

自然电坊法 电法勘探

A. C. 謝苗諾夫著

地質出版社

自然电法勘探

A.C. 謝苗諾夫著

地质出版社

· 1958 · 北京

А. С. СЕМЕНОВ
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА
МЕТОДОМ ЕСТЕСТВЕННОГО
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

1955

本書中敘述的是自然電場法的理論基礎和實驗基礎，描述了儀器、工作技術和方法，舉出了本方法在各種地質目的物上應用的例子。

本書可用作電法勘探隊工作者的指南，地質院校學生電法勘探課程的教材。

本書由北京地質勘探學院地球物理探礦系傅良魁、那璽晉、王益民、馬金春、劉心恆、蔡柏林、李金銘、任懷宗、雷海如等譯，由傅良魁、吳榮祥、周祥標等校；又經地質部地球物理探礦局孫文珂、夏國治、鄒光華、朱寅等復校。

自然電場法電法勘探

著者	A. C. 謝苗諾夫
譯者	傅良魁等
出版者	地質出版社

北京宣武門外永光寺西街3號

北京市書刊出版業營業許可証出字第050號

發行者	新華書店
-----	------

印刷者	建築工程出版社印刷二廠
-----	-------------

北京市阜成門外南禮士路

印數(京)1—2,200冊

1958年10月北京第1版

開本317×437/125

1958年10月第1次印刷

字數 180000

印張 $8\frac{4}{25}$ 插頁

定價(10)1.10元

目 录

前 言	7
緒 言	9
第一章 电场。矿石和岩石的电学和电化学性质及其研究方法.....	11
1. 大地中的自然电场	11
2. 岩石和矿石的电阻率以及发现电子导体的方法	18
3. 矿体边缘电位跳跃及地下水氧化还原电位的研究	23
第二章 方法的理论与实验的基础.....	39
1. 基本原理和假设	39
2. 均匀极化球体的场	40
3. 垂直柱状矿体的场	50
4. 均匀极化圆柱体的场	55
5. 板状矿体的场	57
6. 综合导体上的场	66
7. 岩石不均匀性的影响	69
8. 参数 g 和 m 及量板的应用	73
第三章 生产工作	79
1. 任务, 比例尺和测网	79
2. 仪器	80
(1) 电位计	80
(2) 不极化电板	85
(3) 导线	100
3. 工作方法和方式	101
4. 观测的进行	114
5. 室内整理	125
6. 工作的设计和组织	130

第四章 自然电场法的应用	131
1. 普查和普查勘探工作	131
(1) 硫化矿床	131
(2) 无烟煤田	155
(3) 石墨矿床	156
2. 石墨化和黄铁矿化岩石的填图	158
3. 非矿电场的例子	167
(1) 过滤电场	167
(2) “随时间变化的电场”	176
(3) 大地电流和打雷放电电场	193
(4) 工业电流的干扰	197



阿列克謝·阿列克謝維奇·彼得罗夫斯基教授，
苏联电法勘探工作的組織者，一系列电法勘探方法的創造者
(1873—1942年)

为纪念自然电场法的奠基者——功勋的
科学技术活动家A. A. 彼得罗夫斯基教授而作。

前 言

近三十年来，地球物理勘探方法稳步地进入了地质勘探的实践阶段，这些方法顺利地用来普查和勘探有用矿产，例如：石油、煤、各种金属和非金属原料等等，某些地理物理方法广泛地应用在工程地质和水文地质中。

由于第十九次党代表大会规定了迅速发展的国民经济的发展速度和对我国矿物原料产地不断扩大的要求，因此地球物理工作（其中也包括有电法勘探工作）的作用也就日益增长起来。

由于缺乏关于最有效的金属矿地球物理勘探方法的书籍，因而就严重地妨碍了广泛地和有效地应用电法勘探来进行金属矿的普查工作，这在自然电场法、联合剖面法和充电法方面尤为突出。在已知的教科书中对以上这些方法注意得太少，并且书中列举的这些方法的资料在很大程度上是陈旧的，它们并不能反映出这些方法最近发展的状况，加之教科书通常是较少的，实际上不能为广大的野外工作者所买到。由于以上一些原因，给高等学校和中等专科学校中学习这些方法造成了困难。因而，现在正采取措施出版金属电法勘探基本方法的参考书。关于自然电场法^①的这本书是其中第一本参考书。

