局部图域予以补充。

辅助比例尺表示的图域应连续地占有一定图面，否则只能以角图或插图的形式表示；辅助比例尺表示的图域应根据

异常特点选择范围，不应因选择不当而给解释推断造成困难；此外，还应另加图框，并在图例中加以说明。

§1.92 等值线平面图

联合剖面和偶极剖面装置成果不宜采用等值线平面图表示；对于中间梯度和对称四极装置的大比例尺面积性成果，可绘制等值线平面图。

电参数的等值线通常取等差或等比间距，要求其最小等值线间距至少应为实达观测精度的三倍；同一地区中相同方法或装置的等值线间距应该一致。

勾绘等值线应结合测区的地质图，同时考虑观测精度和存在的干扰电平。此外，还应酌情取舍误差范围内的个别数据，以使勾绘的等值线圆滑。

等值线平面图常以同比例尺简化地质图作为底图。

§1.93 综合平面图

综合平面图是测区中主要物化探成果与简化地质图的有机综合。它为研究测区中物理场性质，揭示地质控制因素，圈定成矿远景或直接指示矿体位置提供了基础。

综合平面图必须重点突出，主次分明，便于应用。因此要求拟编者对已有物化探成果进行综合、分析推理，线条分明地反映主观认识，充分揭示物化探成果与地质现象之间的内在联系。

§1.94 推断成果图

推断成果图是一套全面反映地质成果的完整图件。它以推断平面图为主体，综合了推断剖面图和若干计算曲线的内容，通过图示的方法将物化探推断的地质结论和工作建议形象地反映在图上。推断成果图应在认真研究、反复解释推断的基础上逐一完成。

当测区的研究程度较低时，可以只拟编推断剖面图。

§1.95 电剖面图件中的方法名称、装置形式及代号、常用名词的文字符号，以及电剖面成果图件的审核与验收的各种规定，都应参照《物化探图件编制规范》中有关规定执行。

第二章　电阻率测深法

一、技　术　设　计

（一）电测深法的工作布置

§2.1　电测深工作布置所必需的地球物理前提，应参照§1.1的规定。

§2.2　对于能够满足§2.1中工作布置前提而又具备下述有利条件的测区，允许设计提交定量解释结果的电测深工作：

（1）有较好的电性标志层（指测区中能被大多数电测深曲线明显反映，能追踪对比，并能用来解决地质任务的电性层。它以测区中广泛分布、厚度较大、与上覆地层之间有着明显而稳定的电阻率差异，以及与欲解决的地质问题有直接或间接的联系为特征）。

（2）地电断面（从地面向下按电性分层的垂向断面）简单；电性层（电测深曲线的反映层位）层数不多，各电性层的电阻率在水平方向变化不大或变化具有规律性；

（3）欲探测的主要电性分界面倾角不大（当用水平量板法作定量解释时，要求所解释的电性分界面倾角一般不大于20°）；

（4）测区地形平缓；

（5）断裂构造少见，且其分布形式和走向变化都

比较规律；

（6）测区或测区附近有一定数量的已达电性标志层的钻孔及相应电测井资料；或在某些剖面（或测点）上有用其他方法取得的电性标志层的可靠资料（厚度、产状等）。

§2.3 遇下列不利条件时，一般应不设计电测深工作或不设计提交定量解释结果的工作：

（1）地质构造复杂，断裂发育，测区地电断面变化很大且无规律；

（2）某些主要电性层的电阻率沿水平方向变化很大且无规律；

（3）地表切割剧烈，地形地貌复杂；

（4）地电断面中存在电性屏蔽层（指位于探测对象上方占据一定分布面积，具有极高或极低的电阻率，能严重阻碍电流向下穿透而又与探测对象无规律联系的电性层）；

（5）地下经常存在强大的工业游散电流；

（6）冻土、流沙、砾石及风化堆积物等广泛分布，且厚度大，接地严重困难。

（二）资料的收集与分析利用

§2.4 在着手电测深工作设计时，其资料的收集与分析利用的一般原则及注意事项，应参照§1.4的规定条款执行。

§2.5 在着手电测深工作设计时，有关收集和分析地形地貌资料、地区性气象资料的工作，应参照§1.5中的规定执行。

对于大极距的电测深工作，还应重点了解测区的交通条

件。

§2.6 在着手电测深工作设计时，应了解测区中不同时代的地层或岩体的分布，了解被探测地质体的赋存条件和空间位置，分析地层、岩体及被探测地质体三者之间的关系与规律性，以便初步树立测区的基本地质断面概念。

在熟悉测区地质资料的过程中，应该特别注意天然露头（人工露头）的分布及覆盖层的厚度；还应仔细了解构造的形态、走向、规模、空间位置等情况，以便进一步把握区内深部与浅部构造之间的相互关系，分析地质环境的复杂性，预测不同区段地质情况变化，并估计这种变化对电测深曲线类型的影响。当某种地质因素有可能成为电测深观测的干扰时，应考虑避免或减少干扰影响的技术措施。

§2.7 在着手电测深工作设计时，应了解预定探测深度内的各种岩矿性质资料，如沉积岩的矿物结构、孔隙度、胶结物性质和层理发育情况，变质岩变质程度、片理发育情况，岩矿中良导性矿物的含量与结构关系，在地层、岩体或矿体中上述岩矿特性沿水平或垂深方向的变化规律。

了解和分析测区中的岩矿资料，是为了正确分析测区地电断面特征。

§2.8 在着手电测深工作设计时，还应充分了解测区拟探测深度范围内的水文地质资料和第四纪疏松覆盖层资料。前者包括岩层的含水性、水矿化度及其变化规律资料；后者包括覆盖层的分布范围、厚度变化、含水性能、电学性质及其变化情况。

在分析地层或岩体的电性特征和变化规律时，上述资料的分析不容忽视。

§2.9 以查明覆盖层厚度为目的的电测深工作，除

了应了解疏松沉积物之外，还应了解覆盖层之下的基岩岩性及分布厚度，注意基岩表面的风化破碎、溶蚀和含水特征，以便正确分析电性分界面和基岩面的吻合程度。

§2.10 以直接查明含水层为目的的电测深工作，应注意了解含水层及上下隔水层的层位、产状、性质、水矿化度以及它们沿水平或垂深方向的变化规律，分析含水层、不含水层、矿化水层和淡水层的电性差异。应特别注意分析那些孔隙大而渗透性小的地层分布范围与电性特征，确定它们在探测有用含水层（可采水层）时所起的标志层作用或者干扰影响。

§2.11 以探明地质构造为目的的电测深工作，必须重视电性标志层与其上覆地层的接触关系。当二者呈整合或者假整合关系时，应分析通过查明标志层顶面埋深来确定构造形态的可能性。

§2.12 在着手电测深工作设计时，应当了解拟设计测区中的下列物探资料：

（1）各种物探成果资料，特别是提供了某些地层或地质体埋深、覆盖层厚度等项情况的物探资料；

（2）地质情况较清楚的典型地段上的电测深或电剖面资料，以便预测可能出现的电测深曲线类型；

（3）钻孔、地层柱状图、钻孔测井资料或井旁测深点资料，以便分析地层电阻率值，并为分析测区地电断面提供依据；

（4）各类岩矿的电阻率资料，但应注意它们是否具有代表性和达到怎样的可靠程度。

§2.13 在着手电测深工作设计时，关于了解和分析、利用测绘资料的工作，可按§1.9的规定条款执行。

（三）方法有效性与技术试验

§2.14 在着手电测工作设计时，应当首先确定方法的有效性。分析电测深方法有效性的依据、它可能解决的问题和具体步骤，应遵照§1.10的规定执行。

在进行方法有效性分析时，应区别只供定性解释的电测深工作和供定量解释的电测深工作的不同要求。

§2.15 当引用邻区或其他地区实际工作结果，或以正演运算和模拟实验结果来说明设计地区电测深方法的有效性时，其注意事项应遵照§1.11的规定执行。

§2.16 当引用野外现场踏勘的试验结果作为设计地区方法有效性分析的依据时，其注意事项应遵照§1.12的规定执行。

§2.17 在肯定了电测深方法有效性之后，生产前技术试验的有关具体技术要求和注意事项应遵照§1.13的规定条款执行；应注意采用较密电极距系列和足够大的供电极距。

（四）视电阻率参数的观测精度

§2.18 电测深工作中ρ_s观测精度的确定原则和有关误差的分析说明，可参照§1.14的规定执行。

§2.19 电测深工作的观测总精度、总精度分级以及各种影响因素引起的误差分配值，可参照表1执行。

在充分研究测区探测对象、干扰因素、地形条件并取得可靠试验依据的前提下，设计时可以对表1进行适当调整，但必须以满足工作项目要求和不致影响地质效果为原则。

设计书规定的总精度一经大队级单位批准之后，就可以作为最终评价全区系统质量的标准。

§2.20 在野外工作过程中，分队技术负责人可根据

测区地形地电条件、干扰因素和干扰电平、装备配置及人员配备等具体情况，在不改变总精度的条件下，灵活调整各项影响因素引起的误差分配关系。

（五）测区范围与测网布置

§2.21 确定电测深测区范围应考虑下列原则：

（1）测区范围应能完整地解决地质任务，但也要避免因测区布置不当而造成浪费。

（2）应尽可能包括某些地质情况比较清楚的地段，特别是某些天然露头或探矿工程的分布地段。当上述露头地段远离测区时，应通过电测深剖面联系对比。

当测区为大面积覆盖时，测区与露头的联系就显得更加重要。

（3）根据探测对象的分布范围来设计测区时，应使测区不仅包括探测对象的分布区域，而且应将测区扩延至该分布区域之外，以保证探测对象能被完整地反映出来。

（4）当拟设计测区及其附近曾进行过电测深，而且采用过的最大供电电极距与拟设计最大供电电极距相近时，应尽可能使一部分拟设计电测深点与以往测深点相重合，以便于资料的联系对比与利用。

§2.22 设计电测深测线应考虑下列原则：

（1）测线方向尽可能垂直探测对象的走向；

（2）当测区内已有探矿工程或设计有探矿工程时，应尽可能将电测深测线设计在地质勘探线上；

（3）当探测对象有不同走向时，电测深测线应垂直它们的平均走向或主要走向布置；或者在不同地段采用不同方向的测线分段控制；必要时还可设计正方形测网。

§2.23 电测深工作的比例尺和测网密度的设计，应

根据工作任务及测区地电断面的复杂程度等具体条件综合考虑，使之既满足地质任务所要求的详细程度和精确程度，又符合经济节约的原则。

若布置的电测深工作是为了寻找某些地质体或地质构造，则所设计的测网密度应能保证平面分布范围最小的探测对象至少在两个相邻测深点上有清晰的反映。

§2.24 设计电测深工作的比例尺和测网密度时，还必须考虑探测对象埋深对探测结果详细程度的限制。相邻电测深点的最小距离不得小于主要探测对象埋深的一半或所设计的最大测量电极距的一半。当为了探测较深的对象而又必须详细地了解其他浅部探测对象时，只允许按上述原则在较疏的大电极距电测深测网中用小电极距电测深点加密。

§2.25 电测深工作的比例尺和测网密度的关系，应视工作地区地质及地球物理条件的复杂程度决定。在以工作比例尺绘制的电测深成果图中，要求电测深点的基本点距为10～40毫米，平均每100～800平方毫米面积应分布一个测深点。

面积电测深工作的常用比例尺和测网密度列于表5。

（六）测地精度与测网联测

§2.26 电测深点的位置座标应根据地形图、航空照片或测量仪器确定。电测深点的平面点位误差应在所设计比例尺的成果图上不大于2毫米。高程误差应满足：当探测对象的最小埋深超过50米时，不超过最小埋深的2%；当探测对象的最小埋深不足50米时，其高程误差应小于1米。

§2.27 电测深工作测网的控制连测及固定标志埋设的具体要求和注意事项，应遵照本规范§1.21的规定条款执行。电测深对测地的要求和注意事项应参照《物化探测量工

面积电测深常用比例尺和测网密度表　　表 5

比 例 尺	测线间距	沿测线的点距	测点数／公里²
1：100万	10～40公里	10～20公里	1／800～1／100
1：50万	5～20公里	5～10公里	1／200～1／25
1：20万	2～8公里	2～4公里	1／32～1／4
1：10万	1～4公里	1～2公里	1／8～1
1：5万	0.5～2公里	0.5～1公里	1／2～4
1：2.5万	0.25～1公里	0.25～0.5公里	2～6
1：1万	100～400米	100～200米	12.5～100
1：5千	50～200米	50～100米	50～400
1：2千	20～80米	20～40米	300～2500

作规范》的规定执行。

§2.28　应保证电极接地点的排列方向和其间距离的正确性。对于需要做较严格的定量解释的测深观测点，其电极排列方向和预定方向的偏差不得大于±3°；供电极距 $\overline{AO}$ 及 $\overline{BO}$ 的误差不得超过设计值的±1%；测量电极距 $\overline{MO}$ 及 $\overline{NO}$ 的误差不得超过设计值的±2%。对于只需要做较粗略的定量解释的测深观测点，上述三项测地定点的精度指标均可放宽一倍。

§2.29　接地点一般应事先用经纬仪测距定位，并打下测量标志。对于障碍物很少的平坦测区，可用罗盘、标杆定向，并用导线上预先量度好的记号逐一确定电极距。短电极距的精度相对难于达到，15米以内的距离应以测绳或皮尺

丈量。确定电极距必须以测点为起始位置，同时还须注意随时改正地形起伏的影响。

（七）电极距与电极排列方向

§2.30 电测深工作的电极系列（测深点观测所用的自小到大的一系列电极距）、最大供电电极距（对称四极装置指$\overline{AB}/2$，三极装置指$\overline{AO}$或$\overline{BO}$）以及电极排列方向，应根据工作任务，测区地质、地球物理条件及施工条件等设计。在它们确定之后，应进一步考虑和确定技术装备、人员配备及制定施工方案。

§2.31 在设计供电电极距系列时，应使各电极距在6.25厘米模数的双对数座标纸上沿$\overline{AB}/2$轴有大致均匀的分布，相邻电极距的比值在1.2～1.8之间。对于某些比较简单的地电断面或者某些测深曲线的次要曲线段，常选较大的相邻电极距比值；反之亦然。通常可将该比值选择为1.5，这时系列间距在座标轴上的分布大约为1厘米。

§2.32 测量电极距系列应根据所设计供电电极距系列、测区岩石电阻率及ΔV的观测条件等设计。通常可选择其与相应供电电极距有较小比值关系，但也应避免观测信号过小或者测量电极距变换过于频繁。测量电极与相应供电电极距的比值一般应保持在1/3～1/30的范围。

§2.33 设计的最小供电电极距应能保证电测深曲线有明显的前支渐近线（某些特殊目的不受此限）；设计的最大供电电极距应根据测区（或者类似条件的其他地区）中具有代表性的电测深曲线确定，或者通过测区已知地电断面正演估算确定，并在生产实践中灵活调整。总之，应以能获得完整的电测深曲线，满足解释推断的需要为原则。其具体要求是：

(1) 当以“无穷大”电阻率值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至少应有三个电极距读数；

(2) 当以有限电阻率电性层为底部电性标志层时，测深曲线尾支应获得明显的渐近线，即反映该电性标志层上升（或下降）的测深尾支曲线的拐点之后至少应有三个电极距读数；

(3) 对于新测区，应根据需要设计若干个均匀分布的、电极距较普通测深点大的“控制测深点”，以把握测区中电测深曲线的尾支渐近线特点，了解最下部电性标志层的电阻率情况。

§2.34 在三极电测深或联合电测深工作中，应根据最大供电电极距$\overline{AO}$或($\overline{BO}$)、测区地电断面特点及其他工作条件来合理地设计“无穷远”极C的方位和距离。应尽可能使“无穷远”极C位于$\overline{MN}$的中垂线上，将$\overline{OC}$与$\overline{MN}$中垂线的方向差控制在±5°之内，并使$\overline{OC}$不小于5$\overline{AO}$（或5$\overline{BO}$）。因客观条件限制不能按上述要求办理时，应随$\overline{OC}$方向与$\overline{MN}$中垂线方向夹角的偏大而增大$\overline{OC}$长度，使之由于C极影响在视电阻率观测中引起的误差不超过±2%。其$\overline{OC}$长度可加大至10$\overline{AO}$。

§2.35 在设计电极距的排列方向时，应使地形、构造和水平方向的各种电性不均匀畸变影响降到最低程度或最易分辨。与此同时，也应适当照顾通行、接地和施工的方便。

电极排列方向一般应满足下列要求：

(1) 同一测区的电测深点的电极排列方向应大体相同；因客观条件限制必须改变方向时，应布置足够数量的

十字电测深点；

（2）在不致影响观测效果和增加野外作业困难的前提下，应尽可能使电极排列方向和剖面方向一致，以便节约测地工作和便于收放线连续作业；

（3）地形坡度大时，应尽可能将电极排列方向设计得与地形等高线平行；

（4）为把握地电断面在水平方向变化对电测深曲线的影响，必须设计不少于测区总数3%的、在测区中分布均匀的十字电测深点；对于地形或构造复杂的地区，上述比例数还应适当增大。

§2.36 偶极电测深法在我国极少应用，在布置少量研究或试验性质的偶极电测深工作时，可参照本规范对称四极电测深法内容及有关教科书自拟技术要求，规范中对此不作统一规定。

（八）岩矿电阻率与模拟实验

§2.37 测区或其附近有正施工的钻孔，或者是原有的钻孔可能被清理时，应设计钻孔的电测井及井旁电测深工作，以便取得较可靠的地层电阻率资料。当电测井无法进行时，可只布置井旁电测深点。

配合电测深资料解释的电测井工作，应尽可能观测钻孔中全部可测井段，并测定井液的电阻率值。

对于以探测浅部对象为目的的短极距电测深工作，应设计浅井或民用水井的井旁电测深点。

§2.38 在岩石露头发育的测区，应注意设计参数电测深点。具体设计时，应了解露头的一般分布面积、可能的厚度情况，使参数电测深曲线能够反映出所测岩层电阻率的水平渐近线。

为研究岩层的各向异性和提高解释结果的可靠性，应设计平行岩层走向及垂直岩层走向的露头参数十字电测深点。

§2.39 测定电子导电型岩矿的电阻率值可以设计标本法。离子导电型岩矿的电阻率值则以其他测定方法为宜。

§2.40 电测深工作的正演模拟设计，应参照本规范§1.32的规定执行。

二、野 外 作 业

（一）野外作业准备

§2.41 电测深野外作业的准备，应符合本规范§1.33、§1.34和§1.35的规定。

（二）野外作业技术

1. 测深点位的布设与施工

§2.42 当设计的测深点位置遇到居民点、沟坎、接地条件困难等障碍和干扰时，可在二分之一测深点距的范围内移动并选择合适的测点位置，以减小影响，保证测深曲线的圆滑；但必须使位置移动后的电测深点的所有电极距及电极排列方向能满足测地精度要求。此项工作应在进行该测深剖面施工前数日到实地踏勘选定，必要时应专门为此进行测地。测地完毕，应拟定每一测深点的各电极距接地位置表，按计划进行施工，保证极距不出差错。

测深点移动的理由和具体移动情况应予详细记载，并及时上报分队。

§2.43 在野外作业之前电测深仪器设备的例行检查与注意事项，可参照本规范§1.38的规定条款进行。

2. 测站布置与导线敷设

§2.44　测站应尽可能布置在测点附近。供电导线和测量导线应分别固定在测站附近的绝缘物体上。

当所用最大供电电极距$\overline{AO}$超过1公里时，应分别敷设短电极距观测的供电导线和长电极距观测的供电导线。

为保证电极排列方向和距离的正确性，一般应用测量仪器定位，只有地形平坦时方可用导线上做长度记号的办法，详见§2.29。

§2.45　为防止因导线敷设不当而产生感应电动势或漏电现象，导线敷设应符合本规范§1.40的规定条款。与电剖面法不同的是，电测深作业通常采用扩展式电极距系列，故测量导线和供电导线的间距不应是固定的，一般以不小于$1/10\overline{MN}$为宜。

§2.46　导线通过水面或交通线时采取的处理措施和注意事项，应符合本规范§1.41的规定；导线收放作业中的注意事项应符合本规范§1.42的规定。

3．电极接地

§2.47　电测深供电电极接地应符合本规范§1.43的有关规定。

§2.48　当供电极采用并联电极组接地时，应使电极组以接地点为中心对称分布且垂直于电极排列方向。电极组长度应不超过电极距（$\overline{AO}$或$\overline{BO}$）的十分之一，其相邻电极间距应大于电极入土深度的二倍。

§2.49　为选择较优条件的供电接地点或者避开障碍物，可以垂直$\overline{AB}$排列方向移动接地点。接地点垂直拉线方向移动的距离应不超过它到测点距离$\overline{AO}$（或$\overline{BO}$）的5%；沿拉线方向移动的距离应不超过它到测点距离$\overline{AO}$（或$\overline{BO}$）的1%，这时可以不必另外计算K值。

当接地点附近存在较大面积的障碍物或者接地困难区域时，必须在观测现场改变电极距观测。这时应重新计算K值。

经移动一端或两端电极后的四极装置，仍应设法使装置保持对称；若AO与$\overline{BO}$不相等，则在绘图时将两者极距取平均值。

§2.50 布设测量电极时应注意下列几点：

（1）同一测量电极组中的电极种类和规格要求必须相同；

（2）将电极埋设稳固，与土层接触良好，拔除可能触及电极的所有杂草；

（3）单根电极接地、接地电阻过大时将影响观测，可以考虑采用两根或两根以上的电极并联，这时相邻电极间距和电极组长度应符合§2.49的规定；

（4）采用不极化电极作测量电极时，应事先挖好电极坑，并除去坑中碎石、土块、草根等杂物；遇干燥土壤，还应浇水以减小接地电阻；

（5）当规定的接地点因故不宜布极时，允许移动接地点位置，但应符合本规范§2.50的规定要求；

（6）布设$\overline{MN}$时，允许与$\overline{AB}$的方向有一定偏离，但偏离角度不得大于5°。

4．漏电检查

§2.51 在电测深作业过程中，应对其供电系统和测量系统进行全面的漏电检查。当发现有影响观测结果的漏电存在时，不论其影响程度如何，都应尽可能设法消除；当漏电确实无法消除，其影响又不超过本规范§1.47及§2.54的规定指标时，允许继续野外作业。

无论是否观测到漏电影响，漏电检查结果都必须在记录本相应电极距的备注栏中注明。

§2.52 对于下列情况的电测深作业，应做例行漏电检查：

（1）电测深点的最大供电电极距；

（2）三极电测深或联合电测深的“无穷远”供电导线；

（3）500米以上的每一个供电极距；当天气晴朗、地面干燥时，可放宽至每隔三个电极距；

（4）本规范§1.44中所指的某些情形。

§2.53 电测深野外作业中的漏电检查，应符合本规范§1.44、§1.45、§1.46、§1.47、§1.48的有关规定。

§2.54 在电极距不大、干扰电平很低、读数本身引起的视电阻率误差不超过2%时，还可以用改变供电极接地电阻的办法来检查是否漏电。当供电极接地电阻改变不少于一倍而测得的视电阻率差值不超过3%时，便认为漏电影响在观测结果中可以忽略。

5．测站观测

§2.55 电测深野外基本观测，除要求符合本规范§1.49的规定之外，还应注意下列三点：

（1）当变换测量极距观测时，应当在测量极距被改变的两相邻供电极距上同时获得两组测量电极距的观测值。

（2）进行大电极距观测时，必须使每次观测的供电时间不少于电场的建立时间。电场建立所需的时间 t 可按以下经验公式求得：

$$t = \frac{2\pi L^2}{10\rho_s} \quad (秒)$$

式中L为供电电极距$\overline{AO}$，单位为公里；ρ_s为相应供电电极距的视电阻率观测值，单位为欧姆米。当极距较大时，要注意因供电时间过长可能引起的测量电极的极差变化、大地电场的变化以及电池组的电源不稳定等情况。

(3) 供电极距$\overline{AO}$大于1000米时的所有读数应进行重复观测，并以其平均值作为最终的基本观测值。重复观测的要求应按§1.60规定执行。

§2.56 测站观测与野外记录和绘制草图工作的配合，测站观测与跑极作业的配合，应分别符合本规范§1.50和§1.51的规定。

6．数据记录与野外草图

§2.57 在电测深野外作业中，基本观测数据的现场记录应符合本规范§1.52、§1.53、§1.54及§1.55的规定。

§2.58 电测深野外草图应绘在6.25厘米模数的不透明双对数座标纸上，并应注明电测深点号、电极排列方向、各组MN值、观测日期、操作者和记录者的姓名。

7．困难条件下的观测和处理

§2.59 电测深野外作业过程中常见的干扰现象及其原因、干扰的检查程序和处理办法，应符合本规范§1.57和§1.58的要求。

§2.60 当供电电极距超过500米时，应进行两次以上的重复观测。

电测深野外作业中有关重复观测和检查观测的某些具体技术规定与精度要求，应分别符合本规范§1.59、§1.60和

§1.61的要求。

§2.61 当野外观测的计算结果在电测深曲线草图上形成突变点时，应及时检查分析，以确定可能导致观测错误的原因，并设法纠正（当电测无误时，应考虑是否为极距不准确引起）。

无论是否发现曲线突变的原因，都应当改变野外观测现场的某些工作条件，重测几组数据。当重复观测不超过规定时，应检查两相邻电极距的观测结果，或者在两相邻电极距之间增设新电极距观测，以便进一步查明突变点性质。

§2.62 当变换测量极距观测引起电测深曲线变异（交叉、喇叭口或脱节），且曲线距离超过4毫米时，应连续在3～4个供电极距上用两种测量极距观测。

（三）观测结果的质检评价

§2.63 电测深系统检查观测的具体布置、技术要求和注意事项，应符合本规范§1.64的规定。应该指出，系统检查观测的电测深点应检查其全部电极距，不能只对其中的某些电极距进行抽查。

§2.64 电测深工作的系统检查观测结果，不论全区所有检查点或单个测深点的检查，均应按照下式计算均方相对误差，并满足表1或设计规定的精度要求

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

式中 ρ_{si} ——第i个供电极距（同组MN）的基本观测数据；

ρ'_{si} ——第i个供电极距（同组MN）的系统检查观测数据；

$\overline{\rho_{si}}$ ——ρ_{si}与ρ'_{si}的算术平均值；

n 参加统计计算的视电阻率观测数目。

§2.65 单个电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：

（1）相对误差 $\left(\frac{1}{2}\cdot\frac{\rho_{si}-\rho'_{si}}{\rho_{si}}\right)$ 超过设计精度的电极距数目大于该电测深点电极距总数的32%；

（2）相对误差超过二倍设计精度的电极距数目大于该电测深点电极距总数的10%，这里考虑到观测时的某些具体情况，比理论值放宽一倍；

（3）相对误差超过设计精度的观测值在相邻的三个电极距连续出现。

当可以肯定由于地表及浅层湿度变化使得电测深曲线起始段的系统检查观测相对于基本观测出现规律性偏差时，允许将其剔除，然后再评价质量。

§2.66 评价一个测区或一个地段的电测深工作质量，应在单个电测深点系统检查评价的基础上进行。合乎质量标准的面积性电测深工作，应符合下列要求：

（1）不合格的电测深点数应不超过被评价区域内经系统检查的电测深点总数的32%；

（2）根据全区系统检查观测结果所统计的均方相对误差，应符合设计书或本规范表1的规定精度。具体统计时，不得剔除经单个测深点检查确定为不合格的电测深点。

§2.67 当各电测深点的电极距相同或相近时，测区电测深工作的均方相对误差可以用简便算法，即按单个电测深点的均方相对误差公式统计：

$$M=\pm\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}m_j^2}$$

式中 m_j ——第j个电测深点的均方相对误差；

N ——全区系统检查观测的电测深点数目。

§2.68 对于有较大面积的电测深测区，当区段之间的观测条件相差颇大时，应分区段评价质量。质量评价的依据应符合本规范§1.66的规定。

（四）技术保安

§2.69 电测深野外作业中安全生产的注意事项，应符合本规范§1.67、§1.68、§1.69和§1.70的规定。

（五）岩矿电阻率测定

§2.70 电测深作业中关于岩矿电阻率测定的有关注意事项，可参照本规范§1.71～§1.80的有关规定执行。

§2.71 确定地层电阻率时，应特别重视测区中钻孔柱状图及电测井资料。

以电测井方法测定岩层电阻率时，具体要求可参照有关的测井规范。

三、资料的整理和图示

（一） 原始资料及其检查处理

§2.72 电测深的原始观测资料及其一般检查处理原则，应符合本规范§1.82的规定。

§2.73 电测深原始观测记录本的检查处理，应符合本规范§1.83、§1.84与§1.85的规定。

（二） 原始资料的编录归档

§2.74 电测深原始资料的编录、归档、管理的一般性技术要求，应符合本规范§1.86的规定。

§2.75 当电测深野外观测记录本不再被用来记录新观测数据时，室内组应将它们统一编列目录。一般可按线点号

顺序编列（不依观测先后秩序），并在备注栏中注明下列观测记录所在的记录本编号：

（1） 相邻点记录；

（2） 同一测点不同性质观测的观测记录。

§2.76 电测深野外观测记录本的统一编号及注意事项，应符合本规范§1.87的规定。

（三） 图件编绘

§2.77 在电测深野外生产过程中，可以只编制各种简化草图。最终应提交的电测深正式成果图件，必须在原始观测资料正式验收之后，根据工作目的、期望的研究程度、测区地电断面的实际情况以及草图的施用效果等，有选择地拟编绘制。其一般质量要求、编绘方法和编绘程序，应符合《物化探图件编制规范》的有关规定。

§2.78 电测深工作的正式图件，除应有交通位置图、实际材料图以及其他有关的地质、测地类图件之外，还应有电测深曲线图及其解释推断过程中形成的各种电测深成果图件（电测深曲线类型分布图、视电阻率断面图、标志层顶板高程图、电性柱状图及电性参数平面图等）。

§2.79 电测深工作布置图

电测深工作布置图除了应符合《物化探图件编制规范》中测区工作布置图的一般性规定以外，还必须符合与电测深工作有关的下列特殊要求：

（1）标绘电测深点位置及电极排列方向；

（2）以不同符号图示并区别普通电测深点、控制电测深点、十字电测深点或者环形电测深点；

（3）区别有电测井资料与没有电测井资料的钻孔，区别已作井旁电测深和未作井旁电测深的钻孔；

(4) 用较大工作比例尺时，还应标绘露头电参数测定点位置及编号。

§2.80 电测深曲线图

电测深曲线图是任何一种性质的电测深工作的基础图件，必须逐点绘制并装订成册。电测深曲线图应符合下列要求：

(1) 绘制在6.25厘米模数的双对数座标纸上，纵座标轴为ρ_s（欧姆米），横座标轴为$\frac{\overline{AB}}{2}$（米）；

(2) 按实测数据点图，并以直线分段连接测量电极距相同的ρ_s观测值；

(3) 曲线的首端和尾端应分别注明相应供电极距的ρ_s值；

(4) 在曲线上方标明点号、座标、高程、日期、电极排列方向及测量电极距系列；

(5) 经定量解释的电测深曲线，应沿$AB/2$轴以相同比例尺绘出由解释推断所得的电性柱状图；用量板法解释时，应注明所用量板编号和理论曲线参数；经消差或圆滑处理的实测曲线应以虚线绘制；

(6) 不同测点的电测深曲线应不绘制在同一图中的同一座标系内，但测深曲线对比图不受此限。

§2.81 电测深曲线类型分布图

该图是定性解释用的小比例尺平面图。通常可用电测深曲线类型符号附于测点上方，或者用小模数双对数座标绘出实测曲线附在测点上方表示。当以曲线图表示时，应以ρ_s（欧姆米）为横座标轴；$\overline{AB}/2$为纵座标轴。

§2.82 视电阻率断面图

视电阻率断面图除了应按照《物化探图件编制规范》中断面图的有关规定之外，还应符合与电测深有关的下列特殊要求：

（1）取电测深剖面的水平线为横座标轴，诸测探点位置为各纵座标轴的座标原点，并垂直向下绘出彼此独立的对数纵座标轴（$\overline{AB}/2$），以及在轴上标绘从最小电极距开始的供电电极距系列。这样便构成了沿剖面线切开的断面上的特殊座标系；

（2）在相应供电极距旁标绘ρ_s值；

（3）沿垂向断面按某个等值线间距勾绘ρ_s等值线。

§2.83 地电断面图

电测深的地电断面图除了应符合《物化探图件编制规范》的某些规定外，必须符合与电测深有关的下列特殊要求：

（1）绘出测深剖面的实际地形线和地表地质情况；

（2）标绘探矿工程位置及被工程揭露的地质情况；

（3）绘出电性层并注明电性参数值；若同一电性层的电性参数值沿剖面变化时，应分段标注数值；

（4）对于已确定与某一地层有对应关系的电性层，还应标注其地层符号。

§2.84 在编制某个供电极距的视电阻率平面图之前，应先绘制视电阻率断面图，以便观察和比较不同供电极距对探测对象的反映能力，选择反映ρ_s曲线特征最明显的供电极距的ρ_s值成图。

§2.85 编制电测深曲线极值点座标平面图或剖面图

时，同一图中的各极值点必须反映同一电性层。

§2.86 编制总纵向电导（S）平面图（或断面图）、总横向电阻（T）平面图（或断面图）以及“中间层纵向电导”（或横向电阻）平面图（或断面图）时，也必须注意使同一图中所示参数属于同一标志层的全部上覆地层或同一中间层。绘制总纵向电导或总横向电阻剖面图时，沿纵座标轴S或T的数值应取为上小下大，以使S曲线或T曲线直觉地给出标志层的起伏概念。

§2.87 标志层顶板高程图（或等高线图）、标志层埋藏深度图（或等深线图）以及中间层厚度图（等厚线图），除了应符合《物化探图件编制规范》中的有关规定外，还必须符合与电测深有关的下列特殊要求：

（1）标绘测深点位置，并标注定量解释的高程、深度或者厚度值；

（2）等值线间距应不小于定量解释的可能误差；

（3）绘出推断断层、褶皱轴等构造线；

（4）若标志层顶面与一定地层顶面重合，则应将图名中的电性层名称改为地层名称。

§2.88 电性柱状图应符合下列要求：

（1）与地层柱状图绘在一起，单个钻孔的电性柱状图可以与测井曲线图合并绘制；

（2）注意区别电性参性种类，对于各向异性的电性层应同时标绘其横向电阻率、纵向电阻率、平均电阻率及各向异性系数；

（3）注意区别电性参数值的测定方法，不同测定方法的电性参数值应分别绘图，或者有区别地绘制在同一图中，不可互相混淆。

§2.89 电性参数平面图

电性参数平面图应符合下列要求：

（1）按同一电性层的同类电性参数绘制；

（2）当电性参数在测区中变化较大，但已知资料足够详细时，可勾绘等值线表示；否则应以分区的方法表示；

（3）图中必须同时绘出全部有关电性参数观测点的位置，并在其旁标注所取得的电性参数的深度。

§2.90 各种平面图及视电阻率断面图中的等值线，应由技术负责人亲自勾绘，或在技术负责人指导下勾绘。

§2.91 电测深成果图件中的装置形式及代号、常用名词的文字符号以及图件的审校、验收的具体技术要求，都应符合《物化探图件编制规范》中的有关规定。

第三章 充 电 法

一、技 术 设 计

（一）充电法的工作布置

§3.1 布置金属矿充电法工作的基本条件

（1）矿体的电阻率比围岩小得多，且矿体和围岩电阻率都比较稳定。当矿体电阻率比围岩的小100～1000倍时，充电矿体可视为等位导体；当矿体与围岩的电阻率差异不够大时，充电矿体可视为不等位导体；若这种不等位达到某种程度，充电结果就失去找矿意义。

