



[苏] H. M. 阿尔佩罗维奇等著

苏联石油勘探中的 磁大地电流法

地质出版社

15493

苏联石油勘探中的磁大地电流法

5903/20

〔苏〕 И.М. 阿尔佩罗维奇 等著

崔林沛 向源富 陈秀英 译



00315098



200315355



地质出版社

内 容 提 要

本书介绍磁大地电流法在苏联石油勘探中的应用及解决的主要地质问题。书中列举了地电条件十分不同的几个地区的实例,如西伯利亚地台东南部(雅库特西部地区)、库页岛、莫斯科台向斜、东高加索前陆和塔吉克洼地。分别介绍了在这些地区利用磁大地电流法填绘基底和其他高阻层的起伏,划分沉积岩系,追索断层和确定局部构造的结果。

本书译自 SEG 1982 年的英译本《Magnetotellurics in oil exploration in the USSR》。

苏联石油勘探中的磁大地电流法

[苏] H.M.阿尔佩罗维奇 等著

崔林沛 向源富 陈秀英 译

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑:张怀素

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

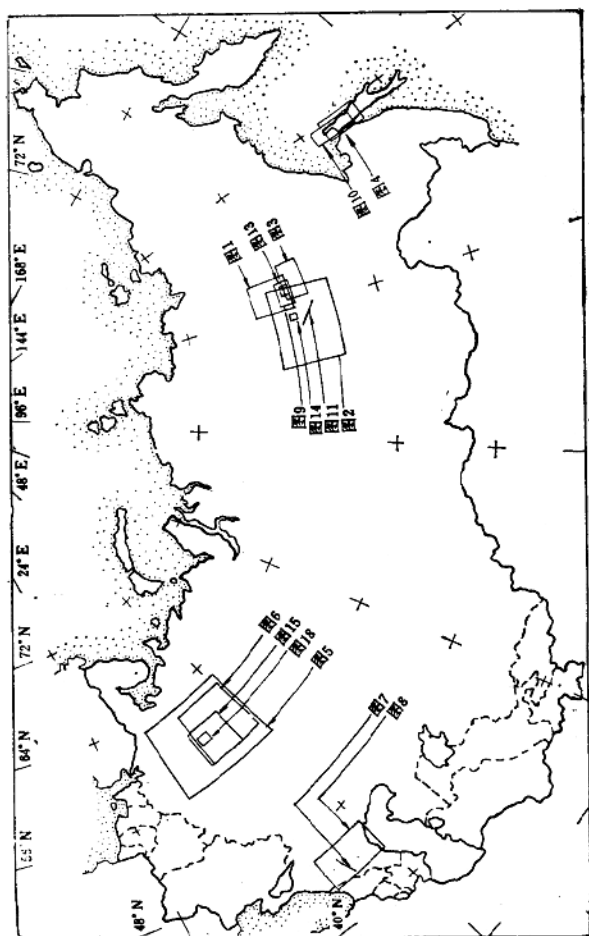
新华书店北京发行所发行·全国新华书店经售

开本: 787×1092¹/₃₂ 印张: 2¹/₄ 字数: 48,000

1984年6月北京第一版·1984年6月北京第一次印刷

印数: 1-17,90册 定价: 0.45元

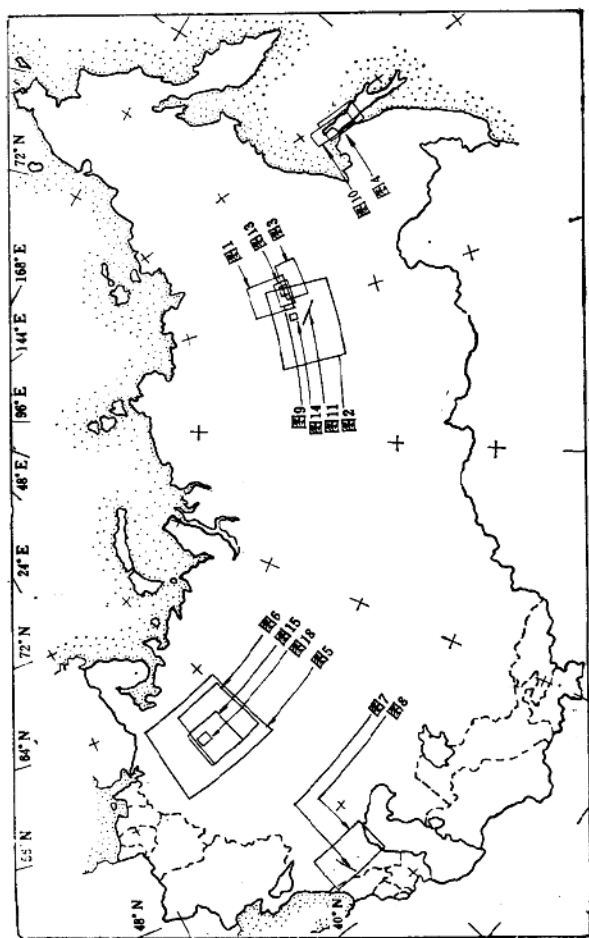
统一书号: 15038·新1052



位置图中编号参见文中的数字

目 录

绪论	(1)
苏联几个油气远景区的典型地电环境	(2)
西伯利亚地台东南部(雅库特地区)	(3)
库页岛北部	(6)
莫斯科台向斜	(7)
东高加索山麓丘陵	(9)
塔吉克洼地	(11)
用磁大地电流法研究高阻基底面起伏的效果	(12)
西伯利亚地台东南部(雅库特自治共和国)	(13)
库页岛北部	(19)
莫斯科台向斜	(22)
东高加索山麓丘陵	(28)