本书是由绪言和四个章节组成的。在第一章中对电法勘探者经常遇见的各种电场，还对自然电场法有着重大意义的岩石和矿石电性作了扼要的说明。在第二章中探讨了此法应用于金属矿床上的理论和实验的基本问题。在第三章中描述了仪器，并介绍了在工作的技术和方法。在第四章中列举了普查金属矿和某些非金属矿产，以及在地质制图时应用此法的实例。于此同一章中，举出了观测各种当前还没有实际

^① 本书于1952年写成，近年来根据1953年和1954年所得到新资料又作了某些补充和修改。

地质意义的电场实例，这些电场经常成为普查和制图工作时严重的干扰。

本书专供野外电法勘探队工作者之用，同时还可作为高等学校和中等专业学校的教材。

在编写本书时，作者参考了全苏地球物理勘探研究所（ВИПГ）研究员А.В.维塞夫、А.С.波利亚科夫、Е.А.谢尔盖耶夫、Г.П.卡普拉洛夫、Ф.С.莫伊先科等人提供的资料并采纳了他们的建议。有许多资料是由地球物理工程师С.Я.李奥格尼基、В.В.勃罗多夫、И.С.采格尔曼、В.А.梅依尔、К.П.沙戈洛夫等人供给作者的，尤其是М.Е.诺沃日洛娃给作者很大的帮助，她为本书完成了一系列野外的和实验室的观测以及有关图表和手稿付印前主要的准备工作。另外，还有В.А.柯马洛夫、Г.А.塔拉索夫、Е.А.巴里诺夫和Л.П.若戈列夫参加了手稿的校对工作，Г.Б.斯维什尼柯夫参加了编写有关测量溶液的氧化还原电位的这一节。在审校手稿时Л.Я.涅斯捷罗夫，А.А.罗加契夫和А.Г.塔尔霍夫等教授提出了宝贵的意见，其中涅斯捷罗夫还编写了有关应用此法来普查石墨矿床的一节。我向以上所提到的全体同志，并向那些在写书过程中给予我各种帮助的同志表示谢意。

书中某些问题由于对它们研究较少，也可能由于作者拥有的资料不够多，因此未能得到非常详尽的阐明。不论是对所叙述的资料提出宝贵批评的同志，或者报导有关研究自然电场和在不同条件下应用此法的新情况的同志，我均将非常感激。意见请寄到列宁格勒大学，地址：列宁格勒大学河岸街，7/9号（Ленинград, университетская набережная, д.7/9）。

А. С. 谢苗诺夫

緒 言

在为地質調查服务的地球物理方法之一的自然电场法中，是利用“地壳”內各种物理和化学作用形成的自然电场，来解决不同的地質問題。这一方法是基于自然电场和“地壳”的地質特征間存在着一定联系。目前，对被观测的自然电场和某些类型的矿床、岩石和水文地質现象間的联系已有所查明。因而便确定了这一方法的任务：那就是矿床的普查和勘探、地質制图和水文地質作用的研究。现在，这一方法的基本任务就是普查金属矿床和填制石墨化和黄鉄矿化岩石的地質图。

远在19世紀前五十年代，就对和金属矿有联系的地球电场作了首次測量。可是，仅在20世紀二十年代，自然电场的观测才获得实际的地質勘探的意义〔18、19〕。自然电场法的发展和在我国首次的运用是和列宁格勒矿业学院教授A. A. 彼得罗夫斯基(1873—1942)的名字相联系着的，他在二十年代的初期研究了这一方法的理論和仪器，并于1924年在矿区阿尔泰(Рудный Алтай)应用了这一方法〔21、22、23、24、25、26〕。在这以后，主要由他的学生(Л. Я. 涅斯捷罗夫、К. К. 費特欽柯等人)广泛地应用此法来普查苏联各个地区的硫化矿〔26、19〕。1936年E. A. 謝尔盖耶夫确定了在金属矿床上〔19〕引起自然电场过程的概念。所得的实际資料使我們能够闡明由于水文地質的条件和其他条件而使矿产生的电场的某些特征〔19〕。1931和1932年Л. Я. 涅斯捷罗夫在煤矿上应用了这一方法〔19〕。1943年他还在普查石墨矿床时初次布置了这一方法的工作。在普查工作过程中弄清了应用此法来对石墨化和黄鉄矿化岩层地質制图的可能性。許多研究者还确定了和局部地研究了非矿成因的电场——过滤电场〔2、6、15、19、35〕以及其他电场。

近年来对此法的理論和实驗的基本問題〔20、29〕作了某些补充，并且改进了野外工作的技术〔10〕。

要想在不同条件下及不同矿床上广泛应用这一方法就有必要作进一步的研究工作，其中包括研究各种不同类型的自然电场，深入研究这一方法的理論和改善为解决各种問題的工作方法与技术。

