

国家安全地球物理丛书(二)

龙凡 ◆ 主编

国家安全 工程地球物理研究



中国地球物理学会
国家安全地球物理专业委员会

编

白 山 出 版 社

国家安全地球物理丛书(二)

国家安全 工程地球物理研究

龙 凡 主编

中国地球物理学会
国家安全地球物理专业委员会

编

白山出版社

图书在版编目(CIP)数据

国家安全工程地球物理研究/龙凡主编. —沈阳:白山出版社,
2006.7

(国家安全地球物理丛书;2)

ISBN 7-80687-383-X

I. 国… II. 龙… III. 地球物理勘探-文集
IV. P631-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 072025 号

出版发行:白山出版社

地 址:沈阳市沈河区二纬路 23 号

邮政编码:110013

电 话:024-23088689

责任编辑:周凤鸣

装帧设计:赵连志

责任校对:戴邦新

印 刷 厂:沈阳市政二公司印刷厂印刷

开 本:787×1092 1/16

印 张:14.75

字 数:380 千字

版 次:2006 年 8 月第一版

印 次:2006 年 8 月第一次印刷

印 数:1-300 册

书 号:ISBN 7-80687-383-X/I·93

定 价:80.00 元

《国家安全地球物理丛书(二)》编委会

主 编:龙 凡

副主编:刘代志 肖国明 宋长青

编 委:(以姓氏笔划为序)

邓念庭 王家映 龙 凡 刘代志 刘怀山 宋长青 肖国明

徐白山 韩天成 韩吉民

编委会秘书长:刘 羽

常务秘书:孙 锋

国家安全地球物理专业委员会委员名单

主任委员:刘代志

副主任委员:龙 凡 孙更文 靳 平 陈玉春

委 员:刘代志 龙 凡 孙更文 靳 平 陈玉春 曾新吾

边少锋 孙凤华 刘怀山 韩吉民 张金城 陶 勇

高增勇 王晓航 王家映 郭有光 陆其鹤 顾左文

腾云田 杨选辉 刘光城 慕晓冬 孙新利 王红霞

刘 刚

顾 问:刘光鼎(院士) 何继善(院士) 刘振兴(院士)

许绍燮(院士) 游光荣(总工)

序

地球是人类赖以生存和发展的空间。地球科学包括地质学、地球物理学、地球化学和其他有关学科,其基本任务是从不同角度来认识地球,为国民经济建设中提出的广泛需求服务。地球物理学是应用物理学的理论、方法(重力、磁力、电法、地震、放射性、地热、遥感等)来认识地球,尤其是它的内部结构、成分和演化历史,为矿产资源的勘探与开发、环境的检测和保护、灾害的预警和防治服务,其应用领域是极其广阔的。

国家安全地球物理学是地球物理学最新发展起来的分支学科,它应用地球物理学理论、方法与技术,解决国家安全领域和国防建设中所涉及的各种地球物理问题。近年来,在军地学者中开展了广泛的研究和应用,如军事工程地球物理、军事情报侦测地球物理、军事空间地球物理、军事区域环境地球物理、军控核查地球物理的研究,以及地球物理在国家安全与军事方面的其他应用研究。在研究工作中,已就地球物理武器、地球物理战、地球物理探测方法、技术及仪器设备,军事地球物理数据处理理论、方法、技术及国防工程地球物理进行了卓有成效的攻关,对国家安全领域内的国防建设和国民经济建设发挥出了重大作用。

国家安全涉及的范围很广,除了以军事领域为主的学科问题外,还涉及水资源安全、环境安全、工程安全等诸多方面,如地下水资源探测及评价,地质灾害监测预报,地下雷弹埋体隐患及地下管网探测,设防工程、堤防工程隐患险情探测,国防工程地下围岩探测,岩土工程安全评价,地下隐蔽工程探测等。

中国地球物理学会设立的国家安全地球物理专业委员会,以发展国家安全地球物理理论、方法、技术,为国家安全 and 经济建设服务为宗旨,为广大军地科技工作者搭起了地球物理为国防建设、国民经济建设等国家安全方面服务的桥梁和平台。尤其是在水资源安全、工程建设安全和环境安全方面做出了卓有成效的工作,取得了丰硕的研究应用成果和显著的军事、社会、经济效益。

沈阳军区十分重视地球物理在军事领域内的应用研究,为保卫东北边疆的安全和振兴东北老工业基地作出了很大贡献,同时为召开“第二届国家安全地球物理学术研讨会”以及本论文集的公开出版给予了大力支持。这将为促进用科学发展观统领国家安全地球物理的研究和发展起到重要作用。

中国科学院院士
中国地球物理学会名誉理事长
中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院院长



2006年7月6日

前 言

国家安全地球物理专业委员会成立近一年的时间里,广大的军地科技工作者结合各自的工作实际,对国家安全地球物理的方法技术、探测仪器、信息处理和分析评价等方面进行了深入的研究和应用,尤其是在致力于与国家安全紧密相关的工程勘察、探测、检测与监测的基础理论、方法技术研究及其实际应用,同时以能源(地热)、资源(水资源)、环境、灾害工程的综合勘探成果服务于国防建设和国民经济建设等方面取得了可喜的成就。