用磁大地电流法资料对沉积岩系进行分层的可能性	(34)
维柳依台向斜	(34)
库页岛北部	(36)
用磁大地电流法资料识别断层	(41)
用磁大地电流法资料圈定局部构造的效果	(47)
结 论	(63)
参考文献	(65)



位置图中编号参见文中的数字

绪 论

磁大地电流法勘探 (MT) 作为综合地质和地球物理研究的一个组成部分, 广泛应用于苏联不同的地质区域。磁大地电流测量探测深度大 (达数十公里), 野外装备体积小, 野外数据收录方法简单, 野外工作成本较低, 可以作为一种踏勘手段来研究边远难通行地区和有巨厚沉积岩的地区。

尽管用磁大地电流法已经取得重要的地质成果, 可是出版物的数量迄今却相当有限。本书的目的就是在某种程度上改变这种情况。

本书还有一个目的是考虑在地电条件十分不同的地区应用磁大地电流法勘探的有关问题。作为实例, 我们列举了主要为研究几个典型地区地质构造而进行的磁大地电流探测结果: 西伯利亚地台的东南部 (雅库特西部地区)、库页岛、莫斯科台向斜、东高加索前陆和塔吉克洼地。

苏联几个油气远景区的 典型地电环境

对苏联不同含油气区地电剖面的对比表明，就各类磁大地电流法勘探的效果而言，可以划分几种类型的地区：

(1) 良导沉积物直接覆盖在高阻基底面上的地区，即形成 H 型地电剖面的地区。该类型剖面最适合于应用磁大地电流法。

(2) 在基底以上的剖面中包括高阻中间层的地电剖面。对特定的地电参数组合来说，随着厚度、电阻率、埋藏深度、表面起伏等的不同，中间高阻层的存在可能会对电磁场观测有明显的影响。这种影响对几种不同形式的磁大地电流法勘探是不同的。假若在解释时不考虑这种中间层的影响，对结果的地质评价就会产生很大的误差。

(3) 中等电阻率的岩石位于电导率最高的岩层和高阻基底面之间的地电剖面。这种情况使得磁大地电流勘探数据的解释非常困难，尤其是在中等电阻率岩层的厚度小于上覆良导层厚度的情况下。中等电阻率岩石的存在往往在磁大地电流测深曲线上反映不明显。

众所周知，电磁测深曲线不只是反映电阻率随深度的变化。在水平不均匀的岩层上测得的磁大地电流测深曲线，在某种程度上不同于假设水平方向均匀而计算的理论曲线，这种差别通常算作磁大地电流测深曲线的畸变(Dmitriev et al, 1975)。