第一章 电場。矿石和岩石的电学和电化学性質及其研究方法

在用自然场^①法的工作中，常常会碰到各种各样的电場。在本章第一节里只介紹这些电場的特征。在金属矿地区所測到的最主要的电場，与地质体具有高电子传导性以及地质体与周围介质交界面上不同部分电位跳跃的差异这两个条件有关。在本章第二和第三节里將討論如何发现具有电子传导性的导体的办法以及研究在矿体介面上电位跳跃的方法。

1. 大地中的自然电場

在大地中可以观测到不同成因的自然电場。最常见的是由于在电子导体和离子介质的交界面上产生的电化学反应所引起的电場、水的过滤作用和水溶液离子的扩散作用引起的电場以及大地电流电場、雷雨放电的电場和一些其他的电場。以后为写法上簡略起见，把这些场称为电化学反应电場、过滤电場、扩散电場等等。每一种场在分布范围、强度和随时间的变化方面都有其自己的特点。而每一类型的场和地质情况的关系也是各不相同，因此，它們在电法勘探中的实际意义也就不同。其中有些场被用来解决某些地质問題，而另一些到如今还只被看作是干扰。同样一类电場在解决某些問題时是作为研究的对象，而在解决其他問題时却当作干扰来看待。

电化学反应场有着很重要的实际意义，因为自然电場法的应用主要就是基于电化学反应场的研究。所以在本书中对这种类型的场給以十分重视。

电化学反应场是当离子介质中产有电子导体时形成的。场的强度首先

① 爲了簡寫起見，自然電場法名稱中的“電”字被省略。

决定于电子导体的矿物成分、结构和周围离子介质在电子导体交界面上的氧化、还原性质的梯度[19]。

要引起强的电场，构成所研究的地质体的矿物必须具有很高的电子传导性。这些矿物即大部分最常见的硫化物（黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、毒砂等）；某些氧化物（磁铁矿、软锰矿）、石墨、半石墨矿等等。

只有当不仅个别的矿物，而是整个地质体都具有很高的电子传导性时能形成强电场。为此，导体必须完全由具有高电子传导性的矿物所组成或者矿物之间有着连续不断的电性联系。

大家知道，在电子导体和离子介质的交界面上会形成电位跳跃。电位跳跃值的大小决定于电子导体的矿物成分以及和导体接触的水溶液的化学成分。电场只有在矿体界面不同的部分上存在有不同电位跳跃时才形成。

在通常条件下，由于电子导体的不同矿物成分而引起电位跳跃的差别是不能长期存在的。因为电位跳跃的不同产生了电流，而由电流所引起的电化学反应却又抵消了电位跳跃的差别。而当电子导体界面上的溶液成分不断恢复的情况下，因溶液化学成分的不同所引起的电位跳跃差别是可以长期存在，而且这一差异可以作为形成自然电场的原因。按照近代一般的概念，认为：天然电子导体的电极电位的大小主要决定于导体周围溶液的氧化还原的性质。导体界面上溶液氧化还原性的空间变化既可决定电极电位的改变，从而也可决定界面上电位跳跃变化。因此强的电场只有当电子导体和围岩交界面上的围岩介质具有相当剧烈的氧化还原性之梯度的情况下才能形成。当这一氧化还原性的梯度始终持续的情况下，才会产生能够长期存在的场。

近地表的天然地下水由于含氧的渗漏水渗入其中，通常具有高的氧化性质。氧的高度集中引起强烈的氧化过程和形成溶液中的氧化成分。随着深度的增加，氧的浓度和氧化了的成分的浓度逐渐减低，水也就慢慢地过渡到具有还原的性质。

水溶液的化学成分主要决定于那些其中发生水循环的岩石的矿物的性质。象这些化学活性的物质，如硫化矿石，它们对水溶液成分的

影响特别重大。但是必须指出，关于岩石和矿石性质与溶液的形成之间关系的问题目前还研究得很差。

溶液性质随深度的改变使得导体界面上有不同的电位跳跃，从而在导体周围形成自然电场。显然，要使引起的自然电场长期存在，组成溶液的作用就不应中止。同时必须使组成溶液和产生电流的化学作用大大地超过电化学作用，因为当电化学作用时，通过电流的结果就会产生相反的化学作用，即在矿体^①上部产生金属还原和下部发生金属氧化。

