

我国石油电法勘探评述

王家映

(中国地质大学地球物理与空间信息学院, 湖北武汉 430074)

摘要:电法勘探是一门重要的地球物理方法,在我国石油和天然气普查与勘探中有着十分重要的作用。简要地回顾了我国石油电法的发展历史,从科学发展观的高度评述了其现状和存在的问题,用大量文献资料详细论述了我国地球物理工作者这些年来对石油电法的贡献,指出了我国已成为世界大地电磁的主战场,推动大地电磁法前进的生力军,受到世界各国的关注。从我国的实际出发,并结合国外的成功经验,提出了发展我国石油电法的几点意见。

关键词:电法勘探;大地电磁法;油气普查与勘探;发展史

中图分类号:P631.3

文献标识码:A

作为应用地球物理的一个主要分支,电法勘探在国民经济建设和人们的日常生活中都有着十分重要的作用。从石油和天然气的普查与勘探,到金属和非金属矿产资源调查与勘测;从天然地震的预测和预报到深部电性结构的分析与研究;从地下水资源勘查和利用,到工程和环境监测与保护;从其他行星物性的探测到人体伤病的诊断,电法都起到了很大的作用。实践证明,电法勘探是一门适用范围广,应用效果好,发展前景大的应用地球物理学科。

1 简要回顾

电法在我国石油和天然气普查与勘探中有着十分重要的作用。解放前,除顾功叙等老一辈地球物理学家在个别金属矿地区进行过电法勘探外,石油电法在我国几乎为零。解放后,在党中央和国务院的领导下,在 20 世纪 50—60 年代,原地质部和石油部利用前苏联的电测站,在我国各大盆地开展了大量的垂向电测深(VES)的普查和勘探工作。为研究各大盆地基底起伏,沉积盖层的厚度,盆地内断层的展布,盆地与周边地质单元的关系,以及构造单元的划分等提供了极为重要的资料,为我国石油勘探的进一步的部署起到了重要作用。20 世纪 50 年代末,从前苏联引进了大地电流法(TT),并在一些盆地开展了面积或剖面测量工作。20 世纪 70 年代以后,随着电子技术的发展和计算技术的进步,新兴的大地电磁法(MT)由于其固有的优越性,在石油勘探中独占鳌头,逐渐取代了电测深法和大地电流法。在各新区及在地震勘探难以涉足或难以取得良好记录的老区勘探中,开展了大量

的大地电磁测深工作,为这些地区的石油勘探和开发,为进一步寻找我国油气资源的后备基地,发挥了重要的作用,成为这些地区油气勘探不可替代的方法。

从 20 世纪末至今,在石油电法中,又增添了激发极化法(IP),复电阻率法(CR)(又称谱激电, SIP),瞬变电磁法(TEM)或建场法,声频大地电磁法(AMT),可控源声频大地电磁法(CSAMT),和电场差分法(EFD)等方法。它们在直接找油,浅层电性结构的研究,以及 MT 资料的静校正和地形校正等方面,都起到了一定的作用。可以预计,随着时间的推移,它们和 MT 一道必将为我国的石油勘探和开发发挥愈来愈大的作用。

2 我国石油电法的现状

解放后,我国石油电法从零开始,已经有了巨大的发展和进步。目前,MT 和 TEM,CSAMT 等已成为我国现代石油电法勘探中的主角。据不完全统计,近年来,石油系统(中国石油集团,中国石化集团和各大油田)每年都要完成 14 000 个以上的 MT 点、几万千米的大地电磁剖面任务。远远超过了世界其他所有国家工作量的总和。世界著名的大地电磁专家 Vozoff 说:“现在大地电磁的首都在中国”。

为什么 MT 在我国油气勘探中起着如此重要的作用,每年都有如此大的工作量?这是因为近来国际市场油价猛涨,国内油气资源后备不足,而我

收稿日期:2006-01-04。

作者简介:王家映(1937—),男,教授,长期从事地球物理反演理论和电磁法,特别是大地电磁法的理论和应用研究工作。

国许多有油气资源远景的地区,特别是那些具有丰富石油和天然气资源远景的碳酸盐岩地区,其地形和地质条件都非常复杂,在那里地震反射法不是难以涉足,就是难以取得良好记录。为了加快勘探的步伐,就必需使用那些与地震反射法相比精度较低,但能取得探区基本区域地质资料的地球物理勘探方法。因此,大地电磁法成了最优的选择。

近年来,在我国以石油勘探为目的而大量开展 MT 工作的地区有,西藏羌塘地区,塔里木盆地及其外围地区,准噶尔盆地周边地区,鄂尔多斯盆地,阿拉善地区,河西走廊,柴达木盆地,松潘、茂县和若尔盖地区,鄂西北和川东北地区,滇黔桂及十万大山地区,鄂东南,洞庭湖,鄱阳湖地区,苏北地区,海南和琼州半岛等等。除此以外,有些油田还根据自身勘探工作的需要进行了一定数量的 MT 剖面测量和面积详查工作。