（2）矿体沿走向有足够长度，一般要求矿体的走向长度至少为矿体顶端埋深的三倍。

（3）矿体的充电异常能从干扰背景中清晰分辨。

§3.2 遇本规范§1.3中所列的某些复杂条件时，应不布置充电法工作。

（二）资料的收集与分析利用

§3.3 充电法资料的收集与分析利用的一般原则，应符合本规范§1.4的规定。

§3.4 在着手金属矿充电法工作设计之前，应注意收集和分析测区的地形、地貌、气象资料。其具体内容和分析利用的注意事项应符合本规范§1.5的规定。

§3.5 在着手金属矿充电法工作设计之前，应收集

和分析下列地质资料：

（1）矿体与围岩的形状、产状及空间位置，矿床成因、矿体与围岩关系；

（2）测区主要构造形式的分布及发育情况，构造与成矿的关系；

（3）侵入体及某些地层与成矿的关系；

（4）覆盖层的性质、分布及厚度，覆盖层沿水平或垂深方向的变化；

（5）矿体的天然露头，钻孔与槽探井探工程的分布，实际控制的矿层数目、深度及厚度，岩心采取率，钻孔漏水或涌水情况，孔内安全情况。

在分析上述地质资料时，应把握有可能使充电法观测结果产生畸变影响的某些因素，或使成果资料的推断解释发生困难的因素。例如，岩矿的矿物成分、结构构造、风化蚀变程度及良导矿物的连通性等将直接影响到矿体和围岩的电阻率值；覆盖层的厚度和性质将直接影响异常曲线；围岩产状、断层、片理、破碎带的发育和分布将影响宏观各向异性系数。

§3.6 在着手金属矿充电法工作设计之前，应收集和分析利用测区中已有的物化探资料。其具体收集内容、分析利用时的注意事项，应符合本规范§1.8的规定。

§3.7 在着手金属矿充电法工作设计时，有关测绘资料的收集、分析、利用的内容和注意事项，应符合本规范§1.9的规定。

（三）电位及梯度参数的观测精度

§3.8 充电法电位参数与电位梯度参数的设计精度，以及在设计精度下的观测影响因素配赋情况列于表6。

表6中“其他”一栏对于$\Delta V/I$电位测量的要求比对$\Delta V/(I\cdot\overline{MN})$梯度测量的要求有所放宽。这是因为考虑电位测量时，观测极距较大，受大地电流干扰程度比梯度测量要大些的缘故。

“其他”中包括：电极的极差、“无穷远”极的影响、自然电位的变化、大地电流的干扰、仪器零点位移以及表层湿度影响引起浮土电阻率的变化等等引起的误差。

充电法电位及电位梯度观测精度和误差分配表　表 6

误差分配 参数 \ 分项	总均方相对误差		测地均方相对误差	电测均方相对误差		
	有位误差	无位误差		ΔV	I	其他
$\frac{\Delta V}{I}$		±5%		±2%	±2%	±4%
$\frac{\Delta V}{I\cdot MN}$	±5%	±4.5%	±2%	±2%	±2%	±3.5%

§3.9　在不改变总设计精度的条件下，设计者可根据测区的工作条件和人员、仪器设备情况，灵活调整表6中各影响因素引起的误差分配关系。

§3.10　低电阻背景地段的充电法观测，由于观测信号ΔV微弱以及干扰的相对增强，在不作定量解释的情况下，表6中的各项精度标准可放宽一倍。

（四）测区范围与测网布置

§3.11　金属矿充电法工作的测区范围，应根据工作目的、矿体规模和赋存条件等确定。

（1）为评价矿体规模的充电法工作，其测区范围应使矿体异常有足够的正常背景相衬托。这时，测区的长度可设计为所预计的矿体长度的2～4倍，测区的宽度应根据背景

场地段的等电位线的椭圆率决定，通常使测区长与宽之比值为该椭圆率值。在确定椭圆率时，应穿过矿体中心，沿矿体走向布置“十”字型试验剖面（等位线椭圆率指等位线长轴与短轴之比）。

若矿体埋深小，可适当缩小测区范围。

（2）寻找盲矿体的充电法工作，其测区的大小决定于该盲矿体（或盲矿体群）的可能分布范围。

（3）当只要求了解某一局部地段的矿体情况，或者只要求了解与矿体有关的某个具有研究性质的专门问题（如矿体倾向、矿体埋深、矿体与其他矿体的连通关系）时，一般可只设计若干精测剖面，但剖面应有足够的长度。

§3.12 测网方向的确定

充电法的测线应垂直矿体走向，并尽可能通过地质勘探线。不等位导体的充电，还应布置一定数量的与原测线约呈30°交角的斜交剖面。这种斜交剖面可以是相隔充电点一定距离的一组或几组测线，数量较多时便构成新的斜交测网。

§3.13 充电法的工作比例尺和测网密度，应根据地质任务、矿体规模、赋存状态及干扰因素等条件确定。

（1）当只需要粗略了解矿体的规模时，测线距一般应为矿体预计长度的1/4～1/3，通常以不超过50米为宜；需要仔细了解矿体规模时，测网密度应能使所反映的矿异常的细节足够详尽。

（2）测线距与测点距的比值，应大致等于异常场等位线的椭圆率。对于埋藏较浅、长度较大的陡产状矿体，该比值宜小，反之宜大。通常其比值以1/4～1/2为宜。

（3）在测区的正常背景地段可以考虑适当地放稀测网密度，但不得影响工作精度。

（4）一般应以测线距投在图上为1厘米的比例尺为工作比例尺。充电法常用工作比例尺和测网密度的关系列于表7。

充电法工作比例尺与测网密度关系表　　表 7

工作比例尺	线　距(米)	点　距(米)
1：5000	50	10～20
1：2000	20	5～10
1：1000	10	2.5～5

（5）井中或坑道中的充电观测常取1:500或者1:1000的工作比例尺，相应点距为2.5～5米。

§3.14 充电法工作测网中固定标志的埋设及测网控制联测中的具体技术要求和注意事项，应符合本规范§1.21的规定。有关测地的某些基本技术要求，除了应符合本规范及《物化探测量工作规范》的有关规定之外，还必须符合与充电法本身有关的下列特殊要求：

（1）测点距的测地误差一般按均方相对误差±2%要求，若不要求定量解释，也可以放宽到3%；

（2）应精确定出充电点位置或充电点地面投影位置，并应当粗略测定“无穷远”接地点和固定测量电极N的位置；

（3）应通过测地工作大致圈定测区中天然露头的分布范围、无法施工的地段，以及无必要施工的地段的分布范围；

（4）采用梯度测量时，测量电极距$\overline{MN}$的误差将被直接带入计算结果；而$\overline{MN}$应取测点距或测点距整数倍，

但是不宜超过二倍；因此在进行梯度观测之前，要求对相邻点距离事先进行系统检查，其检查工作量应占测地工作的总检查工作量的50%。当相邻点距离未达测地精度时，不得进行梯度观测，而应查明原因并重新确定相邻点距离。

（五）测量方式与充电点布设

§3.15 充电法测量方式的确定原则

（1）当需要快速获得充电电场平面形态的全貌时，应采用电位测量方式，但也必须布置若干通过异常中心的梯度剖面。

（2）当需要详细追踪陡产状薄层矿体时，应主要选择梯度测量方式，但也必须有选择地布置适当数量的电位剖面。

（3）当需要大致圈定矿体范围或确定矿体规模，但测区中表土不均匀性干扰影响较大时，应以电位测量为主，梯度测量为辅。

（4）当需要了解矿体的产状和规模时，应选择电位和梯度同时测量。

§3.16 充电法工作除了应在地表进行观测之外，还应尽可能在测区的全部钻孔和坑道中测量。具有不同研究目的的辅助性充电法工作资料，常有助于较可靠地确定矿体的形状、产状及空间位置。

工程中的“充电—测量”形式，一般有“地—井”式，“井—地”式，“井—井”式。坑道、井下、地面三者之间必要时可以交换充电与测量的位置，以便分析、对比观测结果。

§3.17 充电点的布设

（1）条件许可时，应在矿体上设置两个或多个充

电点分别充电测量。

（2）应选择无矿代表性地段与矿化代表性地段分别充电测量，以便掌握测区中正常场的分布特征和确定岩层的各向异性系数。

（六）电性参数与模拟实验

§3.18 充电法工作中电性参数的设计，应原则上符合本规范§1.28、§1.29及§1.30的规定；模拟实验的设计应原则上符合本规范§1.32的规定。

二、野外作业

（一）野外作业准备

§3.19 充电法野外作业之前的准备事宜，应符合本规范§1.33、§1.34、§1.35的规定。

（二）野外作业技术

1．测站布置

§3.20 充电法野外观测站的选择和布置，应符合本规范§1.36的规定。

每个作业日观测之前，或者测站转移并重新布置之后，应对仪器设备作例行检查。例行检查的技术要求和注意事项，原则上符合本规范§1.38的规定。

2．导线敷设

§3.21 充电法的导线敷设作业，应符合本规范§1.39、§1.40、§1.41及§1.42的规定。

3．电极接地

§3.22 在充电法野外作业中，布设充电点时应注意下列几点：

(1) 在矿体的天然露头或者在浅井、坑道中被揭露的矿体上布设充电点时，应以铜丝束接触原生矿体，用浸透硫酸铜饱和溶液的棉纱填塞空隙并压以重物；也可以在矿体上凿孔插入电极并在孔中注入浓盐水或泥浆。不论何种接地方式，都应当使充电点处有足够小的接地电阻。

(2) 钻孔充电，常采用自制的刷状金属电极通过钻孔中的泥浆对矿体充电。

在布设钻孔充电点的过程中，应将下端坠有重物的刷状金属电极上下提放移动，观察电流变化。将获得的电流极大值的充电极位置作为被选中的充电点予以固定。在测区观测完毕之前，充电点位置不得变动。钻孔需立即封闭时，充电点可预先埋设。

(3) 充电点应恒为正极性，以A表示。

(4) 充电点应由有经验的人员布设，并且只有在经检查合格之后才允许工作。

§3.23 充电法要求“无穷远”电极的接地点至测区中心的距离应至少为二倍测区对角线长度。

测量电极中的固定电极N，应布设在距测区中心约二倍测区对角线长度的某个位置，并与“无穷远”电极的方向相反；固定测量电极N还可以布设在电位极大值点附近，但应注意与充电点A保持一定距离。

当测量接地位置正好处于无法施工的条件时（如露头、水池、建筑物等），可将测量电极向垂直测线方向移动。对于梯度测量，M与N可同时向同侧移动观测点距的五分之一；对于电位测量，可将接地移动点距的五分之一。当移动距离超过上述规定时，应通知测站，以便在记录本“备注”栏注明。

4. 漏电检查

§3.24 充电法测量中的漏电检查，应符合本规范§1.44，§1.45，§1.46，§1.47及§1.48的规定。

§3.25 为保证电位联测精度，应在每一联测点观测之后进行漏电检查。

5. 测站观测

§3.26 在电位测量和梯度测量中，关于测站观测的一般性技术要求与注意事项，应符合本规范§1.49的规定。

§3.27 进行电位测量时，为了准确定出极大值的点，在其附近应加密点距一至二倍，必要时可加密测线。

进行梯度测量时，应特别注意观测数据的正负符号。M、N电极的前后顺序一经固定，就不应随意改变。为了统一，可以规定东与北方向的测量电极接仪器N插孔，而西与南方向的测量电极接仪器M插孔，便可保证观测中正负号准确。同时，当电位差读数的符号改变时，应将测点加密1~2倍，并且可缩小$\overline{MN}$长度，以便较准确地定出零值点。

§3.28 在面积性电位测量结束之后，应通过诸测线的电位极大值做纵向梯度与横向梯度的剖面测量；在面积性梯度测量中应以小木桩在观测现场标出梯度零值点位置，待面积性观测完毕之后，沿诸测线梯度零值点做纵向梯度测量。

§3.29 在面积性电位测量之前，应以“无穷远”零电位点为标准，对不在“无穷远”点的固定极N的电位进行联测，以换算至相对于零电位点的电位值。当N极电位为已知之后，就能随时计算出普通测点的电位值。

对于小面积的测区，可以只设置一个N极位置；若需要设置多个N极位置，则它们最好都与“无穷远”零电位直接联系，以免积累误差而影响观测精度。

当N极安置在测区中部时，必须注意读数正负号，以防止N极未在最大电位点，正负读错。

联测多个N极点电位，应逐点观测其电位差和供电电流，并注意读数的正负变化。这种联测至少应进行2次，以评价联测工作质量。

§3.30 记录员在回报核实操作员观测数据后，应及时记录并计算电参数。测点的电位值必须以单位电流强度的电位值（$\Delta V/I$）表示，并记录在流动的测量电极M所在的测点上；梯度测量结果则应以单位电流的梯度值（$\Delta V/I\cdot\overline{MN}$）表示，并记录在$\overline{MN}$中点。

充电法的数据不允许以电位和梯度互相换算的办法得到数值作为观测结果。

在作业过程中，最好能逐点绘制电位或梯度剖面草图，以便及时发现曲线的畸变现象，确定特征点位置或指导加密点。

6．数据记录与野外草图

§3.31 在充电法野外作业中，观测数据的记录应符合本规范§1.52、§1.53、§1.54及§1.55的规定。野外草图的技术要求应符合本规范§1.56的规定。

7．困难条件下的观测和处理

§3.32 电位测量和梯度测量中对于干扰的检查与处理措施等，应符合本规范§1.57和§1.58的规定。

§3.33 电位测量和梯度测量中的重复观测，原则上应参照本规范§1.59及§1.60的规定。其具体判别式应为：

$$\frac{2\left[\left(\frac{\Delta V}{I}\right)_{max}-\left(\frac{\Delta V}{I}\right)_{min}\right]}{\left(\frac{\Delta V}{I}\right)_{max}+\left(\frac{\Delta V}{I}\right)_{min}}\cdot 100\%\leqslant\sqrt{2n}\cdot m$$

式中n为参加平均的 $\frac{\Delta V}{I}$ 值个数；m为设计无位均方相对误差；当为梯度观测时，式中的$\Delta V/I$值即指$\Delta V/I\cdot\overline{MN}$值。

§3.34 电位测量和梯度测量中的检查观测，应原则上符合规范§1.61的规定。

§3.35 当电位和梯度的观测结果在草图上形成突变点时，应及时查明原因并设法纠正。无论引起突变点的原因发现与否，均应改变某些工作条件重新观测一组或几组数据。当重复观测符合要求时，应检查相邻测点或者加密测点观测，以求进一步查明突变点性质。

§3.36 在电位极大值附近应加密测点，必要时可加密测线。在梯度测量中，当ΔV的符号变化时，应以更小的$\overline{MN}$做加密测点观测，以便较准确地定出梯度曲线零值点位置。

（三）观测结果的质检评价

§3.37 布置电位测量和梯度测量的系统检查观测，除了应符合本规范§1.64及§1.65的有关规定外，还应根据下列技术要求来衡量精度：

（1）应以系统检查观测值与基本观测值所计算的均方相对误差m来衡量精度，均方相对误差m应按下式计算

$$m=\pm\sqrt{\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\left(\frac{\Delta V}{I}\right)_i-\left(\frac{V\Delta}{I}\right)'_i}{\left(\frac{\overline{\Delta V}}{I}\right)_i}\right]^2}$$

式中$\frac{\Delta V}{I}$值亦可以为 $\frac{\Delta V}{I\cdot\overline{MN}}$ 值；

$\left(\frac{\Delta V}{I}\right)_i$ ——第i点基本观测时单位电流的电位值；

$\left(\frac{\Delta V}{I}\right)'_i$ ——第i点系统检查观测时单位电流的电位值；

$\left(\frac{\Delta \overline{V}}{I}\right)_i$ ——第i点单位电流的电位平均值；

n ——参与系统检查观测的有效观测点数目。

按上式计算出的均方相对误差 m 应满足本规范表6及§3.10中的精度要求。

(2) 系统检查观测结果按(1)款要求精度超过规定时，应增加系统检查工作量，并按本规范§1.64中第(5)款的规定处理。

(3) 当存在明显系统误差时，应在系统误差消除之后再计算均方相对误差。

(4) 电位测量再进行系统检查观测时，应使电极的位置与基本观测时相同。

(5) 梯度测量在进行系统检查观测之前，测线的相邻点距离应按本规范§3.14的第(4)款进行系统检查；其检查结果应符合本规范§3.14第(1)款中的规定。

(四) 技术保安

§3.38 电位测量与梯度测量有关安全生产的注意事项，应符合本规范§1.67、§1.68、§1.69。§1.70的规定。

(五) 电性参数测定

§3.39 充电法的电性参数测定，应符合本规范§1.71～§1.80的有关规定。

§3.40 在无矿围岩地段测定点源场分布时，应根据电位等值线长短轴比值来确定围岩宏观各向异性情况。

三、资料的整理和图示

（一）原始资料及其检查处理

§3.41 充电法工作的原始资料及其一般处理原则，应符合本规范§1.81及§1.82的规定。

§3.42 充电法原始观测记录的检查处理，应符合本规范§1.83、§1.84及§1.85的规定。

（二）原始资料的编录归档

§3.43 充电法原始资料的编录归档，应符合本规范§1.86的规定；原始观测记录本的目录、索引和统一编号，应符合本规范§1.87的规定。

（三）图件编绘

§3.44 充电法工作应根据地质目的和测量方式，有选择地提交充电法成果图件。充电法成果图件一般应包括实际材料图、电位（或梯度）剖面平面图、等电位线平面图、纵向梯度剖面图、综合平面图（或综合剖面图）以及推断成果图。

§3.45 充电法成果图件必须在资料正式验收之后，根据工作目的、研究程度、草图的施用效果等情况拟编绘制。其一般质量要求、绘制方法程序，应符合《物化探图件编制规范》的规定；充电法成果图件应包括的内容、绘制时的技术要求和注意事项，应分别图件类别，参照本规范§1.88～§1.94的规定执行。

§3.46 在某些情况下，通过实验认为效果显著时，

可以在综合剖面图中绘制 $\frac{\Delta V}{I \cdot \overline{MN}}/\rho_s$ 比值曲线。该比值是梯度观测值与对称四极装置所测的视电阻率的比值。这种经过整理后的梯度曲线，在一定程度上可消除圆岩或浮土电性不均匀对梯度曲线的畸变影响。

§3.47 纵向梯度剖面图，应根据纵向梯度测量的实际结果绘制。绘制时应注意在纵向梯度剖面的下方绘出推断的矿体纵断面，并根据纵向梯度剖面特征点位置来确定矿端边界；还应根据若干横向梯度剖面来确定矿体顶端埋深，但可以不封闭矿体下端界线。

§3.48 用双对数座标纸绘制电位或梯度剖面时，应注意以下几点：

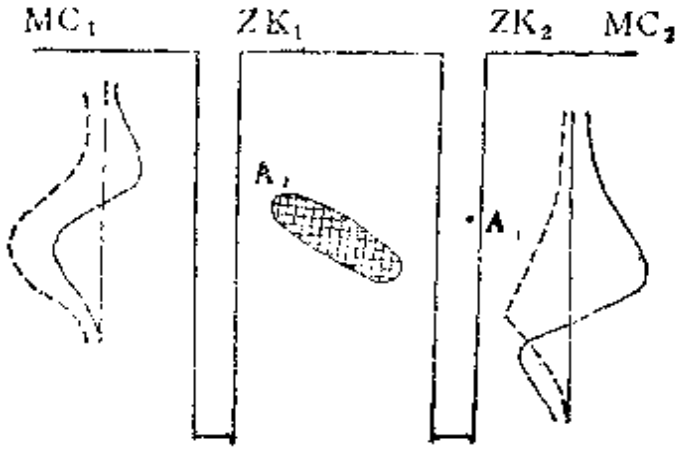
(1) 以电位极大点（或梯度零值点）至各测点之间的距离为横座标，单位为米；

(2) 注意电位零值点选择得是否正确；

(3) 将电位极大点（或梯度零值点）的左右两支曲线绘在同一双对数座标纸上；

(4) 将通过异常中心的纵向梯度剖面和横向梯度剖面(或电位剖面)绘在同一双对数座标纸上，与量板对比。

§3.49 寻找钻孔之间的盲矿体时，充电法图件可采用以下形式：



图中A_1和A_2分别为第一次和第二次充电的充电点；ZK_1和ZK_2分别为第一次和第二次充电的钻孔；MC_1和MC_2分别为第一次和第二次充电的观测曲线。

§3.50 充电法成果图件中的方法名称、测量形式代号、常用名词的文字符号，以及充电成果图件的审校与验收的各种技术要求，都应原则上符合《物化探图件编制规范》中的有关规定。

第四章　自然电场法

一、技　术　设　计

（一）自然电场法的工作布置

§4.1　布置自然电场法工作，应具备下列条件：

（1）被探测地质体有较高的电子导电性；

（2）被探测地质体中的金属离子具有足够的电化学活动性；被探测地质体的周围存在着良好的氧化还原环境；

（3）被探测地质体埋深不大。

§4.2　遇下列某种情况时，不宜布置良导性矿的自然电场法工作：

（1）被探测地质体本身为浸染状矿体；

（2）被探测的良导性矿体埋深过大，或是其赋存地段的潜水面过深；

（3）被探测的良导性矿体位于湖沼地带、干旱地带或者冰冻地带；

（4）测区中存在强大的工业游散电流，或是测区中广泛分布着十分发育的过滤电场。

（二）资料的收集与分析利用

§4.3　在着手自然电场法工作设计时，有关资料收集分析利用的一般技术原则和注意事项，必须符合本规范

§1.4、§1.7的规定。

§4.4 当以自然电场法直接普查金属硫化物矿体时，应特别注意收集、分析和利用下列地质资料：

（1）对矿体导电性能有直接影响的地质因素或地质情况，如矿石的成分、结构构造、围岩性质、破碎带、片理、断层的分布等；

（2）金属矿物、周围溶液中离子的种类及其电化学活动性；

（3）测区中地表潜水面深度及其变化；

（4）炭质地层或含炭地层的分布；其他可能使自电异常发生干扰畸变的地质因素。

§4.5 在着手自然电场法工作设计时，有关测区地形、地貌及气象资料的收集、分析、利用中的技术要求和注意事项，必须符合本规范§1.5的规定；测绘资料的收集、分析、利用中的技术要求与注意事项，应符合本规范§1.9的规定。

（三）方法有效性与技术试验

§4.6 自然电场法野外生产之前的现场踏勘与方法技术试验，应符合本规范§1.12与§1.13的有关规定。

同时，根据自然电场的特点，应注意：

（1）自然电场随时间变化的大致状况，为选定观测精度提供依据；

（2）了解过滤电场和氧化还原电场的分布情况，为确定总基点提供资料。

（四）电位及梯度参数的观测精度

§4.7 自然电场法应观测的电参数有自然电位ΔU和自然电位梯度$\Delta U/\overline{MN}$。其精度采用适于表征正常场观测情

况的绝对误差来衡量，并以算术平均绝对误差表示总精度。

自然电位测量和自然电位梯度测量中的总精度、精度分级及各种观测影响因素引起的误差分配值列于表8。

自然电场法观测精度及误差分配表　　表 8

误差分配 / 分项 / 级别		总误差（毫伏）	分项误差（毫伏）		
			$\Delta U_{视读}$	极差	其他
电位测量	A	5	0.5	1.5	3
	B	10	1.0	3.0	6
梯度测量	A	3	0.5	1.0	1.5
	B	5	0.5	1.5	3.0

（1）表中的A级精度适用于详查或剖面性质的自然电场法工作；B级精度在大多数情况下只适用于以发现异常为目的的普查性面积工作。

（2）“$\Delta U_{视读}$”项目中包括仪器的档差、零漂以及视差。

（3）“其他”项目是指操作员难以控制的误差因素：包括自然电位不稳定（微变）、地表土层潮湿以及电极接触电位等影响引起的误差。

（4）观测精度及误差分配中不包括对基点联测的要求。

对于异常场，应用平均相对误差来衡量，其误差数值的大小要依自然电场的特征、幅度以及水平梯度的变化情况，

并结合测地定点精度要求，根据经验和需要来确定。

（五）测区范围与测网布置

§4.8 在设计自然电场法的测区范围时，一般应注意下列几点：

（1）以发现金属硫化物矿体为目的的普查性自电工作，测区的大小应能使被探测矿体的自电异常有足够的正常背景相衬托；以详细找矿为目的的自电工作，也应使所获得的自电异常形态完整；

（2）对于追索性质的电位测量或电位梯度测量，应使测区范围包括全部或部分已知地质体；在前人的工作基础上扩大测区范围时，应重复一部分测区或者测线，以便成果之间的联系对比。

§4.9 测线方向的设计

（1）测线方向应垂直被探测地质体走向，并尽可能避免地形及其他干扰影响；条件许可时，还应尽量与典型地质剖面或者地质勘探线相重合。

（2）当被探测地质体走向变化时，测线应随之变化；当无法适应这种变化时，可垂直被探测地质体的平均走向布置测线。

（3）在某些情况下还应布置纵剖面测量。

§4.10 测网密度的设计

（1）当采用自然电场法普查金属硫化矿体时，至少应有一条测线穿过有意义的最小工业矿体，并至少应有3～5个测点在既定精度内反映这个异常。

（2）当采用自然电场法详细研究金属硫化矿体以便确定其空间位置和产状要素时，必须有3～5条测线通过矿体，并且每条测线上至少有5～10个测点于既定精度内反映

这个异常。

（3）自然电场的异常宽度D可由踏勘或者据经验公式$D=2b+Kh$估算确定，式中$2b$为具工业意义的最小矿体的水平厚度；h为潜水面深度；K为矿体形状比例系数，等轴状矿体K取值在3～10之间，直线延展状矿体K取值在5～14之间，通常可取为5。

（4）自然电场法常用的工作比例尺和测网密度列于表9。

表 9

工作比例尺	测线距（米）	测点距（米）
1：25000	250	50
1：10000	100	20
1：2000	20	10

§4.11 自然电场法工作测网中固定标志的埋设和控制联测作业，应符合本规范§1.21的规定；有关测地工作的技术要求，除应符合《物化探测量工作规范》之外，还应符合下列要求：

（1）进行详查工作时，相邻点距的最大误差应小于5%；

（2）测地定点位置垂直测线方向移动时，梯度法不得超过$\overline{MN}$的1/5，电位法不得超过点距的1/5。

（六）基点的选择与联测

§4.12 基点的选择

在电位测量中，电位总基点一般应选择在测区（或测区附近）接地良好的平稳背景地段。应尽量避开废石堆、流水

旁、干燥的河谷沙滩、剧烈切割地形以及具有强烈电化学活动性的接触带、过滤带分布区；条件许可时，还应兼顾联测作业的方便程度。

电位分基点的选择，可较总基点适当放宽要求。但应选在交通方便，并且是用最少的导线便可测完欲控面积的地点。

§4.13 基点联测

根据工区内的实际具体情况，可分别取用不同的方法进行联测。例如，分基点与总基点距离均不太远时，可采用直接联测法；分基点之间以及与总基点之距离均较远时，可采用间接联测法（亦称测线联系法）；各分基点与总基点的距离远近不一，且分基点数目较多时，可采用多边形联测法（亦称梯度联测法）。具体的做法参见附录。

（七）测量方式与测量电极距

§4.14 自然电场法工作的测量方式，应根据工作性质与测区干扰电平等因素综合考虑。实际工作中一般多采用电位测量，只有在小比例尺普查，测区中存在着较大的游散电流及大地电流干扰，或者出于某种特殊目的（如对金属导管腐蚀程度的研究）时，才采用电位梯度测量。

§4.15 电位梯度测量中，其测量电极距 $\overline{MN}$ 常等于基本点距。

（八）岩矿电性参数

§4.16 为了给自然电场法的工作结果提供解释推断依据，应研究测区岩矿的电化学活动性。因此，有条件时可考虑测定不同浓度氧化还原环境下岩矿标本的自然电场和自然跳跃电位。

在有钻孔或坑道的测区，应设计自然电场测井，即在不

同井深处测定岩矿与周围矿化液之间的自然跳跃电位。另外，也可以采集岩矿与矿化液标本进行自然跳跃电位的测定统计。

§4.17 电性参数设计必须注意的问题，应符合本规范§1.28的规定。

§4.18 自然电场法工作中的地质设计，应符合本规范§1.31的规定。

二、野外作业

（一）野外作业准备

§4.19 自然电场法野外作业准备，应符合本规范§1.33～§1.35的有关规定（供电系统的准备除外）；另外，不极化电极的制作应列为重要的准备内容。具体制作方法见附录九。每个不极化电极都应注记编号或代号，以便野外使用时易于识别。

（二）野外作业技术

1．测站布置

§4.20 自然电场法测站的选择和布置，应符合本规范§1.36的某些规定；当测区面积较大需用多个分基点控制时，还应使测站离分基点较近。

2．导线敷设

§4.21 自然电场法野外测量中的导线敷设作业，应符合本规范§1.39～§1.42中的有关规定。

当进行长剖面作业或者测区中游散电流干扰较大时，导线敷设不宜过长，一般采用多个分基点分段控制。

当采用多组电极测量时，要编清组号，注意正负极性。

3．电极接地

§4.22 为防止电极极化的干扰影响，自然电场法作业必须以不极化电极接地。不极化电极接地时，必须符合下列技术要求：

（1）应事先在接地点挖电极坑，坑内不得有碎石杂草，地表干燥时应提前在坑中浇水，当测点岩石裸露时应在岩石上垫以湿土。总之，应确保不极化电极接地时接地电阻较小。

（2）不极化电极不可埋设在流水、污水或废石堆中，以免因离子交换使电极罐中饱和的硫酸铜溶液污染或稀释。布极时还应尽量减小两极温差，所有电极应避免日晒，基点处的电极更要注意；电极引出的裸金属线不要触及线架或杂草，电极接地点附近不要有人为扰动。

（3）当接地点受自然条件限制需要移动电极布设位置时，其移动方向应垂直于测线，其移动距离不应大于观测点点距的五分之一。具体移动情况应记于手簿备注栏中。

（4）有源电话耳机不得接入电极，跑极可用旗语或口哨传递通知，亦可用对讲机。

§4.23 自然电位总基点的电极接地，除应符合本规范§4.21和§4.12的有关要求之外，还应统一规定出：电位装置时，基点的电极接到仪器的N插孔，测点的电极接到仪器的M插孔，并要在记录中注明基点与各测点上所用不极化电极的编号（或代号）；梯度装置时，在东与北方向的电极接仪器的N插孔，西与南方向的电极接仪器的M插孔。若拟用梯度资料换算电位资料时，则野外施工中需注意对两个电极交替跑极，以免极差积累。

4．漏电检查

§4.24　在电位和梯度测量中，当存在足以影响观测质量的漏电时，一般会伴生有指针不稳现象，这时应检查仪器及测量线路。上述现象经处理已不复存在时，则说明影响观测质量的漏电已被排除。必要时可用兆欧表检查漏电。漏电处理应符合本规范§1.45、§1.46中有关MN线路检查的方法与要求。

§4.25　进行自然电位分基点联测时，应在每一联测点观测之后作例行漏电检查。

5．测站观测

§4.26　基本观测技术要求

（1）应选择合适的测程档来度量输入的自然电位值，对于表头直读式仪器，一般以指针偏转刻度不小于表头全刻度的三分之一为宜。

（2）读数位数应尽量估读出三位有效数字。

（3）在观测过程中如发现指针抖动，必须对导线与电极进行检查，安置稳妥后重新观测。

§4.27　在一个野外工作日开工之前，必须测定当日拟使用的诸不极化电极之间的极差，称为“开工极差”；当流动电极回至测站或分基点时，或者是整个工作日的观测结束之后，应测量不极化电极的“收工极差”。“开工极差”不得超过±2毫伏，“收工极差”不得超过±5毫伏。

不极化电极的极差必须在盛有硫酸铜饱和溶液的器皿中测量。测量时应注意记录各对电极的编号（或代号），并需特别注明拟置于基点的不极化电极的编号（或代号），该电极应接仪器N端。

§4.28　记录员在回报核实操作员读数之后，应及时

记录并计算（要求三位有效数字）参数和点出草图，以便及早发现曲线的畸变现象，确定曲线特征点，或者指导加密点处理。

6．数据记录与野外草图

§4.29 在电位测量或电位梯度测量中，观测数据记录的技术要求和注意事项应符合本规范§1.52～§1.55的规定。

野外草图的技术要求应符合本规范§1.56的规定。

7．困难条件下的观测和处理

§4.30 在自然电场法的作业过程中，观测干扰的检查处理应符合本规范§1.57及§1.58的有关规定。

§4.31 在电位或者电位梯度测量中，通常为多组测量电极同时作业。为避免发生过失误差及发现随时间变化的电场，要求对已完成观测的测线在收线时进行逢“5”或逢“10”测点的检查观测（称为返程重复检查）；当不存在随时间变化电场时，两次观测的电位的差应计算平均绝对误差$\overline{\Delta}$。$\overline{\Delta}$一般不超过表8中相应的总误差。

§4.32 在困难条件下进行的重复观测或检查观测，应分别符合本规范§1.59至§1.61的有关规定。在有随时间变化的电场的地段要加强检查观测，以了解变化场的规律及场的符号。

在判别一组重复观测数据合格与否时，其判别式应为：

$$\Delta U_{max} - \Delta U_{min} \leqslant 2\Delta$$

式中ΔU_{max}，ΔU_{min}分别为该组观测数据的极大和极小值；Δ为设计精度（绝对误差）。

（三）观测结果的质检评价

§4.33 电位测量与电位梯度测量的质检评价以系统

检查观测为主，返程检查观测为参考，分别进行平均绝对误差的计算。系统检查观测除了应符合本规范§1.64的有关规定之外，还应符合自然电场法工作的下列特殊要求：

（1）系统检查观测精度应以ΔU的平均绝对误差$\overline{\Delta}$来衡量。误差要求指标见表8。

平均绝对误差计算公式为

$$\overline{\Delta}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|\Delta U_i-\Delta U_i'|$$

式中ΔU_i为第i点基本观测数据；$\Delta U_i'$为第i点系统检查观测数据；n为参加系统检查观测点的点数。

（2）当存在明显系统误差时，应在消除该系统误差之后，再进行观测精度的统计计算。在随时间变化的自然电场地段所进行的系统检查观测不参与观测精度的统计计算。若测区过小，测区范围内广泛有随时间变化场时，可以返程重复检查观测计算的平均绝对误差来衡量。

（3）在电位梯度系统检查观测之前，应先检查相邻点距离的精度。只有在相邻测点的距离满足§4.11的规定时，才允许对电位梯度测量进行系统检查观测。

（四）技术保安

§4.34 自然电场法野外作业中应注意安全生产事宜，雷雨时不得进行野外作业。

（五）岩矿电性参数测定

§4.35 在人造氧化还原环境中测定岩矿标本的自然电场时，应注意下列技术要求：

（1）阻隔氧化剂和还原剂的薄膜应没有裂隙，否则氧化剂和还原剂将相互渗透、混合而破坏人造氧化还原环境。

（2）标本的三分之二应处在还原剂中，上部必须被氧化剂覆盖。

（3）测定同一块标本的剖面时，装置的前后温差应不超过3°C。

（4）测量的时间不宜过长，以免因其他干扰产生杂乱电场。

§4.36 测定岩矿标本跳跃电位的过程，应符合下列技术要求：

（1）金属电极应与矿石标本紧密接触，并应与仪器的M端连接，以便容易分辨电位值的符号。

（2）标本应露出液面，金属电极切忌触及溶液。

（3）应使用几种氧化剂和还原剂测定（通常使用的氧化剂有$KMnO_4$、$K_2Cr_2O_7$；还原剂有Na_2S、H_2S和$SnCl_2$），同一块标本在更换溶液时应使溶液中的砂与溶液的体积比值大致相同。

