

文章编号: 1006-6616 (2017) 01-0125-10

电磁资料在柴达木盆地东部地区 石炭系勘探中的应用

曾庆猛¹, 刘成林¹, 马寅生¹, 张贵斌², 毛智慧³

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 中海油田服务股份有限公司测井中心, 河北 廊坊 065201;

3. 北京中油瑞飞信息技术有限公司, 北京 100007)

摘要: 以柴达木盆地东部新采集的电磁资料为中心, 同时以钻井、地震资料为约束, 结合其他勘探资料、重力资料进行柴东地区石炭系综合研究、联合解释。研究过程中, 首先对电磁资料进行了前期的预处理和反演, 主要采用了一维 Bostick 反演、一维连续介质反演、二维共轭梯度反演、二维连续介质反演及最优化电性分层等反演技术; 而后通过对电磁资料进行联合解释和综合研究, 得出了柴达木盆地东部石炭系厚度图、石炭系埋深图等柴东地区综合研究成果; 最后利用上述研究成果预测了柴达木盆地东部石炭系含油气有利区带, 并且进一步针对柴达木盆地东部石炭系勘探提出了有意义的结论和建议。

关键词: 柴达木盆地; 石炭系; 电磁勘探; 地震勘探

中图分类号: P631.325 P534.45

文献标识码: A

1 地质背景

柴达木盆地东部地区指盆地内敦格公路以东的广大地区, 西起锡铁山—大柴旦, 东至牦牛山、沙利克山, 北接宗务隆山, 南至昆仑山前, 包括德令哈坳陷、锡铁山—牦牛山隆起及霍布逊坳陷 3 个一级构造单元^[1-3], 有利勘探面积约 3×10^4 km²。发育古生界 (石炭系)、中生界 (侏罗系、白垩系) 及新生界古近系、新近系和第四系^[4-6]。发育侏罗系、石炭系两套烃源岩, 以及石炭系、侏罗系、第三系多套成藏组合^[7-10]。

柴东地区发育盆缘祁连山和盆内欧龙布鲁克山、绿梁山—锡铁山—埃姆尼克山等三大山系。地表地质图 (见图 1) 显示, 柴东地区断裂体系平面上沿山体呈带状分布, 自西向东走向由北西向逐渐转为北西西向, 均是由三排冲断构造组成。区块西部构造带较窄, 东部构造带较宽, 总体呈现由北西向南东方向撒开的“帚状”, 在“帚状”

构造体系的西部叠加 3 条近东西向的走滑断裂。这种结构面貌通过断层、褶皱、山体及地层的走向展布表现出来, 主要断裂一般都发育有数条断层, 这些断裂对柴东地区隆坳相间的格局具有重要控制作用^[11-14]。

2 电磁勘探

1980 年以来, 柴达木盆地开展过大规模的电磁勘探工作^[15-16], 主要采用了以下几种勘探方法: ①大地电磁 (MT) 勘探; ②CEMP 勘探; ③三维 MT 勘探; ④时频电磁勘探; ⑤高频电磁勘探。

柴达木盆地东部石炭系属于新区域、新层系, 需要进行大量的野外地质调查、地球物理资料、电磁资料的处理与解释以及样品的实验分析工作。由于该区域现存可利用的地球物理资料年代早, 品质低, 且测线较短, 对柴达木盆地东部石炭系的宏观展布与构造特征难以识别。为深入研究盆地山关系和再分析与利用地球物理资料, 需要新的

收稿日期: 2016-05-03

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“柴达木盆地古生代油气资源调查评价”(1212011120964)

作者简介: 曾庆猛 (1977-), 男, 湖北, 博士后, 主要从事地震、重磁电方面研究工作。E-mail: 441069661@qq.com

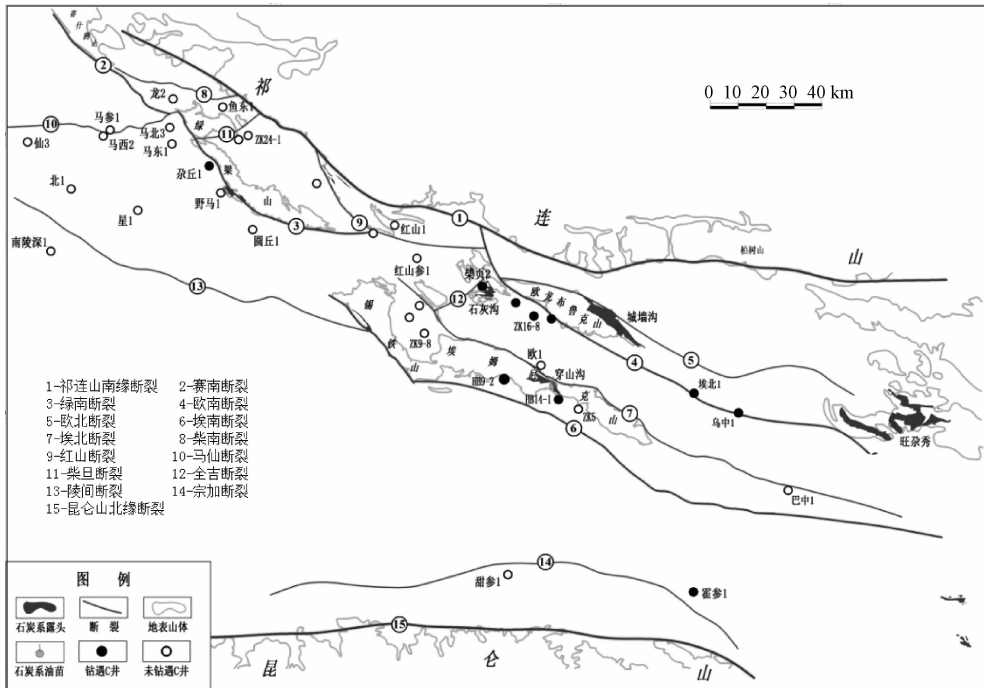


图1 柴东地区断裂体系图

Fig. 1 Fault system in eastern Qaidam Basin

电磁探测剖面，以揭示盆地深部结构和盆山关系，从而利于柴东地区石炭系下一步的油气勘探。

近年来，中国地质调查局、中国地质科学院地质力学研究所联合东方地球物理公司综合物化探处在柴东怀头他拉—诺木洪地区部署区域 MT、磁力勘探剖面 2 条，部署工作量 240 km，点距 1 km，坐标点 240 个，检测点占坐标点的 3%，部署检测点 8 个，合计物理点 248 个。

