

地下动态导体的

何裕盛 著

充电法探测

地质出版社



地球物理勘察参考书

地下动态导体的 充电法探测

何裕盛 著

(中国国土资源航空物探遥感中心)

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书介绍电法勘探的新科技成果——地下动态导体的充电法探测。本书在较大程度上强调了定量解释推断,既是科技成果,也可当作工作手册来使用。

这种新探测方法可有效地用于解决水文、工程、环境、地质、矿产、建筑等方面的探测问题。例如,探测油田钻井压裂裂缝方位、规模和产状,井下注水水流方位,地震预报工作中的地应力方位测量,干地热区地热开采方案调查,地下水流速、流向的测定;还可以有效地进行地下污染源调查、跟踪,地下管道、管线探测,出现故障的地下电缆、电线探查,地下河、溶洞、地裂缝探测,地下水库探测,煤成气工程开发,地基稳定性探测,矿体开采监测等。书尾备有附录,以便于读者使用。

本书可供水文、工程、环境、地质、矿产、建筑等方面的研究人员、工程技术人员、教师和学生参考、使用。

图书在版编目(CIP)数据

地下动态导体的充电法探测/何裕盛著. -北京:地质出版社,2001.4
ISBN 7-116-03405-6

I. 地… II. 何… III. 导体,地下动态-充电法勘探 IV. P631.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 18070 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路28号)

责任编辑:陈军申

责任校对:李 玫

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:850×1168^{1/32} 印张:5.75 插页:1页 字数:145千字

2001年4月北京第一版·2001年4月北京第一次印刷

印数:1—1000册 定价:15.00元

ISBN 7-116-03405-6

P·2187

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)



改进方法技术
扩大服务领域
提高应用效果

夏国治

二〇〇一年冬

序

众所周知,充电法是金属矿区用来追索良导电矿体走向、圈定矿体范围、寻找相邻盲矿体和确定矿体是否相连等问题的最有效方法。1978年,由何裕盛等编著出版的《充电法》一书,总结了我国自建国以来充电法在方法理论、方法技术和实际应用等方面的研究成果,为进一步发挥充电法在固体矿产勘查中的作用,提供了一本很好的、具有指导意义的参考书。

20多年来,随着国民经济建设的迅猛发展,在水文、工程和环境等领域中提出了许多实际问题,亟待用地球物理方法去解决。20世纪80年代初,由作者与几位专家合作完成的“用充电法确定钻井压裂裂缝方位研究”项目,第一次将充电法用于解决大深度的油田工程问题,并在大港油田取得了较好效果,便是充电法成功应用的一例。

鉴于充电法在解决水文、工程和环境问题中的研究对象与固体矿产领域的有所不同,多为流动或变化着的导体(如在确定地下水流速、流向中的水体及在确定压裂裂缝方位时的注液体等),因此作者将充电体划分为“固态导体”和“动态导体”,并进而提出“固态导体充电法”和“动态导体充电法”的概念,这在国内尚属首次,有重要科学和实际意义。

为了推动“动态导体充电法”的发展,作者在多年研究的基础上,撰写完成了《地下动态导体的充电法探测》这本书。本书较全面、系统地阐述了动态导体充电法的理论基础、地电模型的建立、工作方式、观测方法、不同参数的异常规律、资料处理技术和异常解释推断方法等。书中给出的12种地电模型及在如何确定地下动态导体的规模、走向及长度、倾向和倾角等定量解释方

面提出的一些新方法，如改进型量板对比法和等效电阻法等，均有重要参考价值。

相信本书的出版，必将对开展动态导体充电法的实际工作产生重要影响并起到积极推动作用。

李金锦

2000年12月1日

前 言

将充电点布置在良导性矿体上，与导体形成良好接触，然后在地面上、坑道或钻孔中进行充电电场的观测，根据对观测结果的分析（解释推断），确定矿体的产状和规模，这是充电法的最基本方法。50多年来，充电法的含义按照不同思路得到不同扩展和发展，可谓五花八门。在矿体导电性方面，也可用于导电性不十分好的矿体——不等位导体充电法；在充电点布置方面，充电点可布置在矿体附近的围岩中——围岩充电法；在观测电极布置方面，电极可布置在钻孔中或地面、钻孔中——钻孔充电法或孔-地组合充电法；在供电内容上，供以交变电流并观测在围岩中产生的磁场——磁充电法；供以直流电或低频交流电并观测其二次场——激发极化充电法；既观测其一次场也观测其二次场，对它们综合研究——时域充电法；在增大电源功率上——大功率充电法；在探查对象方面，如以矿田为探测对象或干脆用于矿田地质填图——矿田充电法或小比例尺充电法。这里我们将给出更为概括的方法，即通过探查“动态导体”解决水文、工程、环境、矿产等方法——动态导体充电法。

