

苏北盆地白驹凹陷泰州组一段沉积物源分析

陶 丽¹ 张廷山¹ 戴传瑞¹ 李秋菊² 李 斌²

(1.西南石油大学资源与环境学院,四川 成都 610500;2.河南油田勘探开发研究院,河南 南阳 473132)

摘要:物源问题的研究对于了解和确定研究区有利沉积相带及储集砂体的分布、寻找有利油气储集层具有重要意义。研究区白驹凹陷勘探程度相对较低,前人关于目的层段泰一段沉积期的物源方向的研究成果很少。运用地层倾角测井资料、重矿物资料及岩心资料的综合研究,对研究区的沉积物源方向进行了判断。综合分析得出泰一段沉积时期洋心次凹的物源来自西北部建湖隆起。

关键词:白驹凹陷;泰州组一段;地层倾角测井;重矿物;物源方向

中图分类号:P631.8+1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)02-0414-07

地层倾角测井资料包含丰富的沉积学方面的信息,在物源分析、沉积微相划分、水平钻井设计、地应力分析等多方面都起了重要作用。2003年燕金梅等在二连油田运用地层倾角测井资料研究分析了W凹陷I号构造,并发现了不同的物源方向,从而钻遇井获得高产油流^[1]。2006年吴秀田等运用地层倾角资料解释构造、沉积相及地应力方向,从而实施水平井,使得油层钻遇率达94.2%^[2]。2008年文静等利用地层倾角测井资料对马家嘴构造区域进行解释,得到很好的应用效果^[3]。说明地层倾角测井资料在石油勘探开发中占有越来越重要的作用。本文着重运用地层倾角测井资料分析白驹凹陷泰一段沉积物源,为区域沉积相的分布提供有力证据。

1 区域概况

白驹凹陷位于苏北盆地东台拗陷的东北部,东临裕华凸起、小海凸起,西以柘垛低凸起为界与高邮凹陷相隔,北与建湖隆起接壤,南与溱潼凹陷、海安凹陷相对,面积2180 km²(图1)。

白驹凹陷相对于苏北盆地的其他临近凹陷,主要储集层为泰州组一段,该段上部为灰色-深灰色泥岩夹灰色(泥质)粉砂岩、细砂岩薄层,中部为棕

色-棕红色泥岩夹灰色(泥质)粉砂岩薄层,下部为灰色砂砾岩、含砾砂岩、细砂岩、粉砂岩夹灰色泥岩薄层,与下伏地层呈角度不整合接触,是有效的储集层,目前已经发现工业油流,个别井产量高于10 t/d,但总体勘探程度相对来说较低,其中储集层段物源方向一直不清晰,这对该区的勘探部署造成很大困难。本文运用地层倾角测井资料结合重矿物资料研究分析白驹凹陷的古水流方向,从而判断物源方向,为该区沉积相展布提供有力证据。

2 地层倾角测井资料分析物源方向

2.1 理论基础

地层倾角测井仪可测出4条微聚焦电阻率测井曲线。通过曲线对比找出曲线上电阻率相同的4个点,则这4个点在同一层面上,通过曲线对比还可以确定4点沿径向的位置,最后通过层面方程就可以计算出地层倾角和倾斜方位角。根据相关对比法得到的倾向和倾角可以作出地层倾向和倾角的矢量图^[4]。

地层倾角测井资料包含丰富的沉积信息。层理是沉积岩最典型、最重要的特征之一,是岩石性质沿垂向变化的一种层状构造,通过矿物成分、结构、颜色的突变或渐变而显现出来。它是沉积物沉积时水