柴达木盆地东部新采集的电磁数据主要是大地电磁测深资料。大地电磁测深法 (Magnetotelluric method 简称 MT) 是利用观测天然交变电磁场变化研究沉积岩及基底电性结构的地球物理勘探方法。天然电磁场结构虽然复杂，但这个场可以看成垂直入射地面。这种交变电磁场以波的形式在地下介质传播的过程中，因电磁感应原理，地面电磁场的观测值包含有地下介质的电阻率分布信息。由于电磁波的趋肤效应，不同周期的电磁场信号具有不同的穿透深度。通过观测地表上的大地电磁场，研究它的频率响应就可以了解地下垂直方向电阻率的分布情况。天然电磁场频谱丰富，通过地表接收与地下介质电性有关的正交的电场、磁场分量，应用傅立叶变换将时间序列信号转换为频率域信号，通过阻抗张量计算得到不同频率不同深度的视电阻率、相位信息，从而达到测深目的。大地电磁测深法具有勘探深度较大，不受高阻地

层的屏蔽及施工简便等优点^[17-18]。

本文主要利用柴达木盆地东部新采集的电磁资料 (主要是 MT 资料) 进行前期处理和反演工作，同时以钻井、地震资料为约束，结合其他勘探资料、重力资料进行柴东地区石炭系综合地质研究。

3 资料处理解释

3.1 资料处理流程

电磁资料处理的目的是通过对野外资料的进一步预处理和反演处理，获得供地质解释用的各种图件、数据等文件，它是后续解释工作的基础，依据电性层与各地层的对应关系，结合钻井、地震、重磁和区域地质资料对电性层进行地质推断解释。每个环节的处理质量都将对最终成果产生很大的影响，因而要研究电性特征与地质构造，必须考虑各环节对最终成果的影响，必须把它们作为一个整体进行研究，体现“处理、解释一体化”的整体优势^[19-21]，本项研究的具体处理解释流程见图 2。

3.2 资料预处理

电磁数据预处理主要内容有去噪、极化模式判别、静位移校正等。

图 3 为 8027 测线视电阻率静校正前后平面对

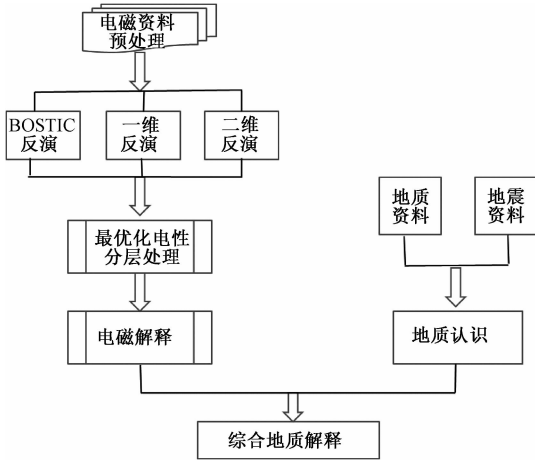


图 2 资料处理解释流程图

Fig. 2 Flowchart of data processing and interpretation

比图。从图上可以看出, 静校正前原始等值线相对较凌乱, 密集陡直, 存在“挂面条”现象; 静校正后, 等值线平缓分层性好, 高阻层与低阻层连续性好, 视电阻率断面在横向上的电性变化规律性更加明显, 同时又保留了校正前的变化趋势。静校正前后的视电阻率断面图对比表明, 经过一系列静校正处理技术后, 其剖面更为清晰地展现了沉积地层的起伏变化。而且, 静校正后的视电阻率变化规律与不受静态位移影响的相位断面所揭示规律相一致, 表明静态位移得到较大程度的压制, 可以用于后续的反演处理。

3.3 资料反演

电磁数据是频率域数据, 与地下的地电结构

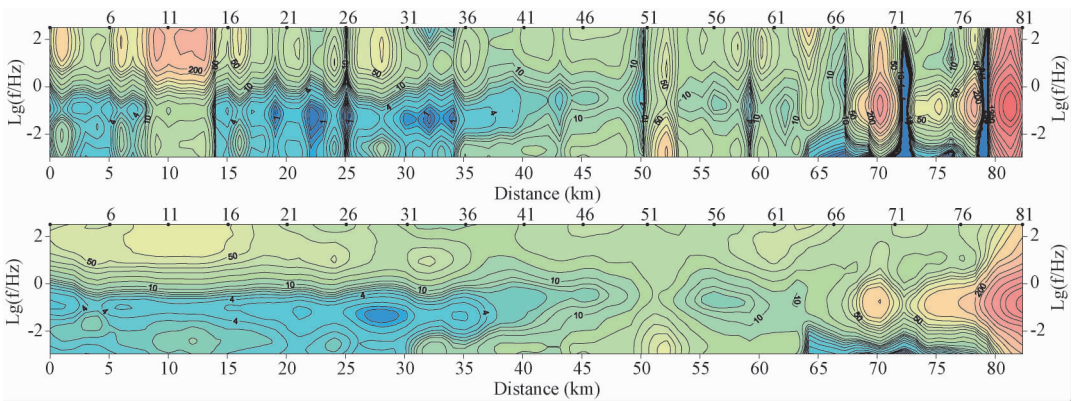


图 3 8027 测线静位移校正效果对比图 (上图为静校正前, 下图为静校正后)

Fig. 3 Line 8027 Contrast map of static-displacement correction results

不是简单的对应关系, 而是一种复杂的非线性关系, 需要用反演的方法把频率域数据转化成电阻率-深度的关系。反演处理是频率域数据向深度域转化的关键, 处理结果的好坏直接影响最终地质成果的质量。反演方法有多种, 对于某一地区反演方法的选择, 不仅要考虑该区的地电特征, 而且要看具体的反演效果^[22-23]。

处理采用了一维 Bostick 反演、一维连续介质反演、二维共轭梯度反演、二维连续介质反演技术及最优化电性分层技术^[24-25], 反演效果见图 4。

一维 Bostick 法是一维大地电磁测深曲线的近似反演法, 是大地电磁勘探最早使用的反演方法, 它是在理想模型条件下从理论公式推导出来的单频点直接反演方法, 因此具有算法简单、运算速度快的特点。

