

某典型剖面综合地质地球物理解释

杨 辉¹ 王永涛² 吕金海² 黄卫宁²

(1. 同济大学海洋地质重点实验室, 上海 200092; 2. 石油物探局研究院, 涿州 072751)

摘要: 对C盆地某测线进行地质、地球物理综合解释, 确定了第三系、白垩系、侏罗系以及目的层上三叠统的分布, 并识别出多处火成岩体及局部构造, 指出该剖面以一逆断层分成南北两段, 南北存在着巨大的差异; 北部上三叠统厚度较薄、埋藏较浅、变形较弱; 而南部上三叠统厚度较厚、埋藏较深、变形较强。总之, 通过地质、地球物理综合解释获得了较全面的认识, 取得了明显的地质效果。

关键词: 地质; 地球物理; 综合解释。

中图分类号: P31; P53 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)01-0088-05

作者简介: 杨辉, 男, 高级工程师, 1961年生, 1996年毕业于同济大学海洋地质与地球物理系, 获硕士学位, 现在同济大学攻读博士学位, 研究方向为综合地球物理。

C盆地为一中新代断拗盆地, 盆内广泛分布侏罗纪、白垩纪和早第三纪的红色陆相碎屑岩系, 盆地边缘出露晚三叠世地层, 沉积厚度逾万m, 其中上三叠统泥页岩特别是海相沉积部分具有较大的生油潜力, 生油岩厚达1000余m。其上覆的侏罗系、白垩系陆相沉积亦有100~200m暗色泥岩层段, 具有生油条件。此外, 上古生界中泥盆统在盆地周边地区发现多处油苗, 也极具勘探价值。盆地内海拔高度一般在1500~2000m之间, 相对高差700m左右, 地形切割剧烈, 山峦迭障, 沟壑纵横, 地震勘探实施难度大、成本高, 且方法技术不过关, 效果不理想。

该区曾做过1:20万重力勘探, 并分近、中、远区对全区重力资料统一进行地形改正(地改半径166.7km), 经地形改正后异常精度为 $0.51 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。1:10万高精度航磁测量, 测量总精度为1.75 nT。另外, 还做了相当数量的大地电磁(MT)测量工作、地面地质研究工作以及钻测井。充分利用重力、航磁、MT资料并结合地质研究成果开展综合解释^[1]是进一步客观揭示盆地区域地质构造的重要举措。本文列举的某测线(剖面走向为北西向)的综合解释成果也说明了综合解释的重要性及其意义。

1 岩石物性分析

1.1 密度分析

据本区万余块标本实测密度资料, 全盆地沉积岩密度界面明显, 主要有三:(1)下第三系与基底(Pre-T₃)的密度差为0.24 g/cm³; (2)白垩系、侏罗系与基底的密度差为0.08~0.15 g/cm³; (3)三叠系与基底的密度差为0.13 g/cm³。另外, 从岩浆岩密度统计表(表1)可以看出, 据岩浆岩侵入的地层部位不同, 可产生幅值不等的岩浆岩异常。

表1 岩浆岩密度统计

Table 1 Statistics for density of magma rocks g/cm³

时代	符号	岩性	ρ	$\bar{\rho}$
印支期	γ_3^1	花岗岩	2.43~2.68	2.53
晋宁期	γ_2^2	花岗岩	2.54~2.68	2.62
晋宁期	γ_2^3	花岗闪长岩	2.60~2.90	2.76
吕梁期	δ_0^1	石英闪长岩	2.54~3.06	2.76
喜山晚期	τ_6^2	粗面岩	2.30~2.58	2.47
喜山晚期	ζ_6^1	正长斑岩	2.52~2.63	2.57
喜山早期	ζ_6^1	石英正长岩	2.52~2.63	2.57
喜山早期	ν	辉长岩	2.90~3.06	2.98
华力西期	Σ_4	辉石岩	2.91~3.21	3.11