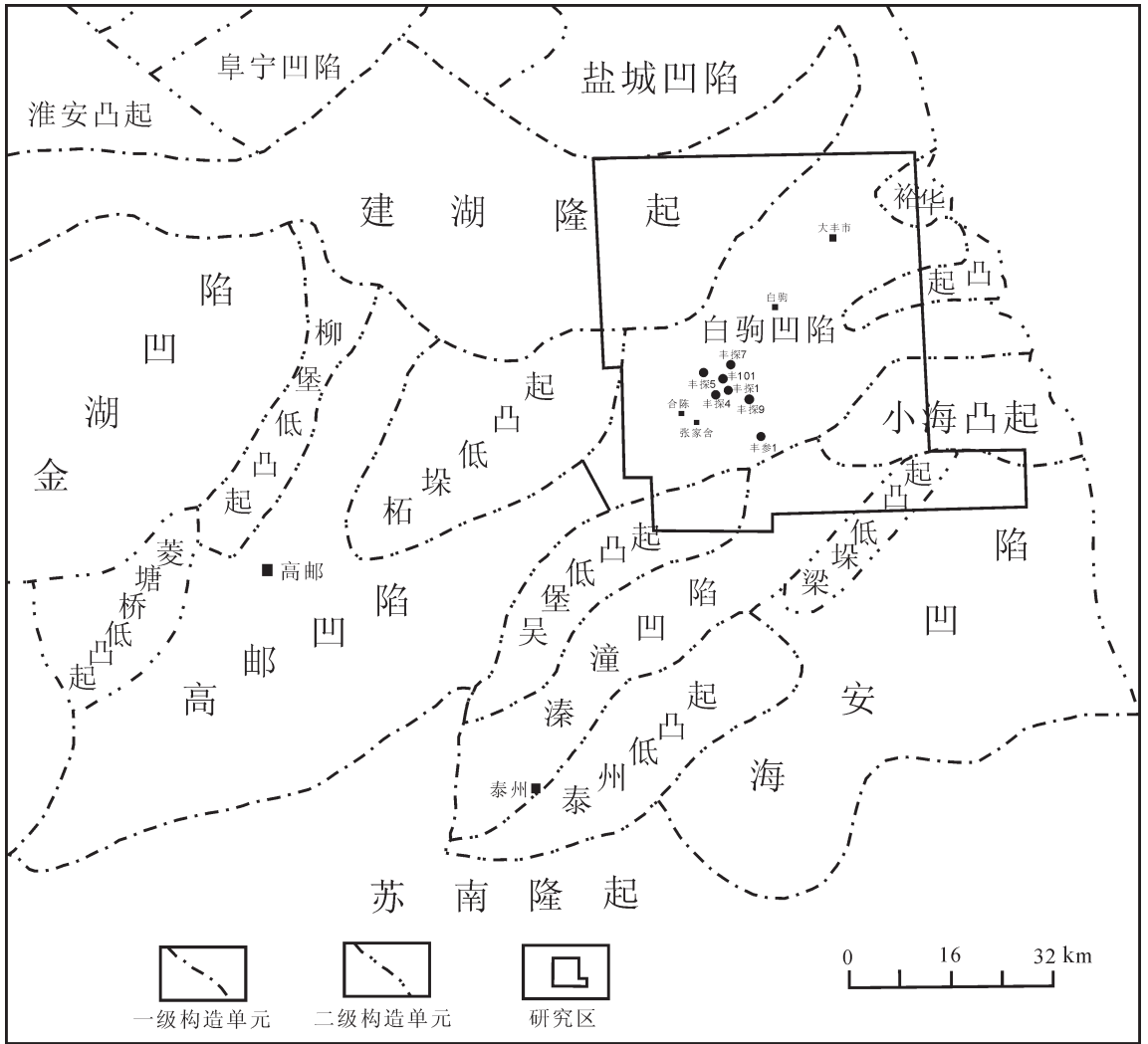


图 1 白驹凹陷区域构造图
Fig.1 Tectonic location of Baiju subbasin

动力条件的直接反映,是古水流方向和水动力条件的直观依据。用地层倾角研究岩层的层理构造,从而判断沉积物搬运方向,分析古沉积环境,产层的分布特征,对寻找有利的勘探方向十分重要。