一维连续介质反演假设地下介质的电性随深度的变化而渐变, 逐步迭代逼近, 使正演结果与实测数据达到最佳拟合, 尽可能与实测值一致,

是一种无需提供初始模型的一维直接反演方法。

二维共轭梯度反演是在构建目标函数时引入正则化的思想, 利用共轭梯度法求解最优化问题。在每次迭代过程中根据目标的收敛情况更新正则化因子, 有效地解决了迭代时目标函数发散的问题, 具有收敛速度快、精度高、结果稳定等优点。

二维连续介质反演是带地形校正的二维反演方法, 它既可克服地形和地表浅层不均匀体的影响, 同时又可较好地刻画地下电性层的纵横向变化特征。

3.4 最优化电性分层技术

在二维连续介质反演的基础之上, 采用最优化分层技术对电法资料作电性分层处理。由于反演过程就是根据实测数据来恢复可能的大地地电结构, 而地电断面以电阻率随深度变化的形式展现, 地层界面、断裂等地质信息不直观。为此, 对电法反演数据体利用层间离差计算方法进行最优化分层处理。其分层目标使得各层段内部的电阻率物性差异性最小, 层段间的电阻率物性差异

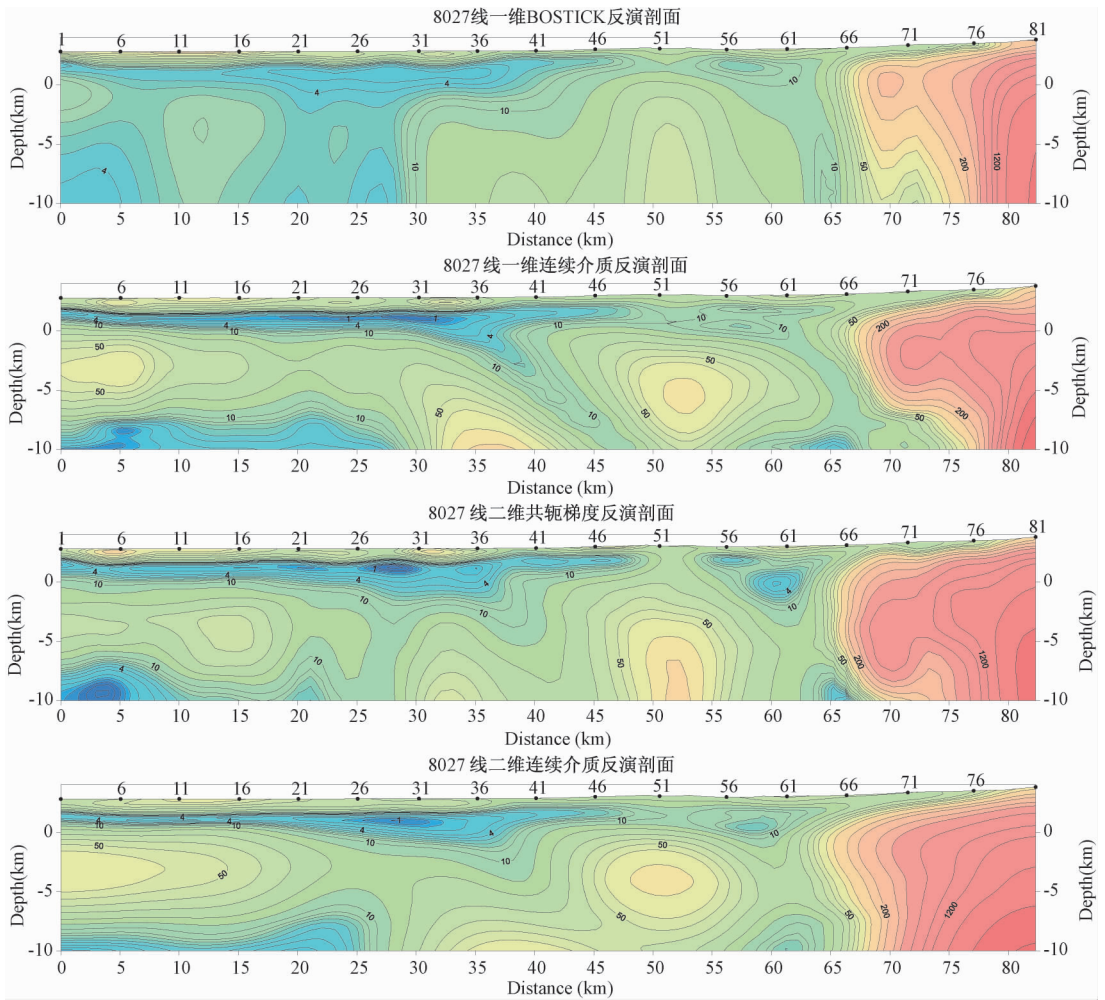


图4 8027测线反演效果对比图

Fig. 4 Line 8027 contrast map of inversion results

性最大，相当于地震的速度剖面，充分反映地下地电模型的分层规律，使处理成果所反映的地层界面位置、起伏变化、产状特征等相对更为直观，所包含的断层位置、构造样式、结构特征方面的信息更