畸变就其特征而言可分为两类：（1）由于在不均匀体表面产生电荷分布（电偶效应）所引起的畸变；（2）在剖面不均匀情况下产生的环流效应（感应效应）引起的畸变。

当地区的构造走向具有一种主导方向时，畸变的种类取决于电流的方向。电偶效应主要表现在横向磁分量（ TM 或 $\rho_{\perp}$ ）上，其电流方向垂直于构造的走向。这种情况所特有的几种现象包括： S -效应（磁大地电流测深曲线右支沿电阻率轴的偏移）、屏蔽效应（高阻基底以上的构造被滤掉）和限定效应（由于电流沿洼地的范围流动，在磁大地电流测深曲线上出现极小值和降低）。

感应效应主要使横向电分量（ TE 或 $\rho_{\parallel}$ ）畸变，其电流方向平行于构造走向。对于这样的曲线来说，其特点是形成不太明显的最低值，同时逐渐过渡到曲线的上升部分。

在具有三维构造的地区，磁大地电流测深曲线同时受到电偶效应和感应效应的畸变，使电流集中于洼地里，而在隆起地区电流则减小。

由于希望探测地电剖面的深度尽可能大，而且需要识别与水平电性不均匀有关的效应，就要求人们得出一条完整的测深曲线。然而实际上由于一系列因素，只是在有限的频率范围内进行观测。在这一范围内，就特定的地电条件而言，只能取得一段测深曲线，这就导致了磁大地电流勘探中有待解决的又一个问题。扩大记录的频率范围，无疑会扩大磁大地电流法可能应用的范围。

下面介绍苏联几个含油气区的地电条件。

西伯利亚地台东南部（雅库特地区）

在雅库特所研究地区的范围内有许多区域构造单元。它

们是维柳依 (Вилуй) 台向斜、前帕托姆 (Предпатом) 边缘盆地、鲍图奥布亚 (Ботубуя) 地区、阿尔丹褶皱翼和阿纳巴尔 (Анабар) 台背斜。下面简要介绍一下这些地区中的每一个地质构造。

在维柳依台向斜的中部, 相邻的正负构造单元为立方形, 即哈普恰盖 (Халчагай) 和下琼格 (Тюнг) 地堑、林佳 (Линдя) 和隆格哈 (Лунгха) 隆起。在台向斜的西部存在着南北向的狭长构造, 它们是肯片佳依 (Кемпендяй) 和厄格阿塔 (Ыгытта) 隆起以及这两者之间的松塔尔盆地。

在前帕托姆边缘盆地中, 构造为南北向狭长状。此处可以划分出纽亚-杰尔巴 (Нюя-Джерба) 和别辽佐夫盆地及其它较小的构造单元。

鲍图奥布亚地区具有立方形构造, 如米尔年背斜和伊切多勃-鲍图奥布亚地堑。

穿过这些构造单元的地电剖面很不相同, 在维柳依台向斜的中部, 地电剖面逐渐变为 H 型。高阻基底面或者是结晶基底, 或者是早古生代的碳酸盐岩。早古生代碳酸盐岩埋深数公里, 其电性是未知的。然而, 我们可以推测, 由于在这些岩石中有高盐度的原生水和裂隙的存在, 电阻率不会太高 (可能低于 10 欧姆·米)。

在高阻基底岩石之上为陆源 (可能是良导的) 岩石, 属于上 (可能包括中) 古生界。剖面这一部分的电阻率不高于几欧姆·米, 而厚度可能为 $2-6$ 公里。剖面的上部相对为高阻, 由中生代陆源岩石组成, 其中含有微咸岩层水。这些岩石的电阻率为 $20-40$ 欧姆·米, 其厚度可达 5 至 6 公里。在这一组岩层的近地表部分, 地下水可能相当纯, 岩石电阻率为

1000欧姆·米或更高，厚度很少超过500米。

沉积岩系的总纵向电导为数千西门子，厚度可能超过10公里。就这样的条件而言，在周期由15秒至1小时的范围内记录的磁大地电流测深曲线上有一个下降段（ $15-30 < T < 60-100$ 秒），受地电剖面最顶部厚度的控制，然后达到最小值并出现上升段（ $T > 100-200$ 秒），后者代表沉积岩系的总纵向电导。