2.1 仪器设备和资料采集方法

近年来,国内石油电法使用的仪器,几乎全部依赖进口。主要集中在加拿大凤凰公司(Phoenix Geophysics Limited)的 MT-5, V5-2000, V8 和 MTU-6, 美国 Zonge 公司的多功能电法仪 GDP-3, Geometrics 公司的 EH-4, 德国 Metronix 公司的 GMS-03, GMS-04, GMS-05, GMS-06 以及其他厂家的仪器。据不完全统计,目前,全国用于石油电法勘探进口的 MT 仪器有 320 台套以上。

为了保证野外资料采集质量,一般都要求采用远参考道(距离大于 100~300 km 以上)。如有异常,还要加密测点,甚至辅以 EMAP(或 CEMP)以获得更多的有用信息。应该说,由于仪器的更新、软件的改进和野外采集方法的规范,MT 资料的质量近年来有了很大的提高。即使在人口稠密、工业发达、电网密布的我国东部地区,MT 资料的质量也完全可以满足有关规范的要求。

2.2 资料处理和反演解释

资料处理一般都用仪器厂家所附带的软件进行。但为了提高阻抗张量的计算质量,有的解释人员在接收资料后,又从时间序列开始,对资料进行再处理。重新处理包括:时间序列的选择,阻抗张量的计算,曲线的圆滑,坐标轴的旋转和主轴方位阻抗张量 Z_{TE} , Z_{TM} 的确定,静校正和地形校正,Bo-stick 反演等一系列处理。

在反演时,有的解释人员先做一维,再把一维反演结果作为二维反演的初始模型,在此基础上进行二维反演;有的从一开始就进行二维反演。由于

万方数据

三维反演目前仍处于研究阶段,因此都很少进行。在反演中,有的使用 ρ_{TE} , ρ_{TM} , φ_{TE} 和 φ_{TM} 4 种信息,有的仅使用 ρ_{TE} 和 φ_{TE} 或 ρ_{TM} 和 φ_{TM} 2 种信息,有的只用了振幅 ρ_{TE} 和 ρ_{TM} 或相位信息进行反演。但遗憾的是,很少有人将 Tipper 资料用于反演,甚至,在野外就没有采集 H_z 分量。

经验表明,在地形和地质条件复杂的地区,MT 资料解释的质量,在很大程度上取决于静校正和地形校正的好坏,所以,解释人员对此都很重视。目前,世界上还没有一种普遍适用于不同条件和地区的 MT 静校正和地形校正方法。目前,常用的校正方法有:曲线平移法,EMAP 法,阻抗张量分解法,带地形和表层不均匀体的二维反演法,空间滤波法等。方法不同,效果也不一样,不同国家的科学家对此所采取的战略和策略也不相同。东欧国家把静位移和地形影响视为畸变,用畸变分析的方法进行处理;而西方国家则采用校正的方法把它从正常场中剔除。

至于 MT 资料反演和成果的显示方法,更是百花齐放,种类繁多。其中,占统治地位的仍是国外引进的二维反演法,如 RRI, OCCAM, NLGC 和 REBOCC 等。另外,也有一些大学和研究机构的解释人员采用自己研究的反演方法,或对上述引进方法作一些改进。在成果显示方面,相当一部分解释人员更偏爱色块表示或拟地震的方法,把结果展示为类似地震反射法中的时间剖面的形式。

3 我国石油电法的进展

大地电磁不仅在我国石油勘探和开发的应用中作出了重要的贡献,而且在方法的理论基础和应用基础研究方面,我国的 MT 工作者,也作了大量的、卓有成效的工作。我国已经成为推动世界 MT 事业前进的重要生力军,引起了国际电磁学界的广泛重视。近 20 年来,在我国成功地举行了 7 次国际电磁会议,而且 2008 年将在北京举行第 19 届 AIGAR 会议就是一个最好的证明。

3.1 资料处理

如何提高 MT 时间序列信噪比,提高 MT 响应函数的质量,是资料处理中必须首先考虑的问题。这方面的进展主要是在 MT 资料处理中引入小波分析和高阶统计量方法。如何兰芳以及王绪本等人在文献[1]中提出应用小波分析提高 MT 信噪比的方法取得了成功。徐义贤等人[2]提出用小波谱代替 MT 场的频谱,并研究了其精度和具

体方法。王书明等人^[3]首次提出将高阶统计量的方法应用于大地电磁资料的处理,从而大大地提高了MT资料的质量。同时利用高阶统计量的方法,还可以对大地电磁场的统计特性做出估计,从而展示了高阶统计量在MT,乃至其他地球物理资料处理问题中的广阔前景。

3.2 MT资料的正演、静校正和地形校正方法

静校正和地形校正的好坏,直接影响MT资料的解释质量。国内外大地电磁专家为此付出了辛勤的劳动,发表了大量的文章和专著。徐世浙院士^[4,5]在其专著中对具有地形的MT的正演问题,进行了详细而系统的论述,为大地电磁的静校正和地形校正打下了坚实的基础。晋光文和孔祥儒^[6]从理论和实践2个方面,系统地总结了地形和表层不均匀性给MT阻抗张量带来的畸变,并指出了消除办法。

