

地球物理勘探联合反演在六盘山盆地的应用

龙国富,王昌国,丁 茜

(中国石化集团江汉石油管理局地球物理勘探公司,湖北 潜江 433100)

[摘 要] 在六盘山盆地进行重力、电法和地震综合勘探的基础上,应用地球物理联合反演方法研究和解决盆山接触关系、断层分布、深部目的层分布和有利构造圈闭特征等问题,为油气勘探部署提供科学依据。

[关键词] 联合反演;重力勘探;电法勘探;地震勘探;六盘山盆地;构造圈闭

[中图分类号] TE132 [文献标识码] A [文章编号] 1009—301X(2006)06—0006—04

1 前言

六盘山盆地地跨宁夏回族自治区南部同心、海原、固原等县市,盆地呈一倒三角形,北宽南窄,面积 9000km²。

该区油气勘探从 20 世纪 50 年代开始,但由于受认识程度限制,盆地勘探程度仍然较低。2001 年以来,中石化西部新区勘探指挥部揭开了六盘山盆地油气勘探的新序幕,投入了高精度 1:5 万重力、大地电磁、地震等多种勘探方法的工作量,并且在海参 1 井进行钻探。

由于六盘山盆地黄土覆盖,在地震勘探中深部反射差,成本高,周期长,而且难度大;但是重力勘探却具有覆盖面积广和信息量大等特点,能多层次、多角度地提供大量地质信息,可以较准确地反映断裂特征,提取有利局部异常资料;电法勘探对于深部构造、地层纵向展布及逆掩推覆等有较好的显示。因此,鉴于不同地球物理勘探方法解决问题的特点及其局限性和多解性,对本区高精度重力、电法和地震资料进行联合反演是十分必要的。

本文结合六盘山盆地西南缘的地质目标,阐述了综合运用高精度重力、电法与地震资料进行联合反演的方法与应用效果。

2 地质地球物理概况

2.1 地质背景

六盘山盆地位于陕甘宁盆地西缘逆冲推覆构造带西南端,前人称为“六盘山弧形构造带”。区域构造跨越华北克拉通及秦祁褶皱带两大构造单元,西邻阿拉善地块及北祁连褶皱带,东为鄂尔多斯地块,南与秦岭褶皱带相邻,向西北延伸与河西走廊相对应。

六盘山盆地沉积盖层发育齐全,在盆地基底之上发育了石炭-二叠系、三叠-侏罗系、白垩系、第三系和第四系多套沉积盖层,厚度一般为 5000m~8000m,最厚可达万米;特别是盆内白垩系和第三系厚度大,分布广泛。

盆地沉积盖层巨厚,具有厚实的油气生成、聚集物质基础。盆地发育白垩系优质烃源岩,具有良好的油源条件。侏罗系为盆地又一套有利烃源岩层系。盆地发育两套良好的区域盖层和三套储层,可形成多套生储盖组合。

2.2 地球物理特征

岩层物性资料是综合解释的基础,是利用重力、电法和地震资料标定地层并进行解释的前提。结合地质和钻井等岩石物性资料及地球物理资料的处理解释结果,归纳出本研究区地层物性统计结果。

根据各地层的岩石密度特征,从上至下可划分出三个密度界面:即第四系与第三系、第三系与下白垩统乃家河-马东山组地层和下白垩统李洼峡组-志留系与奥陶系一下古生界地层等三个密度界面,详见表 1。

表 1 六盘山盆地主要密度界面表

地 层	密度值 (g/cm ³)	密度差 (g/cm ³)
第四系 (Q)	1.49	0.84
第三系 (R)	2.33	0.1
下白垩系乃家河组—马东山组 (K _{1n} —K _{1m})	2.44	0.1
下白垩统李洼峡组—志留系 (K _{1l} —S ₁)	2.54	0.16
奥陶系—下古生界 (O—Pt)	2.7	

