

2003年陕西省地球物理学会年会

陕西地球物理文集

(四)



陕西省地球物理学会 编
西安地图出版社出版

地球物理學術研究之光

賀者地球物理學會學術論文集發行

陶鍾

《陕西省地球物理文集（四）》编委会

主 编：潘作枢

副主编：李毓茂 黄作华

编 委：（按姓氏笔划为序）

冯 宏 李 貅 李毓茂 陈大生

杨震岱 黄作华 潘作枢

陕西省地球物理学会第四届理事会名单

理 事 长：李毓茂

副理事长：（以姓氏笔画为序）

冯 宏 庞巨丰 李 貅 林 峰

金宜声 孟昭秦 潘作枢

秘 书 长：李 貅（兼）

副秘书长：黄作华

理 事：（以姓氏笔画为序）

万兆昌 尹国跃 王万银 冯 宏 仵 杰

刘运平 朱兴朝 叶伯尧 庞巨丰 李兴坤

李毓茂 李 貅 李学政 孙 渊 林 峰

张云明 赵希刚 赵圣亮 杨家骑 杨建军

杨震岱 金宜声 苟润祥 孟昭秦 陈大生

陈 敏 黄 沙 黄作华 谭世华 谭克龙

谢明魁 谢家树 潘作枢 薛常水

西北有色地质勘查局物化探总队简介

西北有色地质勘查局物化探总队创建于20世纪50年代，历经四十余年的发展，成为一支技术先进、方法齐全、装备精良、实力雄厚的专业队伍。

总队拥有一批经验丰富、结构合理、专业水平高的专业技术人才，有一批国内外知名的物化探专家。总队共有高级职称的技术人员二十余名，中级职称的技术人员五十多名，教授级高级工程师两名。总队配置仪器设备齐全，拥有进行常规金属矿勘探的重力、磁法、电法（直流电法、交流电法）、测井及工程测绘等各类仪器、设备（重力仪、高精度磁力仪、双频激电仪、高密度电阻率仪、大功率激电仪、加拿大IPR-8时域激电仪、瞬变电磁仪、管线探测仪及全站仪等）。近年来，为适应地质市场需要，购进了一批先进的仪器，现拥有：美国Zonge公司生产GDP-32II多功能电法仪、加拿大生产IPR-12多通道激电仪等，同时配备先进的数字化成图系统等设备。



GGT-10多功能发射机

条品位30-120g/T的金矿体。

总队注重新方法、新技术的应用与发展，更注重人才的培养与锻炼，涌现出一批思想敏锐、理论扎实、业务精通、年富力强的技术骨干，具备承揽各种矿产资源的普查与勘探、工程物探、水文物探及生态环境地球化学等工程项目的的能力，愿意为西部大开发作出积极的贡献，更愿意为各级政府、集体、农村提供下列各项服务：

1.大、中、小比例尺的金属矿物化探普查、详查及井中电法；

2.矿区外围、危机矿山的盲矿预测；

3.地下水资源勘查；

4.非震探石油、煤田物探勘查；

5.工厂、道路、桥梁、海港码头等工程的地基稳定性

评价；

6.地下管线（金属、非金属管道和各种电缆）探测；

7.环境及灾害（滑坡、坍塌、断裂、裂缝）地质勘查；

8.地下古迹、古遗址勘查；

9.地面控制、地形及地籍测绘等；

10.物化探数据处理及软件开发；

11.地球物理、地球化学新方法、新技术的研究及试验：地质、物化探科技咨询。

地址：西安市碑林区水文巷5号

电话：(029) 5252625 5251468

总队长：顾林生

邮编：710068

传真：5252785

总工程师：郭文波



GDP-32II接收机

前 言

在陕西省科协的正确领导下，我学会积极开展各项学术活动。经常举行的学术活动是每年最少举行一次的学术交流会及平均每两年举行一次的综合学术年会。并公开出版不定期的学会刊物《陕西地球物理文集》，主要刊登在学术交流会议上的具有学术价值和实际意义的论文。从学会成立至今，已公开出版了《陕西地球物理文集》三集。今年出版的为第四集。

2003年我学会第四届理事会任期已满，今年要举行会员代表大会，选举新一届理事会，并同时举行综合学术年会。将要出版的《陕西地球物理文集（四）》就是刊登在综合学术年会交流的论文以及近年来已在我学会举行的学术会议交流过的部分论文。

本文集收集了36篇论文共约26万字。内容涵盖了油气、煤炭、核工业、固体矿产、水源等资源勘查，生态环境、地质灾害调查，区域地质调查，各种基础设施工程勘察，数字地球，岩石圈构造研究，及地球物理新方法、新技术、新仪器等方面的内容，还特别组织了一定量的核爆监测方面的论文。相信文集将会对提高我省地球物理科学技术水平、更好地服务于国民经济建设和科技兴陕而起到作用。