在飞速发展的国防建设和国民经济建设中,地下隐蔽工程和地面的大型工程,国家的大型重点工程项目等场地选择与评价,复杂地质条件下的国防公路、电力管线、通讯光缆的线路选择,滑坡、泥石流、地下洞穴、侵华日军遗弃的化学武器雷弹等环境地质灾害隐患的监测、预测与治理,特别是近年来日益俱增的人防工程、隧道、桥梁、护坡、堤防、路基、飞机跑道、锚杆锚锁、大型建筑物等的质量检测与评价,地下热能勘探,地下水源探测和水质评价等问题的解决,都离不开地球物理技术。

本次会议重点就水资源、工程、环境等方面的工程与勘探地球物理进行研讨。作为“国家安全地球物理丛书(二)”收录的40篇论文,涉及的地球物理应用技术有:高可靠性的地震CT,电磁CT和核磁共振,高分辨率的地质雷达以及实用有效的瞬变电磁、高密度电阻率、地震、磁法、重力、遥感等方法;涉及的评价目标有:地下水探测和水质评价,基础地质条件探测和灾害地质评价,地下雷弹埋体隐患及堤坝险情探测等,各论文从不同角度对地球物理方法的研究应用进行了精辟的论述。

本次研讨会的召开和论文集的出版,得到了上级学会的正确指导,得到了工程地球物理专业委员会、勘探地球物理委员会的全力协作,得到了沈阳军区司令部首长、机关领导的大力支持。中国地球物理学会名誉理事长、中国科学院刘光鼎院士亲自为论文集作序,为国家安全地球物理的发展指出了更宽广的前景和方向。会议承办单位沈阳军区司令部工程科研设计所领导,协办单位东北大学资源与土木工程学院、中国地质调查局沈阳地质调查中心、劳雷工业公司,都为本次研讨会的召开和国家安全地球物理的发展作出了重要贡献。在此,我们向所有给予了关心支持帮助的首长、领导和专家、战友们一并表示衷心感谢!

龙 凡

2006年7月6日

目 录

序	(1)
前言	(1)
勘探地球物理在地下水探测中的研究	龙 凡 韩天成 宋长青(1)
沙漠地区地下淡水体瞬变电磁异常特征及分析	韩吉民 赵国泽 王永梁 汤 吉 易北江 王文昌(16)
地面核磁共振方法探测地下水资源和应用前景研究	潘玉玲 王家映 李振宇(22)
遥感信息技术在军事水源侦察中的应用研究初探	韩天成 龙 凡 冯雨林 郑东明(28)
综合物探方法在克旗地热勘探中的应用研究	龙 凡 韩天成(33)
电磁导弹与电磁勘探	王家映 潘玉玲(44)
地质雷达在隧道超前预报中的应用	吴宝杰 田 钢 林金鑫(46)
碳纤维云无源电磁干扰技术研究	刘代志 王红霞(51)
磁通门技术在安全和经济建设中的作用	丁一凡 孙宇平 丁鸿佳(56)
地下核爆空腔瞬变磁异常特征	韩吉民 赵国泽(59)
时频分析在地震资料分析中的应用	刘怀山 焦叙明 童思友(65)
侦察遥感图像处理中的地球物理问题初探	李树甫 陈 亮(70)
水下无源导航重力匹配算法设计与仿真	戴全发 许大欣 许厚泽 蔡小波(75)
重力空白区平均重力异常的确定	孙凤华 曾安敏 李慧智(80)
高密度电阻率法值得探讨的问题	孙中任 甄凡玉 赵雪娟(86)
被掩埋磁性物体的磁法探测实验及实例	王传雷 喻忠鸿 吕邦宋 吴文贤(91)
五极纵轴测深法在黄河丁坝根石探测中的应用	张宝森 杨根友 齐洪海 安景楼(97)
高频电磁核法测试混凝土体强度的研究	徐白山 韩 君 靳 辉(102)
煤矿区域内建筑地基隐患快速探测	徐白山 靳 辉 周红帅(107)
短波通信中电离层异常变化的影响初探	洪 亮(111)
金山店矿区暗室浅层地震勘探试验研究	张金城(115)
用地质雷达探测地雷	冯 晖 刘 财 杨宝佳 佐藤源之(121)
地下埋体隐患探测仪器及其应用技术研究	韩天成 龙 凡(126)
高原高寒场区勘测和施工支护技术的研究与应用	舒国铭 胡金山 张冠洲 杨 杰(131)
计算机代数在人卫轨道摄动分析中的应用	袁峰华 边少锋(135)
瞬变电磁法探测地下洞体研究	薛国强 闫 述 底青云(140)
一次爆破与地震事件的初步分析	杨选辉 李 强 沈 萍 张 斌(146)