§4.37 自然电场测井

自然电场测井可以确定自然条件下矿体的跳跃电位。为便于对比在不同浓度下的氧化还原环境中自然跳跃电位的测定结果，每次测定的时间应比较短，且测定时间和两次测定的时间间隔应与其他测定点应尽可能相同（具体要求可参考《煤田地球物理测井规范（试用）》的有关部分）。

三、资料的整理和图示

（一）原始资料及其检查处理

§4.38 自然电场法的原始资料及其一般整理处置，原则上应符合本规范§1.81、§1.82的规定。

§4.39　自然电场法原始观测记录的检查处理，应符合本规范§1.83、§1.84、§1.85中有关的规定。

§4.40　室内计算

野外观测记录的数据，按照以下公式进行改正与计算各测点的自然电位值：

测点电位＝读数＋测站电位－开工极差－极差改正

当收工极差和开工极差变化超过2～5毫伏时（可根据有意义异常的大小，决定此范围），要进行极差改正，其改正值按下式计算。

$$\text{极差改正} = \text{测点顺序} \times \frac{\text{收工极差} - \text{开工极差}}{\text{测点总数}}$$

（二）原始资料的编录归档

§4.41　自然电场法原始资料的编录归档应符合本规范§1.86的规定；原始观测记录本的目录、索引和统一编号应符合本规范§1.87的规定。

（三）图件编绘

§4.42　自然电场法工作的成果图件应包括实际材料图、自然电位或自然电位梯度测量剖面图、自然电位或自然电位梯度测量剖面平面图、自然电位等值线平面图、综合平面图、推断成果图等。一般可根据地质目的、工作程度和测量方式等条件有选择地绘制。

§4.43　自然电场法成果图件，必须在资料验收之后，结合草图的施用效果拟编绘制。其一般质量要求、编绘方法和编绘程序，应符合《物化探图件编制规范》的规定。各种自然电场法成果图件的绘制，应分别遵照本规范§1.86～§1.94的有关规定执行。

§4.44 自然电场法成果图件的形式及代号、常用名词的符号、图件的审校验收，都应符合《物化探图件编制规范》中的有关规定。

附录一　直流电法的仪器与技术装备

一、仪器装备的配置

（一）野外生产之前，应按技术设计所要求的规格、数量领取仪器和各种技术装备，由熟悉仪器性能的技术人员进行检查、调试和作出技术鉴定。

（二）目前国内通用的直流电法仪器仍然是DDC-2A电子自动补偿仪。其辅助性设备包括控制面板、电源、导线及线架、通话器、测试仪表、检修工具等。上述仪器设备及工具均应有一定数量的备用。

（三）直流电法野外作业组应根据工作需要配置下列仪表、工具和消耗用品：

1．万用电表、兆欧表、通话器、罗盘、电子计算器、皮尺、变阻器及极化继电器。

2．检修工具：钢丝钳、斜口钳、平口钳、尖嘴钳、剥线钳、小台虎钳、砂轮、钢锉、改锥、铁锤、烙铁、吹风机、钢锯、手摇钻或手枪电钻。

3．必要的消耗品：黑胶布、高压绝缘胶布、焊锡、焊油、石腊、砂纸、脱脂棉、凡士林、硫酸铜、注射器、干燥剂及各种颜色的软导线。

4．工具箱、电池箱、橡皮垫、防雨遮布或简易帐篷。

二、仪器装备的技术标准

（一）仪器技术标准

1．凡经物探大队检修室（组）系统检修过的仪器，应符合该仪器出厂说明书的主要技术指标。

2．DDC-2A电子自动补偿仪野外观测现场的技术标准：

（1）外壳无影响密封防潮的损伤，各种旋钮转动灵活，接触良好。

（2）供电线路、测量线路、外壳三者之间的绝缘电阻，均不应小于100兆欧（500伏兆欧表检查）。各测程输入阻抗应不小于6～8兆欧（测定输入阻抗的方法是：将M、N插孔短路，调节电零点，在毫伏档以极化补偿器使指针偏转约90格，记为V_1；去掉短路插头，将M、N插孔接入一个1兆欧～5兆欧电阻R。表头指针偏至V_2时，输入阻抗为：

$$Z=\frac{V_2R}{V_1-V_2}\text{（欧姆米）}$$

（3）极化补偿器的补偿电动势范围应为±500毫伏，补偿电动势的变化应连续、均匀且无跃变现象。

（4）电表指针偏转灵活，在刻度范围内无停滞或卡阻现象。

（5）电零点和机械零点稳定。正常工作状态下5～10分钟可调回电零点并观察指针的偏转，若20分钟内1毫伏测程的电零点漂移不超过0.01毫伏，则认为电零点稳定。

（6）在1～3毫伏测程，对某一信号两次观测的相对误差应不超过±3%；10～1000毫伏测程应不超过±1.5%。非实验室条件下进行仪器测程一致性检查时，对同一输入信号

必须先用大测程度量，然后用相邻的较小测程度量，否则将降低测定精度甚至失去意义。

（7）用于生产观测的仪器，必须适应测区中温度及湿度的可能变化范围。

3．参与直流电法野外生产的其它种类的仪器，也应基本符合上述七项技术要求，或者满足技术设计书的规定标准。

（二）装备的技术标准

1．控制面板

（1）控制面板应能够方便、有效地配合DDC-2A电子自动补偿仪完成各种方法和装置形式的直流电法野外作业。

（2）供电控制开关应装有消弧装置。

（3）测量线路、供电线路及外壳三者之间的绝缘电阻应不小于50兆欧。

（4）电流表应与仪器电流表精度相同。

（5）控制面板应经过充分的野外现场试验，在取得试验数据，证实质量可靠后方可用于生产。

2．电源

（1）电源的分类和选择

直流电法野外作业中常用的电源有干电池和发电机等多种。其规格、性能和用途可参看附录五。一般可根据测区地电性质、装置大小、极距比值关系、中梯装置的旁侧距离、交通条件等因素来确定电极的种类和数量，力求轻便、经济。

（2）电源的技术指标

干电池作电源时，必须配置绝缘良好的电池箱，要求其对地绝缘电阻不大于10兆欧。新电池应进行抽查，要求其开路电压与额定电压值之差不大于5%；短路电流应不小于其

额定值的三分之二。

交流发电机作电源时，必须配置相应的调压、整流与平衡负载设备。以所要求的供电电压供电时，供电电流应足够稳定，在数分钟内其变化值应不超过±3%。发电机外壳对地绝缘电阻应不小于10兆欧。其他技术性能应参照出厂说明书逐一鉴定。

设备配置不全的电源或者未能达到规定技术指标的电源应不予验收，更不准参加野外生产。

3．导线

导线按用途分有供电导线和测量导线两种。导线的品种、规格、性能与应用范围等情况可参看附录五。

导线的绝缘电阻可采用浸水法测定。当供电电压为500伏时，新导线的绝缘电阻应不小于每公里300兆欧；旧导线应不小于每公里1兆欧。对于长度为L公里的导线，其绝缘电阻$R_L = R_2 \cdot L^{-1}$，式中R_2分别为上述新旧导线绝缘电阻指标。

4．电极

应根据不同的工作方法与不同的地电条件选择电极。地面供电电极通常采用金属棒状电极；井中充电点采用金属刷子电极；水上电法采用铅电极。测量电极常采用铜电极或者瓷罐式不极化电极。

各种电极的规格、性能及应用范围可参看附录五。

三、仪器装备的使用与维修

（一）仪器的一般使用规则

1．凡在工作过程中使用过的主要仪器设备，均应建立仪

器使用簿。该使用簿应扼要记载仪器的故障、检修和交接情况，并与仪器一起保存。仪器性能鉴定结果应作为资料验收时的重要依据。

仪器设备应由专人使用、保管。从接收仪器到仪器移交，使用者应对仪器的安全完整和工作性能负绝对责任。人事调动时，交接双方应对仪器做出鉴定意见并办妥移交手续。

2．所有仪器设备都必须严格遵照出厂说明书所规定的操作步骤正确使用，严禁用不符合质量标准的仪器设备从事生产或者带病运转。

3．仪器和机电设备应定期维护检修。局部性的清洗、滑润、干燥与调节至少应每月一次；全面性检修至少应一年一次。在使用过程中，还应随时注意防潮、防震、防曝晒。一个工作日完毕，应立即将仪器的开关、旋钮置于断路位置（变阻器拧至最大测程），仪器表头也应以插头短路。

4．未经主管部门批准，主要仪器设备不得任意拆卸或将配件移为他用。发生重大仪器事故应及时地如实上报，以便由领导决定检修措施或指派专人检查。仪器设备在检修或更换了与测量精度有关的部件时，应予重新鉴定校准。

（二）测量仪器的使用规则

1．DDC-2A电子自动补偿仪的使用规则

（1）一个工作日的观测始末应检查仪器的工作电压和零点稳定性，对不符合技术要求的仪器电源应及时予以更换。

（2）开工前应提前约5分钟接通仪器电源，以加热电子管，使仪器进入准工作状态。当需要较长时间地停止观测时，应将仪器关闭，以减少仪器内部的电源消耗。观测时还

应粗略估计输入信号的强度，由大至小依次选择测程。

（3）仪器发生故障时，应仔细观察，并判断分析可能原因，然后关闭电源进行检查。野外观测现场不应轻易开启仪器。极化继电器不应任意拆卸，工作不正常时，应由有经验的人员进行调节。

2．使用其它类型仪器时，应遵照出厂说明书或工作设计书的有关要求执行。

（三）其它装备的使用规则

1．控制面板的样式、性能及技术指标不尽相同，设计线路也各具特色，故使用时应遵照说明书的有关技术规定。

2．电源的使用规则

（1）电源连续供电，不允许超过额定电流强度。当需要加大供电电流时，应以多组电源并联（发电机少见）。参与并联的电源彼此之间的电压差应不超过5%；内阻差应不超过20%。任何种电源都应该有稳定的输出电流，在同一测点的观测过程中若电流变化超过3%（非接地电阻影响）应即行检查，对不合要求的电源应及时更换。

（2）电池组作电源时，所有电池均应放置在一定规格的电池箱中，箱底应衬以橡皮垫并注意不使电池箱直接与地接触。电池的连接线应长短适宜，条理分明。搬运或转移电池箱时，应先将于电池连接线断开。供电站连接妥善的电池组电源需用遮布复盖并作适当包扎，必要时设专人看管。

在工作过程中，还应当根据需要检查负载和空载状态下的电池组电压。当发现供电过程中电压下降过快时，应测定电池内阻，并将内阻过大的电池剔除。停止供电后应及时断开外部线路。日观测结束后，应将电池组分段断开，以消除电池电源的高压状态。

(3) 用发电机作电源时，应设专人看护，严防发电机超载或空载运转。为此应配备可调节的平衡负载，并根据接地电阻随时调节以改善匹配状况。

发电机及其辅助设备的调节使用和维护保养，应遵照厂家的说明书执行。

(4) 任何种电源均应防止过热和受潮，避免磕碰和挤压。

3. 导线的使用规则

(1) 导线应绝缘完好，避免机械伤损。被复线或单股塑胶线应绕在线架上；探矿线应绕成“∞”型；电缆应缠在绞盘上。工作中还应经常检查导线的绝缘和破损状况，并及时进行修补。

(2) 连接断线时应使接线头短小平整，金属丝接合牢固，通导良好，外表包扎坚实绝缘。严防钢丝刺破胶布而产生漏电；检查隐伏断点时，不允许以刺破绝缘包扎物的方法检查。

(3) 线架应定期清洁，经常加注润滑油，防止摔撞或重压，以保证轴承转动灵活，绕放线操作自如。另外，线架应坚牢，线架盘上的引线头应长短适中。

(4) 新导线或整捆导线不得随意剪裁或任意移为他用；存放导线应选择阴凉干燥处。导线长期贮放或长途搬运转移时，需用草片、草绳等物包扎；潮湿导线应及时晾晒。

4. 电极的使用规则

(1) 金属电极应表面洁净无锈；连接线应长短适宜，坚实牢固，通导良好；测量电极应质地相同。

(2) 使用不极化电极时应注意：

a. 定期煮洗瓷罐，以保持良好的半渗透性。硫酸铜溶液

应质地纯净，浓度饱和，并注意随时补充。垫盖及接线部分应以石腊封闭。

b.应防止雨淋曝晒，避免接触污秽水土和通过电流，否则因离子交换或电解将使溶液污染或稀释。

c.收工后应将电极罐外表洗净，然后放置在盛有硫酸铜饱和溶液的器皿中并以导线短路。

5．测试仪表的使用规则

（1）使用万能表时，应注意选择合适的量程。不允许测试可能超过量程值的电压或者电流，也不允许在测试过程中拨弄开关旋钮。测量电路中的电阻时应先断电源，电路中有电容时应事先放电。

（2）不允许在外线路短路时快速摇动兆欧表，以免损伤发电机。

（3）各种通话器应注意防潮、防尘、防震。用耳机通话时，切不可串入供电线路。

附录二　DDC—2A电子自动补偿仪的故障与维修

DDC-2A电子自动补偿仪常见的故障有电表指针不稳，无指示；振动子声变；测程之间误差过大；极化补偿器接触不良等。详见表2—1。

表 2-1

故　障	可 能 原 因	消 除 方 法
接通仪器电源后，振动子无蜂鸣声	1.振动子的振动片卡住，线圈断路或底座接触不良； 2.振动子电源电压偏低或者是电源未接通； 3.振荡器电子管T_3损坏； 4.电源检查开关接触不良。	1.更换振动子或改善底座接触状况； 2.更换电源； 3.更换T_3； 4.检修电源检查开关。
振动子工作，但电表无指示	1.T_4坏； 2.C_{1-7}坏； 3.T_4电压过低； 4.电压放大器部分有故障； 5.输入回路不通； 6.表头断线。	1.更换T_4； 2.更换C_{1-7}； 3.更换T_4灯丝电源； 4.检查电压放大器； 5.检查输入回路； 6.检修表头线路。
*MN*短路后，调节极化补偿器电表无指示，但调节电零点时有指示	1.极化补偿器电源不通； 2.极化补偿器开关损坏； 3.极化补偿部分断线； 4.电位器接触不良。	1.检查电源； 2.更换开关； 3.找出并焊接断头； 4.检查电位器。

续表 2-1

故　障	可 能 原 因	消 除 方 法
仪器指针不稳	1.振动子失调或触点污秽； 2.C_{17}漏电； 3.极化补偿器或零调电位器接触不良； 4.仪器输入端接触不良。	1.调节或擦拭触点； 2.更换C_{17}； 3.擦洗或更换； 4.检查输入端接线。
测程间测量误差过大	1.测程开关接触不良； 2.反馈电阻阻值变化； 3.振动子失调。	1.酒精擦洗开关触点； 2.检查或更换反馈电阻 3.调节振动子。
仪器输入阻抗降低	1.振动子失调； 2.R_1，R_4，R_5阻值变化； 3.C_1漏电。	1.调节振动子； 2.检查或更换R_1，R_4，R_5； 3.更换C_1。
手触仪器外壳时，指针沿一个方向移动	受潮，漏电。	晾晒，加干燥剂，吹风机吹风或红外线烘箱烘烤。
极化补偿时指针跳跃	极化补偿电位器接触不良。	修理或更换该电位器。

电子元件将随着使用年限的增加而老化变质，放大器的放大倍数与灵敏度也随之变异，所以应定期用电子管电压表或示波仪检查放大器工作状态。

现将正常工作状态下仪器各部分之正常电压值列于表2—2。以低内阻电压表测定时，测定值常较下面表2—2中的正常值偏低。

表 2-2

项　目	板极（伏）	帘栅极（伏）	栅　极（伏）	灯　丝（伏）
第一级	16	10	负零点几	1.4
第二级	17	11	〃	1.4
第三级	20	20	〃	1.3
第四级	27	27	〃	1.4
振荡级	60	60	—15	1.3

附录三　极化继电器的检查与调节

一、极化继电器的结构与基本技术要求

（一）结构

JH-1E型极化继电器（振动子）是DDC-2A电子自动补偿仪的重要元件，其工作状态直接影响到仪器性能。

振动子的结构如图3—1所示，它主要由永磁铁、磁导体、激励线圈、活动系统及触点弹簧片、调节螺丝等组成。

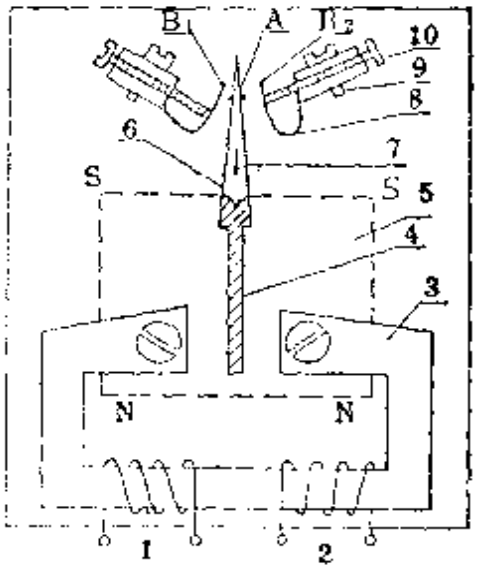


图 3-1 振动子结构示意图

A—活动触点；B_1B_2—固定触点；1，2—激励线圈；3—磁导体；4—活动系统软铁部分；5—永久磁铁；6—舌形弹簧片；7—弹簧片支柱；8—弹簧片；9—夹固螺丝；10—调节螺丝

（二）基本技术要求

1.非工作状态时，振动子的舌形弹簧片与某一相接触触点的电阻值为零，而与另一不相接触的触点的电阻值为无穷大。

2.正常工作状态时，振动子的舌形弹簧片与两触点相接触的时间τ_1、τ_2应大体相同；舌形弹簧片与两触点间的电阻

值也应大致相等。活动触点从一固定触点移向另一个固定触点的跳跃时间τ'应尽可能短，要求$\frac{\tau'}{\tau_1}=\frac{\tau'}{\tau_2}\approx\frac{1}{5}\sim\frac{1}{7}$。

调节触点间隙应注意温度变化的影响，同一振动子在夏季调得的触点间隙应比冬季的大，否则将产生触点“咬死”现象。

3.振动子动态特性应稳定，正常工作时能产生均匀的音频声。

二、故障检查方法

（一）故障原因

出厂仪器的振动子均已调节合格，但搬运震动、温度变化、长时期使用或者误通大电流，都会使振动子机械性能变异，即形成不合适的触点间隙。

触点污秽可用镜头纸擦拭，但不可以用酒精、汽油洗涤，以免腐蚀触点。触点轻微受损时，可将振动子拆开并用麂皮轻磨，以使其平整；触点严重伤损时一般不易修复。

（二）检查方法

1．利用仪器振荡器检查

将振动子三个触点的引线断开，按图3—2连接线路，以两个规格相同的万用电表测量各触点间的静态电阻值。当接通振荡器电源时，若两个万用表的指针均稳定地居于度盘中央，则说明振动子工作性能良好。

2．利用振动子调整仪检查

振动子调整仪的基本线路可仿DDC-2A电子自动补偿仪的振荡器线路，其振荡频率约130赫。采用示波器检查时，

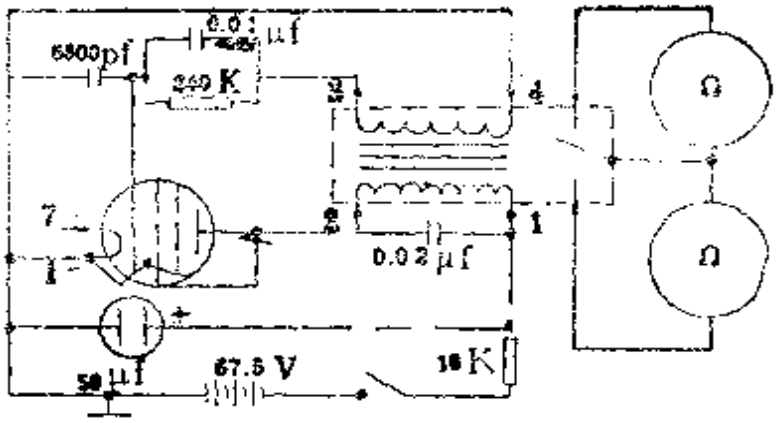


图 3-2 利用仪器振荡器检查振动子线路

需要辅以电桥线路。

振动子调整仪线路见图3—3。

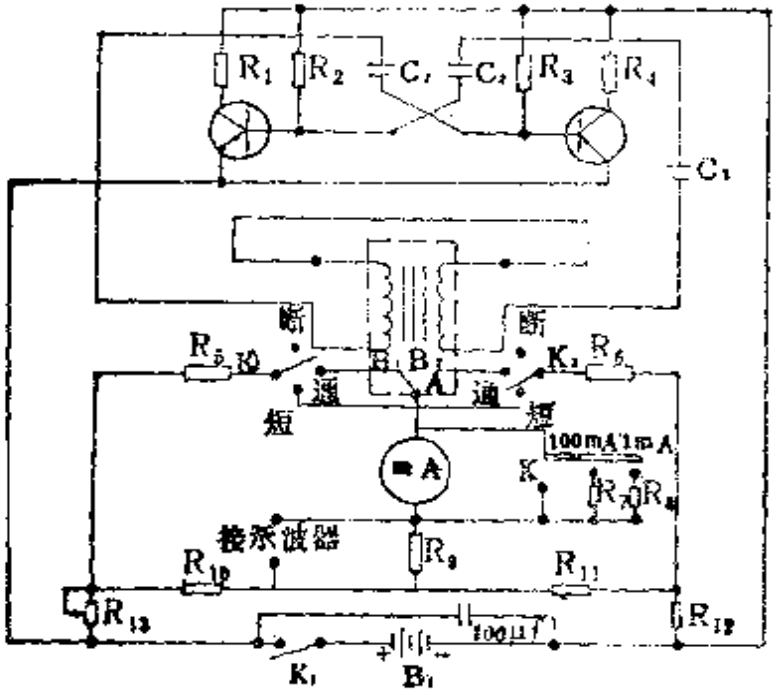


图 3-3 振动子调整仪检查线路

按图3—3连接线路。接通示波器电源，仔细调节直至能

显示由Y轴加入的电压波形。接通K_1，并使K_4指“1毫安”，K_2指“短”，K_3指“断”，然后调节R_{12}，使指针向左满偏1毫安；将K_2指“断”，K_3指“短”，电流表则向右满偏1毫安。使K_2，K_3均指“通”，振动子在振荡器的作用下启振，从示波器上可观察到R_9上的电压波形。

振动子正常时，示波仪将显示上下等宽的矩形波，且无毛刺，时间间隔τ'小而清晰。

振动子失调时，A和B_1，B_2之接触时间差异大，示波器波形上下宽度不等，电流表指针偏向接触时间较长的一边；当A和B_1，B_2间跳跃时间较长时，上下波形之间间隔也长；若A被B_1或B_2“咬死”或完全不接触时，荧光屏上无波形显示，电表指针偏向“咬死”的一侧。

振动子经检查并判明原因之后，应调节相应固定触点的调节螺丝，直至示波器的荧光屏上出现对称方波，电流表指针为零。

附录四　兼装有电话放大器的直流电法控制面板

这种兼装有电话放大器的直流电法控制面板具有适应性广、生产效率高以及通话方便准确的特点。图4-1与图4-2分别为控制面板的外形及工作线路图。

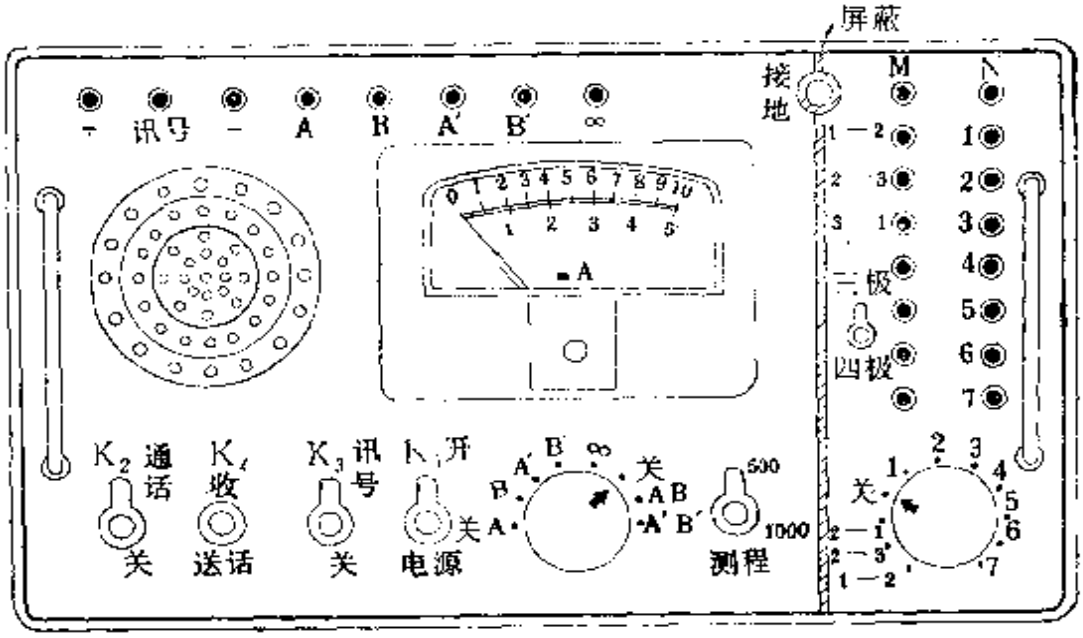


图 4-1 控制面板外形

通过对供电电极A，B，A'，B'，∞与测量电极M，N的插接组合以及对开关“Ⅰ”，“Ⅱ”的转换控制，可配合DDC-2A电子自动补偿仪完成直流电法的各变种方法及装置形式的野外测量。

电话放大器采用了两极前置放大和末级推挽功率输出电路。由于前置级和末级都加入了较深的负反馈，因此放大器输出讯号稳定，失真较小。图4—3为电话放大器工作原理

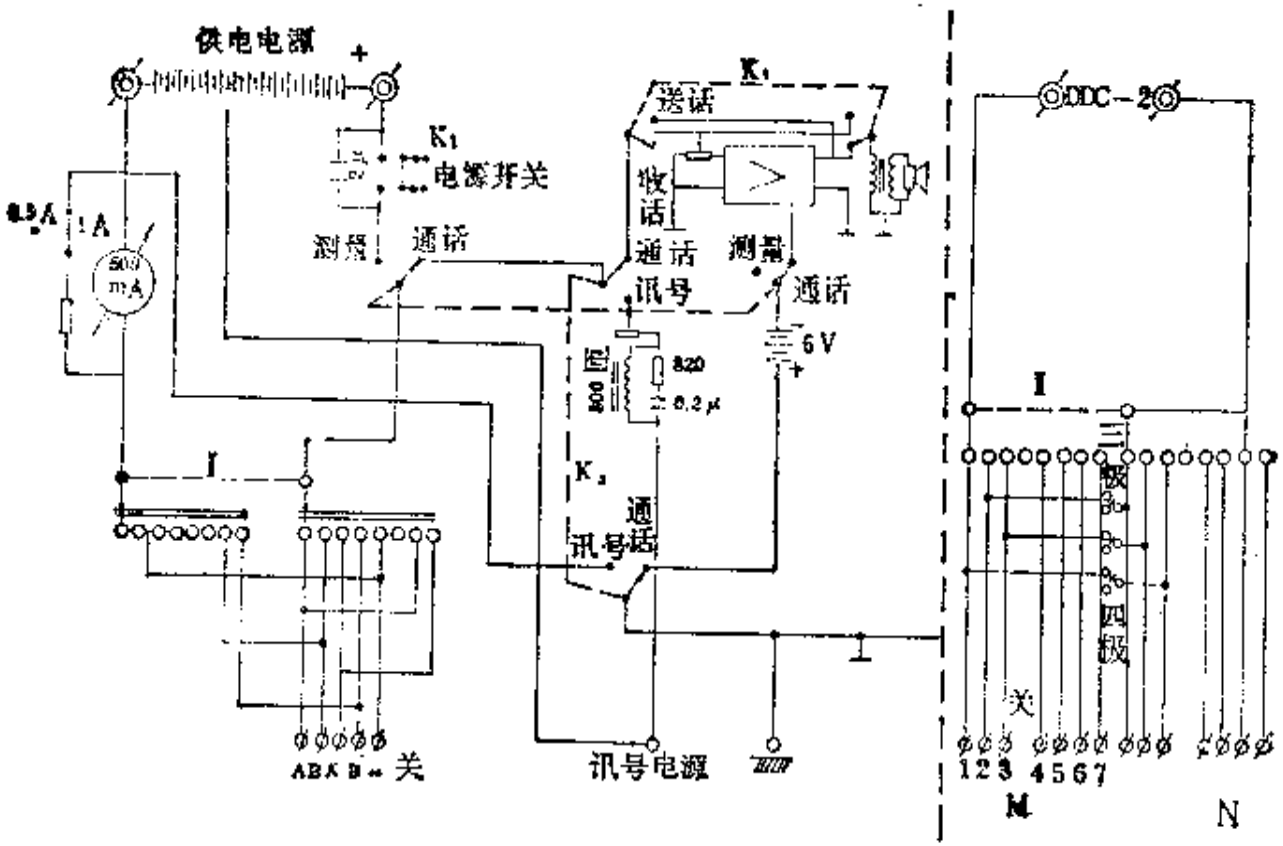


图 4-2 控制面板工作线路

图。图4-4为通话喇叭工作原理图。该电话放大器可满足测站与各电极之间的通话联系。

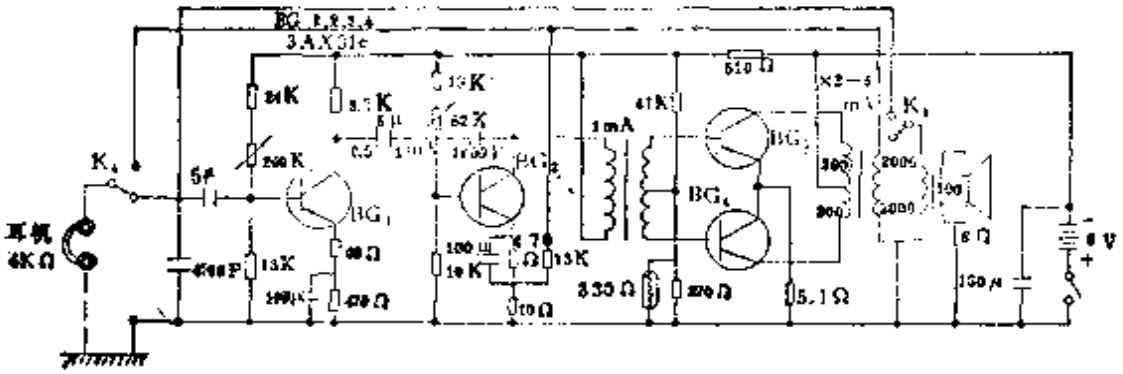


图 4-3 电话放大器工作原理图

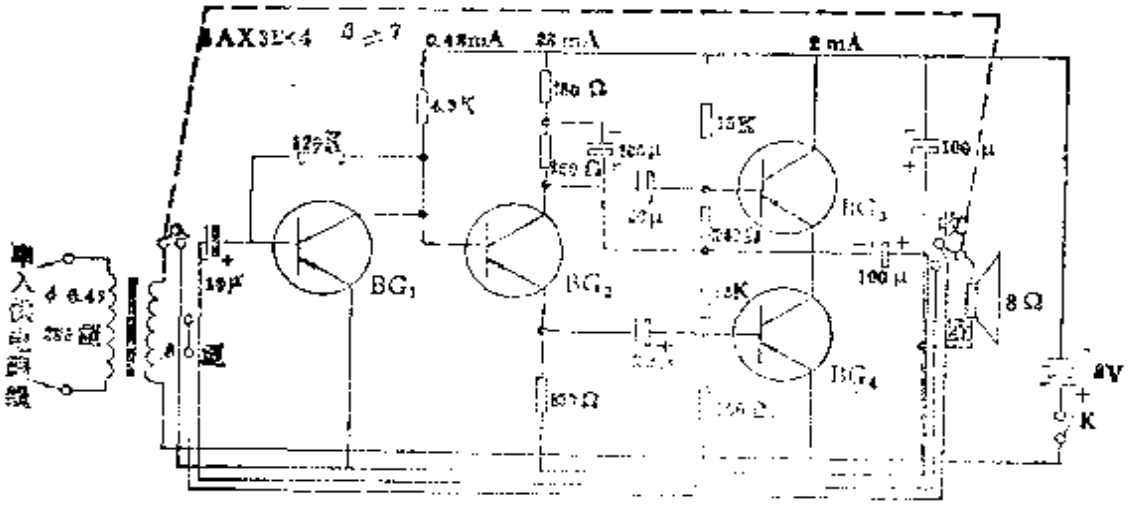


图 4-4 通话喇叭工作原理图

控制面板的操作及注意事项：

1．在进行中间梯度、充电电位、自然电位测量时，测量电极M、N可采用三极轮流移动的观测方法。这就是说，当“2-3”测量时“1”跑极；“3-1”测量时“2”跑极；“1-2”测量时“3”跑极。依此类推。

2．观测时可直接从控制面板中读取电流值。

3．测站与各电极通话，可操纵开关K_2，K_3及按钮K_4联动完成。操作员应先将K_2拨向“通话”位置，以接通放大器电源；然后将K_3拨至“讯号”位置，接通蜂鸣器电源，即向电极发送讯号；因K_4通常处在收话位置，故可收到跑极员的回答；按下K_4，测站扬声器变为放大器的输入话筒，电极处耳机变为放大器负载，跑极员即可收听到测站指令。

4．在电测深作业中，通话喇叭可直接串联在供电线路。它配合控制面板，使各电极能同时收到测站指令并直接与测站相互通话。根据需要可改变变压器初级绕组线径。

附录五　常用的电源、导线及电极的类型与规格

常用汽油发电机规格表　　表 5-1

	发电机型号	额定功率 (瓩)	额定电压 (伏)	额定电流 (安)	发电频率	功率因数	配套的汽油发动机 型号	功率 (马力)	转速 (转/分)	外形尺寸 长 (毫米)	宽 (毫米)	高 (毫米)	重量 (公斤)	用途	厂家
直流	ZTC-2.5	0.75	24／36	31.3／20.8	—	—	1101	4	3000	722	454	571	63	充电	郑州机械厂
	ZTC-5	1.5	45／65	33.3／23.1	—	—	1101	4	3000	822	454	593	83	供电	〃
	直流发电机	1.5	500	3	—	—	IE50F	4	—	—	—	—	33	〃	—

续表 5-1

	发电机型号	额定功率（瓩）	额定电压（伏）	额定电流（安）	发电频率	功率因数	配套的汽油发动机 型号	功率（马力）	转速（转/分）	外型尺寸 长（毫米）	宽（毫米）	高（毫米）	重量（公斤）	用途	厂家
交	TQ-2-1/230	2	230	10.9	50	0.8	172	4	3000	890	580	870		供电	柳州机械厂
交	731	1.5	115/230	13/6.5	50	1.0	1101	4	3000	822	454	589	83	〃	〃
交	TQ-4-1/230	4	230	21.7	50	0.8	272	8	3000	1075	580	870	除机罩210	〃	〃
交	长江1.5瓩	1.5	230	—	50	—	—	4	3000	620	450	530	60	〃	苏州动力机械厂
旋	JBO	10	230/400	14.4	50	0.8	NJ-50A	20	1500	110	750	900	250	〃	南京汽轮电机厂
旋	拖车式 A245 柴油发电机	24	230/400	43.5	50	0.8	4110Y	60	1500	3835	1842	2230	2380	〃	无锡柴油机厂