在党的十六大精神指引下，相信新一届理事会将会领导我学会认真学习和贯彻“三个代表”的重要思想，为全面建设小康社会而作出应有的贡献。

文集编委会

2003年7月29日

目 录

一种新型的电磁频率测深法及几点联想·····	李毓茂 冯宏 (1)
水砂地层各井径中子—伽玛能谱 Monte Carlo 模拟·····	庞巨丰 仵杰 石旺年 (7)
瓦斯地质条件探查的地球物理技术进展·····	冯宏 (13)
我国陆壳地球物理特征、造山带—原—盆体系与造陆运动初探 ·····	左愚 陈敏 杨柳青 (20)
人工智能与爆炸地震定位研究·····	李学正 王海军 沈旭峰 严峰 (27)
天基核爆信号识别处理应用技术方案研究·····	刘代志 王仁铭 赵克 罗宗起 (31)
文东油田田 203 块储层流动单元划分及剩余油分布研究 ·····	谭成仟 唐佩瑜 刘存京 熊国良 李胜 (35)
渭河断陷盆地及邻近地区的 Q 值分布与地震活动性 ·····	王卫东 杜长娥 王平 (40)
地震反射波法在山地滑坡勘查中的应用·····	孙渊 张丽 杨恒辉 李津 (44)
瞬变电磁快速成像解释系统研究·····	郭文波 李骅 李发林 胡建平 顾林生 (50)
TEM 技术探测陷落柱突水通道应用 ·····	韩德品 闫述 陈立武 张有朝 彭中鑫 (56)
MRD 型瑞利波探测资料的定性解释初探 ·····	戴新钰 赵存明 (61)
顺煤层钻进准直 γ 测量技术及其应用 ·····	张典荣 朱晓荣 张玉晟 (66)
我国陆海 $1' \times 1'$ 平均重力异常数字模型的建立及可靠性检验 ·····	孙风华 陈春旺 孔维兵 徐新强 (70)
航空重力仪观测数据的滤波处理及分析·····	孙中苗 (78)
地形对外空扰动引力的影响·····	王兴涛 陆银龙 (82)
本底水平上余震信号信噪分离研究·····	李学正 严锋 沈旭峰 (87)
核爆地震自动识别研究进展与设想·····	刘代志 赵克 王仁铭 罗宗起 (92)
微差爆炸信号的识别·····	王海军 范万春 李学政 (96)
三分量地震记录中的震相识别 ·····	王海军 李学政 范万春 (100)
时频分析在地震信号处理中的应用 ·····	范延芳 许朝阳 范万春 邱宏茂 孙煜 (104)
超低频振动台实验及响应分析 ·····	严锋 李学正 (108)
基于多分辨率能量特征的核爆炸当量分析 ·····	李夕海 刘代志 刘志刚 罗宗起 (113)
地下封闭爆炸近区地表运动规律研究 ·····	许学忠 蔡宗义 (117)
VC++/Fortran 混合编程及其在海底检波器二次定位中的应用 ·····	刘国华 李庆春 (122)
电法勘探中的异常绕射及偏移方法初探 ·····	冯兵 张继锋 李有青 (127)

大地电磁测深法在沈阳郊区寻找基岩裂隙式热水中的应用	左愚 杨柳青 白勇	(133)
三峡—广东直流输电换流站极址地电阻率分布调查	李貅 马宇 全红娟	(138)
GDP—32 II 多功能电法仪及应用效果	郭文波 王凯 王善勤 顾林生	(143)
瞬变电磁测深在砂岩型铀矿找矿工作中的应用	贺建国 赏刚 刘喜亮	(147)
地质雷达在工程勘察中的应用	牛宝茹 林峰	(154)
综合电法在穆家庄铜矿深部找矿中的应用及效果		
.....	樊金生 杨文锋 顾林生 李文全	(158)
瞬变电磁测量在某电厂坡体蠕滑变形查因治理中的应用	左愚 杨柳青	(162)
关于我国重力场数据处理中正常重力公式的确定	孙凤华 陈春旺 孔维兵	(166)
动态导体充电法在油井压裂缝动态监测中的应用 ...	石显新 陈明生 梁爽 闫述	(170)
EH-4 系统在铁矿涌水隐患探测中的应用研究	石显新 陈明生 梁爽 闫述	(173)

一种新型的电磁频率测深法及几点联想

(MAXI-PROBE 系统)

李毓茂

冯 宏

(煤炭科学研究总院西安分院 710054)

(陕西省地球物理学会 710054)

摘 要 MAXI-PROBE 系统是一套较新发展的磁偶源电磁频率测深技术,采用垂直磁偶源发射,观测 H_z 和 H_x 分量和相位 φ 。由于 H_z/H_x 的理论规律及采用了测深曲线移动交点的特殊解释方法,创出了分辨率很高、结果识别直观的效果。经国内多个地区的应用,地质效果显著。顺便,本文对电磁法的分辨率、勘探深度及创新等问题提出简要讨论。

关键词 电磁频率测深 MAXI-PROBE 磁偶源 分辨率 勘探深度 创新

1 引言

随着我国不同部门对电磁法勘探技术的研究和应用,电偶源和磁偶源电磁频率测深法在国内已开展了数十年。电磁频率测深法相对于直流测深法而言,它的许多独到优点已被人们所知。然而,由于其理论、仪器、解释系统较复杂,野外观测也不像 TEM 法那样快速和简便,因而应用得不够广泛。同时,电磁频率测深法理论的完善、定量解释较严格、多参数(几十种)的变化和发展余地大,以及观测装置的巧妙变化等也许还未被人们所认识和接受,也是一个因素。这里,把在学会学术会议上的一份发言整理成文稿,对一种还未被广泛注意,但已引进使用了 10 余年的新型磁偶源电磁频率测深法(MAXI-PROBE 系统)作一介绍,供大家参考。同时,这也说明电磁频率测深法的确蕴含着多种可发展的潜在基础。实际上,近年曾普传的 CSMT 法,也是我们在 20 世纪 70 年代电偶源频率测深研究中旁偶中间梯度法应用的一种发展形式和处理方法。