在维柳依台向斜西部以及北部和南部边缘地区，地电剖面中古生代低阻岩石缺失。古生代的碳酸盐岩和蒸发岩层在沉积岩系中起重要作用。它们的电阻率为几十欧姆·米，厚度为几公里。

在地堑的中心，沉积岩系总厚度10—12公里，总纵向电导约1000西门子。在这些地区测得的磁大地电流测深曲线具有左侧上升段（ $10-15 < T < 50-70$ 秒），反映剖面的纵向电导。曲线的右支（ $T > 70-100$ 秒）有一个平直段和第二个上升段，它反映地壳的更深部分。

前帕托姆边缘盆地和鲍图奥布亚盆地中的沉积岩系由较高阻的碳酸盐岩和蒸发岩组成。总纵向电导很少超过100—150西门子，而在鲍图奥布亚盆地则小于20—30西门子。沉积岩系的厚度在盆地中为2—3公里，在边缘盆地中变到4—5公里。基底由太古代基底的高阻结晶岩构成。

在这些地区野外测到的磁大地电流测深曲线，以周期范围不大于30—40秒的左侧上升段的形式反映沉积岩系的纵向电导。磁大地电流测深曲线的右支受地壳更深部分的电性和沉积岩系中水平电性不均匀引起的畸变所控制。

对在维柳依台向斜、前帕托姆边缘盆地、鲍图奥布亚地堑、阿尔丹和阿纳巴尔台背斜范围内测得的磁大地电流测深

曲线的畸变进行分析表明，曲线受到电偶效应和感应效应的共同畸变。最严重的畸变是由S-效应和因电流在隆起和盆地之间的边缘部分密集而出现的效应引起的。

永冻层的高电阻率对磁大地电流法影响不大。以河、湖下面活动带的形式出现的永冻层局部不均匀，能使磁大地电流测深曲线产生某种畸变。活动带的作用会在很宽的周期范围内使磁大地电流测深曲线变形。在这类地区，曲线无法解释。

库页岛北部

在库页岛北部典型的构造很窄，呈狭长状，走向南北（沿该岛的轴线）。这些构造叠加在较平缓的构造上，其中有些为狭长状（图4）。在构造图上，构造分为一个中间的复向斜和在东面和西面与之相邻的两个复背斜。中间的复向斜包括新生代杂岩，下伏有中生代和变质的古生代岩石。同样的岩石见于东西复背斜的岩系中，但新生代杂岩的厚度要小得多。

库页岛西部和中北部的整个地电剖面可分为三层，形成H型剖面。剖面的底部是高阻层，由中生代或新生代的火山岩或中生代-古生代变质岩引起。上覆有相当于砂页岩剖面的低阻（4—25欧姆·米）岩石，其岩性变化范围很大——由下至中中新统到上中生界。这些岩石的厚度为500至5000米。剖面的上部由上新世至晚、中中新世的较高阻岩层组成。剖面的这一部分厚度为200至5000米，而电阻率由20至100欧姆·米。沉积岩系的纵向电导变化于50至1000西门子之间。厚度由1至10公里。

在0.05至0.16秒周期范围内测得的磁大地电流测深曲

线，正如可以预料的那样，清晰地反映出一个表征上部层位厚度的下降段（ $0.1-0.5 < T < 0.5-10$ 秒）、一个极小值，以及反映沉积岩系总纵向电导的右侧上升段（ $20-30 < T < 100-200$ 秒）。应当指出，这些磁大地电流测深曲线的左支能在这样宽的周期范围内测出，是因为利用了苏联科学院地球物理研究所研制的PMTS仪器。该仪器大大增强了磁大地电流测深解决地质问题的能力。