根据电测井统计结果,六盘山地区电性可以分为五个电性层:即第四系、第三系、白垩系乃家河组-马东山组、白垩系李洼峡组-三桥组和前白垩系五个电性层,详见表 2。

表 2 六盘山盆地地层电性统计表

电 性 层	地 层	电阻率(Ω·m)
第一电性层	第四系	10~200
第二电性层	第三系	小于 5
第三电性层	白垩系乃家河组-马东山组	10~30
第四电性层	白垩系李洼峡组-三桥组	30~60
第五电性层	前白垩系	大于 60

[收稿日期] 2006-07-12

[基金项目] 中国石化集团江汉石油管理局科学技术研究项目(JTW0105001)

[第一作者简介] 龙国富(1973-),男,工程师,1996年毕业于桂林工学院物探专业。在中国石化江汉石油管理局地球物理勘探公司从事综合地球物理采集、处理和解释工作。

地震波对下白垩统乃家河 - 马东山组以上的层位有较好反射,而其下的深部反射层品质相对较差,同相轴追踪对比相当困难。

3 重力、电法和地震勘探资料联合反演

3.1 联合反演的定义

联合反演是利用已有钻井和地质资料,依据地震勘探和电法勘探对地质体垂向变化的敏感性,提供出地质体剖面的物理模型,建立起界面线性框架;利用高精度重力对平面异常展布的敏感性,提取目标界面的重力场作为控制约束条件,以达到精细描述地质体空

间的目的。
3.2 二维重力、电法和地震资料联合反演
剖面正演采用二度半任意多边形截面水平柱体重磁场正演,反演采用二度半重力人机联作迭代拟合。其主要原理是根据物性变化规律及地震和电性层特征,在计算中修改密度以及界面深度等参数,对地震和电法资料解释确定的地层,在重力反演中作为界面深度的控制;对地震或电法资料解释不确定的界面,通过正反演计算加以修正,最后达到模型正演异常与实测异常的最佳拟合。图 1、图 2 和图 3 是 LPS2004 - 75 线重力、地震联合反演解释结果。其具体反演步骤如下:

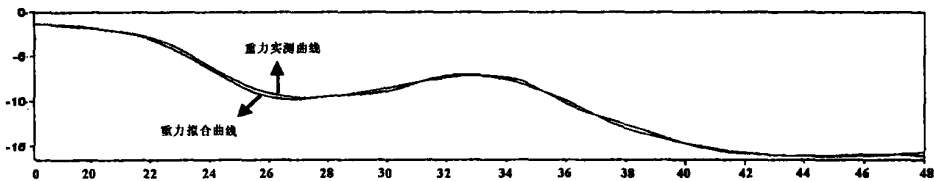


图 1 LPS2004 - 75 测线重力实测与拟合曲线

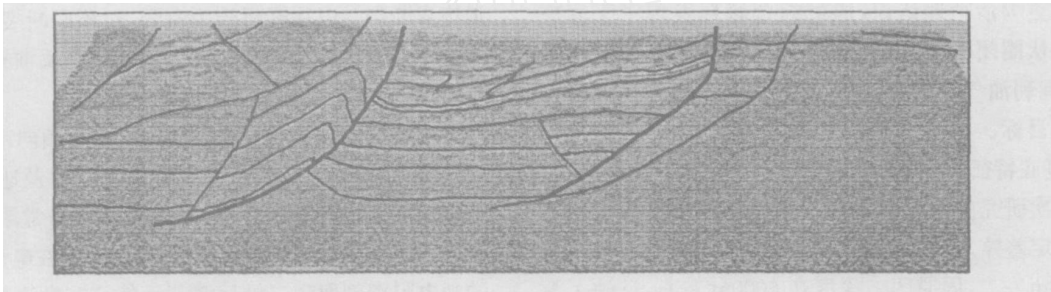


图 2 LPS2004 - 75 测线地震地质解释剖面

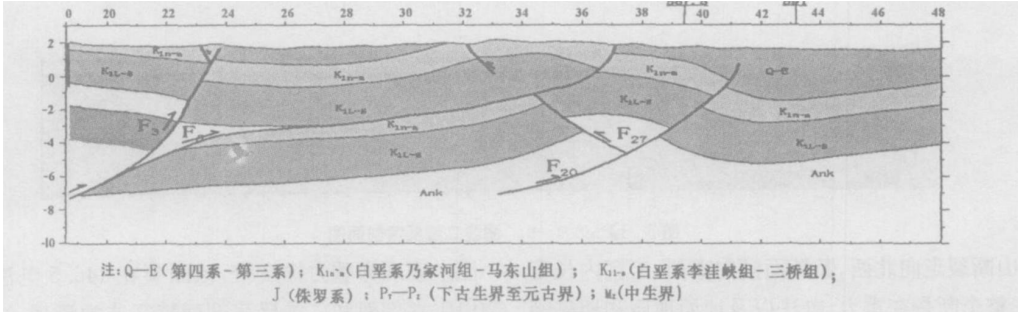


图 3 LPS2004 - 75 测线重力、地震联合反演解释图

- (1) 根据已知的地质、地震、电法资料建立剖面的初始模型;
- (2) 对初始模型进行二度半正演,求取理论重力异常值;
- (3) 比较理论重力值与实测值的差异,根据其残余修正初始模型;
- (4) 修改模型并且重新进行正演计算,直到理论值与实测值达到最佳拟合。

3.3 三维重力、电法与地震资料联合反演

由于本研究区地震资料有限,地震剖面主要集中在盆地中部,而对于盆地边缘如西南缘没有地震资料,同时

- 地震资料深部品质较差,为了能更好了解盆地基底起伏特征,本文应用了三维重力、电法、地震资料联合反演方法,得出六盘山盆地基底构造图,详见图 4。具体反演步骤如下:
- (1) 根据地震浅部反射层构造图和电法第三系构造图资料,进行重力正演计算,得到浅部第三系和上白垩系的重力效应图;
 - (2) 利用剥离法,消除浅部的重力效应,得到反映深部的重力效应;
 - (3) 结合钻井和地质资料作为约束条件,进行重力三

维反演,编制全区主要目的层和基底构造图。

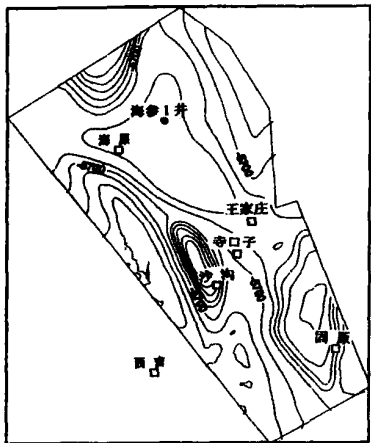


图4 六盘山盆地基底构造图

4 联合反演效果

经过本次综合地球物理联合反演,对六盘山盆地的基底、断裂、逆冲推覆体等特征及盆山接触关系比以往有了更为清晰地认识,通过综合解释发现了王家庄大型隐伏圈闭构造,该构造位于逆冲推覆体断层前锋端,为有利油气聚集区,因而能为该区今后勘探部署指示勘探目标。

4.1 基底特征

本次研究盆地的重力基底和以往提供的重力基底存在一定差异。在以往提供的重力基底中海原凹陷深度在8000m左右,固原凹陷深度在6000m左右,反映了海原凹陷比固原凹陷深。

本次应用三维重力、电法和地震资料联合反演得到的重力褶皱基底构造图(详见图4),反映出海原凹陷深度仍约为8000m,但固原凹陷深度增加到9500m左右,沙沟断阶深度在10000m左右,反映出沙沟断阶最深,其次是固原凹陷,而海原凹陷最浅。固原凹陷西缘被月亮山推覆带所掩覆,为六盘山盆地深度最大、最有利的生油沉积中心,为下步油气勘探指明了方向。