加丰富，可以提供有效识别地质结构和构造变形的有用信息。

图5是8027测线经最优化电性分层技术处理后的分层剖面，比较清楚地反映出该剖面上的构

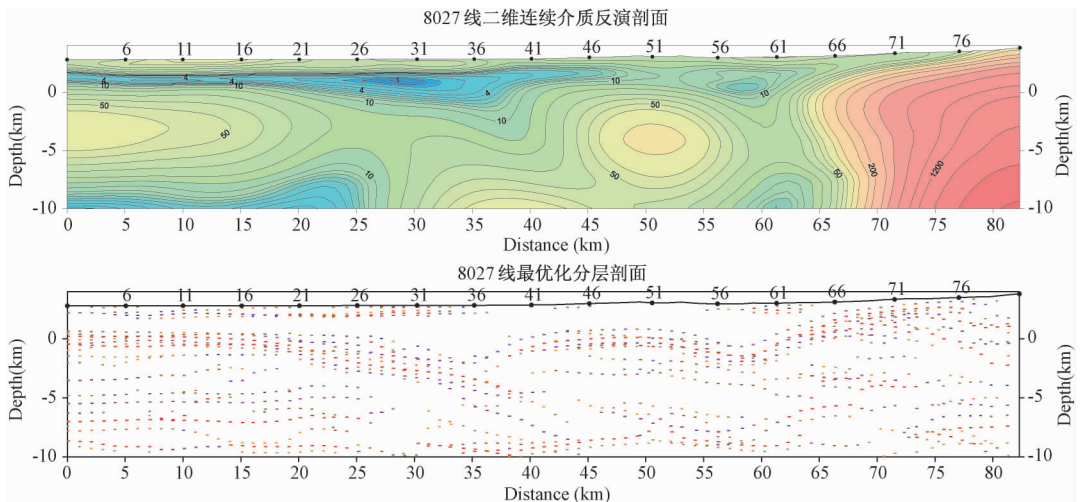


图5 8027测线界面信息提取对比图

Fig. 5 Interface-information contrast map of line 8027

造特征和构造模式, 特别是在电性分层方面给予了较明显的地质信息, 在横向上反映不同电性层沿测线的起伏形态和厚度变化, 可以较直观地追踪电性界面、断裂信息。

3.5 反演效果分析

通过各种反演方法的处理对比试验看出: ①不同反演方法所得的反演结果大轮廓是一致的, 都能揭示地下电性层起伏形态, 对地层的起伏形态、构造单元、断裂的位置及地层电阻率大小的反映基本是一致的。

②一维反演速度快, 但精度低, 尤其是 Bostick 反演浅层效果较好, 但深层反映的信息比较复杂, 不利于对资料进行解释, 相对而言一维连续介质反演较 Bostick 反演效果明显要好得多。③二维反演由于考虑了电性的横向变化, 所以精度高, 反演结果更加实际、合理。④二维共轭梯度反演对规模较大的构造反映比较好; 二维连续介质反演采用“电磁场传输函数向上延拓技术”向上延拓处理后, 静态效应、地形影响得到很好地压制, 对于地层层位的追踪、断裂位置的推断、局部构造的划分等比较客观真实。

在实际资料反演过程中, 二维反演结果需要与一维反演结果进行对比验证, 对一维、二维反演结果“求大同存小异”。在剖面处理过程中, 必

须参考已知地质、重磁、地震等资料对反演结果进行分析论证, 针对需改进的地方重新修正参数, 而后对资料进行重新反演, 直至处理结果合理为止。所以本文主要是利用一维反演、二维反演以及在此基础上进行的最优化电性分层技术, 同时参考其他反演结果, 互相补充、互相参考。

4 电磁资料的综合解释

4.1 剖面的综合解释

4.1.1 电性层的标定解释

电性层的标定是电法资料解释的重要组成部分, 是电法资料能够准确反应地下地质构造形态的关键步骤。剖面的标定解释主要有以下几个方面:

①利用剖面上或附近的钻井分层资料进行标定解释。8026 测线剖面附近有 3 口钻井, 分别是埃北 1 井、德页 1 井和德参 1 井。埃北 1 井、德页 1 井基本在测线上, 德参 1 井离测线稍远, 约 5~6 km。

埃北 1 井位于 8026 测线 102 号点位置, 是 2010 年完钻的一口探井, 根据埃北 1 井的电性、岩性特征与德参 1、德科 1 井及地面露头岩性特征, 综合对比划分了本井的地层, 从对比结果看, 该井没有钻遇中生界侏罗系和白垩系, 由第三系 906 m 直接进入石炭系 (见表 1)。

表 1 埃北 1 井、德参 1 井等钻井分层数据表

Table 1 Drilling stratification data table of Aibei No. 1 drilling, Decan No. 1 drilling and Deke No. 1 drilling

井号	井深/m	补心海拔/m	Q ₁₊₂	N ₂ ³	N ₂ ²	N ₂ ¹	N ₁	E ₃	K	J ₃	C
德参 1	4456	2866.71	96	799	1926	2366	3107	3935	4242	4456.73 ▽	
德科 1	3000	2982.57				1160	2550	2880	3000 ▽		
埃北 1	1319	2889.20					328	906			1319 ▽

德页 1 井是 2013 年新完钻的一口页岩气井, 钻井显示该区没有石炭系和中生界, 由第三系直接进入基岩 (见表 2)。

表 2 德页 1 井地层分层对比数据

Table 2 Stratigraphic stratification correlation data of

Deye No. 1 drilling

界	系	统	组	段	底界深度/m
第四系		全新统 更新统	七个泉组	Q ₁₊₂	
			狮子沟组	N ₂ ³	508
			下油砂山组	N ₂ ²	769
新生界	新近系	上新统	下油砂山组	N ₂ ¹	894
			上干柴沟组	N ₁	1120
			下干柴沟组	E ₃	1210
中生界	白垩系 侏罗系		犬牙沟组	K + J	
				C	
			基岩		1306

德参 1 井是 1985 年在德令哈构造钻探的一口深探井, 设计井深 4500 m, 实际井深 4456.73 m, 完钻层位为侏罗系, 由于当时钻机负荷能力有限, 未能钻穿中生界。具体分层见表 1。

②最优化分层: 采取电法资料最优化分层与反演电阻率断面相结合进行电性层划分, 可以提高 MT 剖面的纵向分辨率, 增加了解释的准确性和可靠性。

③石炭系电性特征: 石炭系为新生界低阻层下部的一套高阻层, 电阻率 30~2000 Ω·m, 平均电阻率 200 Ω·m (见图 6)。

4.1.2 剖面的综合解释

4.1.2.1 参考地震资料进行综合解释

收集了与 8026、8027 测线重合或相邻的地震

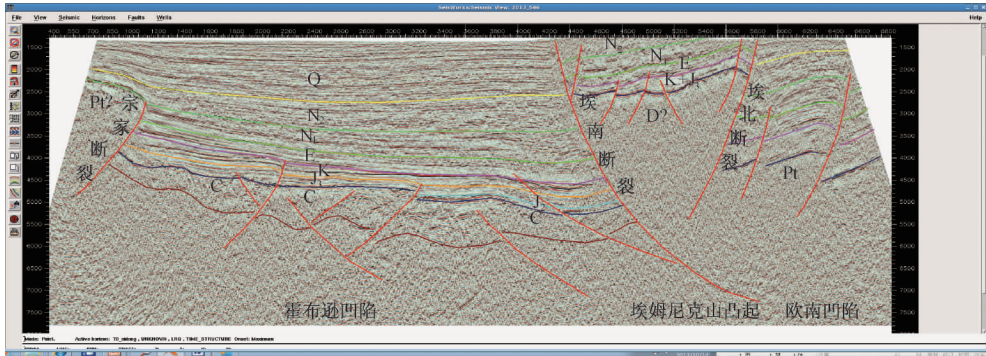


图6 电阻率测井对比特征图

Fig. 6 Resistivity logging contrast map

剖面, 指导电磁资料的处理解释。主要作用表现在三方面:

①参考地震资料的起伏形态对剖面进行推断解释, 具体过程以地震 CD546 剖面 (见图 7) 为例。546 剖面起点坐标为 16818979 (x)、4039894 (y);

终点坐标为 16851154 (x)、4095923 (y)。地震 CD546 剖面与 MT 剖面 8026 测线南段重合, 将相应位置根据坐标对应好, 对比 MT 剖面的起伏形态和地震剖面的起伏形态是否一致, 如果一致则说明 MT 剖面处理已经到位, 能够反应区域构造起伏特征。

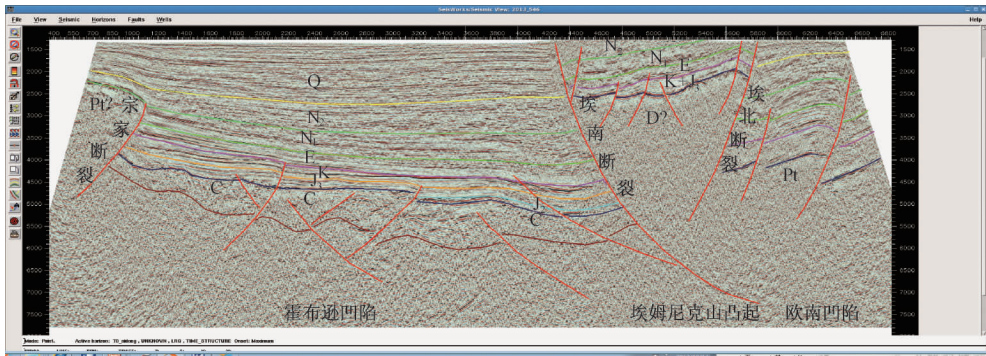


图7 地震 CD546 解释剖面图

Fig. 7 Seismic interpretation profile of line CD546

②对比地震剖面的解释层位是否可靠, 依据是否充分, 可靠层位就可以标定 MT 测线, 不可靠层位还需要根据 MT 资料来确定。

③对地震剖面进行深度换算, 推断相应地质层位的厚度和埋深, 对 MT 剖面进行辅助解释。

4.1.2.2 参考重磁资料进行综合解释

重磁资料的作用主要表现在 2 个方面: 一方面主要对比剖面的起伏形态与剩余重力异常形态的隆坳关系是否一致, 剩余重力异常反应了沉积岩的厚度变化或基底顶面的起伏形态, 一致则说明剩余重力异常真实反映了区域的隆坳格局, 如果不一致要结合 MT 剖面电阻率异常和磁力异常综合分析不一致的原因; 另一方面分析磁力异常与下元古界基底的分布关系, 下元古界是区块的磁性基底面, 而局部花岗岩等侵入岩则形成局部团块状磁力异常, 进而根据剖面结构特征、下元古界

分布结合磁力化极异常及重力异常特征综合分析重磁电异常不一致的形成原因及影响因素。

4.2 平面的综合解释

平面的综合解释主要在德令哈坳陷, 以近年来新完成的 MT 剖面 8026、8027 测线为中心, 同时结合 2004 年在德令哈地区采集的 7 条区域 MT 勘探剖面 and 2007 年在克鲁克构造采集的 5 条 110 km 地震勘探剖面, 对地震、MT 剖面进行了综合解释, 并结合重磁异常特征对这些剖面进行了平面成图。

4.2.1 石炭系底面埋深特征

由德令哈地区非地震 (电磁) 勘探石炭系底面埋深图 (见图 8) 可见, 德令哈地区石炭系底面埋深主体呈北西向隆坳相间展布, 按构造单元分别叙述如下:

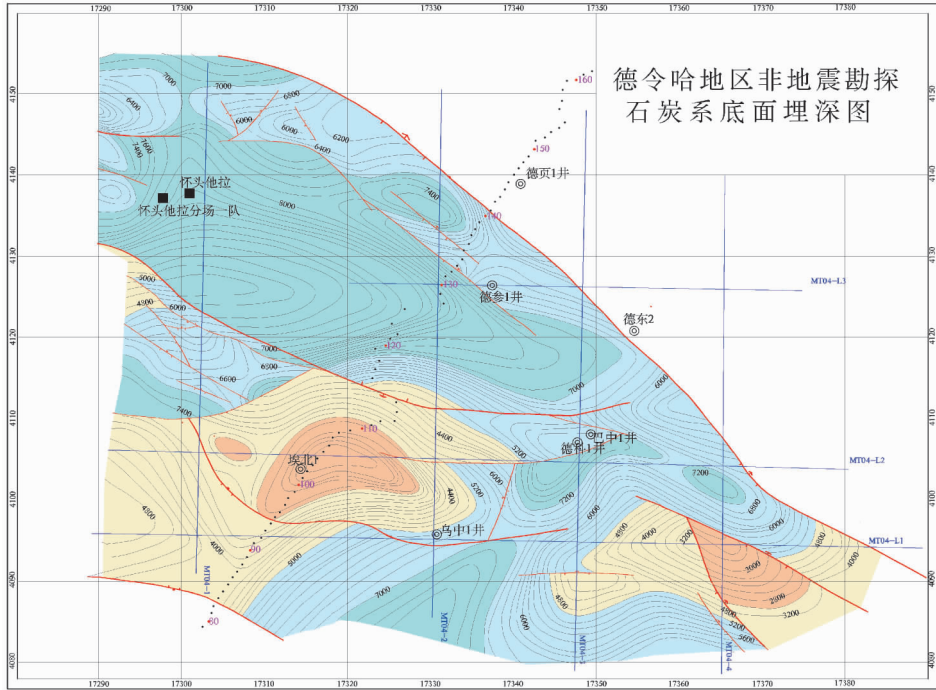


图 8 德令哈地区非地震 (电磁) 勘探石炭系底面埋深图

Fig. 8 Carboniferous base layer Buried depth map by non-seismic (Electromagnetic) exploring in Delingha area