对库页岛北部不同构造区磁大地电流测深曲线畸变的考虑使我们得出如下认识：

（1）沿该岛西部，横向曲线受到边界效应的畸变，很多曲线显示了电流分散和集中的影响。

（2）在该岛中部，出现的主要畸变是由电流集中和散开引起的。

（3）在该岛东部，纵向视电阻率曲线反映了海洋和局部感应效应的影响。

莫斯科台向斜

莫斯科台向斜的基底面有一个北西—南东* 向的宽阔的构造洼地，从北面的波罗的地盾延伸到南面的沃罗涅日地块和托克莫夫背斜。沿台向斜的轴部为中俄罗斯移置体（Gordasnikov and Troitskiy, 1966）。该构造由一系列以断层为界的上升和下降的基底断块组成，这些断层使基底表面产生突然的变化。可以预料，断裂带清晰地反映在沉积岩系的构造中。

复向斜中的沉积岩系分为两个基本的构造组合：前泥盆

* 原文为南西，似有误。——译者注

系组合和上古生界组合。这两个组合的区别是沉积条件和构造类型不同，它们代表地质演化的两个完全不同的阶段。两个组合中的构造单元的关系很复杂。前泥盆系岩层的构造明显地与基底组合面上的构造形态有关。上古生界组合的构造在移置体的轴部一般不对应于前泥盆系组合的构造单元（正构造单元对应于负构造单元）。沿台向斜的边缘，两个组合之间往往比较一致。莫斯科台向斜的整个地电剖面可表示为 KH 型四层剖面。由上至下的顺序是：

（1）奥陶期或更晚的以低阻（5—15欧姆·米）陆源沉积层为主的剖面段，其厚度由台向斜边部的几十米到该区中部的400—500米或更大。

（2）形成喀山组上部至下弗朗斯克亚组岩层下部的高阻层（50—150欧姆·米）剖面段。该组岩层的厚度从西向东由700—800米增加至1500米或更大。这些岩层电阻高并构成基底，正如直流电测深法显示的那样。

（3）代表下茨齐戈罗夫和中泥盆系与下古生界的较老岩石的低阻层。它们是礁和浅滩相，其厚度变化很大，从台向斜边缘的300至1000米到中心部分的1500至2000米，在中俄罗斯移置体范围内，厚度增至2500米或更大。在剖面的这一部分电阻率为1.5至2欧姆·米。必须指出，下部组合（陆源）底部的礁相岩石在台向斜的某些部分电阻可能较高。在该种岩石厚度大的地区，地电剖面成为五层的 KHA 型剖面。

（4）基底由太古界高阻结晶岩组成。

沉积岩系的厚度由台向斜边缘的1600米到轴部地区的4500米，而纵向电导由700—800变至2500—3000西门子。沉积剖面厚度和纵向电导的变化主要是第三层变化的结果，后

者受基底面起伏的控制。这就为在莫斯科台向斜用磁大地电流法填绘基底面起伏提供了一系列有利的条件。

在10至900秒周期范围内记录的磁大地电流测深曲线一般包括一个极小值和一个右侧上升段，后者反映沉积岩系的纵向电导。对磁大地电流测深曲线的分析表明，畸变主要是由电流的集中和分散效应引起的。此外，在地电剖面第二层高阻岩石埋藏浅并且断错复杂的地带，磁大地电流测深曲线上可能出现S-效应和屏蔽效应引起的畸变。在这种地区，大地电流场平均方向的变化受喀山组表面起伏的控制，喀山组起到屏蔽层的作用。在该岩组埋藏较深的地方，其屏蔽特性消失，它对大地电流的纵向分量以及横向分量起到盖层的作用。

东高加索山麓丘陵

东高加索山麓丘陵包括位于前寒武纪俄罗斯地台和大高加索阿尔卑斯褶皱带之间的高加索前陆地台（图8）。在东高加索山麓丘陵范围内有宽广的捷列克-库马洼地（Терек-Кума），后者在南面与沿地台边缘分布的盆地相接，地台的边缘发育有捷列克-里海盆地的早第三纪和晚第三纪岩层。该盆地在北面由宽阔的对称构造组成，在南面由较窄的构造组成，它使地台与阿尔卑斯褶皱区分开。隆起和盆地内充填有中、新生代岩石，位于密集褶皱的古生代基底上。基底面起伏很大，在南和东南方向的卡尔平山脊，埋藏深度1—2公里，而在捷列克-里海盆地中部达10—12公里。主要构造单元（卡尔平山脊、东马内奇盆地、普里库姆山脊和捷列克-里海盆地）一般近狭长状，具有相当复杂的构造。在大高加索大型复背斜范围内，古生代岩石出露于地表。在西面，