黄临平和戴世坤^[7]在“复杂条件下3D电磁场有限元计算方法”一文中,推导出变电导率 σ 的条件下,在计算区域内单元中,计算了三维电磁场的有限元单元方程的解析表达式,为三维电磁场的数值计算提供了一条有效的新途径。谭捍东在文献^[8]中,系统地论述了大地电磁三维交错采样有限差分数值模拟算法,提出了简洁的边界条件,采用了解大型系数矩阵方程组的双共扼梯度稳定解法,实现了三维交错采样有限差分数值模拟算法,其迭代收敛稳定,计算精度高,速度快。陈小斌等^[9]开发的“大地电磁测深数据管理器”不仅为一维和二维模型的正、反演,而且为大规模三维模型MT数据的处理与管理提供了极大的方便。

师学明等人^[10,11]提出了基于电场的带散度校正的三维矢量有限元方法,简称VFEE++方法。该方法对有限元三维地形的MT正演计算问题有了一定的突破,为MT静校正和地形校正方法展示了诱人的前景,也为三维MT资料的反演奠定了基础。

3.3 资料反演

近年来,我国的电磁工作者在反演理论和方法的研究中取得了重要的进展。中国地质大学(武汉)电磁法和反演理论课题组,先后提出并实现了一些新的非线性反演方法。如多尺度反演法^[12],同伦反演法^[13],量子退火反演法^[14],量子路径积分法^[15]及其他一些仿生类算法,并在MT资料的反演上获得了成功。

除了非线性反演理论和方法的研究以外,不少学者还对已有的各种二维和三维反演方法进行了

许多改进,目的是提高反演的精度和速度,减少计算时间。谭捍东等人^[16]在深入分析大地电磁三维张量阻抗表达式的基础上,获得了三维快速松弛反算法的灵敏度函数表达式,解决了三维快速松弛反演的一个核心问题,实现了求最小构造的三维快速松弛反算法。戴世坤等人^[17]还研究了MT二维和三维连续介质快速反演法。杨辉等人在文献^[18]中研究了带地形的多参量二维快速模拟退火约束反演。于鹏等人^[19]提出了一种改进的有限差分法进行大地电磁场偏移成像的方法,通过模型试验和实例证明了有限差分法大地电磁多参数成像技术解决复杂问题的能力。在此基础上,陈华根及于鹏等人^[20~22]深入研究了MT的偏移成像,并把它应用于生产实践,取得了明显的效果。胡祖志在文献^[23]中,提出了三维大地电磁数据的二维反演方法,即用二维结果来代替三维问题的雅可比矩阵,从而既保证了反演的精度,又大大提高了反演的速度。文献^[24~26]对雅可比矩阵的算法,大型矩阵的解法等都作出了贡献。

在文献^[16,18,27~30]一系列文章中,专家们致力于反演方法的改进。反演精度和反演分辨率的提高,促进了三维反演、联合反演和约束反演^[31]的研究。这是近年来MT反演进展的一个特点。

毫无疑问,非线性反演,三维反演,联合反演和约束反演将是今后一段时间内MT资料反演发展的方向和研究重点。

3.4 新方法和新技术试验

近年来,中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司综合物探事业部和安徽省勘查技术院,大力开展了一些石油电法的新方法和新技术试验工作。

1) 中国石油集团首次提出并在生产实践(油气详查中)中使用了连续电磁阵列剖面法(CEMP)^[32]的概念,并制订了国颁和部颁标准。

2) 中国石油集团东方地球物理公司综合物探事业部,对电磁法在油气检测中的应用效果开展了大量的试验,发表了一些具有进一步研究价值的文章和报告。如何展翔等人^[33]的“大功率井-地电法油藏边界预测技术及效果”展示了利用激发极化法确定油水边界的前景;文献^[24~26,34]中,展示了电场差分法,建场法和复电阻率法在油气勘探中的应用前景。

3) 在有的探区,根据MT资料的解释成果成功地确定了油气开发确定了一些井位^[31,35~37],并见到了工业油气流。

4 结束语

石油电法勘探在我国石油普查和勘探中发挥了重要的作用,但并不是说,石油电法勘探已经尽善尽美、潜力挖尽。相反,在电法勘探中使用的任何一种方法都还有不少问题等待我们去研究和探索。

1) 大力研制具有自主知识产权的石油电法仪器和设备。当前在国内教学、科研和生产单位使用的电法仪器和设备中,除少数(如 TEM)以外,绝大多数都是进口的。如果放弃自身仪器的研究和开发,长期依靠进口来解决我国石油勘探对电法仪器急剧增长的需要,既耗费了大量的宝贵外汇,也不符合我国自力更生发展具有自主知识产权的仪器和设备的原则。事实上,在科研和攻关项目中,也有不少仪器研制项目,但由于种种原因,都未能投入实际生产和应用。这是我国石油勘探科研和生产中的一大不足。