利用地层倾角成果图判断古水流方向,主要采用的是矢量方位频率图法和蓝色模式法。矢量方位频率图法就是将研究层段中所有矢量点进行方位统计,绘制出矢量方位频率图,矢量点最多的方向表示主要古水流方向。蓝色模式是将地层倾角矢量图中方位角大体一致,倾角随深度增加而减小的一组矢量用蓝色笔勾画出来,蓝色模式与沉积构造有关,所以在砂岩体中,蓝色模式的矢量方向一般都反映古

水流方向。本文使用矢量方位频率图法,该方法既可靠又实用。

2.2 消除构造倾角的影响

使用地层倾角测井资料之前先要消除构造的影响。对于构造圈闭来说,测得的地层倾角是局部构造倾角在区域构造基础上的叠增加值,为了取得局部构造倾角,就要从测值中消除区域构造倾角的影响。对地层来说,层理倾角是叠加在地层倾角之上,为了从测值中取得层理倾角,也要消除构造倾角的影响。本文采用数学方法消除构造倾角^①。

已知地层倾角测井测得某地层沉积倾角为 θ_1 ,方位角为 φ_1 ,构造倾角为 θ' ,方位角为 φ' ,求得

① 谌海云,王拥军,陈科贵.地层倾角测井原理及应用,西南石油学院内部讲义,2004.

消除构造倾角影响后的层理倾角 θ 及方位角 φ 。

取大地坐标系 $O-ENV$, 测值 (θ_1, φ_1) 所决定的层面单位法向量 \vec{n}_1 在坐标系中的 3 个分量 n_E, n_N, n_V 分别为:

$$\begin{aligned} n_E &= \sin \theta_1 \sin \varphi_1 \\ n_N &= \sin \theta_1 \cos \varphi_1 \\ n_V &= \cos \theta_1 \end{aligned}$$

将构造倾角为 θ' , 方位角为 φ' 的层面单位法向量方向 \vec{OA} 以及层面的走向线 \vec{OF} 、倾向线标在大地坐标系上, 如图 2 所示:

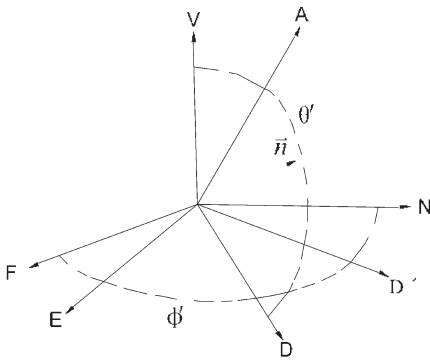


图 2 移去构造倾角示意图
Fig.2 Image of removal structure dip

以为 \vec{OV} 轴, 将 E 轴逆时针方向旋转 $(-\varphi')$ 角到构造的走向线 \vec{OF} , N 轴旋转到构造倾向线 \vec{OD} , 计算新的坐标系 $O-FD'V$ 中 n_1 的 3 个分量 n_E, n_N, n_V 。

$$\begin{bmatrix} n_F \\ n'_D \\ n_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-\varphi') & \sin(-\varphi') & 0 \\ -\sin(-\varphi') & \cos(-\varphi') & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_E \\ n_N \\ n_V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi' & -\sin\varphi' & 0 \\ \sin\varphi' & \cos\varphi' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_E \\ n_N \\ n_V \end{bmatrix} = A_1 \begin{bmatrix} n_E \\ n_N \\ n_V \end{bmatrix}$$

以走向线 \vec{OF} 为轴, 将 V 轴逆时针方向旋转 $(-\theta')$ 角到 A 轴, 倾向线 OD' 旋转到倾斜线 DO , 计算转动后的坐标系 $O-FDA$ 中 n_1 的 3 个分量 n_E, n_N, n_V 。

$$\begin{bmatrix} n_D \\ n_A \\ n_F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta' & -\sin\theta' & 0 \\ \sin\theta' & \cos\theta' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_V \\ n_N \\ n_F \end{bmatrix}$$

所以: $n_F = \cos\varphi' \sin\theta_1 \sin\varphi_1 - \sin\varphi' \sin\theta_1 \cos\varphi_1$
 $n_D = \cos\theta' \sin\varphi' \sin\theta_1 \sin\varphi_1 + \cos\theta' \cos\varphi' \sin\theta_1 \cos\varphi_1 - \sin\theta' \cos\theta_1$