文章在末了,顺便对同行中常谈到或争议的一个问题——分辨率、勘探深度及创新问题谈了一点看法。

2 MAXI-PROBE 系统的主要特点

2.1 主要参数

工作频段: $f=1$ 赫~60 千赫

频 点: 128 个,并可加密到 256 个

观测参数: $R=H_z/H_x$ 和 ϕ_{zx} ,亦可分别测 H_z 和 H_x

收发距离: $L=(1.4\sim 2.0)H$

场源电流: 最大 40 安培(变频)

观测信号: 最小为微伏级

探测深度: $H=10\sim 1500\text{ m}$, 最大可达 2.5 km

解 释: 地层电性变化直观识别

发射框直径: 5 m 、 11 m 、 45 m 、 70 m

接收环: 磁芯线圈

2.2 主要指标

地层电阻率差: $\rho_2/\rho_1 > 1/3$ 可分辨 (厚层);

厚度埋深比: $d/H > 1/30$ 可分辨 (较低阻);

分层定厚精度: 定厚误差一般为 $3\%\sim 7\%$ 。

3 基本工作原理

如图 1 所示, 在地面上布设垂直磁偶源框, 设坐标为 X 、 Y 、 Z 。发射框中送入 1 赫至 60 千赫的交变电流, 在距场源 L 处设水平和垂直磁偶环测取水平磁场分量 H_x 和垂直磁场分量 H_z , 以及 H_x 与 H_z 间的相位差 ϕ_{xz} 。

对于地下具导电性的半空间, 场源磁力线由近至远的传播变化示于图 2。在近源处, 磁力线近似圆环, $H_x=0$ 。远离场源, 渐变为倾斜椭圆, H_x 和 H_z 均存在。于是具有了 $R=H_z/H_x$ 及 ϕ_{xz} 的可观测值。观测取值后, $R=|H_z/H_x|$ 作图的横坐标采用 $B=L\cdot\sqrt{f\sigma_1}$ 为参数, 如图 3 所示。图中变曲实线为均匀半空间的理论曲线, 虚线为 $\rho_2<\rho_1$ 的二展曲线。可看出, 随探测深度的增加, 低频部分的 R 值降低。即导电性愈好, 则磁力线愈倾倒, H_x 越大, R 值越小。反之则 R 值偏高。

应用上述规律, 把基本理论曲线和野外实测曲线的横坐标统一, 理论曲线用 B , 实测曲线用 f , 形成图 4 所示的关系。图中已标明各参数间的关系。把这些关系, 以及理论曲线编制在计算处理程序中, 并使用保持水平轴重合而左右移动, 其交点可解释出代表地层电阻率 (ρ_1) 变化的 ρ_a 值, 以及该值所对应的埋深 H , 可输出一组 $H=F(\rho_a)$ 的关系折线 (如图 5 所示)。图中清楚地显示出, ρ_a 随 H 增加而增高段为