处于氧化介质中的矿体上部带正电，而处于还原介质中的矿体下部带负电。在矿体界面处的围岩相当当地有相反的符号。因此通常在矿体上方观测到负电位(图1)。

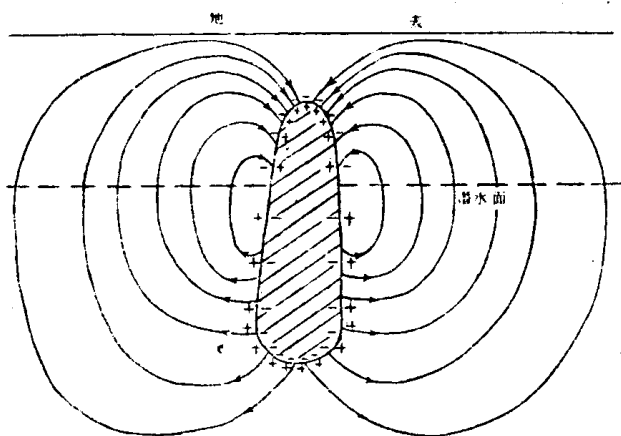


图 1. 矿体附近的电流图

自然电场不仅发生在矿体由化学活性的矿石组成的情况下，而且还发生在化学性稳定的电子导体存在的情况下。因此除了在化学性活动的黄铁矿上的场外，在化学性稳定的电子导体上如石墨矿层和板状石墨化片岩层上也可以观测到很强的场。显然，在上述情形中溶液氧化还原性梯度的产生主要是决定于围岩，而不是决定于电子导体的氧化作用。在组成溶液时起主要作用的还可能是黄铁矿，而黄铁矿通常

① 这里和后面名词“矿体”和“矿层”用作天然电子导体的同义词。

埋藏于石墨化片岩里。可作为特征的是在化学性稳定的导体上方的地表上会观测到相当强的自然电场异常。

因此必须指出通常发表的原理是毫无根据的；这原理认为氧化带的存在是电场存在的必要前提。相反的当矿体介面上具有氧化还原性质的梯度时，在硫化矿床内氧化带的厚度很小或者没有，这对于在地面建立强大的场是有利的。具有厚的氧化带通常乃是地面上无显著电场的原因。这种情况之所以发生是因为地面上的场随着矿体硫化物部分(具有电子传导性)深度的增加而显著地减弱。除此之外，矿体范围内溶液氧化还原性的梯度将随着原生矿石埋藏深度的增加而减少。

在另一些情形中，自然电场主要是矿床本身遭受的化学作用所引起的。这些现象发生在煤(不是无烟煤)和泥炭沼的矿床处，这里自然电场的形成是由于有机物的氧化反应或者还原反应[6、12]所致。观察指出，这种场具有的强度比由于具有电子导体引起的电化场要小得多。在讨论煤层地区内形成的场时，应当指出煤的电阻率对场强的影响是很大的。煤炭除了无烟煤(和近于无烟煤的类型)之外，都具有很高的电阻率。这可能就是即使当岩层界面上能观测到很大的电位跳跃时，而在周围介质里电场仍很弱的原因。

在埋藏不深的黄铁矿和磁黄铁矿床以及石墨化和黄铁矿化的頁岩、无烟煤层等的上面曾观测到最强的自然电场(达500—1000毫伏)。当缺少黄铁矿或铜的硫化物时由方铅矿和閃鋅矿组成的多金属矿床的电场，通常显示为中等或者小的强度。在这种情形下，电场强度很小的原因看来主要是由于阻碍氧化和使氧化溶液难以到达导体界面上以及引起矿物不良导电性的劣导电性铅的次生矿物形成的缘故。由互不联系的导电颗粒组成的浸染性矿体反映得很微弱或者完全反映不出。在沼泽地区内的矿床上，通常没有自然电场，因为沼泽妨碍氧进入矿体。在很干燥地区的矿床上能够发现的场一般很微弱，因为那些地点没有组成溶液[19]的有利条件。埋藏很深或者带有很深氧化带的矿体上将有强度很弱而范围很大的异常。地下水面的深度对于异常的强度有很大的影响。当潜水面高于矿体或超过它的氧化部分时，场强将会大大地减小。遇到沿着裂隙带流向矿体的裂隙水时，有时可观测到特

性复杂的电场，这决定于裂隙带和矿体相互间的位置。矿体的大小以及围岩和浮土的电阻率对场的性质和强度都有所影响。

上面所研究的这一种自然电场可用来普查硫化矿床、石墨矿床，普查和追踪无烟煤矿层以及进行地质填图。

由于岩石中地下水的过滤形成了过滤电场。在山区以及河谷特别是近河床的部分将出现很强的电场。由于高处的水向低洼处过滤，因而高处对于河谷来说应为负的电位。过滤电位的梯度值在不同的条件下是不同的，它决定于地下水的运动速度、矿化作用、地下水流的流量、大小范围及深度以及其他的因素。实践中观测到的过滤电场的电位降每公里达到几百毫伏。