2) 取各家之所长,努力提高 MT 资料的解释水平和质量。严格地说,理想的一维和二维地球物理模型是不存在的,实际的地电模型都是三维的。但是,在一定条件下,把向某一水平方向拉长的地电模型,近似地看成二维模型,甚至把一个比较平缓的、在水平方向变化不大的三维模型,看成一维模型,也可以得到许多有用信息。然而,精细解释要求三维模型。但是,由于种种原因,目前的解释水平还只能达到二维模型。在实际资料解释时,常把各频率主轴方位都不同的 MT 曲线近似地当作二维解释,结果往往会带来解释的错误。因此,在目前三维解释还不能有效开展的情况下,吸取各家之所长,努力提高 MT 资料的解释水平和质量是惟一的出路。这方面,前苏联和西方科学家采取的战略是不完全相同的。前苏联着重一维解释和各频率电磁场特性^[31,35](如电磁场的极化图,各向异性图,Tipper 图,相位变化图等)的分析,西方学者则更偏重于数值解,强调曲线的拟合^[38,39],我们应将二者很好地结合起来,认真研究电性随深度的变化情况,最后得出解释地区比较合理的地电断面。如条件可能,我们应尽量实现三维解释。如前所述,三维反演的主要问题是正演计算的速度。师学明等提出的算法,已使 MT 三维正、反演成为可能。可以预计,在不久的将来,三维反演将变成现实,到那时,MT 资料的解释水平将大大提高一步。

3) 提倡联合反演、约束反演和地球物理综合

解释^[31,35,37~39]。获得合理的地电模型是电法勘探的最终目的。要达到这一目的,除提高野外采集质量,对资料进行精细处理外,还有资料的反演和解释,包括电法资料的反演解释,也包括各种联合反演、约束反演和地球物理综合解释。

所谓联合反演,有电法资料之间(如 MT 与 TEM 或 VES)的联合反演,也有电法和其他地球物理资料之间的联合反演。解释时,可以是电法资料与地震资料,或电法资料与重力资料、测井资料的联合反演,也可以是其他组合。具体如何开展,要看解释人员掌握的资料和反演的要求。因为一种地球物理观测结果,只反应一种地球物理属性,多一种资料,就多一分合理性,少一分非惟一性。

所谓约束反演,就是在已知地质和地球物理资料的约束下,对电法资料进行反演。约束条件越多越准确,反演结果越接近于实际。

我们提倡地球物理综合解释,是因为地球是一个复杂的系统,企图用一种资料解决勘探的所有问题,是不全面,也是不可能的。由于岩石的物性不同,同一种地质现象在各种地球物理异常上的反应也不相同。我们的任务是综合利用这些资料,对出现的矛盾和不一致有一个合理的解释。

4) 大力开展地形校正和静校正,以及大地电磁三维正、反演理论和方法的研究,特别是尽快将已有成果应用于生产,使之产业化,为国民经济建设服务,这是当前摆在我们面前的一项紧迫任务。

5) 开展电法直接找油的试验,研究符合我国国情的找油新思路和新方法^[24~26,33,40,41]。应该说,在这方面电法是大有可为的。因为,岩石电性(如电阻率,介电常数和极化率)与油、气有着非常紧密的联系,加之电法勘探方法的多样性,特别是,近年来在这方面的进展,显示了诱人的前景,值得我国的电法工作者为之奋斗。

应用地球物理学有一个大家族,其成员有重、磁、地、电、测和放射性等几大分支学科。因为一种物探方法只利用一种物性,只反映介质的一个方面。因此,我们在强调一种方法在石油普查和勘探中作用的同时,并不排斥其他方法。只有综合利用各种物性,提倡综合勘探和综合解释,才能完整地反映事物的全貌。大量的实践证明,只有综合各种物探方法,充分发挥各种地球物理方法的特长,才能得到事半功倍的效果。