常用电池性能规格表

表 5-2

型号	额定电压(伏)	外形尺寸及重量					新电池性能 (21°)				保存期末性能 (21°)					供电电源		用途
		长(毫米)	宽(毫米)	高(毫米)	直径(毫米)	重量(毫米)	开路电压(伏)	电阻(欧)	短路电流(安)	容量(安时)	保存期(月)	开路电压(伏)	内阻(欧米)	短路电流(安)	容量安时	额定电流(毫安)	最大断续供电电流(毫安)	
R20电池	1.5	—	—	61.5	34	0.09	1.56	0.3	5	3	18	1.35	0.43	3.5	2	—	—	仪器电源
R40A电池	1.5	—	—	160	66.5	0.9	1.52	0.06	25	30	24	14.8	0.1	15	21	3000	3000	供电电源
30F电池	4.5	210	75	175	—	3.5	47	15	3	3	6	45	45	1	2	250	500	〃
天津72型干电池箱	并36 串72	306	306	155	—	18	并36 串72	2.8 12.0	14 7	18 9	12	并36 串72	5.2 20.3	7 4	10 5	1000	2100	〃
GNY-1镉镍电池	1.25	—	—	31	32	0.062	1.25	—	—	1	36	—	—	—	—	—	—	仪器电源
XGF-1锌汞电池	1.3	28	14	41	—	0.021	1.3	—	—	1	3	—	—	—	—	<1000	—	〃
45PD积层电池	67.5	71	35	96	—	0.38	69	700	0.09	0.24	6	67.5	1400	0.05	0.16	—	—	〃
AQ电池空气	1.42	—	—	150	64	0.65	1.5	0.06	25	48	12	1.42	0.1	1.42	34	250	500	供电电源

常用导线性能及规格表　　表 5-3

类型、名称	直径（毫米）	结构	电阻 欧／米	绝缘电阻或耐压（兆欧／公里）	重量 公斤／／公里	断力（公斤）	用途	备注
重型被复线（单股）	4	由四根直径0.32mm钢丝和三根同径的铜丝组成。橡皮绝缘，棉线包裹	60	300	18	50	测量导线	
轻型被复线（双股）	4	二钢四铜（直径为0.25毫米/根）塑料绝缘	30—35	300	6	60		
轻型尼龙线（双股）	4	结构同上，尼龙绝缘。	30—35	300	6.5	75		
超轻型被复线		三钢四铜，塑料绝缘。	—	—	3.5	25		
聚氯乙烯尼龙护套线（FVN）	2.5	由19股直径0.25毫米镀锡铜丝组成，聚氯乙烯绝缘。	17	耐压 1000伏／5安	16	—	供电导线	衡阳等地电线厂制造沪、京、津、沈及
探矿线	7	19股0.64毫米铜丝组成。外包一层橡皮及两层浸透防腐剂的棉纱。	3.1	300	105	135		
WEXHF探矿线	8	同上。但被复物无棉纱。	—	—	137.5	—		

常 用 电 极 规 格 表

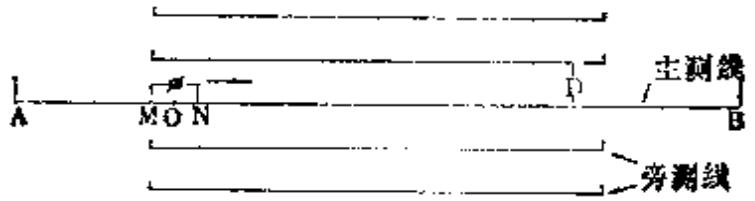
表 5-4

电极名称		规格	用途
木芯杆状铁铜电极		由外直径1.6～2.2厘米、厚度0.2厘米的铜管或钢管制成。下端有实心尖头，上端套以黄铜箍，管中填塞木芯，长度为75厘米左右。	铁制者作供电电极；铜制或钢制者供电、测量用均可
钢钎电极		为1.6～2.2厘米直径的圆钢、角钢或多棱钢制成，尖端锐利，长度一般为75～100厘米。	常用作供电电极
测棒		直径为1.6～2.2厘米、长度为20～30厘米的实心铜棒，下端尖锐，上端与同径钢钎连接，顶端为木制手柄，全长100厘米。	追索等位线
铅电极		尺寸与形状无定规，一般应由方法和工作条件决定。当用多芯电缆工作时，常用铅丝在电缆上绕成。	水上电法勘探
线状电极		由裸铜线及头部带钩的铁钎组成。钩的作用是固定裸铜线。	等电位线测量时作供电电极，接地条件差或冻土情况时亦用
刷子电极		尺寸和形状无定规。重量不够时应坠以重物下井。	井中充电电极
不极化电极	瓷罐式	由底部直径为7～8厘米、高8～10厘米的素瓷罐（底部往上3～4厘米，罐内外不涂釉）和紫铜棒及胶木盖组成，内盛满饱和硫酸铜溶液。	自然电场法测量电极
	帆布式	由直径约6厘米、长度约40厘米的帆布袋制成；顶部有胶木塞（或橡皮塞），塞上有紫铜棒；内装硫酸铜饱和溶液。	长距离测深及大地电流法的测量电极
	有机玻璃管式	直径为4～5厘米、高10～12厘米、厚约4毫米的有机玻璃管，下端为木质半圆形小碗，上端用带紫铜棒的有机玻璃盖密封，内装硫酸铜饱和溶液。	自然电位测量或电测深工作的测量电极

附录六　直流电法的装置形式、K值计算式及K值表

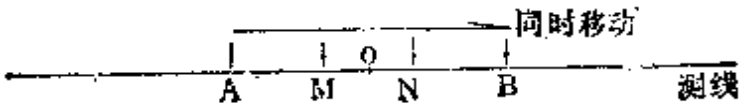
一、装置示意图及K值计算式

1．中间梯度装置



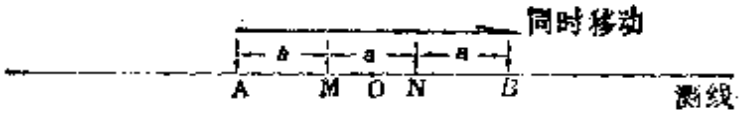
$$K=\frac{2\pi}{\frac{1}{AM}-\frac{1}{AN}-\frac{1}{BM}+\frac{1}{BN}}$$

2．对称四极装置



$$K=\pi\cdot\frac{AM\cdot AN}{MN}$$

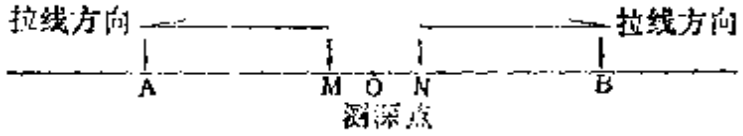
3．等距对称四极装置



$MN = a$

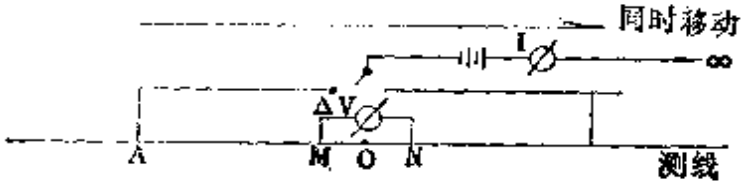
$$K = 2\pi a$$

4．对称四极测深装置



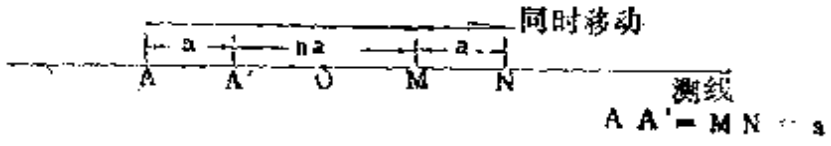
$$K = \pi \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2}{2\left(\frac{MN}{2}\right)}$$

5．联合剖面装置



$$K = 2\pi \frac{AM \cdot AN}{MN}$$

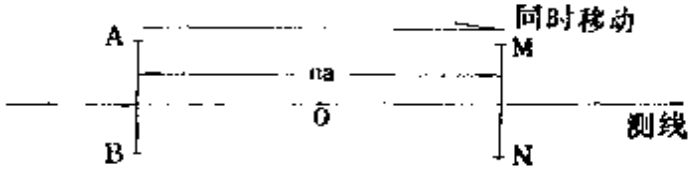
6．偶极装置



$AA' = MN = a$

$$K = \pi an(n+1)(n+2)$$

7. 赤道偶极装置



$AB = MN = a$

$$K = \frac{\pi a}{\frac{1}{n} - \frac{1}{\sqrt{n^2+1}}}$$

二、K 值 表

收集的这份K值表，适应于同类装置的视电阻率法与激发极化法（DHJ_S及DHJ_P）的视电阻率计算。它计算了中间梯度、对称四极、等距对称四极、对称四极测深、联合剖面、轴向偶极与赤道偶极等装置的多种极距的K值。

中间梯度装置计算了1:2000，1:4000，1:5000和1:10000四种比例尺的K值表。考虑到异常追索的需要，计算时将测段范围扩大到AB中心点两侧各$\frac{1}{8}\overline{AB}$。旁侧线与主线之间的距离D除少数例外，均取$\frac{1}{8}AB$。“O”为记录点。“$*$”为中心点K值，其两侧对应点K值相同。

选择对称四极测深装置的电极距系列，主要考虑相邻供电电极距$\frac{\overline{AB}}{2}$在模数6.25厘米的对数座标轴上的间距为1.1～1.4厘米；相邻测量电极距$\frac{\overline{MN}}{2}$的变换比例为$\frac{1}{4}$～$\frac{1}{5}$；测量极距与供电极满足不等式$\frac{1}{3}\overline{AB} \geqslant \overline{MN} \geqslant \frac{1}{30}\overline{AB}$。

选择其他装置的极距主要考虑了应用习惯。

经两次独立计算的某一K值，其平均相对误差不超过0.1%；表中数据经“四舍五入”后取三位有效数字。

表中各电极之间的距离及K值均以“米”为单位。

K值表目录如下：

中间梯度装置K值表（表6—1～表6-23）；

等距对称四极装置K值表（表6-24）；

对称四极测深装置K值表（表6-25）；

联合剖面装置K值表（表6-26）；

对称四极装置K值表（表6-27）；

轴向偶极装置K值表（表6-28）；

赤道偶极装置K值表（表6-29）。

一、中间梯度装置K值表

$AB=300$，　$MN=10$，　点距$=10$　　表 6-1

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)			
					0	20	40	50
70	80	230	220	75	3.17	3.48	4.41	5.20
80	90	220	210	85	3.91	4.21	5.10	5.80
90	100	210	200	95	4.66	4.93	5.74	6.37
100	110	200	190	105	5.36	5.61	6.36	6.93
110	120	190	180	115	5.98	6.20	6.90	7.42
120	130	180	170	125	6.49	6.70	7.34	7.82
130	140	170	160	135	6.85	7.05	7.65	8.11
140	150	160	150	145	7.01	7.23	7.81	8.25

$AB=300$，　$BN=20$，　点距=10　　表 6-2

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)			
					0	20	40	50
70	90	230	210	80	1.75	1.91	2.38	2.74
80	100	220	200	90	2.13	2.27	2.71	3.03
90	110	210	190	100	2.49	2.63	3.02	3.32
100	120	200	180	110	2.83	2.95	3.31	3.58
110	130	190	170	120	3.11	3.22	3.56	3.81
120	140	180	160	130	3.33	3.44	3.75	3.98
130	150	170	150	140	3.47	3.57	3.86	4.09
140	160	160	140	150	3.52*	3.61*	3.91*	4.13*

$AB=300$，　$MN=20$，　点距=10　　表 6-3

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)			
					0	20	40	50
80	100	220	200	90	2.13	2.27	2.70	3.03
100	120	200	180	110	2.83	2.95	3.31	3.58
120	140	180	160	130	3.33	3.44	3.78	3.98
140	160	160	140	150	3.52*	3.61*	3.90*	4.13*

$AB=400$，　$MN=10$，　点距=10　　表 6-4

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)			
					0	20	40	50
90	100	310	300	95	5.16	5.48	6.50	7.21
100	110	300	290	105	6.14	6.44	7.37	8.07
110	120	290	280	115	7.13	7.42	8.30	8.96
120	130	280	270	125	8.13	8.40	9.22	9.84
130	140	270	260	135	9.08	9.34	10.1	10.7
140	150	260	250	145	9.97	10.2	10.9	11.5
150	160	250	240	155	10.8	11.0	11.7	12.2
160	170	240	230	165	11.5	11.7	12.3	12.8
170	180	130	220	175	12.0	12.2	12.8	13.3
180	190	220	210	185	12.4	12.5	13.1	13.6
190	200	210	200	195	12.5	12.7	13.3	13.7

$AB=480$，　$MN=20$，　点距=20　　表 6-5

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)				
					0	20	40	60	80
80	100	400	380	90	2.39	2.56	3.10	4.05	5.45
100	120	380	360	110	3.47	3.61	4.13	4.98	6.21
120	140	360	340	130	4.64	4.79	5.25	6.01	7.11
140	160	340	320	150	5.84	5.97	6.38	7.07	8.05
160	180	320	300	170	6.96	7.08	7.45	8.07	8.94
180	200	300	280	190	7.92	8.03	8.35	8.91	9.70
200	220	280	260	210	8.62	8.72	9.02	9.53	10.3
220	240	260	240	230	8.99	9.08	9.37	9.85	10.6

$AB=480$，　$MN=10$，　点距 $=10$

表 6-6

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)				
					0	20	40	60	80
80	90	400	390	85	4.32	4.68	5.76	7.69	10.6
90	100	390	380	95	5.33	5.67	6.72	8.55	11.2
100	110	380	370	105	6.41	6.74	7.75	9.48	12.0
110	120	370	360	115	7.55	7.86	8.83	10.5	12.9
120	130	360	350	125	8.72	9.03	9.95	11.5	13.8
130	140	350	340	135	9.92	10.2	11.1	12.6	14.7
140	150	340	330	145	11.1	11.4	12.2	13.6	15.7
150	160	330	320	155	12.3	12.6	13.3	14.7	16.6
160	170	320	310	165	13.4	13.7	14.4	15.7	17.5
170	180	310	300	175	14.5	14.7	15.4	16.6	18.3
180	190	300	290	185	15.4	15.7	16.3	17.5	19.1
190	200	290	280	195	16.3	16.5	17.1	18.2	19.7
200	210	280	270	205	17.0	17.2	17.8	18.8	20.3
210	220	270	260	215	17.5	17.7	18.3	19.3	20.7
220	230	260	250	225	17.9	18.1	18.7	19.6	21.0
230	240	250	240	235	18.1	18.3	18.8	19.8	21.2

$AB=480$，　$MN=20$，　点距=10　　表 6-7

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)				
					0	20	40	60	80
80	100	400	380	90	2.39	2.56	3.10	4.05	5.45
90	110	390	370	100	2.91	3.08	3.60	4.50	5.81
100	120	380	360	110	3.47	3.63	4.13	4.98	6.21
110	130	370	350	120	4.05	4.20	4.68	5.49	6.65
120	140	360	340	130	4.64	4.79	5.25	6.01	7.11
130	150	350	330	140	5.24	5.38	5.82	6.55	7.58
140	160	340	320	150	5.84	5.97	6.38	7.07	8.05
150	170	330	310	160	6.41	6.54	6.93	7.58	8.51
160	180	320	300	170	6.96	7.08	7.45	8.07	8.94
170	190	310	290	180	7.47	7.58	7.93	8.52	9.35
180	200	300	280	190	7.92	8.03	8.36	8.91	9.70
190	210	290	270	200	8.30	8.41	8.72	9.23	10.0
200	220	280	260	210	8.62	8.72	9.02	9.53	10.3
210	230	270	250	220	8.85	8.94	9.24	9.73	10.4
220	240	260	240	230	8.99	9.08	9.37	9.85	10.6
230	250	250	230	240	9.03*	9.13*	9.41*	9.90*	10.6*

$AB=500$，　　$MN=10$，　　点距 $=10$　　表 6-8

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)		
					0	25	75
80	90	420	410	85	4.34	4.90	9.84
90	100	410	400	95	5.36	5.90	10.6
100	110	400	390	105	6.46	6.98	11.4
110	120	390	380	115	7.62	8.12	12.4
120	130	380	370	125	8.82	9.31	13.4
130	140	370	360	135	10.1	10.5	14.3
140	150	360	350	145	11.3	11.8	15.4
150	160	350	340	155	12.6	13.0	16.4
160	170	340	330	165	13.8	14.2	17.5
170	180	330	320	175	14.9	15.3	18.4
180	190	320	310	185	16.0	16.3	19.3
190	200	310	300	195	17.0	17.3	20.1
200	210	300	290	205	17.8	18.1	20.8
210	220	290	280	215	18.5	18.8	21.4
220	230	280	270	225	19.0	19.4	21.9
230	240	270	260	235	19.4	19.7	22.2
240	250	260	250	245	19.6	19.9	22.3

$AB=600$，　$MN=10$，　点距 $=10$

表 6-9

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^5$)						
					0	20	40	50	60	80	100
100	110	500	490	105	6.62	6.96	8.04	8.86	9.91	12.7	16.4
110	120	490	480	115	7.85	8.20	9.24	10.0	11.8	13.7	17.2
120	130	480	470	125	9.20	9.50	10.5	11.3	12.7	14.8	18.1
130	140	470	460	135	10.6	10.9	11.9	12.6	13.5	16.0	19.2
140	150	460	450	145	12.0	12.3	13.3	14.0	14.9	17.2	20.2
150	160	450	440	155	13.5	13.8	14.7	15.4	16.2	18.5	21.4
160	170	440	430	165	14.9	15.2	16.1	16.8	17.6	19.8	22.5
170	180	430	420	175	16.1	16.7	17.6	18.2	19.0	21.1	23.7
180	190	420	410	185	17.9	18.2	19.0	19.6	20.4	22.4	24.9
190	200	410	400	195	19.4	19.7	20.4	21.0	21.8	23.6	25.1
200	210	400	390	205	20.8	21.0	21.8	22.4	23.1	24.9	27.2
210	220	390	380	215	22.1	22.4	23.1	23.6	24.3	26.0	28.2
220	230	380	370	225	23.4	23.6	24.3	24.8	25.5	27.1	29.2
230	240	370	360	235	24.5	24.7	25.4	25.9	26.5	28.1	30.1
240	250	360	350	245	25.5	25.8	26.4	26.9	27.5	29.0	31.0
250	260	350	340	255	26.4	26.6	27.2	27.7	28.3	29.7	31.6
260	270	340	330	265	27.1	27.3	27.9	28.4	28.9	30.4	32.2
270	280	330	320	275	27.7	27.9	28.5	28.9	29.4	30.8	32.7
280	290	320	310	285	28.1	28.2	28.8	29.3	29.8	31.2	32.9
290	300	310	300	295	28.2	28.4	29.0	29.4	30.0	31.3	33.1

$AB=600$，　$MN=20$，　点距 $=10$　　表 6-10

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)						
					0	20	40	50	60	80	100
100	120	500	480	110	3.59	3.76	4.30	4.71	5.22	6.58	8.40
110	130	490	470	120	4.23	4.40	4.92	5.32	5.81	7.11	8.11
120	140	480	460	130	4.91	5.07	5.57	6.00	6.43	7.67	9.32
130	150	470	450	140	5.61	5.77	6.26	6.63	7.09	8.26	9.81
140	160	460	440	150	6.34	6.49	6.96	7.32	7.76	8.90	10.4
150	170	450	430	160	7.08	7.23	7.68	8.03	8.45	9.54	10.9
160	180	440	420	170	7.83	7.97	8.41	8.74	9.20	10.2	11.6
170	190	430	410	180	8.58	8.72	9.14	9.46	9.85	10.9	12.2
180	200	420	400	190	9.31	9.45	9.85	10.2	10.5	11.5	12.7
190	210	410	390	200	10.0	10.2	10.6	10.8	11.2	12.1	13.3
200	220	400	380	210	10.7	10.8	11.2	11.5	11.8	12.7	13.9
210	230	390	370	220	11.4	11.5	11.8	12.1	12.4	13.3	14.4
220	240	380	360	230	12.0	12.1	12.4	12.7	13.0	13.8	14.8
230	250	370	350	240	12.5	12.6	12.9	13.2	13.5	14.3	15.3
240	260	360	340	250	13.0	13.1	13.4	13.6	13.9	14.7	15.6
250	270	350	330	260	13.4	13.5	13.7	14.0	14.3	15.0	16.0
260	280	340	320	270	13.7	13.8	14.1	14.3	14.6	15.3	16.2
270	290	330	310	280	13.9	14.0	14.3	14.5	14.8	15.5	16.4
280	300	320	300	290	14.0	14.2	14.4	14.7	14.9	15.6	16.5
290	310	310	290	300	14.1*	14.2*	14.5*	14.7*	15.0*	15.7*	16.6*

$AB=600$，　$MN=20$，　点距 $=20$　　表 6-11

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^4$)						
					0	20	40	50	60	80	100
100	120	500	480	110	3.59	3.77	4.30	4.71	5.22	6.58	8.40
120	140	480	460	130	4.91	5.07	5.57	5.96	6.43	7.67	9.31
140	160	460	440	150	6.34	6.49	6.96	7.32	7.76	8.90	10.4
160	180	440	420	170	7.83	7.97	8.41	8.74	9.15	10.2	11.6
180	200	420	400	190	9.31	9.45	9.85	10.2	10.5	11.5	12.7
200	220	400	380	210	10.7	10.8	11.2	11.5	11.8	12.7	13.9
220	240	380	360	230	12.0	12.1	12.4	12.7	13.0	13.8	14.8
240	260	360	340	250	13.0	13.1	13.4	13.6	13.9	14.7	15.6
260	280	340	320	270	13.7	13.8	14.1	14.3	14.6	15.3	16.2
280	300	320	300	290	14.1	14.2	14.5	14.7	14.9	15.6	16.5

$AB=800$，　$MN=20$，　点距 $=20$

表 6-12

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)							
					0	20	40	50	60	80	100	150
100	120	700	680	110	3.68	3.86	4.42	4.86	5.40	6.86	8.85	16.5
120	140	680	660	130	5.00	5.26	5.80	6.22	6.73	8.10	9.93	16.8
140	160	660	640	150	6.68	6.85	7.37	7.77	8.27	9.55	11.3	17.6
160	180	640	620	170	8.44	8.60	9.10	9.49	9.95	11.2	12.8	18.6
180	200	620	600	190	10.3	10.5	10.9	11.3	11.8	12.9	14.4	19.8
200	220	600	580	210	12.3	12.4	12.9	13.3	13.6	14.7	16.1	21.2
220	240	580	560	230	14.3	14.4	14.8	15.2	15.6	16.6	17.9	22.6
240	260	560	540	250	16.3	16.4	16.8	17.1	17.5	18.4	9.7	24.1
260	280	540	520	270	18.2	18.3	18.7	19.0	19.3	20.2	21.4	25.5
280	300	520	500	290	20.0	20.1	20.4	20.7	21.0	21.9	23.0	26.8
300	320	500	480	310	21.5	21.7	22.0	22.3	22.5	23.3	24.4	28.0
320	340	480	460	330	22.9	23.0	23.3	23.6	23.8	24.6	25.6	29.0
340	360	460	440	350	24.0	24.1	24.3	24.6	24.9	25.6	26.5	29.8
360	380	440	420	370	24.7	24.8	25.1	25.3	25.6	26.3	27.1	30.3
380	400	420	400	390	25.1	25.2	25.4	25.7	25.9	26.6	27.5	30.6

$AB=800$，　$MN=40$，　点距 $=20$

表 6-13

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)							
					0	20	40	50	60	80	100	150
100	140	700	660	120	2.13	2.23	2.51	2.73	3.00	3.71	4.68	6.62
120	160	680	640	140	2.89	2.98	3.24	3.46	3.71	4.38	5.28	8.59
140	180	660	620	160	3.73	3.81	4.07	4.27	4.52	5.15	5.98	9.03
160	200	640	600	180	4.64	4.72	4.98	5.16	5.39	6.00	6.77	9.59
180	220	620	580	200	5.60	5.66	5.92	6.10	6.32	6.88	7.62	10.2
200	240	600	560	220	6.60	6.67	6.89	7.07	7.27	7.80	8.49	10.9
220	260	580	540	240	7.60	7.66	7.88	8.04	8.28	8.73	9.38	14.7
240	280	560	520	260	8.58	8.64	8.84	8.99	9.17	9.64	10.2	12.4
260	300	540	500	280	9.50	9.56	9.75	9.89	10.1	10.5	11.1	13.1
280	320	520	480	300	10.4	10.4	10.6	10.7	10.9	11.3	11.8	13.7
300	340	500	460	320	11.1	11.2	11.3	11.4	11.6	12.0	12.5	14.2
320	360	480	440	340	11.7	11.8	11.9	12.0	12.2	12.5	13.0	14.7
340	380	460	420	360	12.2	12.2	12.4	12.5	12.6	13.0	13.4	15.0
360	400	440	400	380	12.4	12.4	12.6	12.7	12.9	13.2	13.6	15.2
380	420	420	380	400	12.5*	12.6*	12.7*	12.8*	13.0*	13.3*	13.7*	15.3*

$AB=1000$，　$MN=20$，　点距=20　　表 6-14

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)							
					0	20	40	50	60	80	100	150
160	180	840	820	170	8.69	8.86	9.39	9.80	10.3	11.6	13.3	19.7
180	200	820	800	190	10.7	10.9	11.4	11.8	12.3	13.5	15.2	21.2
200	220	800	780	210	12.9	13.1	13.6	14.0	14.4	15.6	17.2	22.9
220	240	780	760	230	15.2	15.4	15.9	16.2	16.7	17.8	19.4	24.7
240	260	760	740	250	17.7	17.8	18.3	18.6	19.1	20.2	21.6	26.7
260	280	740	720	270	20.1	20.3	20.7	21.1	21.5	22.5	23.9	28.7
280	300	720	700	290	22.6	22.8	23.2	23.4	23.9	24.9	26.2	30.8
300	320	700	680	310	25.1	25.2	25.6	26.0	26.3	27.3	28.5	32.9
320	340	680	660	330	27.5	27.6	28.0	28.3	28.6	29.6	30.8	34.9
340	360	660	640	350	29.8	29.9	30.3	30.6	30.9	31.8	32.9	36.8
360	380	640	620	370	32.0	32.1	32.4	32.7	33.0	33.8	34.9	38.6
380	400	620	600	390	33.9	34.0	34.3	34.6	34.9	35.7	36.7	40.2
400	420	600	580	410	35.6	35.7	36.0	36.3	36.6	37.3	38.3	41.6
420	440	580	560	430	37.0	37.1	37.4	37.6	37.9	38.6	39.6	42.8
440	460	560	540	450	38.1	38.2	38.5	38.7	39.0	39.7	40.6	43.7
460	480	540	520	470	38.8	38.9	39.2	39.4	39.7	40.4	41.3	44.3
480	500	520	500	490	39.2	39.3	39.6	39.8	40.1	40.7	41.6	44.7

$AB = 1000$，　$MN = 40$，　点距 = 20　　表 6-15

AM	AN	BM	BN	AO \ K \ D	K ($\times 10^3$)								
					0	20	40	50	60	80	100	150	200
160	200	840	800	180	4.80	4.39	5.15	5.35	5.60	6.24	7.09	10.2	14.8
180	220	820	780	200	5.86	5.94	6.20	6.39	6.63	7.25	8.06	11.0	15.3
200	240	800	760	220	7.00	7.07	7.32	7.51	7.74	8.33	9.10	11.9	15.9
220	260	780	740	240	8.18	8.25	8.49	8.68	8.90	9.46	10.2	12.3	16.6
240	280	760	720	260	9.40	9.48	9.71	9.88	10.1	10.6	11.3	13.8	17.4
260	300	740	700	280	10.7	10.7	10.9	11.1	11.3	11.8	12.5	14.9	18.3
280	320	720	680	300	11.9	12.0	12.2	12.3	12.5	13.0	13.7	15.8	19.1
300	340	700	660	320	13.1	13.2	13.4	13.5	13.7	14.2	14.8	16.9	20.0
320	360	680	640	340	14.3	14.4	14.6	14.7	14.9	15.3	15.9	17.9	20.7
340	380	660	620	360	15.4	15.5	15.7	15.8	16.0	16.4	16.9	18.9	21.6
360	400	640	600	380	16.5	16.5	16.7	16.8	17.0	17.4	17.9	19.7	22.3
380	420	620	580	400	17.4	17.4	17.6	17.7	17.9	18.2	18.7	20.5	22.9
400	420	600	560	420	18.1	18.2	18.4	18.5	18.6	19.0	19.5	21.1	23.5
420	460	580	540	440	18.8	18.8	19.0	19.1	19.2	19.6	20.0	21.6	23.9
440	480	560	520	460	19.2	19.3	19.4	19.5	19.7	20.0	20.5	22.0	24.2
460	500	540	500	480	19.5	19.6	19.7	19.8	19.9	20.3	20.7	22.2	24.4
480	520	520	480	500	19.6*	19.7*	19.8*	19.9*	20.0*	20.4*	20.8*	22.3*	24.6*

$AB = 1200$，　$MN = 20$，　点距 = 20　　表 6-16

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)								
					0	20	40	50	60	80	100	150	200
160	180	1040	1020	170	8.81	8.99	9.54	9.95	10.5	11.8	13.6	20.1	30.5
180	200	1020	1000	190	10.9	11.1	11.6	12.0	12.6	13.9	15.6	21.9	31.5
200	220	1000	980	210	13.2	13.4	13.9	14.3	14.8	16.1	17.7	23.8	32.8
220	240	980	960	230	15.7	15.9	16.4	16.8	17.3	18.5	20.1	25.9	34.4
240	260	960	940	250	18.3	18.5	19.0	19.4	19.8	21.0	22.6	28.2	36.3
260	280	940	920	270	21.1	21.3	21.7	22.1	22.6	23.7	25.2	30.6	38.3
280	300	920	900	290	24.0	24.1	24.6	25.0	25.4	26.5	28.0	33.1	40.5
300	320	900	880	310	26.9	27.1	27.5	27.9	28.3	29.4	30.8	35.7	42.8
320	340	880	860	330	29.9	30.0	30.5	30.8	31.2	32.3	33.6	38.3	45.1
340	360	860	840	350	32.9	33.0	33.5	33.8	34.2	35.2	36.5	41.0	47.5
360	380	840	820	370	35.9	36.0	36.4	36.7	37.1	38.1	39.3	43.6	49.8
380	400	820	800	390	38.8	38.9	39.3	39.6	40.0	40.9	42.1	46.2	52.1
400	420	800	780	410	41.6	41.7	42.1	42.4	42.7	43.6	44.7	48.7	54.4
420	440	780	760	430	44.3	44.4	44.7	45.0	45.3	46.2	47.2	51.1	56.5
440	460	760	740	450	46.7	46.9	47.2	47.5	47.8	48.6	49.7	53.3	58.5
460	480	740	720	470	49.0	49.2	49.5	49.7	50.1	50.8	51.8	55.3	60.3
480	500	720	700	490	51.1	51.2	51.5	51.7	52.0	52.8	53.7	57.1	61.9
500	520	700	680	510	52.8	52.9	53.2	53.5	53.8	54.5	55.4	58.7	63.3
520	540	680	660	530	54.3	54.4	54.7	54.9	55.2	55.9	56.8	59.9	64.4
540	560	660	640	550	55.4	55.5	55.8	56.0	56.2	56.9	57.8	60.9	65.3
560	580	640	620	570	56.1	56.2	56.5	56.7	57.0	57.6	58.5	61.6	65.9
580	600	620	600	590	56.5	56.6	56.9	57.1	57.3	58.0	58.9	61.9	66.2

$AB = 1200$，　$MN = 40$，　点距 = 20　　表 6-17

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)								
					0	20	40	50	60	80	100	150	200
160	200	1040	1000	180	4.88	4.97	5.24	5.45	5.71	6.37	7.06	10.5	15.5
180	220	1020	980	200	5.98	6.07	6.34	6.54	6.79	7.44	8.29	11.4	16.1
200	240	1000	960	220	7.18	7.27	7.53	7.73	7.97	8.60	9.42	12.4	16.8
220	260	980	940	240	8.46	8.54	8.80	9.00	8.23	9.84	10.6	13.5	17.7
240	280	960	920	260	9.81	9.89	10.1	10.3	10.6	11.2	11.9	14.7	18.6
260	300	940	900	280	11.2	11.3	11.5	11.7	11.9	12.5	13.3	15.9	19.7
280	320	920	880	300	12.7	12.8	13.0	13.2	13.4	13.9	14.6	17.2	20.8
300	340	900	860	320	14.2	14.2	14.5	14.6	14.8	15.4	16.1	18.5	22.0
320	360	880	840	340	15.7	15.7	16.0	15.1	16.3	16.8	17.5	19.8	23.1
340	380	860	820	360	17.2	17.2	17.4	17.6	17.8	18.3	18.9	21.1	24.3
360	400	840	800	380	18.6	18.7	18.9	19.1	19.2	19.7	20.3	22.5	25.5
380	420	820	780	400	20.1	20.1	20.3	20.5	20.6	21.1	21.7	23.7	26.5
400	440	800	760	420	21.4	21.5	21.7	21.8	22.0	22.4	23.0	24.9	27.7
420	460	780	740	440	22.7	22.8	22.0	23.1	23.3	23.7	24.2	26.1	28.7
440	480	760	720	460	23.9	24.0	24.2	24.3	24.5	24.8	25.4	27.1	29.7
460	500	740	700	480	25.0	25.1	25.2	25.4	25.5	25.9	26.4	28.1	30.5
480	520	720	680	500	26.0	26.0	26.2	26.3	26.4	26.8	27.3	28.9	31.3
500	540	700	660	520	26.8	26.8	27.0	27.1	27.2	27.6	28.0	29.6	31.9
520	560	680	640	540	27.4	27.5	27.6	27.7	27.9	28.2	28.6	30.2	32.4
540	580	660	620	560	27.9	27.9	28.1	28.2	28.3	28.6	29.1	30.6	32.8
560	600	640	600	580	28.2	28.2	28.3	28.4	28.6	28.9	29.3	30.8	33.1
580	620	620	580	600	28.3*	28.3*	28.4*	28.5*	28.7	29.0*	29.4*	30.9*	33.1*

$AB=1500$，　$MN=40$，　点距 $=20$　　表 6-18

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)						
					0	50	100	150	200	250	300
200	240	1300	1260	220	7.33	7.89	9.66	12.8	17.5	24.1	32.5
220	260	1280	1240	240	8.57	9.23	11.0	14.0	18.5	24.7	32.7
240	280	1260	1220	260	10.1	10.7	12.4	15.3	19.7	25.5	33.1
260	300	1240	1200	280	11.6	12.2	13.8	16.7	20.9	26.5	33.7
280	320	1220	1180	300	13.3	13.8	15.4	18.2	22.2	27.6	34.4
300	340	1200	1160	320	14.9	15.5	17.0	19.7	23.6	28.8	35.3
320	360	1180	1140	340	16.7	17.2	18.7	21.3	25.1	30.1	36.4
340	380	1160	1120	360	18.5	19.0	20.5	23.0	26.7	31.5	37.5
360	400	1140	1100	380	20.3	20.8	22.2	24.7	28.2	32.9	38.6
380	420	1120	1080	400	22.2	22.6	24.1	26.4	29.8	34.3	39.8
400	440	1100	1060	420	24.0	24.5	25.9	28.2	31.5	35.8	41.1
420	460	1080	1040	440	25.9	26.3	27.7	29.9	33.1	37.2	42.4
440	480	1060	1020	460	27.8	28.2	29.5	31.7	34.7	38.7	43.7
460	500	1040	1000	480	29.6	30.0	31.3	33.4	36.3	40.2	44.9
480	520	1020	980	500	31.4	31.8	33.0	35.0	37.9	41.6	46.2
500	540	1000	960	520	33.1	33.5	34.7	36.6	39.4	43.0	47.4
520	560	980	940	540	34.8	35.1	36.3	38.2	40.8	44.3	48.6
540	580	960	920	560	36.3	36.7	37.7	39.6	42.2	45.5	49.7
560	600	940	900	580	37.7	38.1	39.2	40.9	43.4	46.7	50.7
580	620	920	880	600	39.1	39.5	40.5	42.2	44.6	47.7	51.6
600	640	900	860	620	40.3	40.7	41.6	43.3	45.6	48.7	52.5
620	660	880	840	640	41.4	41.7	42.7	44.3	46.6	49.5	53.2
640	680	860	820	660	42.3	42.6	43.5	45.1	47.3	50.2	53.9
660	700	840	800	680	43.0	43.3	44.2	45.8	48.0	50.8	54.4
680	720	820	780	700	43.6	43.9	44.8	46.3	48.4	51.3	54.8
700	740	800	760	720	43.9	44.2	45.1	46.6	48.8	51.6	55.0
720	760	780	740	740	44.1	44.4	45.3	64.8	48.9	51.7	55.2