人们很早就用物探方法，特别是充电法解决地下水的流速、流向问题，研究对象是地下流动着的水体。近年来在油田开发中，钻井中进行压裂、注液和加沙，形成人造导电裂缝，需要确定导电裂缝的走向方向。研究对象是地下变动着的水体。类似的事例还有很多。这类流动着或变化着的物体，显然与金属矿体等“固态物体”或“固态导体”不同，我们把它们归成一类，称为“动态物体”。如果它们具有良好的导电性（天然的或人工形成的），则通称为“动态导体”。我们研究的对象主要是动态导体。由于动态

导体代表的广泛性，很自然地要求我们把对它们的探测作为一项课题来研究。本书介绍了初步研究成果，我们希望这是一个专门研究充电动态导体电场的良好开端。

本书适用于地下隐蔽动态物体参数的探测，即工作开始前地下物体不存在，经过人工处理或自然变化后，地下出现了伸长形状的导电物体（如电解液），即伸长形状的动态导体。这里举出地下动态导体的一些例子：①采油工艺中钻井压裂导电裂缝水体；②井下注水导电水体；③地下注水地应力导电水体；④干地热区井下注水导电水体；⑤地下水导电水体；⑥地下污染导电水体；⑦地下出现故障的金属管道、管线；⑧地下河、溶洞、地下裂缝；⑨地下水库；⑩煤成气区地下注水水体；⑪地下地电背景物体随时间变化（对应地基稳定性变化）；⑫因开采而变化的固态导电矿体（如金属矿）。

在1982年，我、吴汉荣与丁庆年、张金成等人在大港油田参加了由原石油部大港油田采油工艺研究所和原地矿部勘探地球物理地球化学研究所联合组织的研究组，开展了“充电法确定油井压裂裂缝方位的研究”。我承担了“方法的理论基础研究”部分。用数学模型分析方法研究了地下导电裂缝的充电电场，提出了确定导电裂缝方位的工作方法（二极供电二次观测法，指供电电极为二极——正极和负极，压裂前和压裂后各观测一次的方法）和解释推断方法（环线横向梯度观测法），并立即在大港油田得到有效地应用。这一方法在探测深度上有所突破。尤其是在开发出相应的仪器设备之后，这一方法在实践中，特别是在确定油田人造地下导电裂缝和注水导电裂缝的方位方面得到充分的应用，取得了明显的经济效益。同时这种方法也经受了长期的考验。

随着社会经济和科学技术的不断发展，对探测导电裂缝（更确切地说是探测动态导体）的深度和产状也就有了更高的要求。不只要确定其方位，也要提高其探测深度，确定其大致规模、长度和倾向、倾角。对其走向的确定也希望提高准确度。如何确定地下动态导体规模、走向、长度、倾向和倾角等参数；如何将国

民经济和社会建设中的诸多问题，通过划归动态导体、建立相应地电模型和实地探测、解释推断的过程给以解决。同时，也考虑到不同行业对确定动态导体产状的不同要求，在方法应用的灵活性和精度要求上进行研究。由此形成了一套新电探方法，即“地下动态导体的充电法探测”，简称“动态导体充电法”。

作者本人从 20 世纪 60 年代初开始从事充电法的研究和实践，迄今已逾 40 年，在事务纷繁时也从未间断对充电法的跟踪和研究。视野逐步拓宽，研究的对象从金属矿探测扩展到工程、水文、环境探测，研究的重心从固态导体扩展到动态导体。迄今为止，国内出版的有关充电法探测专著仅有两部，即 1978 年出版的《充电法》和手下这本《地下动态导体的充电法探测》。这两部专著都是由本书作者撰写的。

在研究中，以国内外先进水平为起点，所取得的初步成果中的大部分均在本书中予以介绍。其要点如下。

(1) 建立了“动态导体”新概念和基本地电模型。这种将探测导体划分为“固态导体”和“动态导体”新概念，是我们提出新方法的理论和物性基础。它归纳了自然界和社会的许多实际应用课题。