我们相信,随着科学的进步和技术的发展,我国石油电法勘探必将获得更大的成功,起到它应有的作用。

参 考 文 献

- 1 何兰芳,王绪本,王成祥.用小波分析提高 MT 资料信噪比[J].成都理工大学学报,1999,26(3):299~302
- 2 徐义贤,王家映.基于连续小波变换的大地电磁信号谱估计方法[J].地球物理学报,2000,43(5):677~683
- 3 王书明,王家映.高阶统计量在大地电磁测深数据处理中的应用研究[J].地球物理学报,2004,47(5):928~934
- 4 徐世浙.地球物理中的有限单元法[M].北京:科学出版社,1994.308
- 5 徐世浙.地球物理中的边界元法[M].北京:科学出版社,1995.285
- 6 晋光文,孔祥儒.阻抗张量畸变与分解[M].北京:地震出版社,2005.251
- 7 黄临平,戴世坤.复杂条件下 3D 电磁场有限元计算方法[J].地球科学,2002,27(6):775~779
- 8 谭捍东,余钦范,John Booker,等.大地电磁法三维交错采样有限差分数值模拟[J].地球物理学报,2003,46(5):705~711
- 9 陈小斌,赵国泽,詹艳.MT 资料处理解释的 Windows 可视化集成系统[J].石油地球物理勘探,2004,39(S1):11~17
- 10 师学明,王家映,歌田久司,等.三维大地电磁地形影响的有限元数值模拟[A].第 7 届中国国际地球电磁学术讨论会,四川成都,2005
- 11 师学明,王家映,歌田久司,等.基于矢量有限的三维 MT 共轭梯度反演法[A].第 7 届中国国际地球电磁学术讨论会,四川成都,2005
- 12 徐义贤,王家映.大地电磁的多尺度反演[J].地球物理学报,1998,41(5):704~711
- 13 张丽琴,王家映,严德天.一维波动方程波阻抗反演的同伦方法[J].地球物理学报,2004,47(6):1111~1117
- 14 魏超,朱培民,王家映.量子退火反演的原理和实现[J].地球物理学报,2006,49(2):577~584
- 15 罗红明,王家映.量子路径积分算法及其在 MT 资料反演中的应用[A].第 7 届中国国际地球电磁学术讨论会,四川成都,2005
- 16 谭捍东,余钦范,John Booker,等.大地电磁法三维快速松弛反演[J].地球物理学报,2003,46(6):850~854
- 17 戴世坤,徐世浙.MT 二维和三维连续介质快速反演[J].石油地球物理勘探,1997,32(3):305~317
- 18 杨辉,王永涛,戴世坤,等.带地形的 MT 多参量二维快速仿真退火约束反演[J].石油地球物理勘探,2003,38(2):213~217
- 19 于鹏,王家林,吴健生.有限差分法大地电磁多参数偏移成像[J].地球物理学报,2001,44(4):552~562
- 20 陈华根,吴健生,王家林,等.模拟退火算法机理研究[J].同济大学学报(自然科学版),2004,32(6):802~805
- 21 于鹏,王家林,吴健生.大地电磁全频段偏移成像结合反演技术[J].同济大学学报(自然科学版),2005,33(4):540~544
- 22 于鹏,王家林,吴健生.大地电磁场成像方法综述与新进展[J].地球物理学报,2003,18(1):53~58
- 23 胡祖志,胡祥云,何展翔.三维 MT 数据的二维反演解释[J].石油地球物理勘探,2005,40(3):353~359
- 24 邓明,何展翔.电场差分信号的采集特点及数据采集系统[J].现代地质,1998,12(3):442~446
- 25 吕友生,何展翔.建场测深法在油气勘探中的应用[J].石油地球物理勘探,1994,29(6):754~757
- 26 崔先文,何展翔,刘雪军,等.频谱激电法在大港油田的应用[J].石油地球物理勘探,2004,39(S1):101~105
- 27 苏朱刘,胡文宝.大地电磁测深“降维逼近法”二维反演[J].石油地球物理勘探,2002,37(5):516~523
- 28 张翔,胡文宝.带地形的大地电磁测深联合反演[J].石油地球物理勘探,1999,34(2):190~196
- 29 蔚宝强,胡文宝.MT 资料的遗传法反演[J].江汉石油学院学报,1999,21(3):25~29
- 30 陈清礼,杨中海,胡文宝.有效的一维 MT 直接反演新方法[J].石油地球物理勘探,2003,38(3):324~327
- 31 何展翔,贾进斗,苟量.非地震技术在油气勘探开发中的作用[J].石油勘探与开发,2001,28(4):70~72
- 32 Heng Li, Wang Yuqing, He Zhanxiang, et al. Application effect of CEMP in the foreland basin on the western edge of Ordos [J]. Applied Geophysics, 2004, 1(2):110~114
- 33 何展翔,刘雪军,裘尉庭,等.大功率井-地电法油藏边界预测技术及效果[J].石油勘探与开发,2004,31(5):74~76
- 34 曹中林,昌彦君,何展翔.基于演化算法的复电阻率频谱参数反演[J].工程地球物理学报,2005,2(1):33~38
- 35 贾进斗,何展翔,孔繁恕.非地震综合物化探技术应用效果[J].石油地球物理勘探,1998,33(5):625~631
- 36 何展翔,王永涛,刘云祥,等.综合物探技术新进展及应用[J].石油地球物理勘探,2005,40(1):108~112
- 37 林存国,徐凤银,何展翔,等.采用综合勘探技术查明 SB 天然气田[J].物探装备,2005,15(2):128~131
- 38 何展翔.非地震勘探技术的进步与发展趋势[J].石油地球物理勘探,2000,35(3):354~360
- 39 何展翔,贺振华,王绪本,等.油气非地震勘探技术的发展趋势[J].地球物理学进展,2002,17(32):473~479
- 40 杨云见,米晓利,何展翔,等.电容耦合电阻率法介绍及其应用效果初探[J].物探装备,2004,14(1):48~51
- 41 何长文,邵敏,何展翔.三维电磁技术研究与应用新进展[J].石油地球物理勘探,39(S1):130~134

作者: [王家映, Wang Jiaying](#)
作者单位: [中国地质大学地球物理与空间信息学院, 湖北, 武汉, 430074](#)
刊名: [勘探地球物理进展](#)
英文刊名: [PROGRESS IN EXPLORATION GEOPHYSICS](#)
年, 卷(期): 2006, 29(2)
引用次数: 7次

参考文献(41条)