4.2 断裂分布特征

根据本次重力、电法和地震联合反演资料,六盘山盆地断裂有北北西向、南北向及北东向三组断裂系,以前两者为盆地中主要断裂。控制断裂发育的构造运动主要有两期:第一期为印支晚期-燕山中期;第二期主要为晚燕山期-喜山期。至于北东向平移断层,主要是由于在喜山期受到来自西南方向的挤压应力造成六盘山盆地月亮山一带大量推覆逆掩构造的形成,沿应力方向形成一系列平推断层,致使大部分北西向断层被错断,平面上呈羽翼状展布。

南华山、西华山断裂位于六盘山盆地西北侧,为盆地边界断裂。以往资料较为有限,对该两断裂的认识不太清楚。通过本次重力、电法、地震联合反演资料,对南华山、西华山断裂有了更为清晰地认识。

南华山断裂总体走向北西,断裂面倾向南西,工区内长度约86km。整个断裂在重力、电法以及地面地质和地震剖面上均有清楚显示。在布格重力异常图及重力剩余异常图上表现为重力梯度带,整个断裂在电法91测线的视电阻率剖面 and 二维反演剖面特征非常清楚,综合解释为一条大型逆冲断层,详见图5。

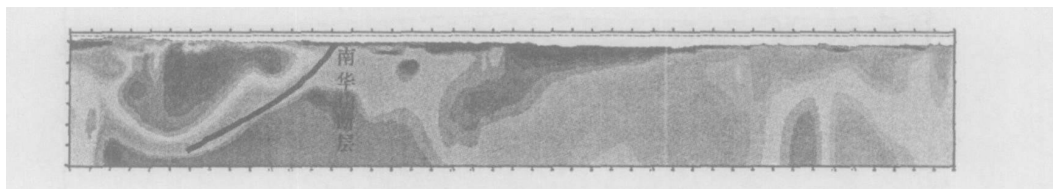


图5 LPS2004-91 测线二维反演剖面图

西华山断裂走向北西,断裂面倾向南西,工区内长度约25km。整个断裂在重力、电法以及地面地质和地震剖面上均有清楚显示。在布格重力异常图及重力剩余异常

图上表现为重力梯度带,该断裂在146.5电法测线的视电阻率剖面 and 二维反演剖面特征非常清楚,综合解释为一条大型逆冲断层,详见图6。

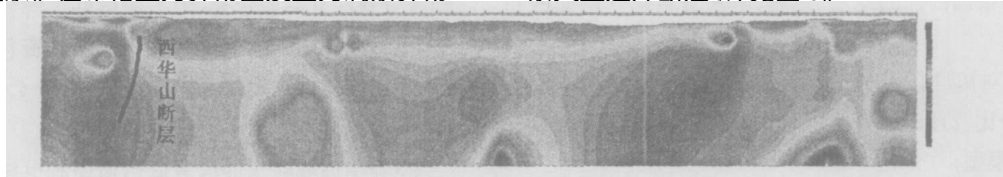


图6 LPS2001-146.5 测线二维反演剖面图

4.3 盆山接触关系

六盘山盆地盆山接触关系以往认识不清,而本次根据重力、电法、地震联合反演资料,清晰揭示了西南华山与六盘山盆地的关系。在布格重力异常图上清楚反映

为北西向三个重力高,南华山重力高与月亮山重力高走向发生扭曲,反映出明显的水平错断。从电性资料上看,西华山、南华山与月亮山分别由三个北西向的高阻带组成。西南华山隆起带在喜山期受西南方向应力的