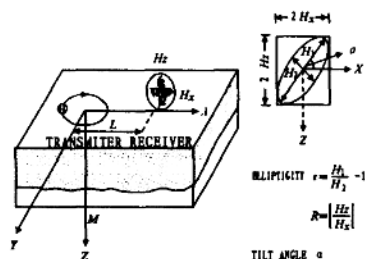


图 1 工作布置

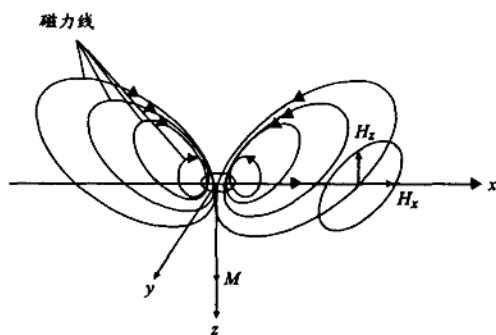


图 2 磁场分布

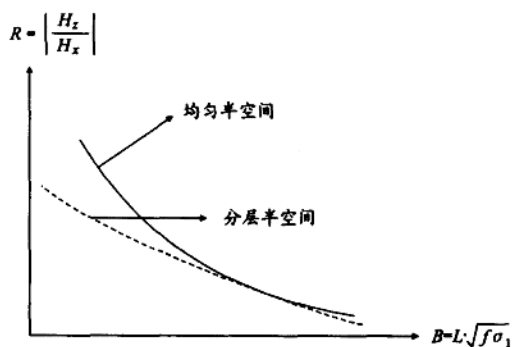


图 3 曲线对比

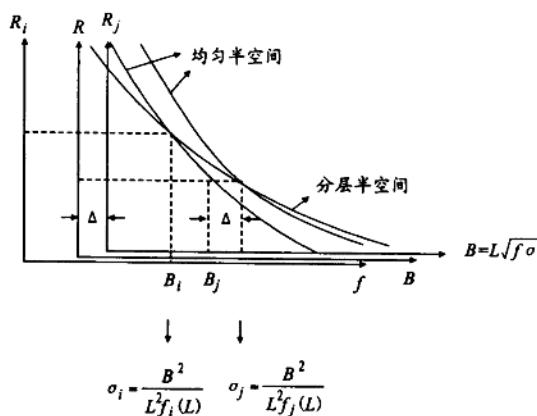


图4 平移交点解释

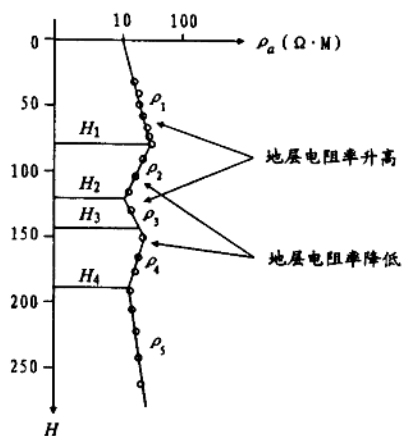


图5 $\rho_a \sim H$ 关系折线

电阻率升高层。

反之则为电阻率降低层。其拐点就是分层界面的位置和深度，十分直观。该折线图所揭示的是收发距中点下的分层定厚解释结果。野外勘探剖面上逐点进行观测、计算处理出各测点下的 $\rho_a \sim H$ 折线，在有关前题地质条件和电性分层认识的基础上进行对比连接，即可作出全剖面下地质结构的推断解释。典型的折线分层定厚与钻孔和电测井结果的比较示于图6。

4 MAXI-PROBE 的分辨率实验

4.1 高阻基底变化3%的实验

在高阻基底的两层介质模型槽中实验，改变基底埋深3%，前后两次观测的折线解释图示于图7可分辨。

4.2 中间低阻薄层实验

图8示出模型槽中间薄层实验和野外实验薄层反映结果。左图是盐水中的石墨薄层，右图是含金矿脉上的实测结果。从图中可看出，厚度埋深比仅5.6%的矿脉可被明显地分层定厚解释出来，其埋深误差最大为1.5%，厚度解释误差与人们的解释

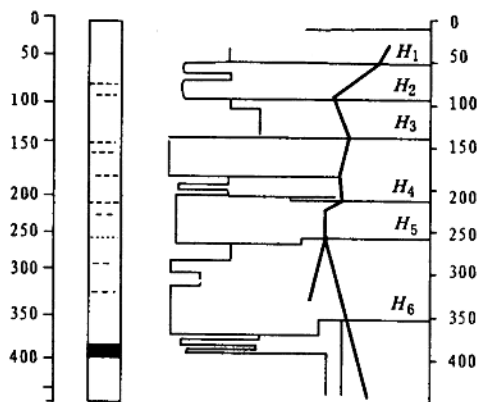


图6 折线解释分辨率

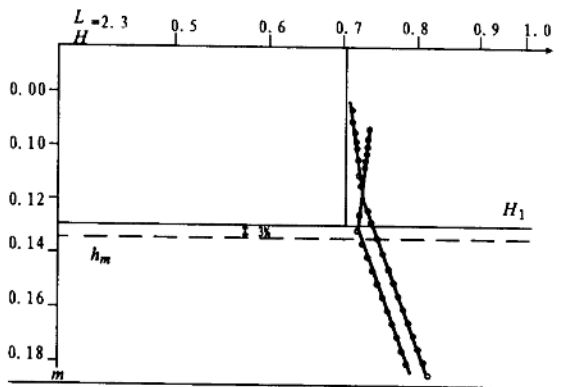


图7 深度变化实验结果

水平有关, 约在 1% 至 10% 之间。

5 应用实例

这里例举本人直接作过工作的三个勘探程度要求较高、难度较大的实例说明本方法的效果。由于篇幅所限, 仅以文字简述, 略去有关图件, 但均为工程应用项目, 有成果报告为证。

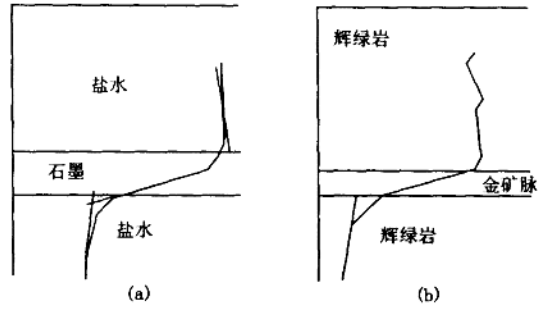


图 8 5.6° 的薄层分辨率

5.1 江西省武宁县西屏山鸡窝煤矿探测

西屏山地面起伏较大, 岩石杂乱裸露, 煤层埋深 300~600 m, 煤厚 0~2 m, 透镜、鸡窝、间断型, 透镜中心个别最大可达 7 m。共完成 4 km² 面积, 测点 1000 余个, 确定了黄龙灰岩的基底起伏形态、薄煤层埋藏状况和富集带位置。提供给县级五星煤矿水平探洞打到煤层富集带的距离为 268 m, 后实际进尺为 272 m, 误差小于 1.5%。此煤层从地表观测点解释的埋深为 258 m, 深度误差约为 3%, 厚度埋深比约为 2%~3%。由于效果突出, 被相应勘探工程项目采用参加储量计算, 提高了等级, 节约了大量资金。