1. 何兰芳, 王绪本, 王成祥 [应用小波分析提高MT资料信噪比](#)[期刊论文]-[成都理工大学学报\(自然科学版\)](#) 1999(3)
2. 徐义贤, 王家映 [基于连续小波变换的大地电磁信号谱估计方法](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2000(5)
3. 王书明, 王家映 [高阶统计量在大地电磁测深数据处理中的应用研究](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2004(5)
4. 徐世浙 [地球物理中的有限单元法](#) 1994
5. 徐世浙 [地球物理中的边界元法](#) 1995
6. 晋光文, 孔祥儒 [阻抗张量畸变与分解](#) 2005
7. 黄临平, 戴世坤 [复杂条件下3D电磁场有限元计算方法](#)[期刊论文]-[地球科学-中国地质大学学报](#) 2002(6)
8. 谭捍东, 余钦范, John Booker, 魏文博 [大地电磁法三维交错采样有限差分数值模拟](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2003(5)
9. 陈小斌, 赵国泽, 詹艳 [MT资料处理解释的Windows可视化集成系统](#) 2004(zk)
10. 师学明, 王家映, 歌田久司 [三维大地电磁地形影响的有限元数值模拟](#) 2005
11. 师学明, 王家映, 歌田久司 [基于矢量有限元的三维MT共轭梯度反演法](#) 2005
12. 徐义贤, 王家映 [大地电磁的多尺度反演](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 1998(5)
13. 张丽琴, 王家映, 严德天 [一维波动方程波阻抗反演的同伦方法](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2004(6)
14. 魏超, 朱培民, 王家映 [量子退火反演的原理和实现](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2006(2)
15. 罗红明, 王家映 [量子路径积分算法及其在MT资料反演中的应用](#) 2005
16. 谭捍东, 余钦范, John Booker, 魏文博 [大地电磁法三维快速松弛反演](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2003(6)
17. 戴世坤, 徐世浙 [MT二维和三维连续介质快速反演](#) 1997(3)
18. 杨辉, 王永涛, 戴世坤, 张霖斌 [带地形的MT多参量二维快速模拟退火约束反演](#)[期刊论文]-[石油地球物理勘探](#) 2003(2)
19. 于鹏, 王家林, 吴健生 [有限差分法大地电磁多参数偏移成像](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2001(4)
20. 陈华根, 吴健生, 王家林, 陈冰 [模拟退火算法机理研究](#)[期刊论文]-[同济大学学报\(自然科学版\)](#) 2004(6)
21. 于鹏, 王家林, 吴健生 [大地电磁全频段偏移成像结合反演技术](#)[期刊论文]-[同济大学学报\(自然科学版\)](#) 2005(4)
22. 于鹏, 王家林, 吴健生 [大地电磁场成像方法综述与新进展](#) 2003(1)
23. 胡祖志, 胡祥云, 何展翔 [三维大地电磁数据的二维反演解释](#)[期刊论文]-[石油地球物理勘探](#) 2005(3)
24. 邓明 [电场差分信号的采集特点及数据采集系统](#)[期刊论文]-[现代地质](#) 1998(3)
25. 吕友生, 何展翔 [建场测深法在油气勘探中的应用](#) 1994(6)
26. 崔先文, 何展翔, 刘雪军 [频谱激电法在大港油田的应用](#) 2004(z1)
27. 苏朱刘, 胡文宝 [大地电磁测深“降维逼近法”二维反演](#)[期刊论文]-[石油地球物理勘探](#) 2002(5)
28. 张翔, 胡文宝 [带地形的大地电磁测深联合二维反演](#)[期刊论文]-[石油地球物理勘探](#) 1999(2)