(2) 提出了以差值法为基础的“二极供电二次观测法”和“三极供电二次观测法”。它们是消除 A 极（如果 A 极是钻孔或钻井金属套管时）、 B 极和围岩中的不均匀干扰，求测动态导体纯异常的方法基础。其中视纯异常和纯异常等基本公式以及采用差值法是新方法方案的基础。这一方法使观测质量大为提高，有用信号由十几毫伏级提高到十几微伏级；使探测深度大为增加，由几百米提高到几千米。同时提出了求测分流系数 n 和动态导体接地电阻的方法。

(3) 提出了供电系统中二极供电电极系列、三极供电电极系列、充电动态导体形成前后两次和多次供电观测方式；提出了环形测线电位观测、纵向梯度观测、横向梯度观测和直线测线纵向梯度观测等方法。同时，提出了求测纯异常及动态导体参数的解

释推断方法。其中环线横向梯度观测法,在1982年成果的基础上,有了新进展,特别是理论曲线类型由一种增加到多种。

(4) 为了求出动态导体的规模和估计其产状,首次提出了“电阻等效导体”的概念,同时引入导体表面面积参数,建立起“实测接地电阻与球体接地电阻及其表面面积,旋转椭球体接地电阻及其表面面积,旋转椭球体规模和产状”的数理关系,并作了推广,从而解决了估计动态导体规模问题。

(5) 在较大程度上强调了定量解释推断。特别是在使用改进型量板对比法进行定量解释方面,扩展了实用范围,给出了环线排列的解释方法,同时改进了解释方法,增加了解释参数,提高了探测深度。

(6) 对于地下观测,提出了孔-地组合法。方法中引入了差值法和层析解释概念,提高了确定非充电导体位置的准确度。

值得指出,动态导体充电法研究只是有了良好的开端,尚有许多课题需要后人去研究,如动态导体充电法定量解释推断电脑化等等。

上述研究成果,是我们极力主张推广的新方法。书中所提的其它方法成果也各具特点,可视具体情况加以使用和发展,会取得令人满意的效果。

中国地质大学博士生导师傅良魁教授生前对本课题研究给予首肯,博士生导师李金铭教授审阅了本书并为之作序。中国国土资源航空物探遥感中心领导对本书的出版给予了支持。特别是国土资源部高咨中心顾问、原副部长夏国治同志为本书题词。题词将成为我和我的同行们新世纪工作的座右铭。作者在此一一表示深切的谢意。

何裕盛

2001年1月1日



作者简介

何裕盛 (He Yusheng), 高级工程师, 1934年10月生, 满族, 吉林市人。1958年毕业于长春地质学院物探系, 在地质部所属单位工作, 最后任职于中国国土资源航空物探遥感中心。历任研究室负责人, 处长, 地质学会物探、遥感学会专业委员, 地标委物化探分会委员, 《物探与化探》等四个杂志的编委, 受聘成都理工大学客座教授。

长期从事物探 (特别是电法勘探, 如充电法、自然电场法和激发极化法)、物探信息和遥感地质等专业研究。在电法消除地形影响、探测地下人造裂缝、电法异常区分、解释推断、找矿应用和遥感综合勘察等方面取得成果。曾赴加拿大、俄罗斯和乌克兰进行考察。曾主持了若干物探电法和遥感地质方面全国性重点项目。

已发表论文二十余篇, 代表性论著有:《充电法》专著 (1978年)、《导电纸模拟在地质工作中的应用》(1988年)、《寻找内生隐伏矿数值预测法的应用效果》(1994年)、《我国遥感地质学进展和趋势》(1994年)、《地下动态导体充电法探测概论》(2000年)等。近期完成了本专著。

目 录

序

前言

第一章 方法的基本概念和理论基础	(1)
第一节 绪论	(1)
一、地下动态导体	(1)
二、充电法在探测动态导体方面的任务	(2)
三、几种充电法地电模型	(4)
四、测线布置和观测方式	(8)
五、观测仪器和设备	(12)
第二节 地下动态导体电场基本公式、参数和概念	(14)
一、二极供电电极系列基本公式	(14)
二、三极供电电极系列基本公式	(17)
三、纯异常电位基本公式	(19)
四、纯异常梯度基本公式	(22)
五、电阻等效导体	(24)
六、地表界面对导体接地电阻的影响	(27)
七、地下介质电阻率 ρ	(30)
第三节 基本数学公式	(32)
一、地下点源的电场	(32)
二、充电井的电场	(33)
三、地下充电线形导体的电场	(33)
四、地下充电伸长旋转椭球体的电场	(36)
五、地下充电矩形薄板的电场	(38)
六、充电井 A 和汇流井 B 的电场	(41)
第二章 观测方法和解释推断方法	(43)
第四节 充电法电场观测系统概述	(43)