浅地层裂隙孔洞探测仪研制及应用	宋长青	龙 凡	韩天成 (151)
高精度磁测在哑弹探测中的实验效果	楚福录	刘爱平	李卫东 (157)
小回线装置 TEM 法在病害地质勘察中的应用	陈明生	闫 述	石显新 (162)
现场视察地球物理探测技术发展现状及展望	韩吉民	赵国泽	(165)
基于线性回归模型累积法在外测数据处理中的应用研究	吴晓露	宋仔标	刘代志 (174)
采用岩石爆炸损伤模型模拟地下爆炸应力波辐射模式	严 波	曾新吾	(180)
基于 AHP 法的地下水质模糊综合评价	蔡幸福	李天柁	周春林 (185)
海底天然气水合物识别特征研究	刘怀山	马光华	张锦昌 (189)
电测方法在高氟病区地下水探测中的应用研究	龙 凡	韩天成	(194)
高铁地下水的地电特征	龙 凡	韩天成	(200)
多功能水源侦察仪及应用效果	龙 凡	宋长青	韩天成 (204)
论地震灾害心理生成的动力学机制	董惠娟	邹其嘉	顾建华 (212)
灾害造成与心理伤害的相关性研究	董惠娟	邹其嘉	顾建华 (218)

勘探地球物理在地下水探测中的研究

龙 凡 韩天成 宋长青

沈阳军区司令部工程科研设计所 110162

摘 要 本文详细论述了地下水探测中应用物探方法在各种复杂的地质、地形条件下准确地寻找到地下水源的三个基本途径:一是对不同物探找水理论、方法、技术的研究,选择出最佳工作方法;二是对物探找水相关仪器的研制和战术配套;三是正确掌握不同物探资料的地质定性分析及定量解释的方法,在已知区建立起各类储水构造的地电模型。

关键词 三位一体 三步走 三个原则 找水规律 储水构造地质-物性模型

在跨入新世纪,作为21世纪不可替代的战略资源——水,尤为突出地成为国防建设、国民经济建设和振兴东北老工业基地的重要保障条件。我国三北地区属严重干旱和半干旱地区,开发利用地下水是野战给水、国防供水和工农牧业用水的重要来源。地球物理勘探(简称物探)则是费省效宏的找水方法,但它具有方法应用的条件性和资料解释的多解性。如何应用物探方法在各种复杂的地质、地形条件下准确快速地寻找到地下水源,我们的研究表明,其基本途径是:

1 通过对不同物探找水理论和方法技术的研究,正确掌握不同地质任务、不同地质条件下地下水探测的最佳物探方法选择、地球物理基础和方法技术的应用,建立起地质、物探、钻探三位一体和野外探测三步走的最佳工作模式

地质、物探、钻探是水文地质勘察和寻找地下水的三种主要手段,如同医生给病人治病,地质好比门诊医生,它用肉眼直接观察来了解分析地层构造;物探好比X光透视、B超、CT、核磁共振和心电图等,它用专门仪器探测地层深部结构,为地质综合分析提供可靠的依据资料;钻探好比外科手术医生,它根据物探地质的探测分析设计,进行直接的验证开发。这三个方面既具有各自的独立性,又是相互关联的统一体,由此可见物探方法在水文地质勘察和地下水探测中的地位和作用,同时也说明,物探方法的应用也必须以地质为前提,有钻探验证方可取得更佳的地质效果和正确的地质结论。

以研究不同物理场空间分布规律为基础的各种物探方法种类繁多,通常我们主要应用以岩石导电性差异为基础的地面电阻率法、井中电阻率测井法;以岩石激电性差异为基础的激发极化法;以岩石自然激电性差异为基础的声频大地电场法和以岩石磁性差异为基础的磁法等综合物探方法,如表1所示。

表 1

主要水文物探方法的分类及应用范围

类别	场的性质	方 法 名 称		应 用 范 围		
地 面 电 法	被动源	自然电场法		探测地下水流向及地下水与地表水的补给关系、次生层状热水分布范围		
		声频大地电场法		探测岩性接触带、构造破碎带		
	主动源	电阻率法	电测深法		划分近水平层位、确定含水层厚度、埋深;探测基岩埋深,查明构造、风化壳厚度;圈定地下热水范围,划分咸淡水分界线	
			电剖面法	联合剖面法		追索断裂破碎带,探测基底起伏,寻找古河道,追索各种高低阻陡倾斜地电体及接触面,查明岩溶发育带
				对称四极剖面法		
				中间梯度法		
		高密度电阻率法		探测岩溶发育带,追索断裂构造,划分岩层		
	激发极化法		探测寻找和确定含水岩层埋深、厚度及分布,对储水量进行定量预报			
电测井	主动源	电阻率测井		划分钻井剖面,确定岩石电阻率参数,确定含水层位,划分咸淡水分界面		
	被动源	自然电位测井		确定渗透层,划分咸淡水界面,估计地下水电阻率		
热测井	被动源	温度测井		探测热水层,测定地温梯度,确定井内出水位置		
磁法	被动源	地面磁测		研究地球的天然磁场,寻找具有磁性差异的地质体,追索圈定赋水花岗岩风化裂隙带和断层破碎带		