德令哈凹陷: 受北西向断层控制, 主体呈北西走向的凹陷特征, 内部的凹陷及构造带呈近东西走向。德令哈凹陷受欧龙布鲁克凸起北断控制最大埋深在该断层下盘达 10400 m, 向东迅速变浅, 东部只有 6000 m 左右。向东北部埋藏变浅, 受宗务隆山前断层控制断层上盘缺失石炭系; 向北在怀头他拉北部有一排近东西走向的构造高带, 最小埋深不足 6000 m, 向西延出测区; 怀头他拉西部也存在 2 个构造显示, 向西延出测区, 应引起进一步勘探的重视。

欧龙布鲁克凸起: 主体呈北西走向, 石炭系在埃北 1 井埋藏最浅, 不足 1000 m, 向两侧埋藏迅速变深; 西部克鲁克构造最小埋深 4400 m, 向东南埋藏逐步变深, 最深达 7400 m; 东部在德科 1 井南部埋藏最深达 8000 m, 东部边缘埋藏逐步变浅。

埃北凹陷: 受埃北断层控制形成箕状断陷, 南深北浅, 石炭系底面最大埋深 7600 m, 向北及东西两侧埋藏逐步变浅, 向西延出测区。

综合评价认为, 埃姆尼克山前构造带是石炭系进一步勘探的有利区带, 昆仑山前带东段是进一步勘探的较有利区带。

红山—怀头他拉地区, 德令哈凹陷西部的宗务隆山前的北西向构造高带是进一步勘探的有利

石炭系底面埋深图 (见图 8) 整体显示, 主体呈北西走向隆拗相间展布特征, 德令哈凹陷埋藏最深, 达 10400 m, 埃姆尼克山前最大埋深达 7600 m。

4.2.2 石炭系厚度分布特征

由德令哈地区非地震 (电磁) 勘探石炭系厚度图 (见图 9) 可见, 石炭系分布呈明显的东西向厚薄相间展布特征, 改变了构造单元北西向隆拗相间的展布格局。受宗务隆山前断层控制, 宗务隆山石炭系缺失。德令哈凹陷石炭系呈近东西走向, 有 2 个厚度中心, 一个在怀头他拉南部, 最大厚度 2000 m; 另一个在怀头他拉北部, 最大厚度 1800 m, 向北逐步减薄。欧龙布鲁克凸起石炭系厚度较薄, 埃北 1 井区小于 600 m, 德科 1、巴中 1 井区石炭系厚度不足 1000 m, 向西明显增厚达 1400 m, 而乌中 1 井区存在一个近东西向的石炭系厚度中心, 最大厚度 2000 m, 略呈向北凸的弧形, 南部与埃北凹陷相连。埃北凹陷石炭系最大厚度在中部达 2000 m, 向东西两侧逐步减薄。区带, 古隆起带周缘也是进一步勘探的较有利区带。

德令哈地区, 欧龙布鲁克凸起是进一步勘探的有利区带, 南部的埃北凹陷也可能是进一步勘探的较有利区带。

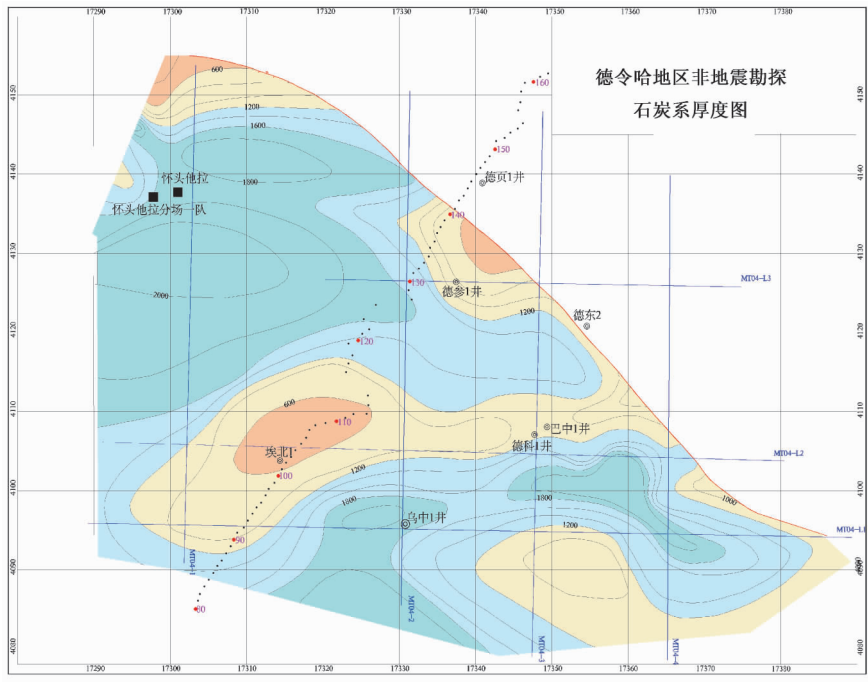


图9 德令哈地区非地震(电磁)勘探石炭系厚度图

Fig. 9 Carboniferous thickness map by non-seismic (Electromagnetic) exploring in Delingha area

5 结论与建议

柴达木盆地东部石炭系地层属于新勘探区域,单井、地震资料比较少,因此在勘探过程中,大地电磁资料较为重要。本文利用柴达木盆地东部新采集的电磁资料,进行前期处理和反演工作,同时以钻井、地震资料为约束,结合其他勘探资料、重力资料进行综合研究、联合解释,从而对柴达木盆地东部石炭系的勘探工作起了重要的指导作用。

柴达木盆地各地区岩石电阻率具有分区性,每个分区都有各自的电性变化规律。综合分析认为石炭系是一套次高阻层,前石炭系为基底高阻层。前石炭系基底电阻率差异较大,志留系—泥盆系电阻率相对较低,早古生代寒武系、奥陶系及震旦系电阻率相对较高,元古界基岩电阻率最高,这是柴东地区基底岩性解释的电性依据。

根据电磁资料综合解释成果,除昆仑山前西段缺失外,柴达木盆地石炭系分布比较广泛,主体呈北西走向,在一里坪凹陷、昆仑山前带东段、祁连山前和阿尔金山前东段厚度较大,达2500 m。德令哈地区石炭系分布主体呈北西向展布,厚度一般600~2600 m之间;红山—怀头他拉地区石炭