5.2 江西省瑞昌市北山鸡窝煤矿探测

山区, 埋深 200~400 m, 煤厚 0~2 m, 最大 6 m, 透镜、鸡窝、间断型。共作数百测点, 划分出含煤段和富煤区, 后部分已被证实。

5.3 内蒙古东胜地区煤层厚度变化探测

低丘陵、沙土地, 地形起伏不大, 煤层埋藏倾角较小, 煤厚预计 0~8 m, 埋深 100~150 m, 在三个煤矿预计回采区地面共作几百个测点, 确定出煤层赋存空间和其变化在 2 m 至 6 m 间。当时随即打钻 9 孔, 一孔误差 1.7 m (后已修正), 另八孔厚度误差一般 20~50 cm, 最大一孔 70 cm。

6 几点联想

6.1 分辨率

分辨率的问题, 应分为横向分辨率和纵向 (垂向) 分辨率来讨论。下面分述之。

6.1.1 横向分辨率

在勘探剖面上, 沿剖面线方向两点之间的判别分辨能力是横向分辨率, 由于布极方式和观测参数的不同, 其对被测信号的影响范围不同。从横向上讲, 主要看极距, 极距愈小则两测点下地质体间的相互影响愈小, 分辨率愈高。通常: 直流测深法极距 $AB = (2 \sim 10 \sim 15) H$; 电偶源频率测深极距 $r = (4 \sim 8) H$; MAXI-PROBE 极距 $L = (1.4 \sim 2.0) H$, 而同心圆 TEM 法 $r = 0$ 、线框直径 $2R = (1/3) H$ 。因而, 对于横向分辨率而言, 同心圆 TEM 法最高, 直流

法最低。

6.1.2 纵向分辨率

测点上垂直向下对岩体的分辨能力为纵向分辨率。这种分辨率，不可笼统地简单说谁高谁低。从理论上讲，应固定某种地电断面，以及某方法的某种布极方式，使用那种参数观测解释等的条件下才能进行对比。这样，暂不涉及计算处理、解释水平、地形影响、干扰影响、仪器精度等因素。否则就更难确定孰高孰低了。例如，作者在参考文献 [6] 中示出了 H、A、K、Q 型和 KH 型地电断面上的直流测深 (ρ_s) 曲线、TEM 测深 (ρ_t) 电偶源 B_z 分量或磁偶源 E_z 分量的波曲线或准波曲线、电偶源频率测深 (ρ_w) 波曲线或准波曲线和大地电磁测深 (ρ_T) 曲线的起伏 (即分辨率) 对比。这里，仅示出 H 型和 KH 型曲线对比 (图 9~图 11)。图中，纵坐标已归一化。在这种对比情况下，纵向分辨率由高到低的顺序为 MAXI-PROBE→电偶源频率测深→TEM 法→大地电磁法→直流电法。显而易见，测深曲线上幅度大、分辨率高者，其剖面法的纵向分辨率也高。也要指出，对于中间高阻层，则是直流电法的分辨率最高，这是因交流场易穿透高阻层而直流场难穿透之结果。还有，除直流法属全近区场、大地电磁法属纯远区场外，其他的电磁法，不同场源、不同地质体对象，以及不同波场区观测也会引起分辨率的变化，其分辨率的高低，应具体而论。

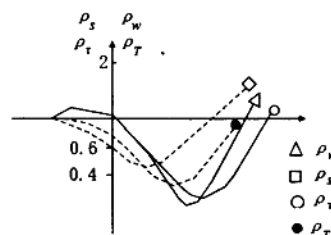


图 9 H 型曲线对比

$\mu_2=1/8, \mu_3 \rightarrow \infty, v_2=1, r \rightarrow \infty$

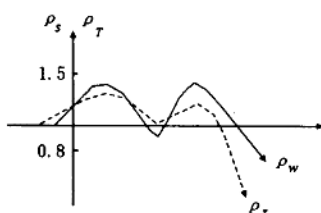


图 10 KH 型磁场曲线对比

$\mu_2 \rightarrow \infty, \mu_3=1/4, \mu_4 \rightarrow \infty, v_2=2, v_3=2, r/H=6.5$

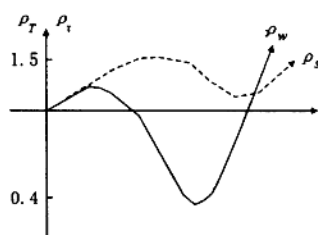


图 11 KH 型电场曲线对比

$\mu_2=8, \mu_3=1/8, \mu_4 \rightarrow \infty, v_2=1, v_3=2, r \rightarrow \infty$