各类物探方法,尤其是地面物探方法,都是通过观测地下地质体在地面产生的物理场空间分布规律来推断地质情况,达到地质勘探的目的,这比用肉眼观察推断,比钻探手段了解地层深部构造来说,显然具有透视性、效率高和成本低的特点。

在实际工作中,我们主要应用主动源的地面电法和井中电阻率法,在探测区的不同方向、不同范围,从点到线,从线到面,由近及远,由浅入深,对地下存在电性差异的地质体进行立体探测。同时,结合不同的地质任务和地质条件,应用被动源的磁法、声频大地电场法及自然电场法进行综合物探方法探测,由此获得物性信息反映出的地层岩性、地质构造和含水层分布“立体填图”的效果,以此来指导勘探工程的设计布置,使昂贵的勘探工作量最大限度地减少,以此来水文地质综合分析,使勘探工作质量最大限度地提高,同时以物探方法直接确定水源井位和钻探成井方案,使地下水探测的准确度和成井率极大地提高。

在水文地质勘察中,一般地,物探工作分三个步骤进行:

第一步,走在普查钻探设计之前的先期物探工作。根据不同地质任务、地貌单元和地区进行物探普查,为地质钻探工程的合理布局及井孔设计提供依据资料,这部分工作量一般占整个工作量的三分之二。我们承担的辽西和赤峰地区 21 幅 14 万平方公里的 1:20 万水文地质普查物探工作中,就以此减少了 345 个钻探孔工作量,节约经费 1863 万元。

第二步,根据水文地质综合分析的需要,在先期物探工作的基础上,在具有水资源远景地段重点进行较为详细的物探勘察,为地质综合分析、水资源储量计算提供更为翔实丰富的成果资料。在上述的 1:20 万水文地质普查中,配合地质钻探寻找确定了 67 个可供开采的供水水

源地;完成了东北西部山区和边海防地带的 1231 眼供水井的勘察定位工作,探测准确率达 98%,成井率达 100%。

第三步,根据已完成的钻探地质资料,对已有的各类物探资料进行再分析,对已获得的各种信息进行更深一步的处理解释,从中提炼出更多更准确丰富的地质成果,编制出种类成果图件并编写出成果技术报告。

在供水井探测定位工作中,一般情况下,因不同的地质条件,尤其是复杂地形条件的山区找水,单一的物探方法往往难以奏效,为此,我们将传统的单一物探找水方法发展为综合找水方法,从间接找水方法发展为具有直接找水特点的激电新方法,取得了突出的地质效果。

2 通过对物探找水相关仪器的研制和战术配套,为在复杂地形、复杂环境、复杂地质条件下快速精确采集地质物性参数、快速准确处理分析资料提供了重量轻、测量精度高、机动性能强、抗干扰能力强的系列探测设备

物探找水取得理想的地质效果,应具备内外条件。工作区地质、水文地质条件,被探测对象的物性差异和一定的产状条件,这是探测的内因条件;采用合适的人工电场装置、探测方法和先进的探测仪器,则是探测的外因条件。这两者正确有效的结合,是物探找水取得理想的地质效果的关键。然而,传统的物探仪器已经无法满足快速探测的需要。为此,我们结合多年来的野外工作经验,在广泛调研论证的基础上,针对野战特点,先后自主研制成功了应用激发电位测量技术的多功能水源侦察仪;应用高密度电阻率法的浅地层裂隙孔洞探测仪;应用天然激电差异为基础的声频大地电场仪,在战区地下水探测中发挥了重要作用。

(1)多功能水源侦察仪,是集地面电测与井中电测于一身的新一代地下水探测仪,仪器直接显示视电阻率、视极化率、半衰减时等七种物性参数及其曲线,与计算机连机可进行数据处理和图像打印。视极化率、半衰减时曲线能直观地反映出地下含水层的埋深、厚度和分布情况,极大地提高了复杂地形和复杂条件下物探找水的准确性。实际应用证明,资料分析的准确率在 98% 以上,定井和成井率达 100%。

(2)浅地层裂隙孔洞探测仪,能实时同步完成信息采集、数据处理、资料解释和成像图示,其彩色图像直观地反映出地下地质结构、岩性分层和含水层分布,在山区找水中能取得理想效果。

(3)声频大地电场仪,可广泛应用于山区基岩裂隙地下水探测中,不受地形影响,无需人工激发场源,成果反映直观,在地下水探测中发挥了特殊作用。

3 通过对物探资料分析解释方法的研究,正确掌握不同物探资料的地质定性分析及定量解释的方法,为地质普查勘探设计、水源井位设计、钻井施工和成井方案设计、水文地质综合研究和地下水储量计算提供可靠的依据资料

物探资料解释,总的原则是在充分掌握了解工作区内地质条件和物性前提下进行。我们的实践和研究证明,不论那种物探方法,尽管解释方法各有不同,都应坚持以下三个原则:

(1)以定性解释为基础的原则

在充分掌握地质资料并经钻探验证的情况下,研究分析出异常的特征、分布范围、大小、外形规整程度;异常的幅度、走向;异常的极大值与极小值及其比值;异常的梯度和稳定性以及引起异常的地质原因。在此基础上,通过适当的定量计算,确定其地质体的物性参数、边界范围、埋深和厚度等产状参数。

(2)从已知到未知的原则

资料解释之前,必须尽可能多地搜集工作区内已知的地质、水文地质和钻探资料以及前人所做的物探工作资料。在认真分析研究已知资料的基础上,根据井旁测深等资料,对比物探异常和地质特点,找出物探异常的特征和规律及其与地层岩性、构造的相互对应关系,以此来指导工作区未知资料的解释。

(3)及时解释和反复解释的原则

及时解释为地质勘察设计服务,为水源井位布设服务。

军事水文地质勘察和野战给水地下水探测的主要特点之一就是要快速准确地提交出探测成果,这就需要对野外所获得的物探资料进行及时解释,实时地为地质钻探设计和水源井施工提供依据资料。虽然很多勘察区是前人未曾工作过的空白区,可借鉴的已知资料甚少,给资料解释增加了难度,但经过及时解释的初步成果,经钻探的及时验证,从中总结出资料解释的规律,再及时修改勘探设计,从而提高物探工作的效率。

反复解释为综合水文地质分析和地质成果服务。

物探异常的推断解释不能是一次完成的,很多正确的结论往往要经过多次的实践——认识——再实践——再认识的过程。一定程度上讲,物性与岩性的转换需要一个长期的积累、反复的实践和认识过程,尤其是经过钻探工程验证过的已知资料,对照其钻孔地质剖面对物探资料进行再解释,可从中获得更多更准确的地质成果。

1. 定性解释方法

作为物探找水的主要方法,电测深法资料的定性解释任务是了解电性层与地层岩性和地质构造特征的对应关系,掌握它们沿垂直方向和水平方向上的分布和变化情况。电测深单支曲线、曲线类型剖面、等 ρ_s 剖面图、曲线类型平面图和不同极距等 ρ_s 平面图是主要定性解释图件,以这些图件从不同角度、不同勘探深度上,从纵向剖面和平面上把握住被探测地质体在空间的分布和变化,从中获得被探测对象直观的、立体的轮廓。解释过程从点(一维)到线(二维)再到面(三维)展开,然后再由面回到线和点,来具体解决水源井位的定位问题。

单支电测深曲线是一维地质解释的基础图件。在解释过程中,首先对工作区内已知井孔地

质资料、电测井资料和井旁测深 ρ_s 曲线进行综合对比分析,确定出地质体与 ρ_s 曲线的对应关系,判断含水层与隔水层、淡水层与咸水层、含热水地层与常温水地层在电阻率上的差异,掌握异常特征和曲线类型,建立起不同地质条件下的一维地质 - 电性模型,如图 1 为内蒙古湖积高平原一维地质 - 电性模型。