1.2 磁化率分析

据标本实测资料, 中、新生界盖层一般为无磁性或呈弱磁性; 变质岩除混合岩之外, 呈无磁或弱磁

表 2 岩浆岩磁化率统计

Table 2 Statistics for specific magnetization of magma rocks

10^{-5}						
时代	符号	岩类	岩性	κ_{max}	κ_{min}	$\bar{\kappa}$
喜山期	$\zeta\pi_6^1$	碱性岩	正长斑岩	1 906	591	1 332
印支期	Σ	超铁镁质岩	橄榄玢岩	4 100	540	3 300
华力西期	$\gamma_3^1\gamma_3^2$	酸性岩	花岗岩	1 687	298	963
	$P_2\beta$	基性岩	玄武岩	4 800	10	2 100
	ν_4		辉长岩	13 930	2 530	7 490
	ζ_4	碱性岩	角闪正长岩	190	32	83
晋宁期	Σ_4		辉橄岩	5 960	430	2 260
	$\eta\gamma_2$	酸性岩	二长花岗岩	36	8	16
	γ_2		花岗岩	27	5	14
	$\delta\delta_2$	中性岩	石英闪长岩	1 180	730	917
	$\delta\delta_2$		石英闪长岩	30	12	20
	$\delta\delta_2^3$		闪长岩			660

表 3 地层电阻率统计

Table 3 Statistics for electrical resistivity of strata $\Omega\cdot m$

地层	岩性	电阻率
E, K, J ₃	碎屑岩	50~300
J ₂	泥岩夹粉砂岩	<50
J ₁	砂泥岩互层	100~300
T ₃	含煤碎屑岩	10~100
Pre-T ₃		50~400

性;引起磁异常原因主要为岩浆岩(表 2),一般自超基性岩至酸性岩磁性逐渐减弱.

1.3 电阻率分析

通过岩石电性分析,特别是全区露头电阻率测定数据统计,下第三系(E)、白垩系(K)、上侏罗统(J₃)为一套表层高阻层,中侏罗统(J₂)为一套低阻层,下侏罗统(J₁)为一套高阻层,上三叠统(T₃)为区域性低阻层,元古宇(PT)为变质岩,电阻率较高,岩浆岩电阻率最高.

通过以上岩石物性分析表明,首先根据 MT、地质资料来确定上三叠统顶、底界面的起伏;然后以 MT、地质资料及岩石物性资料建立地质地球物理初始模型,通过重力正反演确定第三系分布并调节

上三叠统顶、底界面的起伏;最后利用重、磁、电、地质资料共同确定岩浆岩分布.

2 MT 资料反演

如图 1 所示,以 38—39 号测点为界电阻率可分为南北两段,北段电阻率总体为高阻,南段电阻率总体为低阻.值得一提的是北段基底为高阻基底,电阻率最高可达数千 $\Omega\cdot m$;南段基底为低阻基底,电阻率小于 $150 \Omega\cdot m$,基底电性的差异反映出南北沉积构造环境、沉积厚度、盖层构造的差异.

北段电阻率在纵向上从上到下可分为高、低、高三套电性层,第一套电性层电阻率可达 $1\ 000 \Omega\cdot m$,对应地层为侏罗、白垩、第三系,为一套表层高阻层(含有火成岩,叙述见后),在 10—18 号测点高阻层较厚,最厚可达 $2\ 000 m$;第二套电性层电阻率 $50\sim 100 \Omega\cdot m$,该套地层成层分布,平缓且较连续,对应地层为上三叠统,厚度范围 $600\sim 2\ 000 m$,最厚处位于 10—17 号测点,从 9 号测点往北该套地层逐渐减薄、抬升直至在 1—2 号测点出露地表,据此,可较容易标定追踪这套低阻目的层,从 17 号测点往南该套地层也逐渐减薄至 $200 m$ 左右,过 28 号测点后又逐渐加厚至上 km ;第三套电性层为一套高阻层,成块状分布,电阻率最大可达数千 $\Omega\cdot m$.