一、充电法电场观测系统的进展	(43)
二、观测设备和线路	(44)
三、电场观测内容	(45)
第五节 环线电位和纵向梯度法	(48)
一、环线电位观测法	(48)
二、环线纵向梯度观测法	(50)
第六节 环线横向梯度法	(54)
一、环线横向梯度观测法	(54)
二、环线半径 r 和 MN 极距 Δ 的选择	(60)
三、二极供电和三极供电的多次观测法	(61)
第七节 直线测线电位和纵向梯度法	(62)
一、常规测网纯异常观测法	(62)
二、共轭角-半径比值法	(64)
第八节 等效电阻法	(70)
一、接地电阻法	(70)
二、动态导体表面面积估计法	(74)
第九节 充电动态导体的定量解释方法	(81)
一、数学模型	(81)
二、用于水平分布导电薄层的特征点法	(81)
三、量板对比法	(84)
第十节 孔-地组合法	(103)
一、差值法中的非充电体纯异常	(103)
二、非充电体纯异常的差值层析解释法	(111)
三、充电法中用差值法消除不均匀体影响的方法	(113)
第三章 方法的实际应用	(115)
第十一节 野外工作方法	(115)
一、供电-观测系列	(115)
二、数据的图示	(118)
三、野外工作方法和技术	(118)
四、数据校正方法	(123)
第十二节 初步实际应用	(127)
一、某厂区地下水分分布探测	(127)

二、查清某场区污水的地下去向	(128)
三、测定地下水流速和流向	(131)
四、查明地下电缆漏电部位	(135)
五、在地震地质中确定地应力方位	(136)
六、在油井大型压裂中测定人工裂缝方位	(137)
七、确定注水井的注水水线分布	(139)
结束语	(141)
参考文献	(145)
附录 A 野外记录格式	(146)
一、梯度观测记录格式 (常规方法) (二极一次观测系列) ...	(146)
二、电位观测记录格式 (常规方法) (二极一次观测系列) ...	(146)
三、充电法观测记录格式 (常规方法) (二极一次观测系列)	
.....	(147)
四、环形测线视纯异常法记录格式 (二极二次观测系列)	(147)
五、环形测线视纯异常法记录格式 (二极二次观测系列)	(148)
六、纯异常法记录格式 (三极二次观测系列)	(148)
七、供电系统测量记录格式 (三级二次观测系列)	(149)
八、观测系统测量记录格式 (三极二次观测系列 梯度)	(150)
九、观测系统观测记录格式 (三级二次观测系列 电位)	(150)
附录 B 计算程序 (Casio-fx502p)	(151)
一、伸长旋转椭球体接地电阻程序	(151)
二、伸长旋转椭球体表面面积程序	(151)
三、线形导体电位和梯度程序 (理论型)	(151)
四、线形导体电位和梯度程序 (实用型)	(154)
五、充电伸长旋转椭球体电位和梯度程序	(156)
六、充电矩形薄板电位公式程序	(160)
七、矩形薄板中心纵剖面电位梯度程序	(163)
八、矩形薄板中心横剖面梯度程序	(166)
九、直线测网梯度零值线计算程序	(168)
十、直线测线法 (R^*/R) - β 关系计算程序	(169)
十一、供电系统测量计算程序	(170)
十二、观测系统数据计算程序	(171)

第一章 方法的基本概念 和理论基础

第一节 绪 论

一、地下动态导体

充电法是电法勘探方法中的一种，它的工作对象很多。首先是寻找导电性良好的矿体，这些矿体一般是指固体。在矿体露头上（包括导电矿体或其它导电固体的天然露头和探槽、浅井、坑道、钻孔、钻井等工程揭露的人工“露头”）接上供电电极的一个极（一般是正极）——充电点，另一个极安装在离矿体足够远的地方（“供电远极”或称“无穷远供电电极”），使其影响可以忽略不计；或者安装在测区边缘，通过适当处理方法消除其影响。通电时这个矿体就成为一个带电体，电流通过矿体流入周围岩石中形成电流场（简称电场）。我们可以在地表、钻孔和坑道中测得这个电场的分布。通过对此电场的分析，就可以解决地质找矿等方面有关问题。