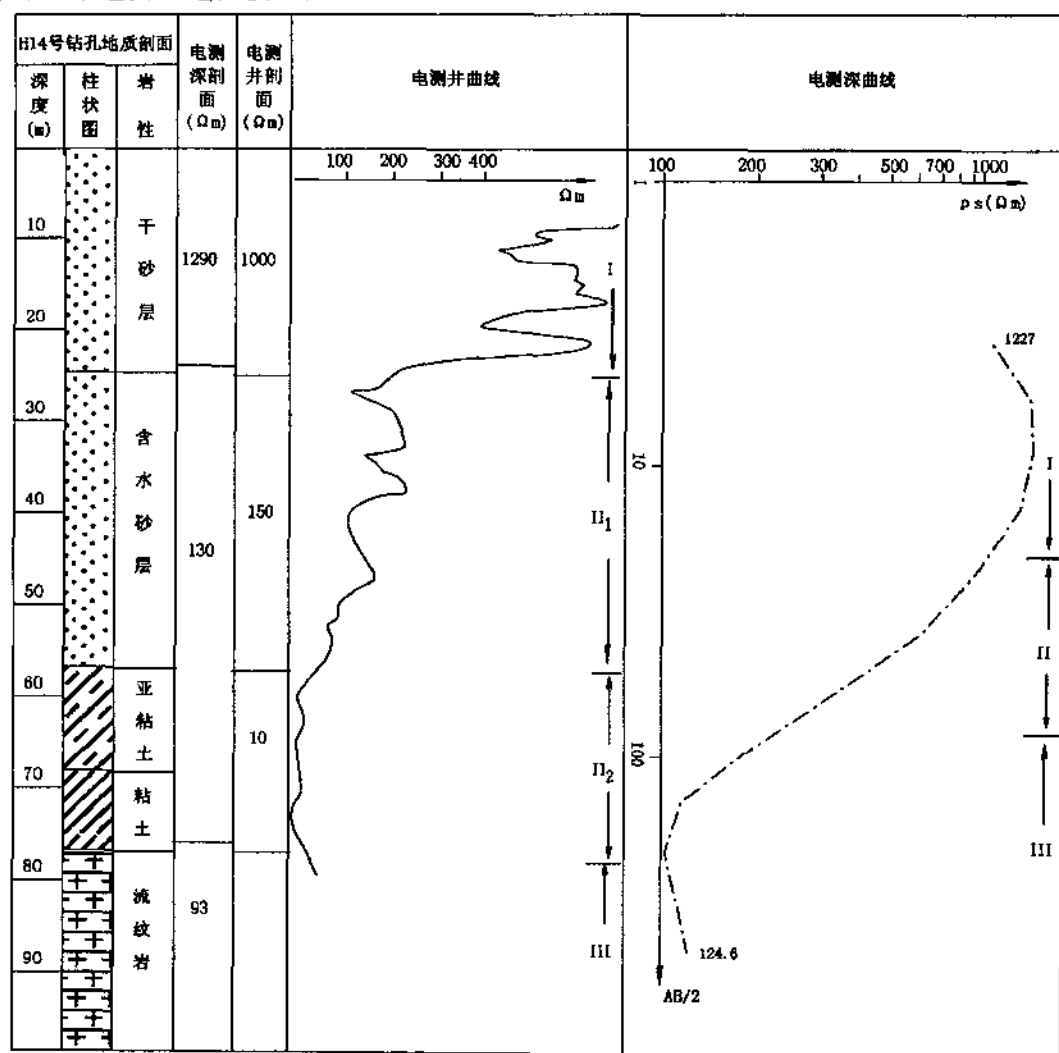


图 1 内蒙古湖积高平原一维地质 - 电性模型

综合电性剖面是二维地质解释的基本图件,它的解释是在一维地质解释的基础上进行的。其图件主要为电测深曲线类型剖面图和等 ρ_s 断面图。不同的曲线类型反映着剖面上不同位置垂向上的地层岩性、含水层埋深、厚度等地电特征。等视电阻率 ρ_s 的展布形态和电性分层反映着二维断面上各地层岩性和含水层分布,由此面建立起不同地质条件下二维地质 - 电性模型,如图 2 为辽西滨海平原的二维地质 - 电性模型。

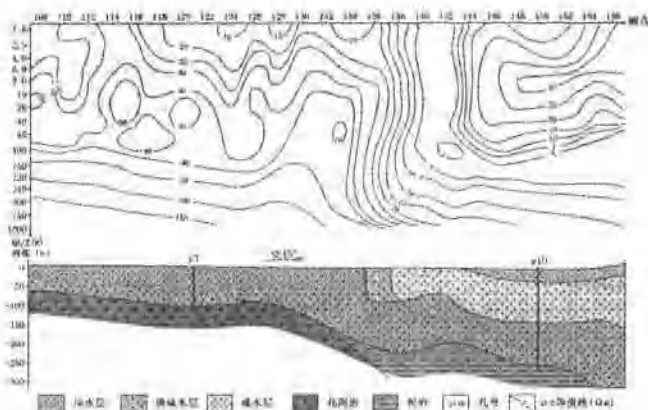


图2 辽西滨海平原的二维地质 - 电性模型

电性平面图是三维地质解释的基础图件,一是电测深曲线类型平面图。不同的曲线类型的电性分区,反映了不同地层岩性、地质构造在平面上的变化规律。二是不同极距等 ρ_s 平面图,反映不同勘探深度上地层岩性及含水构造的变化情况。由此而建立起不同地质条件下的三维地质 - 电性模型,如图3为赤峰西部高平原北部咸淡水分布的三维地质 - 电性模型。

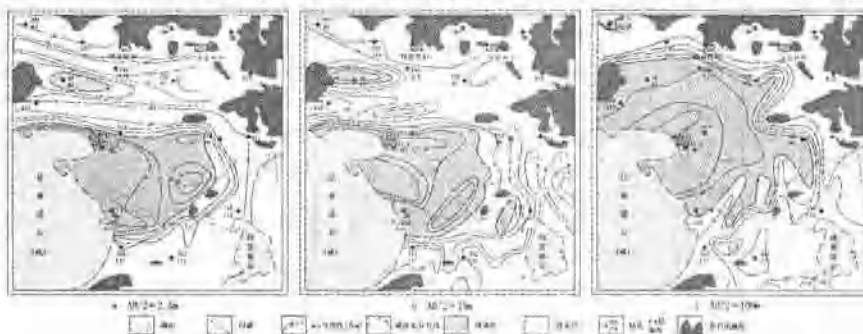


图3 赤峰西部高平原北部咸淡水分布的三维地质 - 电性模型

2. 定量解释方法

这里主要阐述电测深资料的定量解释。在对其资料进行定性分析的基础上,当各主要尤其是中间层和标志层电参数差异明显的条件下,常规的解釋方法仍是适宜的。实际工作中我们多配合二维反演、电反射系数(K)法和数理统计的回归分析法,极大地提高了定量解释的准确性。