南段电阻率在纵向上从上到下可分为高、低、高、低、高五套电性层,但只有第三、第四电性层分层较明显.第一套电性层为一套表层高阻层,电阻率 $50\sim 100 \Omega\cdot m$,厚度横向变化不大,对应地层主要为白垩系及上侏罗统;第二套电性层为一套低阻层,电阻率小于 $50 \Omega\cdot m$,对应地层为中侏罗统;第三套电性层为一套高阻层,电阻率大于 $100 \Omega\cdot m$,最大可达 $300 \Omega\cdot m$,厚度横向变化大,从 $2\ 000\sim 5\ 000 m$,对应地层为下侏罗统;第四套电性层为一套低阻层,低阻特征较为明显,对应地层应为上三叠统;电阻率较北



图 1 MT 一维连续介质反演(等值线单位为 $\Omega\cdot m$)

Fig. 1 One dimension continuous media inversion of MT



图 2 综合地质地球物理解释剖面

Fig. 2 Comprehensive geological and geophysical interpretation section

1. 石英闪长岩; 2. 花岗岩; 3. 正长斑岩; 4. 火成岩

段上三叠统电阻率要小, 最小只有 $10 \Omega \cdot \text{m}$, 厚度变化不大 ($2\,000 \sim 3\,000 \text{ m}$), 但起伏较大. 第五电性层对应为前晚三叠世地层, 与南段前晚三叠世地层有较大差别.

3 综合地质地球物理解释

图 2 是综合地质地球物理解释剖面, 现详细描述如下.

3.1 北段

1—5 号测点, 重力布格异常在平面图上为向北逐渐升高的东西向梯度带; 航磁异常为一东西走向的宽缓正异常, 强度大于 200 nT (但在本测线异常强度只有 58 nT , 且异常形态不完整), 在此异常范围内 3 号测点北东约 11 km 处, 零星出露下元古界变质岩及晋宁期石英闪长岩 ($\delta\sigma_2$), 宽缓的东西向磁异常表明了闪长岩体的分布及走向. MT 在 1—12 号测点为一高阻块状异常体, 电阻率达 $1\,000 \Omega \cdot \text{m}$ 以上, 最高可达 $3\,000 \Omega \cdot \text{m}$, 往南电阻率略降, 电阻率可达 $1\,000 \Omega \cdot \text{m}$; 重力定量计算表明, 该异常体密度约为 2.57 g/cm^3 左右; 在该剖面上, 该异常体水平距离达 40 km ; 综合重、磁、电、地质资料, 推测此异常体为低密、高磁、高阻的晋宁期侵入到下元古界内的石英闪长岩 (据表 1, 吕梁期石英闪长岩密度变化范围为 $2.54 \sim 3.06 \text{ g/cm}^3$).

11—13 号测点, 航磁异常为区域负磁场背景上的磁力高值, 异常尖陡呈椭圆状 (长轴为北西向, 与测线方向相同), 异常强度可达 21 nT , 据地面地质资料该异常与出露的正长斑岩范围吻合, MT 显示

为表层高阻, 电阻率可达 $1\,000 \Omega \cdot \text{m}$, 但范围比航磁异常要大, 说明此异常体电性较稳定, 但磁性变化较大; 重力显示为一个幅值不大的局部重力高. 综合 MT、重力及地质资料, 该异常显然是喜山期沿断裂侵入的碱性岩的反映.

12—17 号测点, 在上三叠统之下存在相对高阻地层, 电阻率达数百 $\Omega \cdot \text{m}$, 同时考虑到其北侧块状高阻为侵入到下元古界的火成岩体, 故推测为下元古界.

15—28 号测点, 据地面地质资料, 第三系分布在 15—28 号测点之间, 据岩石物性资料侏罗系、白垩系、第三系均为高阻层, 因此, 只根据 MT 资料无法区分第三系与侏罗系、白垩系, 但由于第三系与侏罗系、白垩系有较大的密度差异, 因此, 以 MT 解释成果构成初始重力模型, 用 MT 资料及地质资料约束重力资料的反演, 较为可靠地得到了第三系的起伏及厚度. 从图中可见, 最厚处位于 17—18 号测点之间, 达 $1\,600 \text{ m}$.