有时充电点也可以安置在矿体附近的围岩中，根据矿体对点源电场的影响来寻找附近围岩中的盲矿体或研究导电带的分布，这时可称“围岩充电法”。对于充电电场，可以根据不同的地电模型，用不同的方式进行观测。

与我们常见的导电性良好的固态导体不同，自然界中还存在着“动态导体”。所谓动态导体系指其形状、规模和导电性随时间而变化的导体。存在于地下的动态导体称为地下动态导体。这类

导体在自然界确实存在着，如某些地下水；在人文条件下也确实存在着，如油田开采中的大型压裂和注水等。通过概念的延拓之后，上述固态导体成为动态导体的特例。为了确定和查明动态导体在地下的分布和产状，使用常规方法将遇到困难。这就要求科研人员根据动态导体的形状、规模和导电性随时间而变化的特点（包括一种因素，也包括几种因素随时间的变化），提出新概念、新参数、新方法和新手段等，以适应新条件，新任务、新问题。本书的重点就是介绍地下动态导体的充电法探测理论和方法。

二、充电法在探测动态导体方面的任务

使用充电法除能有效地探测金属矿体外，还可在探测动态导体等许多方面发挥特殊作用。充电法在探测动态导体方面的任务简列如下。

1. 确定油田钻井压裂裂缝的方位和规模

在油田开采过程中，对低产油井进行大型压裂，用强大压力向油井内注液和加沙，使油层出现裂缝。在注液和加沙时，加入食盐等有关强电解质盐类，使裂缝中充满电解液的导体，成为导电裂缝。用充电法确定该导体裂缝的方位，以便以后在垂直于导电裂缝的方向上选择注水井位置，以压迫石油向压裂裂缝汇聚，从而提高油井的石油产量。有时还要求使用充电法了解导电裂缝的规模、长度等其它参数。

2. 确定向井下注水的水流方位和分布

对于石油开采中和其它工程施工中，使用充电法确定注水井的水流方向，可以提高注水效益。

3. 地震地质和构造地质中确定地应力方向

使用充电法，通过向地下注入强电解质等措施，查明岩石中最大应力方向，为地震地质和构造地质提供有益资料。

4. 地热开发中选择热水井井位

在干地热区（干燥无水的热岩石区）开发地热资源时，可在地热区先打一口井，然后对该井进行大型压裂，同时注入导电液，

形成动态导体裂缝，使用充电法确定导电裂缝的方位。再在裂缝末端打第二口井。在第一口井注水，在第二口井抽出被加温了的热 水，从而达到地热开发的目的。

5. 查明地下水分布、流速、流向

在水文地质工作中，为确定地下水的流速、流向，通常是将食盐、氯化铵等强电解质投入井中待测的含水层位。盐晕起初呈圆形，由于地下水的移动，盐晕也向前移动，但同时井孔的盐又不断溶解，形成新的盐晕，于是盐晕的形态由圆形变成了似椭圆形。由于盐晕的电阻率比淡水低很多，可以认为是一良导体。可以通过盐晕的充电电场的变化来了解盐晕形态的变化，从而了解地下水的运移情况，特别是流速、流向。

6. 追索地下污染源和查明污染流的分布

有些工厂将污水偷偷地排入地下，这些污水含有大量氯、苯、酸、碱等污染物，对环境和生态的破坏性极大。这些污染物排入地下后，形成良导电溶液，即形成动态导体。使用充电法可以对污染物进行追踪，查明其方位和分布，还可用于治理后的检查和经常性监测。

7. 追索地下管道、管线，探查电缆电线漏电部位

在城市及广大农村，特别是施工档案不健全的地方，经常遇到查明地下金属管道、管线分布和地下电缆漏电部位等任务。使用充电法可以有效地追索它们的分布，实现无损探测。

8. 查明或追索地下河、地下溶洞和地裂缝

在岩溶地区，地质构造条件十分复杂，但只要条件合适，使用充电法可以查明地下河和地下溶洞的分布。某些泉水涌出地表，从何处流来；有些河流进入地下，流往何方。均可使用充电法查明其来龙去脉。用充电法可以有效地监测煤田和矿田采区地下水动态。

由于地震、地面沉降或其它原因出现的地裂缝，大部分为草皮或表土覆盖，需查明其分布情况。这类问题使用动态导体充电法探测可以解决。