(1) 二维反演

二维反演与一维反演的数学实质相同,都是以寻求到一个地电模型,使其对应的理论计算值与实测值在一定法则下得以最佳的吻合,也就是我们常称之为的“最优化方法”。

用计算机对物探异常进行定量解释的最优化算法,实际上是求多元极值的一种方法,其种类很多,如最速下降法(梯度法)、最小二乘法、单纯形法等,其中最小二乘法在电法资料解释中应用效果最好。其解释的基本步骤是:

给出实测视电阻率离散值;

根据已知地质物性资料和定性解释结果,确定地电模型;

评定理论计算值与实测值的拟合程度;

(2) 电反射系数(K)法求含水层埋深和基岩顶板埋深

电反射系数(K)法的基本原理是:在直流电场中,当电流线遇到不同电阻率分界面时,界面要向实际电源所在介质反射一部分电流线,这部分电流线的大小,决定于电反射系数 K 。为求得 K 值,我们对野外实测电测深曲线进行一次微分,采用差商法求得 ρ_s 曲线各极距间的 K 值,其计算公式为:

$$K = \frac{\frac{\rho_s(n) - \rho_s(n-1)}{\rho_s(n) + \rho_s(n-1)}}{\frac{AO(n) - AO(n-1)}{AO(n) + AO(n-1)}}$$

当 K 为负值时,需要对其进行校正,校正公式为:

$$K_{校} = \frac{K(1 - K)}{1.05(1 - K) + K^2}$$

将所求得的 K 或 $K_{\text{极}}$ 值在单对数坐标纸上以 K (或 $K_{\text{极}}$) 为算术纵坐标, $AB/2$ 为对数横坐标绘出单支 K 曲线, 根据单支 K 曲线即可求出含水层埋深和基岩顶板埋深。如赤峰西部高平原断陷盆地的电测深曲线类型为 KQ 型 (图 4), K 极大点为潜水位埋深特征点, 而含水层组在曲线上无明显渐近值, 在这种情况下, 单支 K 曲线在负值部分出现单峰值。含水层埋深 h_1 取负极值 $K_{1,2}$ 左侧半值所对映的 $AB/2$ 。求解基岩顶板埋深 H_2 时, 考虑到 Q 曲线第二界面, 即 Q 曲线尾支第二斜率变化段的视反射系数受基岩下部老地层高阻的影响, 在 $K_{1,2}$ 的基础上叠加了 $K_{3,4}/2$, 于是, 在负极值后段 (右侧) 形成了一台阶状的缓斜上升段。故此我们取这个台阶的中值所对应的 $AB/2$ 为基岩顶板埋深 $H_{2,0}$ 。

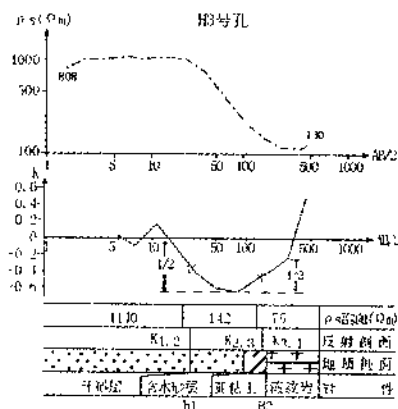


图4 电反射系数法求含水层和基岩顶板埋深

此外,利用各测点的 K 值可绘制成等 K 断面图。还可换算出同一测点各极距间的似真电阻率值 ρ_s ,换算公式为:

$$\rho_z = \rho_{1/2}^* \times \frac{1 + K_{1,2}}{1 - K_{1,2}}$$

以各测点的 ρ_z 值可绘制成等 ρ_z 断面图。

(3) 回归分析法求含水层厚度

一般情况下,第四系含水层中或多或少都存在有一定厚度的粘性土层,因此,在确定第四系含水层实际厚度(H_w)时,除从第四系总厚度(H_0)中减去潜水位以上的非含水层厚度($h_{非}$)外,还应减去粘性土的厚度($h_{粘}$)。

当粘性土的厚度($h_{粘}$)远远小于其埋深时,在电测深曲线上无明显异常反映,而是与含水砂层反映为同一电性层。但是,粘性土的厚度又影响含水层电阻率的大小。粘土层越厚,含水层的电阻率就越低。也就是说反映含水层组的中间层电阻率的高低与其粘性土层含量之间存在一个反比定量关系,因此,粘性土的厚度($h_{粘}$)可用回归分析法求得。