29. 蔚宝强, 胡文宝 [MT资料的遗传法反演](#)[期刊论文]-[江汉石油学院学报](#) 1999(3)
30. 陈清礼, 杨中海, 胡文宝 [有效的一维MT直接反演新方法](#)[期刊论文]-[石油地球物理勘探](#) 2003(3)
31. 何展翔, 贾进斗, 苟量 [非地震技术在油气勘探开发中的作用](#)[期刊论文]-[石油勘探与开发](#) 2001(4)
32. 郑莉, 王玉青, 何展翔, 陶德强, 安四喜 [CEMP在鄂尔多斯西缘前陆盆地应用效果分析](#)[期刊论文]-[应用地球物理](#) (英文版) 2004(2)
33. 何展翔, 刘雪军, 裘尉庭, 黄州 [大功率井-地电法油藏边界预测技术及效果](#)[期刊论文]-[石油勘探与开发](#) 2004(5)
34. 曹中林, 昌彦君, 何展翔 [基于演化算法的复电阻率频谱参数反演](#)[期刊论文]-[工程地球物理学报](#) 2005(1)
35. 贾进斗, 何展翔, 孔繁恕 [非地震综合物化探技术应用效果](#) 1998(5)
36. 何展翔, 王永涛, 刘云祥, 孙卫斌 [综合物探技术新进展及应用](#)[期刊论文]-[石油地球物理勘探](#) 2005(1)
37. 林存国, 徐凤银, 何展翔, 王财富, 江汶波 [采用综合勘探技术查明SB天然气田](#)[期刊论文]-[物探装备](#) 2005(2)
38. 何展翔 [非地震勘探技术的进步与发展趋势](#)[期刊论文]-[石油地球物理勘探](#) 2000(3)
39. 何展翔, 贺振华, 王绪本, 孔繁恕 [油气非地震勘探技术的发展趋势](#)[期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2002(3)
40. 杨云见, 米晓利, 何展翔, 宋喜林, 何兰芳 [电容耦合电阻率法介绍及其应用效果初探](#)[期刊论文]-[物探装备](#) 2004(1)
41. 何长文, 邵敏, 何展翔 [三维电磁技术研究与应用新进展](#)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 臧立勇, ZANG Li-yong [电法勘探在探测采空区及陷落柱等地质异常体中的应用](#) -[河北煤炭](#)2007(3)
在煤矿生产和建设中, 小窑采空区、陷落柱等地质异常体常因富含水或瓦斯而成为影响煤矿安全生产和建设的隐患。为解决上述问题, 文章介绍了瞬变电磁法和可控源音频大地电磁法两种电法勘探方法的原理以及在探测小窑采空区积水、富水陷落柱方面的应用及取得的地质效果。实践证明, 瞬变电磁法和可控源音频大地电磁法是探测小窑采空区、陷落柱等地质异常体的有效手段。
2. 会议论文 刘延忠 [应用可控源音频大地电磁法的初步认识](#) 2003
通过可控源音频大地电磁场法(CSAMT)在北京地区近十年的应用实践, 体验到该方法的一些主要优点, 同时也感觉到要应用好CSAMT法, 应做过细的工作, 并建议广泛地应用和加强应用研究工作。
3. 期刊论文 花育才, 项首龙, 夏双力, 孟红星, Hua Yucai, Xiang Shoulong, Xia Shuangli, Meng Hongxing [电法勘探在煤矿防治水中的应用](#) -[中国煤田地质](#)2006, 18(4)
根据小窑采空区、构造及陷落柱等不同地质条件, 介绍了采用瞬变电磁法、可控源音频大地电磁法的探测效果。通过对比实验, 认为探测目的层埋深在500m以浅, 首选采用瞬变电磁法, 埋深超过500m, 则采用可控音频大地电磁法。
4. 期刊论文 严建民, 翟彩兰, 陈昌礼, 王星明, Yang Jianmin, Zhai Cailan, Chen Changli, Wang Xingming [电法勘探在金属矿勘查中的应用实例](#) -[石油仪器](#)2008, 22(5)
文章介绍了激发极化法(IP)、可控源音频大地电磁法(CSAMT)的技术原理、工作方法以及在金属矿勘查中的应用。应用结果表明: 电法勘探在解决金属矿成矿有利部位和找矿靶位方面是一种行之有效的勘探方法。
5. 学位论文 葛运华 [三维大地电磁正反演数值模拟](#) 2004
大地电磁法是一种天然源的频率域电磁法。由于天然场中含有从高频到低频丰富的频率成分, 而不同频率成分的电磁波具有不同的穿透(趋肤)深度, 因而, 研究大地对天然电磁场的频率响应, 可获得地下不同深度介质电阻率分布的信息。故大地电磁方法从提出到今得到了蓬勃发展, 使得一些新的处理解释方法能够很快得到实际资料的检验。但随着大地电磁二维反演方法愈来愈实用化, 人们在为二维反演的高效率和二维模型的可靠性感到倍受鼓舞时, 也愈来愈发现二维反演方法也存在一定的局限性, 这就迫切需要人们从三维的角度去思考解决实际地质问题。目前国内及国际上有很多的学者在从事大地电磁三维正反演问题的研究工作, 但很少有实用化的软件发布, 基于这种积热的国际研究氛围和强烈的实际生产需求中国地质大学(北京)和东方地球物理公司联合开发形成了高精度快速的三维大地电磁交错采样有限差分算法, 获得了三维大地电磁快速松弛反演(RapidRelaxationInversion, 简称RRI)算法, 成功地解决了大地电磁三维反演实用化难题。 本文采用数值模拟方法, 利用模型对比、实际资料的试算等手段验证三维大地电磁快速松弛反演算法的合理性及实用性。共取得了如下认识及结论:
1. 中国地质大学(北京)的谭捍东教授从大地电磁场的基本理论出发, 利用麦克斯韦方程式组的微分形式和积分形式, 获得了三维大地电磁快速松弛反演(RapidRelaxationInversion, 简称RRI)算法, 成功地解决了大地电磁三维反演实用化难题。
2. 本文通过大量的理论模型的正反演数值模拟的对比及分析, 认为三维快速松弛正反演算法较之传统的二维正反演算法可以比较客观地恢复理论模型的形态。
3. 通过对多个理论模型合成数据进行反演试算, 结果证明了三维快速松弛反演算法的正确性和稳定性。
4. 通过对勒勒塔格一号构造带实测资料的反演, 结果表明三维快速松弛反演已达到实用的程度。
5. 通过对红山地区的实测资料的试算, 认为利用离散傅氏变换实现三维MT数据的插值与三维快速松弛正反演相结合, 可以拓宽三维快速松弛正反演的使用范围, 对构造形态的认识具有一定的辅助作用。
6. 会议论文 谭捍东, 李聪媛, 王彩旗 [大地电磁三维反演在土屋铜矿床探测中的应用研究——三维反演和解释](#) 2003
对所有测点的视电阻率和相位数据进行了反演, 获得了测区地下电阻率的三维分布图像。测区内的最明显电性特征是地表普遍分布几十米厚的低阻体, 在测区中间部位存在两个连通性较好的高阻带。三维分布图像与0勘探线、7勘探线矿体断面和矿体平面分布范围有较好的对应关系。推断测区内浅部含矿的重点部位是低阻背景中的相对高阻带; 深部对应矿(化)体的地层位于良导体和高阻基岩间的过渡带主要分布在高阻带Ⅰ和高阻带Ⅱ所在的区域。
7. 会议论文 谭捍东, 李聪媛, 叶高峰, 舒晴, 王彩旗, 谢裕春 [大地电磁三维反演在土屋铜矿床探测中的应用研究——数据采集和预处理](#) 2003