$AB = 1500$，　$MN - 40$，　点距 = 20　　表 6-19

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^4$)					
					0	50	100	150	200	250
190	230	1310	1270	210	6.69	7.26	9.05	12.3	17.1	23.8
210	250	1290	1250	230	7.99	8.55	10.3	13.4	18.0	24.4
230	270	1270	1230	250	9.38	9.94	11.7	14.6	19.1	25.1
250	290	1250	1210	270	10.9	11.4	13.1	16.0	20.3	26.0
270	310	1230	1190	290	12.4	13.0	14.6	17.4	21.5	27.1
290	330	1210	1170	310	14.1	14.6	16.2	18.9	22.9	28.2
310	350	1190	1150	330	15.8	16.3	17.9	20.5	24.4	29.4
330	370	1170	1130	350	17.6	18.1	19.6	22.2	25.9	30.8
350	390	1150	1110	370	19.4	19.9	21.3	23.9	27.4	32.2
370	410	1130	1090	390	21.2	21.7	23.1	25.6	29.0	33.6
390	430	1110	1070	410	23.1	23.6	24.9	27.3	30.7	35.0
410	450	1090	1050	430	25.0	25.4	26.8	29.1	32.3	36.5
430	470	1070	1030	450	26.8	27.3	28.6	30.8	33.9	38.0
450	490	1050	1010	470	28.7	29.1	30.4	32.5	35.5	39.4
470	510	1030	990	490	30.5	30.9	32.1	34.2	37.1	40.9
490	530	1010	970	510	32.2	32.6	33.8	35.8	38.6	42.3
510	550	990	950	530	33.9	34.3	35.5	37.4	40.1	43.6
530	570	970	930	550	35.6	35.9	37.0	38.9	41.5	44.9
550	590	950	910	570	37.0	37.4	38.5	40.3	42.8	46.1
570	610	930	890	590	38.5	38.8	39.3	41.6	44.0	47.2
590	630	910	870	610	39.7	40.1	41.1	42.8	46.1	48.2
610	650	890	850	630	40.8	41.2	42.2	43.8	46.1	49.1
630	670	870	830	650	41.8	42.1	43.1	44.7	47.0	49.9
650	690	850	810	670	42.7	43.0	43.9	45.5	47.7	50.5
670	710	830	790	690	43.3	43.6	44.5	46.1	48.2	51.1
690	730	810	770	710	43.8	44.1	45.0	46.5	48.6	51.4
710	750	790	750	730	44.1	44.3	45.2	46.7	48.9	51.6
730	770	770	730	750	44.2°	44.4°	45.3°	46.8°	49.0°	51.7°

$AB=1500$，　$MN=40$，　点距 $=40$　　表 6-20

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)						
					0	50	100	150	200	250	300
190	230	1310	1270	210	6.69	7.26	9.05	12.3	17.1	23.8	32.6
230	270	1270	1230	250	9.38	9.94	11.7	14.6	19.1	25.1	32.9
270	310	1230	1190	290	12.4	13.0	14.6	17.4	21.5	27.1	34.0
310	350	1190	1150	330	15.8	16.3	17.9	20.5	24.4	29.4	35.8
350	390	1150	1110	370	19.4	19.9	21.3	23.9	27.4	32.2	38.0
390	430	1110	1070	410	23.1	23.6	25.0	27.3	30.7	35.0	40.5
430	470	1070	1030	450	26.8	27.3	28.6	30.8	33.9	38.0	43.0
470	510	1030	990	490	30.5	30.9	32.1	34.2	37.1	40.9	45.6
510	550	990	950	530	33.9	34.3	35.5	37.4	40.1	43.6	48.0
550	590	950	910	570	37.1	37.4	38.4	40.3	42.8	46.1	50.2
590	630	910	870	610	39.7	40.1	41.1	42.8	45.1	48.2	52.1
630	670	870	830	650	41.8	42.2	43.1	44.7	47.0	49.9	53.6
670	710	830	790	690	43.3	43.6	44.5	46.1	48.2	51.1	54.6
710	750	790	750	730	44.1	44.4	45.2	46.7	48.9	51.6	55.1

$AB = 1600$，　$MN = 40$，　点距 = 40　　表 6-21

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)						
					0	50	100	150	200	250	300
200	240	1400	1360	220	7.35	7.93	9.71	12.9	17.7	24.4	33.0
240	280	1360	1320	260	10.2	10.7	12.4	15.4	19.9	25.9	33.6
280	320	1320	1280	300	13.4	13.9	15.6	18.4	22.5	28.1	35.1
320	360	1280	1240	340	16.9	17.4	19.0	21.7	25.5	30.7	37.2
360	400	1240	1200	380	20.6	21.1	22.6	25.2	28.8	33.6	39.6
400	440	1200	1160	420	24.5	25.0	26.5	28.9	32.3	36.8	42.4
440	480	1160	1120	460	28.5	29.0	30.3	32.6	35.8	40.0	45.2
480	520	1120	1080	500	32.5	32.9	34.2	36.3	39.4	43.3	48.1
520	560	1080	1040	540	36.3	36.7	37.9	39.9	42.7	46.4	50.9
560	600	1040	1000	580	40.0	40.3	41.4	43.3	45.9	49.3	53.6
600	640	1000	960	620	43.1	43.4	44.5	46.2	48.7	51.9	55.9
640	680	960	920	660	45.8	46.1	47.1	48.8	51.1	54.1	57.9
680	720	920	880	700	47.9	48.2	49.2	50.8	53.0	55.9	59.5
720	760	880	840	740	49.4	49.7	50.6	52.1	54.3	57.1	60.6
760	800	840	800	780	50.1	50.4	51.3	52.8	54.9	57.7	61.1

$AB=2000$，　$MN=40$，　点距=40

表 6-22

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)								
					0	50	100	150	200	250	300	350	400
200	240	1800	1760	220	7.43	8.01	9.84	13.1	18.1	25.1	34.4	46.1	60.4
240	280	1760	1720	260	10.3	10.9	12.7	15.8	20.4	26.8	35.2	45.6	58.2
280	320	1720	1680	300	13.7	14.2	15.9	18.9	23.3	29.2	36.9	46.4	57.8
320	360	1680	1640	340	17.4	17.9	19.6	22.5	26.6	32.2	39.3	48.1	58.6
360	400	1640	1600	380	21.4	22.0	23.6	26.4	30.4	35.6	42.3	50.2	60.2
400	440	1600	1560	420	25.8	26.3	27.9	30.6	34.4	39.4	45.7	53.1	62.4
440	480	1560	1520	460	30.5	31.0	32.5	35.0	38.7	43.5	49.4	56.6	65.1
480	520	1520	1480	500	35.3	35.8	37.2	39.7	43.2	47.7	53.4	60.2	68.1
520	560	1480	1440	540	40.2	40.7	42.1	44.5	47.8	52.1	57.5	63.9	71.4
560	600	1440	1400	580	45.2	45.7	47.0	49.3	52.4	56.6	61.6	67.7	74.8
600	640	1400	1360	620	50.3	50.6	51.9	54.0	57.1	61.0	65.8	71.5	78.2
640	680	1360	1320	660	55.0	55.4	56.6	58.7	61.5	65.2	69.8	75.2	81.6
680	720	1320	1280	700	59.6	60.0	61.2	63.1	65.8	69.3	73.6	78.8	84.8
720	760	1280	1240	740	63.9	64.3	65.4	67.2	69.8	73.1	77.2	82.1	87.8
760	800	1240	1200	780	67.8	68.2	69.2	70.9	73.4	76.6	80.5	85.1	90.5
800	840	1200	1160	820	71.2	71.5	72.5	74.2	76.5	79.5	83.3	87.7	92.9
840	880	1160	1120	860	74.0	74.3	75.3	76.4	79.1	82.0	85.6	89.9	94.0
880	920	1120	1080	900	76.2	76.5	77.4	79.0	81.1	83.9	87.4	91.5	96.5
920	960	1080	1040	940	77.7	78.0	78.9	80.4	82.5	85.3	88.7	92.7	97.5
960	1000	1040	1000	980	78.4	78.7	79.6	81.1	83.2	85.9	89.3	93.3	98.0

$AB=3000$，　$MN=80$，　点距 $=40$　　表 6-23

AM	AN	BM	BN	K / D / AO	K ($\times 10^3$)						
					0	100	200	300	400	500	600
420	500	2580	460	460	16.0	17.1	20.6	26.8	36.0	48.7	65.1
460	540	2540	500	500	18.8	19.9	23.3	29.3	38.2	50.2	65.7
500	580	2500	540	540	21.7	22.8	26.2	32.0	40.5	52.0	66.7
540	620	2460	580	580	24.9	25.9	29.2	34.9	43.1	54.1	68.1
580	660	2420	620	620	28.2	29.2	32.4	37.9	45.8	56.4	69.8
620	700	2380	660	660	31.6	32.6	35.2	41.1	48.7	58.9	71.7
660	740	2340	700	700	35.1	36.1	39.2	44.3	51.7	61.5	73.8
700	780	2300	740	740	38.7	39.7	42.7	47.7	54.9	64.3	76.1
740	820	2260	780	780	42.4	43.4	46.3	51.1	58.1	67.1	78.5
780	860	2220	820	820	46.2	47.1	49.9	54.6	61.3	70.1	80.9
820	900	2180	860	860	49.9	50.8	53.5	58.1	64.6	73.0	83.5
860	940	2140	900	900	53.7	54.5	57.2	61.6	67.8	76.0	86.0
900	980	2100	940	940	57.4	58.2	60.7	65.0	71.0	78.9	88.6
940	1020	2060	980	980	61.0	61.8	64.3	68.4	74.2	81.7	91.1
980	1060	2020	1020	1020	64.5	65.3	67.7	71.6	77.3	84.6	93.6
1020	1100	1980	1060	1060	67.9	68.6	70.9	74.8	80.2	87.3	95.9
1060	1140	1940	1100	1100	71.1	71.8	74.1	77.7	83.0	89.8	98.2
1100	1180	1900	1140	1140	74.1	74.8	77.0	80.6	85.6	92.2	100
1140	1220	1860	1180	1180	76.9	77.6	79.7	83.2	88.1	94.4	102
1180	1260	1820	1220	1220	79.5	80.1	82.1	85.5	90.3	96.5	104
1220	1300	1780	1260	1260	81.7	82.4	84.3	87.6	92.2	98.2	106
1260	1340	1740	1300	1300	83.7	84.3	86.2	89.4	93.9	99.8	107
1300	1380	1700	1340	1340	85.3	85.9	87.8	90.9	95.3	101	108
1340	1420	1660	1380	1380	86.6	87.2	89.0	92.1	96.4	102	109
1380	1460	1620	1420	1420	87.5	88.1	89.9	93.0	97.2	103	110
1420	1500	1580	1460	1460	88.1	88.7	90.5	93.5	97.7	103	110
1460	1540	1540	1500	1500	88.3*	88.9*	90.7*	93.7*	97.9*	103*	110*

二、等距对称四极装置K值表

表 6-24

a	10	20	40	50	60	80	100	150	200
K	62.8	126	251	314	377	503	628	943	1250

三、对称四极测深装置K值表

表 6-25

$\frac{AB}{2}$	$\frac{MN}{2}$	K	$\frac{AB}{2}$	$\frac{MN}{2}$	K	$\frac{AB}{2}$	$\frac{MN}{2}$	K ($\times 13^3$)	$\frac{AB}{2}$	$\frac{MN}{2}$	K
0.4	0.125	181	10	2.5	58.9	150	50	0.628	4000	250	10.0×10^3
0.65	0.125	511	15	0.5	706	250	10	9.80	4000	1000	23.6×10^3
1.0	0.125	124	15	2.5	137	250	50	1.89	6500	250	26.5×10^3
1.5	0.125	281	25	2.5	389	400	50	4.95	6500	1000	64.8×10^3
1.5	0.5	628	40	2.5	1000	650	50	13.2	10000	1000	156×10^3
2.5	0.125	783	40	10	236	1000	50	31.3	15000	1000	352×10^3
2.5	0.5	189	65	2.5	2650	1000	250	5.89	25000	1000	980×10^3
4.0	0.5	495	65	10	648	1500	50	70.6			
6.5	0.5	132	100	10	1560	1500	250	13.7			
10	0.5	313	150	10	3500	2500	250	38.9			

四、联合剖面装置K值表

表 6-26

$AO(OB)$	MN	$K(\times 10^3)$	$AO(OB)$	MN	$K(\times 10^3)$	$AO(OB)$	MN	$K(\times 10^3)$
65	10	2.64	240	20	18.1	480	40	36.1
110	10	7.59	360	20	40.7	720	20	163
110	20	3.7	360	40	20.3	720	40	81.4
240	10	36.2	480	20	72.4	1000	40	157

五、对称四极装置K值表

表 6-27

AB	MN	$K(\times 10^3)$	AB	MN	$K(\times 10^3)$	AB	MN	$K(\times 10^3)$
100	10	0.778	480	20	9.03	1200	40	28.2
220	10	3.79	480	40	4.49	1600	40	50.2
220	20	1.89	720	20	20.3	2000	40	78.5
360	20	5.07	720	40	10.2	2000	80	39.2
360	40	2.51	1000	40	10.6			

六、轴向偶极装置K值表

表 6-28

n \ a (K)	10	20	40	50	60	80	100	200
	K ($\times 10^3$)							
1	0.189	0.377	0.754	0.943	1.13	1.51	1.89	3.77
2	0.754	1.51	3.02	3.77	4.52	5.03	7.54	15.1
3	1.89	3.77	7.45	9.43	11.3	15.1	18.9	37.7
4	3.77	7.54	15.1	18.9	22.6	30.2	37.7	75.4
5	6.60	13.2	26.4	33.0	39.6	52.8	66.0	132
6	10.6	21.1	42.2	52.8	63.3	84.5	106	211
7	15.8	31.7	63.3	79.2	95.0	127	158	317
8	22.6	45.2	90.5	113	136	181	226	452
9	31.1	62.2	124	156	187	249	311	622
10	41.5	82.9	166	207	249	332	415	829
11		108	216	270	324	431	539	1080
12		137	275	343	412	549	686	1370
13		172	343	429	515	686	858	1720
14		211	422	528	633	845	1060	2110
15		256	513	641	769	1030	1280	2560
16		308	615	769	923	1230	1540	3080
17		365	731	913	1100	1460	1830	3650
18		430	860	1070	1290	1720	2150	4300
19		501	1000	1250	1500	2010	2510	5010
20		581	1160	1450	1740	2320	2900	5810

七、赤道偶极装置K值表

表 6-29

n \ a	10	20	40	50	60	80	100	200
K	K (×10³)							
1	0.107	0.215	0.429	0.536	0.644	0.858	1.07	2.15
2	0.595	1.19	2.38	2.98	3.57	4.76	5.95	11.9
3	1.84	3.67	7.35	9.18	11.0	14.7	18.4	36.7
4	4.21	8.42	16.8	21.0	25.3	33.7	42.1	84.2
5	8.09	16.2	32.4	40.4	48.5	64.7	80.9	162
6		27.7	55.4	69.3	83.2	111	139	277
7		43.8	81.5	109	131	175	219	438
8		65.1	130.2	163	195	260	326	651
9		92.5	185	231	277	370	462	925
10		127	253	317	380	506	633	127 ×10

附录七　直流电法记录本格式

（一）直流电剖面法记录本格式（适用于中间梯度与对称四极装置）

测区＿＿＿＿　测线＿＿＿＿　日期＿＿＿＿

天气＿＿＿＿　装置＿＿＿＿　AB（米）＿＿＿＿

MN（米）＿＿＿＿　点距＿＿＿＿　A极位置＿＿＿＿

B极位置＿＿＿＿　操作者＿＿＿＿　记录者＿＿＿＿

复算者＿＿＿＿

线点号	K	I (mA)	ΔV (mV)	ρ_s (Ωm)	$\bar{\rho}_s$ (Ωm)	备　注

（二）直流电剖面法记录本格式（适用于联合剖面）

测区＿＿＿＿　测线＿＿＿＿　日期＿＿＿＿

天气＿＿＿＿　AO（米）＿＿＿＿　MN（米）＿＿＿＿

∞极方位＿＿＿＿　∞极距离＿＿＿＿　点距（米）＿＿＿＿

操作者＿＿＿＿　记录者＿＿＿＿　复算者＿＿＿＿

K＝＿＿＿＿

线点号	$AMN\infty$				∞MNB				备注
	I (mA)	ΔV (mV)	ρ_s (Ωm)	$\bar{\rho}_s$ (Ωm)	I (mA)	ΔV (mV)	ρ_s (Ωm)	$\bar{\rho}_s$ (Ωm)	

（三）直流电测深法记录本格式

测区＿＿＿线点号＿＿＿日期＿＿＿天气＿＿＿

拉线方向＿＿＿点位高程＿＿＿操作员＿＿＿

记录者＿＿＿复算者＿＿＿

$\frac{AB}{2}$ (m)	$\frac{MN}{2}$ (m)	K	I (mA)	ΔV (mV)	ρ_s (Ωm)	$\bar{\rho}$ (Ωm)	备注

（四）自然电位法观测记录本格式

测区＿＿＿测线＿＿＿日期＿＿＿

天气＿＿＿流动电极编号＿＿＿极差＿＿＿

测站位置＿＿＿测站电位＿＿＿观测起止时间＿＿＿

操作者＿＿＿记录者＿＿＿复算者＿＿＿

点线号	读数 (mV)	重复读数 (mV)	读数平均值 (mV)	极差改正 (mV)	对基点电位 (mV)	对总基点电位 (mV)	备注

（五）充电法记录本格式

1．电位记录本格式

测区＿＿＿测线＿＿＿日期＿＿＿

天气＿＿＿点距＿＿＿N固定极位置＿＿＿

充电点位置＿＿＿无穷远极位置＿＿＿操作者＿＿＿

记录者＿＿＿复算者＿＿＿

点线号	I (mA)	相对于固定极N的电位差U(mV)	$\frac{U}{I}$	$(\frac{\bar{U}}{I})$	备注

2．电位梯度记录本格式

测区＿＿＿＿＿＿测线＿＿＿＿＿＿日期＿＿＿＿＿＿

天气＿＿＿＿ $\overline{MN}$ ＿＿＿＿点距＿＿＿＿充电点位置＿＿＿

“无穷远”极位置＿＿＿＿＿＿操作者＿＿＿＿＿＿

记录者＿＿＿＿＿＿复算者＿＿＿＿＿＿

线点号	I (mA)	ΔV (mV)	$(\frac{\Delta V}{I})$ (mV/mA)	$(\overline{\frac{\Delta V}{I}})$ (mV/mA)	$\frac{\Delta V}{I \cdot MN}$ (mV/mA·m)	$(\frac{\Delta V}{I \cdot MN})$ (mV/mA·m)	备注

（六）电测参数均方误差统计表格式

原始观测日期＿＿＿＿仪器号＿＿＿＿观测者＿＿＿＿

检查观测日期＿＿＿＿仪器号＿＿＿＿观测者＿＿＿＿

装置或布极方向＿＿＿＿测区＿＿＿＿

序号	线点号	θ_i	θ_i'	$\bar{\theta}_i = \frac{\theta_i + \theta_i'}{2}$	$\delta\theta_i = \theta_i - \theta_i'$	$\frac{\delta\theta_i}{\theta_i}$	$(\frac{\delta\theta_i}{\theta_i})^2$

$n =$

$\sum_{i=1}^{n} (\frac{\delta\theta_i}{\theta_i})^2 =$

$m\theta_i = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\frac{\delta\theta_i}{\theta_i})^2}{2n}}$

计算日期＿＿＿＿计算者＿＿＿＿复算者＿＿＿＿

附录八　岩矿标本的自然电场与跳跃电位的测定

人工条件下岩矿自然电场和跳跃电位的测定方法，都是以岩矿的氧化还原机制为理论基础的。

一、岩矿标本自然电场的测定

测量装置的示意图见图8-1。

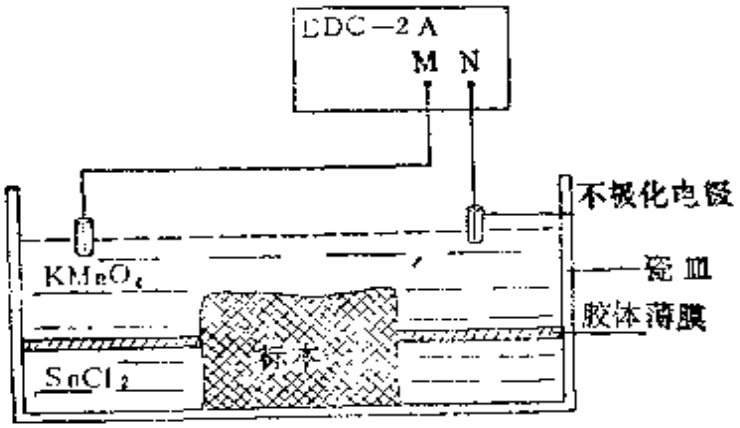


图 8-1　岩矿标本自然电场测量装置示意图

具体布置：

（一）瓷皿中放置岩石标本，将洋菜(洋粉)加水煮制成胶状溶液并倒在标本周围，使之形成0.3～0.4厘米的薄膜。

（二）使处于半凝固状态的薄膜与瓷皿分离，并将还原剂二氧化锡的饱和溶液注入薄膜之下（约标本高度的三分之二），这时胶体薄膜浮起。

（三）将薄膜的破裂部分，特别是标本周围的裂隙用胶状洋菜补好，以使还原剂和浸泡在还原剂溶液中的那部分岩石处于“封闭状态”。

（四）在胶体薄膜上加氧化剂溶液（高锰酸钾），直至其液面浸没标本顶部1厘米以上。

（五）上述布置完毕30～60分钟后，即可沿测线观测。

观测时，应特别注意胶体薄膜的阻隔性能是否良好，否则氧化剂和还原剂混合将影响观测结果；其次，应控制观测时间；测定同一块标本时，温度变化也应不超过3°C。

采用电位装置观测时，M极靠在容器边部，N极移动；如采用梯度装置观测，则MN极同时移动。

二、岩矿标本自然跳跃电位的测定

自然跳跃电位的测定装置如图 8-2。应注意将金属电极接在图中的M处，切勿与溶液或砂粒接触，要求标本上表面露出液面。

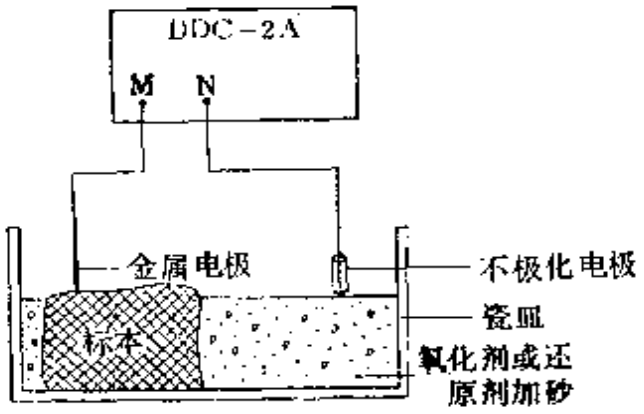


图 8-2　自然跳跃电位测定装置

为了对比不同浓度溶液中岩石标本的自然跳跃电位，应

将标本放入不同浓度的氧化剂（还原剂）中。在测定过程中，每块标本的观测时间及观测回次的时间间隔都应该大致相等。同一块标本在更换测定液时，应保持测定液和砂的原体积比。

散漫状矿石标本应按图8-3的装置图布置测量。

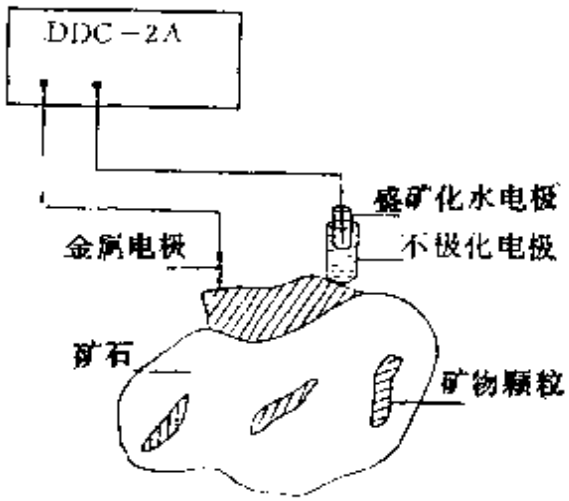


图 8-3　散漫状标本测定装置

附录九　直流电法模拟实验

研究复杂地电条件下电场的空间分布并进行地质解释，采用理论计算求解十分困难，有时甚至是不可能的。因此，人们常借助于模拟实验来解决这类地质问题。

模拟实验遵循“相似性”原理。当模拟地质体的几何参数及电性参数与客观实际之间保持着某种比例关系时，模拟实验结果与野外实测结果吻合。模拟与实际之间的参数关系是彼此独立的线性关系。也就是说，无论按何种比例单独改变它们的数值或一起改变它们的数值，都将测得与野外相同的视电参数曲线。

导电纸、薄水层、电阻网络实验中的地形、地电断面及供电场源，在理论上都是“二度”的，而野外实际地形及地电断面只能近似地满足“二度”条件。这些差别不会使两种视电参数曲线在基本形态上有所变异，但以定量的观点而论，模拟实验结果与野外实测结果并不相同。

目前已实际应用的有水槽、土槽、导电纸、薄水层、电阻网络等模拟方法。

一、水槽模拟实验

（一）一般特点

在水槽模拟实验中，以水模拟围岩，以水平面模拟地面，因而能满足“均匀各向同性半无限介质”的模拟条件。

一般用金属或石墨模拟$\rho_2=0$的地质体；用橡皮或玻璃模拟$\rho_2=\infty$的地质体；用砂、水泥、石墨、矿粉或金属物按不同的比例或不同的排列方向制作有不同电性参数值或各向异性的模拟地质体。制作时应将模拟料搅拌均匀，成型后置于阴凉干燥处，使之自然固结。

（二）电极

为使棒状供电极满足点源场，要求最近测点至少应相距棒状电极有三倍电极入水深度的距离；同时还要求电极入水深度小于模拟体顶面埋深的半值。在采用三极或对称四极装置观测时，也应使$\overline{AM}$（或$\overline{BN}$）大于电极入水深度的三倍。

当水槽壁具有相当的导电能力，并且在电性上同大地相通时，应将“无穷远”供电电极C_1换以大电极接地；否则应以裸铜线作成“凹”字形紧贴测线两端槽壁和槽底（图9-1）。

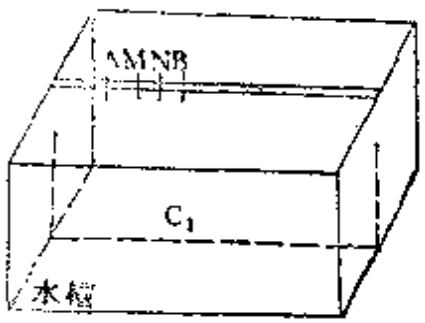


图 9-1　水槽

（三）模拟比例尺与水槽边界影响

选择模拟比例尺应考虑水槽的边界影响。图9-2绘出了规格为150×120×100厘米³水槽中联合剖面装置ρ_s观测的边界影响。当装置只受一侧边界影响时，只有在装置到边界的最短距离$D\geq 3\overline{AO}$时，才可认为水槽边界影响可忽略。

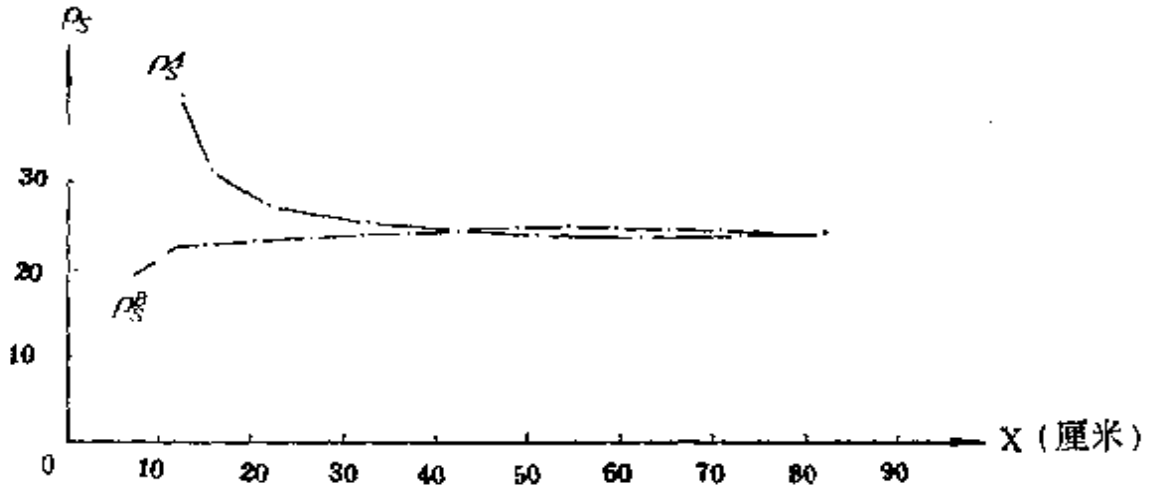


图 9-2　水槽中联剖装置ρ_s观测的边界影响

二、土槽模拟实验

土槽模拟实验可用来解决三度模拟。

（一）一般特点

用黄土或砂加黄土均匀掺和来模拟围岩。地质体模拟与水槽相同。要求土粒和砂粒大小一致，湿度均匀，无矿化杂质。

土槽应尽量大些。将筛选过的黄土分层铺垫，洒水砸实，并经常保持一定湿度；实验前应以小四极或对称四极电测深装置沿测线测定槽中黄土层的电阻率和极化率值，以确定其电性是否均匀。

（二）地形模拟

起伏地形应在打平的底盘上雕切构筑，不可用松土堆砌。因此应事先绘出各测线的地形断面，并以该区最大标高点为零点，将被挑中的地形特征点高程相对零点换算到应当切下的某个深度，然后雕切或构筑。

三、导电纸模拟实验

（一）导电纸性能

导电纸是用炭黑和纸浆混合制成的一种具导电性的特殊用纸。其厚度约10^{-4}米，面电阻率为1～1.5千欧和7～10千欧（相当于体电阻率0.1～0.15欧姆·米和0.1～1欧姆·米）两种。

导电纸中由于炭黑具强烈吸水性而易受湿度变化的影响；纸浆纤维有方向性，显现各向异性特征。

（二）导电纸模拟实验的技术要点

1．地形模拟

以模拟比例尺绘出实测地形线，并使之与导电纸固定一起，沿地形线剪裁，便得到“导电纸地形断面”。为避免边界影响，地形线应位于导电纸中心三分之一的部位；地形断面的深度应至少为地形线相对高差的五倍。

2．矿体电阻率模拟

模拟$\rho_2=0$的理想导电体时，可用锡箔纸按模拟比例尺剪成二度矿体截面形状，并用大头钉紧钉在导电纸上的预定位置，钉的间距为0.5～1厘米；模拟$\rho_2=\infty$的绝缘地质体时，可在该位置处将导电纸按其截面形状挖空；模拟任意电阻率矿体时，可采用导电纸叠层的办法，矿体的电阻率相当于各层导电纸并联后的电阻率，n层并联则电阻率降低n倍。

3．“无穷远”供电电极

“无穷远”供电电极采用“凹”形铝箔裁成条状（或打扁的裸铜线），用一排铁夹将其固定在导电纸两侧及底边。应特别注意使“凹”形电极各处都与导电纸接触良好。

4．点电极与线电极

“地面”点电极可采用大头钉或者磨平的鳄鱼夹。

中梯观测应采用线电极供电，线电极应布满导电纸地形断面的两侧，以获得水平均匀电流场和扩大装置的观测段。

点电极应布设在导电纸地形线边缘内1～2毫米处；要求实际布极点与测点位的误差小于1毫米。

5．模拟比例尺及测量电极距

模拟比例尺一般应为1:1000。

为避免导电纸电性不均匀的影响并约制过大的点位误差，应将$\overline{MN}$选为1～2厘米。

6．边界影响

为减小导电纸的边界影响与不均匀电性影响，中梯装置的观测段只应选择在导电纸中部三分之一装置长度的范围内。

7．二度模拟的K值计算式

$$K=\frac{\pi}{\ln\frac{\overline{AN}\cdot\overline{BM}}{\overline{AM}\cdot\overline{BN}}}$$

8．供电回路及设备

在测量过程中供电电流仅$n\times 0.1$毫安。为减小电源变化或接地电阻变化，应在供电回路中串联一电阻值很大稳流电阻。

实验时的仪器设备有：DDC-2A电子自动补偿仪、小测程电流表（0.1～1毫安）、限流电阻与电位器、45伏乙电池、裸铜线、锡箔纸、导线、大头钉、鳄鱼夹、刀片、剪刀、小锤、平嘴钳、直尺、厘米纸和特种铅笔。

四、薄水层模拟实验

（一）一般特点

薄水层模拟为二度模拟的一种方法。

由于水层仍有一定厚度a，故K值计算式为

$$K=\frac{a\pi}{\ln\frac{AN\cdot BM}{AM\cdot BN}}$$

电流平行层面流动，薄水层的导电能力S与a和ρ满足关系式$S\propto\frac{a}{\rho}$。ρ一定时，a越大则薄水层导电性越好；反之则导电性差。改变水层厚度，可模拟不同电阻率的地质断面。