系厚度呈北西西向分布,有3个带厚度较大,最大厚度3000 m。柴达木盆地石炭系综合评价认为,埃姆尼克山前构造带是石炭系进一步勘探的有利区带,昆仑山前带东段是进一步勘探的较有利区带。红山—怀头他拉地区电磁勘探区域石炭系综合评价认为,德令哈凹陷西部宗务隆山前的北西向构造高带是进一步勘探的有利区带,古隆起带周缘是进一步勘探的较有利区带。德令哈石炭系综合评价认为,欧龙布鲁克凸起是进一步勘探的有利区带,南部的埃北凹陷是进一步勘探的较有利区带。

参 考 文 献

- [1] 马寅生,尹成明,刘成林,等. 柴达木盆地石炭系油气资源调查评价进展[J]. 地球学报, 2012, 33(2): 135~144.
MA Yin-sheng, YIN Cheng-ming, LIU Cheng-lin, et al. The progress of Carboniferous oil and gas investigation and assessment in Qaidam Basin [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2012, 33(2): 135~144.
- [2] 汤良杰,金之钧,戴俊生,等. 柴达木盆地及相邻造山带区域断裂系统[J]. 地球科学, 2002, 27(6): 676~682.
TANG Liang-jie, JIN Zhi-jun, DAI Jun-sheng, et al. Regional fault systems of Qaidam Basin and adjacent orogenic belts [J]. Earth Science, 2002, 27(6): 676~682.

- [3] 马金龙, 李凤君, 贾庆军. 柴达木盆地北部碰撞构造与盆地改造变形 [J]. 石油实验地质, 2002, 24 (4): 291 ~ 295, 300.
MA Jin-long, LI Feng-jun, JIA Qing-jun. Collisional structures and basinal Deformation in the North Qaidam Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 2002, 24 (4): 291 ~ 295, 300.
- [4] 张守仁, 曹代勇, 戴俊生, 等. 柴达木盆地北缘块断带的扭动构造与阿尔金构造体系的关系 [J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24 (3): 218 ~ 223.
ZHANG Shou-ren, CAO Dai-yong, DAI Junsheng, et al. Relationship between the wrench structure in the north-margin block-faulting belt in the Qaidam basin and Altun tectonic system [J]. GEOTECTONICA ET METALLOGENIA, 2000, 24 (3): 218 ~ 223.
- [5] 付锁堂, 马达德, 郭召杰等. 柴达木走滑叠合盆地及其控油气作用 [J]. 石油勘探与开发, 2015, 42 (6): 712 ~ 722. DOI: 10.11698/PED.2015.06.03.
Fu Suo-tang, Ma Da-de, GUO Shao-jie, et al. Strike-slip superimposed Qaidam Basin and its control on oil and gas accumulation, NW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42 (6): 712 ~ 722. DOI: 10.11698/PED.2015.06.03.
- [6] 李守军, 张洪. 柴达木盆地石炭系地层特征与分布 [J]. 地质科技情报, 2000, 19 (1): 1 ~ 4.
LI Shou-jun, ZHANG Hong. Characteristics and distribution of the Carboniferous strata in the Qaidam basin, china [J]. Geological Science And Technology Information, 2000, 19 (1): 1 ~ 4.
- [7] 万传治, 乐幸福, 陈迎宾. 柴达木盆地东部地区石炭系分布规律与生烃潜力评价 [J]. 天然气地球科学, 2006, 17 (5): 663 ~ 667.
WAN Chuan-zhi, LE Xing-fu, CHEN Ying-bin. Distribution Laws And Evaluation Of Hydrocarbon Potential On Carboniferous In The East Of Qaidam Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17 (5): 663 ~ 667.
- [8] 于会娟, 刘洛夫, 赵磊. 柴达木盆地东部地区古生界烃源岩研究 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 2001, 25 (4): 24 ~ 29.
YU Hui-juan, LIU Luo-fu, ZHAO Lei. Study on Source Rocks of Palaeozoic in the Eastern Qaidam Basin [J]. Journal Of The University Of Petroleum, CHINA, 2001, 25 (4): 24 ~ 29.
- [9] 刘洛夫. 柴达木盆地东部地区烃源岩的生源与沉积环境 [J]. 古地理学报, 2001, 3 (2): 82 ~ 91.
LIU Luo-fu. Sedimentary Environments Of Source Rocks In The Eastern Qaidam Basin [J]. Journal Of Palaeogeography, 2001, 3 (2): 82 ~ 91.
- [10] 刘成林, 马寅生, 周刚, 等. 柴达木盆地石炭系生烃证据 [J]. 石油学报, 2012, 33 (6): 925 ~ 931.
LIU Cheng-lin, MA Yin-sheng, ZHOU Gang, et al. Evidence for the Carboniferous hydrocarbon generation in Qaidam Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33 (6): 925 ~ 931.
- [11] 张建良, 钟建华, 李亚辉, 等. 柴达木盆地东部石炭系石油地质条件及油气勘探前景 [J]. 石油实验地质, 2008, 30 (2): 144 ~ 149.
ZHANG Jian-liang, ZHONG Jian-hua, LI Ya-hui, et al. Petroleum Geologic Conditions And Exploration Prospects Of Carboniferous In The East Of Qaidam Basin [J]. Petroleum Geology And Experiment, 2008, 30 (2): 144 ~ 149.
- [12] 商琳, 戴俊生, 王彤达, 等. 基于新钻井对柴达木盆地东部石炭系分布及控制因素的再认识 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2014, 38 (2): 25 ~ 31.
SHANG Lin, DAI Jun-sheng, WANG Tong-da, et al. New study on Carboniferous stratigraphic distribution and controlling factors in the eastern Qaidam Basin based on new drilling data [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2014, 38 (2): 25 ~ 31.
- [13] 葛岩, 刘成林, 谢英刚, 等. 柴达木盆地石炭系油气勘探前景 [J]. 油气地质与采收率, 2014, 21 (2): 57 ~ 61.
GE Yan, LIU Cheng-lin, XIE Lin-gang, et al. Exploration Potential of Carboniferous in Qaidam Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21 (2): 57 ~ 61.
- [14] 曾庆猛, 刘成林, 张贵斌, 等. 柴达木盆地东部石炭系地震层速度求取方法的研究 [J]. 地学前缘, 2016, 23 (5): 176 ~ 183.
ZENG Qing-meng, LIU Cheng-lin, ZHANG Gui-bin. Calculation of Carboniferous seismic interval velocity in eastern Qaidam Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23 (5): 176 ~ 183.
- [15] 何展翔, 孟翠贤, 王财富, 等. 电磁法技术及其在柴达木盆地的勘探成效 [A]. 中国地球物理学会. 中国地球物理学会年刊2002——中国地球物理学会第十八届年会论文集 [C]. 中国地球物理学会, 2002: 2.
HE Zhan-xiang, MENG Cui-xian, WANG Cai-fu, et al. Electronmagnetic Technology and Exploration Results in Qaidam Basin [A]. Chinese Geophysical Society. The Annual China Geophysical Society 2002——The 18th Meeting Memoir of Chinese Geophysical Society [C]. Chinese Geophysical Society, 2002: 2.
- [16] 林存国, 王财富, 徐凤银, 等. 综合物化探技术在柴达木盆地的应用 [J]. 中国石油勘探, 2006, 11 (6): 64 ~ 70.
LIN Cun-guo, WANG Cai-fu, XU Feng-yin, et al. Application of Integrated Geophysical and Geochemical Exploration Techniques in Qaidam Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11 (6): 64 ~ 70.
- [17] 阳红. 综合电磁法技术研究及其应用效果 [D]. 成都理工大学, 2012.
YANG Hong. Comprehensive Technology Research and Application Effect of Electronmagnetic Method [D]. Chengdu University of Technology, 2012.
- [18] 李爱勇, 柳建新, 朱春生, 等. 大地电磁测深在桂中坳陷油气勘探中的应用 [J]. 物探与化探, 2012, 36 (1): 8 ~ 12.
LI Ai-yong, LIU Jian-xin, ZHU Chun-sheng, et al. The Application of Magnetotelluric Sounding to Oil and Gas