计算层理倾角, 就消除了构造倾角的影响, 层理倾角 θ 与倾斜方位角 φ 分别为:

表 1 丰探 1 井泰一段下亚段部分砂岩层理倾向

Table 1 Bedding tendency of sandstone in Well Fengtan 1 of the 1st Member of Taizhou Formation

层位	砂岩层段/m	沉积	沉积	构造	构造	移去构造	古水流	物源
		倾向/°	倾向/°	倾向/°	倾向/°	后倾向/°	方向	方向
$E_1 t^1$	2004.78~2005.40	7	120	11	135	158	南东	北西
$E_1 t^1$	2005.40~2005.70	7	120	11	135	158	南东	北西
$E_1 t^1$	2006.04~2006.93	9	120	12	135	170	南东	北西
$E_1 t^1$	2008.62~2009.05	7	120	11	135	158	南东	北西
$E_1 t^1$	2009.88~2011.00	6	120	9	135	161	南东	北西
$E_1 t^1$	2017.00~2019.00	6	120	10	135	155	南东	北西
$E_1 t^1$	2028.00~2030.00	7	110	11	135	167	南东	北西
$E_1 t^1$	2060.00~2061.00	9	130	11	120	84	北东	南西
$E_1 t^1$	2102.00~2105.00	10	120	13	110	81	北东	南西
$E_1 t^1$	2105.00~2110.00	9	120	14	110	93	南东	北西
$E_1 t^1$	2123.00~2128.22	10	130	6	160	98	南东	北西
$E_1 t^1$	2128.22~2128.55	6	130	10	160	192	南西	北东
$E_1 t^1$	2128.55~2130.46	10	130	8	160	78	北东	南西
$E_1 t^1$	2130.46~2132.04	6	130	9	160	198	南西	北东