（二）薄水层模拟实验方法技术

1．水盘可采用塑料板制作，其一般规格为150×200×10厘米³，外形如图9-3所示。

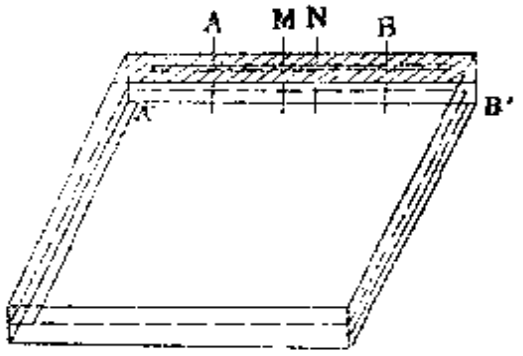


图 9-3　水盘外形

2．薄水层厚度a

为减小盘底不平影响和便于操作，a宜大；为保持水平电场，a又宜小。通常可取为1～10厘米。

3．模拟

用金属板、玻璃板分别模拟“0”和“∞”电阻率地质体。以改变薄水层厚度a来模拟有限电阻率地质体或均匀围岩。当断面某处为高电阻时，应在该位置放置玻璃板；低电

阻时，则应在其它地方放置玻璃板。玻璃板厚度a_i可由下式算出：

$$\rho_i = \frac{a}{a_i} \cdot \rho$$

模拟地形可采用塑料板或浸蜡厚纸板按所要求的地形起伏和相对高差变化造型。

4，电极

电极用2～3毫米直径的硬铜丝制作。供电极应贴边插至盘底，以使电流线平行层面流动。

五、电阻网络模拟实验

电阻网络模拟具有直观、操作简便以及精度较高的特点。

（一）基本原理

直流电测的最终结果是研究一定地质条件下稳定电流场电位，即求解满足边界条件的拉普拉斯方程

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = 0 \qquad (1)$$

图9-4直角座标系中U_0，U_1，U_2，U_3，U_4分别为点

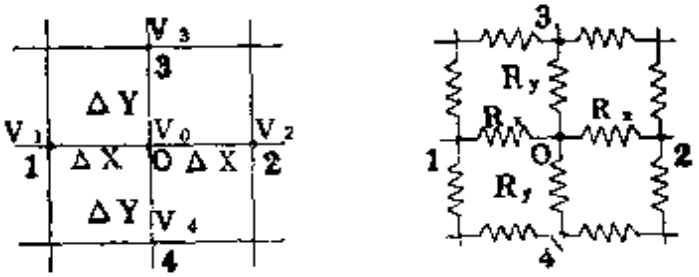


图 9-4　电阻网络模型图

0，1，2，3，4对应的电位值。对于空间任意点O，若以差商近似替代（1）式中的微商，则得差分方程

$$\frac{U_1-U_0}{\Delta X^2}+\frac{U_2-U_3}{\Delta X^2}+\frac{U_3-U_0}{\Delta Y^2}+\frac{U_4-U_0}{\Delta Y^2}=0 \qquad (2)$$

如果以阻值完全相同的电阻元按“+”字形式连接成网，便构成二维电阻网络。设X方向电阻为R_x，Y方向电阻为R_y，结点电位为U_i（$i=1,2,3,4$），按克希霍夫定律有

$$\frac{U_1-U_0}{R_x}+\frac{U_2-U_0}{R_x}+\frac{U_3-U_0}{R_y}+\frac{U_4-U_0}{R_y}=0 \qquad (3)$$

若$R_x\propto\Delta x^2$，$R_y\propto\Delta y^2$，则网络结点上的电位U_i仅与介质中电流场的位势差一系数，因而该电位近似满足拉氏方程。

对于二度问题，可把均匀无限介质看成是由Δx与Δy为边长的无数小矩形（或$\Delta x=\Delta y$的小正方形，Δx与Δy称为步长）的组合。这些小矩形按需要可模拟各种地质体。

在二维方形电阻网络中，每一个电阻元是一个“集中元件”，它对应着均匀介质中的一块“单元面积”（Δx^2或Δy^2）。图9-5中的R_x代表正方形$ABCD$所占面积在X方向的电阻；R_y代表正方形$EFGH$所占面积在Y方向的电阻。由于组成每个正方形面积的电阻元本身具有一定方向，故称电阻元构成的正方形面积为“有向面积”。每个电阻所代表的“有向面积”范围是以该电阻两端结点的连线为中线各为半个步长的正方形。

若某一介质的“有向面积”与网络电阻有下列关系

$$\begin{cases} R_x=\rho\dfrac{\Delta x}{\Delta y} \\ R_y=\rho\dfrac{\Delta x}{\Delta y} \end{cases} \qquad (4)$$

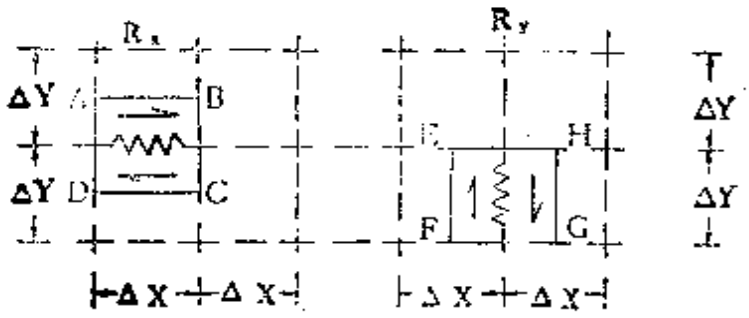


图 9-5 二维方形电阻网络模型图

式中ρ——介质的电阻率；Δx——小矩形沿方向的长度；Δy——断面的纵向厚度（令$\Delta z=1$）。满足（4）式的电阻网络，便可模拟电阻率为ρ的某一均匀无限介质或者其他非均匀有限介质。

为方便起见，可选择具有一定精度的、阻值1千欧的炭膜电阻或金属膜电阻作为均匀介质网络基本电阻R_0。

（二）电阻网络模拟的方法技术

1。不均匀电性体内部电阻和边界电阻值的计算

直流电场应满足边界条件为$\frac{1}{\rho_1}\cdot\frac{\partial U}{\partial n}=\frac{1}{\rho_2}\cdot\frac{\partial U}{\partial n}$的拉氏方程。对于均匀半无限介质的平坦大地，$\frac{\partial U}{\partial n}=0$，故模拟时只需将相应空气介质部分的网络电阻调至“无穷大”就能满足边界条件。由（4）式可算出均匀半无限介质内部及界面的网络电阻值。

网络内部$R_x=R_y=\rho_0=R_0$，网络边界$R_S=2\rho_0=2R_0$，如图9-6。

模拟地电体或地形时，应将地电体对应位置的网络电阻和表征地形的网络电阻调节到所需要的数值。例如，某低阻

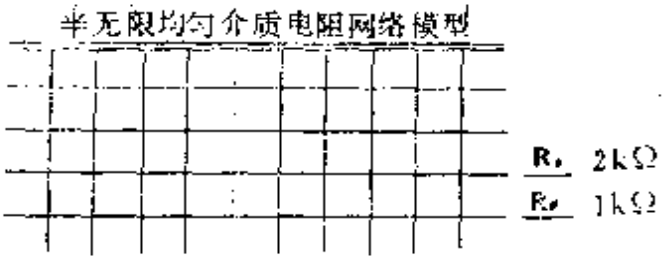


图 9-6　半无限均匀介质电阻网络模型图

体与围岩的电阻率比值为1:10，当网络的基本电阻R_0为1千欧时（即相当于模拟围岩），必须将低阻体相应位置的原R_0电阻全部更换为100欧的低值电阻。低阻体与围岩交界处的网络电阻，应在计算边界电阻后更换网络中对应位置的基本电阻，以满足边界条件。图9-7是45°倾斜良导体电阻网络模拟的模型及测定结果。

关于不均匀电性体内部电阻及不均匀介质接触界面边界电阻（如图9-7中的R）的计算，这里只介绍简化的计算方法。

（1）不均匀电性体内部电阻的计算

在不均匀电性体内部（“有向面积”范围内），若单一介质的电阻率为ρ_2，则网络电阻由ρ_2确定。例如，设$\rho_2=\frac{1}{10}\rho_1$（$\rho_1$为围岩电阻率），网络基本电阻$R_0$为1千欧，则介质内部的网络电阻$R_2=\frac{R_0}{10}=100$欧。图9-8中的网络电阻$R_2$表示了低阻地质体的模拟。

（2）不均匀电性体边界电阻的计算

在不均匀电性体与围岩接触处，由于其边界线范围附近任一个Δx^2或Δy^2的正方形内均存在两种以上不同电阻率

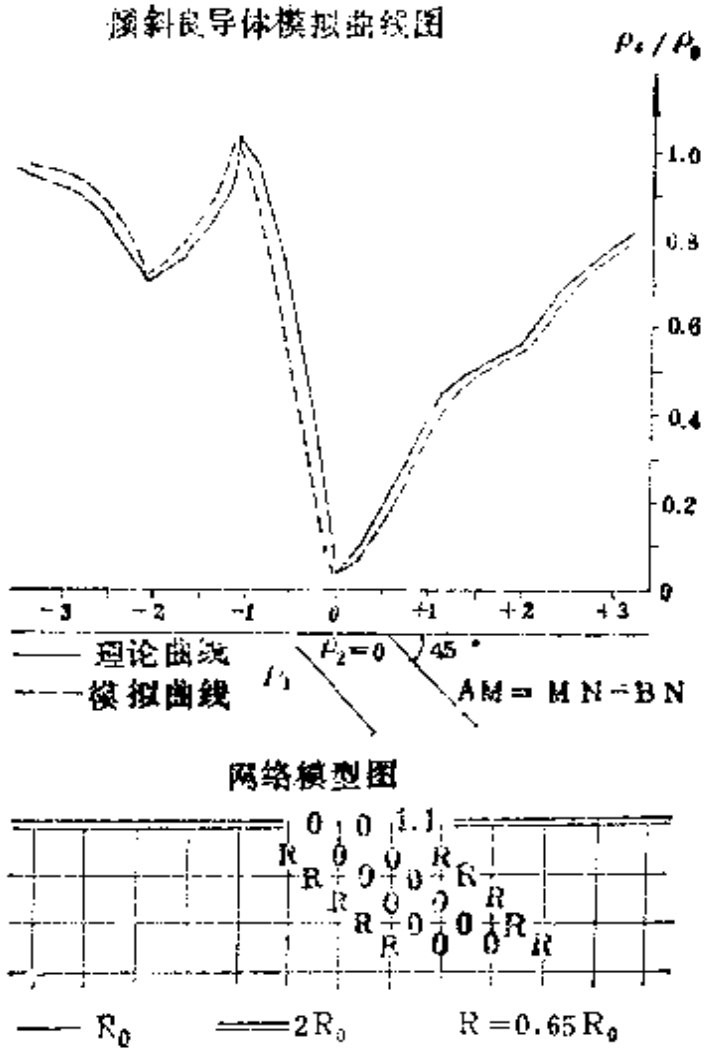


图 9-7　倾斜良导体模拟曲线

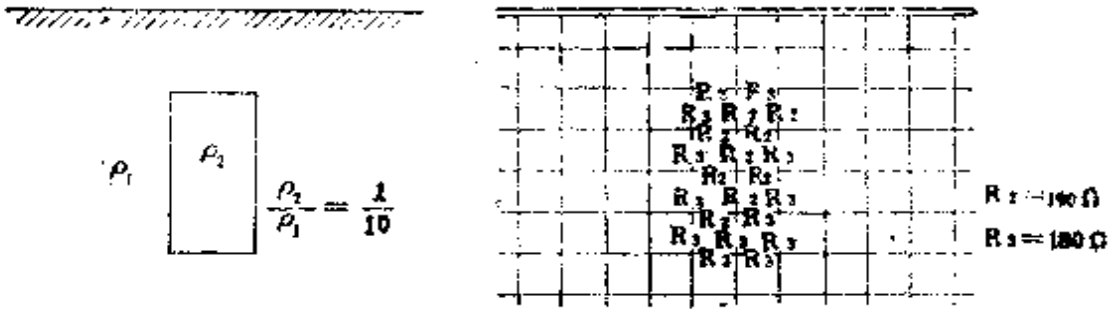


图 9-8　不均匀电性体内部电阻的电阻网络模型图

的介质，因此必须进行边界电阻的计算。图9-8中的R_3即是这种情况。

所谓边界电阻的计算，就是求出与该正方形面积等效的网络电阻的电阻值。其计算方法与不均匀电性体的边界及网络切割情况有关。当不均匀电性体边界与网络重合或者平行时，边界电阻的计算较简单。图 9-9 就是两种介质呈简单接触关系时的等效电路，其中R_1、R_2、R_3的电阻值可由（4）式算出。

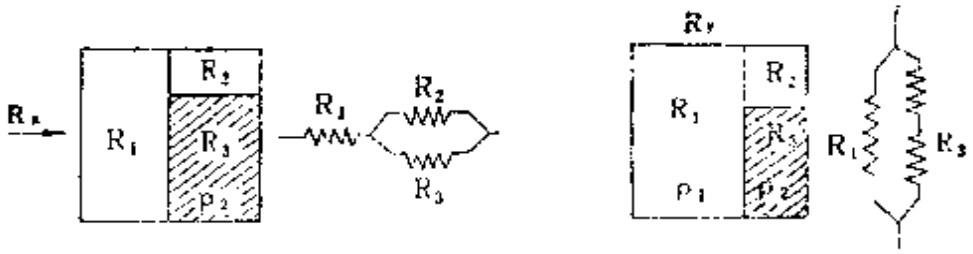


图 9-9　两种介质呈简单接触关系的等效电路图

当边界线与网络切割呈斜交等较复杂情况时，应将边界线不规则形状转化为与网络平行的规则形状，但转化处理应使之在面积上得失相当。

野外资料解释，一般只要求大体确定不均匀体的位置和形状，故可采用与方形网络的边或对角线相重合的折线来代替不均匀体的边界。用这种简化方法来求取边界电阻值，情况如图9-10。这时，不均匀体边界外的网络电阻R_1与不均匀

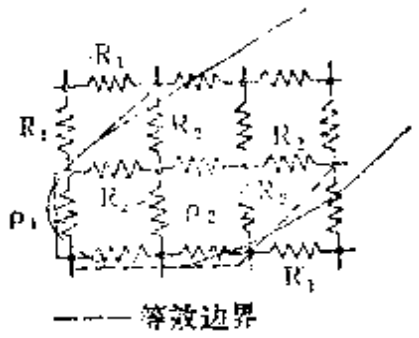


图 9-10 不均匀电性体边界电阻的电阻网络模型图

体边界内的网络电阻 R_2 可用下面计算式求得：

$$R_1=\frac{\rho_1}{4}+\frac{\rho_1\cdot\rho_2}{\rho_1+3\rho_2}+\frac{2\rho_1(\rho_1+\rho_2)}{5\rho_1+3\rho_2}$$

$$R_2=\frac{\rho_2}{4}+\frac{\rho_1\cdot\rho_2}{\rho_2+3\rho_1}+\frac{2\rho_2(\rho_1+\rho_2)}{5\rho_2+3\rho_1}$$

式中ρ_1——围岩电阻率；ρ_2——不均匀体电阻率。

在计算出不均匀电性体内部电阻与边界电阻之后，就可以根据其它几何参数（埋深、产状），按合适的比例绘出如图3-7一样的网络模拟图，然后在半平面网络中按该模型图布置网络模型。模型布置妥善后，即可依预先拟出的方案进行模拟实验。

2．电阻网络模拟的实验技术

（1）电阻率法的观测与计算

在电阻网络中进行电阻率法模拟实验时，其供电方法和观测步骤与野外电阻率法的工作完全相同。

可根据装置形式和极距大小按网络模拟的比例尺布设电极，使供电电极和测量电极与表示地表的网络的相应结点连接。

电阻网络可采用45伏乙电池或者1.5伏的甲电池作为供电电源，并以电流调节器控制网络电流，以毫安表和毫伏表读数，然后按视电阻率公式计算ρ_s。

三极装置时

$$K=\frac{\pi}{\ln\frac{AN}{AM}}$$

对称四极装置时

$$K = \frac{\pi}{2\ln\frac{AN}{AM}}$$

装置中的“无穷远”电极应与网络“无穷远”相连。

（2）充电法模拟实验技术

模拟矿体或电性不均匀体连电池正极，而电池负极与网络“无穷远”相连。观测与野外工作时相同。

（3）自然电场法的模拟实验技术

模拟矿体的极化现象应采用专门制作的“多源多路电流输出器”。带负电荷的那部分矿体接电源负极，带正电荷的则接正极；正负极的排列方向应与实际极化一致。观测方法与野外时相同。

3．电阻网络模拟在直流电法中的应用

（1）提供不同参数的标准地电体异常曲线，以研究异常特征及变化规律。

（2）研究地下电场变化规律，解决电场的某些实质性问题，如分析地表测量数据与地电断面的对比关系；研究电场的叠加规律；研究各种因素对电法探测深度的影响。

（3）模拟某一地区具有代表性的典型地电断面，获得指导该区电法施工或者解释推断的依据，如装置及极距的选择、点距大小的确定、干扰因素影响程度，以及获得各种特定条件下的电场特征等。

（4）直接对野外实测曲线作选择法反演模拟，以帮助工作者建立接近实际地电断面的概念，指导资料的物理解释和地质推断。

二度网络同样存在“二度模拟”的问题，其局限性如导电纸模拟的情况完全相同。同样值得注意的是，当已知条件

较少时，电阻网络模拟结果也具有多解性。

4．实例

图9-11是矿区一条勘探线上的联剖ρ_s曲线。该区地形起伏；围岩为高阻灰岩（ρ_1）；ρ_s实测曲线在45号测点获得明显的ρ_s正交点。根据上述情况，初步推断联剖ρ_s的低阻反映系由地形及良导体综合引起。由于44、45号测点的ρ_s值相当低而两侧测点的ρ_s值较高，说明地下的低阻体可能出露地表。因此，在地形模型的相应位置上模拟了一个水平厚度D等于20米的低阻层ρ_2（估计$D=\overline{MN}$）。设$\rho_2/\rho_1=1/10$。

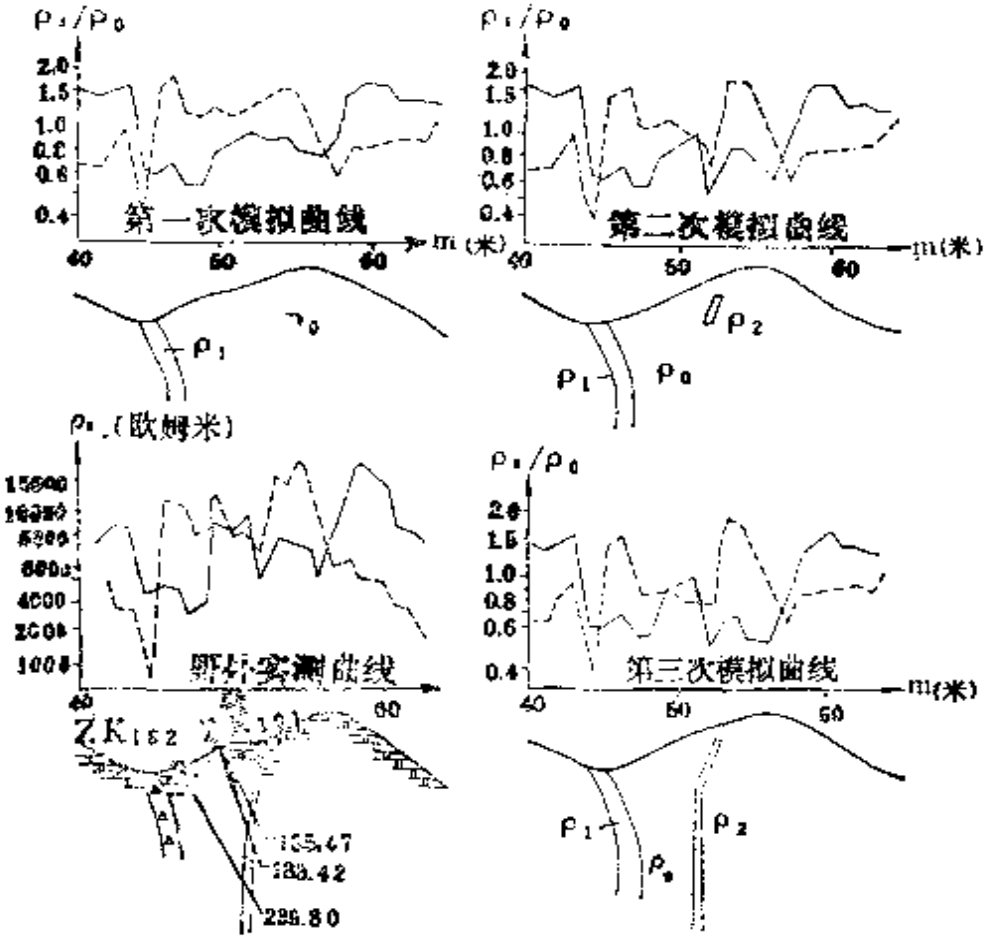


图 9-11　某矿区联剖ρ_s曲线

$\rho_1/\rho_0=1/10$；$\rho_1/\rho_0=1/20$；$AO=70$米；$MN=20$米；点距＝20米；步长＝20米

由于网络的基本电阻R_0=1千欧，故ρ_2=100欧姆·米。按野外装置大小在网络上测到第一次模拟曲线绘于图9-11。由图9-11可见，该模拟曲线已初具实测曲线形态，唯52、53点附近尚未出现实测曲线中的次级低阻异常。由于浅部工程在该处揭露矿体，故在此又设置了一个厚约10米（半个步长）、延深50米、ρ_2/ρ_1=1/20的小矿体进行了第二次模拟实验。第二次模拟的曲线与实测曲线在形态上已很相似，唯

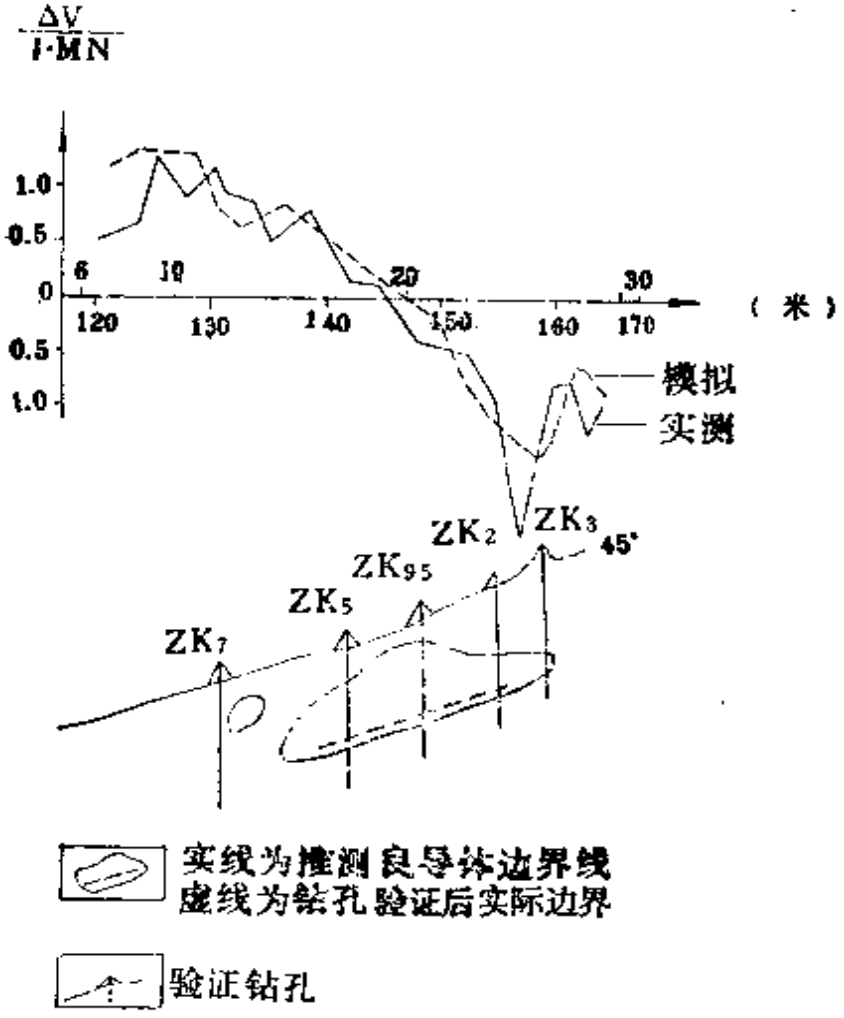


图 9-12　某矿区充电法推断地电剖面图

强度略小，因此又加大矿体延伸并进行了第三次模拟，终于达到预期目的。由模拟选择的地电断面也被钻探证实。

图9-12是某矿区应用电阻网络进行充电法的模拟实例。矿体的电阻率为0。由图中可见，大矿体模拟结果的边界形状与钻孔验证的结果基本一致，同时模拟结果还在165点下推断有小矿体。

附录十　利用充电法确定地下水的流速、流向

一、原　　理

将食盐溶解于钻孔或民用水井的地下水中，即可形成导电率较高的水盐化带。起初，该水盐化带的中心与井轴一致，但流动的地下水使之顺流扩展，并且中心也发生位移。若对水盐化带充电，则地表测得的等电位线也将随时间而顺水流方向逐渐位移。根据等电位线位移的方向和位移的速度，便可确定地下水的流动方向与流动速度。

二、工作方法技术

（一）测网布置

以井口为中心，在地表以互成45°或30°的测线布置放射状测网。

（二）电极布置

将充电点A置于井内待测含水层中，“无穷远”极置于隔井口一定距离（不小于待测含水层深度的15～20倍）的地面某处。将测量固定极N设置在事先估计的水流相反方向上，并与井口相距约为待测含水层深度的距离（当井内有较长金属导管时，应将该距离增加2～3倍）；流动电极M沿测线逐点测量。

（三）正常场测量

首先观测地下水正常场的等电位线分布，即用流动电极M沿各测线逐次找出与N极电位相等的点，并量出这些点至井口的距离，然后勾绘等电位线。均匀各向同性介质的正常等电位线是以充电点A的地表投影为中心的圆；非均匀或各向异性介质的正常等电位线可能是椭圆或其它不规则形状的封闭曲线。

（四）盐化

在测量正常等电位线之后，向井内投入一定数量的高浓度食盐溶液，并将装有食盐的布袋吊入水中，记下观测时间t_1。观测过程中还应随时了解盐袋中食盐的溶解情况，必要时可更换新盐袋。作一次钻井或民用水井的观测，大约需食盐15～20公斤。

（五）异常场测量

在井水盐化之后，应每隔一定时间（一般为2～3小时，水流缓慢地区为5～6小时），按与正常场测量相同的方法程序观测各正常电位点的电位变化，并勾绘异常等电位线图。

对具有最大位移的等电位点，应在其测线两侧（偏15°～20°）加密测点观测，以便精确地判断地下水流向。这时应记下观测时间t_2。当观测时间较长时，应以具最大位移的等位点的观测时间作为t_2。

异常等电位线相对于正常等电位线向外位移的最大方向表征地下水的流向。当发现固定测量电极N不正好位于地下水流向的相反方向时（这时常会观察到在某些测线上异常等电位线向内位移），应将N极移动至地下水流向的相反方向上重测。

三、成 果 解 释

（一）中心点位移法

其布置如图10-1所示。

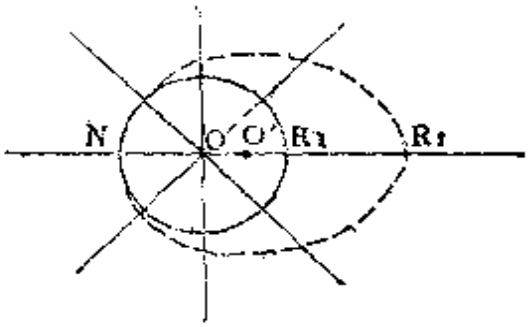


图 10-1 中心点位移法布置图

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

$$v=\frac{2\overline{OO'}}{t_2-t_1} \tag{1}$$

也可按沿水流方向上等电位线的移动速度来决定，即

$$v=\frac{\overline{R_1R_2}}{t_2-t_1} \tag{2}$$

（二）矢量法

在平面图上以井口为公共原点，以同一比例尺绘出各测线异常等电位点相对于正常等电位点的位移矢量，并求矢量和。这些矢量的长度等于沿各方位测线异常等电位点与正常等电位点之间的距离，并以自正常等电位点指向异常等电位点的方向为矢量的方向（当异常等电位点相对于正常等电位点向等位线外移动时，矢量指向原测线方位；当向等位线内移动时，矢量指向与原测线方位相反的方位）。

总位移矢量所指的方向为地下水流向；地下水流速可自总位移矢量的长度R和观测时间间隔求得。

采用八方位观测时

$$v=\frac{R}{2(t_2-t_1)} \tag{3}$$

十二方位观测时。

$$v=\frac{R}{3(t_2-t_1)} \tag{4}$$

值得指出的是：在新测区工作时应先做实验，并与已知资料对比。这种方法只适用于埋深几十米以内、矿化度很低的含水层。

附录十一　五极纵轴电测深法

近年来，五极纵轴电测深法被应用于探测电阻率有差异的非层状地质体，它对于查明岩溶裂隙、确定有限规模的等轴状金属矿体有一定实用价值。现将其收入附录，作为对直流电测深法的一个补充。

一、基　本　原　理

（一）装置形式

以地面测深点 A 为原点设置直角座标系，如图 11-1 所示。中心供电电极 A 处电流强度为 $+I$；两侧供电电极 B_1，B_2 处电流强度均为 $-\frac{I}{2}$。测量电极 M、N 沿纵轴 Y 逐点观测。

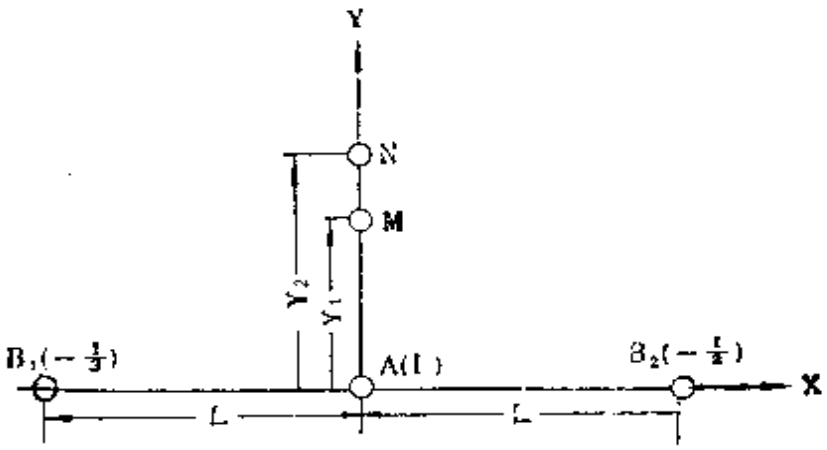


图 11-1　五极纵轴电测深电极布置平面图

（二）均匀各向同性介质中点电源的电位分布与电阻率表达式

1．地表点电源的电位分布

根据位场理论，不难求得点电源$A(+I)$，$B_1\left(-\frac{I}{2}\right)$和$B_2\left(\frac{-I}{2}\right)$沿纵轴$Y$上任一点$M$的电位：

$$U_M=\frac{I\rho}{2\pi}\left[\frac{1}{Y_1}-\frac{1}{\sqrt{L^2+Y_1^2}}\right] \tag{1}$$

同理可得N点电位：

$$U_N=\frac{I\rho}{2\pi}\left[\frac{1}{Y_2}-\frac{1}{\sqrt{L_2+Y_2^2}}\right] \tag{2}$$

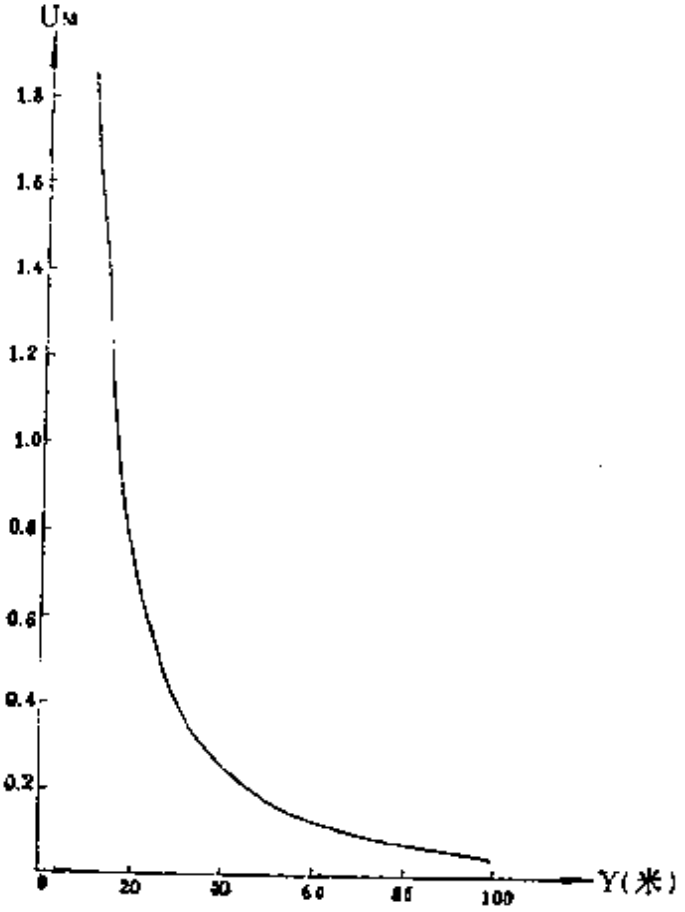


图 11-2　电位U_M沿Y轴分布曲线

图11-2 给出了电位分布曲线。

2．介质电阻率表达式

纵轴Y上任意两点M、N间的电位差为：

$$\Delta U_{MN}=\frac{I\rho}{2\pi}\left[\frac{Y_2-Y_1}{Y_2\cdot Y_1}-\frac{1}{\sqrt{L^2+Y_1^2}}+\frac{1}{\sqrt{L^2+Y_2^2}}\right] \tag{3}$$

由（3）式整理得介质电阻率ρ的表达式：

$$\rho=\frac{2\pi}{\dfrac{Y_2-Y_1}{Y_1\cdot Y_2}-\dfrac{1}{\sqrt{L^2+Y_1^2}}+\dfrac{1}{\sqrt{L^2+Y_2^2}}}\cdot\frac{\Delta U_{MN}}{I} \tag{4}$$

令$K=\dfrac{2\pi}{\dfrac{Y_2-Y_1}{Y_1\cdot Y_2}-\dfrac{1}{\sqrt{L^2+Y_1^2}}+\dfrac{1}{\sqrt{L^2+Y_2^2}}}$

则
$$\rho=K\cdot\frac{\Delta U_{MN}}{I} \tag{5}$$

（三）均匀各向同性介质中点电源的电流密度分布及电流密度与供电电极距的关系

1．均匀各向同性介质中点电源的电流密度分布

Y轴上任一点的电场强度

$$E=\frac{I\rho}{2\pi}\left[\frac{1}{Y_1^2}-\frac{Y_1}{(L^2+Y_1^2)^{3/2}}\right] \tag{6}$$

通过测深点A，在垂直X轴向下的不同深度上任一点$P(0,\ 0,\ h)$处的电流密度

$$J_h=\frac{I}{2\pi}\left[\frac{1}{h^2}-\frac{h}{(h^2+L^2)^{3/2}}\right] \tag{7}$$

由（7）式可知：P点处的电流密度与供电电流强度及供电电极距有关。

2.电流密度J_h与供电电极距L的关系

对于某一固定的深度，电流密度J_h与供电电极距的关系曲线如图11-3所示。

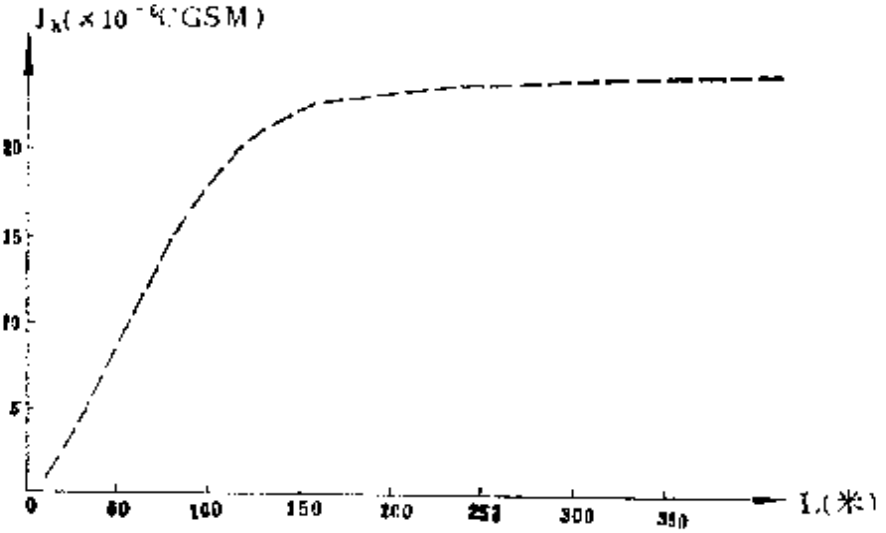


图 11-3 电流密度和供电极距L关系曲线

由图显见：五极纵轴电测深法的电极距应不小于探测对象埋深的二倍，即$L \geqslant 2h$。

（四）均匀各向同性半无限介质中的球体视电阻率表达式

这里只对规则球体进行计算。

令球体电阻率为ρ_2，围岩介质为ρ_1，球体半径为r_0，球体中心埋深为h，地面直角座标系XAY如图 11-4 所示。

地表任意一点M的电位U_M可一级近似地归结为求各点源场及其激发二次场在M点电位的代数和。

$$U_M = \frac{I\rho_1}{2\pi}\left[\frac{1}{R_M{}^A} - \frac{1}{R_M{}^B} + 2\sum_{n=0}^{\infty}\frac{n(\rho_2-\rho_1)}{n\rho_1+(n+1)\rho_2}\cdot\frac{r_0{}^{2n+1}}{r_M{}^{n+1}}\right.$$