17—30 号测点, 中、新生界在此减薄, 其下为一高阻块状异常体, 电阻率值大于 $1\,000 \Omega \cdot \text{m}$, 最高可达 $6\,000 \Omega \cdot \text{m}$, 在剖面上, 异常体水平距离约 40 km ; 化极后的航磁异常在此非常平静, 无任何异常显示, 而重力异常为一大型重力低值区, 范围与高阻异常体范围相当, 幅值近 $9 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 重力定量计算表明, 该异常体密度约为 2.58 g/cm^3 ; 据地面地质资料, 在该异常东北 30 km 处有老地层出露地表, 并从东北向西南 (该异常处) 逐渐倾没, 考虑到中新生界在此减薄这一事实, 表明它为一古隆起, 但从高阻、低密、无磁这些特征来看, 该异常体为晋宁期花岗岩

表 4 异常体性质分析

Table 4 Character analyses of the anomaly body

资料	变质岩	灰岩	膏盐	花岗岩
MT	符合	符合	符合	符合
重力	不符合	不符合	不符合 ⁽¹⁾	符合 ⁽²⁾
磁法		符合	符合	符合 ⁽³⁾
地质			不符合 ⁽⁴⁾	符合 ⁽⁵⁾

(1)定性对比符合,但据重力定量正反演计算的异常体密度为 2.58 g/cm³,而岩盐密度变化范围为 2.15~2.30 g/cm³,因此可排除岩盐的可能。(2)晋宁期花岗岩密度值变化范围为 2.54~2.68 g/cm³,定性、定量均吻合。(3)据岩石物性资料,晋宁期花岗岩为无磁性—弱磁性。(4)据地质资料,上三叠统下部是弧后盆地的砂泥岩沉积,上部为海陆交互相的含煤碎屑岩沉积,不具备膏岩形成的环境。侏罗系一下白垩统属于干旱条件下河湖相沉积,在舍甸组、妥店组见膏盐层分布。上白垩统一始新统盆地萎缩,在干旱条件,可形成红色含膏盐层碎屑沉积。(5)据地质资料,该区有多期花岗岩。

(表 4)。

32—38 号测点,上三叠统之下存在块状高阻异常体,电阻率最高可达上千 Ω·m;航磁异常显示为区域负磁场背景上的磁力高值,异常较宽缓,呈等轴状,异常强度可达 11 nT 左右,对航磁 ΔT 化极异常进行视深度滤波处理^[2,3],反演质心深度为 10 km (图 3);前已述及 38—39 号测点南北两边电阻率存在着巨大差异,推测在块状高阻异常南侧为一巨大的逆断层,断距可达 4 000 余 m,而块状高阻异常体为沿断裂侵入的燕山期火成岩体,从南北两侧上三叠统及侏罗系的厚度来看,该断层在燕山早期为一正断层,有一定的断距(从现存上三叠统厚度来看,断层北侧约为 1 000 m,南侧为 2 000 余 m),早、中侏罗世断距加大(北侧侏罗系厚度约 1 000 m,南侧侏罗系厚度 4 000~8 000 m),在燕山晚期由于受到由西向东的区域挤压后转变为逆断层。

3.2 南段

南段侏罗系较厚,最厚处位于 41—49 号测点,可达 8 000 m 以上;从图 2 中可见下侏罗统为一套

层状高阻地层,厚度横向变化较大,电阻率最大可达 400 Ω·m,高阻层最厚处于 41—49 号测点,可达 5 000 m。南段目的层(T₃)有明显的低阻显示,容易分辨,目的层较北段加深,且褶皱较北段强烈。

39—41 号测点之间为一地面构造,MT 明显为一上三叠统背斜构造,埋深 5 000 m 左右,不仅构造幅度大,且该构造上下侏罗统减薄,重力一阶导数有局部异常显示,幅值为 5×10⁻⁹ m/s²。