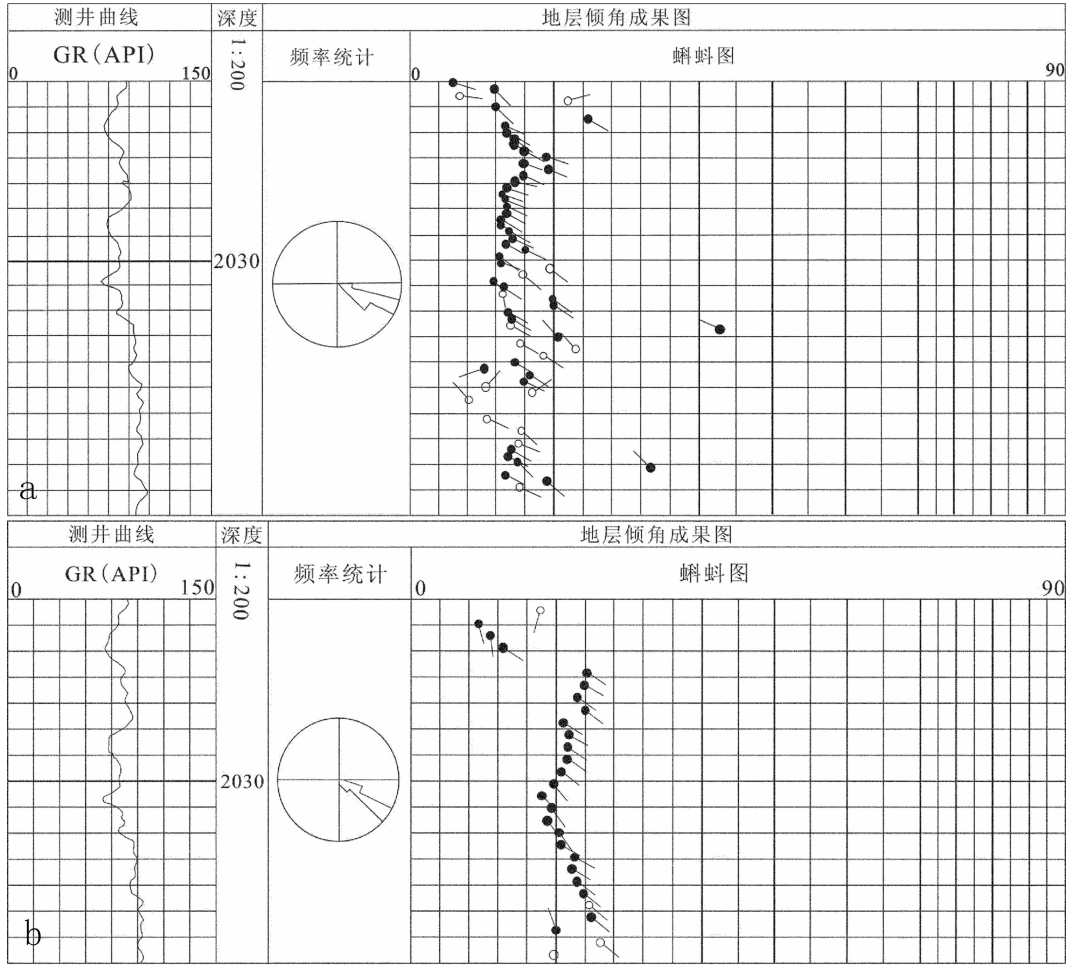


图 3 丰探 1 井地层倾角测井处理成果图
 a—地层倾角测井沉积处理成果图;b—地层倾角测井构造处理成果图

Fig.3 Dip logging image of Well Fengtan 1 after treatment
 a-Dip logging image;b-Dip logging image by structure treatment by deposition treatment

$$\varphi = \arctg \frac{n_F}{n_D} + \varphi'$$

2.3 物源分析实例

白驹凹陷共有 9 口井有地层倾角测井资料,分布在洋心次凹和昌荣次凹两个区块,本文以丰探 1 井为例。

通过倾角测井沉积处理成果图结合丰探 1 井小层划分及对比图得到 2028.00~2030.00 m 砂岩层段沉积倾角为 7°,沉积倾向为 110°(图 3-a),南东方向。

倾角测井构造处理成果图得到 2028.00~2030.00 m 砂岩层段构造倾角 11°,构造倾向为 135°(图 3-b)。确定了上述参数,通过数学方法计算,最

终得到层理倾向 167°,南东方向,说明古水流由北西流向南东,判断物源方向为北西。

从区域构造图中可以观察到丰探 1 井北西方向为建湖隆起。说明在泰州组一段沉积时期,建湖隆起为丰探 1 井所在的区域提供了沉积物源。统计丰探 1 井泰一段砂岩层段沉积倾角及沉积倾向和构造倾角及构造倾向,通过数学方法计算,得到丰探 1 井泰一段砂岩层理倾向及物源方向统计表(表 1),从表中可以看出丰探 1 井泰一段多数砂岩层理为南东方向,确定物源为北西方向。