- Exploration in Central Guangxi Depression [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36 (1): 8~12.
- [19] 李智宏. 电磁勘探方法技术进展 [A]. 美国勘探地球物理学家学会 (SEG). 油气地球物理技术新进展——第 77 届 SEG 年会论文概要 [C]. 美国勘探地球物理学家学会 (SEG);, 2007: 11.
- LI Zhi-hong. Progress in Electromagnetic Technology [A]. SEG. New Progress in Petroleum Geophysics—the 77th SEG Annual Meeting Brief [C]. SEG; , 2007: 11.
- [20] 何展翔. 电磁勘探技术的发展机遇与挑战 [A]. 中国地球物理学会 (Chinese Geophysical Society)、中国地震学会. 中国地球物理 2010——中国地球物理学会第二十六年年会、中国地震学会第十三次学术大会论文集 [C]. 中国地球物理学会 (Chinese Geophysical Society)、中国地震学会, 2010: 2.
- HE Zhan-xiang. Development opportunities and challenges of Electromagnetic [C] //Chinese Geophysical Society, Chinese Seismological Society. Chinese Geophysical 2010: the 26th Annual Meeting of Chinese Geophysical Society, the 23th Meeting Memoir of Chinese Seismological Society [C]. Chinese Geophysical Society, Chinese Seismological Society, 2010: 2.
- [21] 孙卫斌, 宋群会, 郑莉, 等. 大地电磁测深技术发展及在油气勘探的应用 [C] //中国地质学会. 资源、环境与工程电法勘探方法技术交流会论文集. 中国地质学会, 2003: 7.
- SUN Wei-bing, SONG Qun-hui, ZHENG Li, et al. The Development of MT Sounding Technique and its Application to The Oil And Gas Exploration [C] //GEOLOGY AND PROSPECTING. Resource Environment and Engineer Electric Exploration Method Meeting Memoir [C]. GEOLOGY AND PROSPECTING; , 2003: 7.
- [22] 李亭亭. 垂直线源井地电磁法一维正演及勘探深度研究 [D]. 吉林大学, 2013.
- LI Ting-ting. Research on 1-D Forward Modeling and Investigation Depth of Borehole-surface Electromagnetic Method by Vertical Line Source [D]. Jilin University, 2013.
- [23] 张建国, 武欣, 赵海涛, 等. 时间域电磁勘探数据的模拟退火法反演研究 [J]. 电子与信息学报, 2015, 37 (1): 220~225.
- ZHANG Jian-guo, WU Xin, ZHAO Hai-tao, et al. A Simulated Annealing Method for Time-domain Electromagnetic Survey Data Inversion [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2015, 37 (1): 220~225.
- [24] 刘宏, 刘东琴, 杨轮凯, 等. 连续电磁剖面法在山前带勘探中的应用 [J]. 石油物探, 2004, 43 (5): 492~496.
- LIU Hong, LIU Dong-qin, YANG Lun-kai, et al. Application of continuous electromagnetic profiling in exploration in foothill belt [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2004, 43 (5): 492~496.
- [25] 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, 2004, 11 (3): 130~134.
- HE Chang-wen, SHAO Ming, HE Zhan-xiang. New Progress in 3D Electromagnetic Technology [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2004, 11 (3): 130~134.

ELECTROMAGNETIC DATA APPLICATION IN CARBONIFEROUS EXPLORATION OF EASTERN QAIMAM BASIN

ZENG Qingmeng¹, LIU Chenglin¹, ZHANG Guibin², MAO Zhihui³

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. Well-Log Center of China Oilfield Services Limited, Langfang 065201, China;

3. Beijing Richfit Information Company, Beijing 100007, China)

Abstract: Carboniferous formation in the eastern Qaidam Basin belongs to a new area and new strata and lack of data on well and seismic, so processing and interpretation of electromagnetic data must be valued. New Electromagnetic data in eastern Qaidam Basin was used as the center, constrained with drilling and seismic data, and combined with other exploration data, gravity data to do comprehensive research and joint interpretation in this area. Firstly the electromagnetic data was pre-processing and inversed, mainly using the one-dimensional Bostick inversion, one-dimensional continuous medium inversion, two-dimensional conjugate gradient inversion, 2D continuous medium inversion and optimization of electric-layered inversion technique. Then the electromagnetic data and other data was comprehensively interpreted and researched, thus get some comprehensive research results such as Carboniferous thickness map, Carboniferous buried-depth map, so as to effectively predict the oil traps in eastern Qaidam Basin. At last, some conclusions and recommendations were advised in the Carboniferous exploration of Eastern Qaidam Basin.

Key words: Qaidam Basin; Carboniferous; Electromagnetic survey; Seismic exploration