以赤峰西部高平原好鲁库测区为例,将 13 个已知钻孔的含水层中粘性土层百分含量(W)与含水层组的中间层电阻率 ρ 进行统计(见表 2),二者在双对数坐标系中满足回归分析条件。用最小二乘法可计算出 W 与 ρ 的回归方程。

$$Lx'x' = 3.8053$$

$$Ly'y' = 0.3274$$

$$Lx'y' = -0.8849$$

由此得回归系数

$$b = \frac{Lx'y'}{Lx'x'} = -0.2325$$

常数项

$$a = \bar{y}' - b\bar{x}' = 2.5003$$

故得回归方程:

$$W = \arclg \frac{2.5003 - \lg \rho}{0.2325}$$

相关系数: $r = -0.7927$

剩余标准差: $S = -0.1729$

其回归直线见图 5。

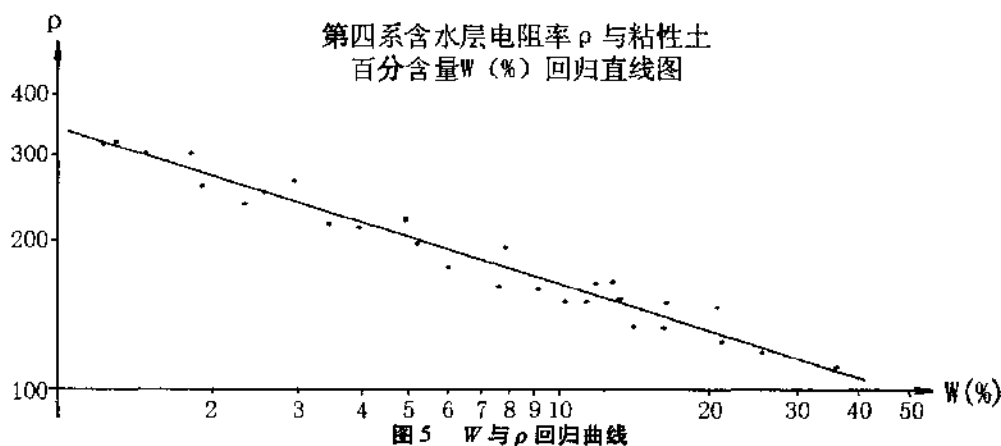


表 2

好鲁库测区粘性土层百分含量计算表

孔号	x W%	y $\rho(\Omega \cdot m)$	x' $\lg W$	y' $\lg \rho$	x'^2	y'^2	$x'y'$
h2	2.0	265	0.3010	2.4232	0.0906	5.8718	0.7293
h6	13.0	150	1.1139	2.1761	1.2407	4.7354	2.4239
h7	25.4	120	1.4048	2.0792	1.9734	4.3230	2.9208
h9	36.0	110	1.5563	2.0414	2.4220	4.1673	3.1770
h12	12.0	319	0.0792	2.5038	0.0062	1.2690	0.1983
h14	16.0	145	1.2041	2.1614	1.4498	4.6716	2.6025
h16	21.0	132	1.3222	2.1206	1.7482	4.4969	2.8038
h17	15.4	160	1.1875	2.2041	1.4101	4.8580	2.6173
h24	3.0	246	0.4771	2.3909	0.2276	5.7164	1.1406
h27	0.0	353	0.0	2.5478	0.0	6.4912	0.0
hs5	4.3	217	1.6335	2.3365	2.6683	5.4592	3.8166
hs6	11.5	155	1.0607	2.1903	1.1250	4.7974	2.3232
hs2	2.3	238	1.3617	2.3766	1.8542	5.6482	3.2362
Σ	151.1	2616	12.702	29.5519	16.2161	67.5054	27.9895

以此方法求得各测点第四系含水层组中粘性土百分含量 W 后,就可以直接计算出其厚度,即

$$h_{粘} = (H_Q - h_{潜}) \times W$$

这样,各测点处含水层的实际厚度为:

$$H_{水} = H_Q - h_{潜} - h_{粘}$$

3. 通过对不同地质任务物探成果的综合研究,总结出不同地质条件下物探找水的规律,建立起物探找水的地质-电性模型

多年来,我们系统完成了东北战区西部赤峰、辽西干旱地区 21 幅 14 万平方公里的 1:20 万水文地质普查物探任务;克旗西部高原 1,927 平方公里的 3 幅 1:10 万国防供水水文地质勘察物探工作和部分山区 1:5 万阵地水源井勘察、边海防部队供水和工农牧业用水地下水探测及 1,231 眼井定位设计工作。

从大量的实践中,我们系统研究归纳出了一整套不同地质条件下物探找水中具有普遍意义的新规律,如成层岩层砂页岩的“高中找低,低中求高”,山间河谷地带的“低中找高,高中求高”,山前坡洪积扇的“高中找低,低中求高”,第四系玄武岩台地的“低中找高,高中求高”,山间沟谷中的“高中找低,低中求低”等。建立起了各类储水构造的地质-物性模型,如构造裂隙张性断裂(见图 6)、压扭性断裂旁侧影响带(见图 7)、侵入岩接触带(见图 8)、风化裂隙带(见图 9)、成层岩层(见图 10)等基岩储水构造二维地质-物性模型;河间平原(见图 11)、山间沟谷(见图 12)、山前冲洪积扇(见图 13)、坡洪积扇(见图 14)、第四系玄武岩台地(见图 15)等第四系储水构造二、三维地质-物性模型。以这些找水规律和地电模型为指导,在很多贫水区找到丰富的地下水。