6.2 勘探深度问题

此问题，应有前提而讨论，如前面讨论一样，不能简单地说“这种方法分辨率高”一样。

对于交流电磁法而言，各法均从波动方程出发研究问题，都假定趋肤深度 $\delta=1/2\pi \cdot \sqrt{\rho/f}$ 为有效勘探深度。从这个角度看，则各种电磁法的勘探深度都一样，也不能拿这种方法找金属板状体的效果去与另一法探测岩溶空洞的效果比较。比较时，对象条件应相同，对比条件要相当。否则，从趋肤深度的角度看，那应该是直流电法的勘探深度最大，因为它没有趋肤效应的影响。同时，直流法中若采用多极聚焦场装置，使电流场向下延伸，它的勘探深度会更大一些。即使是直流电法本身，它对不同地电断面、不同的装置方式和大小，其有效探测深度也不一样。前述的直流法 $AB=(2\sim 10\sim 15)H$ ，也即这个道理。

在交流电法中，要看是何法，何种场源，何种装置，何种频率，何种地质体对象，估算出它们在同等条件下谁能有效反映出最深的地质体异常而比较。

6.3 创新问题

提倡“创新”，特别是提倡“原始创新”，这是当前党和国家、科委向我们广大科技工作者提出的号召和要求。小改小革也是创新，也有贡献。而更大一些的，特别是根本性的科技发明、创新，能给人类创造更多的财富和生存条件，理当大力提倡。

就本文所述的 MAXI-PROBE 系统，他跳出人们容易被束缚的框框，不从具有阻抗量纲的特性阻抗（本征阻抗） $R=E/H$ 上去想问题，不只是研究电、磁场之比，而是去研发 H_z/H_x 的机密。同时，也跳出了一般习惯的曲线拟合的办法，而去研究平移交点的规律。结果创出了直观解释、分辨率很高的效果。

当然，MAXI-PROBE 系统除了一些优点之外，与其他方法一样，体积效应、地形影响、对仪器的稳定性和重复性要求、实验数理统计不像理论数学模拟那样单纯等问题也须进一步研究完善。但总能看出，MAXI-PROBE 系统跳出框框的一些思路和作法，是具有一定原始刷新性的，创出了新的水平。也如我们于 20 世纪 70 年代就提出的比值法观测研究，对消除一些同型干扰是有好处的。

又如，西安物化探研究所在 TEM 法仪的研制中，采用电容式电源的设计，铁道一设计院西安分院的激发极化法二次时差研究，中南工大的双频激电研究等，都具有不断创新的思路。这些跳出框框、提出新思路的精神和实践，是值得我们学习的。

参考文献

- 1 万尼安 Л. Л. 电磁测深基础 [M]. 煤炭部地质勘探研究所情报室、电法室译. 北京：煤炭工业出版社，1979
- 2 Peter kardeva'n. МАКСИ-ПРОБ (МЕТОД ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЧАСТОТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ), ФӨТVÖS LÖRÄ'ND GEOFIKAI INTE'ZET, 1986
- 3 李毓茂. 频率电磁测深讲义. 煤炭部煤田地质局七省频率测深学习班教材，1977. 7
- 4 李毓茂、侯烈忠、陆俊良、陈桂英. 频率电磁测深方法. 全国性频率测深学习班教材，1982. 2
- 5 李毓茂、侯烈忠、陆俊良. 频率测深方法研究报告. 煤炭科学院地质勘探分院，1980. 10
- 6 李毓茂. 频率测深法特点及其“直接”找油气可能性. 石油物探. 1982 年第三期
- 7 频率电磁测深二层、三层量板. 煤炭科学院地质勘探分院与北京大学及江西、湖南、安徽、甘肃、辽宁等省煤田物测队合作研制. 煤炭科学院地质勘探分院印刷厂印制，1981

水砂地层各井径中子—伽玛能谱 Monte Carlo 模拟

庞巨丰 仵 杰 石旺年

(西安石油学院 710065)

摘 要 本文开发了中子—伽玛能谱测井,中子—伽玛射线随空间、能量、时间分布蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟软件包。对裸眼井、井眼里无下井仪器、淡水饱和砂岩地层、井眼注淡水,用该软件包计算了井轴和井壁的同源距两个确定点,不同井径地层中子—伽玛射线随能量、时间分布,以及井轴和井壁该确定点不同井径中子—伽玛射线能谱。即井径变化对中子—伽玛射线随能量、时间分布和井轴与井壁确定点中子—伽玛射线能谱的影响。

关键词 Monte Carlo 模拟 中子伽玛测井 井径 伽玛能谱 水砂地层

1 前言

前四文^{[1]~[4]}用中子和中子—伽玛能谱测井,中子及中子—伽玛射线通量随空间、能量、时间分布蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟软件包,对裸眼井、井眼里无下井仪器、淡水饱和灰岩地层、井眼注淡水等条件下,计算沿井轴与沿井壁中子通量随能量、时间分布和沿井轴与沿井壁热中子与超热中子时间谱;计算井轴和井壁源距相同的两个确定点,各孔隙度中子通量随能量、时间分布,即孔隙度大小对中子通量随能量、时间分布和热中子与超热中子时间谱的影响。对砂岩、灰岩和白云岩三种不同岩性、不同源距、不同孔隙度、井下仪器内不同屏蔽体及其厚度等条件下,计算了井壁超热中子时间谱,研究了源距、孔隙度、井下仪器内屏蔽体及其厚度对井壁超热中子时间谱的影响。对裸眼井、井眼里无下井仪器、淡水饱和砂岩地层、井眼注淡水,计算沿井轴与沿井壁伽玛射线通量随能量、时间分布及沿井轴与沿井壁中子—伽玛能谱,并对结果进行讨论。