捷列克-库马盆地以斯塔夫罗波尔背斜为界，后者是古生代基底上的一个宽阔的隆起，其特点是沉积岩系的厚度明显变小。在东高加索前陆现代构造的形成过程中，构造变形起着重要作用；它在基底褶皱过程中导致大幅度起伏，并受该区断块构造的控制。

该区的整个地电剖面为 HA 型。随着每个层位相对厚度的不同，电阻率剖面可能由 H 型变至 A 型甚至二层剖面。

剖面的底部是古生代基底的断错变质岩层。它们具有极高的电阻率并形成电性基底。紧靠古生代岩层上面是高阻层，包括地台下部杂乱组合岩层——二叠、三叠和侏罗纪岩层。剖面中研究最为深入的这一部分电阻率由几欧姆·米变至几十欧姆·米或更高，厚度由零变至数千米。在该剖面的下部和基底上部之间无速度或密度差异或甚微。中生代和早第三纪至晚第三纪岩层中有一个低阻层。良导层的电阻率为1—3欧姆·米，而厚度变化于1500米至4000—6000米之间。在剖面的上部存在着高阻岩石（第四系和上第三系上部）。它们的电阻率变化很大，厚度由北面的几十米变至南面的几公里。

沉积岩系的平均电阻率往南由1增至3或4欧姆·米；变化最快的是在轴部附近和捷列克-里海盆地以南。随着由捷列克-里海盆地向大高加索的大型背斜过渡，良导层厚度迅速减小到原来的一半。

在基底埋深很大的地区，从15到2000秒周期范围内记录的磁大地电流测深曲线具有下降的左支（反映上部高阻层的厚度）、极小值和上升的右支（表征沉积岩系的总纵向电导）。在剖面不太厚的地方，曲线上有一个极小值和上升段，有时则只有上升段。

对磁大地电流测深曲线畸变的分析表明，横向曲线（电

流垂直大高加索地块)总是受到边界效应的畸变,表现为视电阻率值的减小。最大的畸变见于东高加索山麓丘陵的南部。离高加索山越远,周期越短,畸变就越小,横向曲线就越接近纵向曲线。纵向曲线(电流平行高加索地块)受畸变最少,能提供关于地电剖面垂直范围的准确信息。

塔吉克洼地

塔吉克洼地是一个地台边缘地区(山间盆地),说明在阿尔卑斯造山运动过程中有一个明显的中断。洼地中的沉积剖面包括中生代到早第三纪的地台沉积和晚第三纪到第四纪的造山磨砾层。沉积剖面的总厚度为8至12公里或更大。

主要构造单元具有大致南北的走向。交替出现的上升和下降带一般从几十到几百公里,而横断面为它们的 $1/10$ 至 $1/15$ 。沉积岩系可以分为两个亚段:位于盐层以上的上侏罗系之上的部分以及位于盐层以下的层位。剖面的上部是断块的复杂组合,由大量的纵向和横向断层形成。上部岩层的倾角为 $60-70$ 度。对该剖面下部的构造了解较差,但可以推测其构造会更为复杂。对基底和沉积剖面下部的构造没有作出什么假设。

塔吉克洼地剖面的地电关系受厚良导岩系的控制。良导层电阻率 $3-20$ 欧姆·米,覆盖在实际上不导电(电阻率 $2000-5000$ 欧姆·米)的基底面上。剖面的上部包含两个相对高阻($300-1000$ 欧姆·米)带,看来是直流电测深的基底。高阻层是古新统下部到中新统上部的碳酸盐岩和上侏罗统的盐层。此外,在上第三系上部岩层中也有高阻层。在盐下的侏罗系岩层和基底面之间有相对良导的($20-30$ 欧姆·米)二叠系和三叠系陆源岩层(Koshlakov and Konovlov, 1971)。