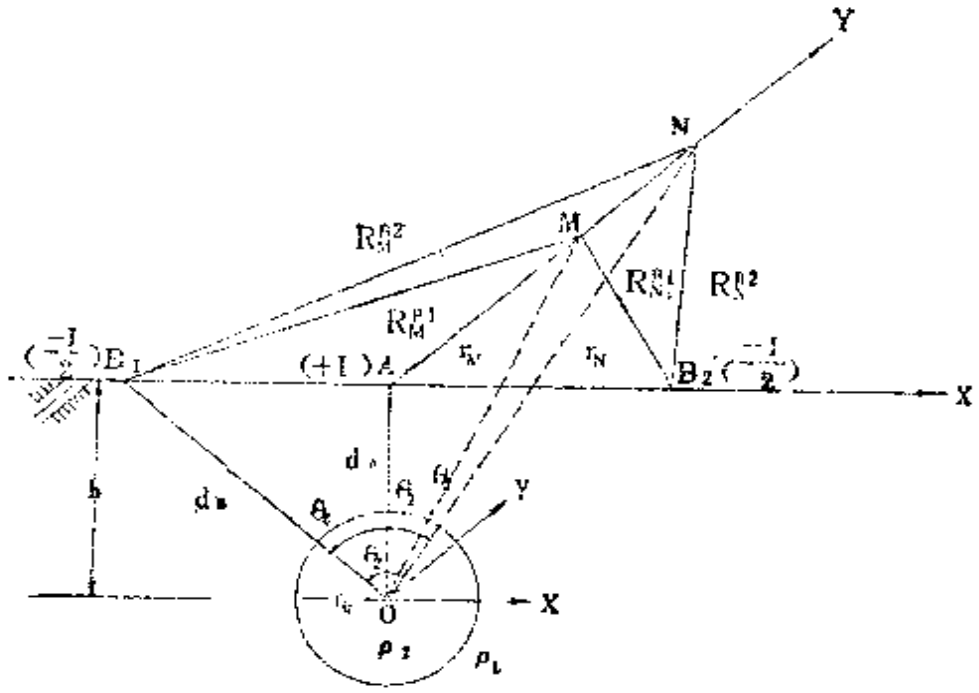


图 11-4　球体上五极纵轴电测深装置计算简图

$$\cdot\left(\frac{P_n(\cos\theta_1)}{d_A^{n+1}}-\frac{P_n(\cos\theta_2)}{d_B^{n+1}}\right)\Bigg] \tag{8}$$

同理可得U_N

$$U_N=\frac{I\rho_1}{2\pi}\left[\frac{1}{R_N^A}-\frac{1}{R_N^B}+2\sum_{n=0}^{\infty}\frac{n(\rho_2-\rho_1)}{n\rho_1+(n+1)\rho_2}\cdot\frac{r_0^{2n+1}}{r_N^{n+1}}\right.$$

$$\left.\cdot\left(\frac{P_n(\cos\theta_3)}{d_A^{n+1}}-\frac{P_n(\cos\theta_4)}{d_B^{n+1}}\right)\right] \tag{9}$$

式中θ_1，θ_2，θ_3和θ_4分别为AO与OM，B_1O（或B_2O）与OM，AO与ON，B_1O（或B_2O）与ON之间的夹角。

将（8）式和（9）式代入（5）式整理后，得均匀各向同性无限半空间介质中的球体五极纵轴电测深装置的视电阻率表达式：

$$\rho_s=\frac{\rho_1}{\dfrac{y_2-y_1}{y_1\cdot y_2}-\dfrac{1}{\sqrt{L^2+y_1^2}}+\dfrac{1}{\sqrt{L^2+y_2^2}}}$$

$$\cdot\left\{\frac{1}{K_M{}^A}-\frac{1}{R_M{}^B}-\frac{1}{R_N{}^A}+\frac{1}{R_N{}^B}+2\sum_{n=0}^{\infty}\frac{n(\rho_1-\rho_1)r_0{}^{2n+1}}{\rho_1+(n+1)\rho_2}\right.$$
$$\cdot\left[\frac{1}{r_M{}^{n+1}}\left(\frac{\rho_n(\cos\theta_1)}{d_A{}^{n+1}}-\frac{\rho_n(\cos\theta_2)}{d_B{}^{n+1}}\right)-\frac{1}{r_N{}^{n+1}}\right.$$
$$\left.\left.\cdot\left(\frac{\rho_n(\cos\theta_3)}{d_A{}^{n+1}}-\frac{\rho_n(\cos\theta_4)}{d_B{}^{n+1}}\right)\right]\right\} \qquad (10)$$

（五）球状地质体上五极纵轴电测深视电阻率曲线性质

1．不同电阻率球体的ρ_s曲线

由图11-5可见，当$\rho_2=\rho_1$时，ρ_s曲线为平行横座标轴的直线；当$\rho_2<\rho_1$时，ρ_s曲线有极小值异常且ρ_s^{min}当随ρ_2值同步变小；当$\rho_2>\rho_1$时，ρ_s曲线有极大值异常且ρ_s^{max}当随ρ_2值同步变大。低阻球体对均匀电场的畸变影响较高阻球体大，即异常相对明显。

2．不同埋深条件下的球体的ρ_s曲线

当球体有不同埋深H时，ρ_s曲线由于良导电性（或不良导电性）影响而出现极小值（或极大值）异常；ρ_s极值点的横座标S将随球体中心埋深H的增大而向$\frac{y_1+y_2}{2}$轴正向偏移，且异常幅值变小，梯度变缓。球心埋深H近似等于极值点所对应的横座标值S。两种情况如图11-6 a，b所示。

3．不同测量电极距的球体ρ_s曲线

由图11-7可知，ρ_s曲线的极小点横座标S随$\overline{MN}$增大逐渐右移，且S近似等于球心埋深与测量极距半值之和，故可导出：

$$H\doteq S-\frac{\overline{MN}}{2}$$

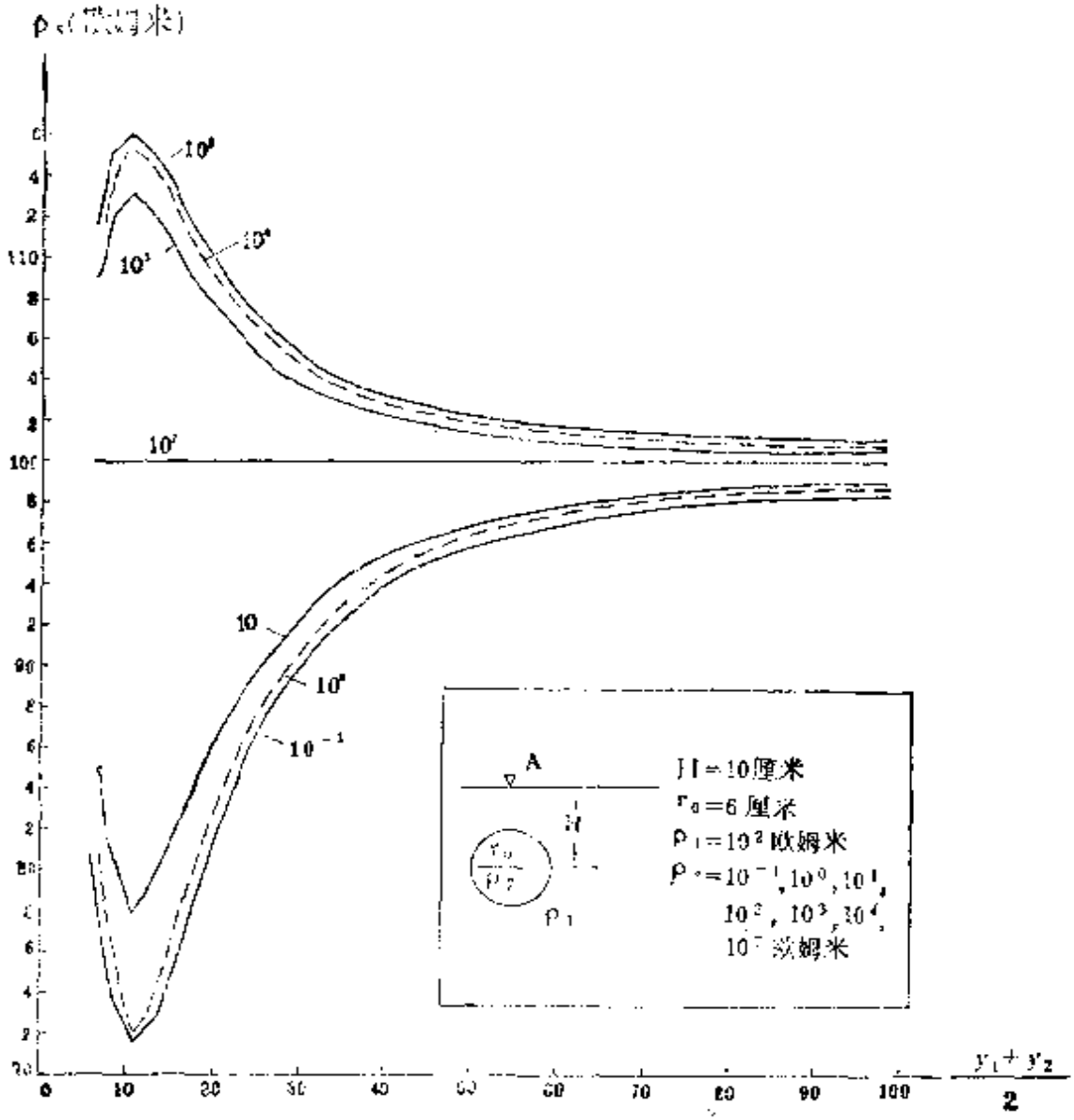


图 11-5　不同电阻率球体的ρ_s曲线

4。不同半径球体的ρ_s曲线

当装置一定且ρ_2与ρ_1之比值一定时，ρ_s曲线异常值随球体半径r_0的减小而降低，异常范围明显加宽，而S的位置不变。图11-8a，b分别示出不同半径的低阻球体和高阻球体上的ρ_s曲线。

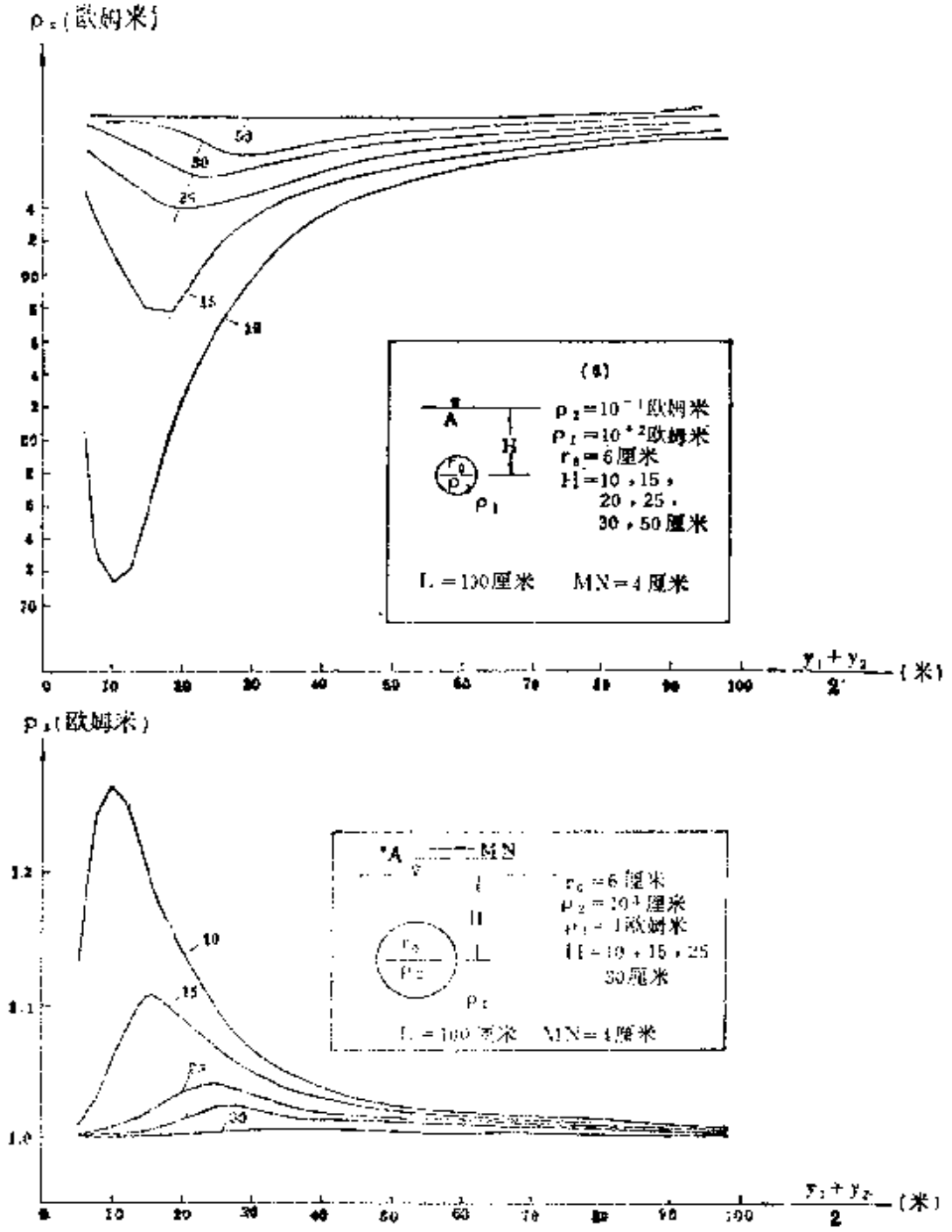


图 11-6　不同埋深球体的ρ_s曲线

6. 球体的空间位置

(1) 处于X轴下方不同位置（X_0）的球体ρ_s曲线

由图 11-9 可知，当测深点位于球体正上方（$X_0=0$）时，ρ_s曲线的异常幅值最大，梯度最大，S最小且$S\fallingdotseq H$；当测深点不在球体正上方时，随着球体远离测深点，异常幅值明显变小，梯度变缓，S增大且$S>H$。由此可见正确定出被探测球状地质体的位置的意义；否则应在选定的测深点两侧加密测深点观测并比较ρ_s曲线，以选择异常反映最明显的ρ_s曲线来解释。

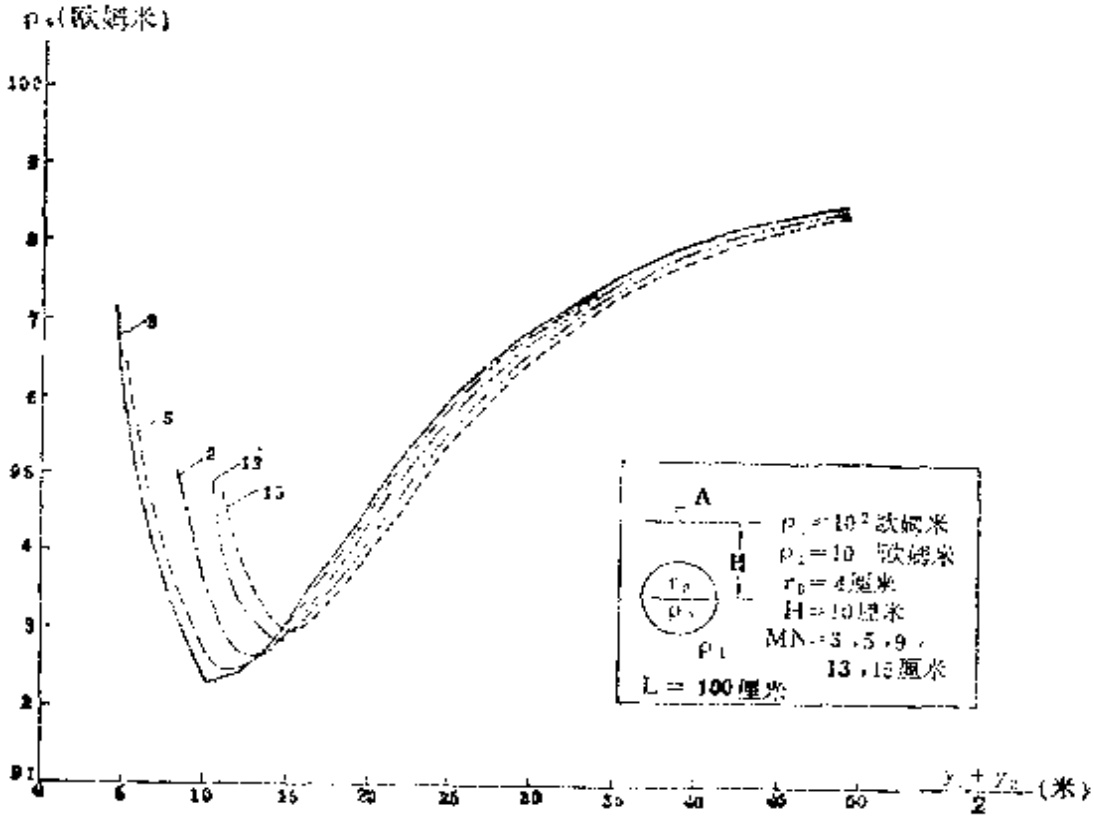


图 11-7 低阻球体不同极距的ρ_s曲线

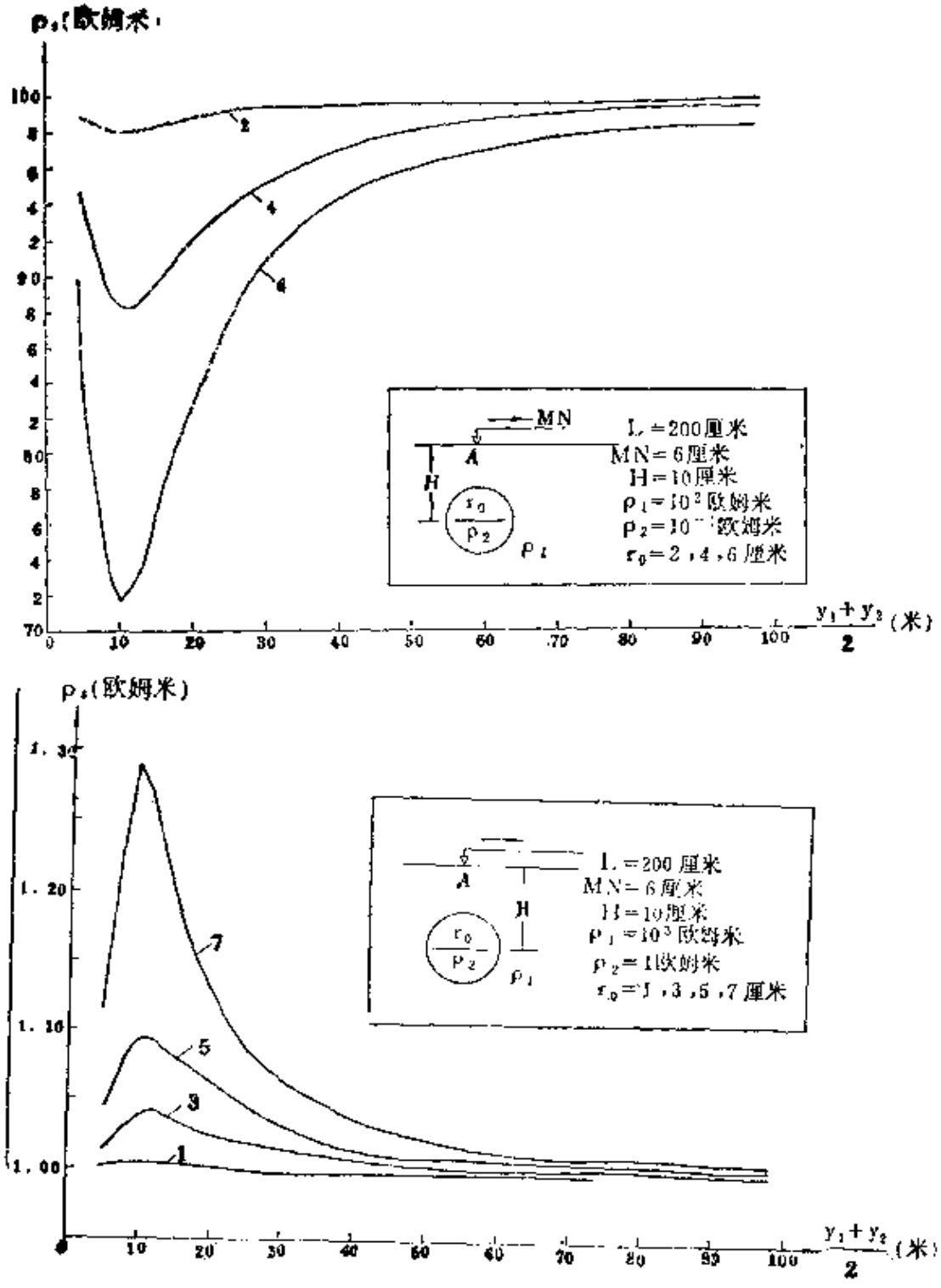


图11-8　不同半径球体上的ρ_s曲线

a—低阻球体；*b*—高阻球体

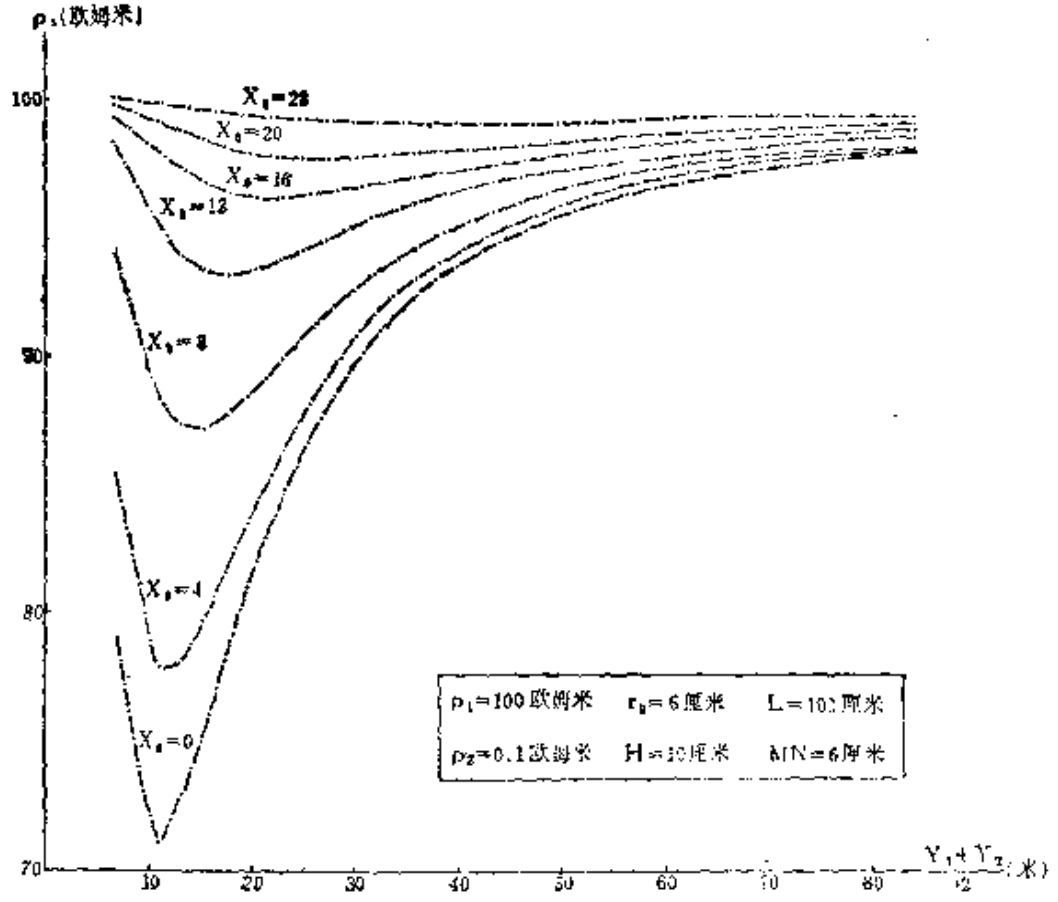


图 11-9 球体在X轴下不同位置的ρ_s曲线

(2) 球体在Y轴下方不同位置（Y_0）时的ρ_s曲线

由图11-10可见，测深点在球体正上方（$Y_0=0$）时，ρ_s曲线为一组不对称曲线，其异常幅值与极值点横座标S最小（$S\doteqdot H$），曲线梯度平缓，无极大值出现。

当测深点不在球体上方并且位于Y轴下方的不同位置时，座标S当随着球体远离测深点而增大，曲线也变得相对复杂。

当球体在Y轴的负方向时，随着远离测深点，ρ_s曲线的异常将很快消失。

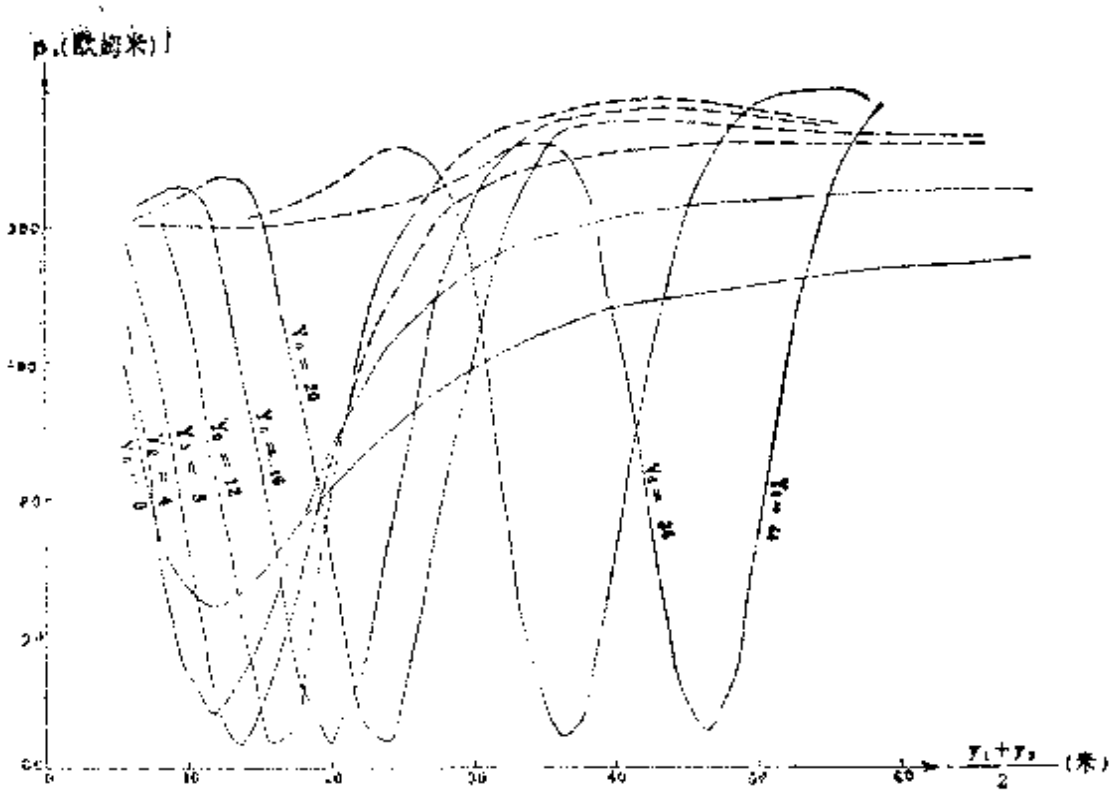


图 11-10　球体在Y轴下方不同位置的ρ_s曲线

1：500；　$\rho_1=100$；$r_0=6$；$\rho_2=0.1$；$H=10$；$L=100$；$MN=6$；

二. 野外工作方法技术

五极纵轴电测深法的仪器设备与对称四极电测深法相同，其观测装置如图11-11所示。$\overline{MN}$沿Y轴向外移动。

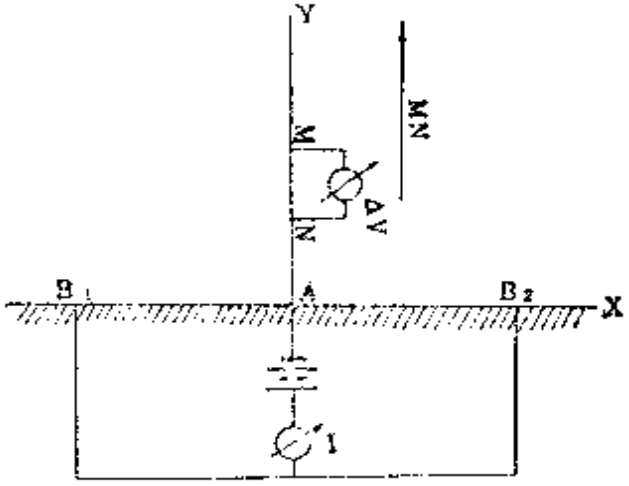


图 11-11　五极纵轴电测深装置简图

具体布置时应注意下列几点：

1.X轴应垂直于探测对象走向；条件许可时应尽可能将纵轴Y布设在地形平坦、地表土质均匀以及接地条件良好的方位上。

2.应尽量使B_1，B_2的接地电阻大致相等。

3.应取$L \geqslant 2 \sim 3H$，$MN = \frac{L}{30} \sim \frac{L}{40}$。

4.干扰严重时应布置Y轴负方向测量。

5.观测时的基本技术要求及ρ_s计算与对称四极电测深法相同；但计算ρ_s时，装置系数K应依本文中的公式确定。

三、五极纵轴电测深法成果图件

（一）五极纵轴电测深曲线图

该图以测深点A点为记录点，$\frac{y_1+y_2}{2}$为横座标，ρ_s值为纵座标，构成算术直角座标系。在图中标绘并连结各测点位置的ρ_s值，绘图比例尺常取为工作比例尺，如图 11-13 所示。

（二）等视电阻率断面图

该图与对称四极电测深断面图无异，唯纵轴改为$\frac{y_1+y_2}{2}$米。

图 11-12 为低阻球体上的等视电阻率断面图。根据ρ_s等值线的收敛趋势，可推断地质体的空间位置。由理论曲线勾绘的低阻中心与低阻球体的球心位置吻合。

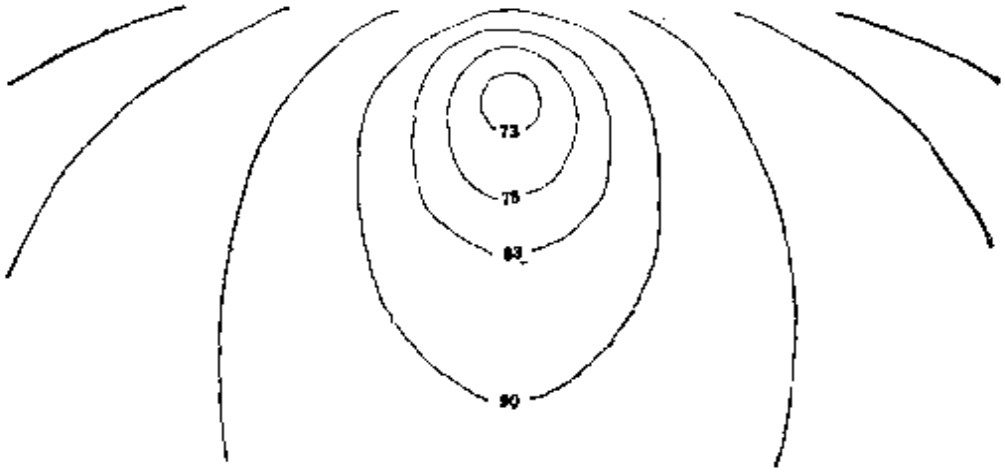


图 11-12　低阻球体上的ρ_s断面图

四、实　　例

图 11-13 为某地水源井五极纵轴电测深曲线。由曲线推断：S_1反映表土与基岩的分界面；S_2反映 34 米处有岩溶裂隙存在；S_3反映80～86米处溶洞发育。对称四极电测深曲线仅反映出表土与基岩的分界面。钻探证实了五极纵轴电测深曲线的解释结果。