针对土屋铜矿区地表低阻覆盖层厚、矿与围岩的电性差异不大的特点,应用穿透低阻能力强、勘探深度大的电磁阵列剖面法开展了面积性的勘查工作.由于采用了先进的仪器系统和数据预处理技术,获得了高质量的野外数据,为进一步的三维反演工作奠定了基础.

8. 期刊论文 [胡建德](#) [电法勘探中的数学模型 - 数学的实践与认识](#)2004, 34 (2)

文章介绍了地球物理勘探中大地电磁法(MT)在二维构造上的数学模型和正反演方法,也给出了可控源音频大地电磁测深(CSAMT)的二维正演数学模型.

9. 会议论文 [李凯](#) [高密度电法与大地电磁测深勘察岩溶的应用效果](#) 2006

本文以实测的宜万线龙麟宫隧道溶腔底岩溶勘察为例,把高密度电法与大地电磁法联合运用于岩溶勘察中,两者结果基本一致,由此成功解译出了岩溶发育带位置及深度,为岩溶勘察提供了一种新的综合勘探方法.

10. 学位论文 [楚恒](#) [基于DSP的通用的随机激电观测系统及数据处理研究](#) 2003

随着电子技术的发展,将DSP芯片技术运用于地球物理勘探仪器之中,提高实时数据处理效率成为重要的发展方向.目前的激电仪主要是以单片机或工控机作为控制与数据处理的核心,而单片机与工控机由于其自身的特点使得其在信号处理方面有一定的局限性.作为电法勘探分支方法的伪随机多频激电法在实际应用取得了良好的效果,而在该方法的运用中需要大量的信号处理运算.本文在分析数字信号处理技术与DSP芯片技术的基础上,结合伪随机多频激电法理论,从硬、软件两方面分析了该观测系统的组成与基本功能,提出了通用伪随机激电观测系统的硬件构成,并采用标准C和DSP芯片专用汇编语言编制了基于DSP芯片的通用伪随机激电观测系统配套软件.针对实际工作中常采用的电阻率法和激电法的中间梯度装置、联合剖面装置、对称四极测深装置、偶极装置、以及可控源音频大地电磁法(CSAMT)等编制了相应的数据处理程序,并根据工作装置的不同,实现了物探原始数据处理与简单成图,图片包括 ρ_s 、 F_s 、 $\Delta\phi$ 等.该系统可以在野外现场对各种地质情况的初步判断提供依据,改善了以往的激电仪器的实时数据处理能力.同时具有较强的通用性和实时性,能配合多种激电法的发送机,可以大大提高了野外工作效率.

引证文献(7条)

1. [戴前伟](#), [陈德鹏](#), [刘海飞](#), [冯德山](#) [双频激电井地电位技术研究剩余油分布](#)[期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2009 (3)

2. [岳安平](#), [底青云](#), [王妙月](#), [石昆法](#) [油气藏MT激电效应一维正演研究](#)[期刊论文]-[石油地球物理勘探](#) 2009 (3)

3. [Li Weili](#), [魏岩](#), [He Lanfang](#), [杨书江](#), [He Yi](#), [何展翔](#) [构造信息提取技术及其在CEMP中的应用](#)[期刊论文]-[物探装备](#) 2008 (04)

4. [拜文华](#), [杜庆丰](#), [肖渊甫](#), [严启团](#) [油气自电法在东胜地区隐蔽油砂矿勘探中的应用](#)[期刊论文]-[地质调查与研究](#) 2008 (02)

5. [张继锋](#), [冯兵](#), [汤井田](#), [吴迪](#), [王烨](#), [杜华坤](#) [歧离率在油气藏勘探中的应用研究](#)[期刊论文]-[勘探地球物理进展](#) 2007 (06)

6. [赵国泽](#), [陈小斌](#), [汤吉](#) [中国地球电磁法新进展和发展趋势](#)[期刊论文]-[地球物理学进展](#) 2007 (04)

7. [岳安平](#), [底青云](#), [王妙月](#), [石昆法](#) [含激电效应的CSAMT一维正演研究](#)[期刊论文]-[地球物理学报](#) 2009 (7)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_ktdqwljz200602001.aspx

下载时间: 2010年1月6日