49—57 号测点,MT 显示为一巨大背斜构造(56 号测点为其一局部高点),从地面地质资料可知 54 号测点为一地面背斜构造,该处的钻井在 5 236.8 m 未钻穿侏罗系后被迫放弃,从图 1,图 2 中可见,下侏罗统在此处加厚,而目的层在此无局部高点构造显示(目的层上三叠统顶埋深 6 000 m),说明了侏罗系内高阻地层的加厚使地面构造与地下构造不符,钻探的失利也说明这一点。另外,从测、录井资料可知,从 3 079~4 996.45 m(对应下侏罗统高阻层),岩性为砂岩、泥质砂岩,电阻率大于 100 Ω·m,一般为 200~300 Ω·m;而 MT 反演的电阻率值为 100~250 Ω·m,二者较吻合。56 号测点同样位于一地面构造上,MT 显示的上三叠统背斜明显,埋深为 5 000 m 左右,构造幅度较大,侏罗系高阻层在此减薄,重力一阶导数有局部异常显示,范围较大,幅值 5×10⁻⁹ m/s²。

4 结论

(1)确定了第三系的分布及厚度,最厚约 1 600 m。(2)确定了侏罗、白垩系的分布及厚度,侏罗系厚度变化较大(0~8 500 m)。(3)确定了上三叠统的分布。北段上三叠统起伏和缓,变形较弱,厚度较薄(最厚可达 2 000 m),埋藏较浅;南段上三叠统起伏剧烈、变形较强,厚度稳定且较厚(最厚可达 3 000 m),

图 3 航磁 ΔT 化极异常视深度滤波断面(等值线单位为 10⁻⁵ m·s⁻²)

Fig. 3 Apparent depth filtering section of aeromagnetic anomaly



埋藏较深。(4)识别出 4 处火成岩体。(5)确定出一条非常重要的逆断层。该断层先正后逆,断距可达 4 000 m,逆断层两侧电性存在着巨大的差异。北段总体呈高阻,南段整体呈低阻,基底电性明显不同,表明了以逆断层为界,南北沉积环境、沉积厚度、盖层构造的差异。(6)由于逆冲推覆,下侏罗统内高阻层加厚,导致地面构造与地下构造不符或偏移,因此,需多种资料共同确定局部构造位置。(7)为了在该区取得突破,建议加深 54 号测点钻井深度,进一

步查证上三叠统厚度及含油气性。

参考文献:

- [1] 王一新,王家林,万明浩,等.石油综合地球物理方法与应用[M].北京:石油工业出版社,1995.
- [2] 杨辉,李明,王宜昌,等.复杂地形条件下高精度重力勘探的地质效果[J].石油地球物理勘探,1999,(2): 197~203.
- [3] 杨辉,王家林,王小牧,等.重力异常视深度滤波及应用[J].地球物理学报,1999,(3): 416~421.

COMPREHENSIVE GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL INTERPRETATION OF ONE TYPICAL SECTION

Yang Hui¹ Wang Yongtao² Lü Jinhai² Huang Weining²

(1. *Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China*; 2. *Geophysical Research Institute, Bureau of Geophysical Prospecting, Zhuozhou 072751, China*)

Abstract: The comprehensive geological and geophysical interpretation of one measuring line in Basin C is applied to the determination of the distribution pattern of the Tertiary, the Cretaceous, the Jurassic and the Upper Triassic, a target stratum, and to the identification of several masses of igneous rocks, and several local structures. This section is classified as southern and northern parts along a reverse fault. A great difference arises between the southern and the northern parts of the section. The Upper Triassic in the northern part is thinner in thickness, shallower in burial depth, and weaker in deformation than that in the southern part. In conclusion, the deeper understanding of the comprehensive geological and geophysical interpretation may help us to obtain a better geological result.

Key words: geology; geophysics; comprehensive interpretation.