本文用中子—伽玛能谱测井,中子及中子—伽玛射线通量随空间、能量、时间分布蒙特卡罗模拟软件包(ZGPMC),对裸眼井、井眼里无下井仪器、淡水饱和砂岩地层、井眼注淡水,计算了井轴和井壁源距相同的两个确定点,不同井径中子—伽玛射线随能量、时间分布,以及中子—伽玛射线能谱。即井径变化对中子—伽玛射线随能量、时间分布及井轴与井壁该两个确定点中子—伽玛射线能谱的影响,并对结果进行讨论。蒙特卡罗方法基本原理和中子—伽玛能谱测井,中子及中子—伽玛射线通量随能量、时间分布蒙特卡罗模拟程序(ZGPMC),已在文献[1]中叙述,这里不再重复介绍。

2 Monte Carlo 计算结果

裸眼井,无下井仪器,井眼半径可变,地层半径 75 cm、厚度 150 cm,脉冲中子源位于

井轴上,距地层底面 50 cm,中子能量 14.1 MeV,中子脉冲宽度 10 μ s,重复频率 20 kHz,坐标原点在地层顶面井轴上,Z 轴与井轴重合、方向朝上。井径(井直径)的间隔为 15 cm、20 cm、25 cm、30 cm、35 cm 和 40 cm。进行了以下计算,并用 HCJPL 程序作出中子-伽玛射线空间、能量、时间分布图。

2.1 淡水饱和和砂岩地层,井眼注满淡水,计算井轴上一确定点不同井径中子-伽玛射线通量随能量、时间分布

砂岩成分:SiO₂ 占 98.6%,CaOASi 占 1.4%。中子-伽玛射线能谱的能量间隔和中子-伽玛射线时间谱的时间间隔,如表 1 中的 E35 和 T35 所列。地层孔隙度为 20%,井轴上一确定点源距为 40 cm,该点各井径中子-伽玛射线通量随能量 E 和时间 t 分布的三维图,限于篇幅只示出井径分别为 15 cm 和 40 cm 的三维图,如图 1、图 2 所示;井轴该点 15 cm 和 40 cm 两井径 0~10 μ s (即中子脉冲宽度内)中子-伽玛射线能谱比较如图 3 所示。各井径中子-伽玛射线能谱中,Si 和 O 元素快中子非弹性散射伽玛射线 1.78MeV 和 6.13MeV 峰积分,H 元素热中子俘获伽玛射线 2.23MeV 峰积分,以及它们峰积分之比 Si/O、H/O、H/Si 均列于表 2。

表 1 中子-伽玛射线能量间隔和时间间隔表

E35	0.01	0.05	0.10	0.14	0.18	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40	0.44	0.48	0.50	0.53
	0.57	0.60	0.64	0.68	0.72	0.75	0.79	0.83	0.87	0.90	0.94	0.97	1.00	1.04	1.07
	1.10	1.13	1.17	1.21	1.25	1.29	1.33	1.37	1.41	1.45	1.49	1.53	1.57	1.61	1.65
	1.69	1.73	1.77	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	2.00	2.04	2.08	2.12	2.16	2.20	2.24
	2.28	2.32	2.36	2.40	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.67	2.70	2.74	2.77	2.80
	2.84	2.88	2.92	2.96	3.00	3.04	3.08	3.12	3.16	3.20	3.24	3.28	3.32	3.36	3.40
	3.44	3.48	3.52	3.56	3.60	3.64	3.68	3.72	3.76	3.80	3.84	3.87	3.90	3.94	3.98
	4.02	4.06	4.10	4.14	4.18	4.20	4.24	4.28	4.32	4.36	4.40	4.44	4.48	4.52	4.56
	4.60	4.64	4.68	4.72	4.76	4.80	4.84	4.88	4.92	4.96	5.00	5.04	5.08	5.12	5.16
	5.20	5.24	5.28	5.32	5.36	5.40	5.44	5.48	5.52	5.56	5.60	5.64	5.68	5.72	5.76
	5.80	5.84	5.88	5.92	5.96	6.00	6.04	6.08	6.12	6.16	6.20	6.24	6.28	6.32	6.36
	6.40	6.44	6.48	6.52	6.56	6.60	6.64	6.68	6.72	6.76	6.80	6.84	6.88	6.92	6.96
	7.00	7.04	7.08	7.12	7.16	7.20	7.24	7.28	7.32	7.36	7.40	7.44	7.48	7.52	7.56
	7.60	7.64	7.68	7.72	7.76	7.80	7.84	7.88	7.92	7.96	8.00	8.04	8.08	8.12	8.16
	8.20	8.24	8.28	8.32	8.36	8.40	8.44	8.48	8.52	8.56	8.60	8.64	8.68	8.72	8.76
	8.80	8.84	8.88	8.92	8.96	9.00									
T35	1.0E3	1.5E3	4.62E3	5.12E3	6.13E3	6.62E3	9.74E3	1.024E4	1.0E5	1.0E6	1.0E7				