在河谷中水的运动方向上将观测到电位增高。而河床部分电位的增高或降低是决定于河流是排出还是供给地下水(图 2, a)[15]。

目前过滤场在测井中仅仅用来分辨多孔性的岩层。当在地面工作时过滤场却认为是干扰，显然，毫无疑问，过滤场可以而且应该利用来解决某些水文地质问题，并且首先可以利用来确定地下水运动的速度和方向。

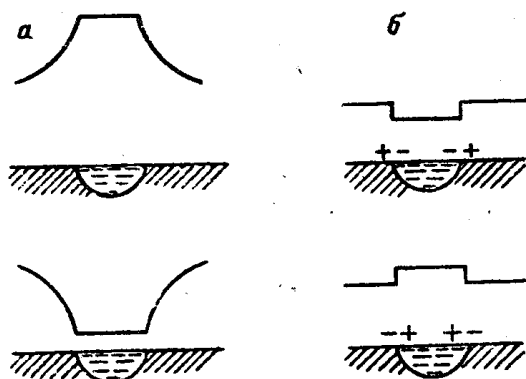


图 2. 沿着横切河床的剖面上所测得的过滤场(a)和扩散场(b)的电位曲线图(按 A. П. 克拉也夫)

在矿化水显著改变的地方将会形成扩散作用引起的自然电场。扩散场时常在地面水(例如河川)和地下水接触处观测到。根据正离子和负离子的运动率以及两相接触的水溶液盐浓度不同，地面水将显示出正的或者负的电位(图 2, b)[15]。其特征为强度较小，并且和过滤场一样，也被利用到油田测井中。根据在地面上研究的扩散电场可以发现和圈定埋藏不深的矿化水活动范围。它在某些情形中可以用来作地质填图。

大地电流场的特征是：随时间变化剧烈，同时分布面积很广，而

且这一电场的梯度多半是較小的〔7〕。目前大地电流的本性尚未正确的确定，但是知道它与磁暴和极光产生的过程是統一的并和太阳上的黑子强度有关。

出现的大地电流以脈冲形式从几分之一秒延續到几分。电位梯度的平均值为一昼夜的、二十七天的和其他与地磁场变化周期相符的周期。大地电流强度从低緯往高緯增大。在低緯和中緯度上大地电流的梯度通常不超过每公里十分之几毫伏而很少到一个毫伏。在两极圈内电位的梯度可以达到每公里一个毫伏乃至几十毫伏。当遇磁暴和极光时則可观测到最强的大地电流。

大地电流的梯度值是决定于被观测地区的地质情况。在很深处有低电阻岩石分布的地区甚至当导綫很长时(达一公里和更长时)，普通的电法仪器时常不能順利地記錄大地电流。而高电阻岩石分布的区域中則可以观测到較大的电位差。尤其是在盐丘构造区内会有較大的电位差。在地面附近导电不良的盐丘压缩了流向它的大地电流，因而引起了电位梯度的增高。例如，我国的恩巴 (Эмба) 就是这样的地区。

大地电流场几乎沒有用来为地质目的服务，而且在电法勘探中多半是把它看作干扰。在它的地质作用方面，暂时又限于研究盐丘构造。在研究地球深处的结构时，它就可以有很重要的意义，因此，它将应具有很大的前途。

雷雨放电的电流特征是瞬时的激烈的脈动，每一个脈动就相当于一个雷雨放电。它的强度仅在靠近雷雨放电的地方很大。在地里雷雨放电的瞬时场强可达到每公里几百毫伏。

在永久冰冻的岛屿分布地区里，观测到强度不很大的自然场〔13, 37〕。当在永久冰冻的分布地区内以及在土壤冰冻的条件下工作时，必須注意到与結冻有关的电流造成干扰的可能性。

和岩石冰冻作用有关的电场强度和性質至今还研究得很少。从文献的材料和我們亲身的观测得知，由于岩石冰冻作用产生的异常强度通常不超过10个毫伏。所观测到的场的产生原因目前可以提出两种解释。第一个原因是，当岩石冰冻时在余下尚未冰冻的溶液中盐的浓度逐渐增加，这就形成了扩散场。在某些条件下，冰冻的存在将引起水