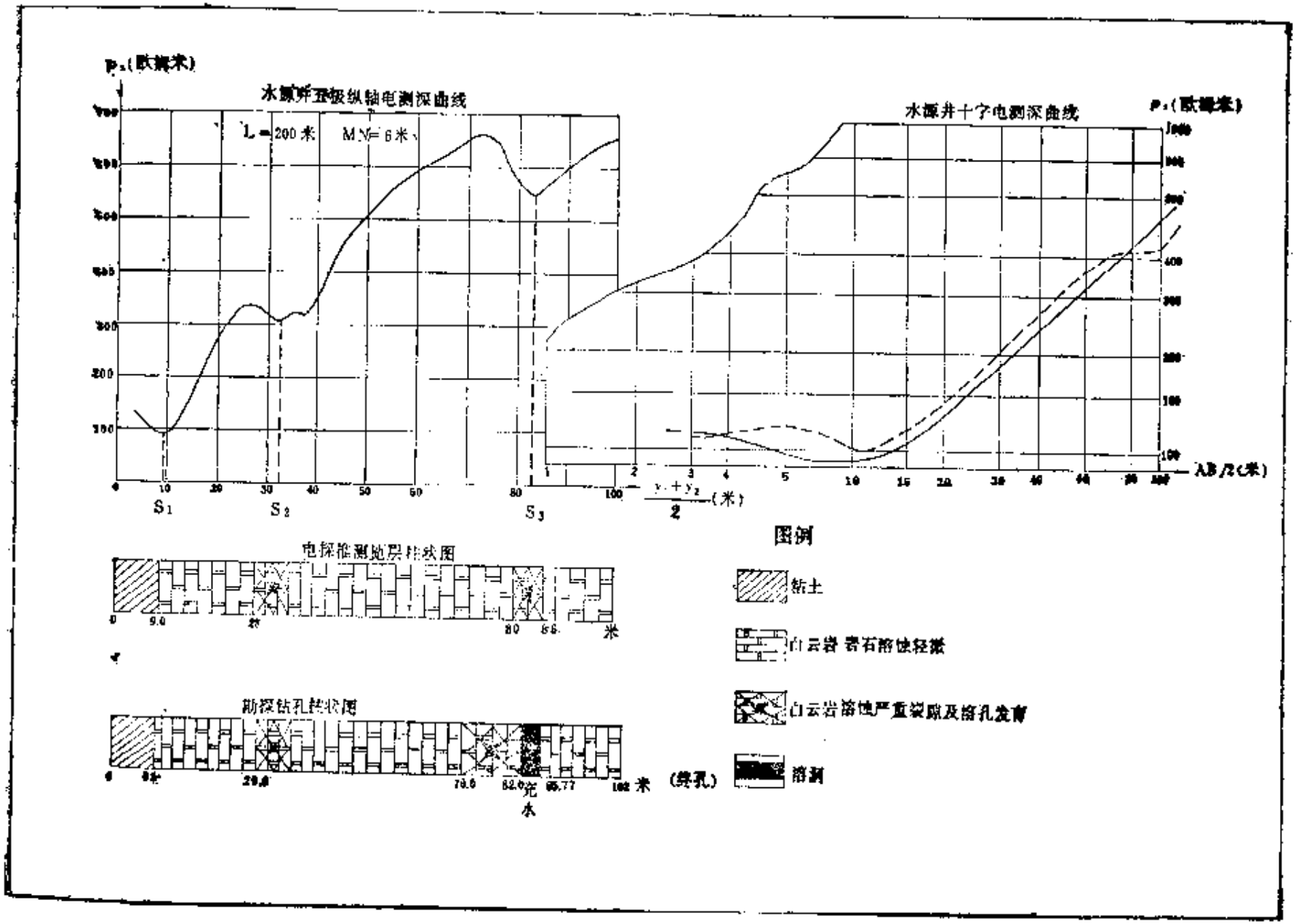


图 11-13 某地水源井勘探成果图

附录十二　不极化电极的制作

一、普通不极化电极的制作

1．将瓷瓶用清水洗净，或放于沸水中将污物或有机物除去，以保持清洁及素瓷瓶底部的毛细孔通畅。

2．铜棒或铜条用细砂纸擦净，或浸在15～20%的硝酸溶液中洗涤2～3秒钟，然后用清水洗净，用棉花擦干。

3．胶木盖及橡皮垫圈用沸水煮10～15分钟后，除去蜡及油污。

4．将硫酸铜及蒸馏水倒入搪瓷缸内加热煮沸，使硫酸在蒸馏水中完全溶解，达到饱和状态，并过滤。不同温度时在100毫升水中应加入的硫酸铜重量见下表：

温　度°C	0°	15°	30°	45°	50°	100°
$CuSO_4$（克）	14.5	14.5	19.3	30.0	33.6	73.5

5．将煮沸后的饱和硫酸铜溶液倒入素瓷瓶内，必须保证瓷瓶中溶液面高度比铜棒下端稍高。

6．用砂布将硫酸铜晶体包好，系在铜棒上（橡皮垫圈下约1厘米）。

7．将洗净的铜棒上部$\left(\frac{1}{2}\sim\frac{1}{3}\right)$涂上石蜡，铜棒下部用硝酸及清水洗净擦干，再插入素瓷瓶中。

8．测定电极的极差。将两电极置于有硫酸铜溶液的瓷缸或玻璃槽内，用电位计测量的极差若大于2毫伏，应将铜棒抽出放入装有硫酸铜溶液的同一瓷缸中。测量两铜棒的极差，若超过1毫伏，应将铜棒再放入硝酸溶液中洗净。若洗净后再测极差仍不符合要求，则应将铜棒镀上一层电解铜。

9．极差小于2毫伏者，用白蜡和松香的合剂封口（天热时用60～65%的松香，40～35%的蜡，掺入少许黄泥；天冷时用40～35%松香，60～65%的蜡，掺入少许黄泥）。

二、铜棒镀铜的方法

镀铜时需要的装置有电解瓶（玻璃瓶）及带有圆孔的绝缘盖子、电池、饱和硫酸铜溶液，其中需加少量的碳酸（1～3%），以保证沉淀的铜层更纯净。

镀铜的方法：将溶液倒注在电解瓶中，把待镀的铜棒用硝酸洗净放入圆孔中。将所有的铜棒并联接到电池的负极，电池的正极用绝缘导线接到电解槽内铜柱（或铜块）上，并使待镀铜棒对称于接正极的小铜柱（或铜块），靠近电解槽壁。

电解时电池电压常取10～30伏，每个铜棒上通过的电流最好为1000毫安。为了使铜棒镀得均匀，电解时每隔5～10分钟将铜棒转90°，电路接通1～2小时即可。一般情况下每月镀1～2次。

附录十三　自然电场法基点联测方法

在自然电场法电位测量中，各分基点与总基点的联测工作，要根据工区内地形地貌以及分基点的分布位置等实际情况，分别采用适合的方法。目前野外可以采用的主要有如下三种方法：

（1）直接联测法（图13-1）

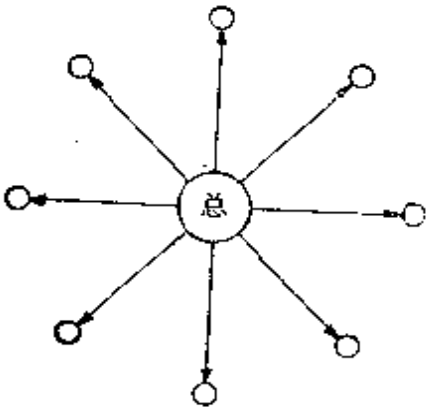


图 13-1　直接联测法

当各分基点与总基点距离均不太远时，可采用此法，即各分基点直接与总基点进行联测。但应联测两次，要求两次联测的绝对误差不超过 4 毫伏。最后取两次联测电位的平均值，作为分基点电位。

（2）间接联测法（也称测线联系法，图13—2）

各分基点之间以及与总基点的距离均较远时，可采用此法。例如，欲求某分基点的电位，可以先测出该分基点与电位已知的5～10个测点的电位差，再换算出该分基点对总基点的电位值（经极差改正后，对5～10个电位值取平均数）。具体换算可参照下式（要求根据任意两个测点，换算出该分基点的两个数值之差不得大于10毫伏）：

$$\Delta U_I = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(\Delta U_i + \Delta U_{Ii})$$

式中 ΔU_I—所求的分基点电位；ΔU_i—第i个测点对总基点的已知电位；ΔU_{Ii}—所求分基点对第i个测点的电位；n—测点数。

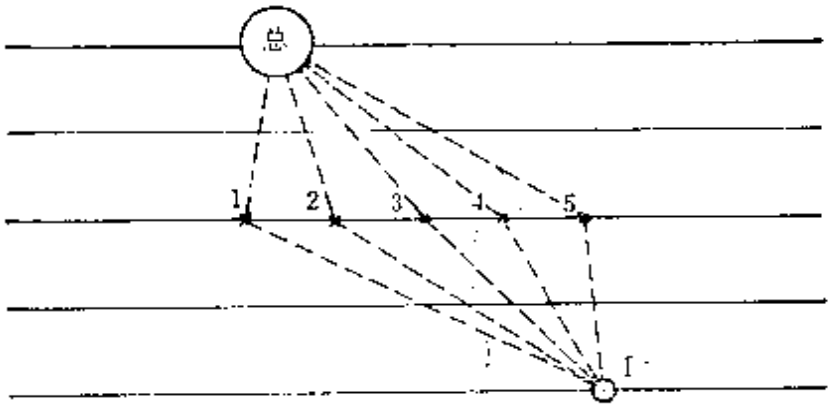


图 13-2 间接联测法

(3) 多边形联测法（也称梯度联测法，图13-3）

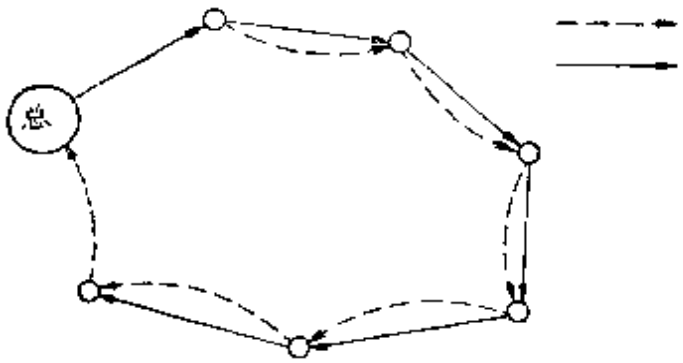


图 13-3 多边形联测法

各分基点与总基点距离远近不一，且分基点较多时，可采用此法。具体联测方法是，依次对相邻两基点（包括总基点在内）进行电位梯度测量，最后组成多边形闭合环。对联测结果进行闭合差$\delta\Delta U$计算，要求$\delta\Delta U$小于$\sqrt{n}\cdot 3$，见下式：

$$\delta\Delta U \leqslant \sum_{i=r}^{n} \Delta U_i < \sqrt{n}\cdot 3 \text{（毫伏）}$$

式中 ΔU_i——两基点间电位差；n——基点数。

可按常规方法对闭合差进行配赋平差，并求出各分基点的电位值。

附录十四　《直流电法工作规范》编写说明

一、编　写　过　程

地质矿产部物化探局组织青海、广东、河北三省地矿局物探大队编写了这本《直流电法工作规范》。编撰本规范大致有如下过程：一九七九年在对直流电法应用情况调研考查的基础上编写出《直流电法工作规范》的讨论稿；一九八〇年又在广泛征求书面意见的情况下，于河北省廊坊召开了专门座谈会；一九八一年完成《直流电法工作规范》送审稿，亦即试行稿；嗣后，根据试行中的问题和审查意见，进行最后一次的修订和补充，至此完成《直流电法工作规范》定稿工作。

二、内　容　编　排

本规范的内容主要取自原地质部一九六四年出版的《直流电剖面法工作规范》、《直流电测深法工作规范》、《充电法工作规范》；同时，也参考了冶金部编写的物探规范条例；另外也借鉴了大专院校及野外队的实际应用经验。

本规范具有工作手册性质，其目的仅在于能正确指导野外生产并取得合乎精度要求的原始观测资料。因此，本规范只对有关方法技术及指标值作出规定而不进行深入说明或繁琐的论证；此外，有关解释推断的内容没有列入；教科书中

已阐明的基本原理也不再叙述。

考虑到直流电法的各变种方法或装置形式对于电测仪器的基本技术要求大体相同，也考虑到我国当前直流电法仪器正处在更新换代的时期，因此将仪器与技术装备的内容列入到规范附录。有必要指出，其中有关电子自动补偿类型的仪器内容，仍应不失去规范性。

依据方法分类，规范本文分电剖面法、电测深法、充电法和自然电场法等四章。各章按生产程序以技术设计、野外作业和资料整理等三个部份编排目录。

电测深法一章以我国应用甚广的对称四极测深法的内容为主，联合电测深与三极电测深份量较少，而偶极测深则考虑无应用习惯而没有列入规范。

三、新规范与旧规范的主要差异

1．旧规范以电工型仪器手动补偿式零点读数方式为观测基础，新规范以目前我国广泛应用的电子自动补偿型仪器直读式为观测基础。因此，新规范对野外作业中的某些方法技术及要求指标作了一些相应的调整（参见表14-1），并对原规范中有关的仪器装备部份内容进行了必要的取舍。

2．旧规范中对设计总精度（总均方误差、均方相对误差、平均绝对误差等）规定为一级；新规范则根据不同的工作目的、不同的工作条件规定为A级和B级两个精度级别，以适应于较高精度与较低精度观测的需要。与此同时，新规范对于实施设计精度具有一定的灵活性，它容许工作者根据实际情况选择介乎A级和B级观测精度之间的中等精度指标。

3. 新规范在附录中增加了电子自动补偿仪故障处理、振动子的调节、模拟实验方法技术以及五极纵轴电测深法等内容，删去了原规范中有关生产管理和解释推断的内容，也删去了目前已不适合于野外生产需要的某些内容。

4. 新规范增加了自然电场法一章。

四、关于总精度的分级

1. 总精度分级的基础

直流电法的总观测精度，应根据工作目的、工区地质地貌特征、探测对象与围岩的电性差异及异常特征、存在的干扰体与干扰电平等因素来考虑确定。

目前电阻率法的仪器装备与观测技术水平，如果观测精度以均方相对误差来表示时，一般可以达到3%，最低亦能保证6%；当考虑测地定点误差时，其电法工作总精度（仍以均方误差表示）可相应地满足5%与10%，这便是仪器技术实测能够提供的精度。

上述高低两档精度分级，基本上也适应于野外实际的需要。例如，若以大于二倍或三倍实达均方误差的异常为可靠异常时，则高与低两档精度分别控制幅值为10%～20%的相对异常，即：

$$Y_{min}=\frac{\rho_s-\rho_0}{\rho_0}\times 100\%\doteqdot(10\sim20)\%$$

以及

$$Y_{min}=\frac{\rho_{s2}-\rho_{s1}}{\frac{\rho_{s2}+\rho_{s1}}{2}}\times 100\%\doteqdot(10\sim20)\%$$

式中 ρ_s——视电阻率异常值；ρ_0——正常场视电阻率值；

ρ_{s1}与ρ_{s2}—分别为两个地电层的视电阻率值。

这也符合通常的地球物理条件和任务的要求情况。上二式可用来对剖面法异常和测深法异常进行分析。当异常范围较宽，即组成异常的点数较多、干扰相对不大时，则所确认的相对异常值还可降低，亦即相当于进一步提高其工作精度。具体分析可根据误差理论，参考下表。

表 14-2

组成异常点数	1	2	3	5	12
最低异常标准	3.0	2.0	1.5	1.0	0.5

表中最低异常标准的单位即是实达均方相对误差。因此，上述两档精度是可以勘查相对异常值小于10%的更弱的异常源的。

基于同样道理，自然电场法的观测精度也分成高档与低档两个精度级别。考虑到所观测的自然电位数值变化幅度有限，起伏数量级差别不大，故采用传统的绝对平均误差指标作为衡量精度的办法；充电法依然可分为两个精度级别，但是由于充电法主要是用于详查找矿或者配合勘探评价矿体，因此仍应按原规范所规定的一级（即较高一级）精度为主，只有在个别情况下才允许放宽一倍，选用低档精度。

2．电阻率总精度分级的方法

首先应统计分析各种观测影响因素在观测中可能出现的最大偏差（极限差）。根据误差理论，我们可以取某个单项因素引起的极限差的三分之一作为该因素在A级精度中的标准影响值；将A级精度中的该项因素标准值扩大一倍作为B级精度中的该项因素标准影响值。将同一精度级中的各项标准影响值代入误差传播公式，便计算出A级和B级总精度

（表14-3）。

表 14-3

序号	影响因素	极限差（±%）	标准影响值（±%）	
			A 级	B 级
1	测地差	12	4.0	8
2	布极差	4	1.4	3
3	ΔV档差	3	1.0	2
4	ΔV视差	1	0.4	1
5	微调电	3	1.0	2
6	I 档差	3	1.0	2
7	I 视差	1	0.4	1
8	I 变化	3	1.0	2
9	其它	4	1.4	3
注：（1）由2～9行计算出无位总精度；			$\sqrt{\sum}^{2}=3$	$\sqrt{\sum}^{2}=6$
（2）由1～9行计算的有位总精度。			$\sqrt{\sum\Delta^{2}}=5$	$\sqrt{\Delta^{2}}=10$

实测精度常借助于重复观测，以及系统检查观测的结果所统计的均方相对误差或平均绝对误差来衡量。电阻率法便采用相对误差与均方相对误差。为了野外工作的实用，将表14-3中A级（或B级）各项按观测对象的类别给予合并，构成只对测地、电位差、电流、其他等四大项的均方相对误差，使观测精度的技术指标集中而明确。规范中§1.15表1

即按此列出。表1中的电位差ΔV项是由表14-3中ΔV档差、ΔV视差与微漏电等三项因素综合考虑的；表1中的电流I项是由表14-3中I档差、I视差与I变化等三项因素综合考虑的；表1中的“其他”项则是由表14-3中的“其他”项与布极误差综合而成。表14中“其它”误差包括电极极差变化、自然电位变化、仪器零点位移等引起的误差，另外湿度因素引起的表层电阻率不规则变化也归入“其它”之中。

五、关于视读误差与最低读格

人员视读误差即视差。它受观测者感官生理上的最小分辨能力制约，同时还受某些视读习惯（如读数时始终偏左或偏右）以及对某一信号反应滞后或导前等现象影响。

直读式仪器需要良好的视力。人眼的分辨力为0.5′～1′，即相当于在25厘米处分辨出0.036～0.073毫米间隔。电子自动补偿仪表头满刻度为100格，每格0.9毫米，故一般正常人按理论可分辨出1/25～2/25格的间隔；实际上训练有素的操作员对度盘可读准至0.1格。当读数为满刻度的三分之一时（即33格），如放宽视差为0.25格（相当于读数的限差），则引入的人员视差的相对误差为$0.25 \div 33 \times 100\% \approx 1\%$。

关于最低读格或最小读数问题，考虑到视差为0.25格，再根据表14-3中对ΔV与I视差的均方误差为0.4%的要求，其限差为1%，那么最低读格应为$\frac{0.25}{0.01} = 25$，即25格。当用1毫伏测程档时，最小读数应大于0.25毫伏。另需注意，读数过小时要增加观测次数，用其平均值来代替。

六、关于重复观测

在读数过小或读数不稳等困难条件下，一般都应当进行重复观测，并取一组重复观测读数的平均值作为该点的原始观测值。

在判别读数是否合格时，原规范采用下式来判断：

$$\frac{\rho_s^{max}-\rho_s^{min}}{\frac{\rho_s^{max}+\rho^{max}}{2}}\times 100\% \leqslant \sqrt{n}\times 5\%$$

式中 ρ_s^{max}与ρ_s^{min}——组重复观测中的最大值和最小值；n——有效的观测次数。

上述原规范中的判别标准，其要求过于严格，本规范采用下式：

$$\frac{\rho_s^{max}-\rho_s^{min}}{\frac{\rho_s^{max}+\rho_s^{min}}{2}}\times 100\% \leqslant \sqrt{2n}M$$

作为一组重复观测值的判别标准。我们认为，既不会因为放宽了一些而降低观测质量，也不会因为放宽得还不够程度而影响观测速度。现将这方面的考虑简要说明如下。

对同一量进行多次等精度观测。当观测误差为正态分布时，允许从总观测中舍去不多于总观测三分之一的偏离较大者（一般以偏离平均值大于四倍单次观测均方误差者为较大），尔后将剩下的n个观测数求平均值，作为该组观测的最终结果。此时单次观测的均方误差m_n与平均值的均方误差M'将有如下关系：$m_n=\sqrt{n}M'$。如果设计的均方误差为M，这组观测数的最大值为a_M，最小值为a_m；若要求极差

$R = a_M - a_m \leqslant \sqrt{2n}M$，在一般的情况下将可满足 $M' < M$。下面再根据误差理论对此作一阐述。

对同一量等精度的任意两次观测数值之差y，亦可看作这两个数差值的真误差Δy（因为对同一量进行不含误差的两次观测，其差值为 $y=0$，也就是差值的真值是零。当观测有误差时，$y \neq 0$，因此有误差时差值 y 与差值的真值零的差就应是 y 的真误差Δy，即为：$y-0=y=\Delta y$）。在一般情况下，发生真误差 Δy 大于差值 y 的均方误差 my（$\Delta y > my$）的机率不会超过三分之一。若对一组数剔除了个别偏离数较大者，发生$\Delta y \leqslant my$的机率就很大。

另外，将真误差$\Delta y = y$代入真误差计算均方误差的公式 $m = \pm\sqrt{\frac{\Sigma\Delta^2}{n}}$ 可知，当只有一个真误差Δy值时，计算出的差值y的均方误差m_y就是真误差Δy本身，即

$$m_y = \Delta y = y$$

由误差理论知：两等精度观测数的差值y的均方误差 m_y 与单次观测均方误差m_a之间有如下关系：

$$m_y = \sqrt{2}\, m_a \text{或} y = \sqrt{2}\, m_a$$

前述的极差R只是差值y的一种特例，因此便有$R \approx \sqrt{2}\, m_a$或 $R \approx \sqrt{2n}M$。如果从严要求，令$R < \sqrt{2n}M$，必然可使由这组数计算出的实际平均值的均方误差$M' < M$。

七、电极接地问题对测深结果的影响

当电极位置不精确或接地形式不同于点状电极时，所得的电位差将不是ΔV而是$\Delta V'$（设供电电流强度 I 保持不变），因此观测结果的相对误差将是：

$$M_{\rho_s}=\frac{\rho_s'-\rho_s}{\rho_s}=\frac{\Delta V'-\Delta V}{\Delta V}=M_{\Delta V}$$

下面介绍几种简单条件下计算M_{ρ_s}的公式及其计算结果，这些结果是本规范中规定某些有关电极接地技术要求的依据。所有公式的推导和计算的结果是按不等距对称四极装置计算的，但完全适用于三极装置。

（一）供电电极距离误差对测深结果的影响（图14-1）

供电电极埋设距离出现偏差时，将引起测深曲线的变异。对于水平层状介质，其影响的计算公式推导如下：

在测深曲线$\frac{AB}{2}=r$处，曲线的切线与水平轴夹角为β，则斜率为$\mathrm{tg}\beta$。在供电电极出现偏差的范围内，β为一常值，不随r而变，在双对数座标图上可以看出（图14-2），将有

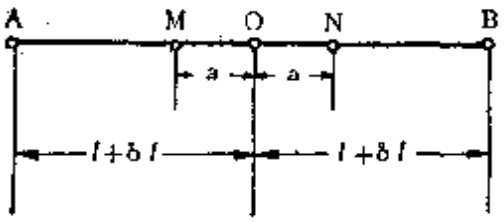


图 14-1 供电电极距离误差

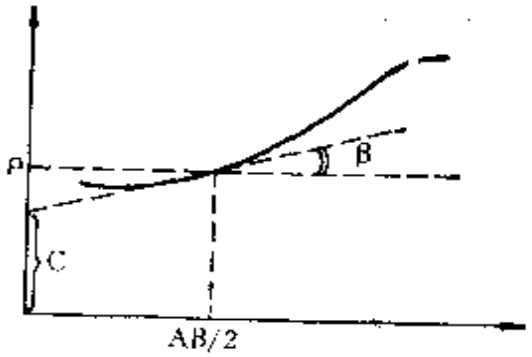


图 14-2 供电极距变化对电测深曲线的影响

$$\lg\rho=\mathrm{tg}\beta\cdot\lg r+\lg C$$

所以

$$\rho=Cr^{\mathrm{tg}\beta}$$

供电电极A或B在r处的场强则为：

$$E_r=\frac{I\rho}{2\pi r^2}=\frac{ICr^{\mathrm{tg}\beta}}{2\pi r^2}=\frac{IC}{2\pi}r^{(\mathrm{tg}\beta-2)}$$

那么，A与B两供电电极在距离为$(l+a)$和$(l-a)$的两测量电极MN间的电位差应是：

$$\Delta V = 2\int_{l+a}^{l-a} E_r dr = \frac{IC}{\pi}\int_{l+a}^{l-a} r^{(\mathrm{tg}\beta-2)}dr$$

$$= \frac{IC}{\pi}\cdot\frac{1}{\mathrm{tg}\beta-1}\left[(l-a)^{(\mathrm{tg}\beta-1)}-(l+a)^{(\mathrm{tg}\beta-1)}\right]$$

当$r=l+\Delta l$时，

$$\Delta V' = \frac{IC}{\pi}\cdot\frac{1}{\mathrm{tg}\beta-1}\left[(l+\Delta l-a)^{(\mathrm{tg}\beta-1)}\right.$$

$$\left.-(l+\Delta l+a)^{(\mathrm{tg}\beta-1)}\right]$$

于是可得出在水平层状介质条件下，A与B产生δl偏差时所引起的视电阻率相对误差计算公式：

$$M\rho_s = \frac{\Delta V'-\Delta V}{\Delta V} = \frac{(1+p-\alpha)^{\mathrm{tg}\beta-1}-(1+p+\alpha)^{\mathrm{tg}\beta-1}}{(1-\alpha)^{\mathrm{tg}\beta-1}-(1+\alpha)^{\mathrm{tg}\beta-1}}-1$$

式中 $\alpha=a/l$；$p=\delta l/l$。

分别考虑下列几种特殊情况：

1.均匀介质（$\beta=0$）

$$M\rho_s = \frac{1-\alpha^2}{(1+p)^2-\alpha^2}-1$$

2.无限大电阻率标志层（$\beta=+45°$）

$$M\rho_s = \frac{\ln(1+p-\alpha)-\ln(1+p+\alpha)}{\ln(1-\alpha)-\ln(1+\alpha)}-1$$

3.良导电性标志层（$\beta=-63°$）

表 14-4

$M\rho_{ss}$, % / p, % / α	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1/3	3.7	3.2	2.8	2.3	1.8	1.4	0.9	0.5	0	-0.4	-0.9	-1.3	-1.7	-2.1	-2.5	-2.9	-3.3
1/30	4.1	3.6	3.1	2.6	2.0	1.5	1.1	0.6	0	-0.5	-1.0	-1.4	-1.9	-2.4	-2.8	-3.6	-3.8

表 14-5

$M\rho_{ss}$, % / p, % / α	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1/3	7.4	6.5	5.6	4.6	3.7	2.8	1.9	1.0	0	-1.1	-1.8	-2.7	-3.5	-4.4	-5.3	-6.2	-7.1
1/30	7.8	6.8	5.8	4.9	3.9	2.9	1.9	1.0	0	-1.1	-2.0	-3.0	-4.0	-5.9	-6.0	-7.0	-7.9

表 14-6

p, % \ Mρs, %		-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
α																		
1/3		1.7	1.5	1.3	1.1	0.8	0.6	0.4	0.2	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6
1/30		2.1	1.8	1.5	1.3	1.0	0.8	0.5	0.3	0	-0.2	-0.5	-0.7	-1.0	-1.2	-1.4	-1.7	-1.9

表 14-7

q, % \ Mρs, %		-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
α																		
1/3		-6.3	-5.5	-4.7	-3.9	-3.2	-2.4	-1.6	-0.8	0	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4
1/30		-7.9	-6.9	-5.9	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0	6.9	7.9

$$M\rho_s=\left[\frac{3(1+p)^2+\alpha^2}{3+\alpha^2}\right]\left[\frac{1-\alpha^2}{(1+p)^2-\alpha^2}\right]^3-1$$

（二）测量电极距离误差对测深结果的影响（图14-3）

在半无限均匀介质条件下，由于测量电极埋设距离误差而引起所得视电阻率的相对误差公式，其推导同供电电极的方法一样，其结果为

$$M\rho_s=\frac{q[(1/\alpha)^2+1+q]}{(1/\alpha)^2-(1+q)^2}$$

式中　$\alpha=a/l$；　$q=\delta a/a$。

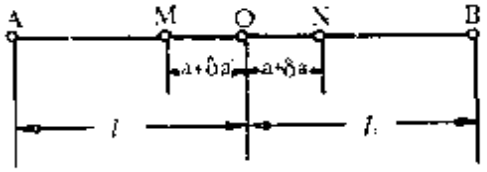


图 14-3　测量电极距离误差

没有计算在水平层状介质条件下的结果，但可以指出，对位于电测深曲线上升段的电极距而言，$M\rho_s$的绝对值将比计算表上给出的数据减小；对位于电测深曲线下降段的电极距而言，$M\rho_s$的绝对值将比计算表上所给出的数据增大。

（三）电极排列方向的误差（图14-4）

在水平层状介质条件下，由于电极排列方向误差而引起所得视电阻率的相对误差可按下式计算：

$$M\rho_s=\frac{(1-\alpha)^2[\sqrt{1+\alpha^2+2\alpha\cos\theta}-\sqrt{1+\alpha^2-2\alpha\cos\theta}]}{2\alpha\sqrt{(1+\alpha^2+2\alpha\cos\theta)(1+\alpha^2-2\alpha\cos\theta)}}-1$$

式中　$\alpha=a/l$；

θ——AO与MO及OB与ON之间的夹角。

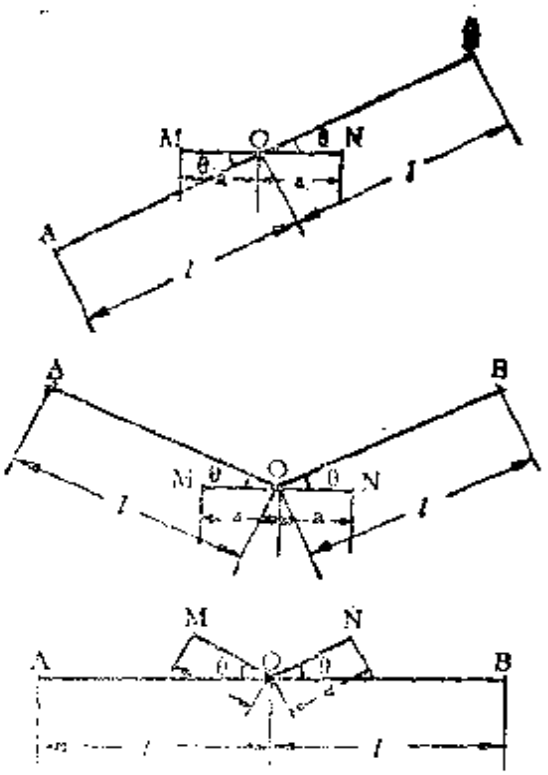


图 14-1　电极排列方向的误差

表 14-8

$M\rho_s$ 的 θ / α	10°	5°
1/3	-2.5%	-0.6%
1/30	-1.5%	-0.4%

（四）电极位置横向偏移引起的误差（图14-5）

供电电极和测量电极位置相对横向偏移一段距离d，实际上也就是供电电极和测量电极排列方向偏差一个角度$\theta = \mathrm{tg}^{-1}(d/l)$，同时供电电极距离有一误差$\delta l = \sqrt{l^2 + d^2} - l$；或者是供电电极和测量电极排列方向偏差一个角度$\theta' = \mathrm{tg}^{-1}(d/l)$，同时测量电极距离有一误差$\delta a = \sqrt{a^2 + d^2} - a$。

在水平层状介质条件下，图14-5中所绘三种情况在所得视电阻率中引入的相对误差$M\rho_s$是相同的。这时如果$d \ll l$，可以分别用δl和θ代入均匀介质（$\beta=0$）供电与测量电极距离误差计算式（或用δa和θ'代入测量电极距离误差计算式和电极排列方向的误差计算式），求出两个相对误差值并取其代数和作为所求的$M\rho_s$值。

在半无限均匀介质条件下，可以按下式计算：

$$M\rho_s=\frac{(1-\alpha^2)[\sqrt{(1+\alpha)^2+S^2}-\sqrt{(1-\alpha)^2+S^2}]}{2\alpha\sqrt{[(1+\alpha)^2+S^2][(1-\alpha)^2+S^2]}}-1$$

式中　$\alpha=a/l$；$S=d/l$。

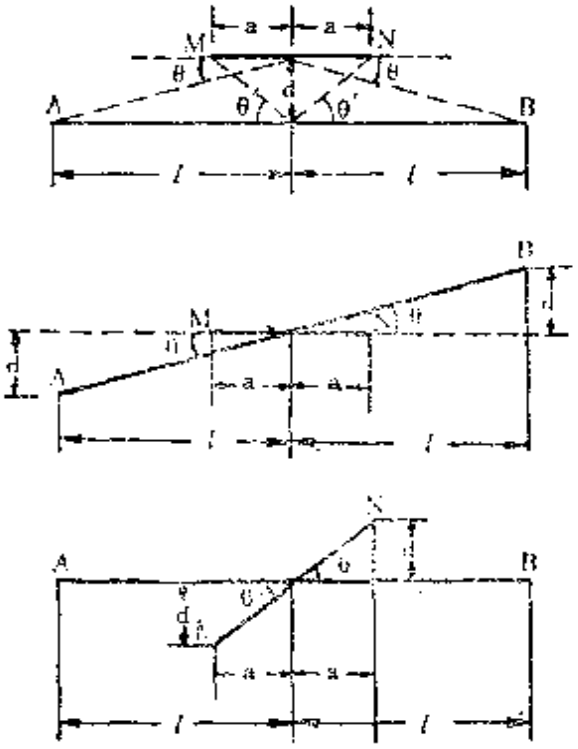


图 14-5　电极位置横向偏移的误差

$\beta=63°$时，地电断面$M\rho_s$将增大一倍以上。

表 14-9

M_{ρ_s}(%) \ S / α	1/10	1/15	1/20	1/40
1/3	-1.95	-0.87	-0.55	-0.16
1/30	-1.68	-0.84	-0.50	-0.14

（五）电极组长度对电阻率观测的影响（图14-6）

在半无限均匀介质条件下，当在供电或测量线路两端各采用一组垂直于$AMNB$方向排成直线的若干并联电极作为接地对，如果电极组总长度为$2L$且在接地点两端对称分布，把它们近似地看作长度为$2L$的线状电极，则由于供电或测量接地电极不同于点电极而引起所得视电阻率的相对误差可按下式计算：

$$M_{\rho_s}=\frac{1-\alpha^2}{4\alpha t}\ln\frac{[\sqrt{(1-\alpha)^2+t^2}+t][\sqrt{(1+\alpha)^2+t^2}-t]}{[\sqrt{(1-\alpha)^2+t^2}-t][\sqrt{(1+\alpha)^2+t^2}+t]}-1$$

式中 $\alpha=a/l$；$t=L/l$。

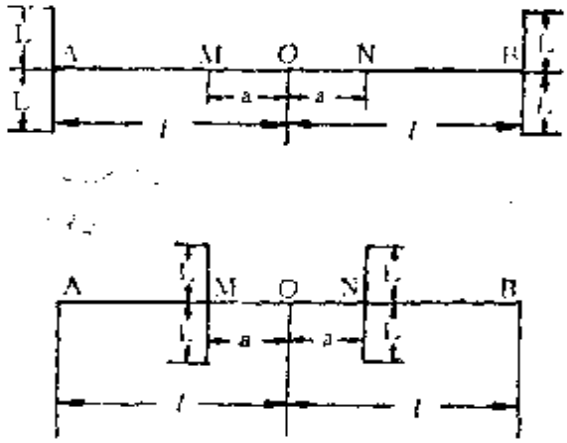


图 14-6 电极组长度的影响

表 14-10

$M\rho_s$ 的 t / α	1／3	1／5	1／10	1／20
1／3	-6.52%	-2.53%	-0.65%	-0.17%
1／30	-5.19%	-2.19%	-0.48%	-0.12%

没有在水平层状介质条件下的计算结果，但可以指出，对位于电测深曲线上升段的电极而言，$M\rho_s$的绝对值将比表上所列减少；对位于电测深曲线下降段的电极而言，$M\rho_s$的绝对值将比表上所列增大。

应当指出，上述公式和计算结果对供电电极组和测量电极组都是适用的。实际上，在水平层状介质条件下，长度相等的电极组无论用作供电接地或测量接地，所引起视电阻率的相对误差是一样的。

（六）杆状电极入地深度（图14-7）

上节所述关于电极组横向排列长度所引起视电阻率相对误差的全部结论，完全适用于讨论和计算单根杆状电极入地深度对所得视电阻率值的影响，只要把上节中表示电极组横向排列长度之半的L值作为杆状电极入地深度即可。

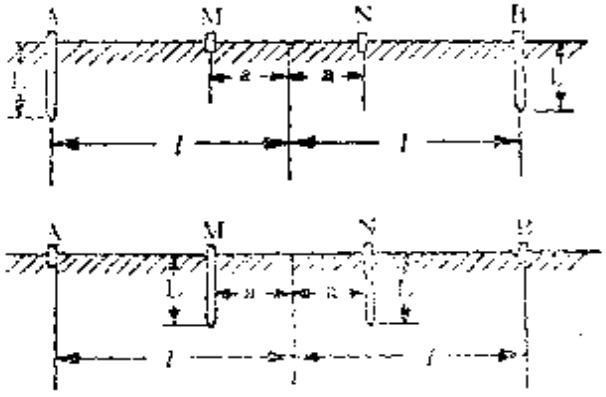


图 14-7　杆状电极入地深度的影响