井轴一确定点各井径中子-伽玛射线通量随能量 E 和时间 t 分布的三维图、井轴该点两井径 0~10 μ s 中子-伽玛射线能谱,即图 1~图 3 及表 2 第二行的数据说明:(1) 随井径的增大,井轴一确定点的中子-伽玛射线通量略下降,而且伽玛通量变化不很大,用井轴中子-伽玛射线总计数或中子-伽玛射线能谱定量确定井径有一定难度。(2) 在所研究的范围内,随井径的增大,硅(Si)的 1.78MeV 快中子非弹性散射伽玛射线峰峰积分逐渐下降;氧(O)的 6.13MeV 快中子非弹性散射伽玛射线峰峰积分逐渐变小,但减小速度较慢,这是由于井径增大后水饱和砂岩地层距测点的距离逐渐增大,致使硅峰积分减小较快,而地层氧峰积分一方面因测点距

中可见，峰积分 Si/O 随井径增大变化的关系曲线近似直线下降；峰积分 H/O 随井径变化的关系曲线近似指数下降，开始下降较快，后面几乎没有变化；H/Si 峰积分随井径变化的关系曲线，开始逐渐减小，井径为 25 cm 达到低谷，后逐渐增大得很大，这是因为 H 峰积分随井径的增大先减小后增大，而 Si 峰积分随井径的增大较快减小所致。

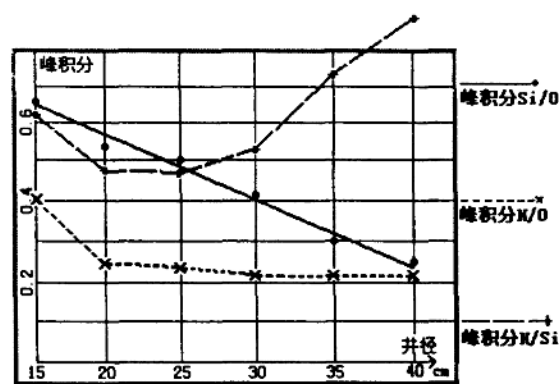


图 4 水砂井眼水井轴中子—伽玛谱峰积分随井径变化

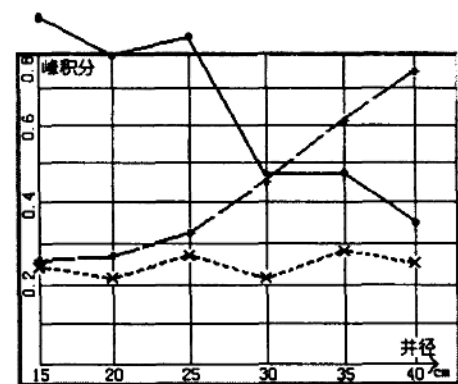


图 5 水砂井眼水井壁中子—伽玛谱峰积分随井径变化

2.2 淡水饱和砂岩地层，井眼注满淡水，计算井壁上一确定点不同井径中子—伽玛射线通量随能量、时间分布

井壁取距井轴 9.9 cm 的点，井径间隔与井轴上的相同，其他条件也与 2.1 相同。井壁上确定点各井径中子—伽玛射线通量随能量 E 和时间 t 分布的三维图限于篇幅不再显示；井壁该点 15 cm 和 40 cm 两井径 0~10 μ s(即中子脉冲宽度内)中子—伽玛射线能谱比较如图 6 所示。井壁各井径中子—伽玛射线谱中，Si、H、O 的峰积分及峰积分比 Si/O、H/O、H/Si 的数值也均列于表 2 的第三行。井壁该点中子—伽玛谱中的三个峰积分比 Si/O、H/O、H/Si 随井径变化的关系曲线，如图 5 所示。

从图 5、图 6 和表 2 中第三行的数据可以说明：(1)随井径的增大，井壁一确定点的中子—伽玛射线通量下降不很大，而且伽玛通量变化较小，用井壁中子—伽玛射线总计数或中子—伽玛射线能谱确定井径也有较大难度。(2)随井径的增大，井壁中子—伽玛射线谱中，硅(Si)的 1.78MeV 快中子非弹性散射伽玛射线峰峰积分是下降的(井径 20 cm 时峰积分略高，但在误差范围内不高)；氢(H)的 2.23MeV 热中子俘获伽玛射线峰峰积分先增大，井径 30 cm 时突然减小，

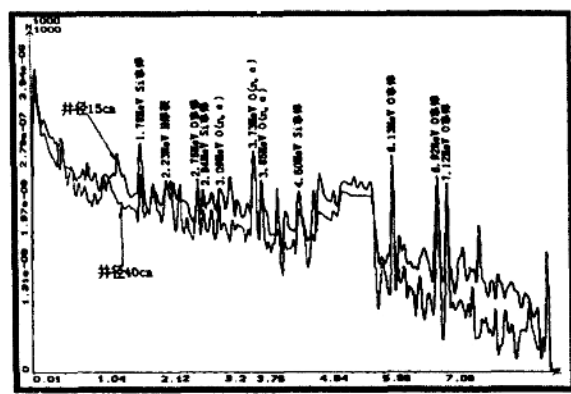


图 6 井径 15 cm 与 40 cm 井壁中—伽玛射线能谱比较
(水饱和砂岩地层，井眼注水)