挤压,下古生界-元古界结晶基底强烈隆起,由于受力不均匀,使隆起带遭到水平错断,使整个隆起带逆冲在六盘山盆地西南缘中生界地层之上,形成现今构造格局(详见图7)。

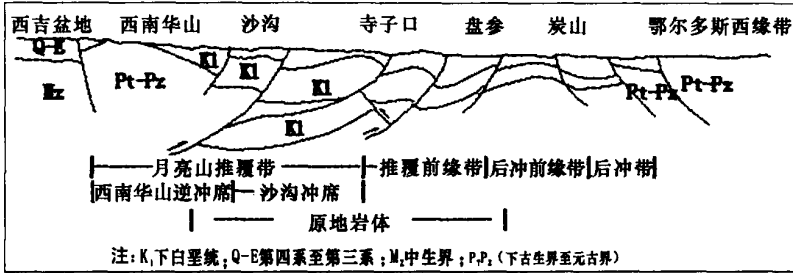


图7 六盘山盆地南部区域构造横剖面图

4.4 构造解释

通过联合反演解释认为,沙沟断阶、王家庄断背斜、固原凹陷位于月亮山推覆体前沿,部分掩复在推覆体下盘,埋藏深度加大,与海原凹陷相比,更有利于烃类成熟。推覆体上盘存在第三系储层和白垩系的砂砾岩储层,下盘有白垩系碳酸盐岩及砂砾岩两类储层,加之推覆构造带裂缝发育,可有效改造储层,形成“孔-缝”储集空间组合体系;逆冲推覆作用导致断裂和不整合面发育有利于油气的运移,在断层上盘背斜和断层下盘隐伏构造可形成多种油藏类型,为油气勘探有利区域。

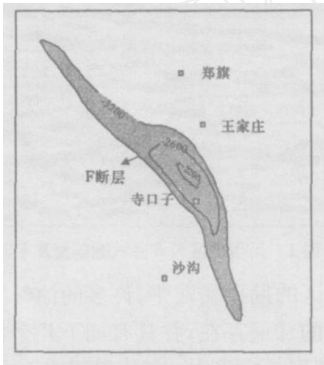


图8 王家庄大型隐伏圈闭 K1s底(下白垩统三桥组底)构造图

通过综合解释发现了王家庄大型隐伏圈闭构造位于逆冲推覆体断层前锋端(详见图8),为有利油气聚集区,因而为该区今后勘探部署指明了油气勘探方向。

5 主要认识

- (1) 通过应用重力、电法和地震资料联合反演,使处理解释结果在不同资料间达到相互统一,大大增加了勘探的信息量,提高了地球物理勘探综合解释精度。
- (2) 六盘山盆地应用重力、电法、地震联合反演系列技术,清晰地揭示了盆山接触关系、基底结构、构造演化、断裂组合,划分了构造单元、评价了有利圈闭目标,为下一步油气勘探部署提供了新的科学依据。

[参考文献]

[1]王家林,吴健生. 中国典型含油气盆地综合地球物理研究[M]. 上海:同济大学出版社,1995.
[2]陈永杰,于鹏. 大地电磁、地震与重力资料综合反演在徐闻地区的应用[J]. 勘探地球物理进展,2005(4): 271~275.

Application of Joint Inversion of Geophysical Exploration in Liupanshan Basin

LONG Guo - fu , WANG Chang - guo ,DING Qian
(Jiangnan Geophysical Services of Jiangnan Petroleum Administration , SINOPEC ,
Qianjiang, Hubei , 433100 , China)

Abstract :On the basis of gravity prospecting , electric survey and seismic prospecting in Liupanshan Basin , a geophysical joint inversion method is applied to research and solve the problems about the contact relation between the basin and the mountain , distribution of faults and deep target strata , favorable structural trap features , and so on , which will provide a scientific basis for arrangements of oil and gas exploration.

Key words : joint inversion ; gravity prospecting ; electric survey ; seismic prospecting ; Liupanshan ; structural traps.

[责任编辑 郭华玉]