利用白驹凹陷洋心次凹所有井地层倾角测井资料统计物源方向,得到泰一段上亚段和下亚段物源

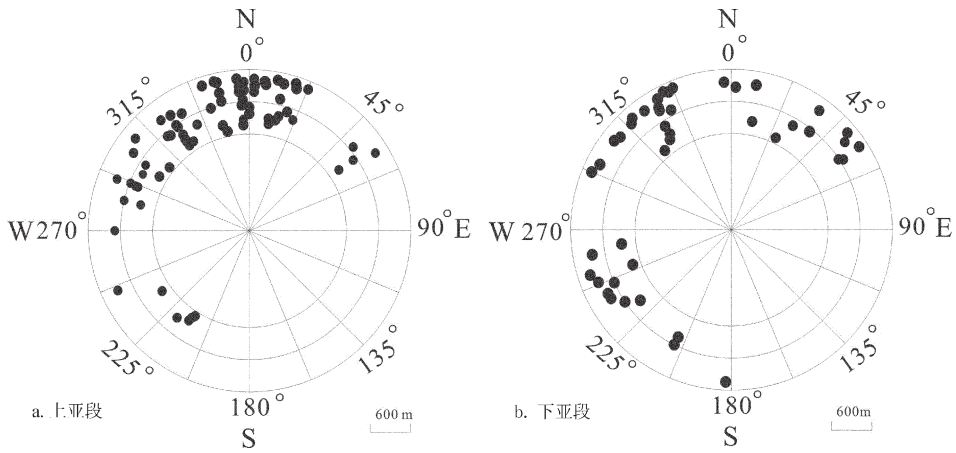


图 4 洋心次凹泰州组一段物源统计图

Fig.4 Statistics of deposition resources of the 1st Member of Taizhou Formation in Yangxin secondary depression

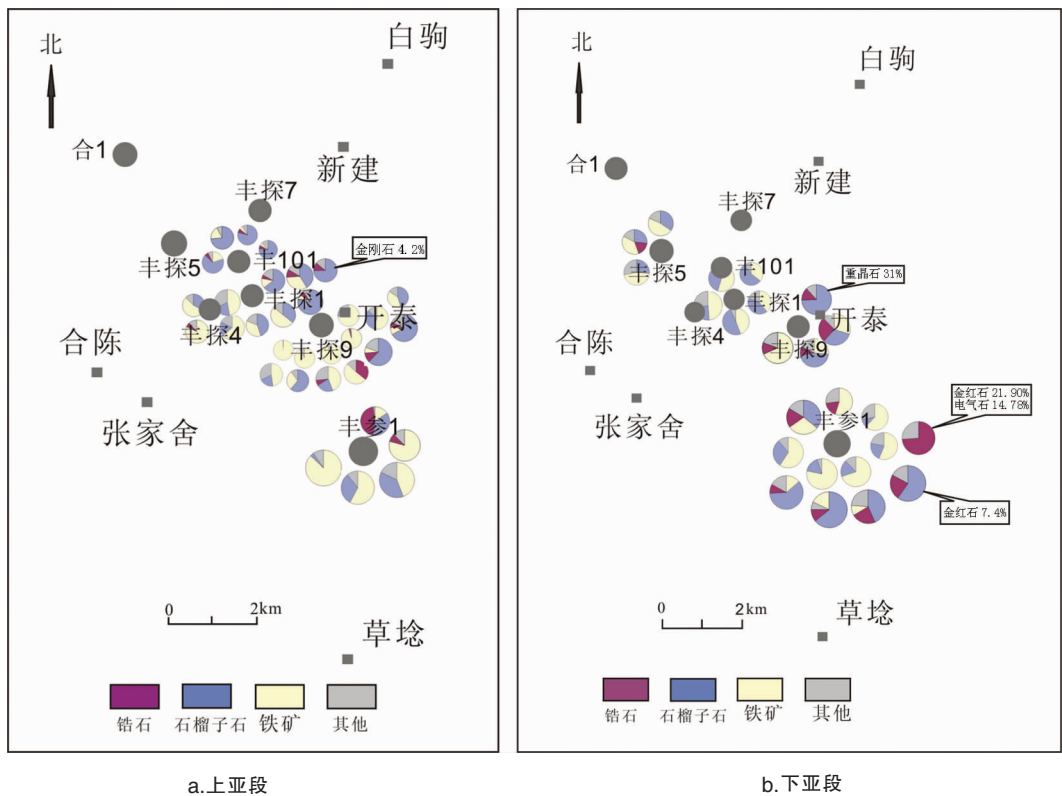


图 5 洋心次凹泰州组一段重矿组合分布平面图

Fig.5 Distribution of heavy mineral composition of the 1st Member of Taizhou Formation in Yangxin secondary depression

统计图(图 4),从图中明显看出洋心次凹物源为北西方向。说明泰一段沉积时期北西部的建湖隆起为白驹凹陷带来了丰富的沉积物。

3 重矿物资料分析物源方向

重矿物历来是判断物源方向及物源分区的重要

表 2 丰探 1 井泰一段部分重矿物分析结果(%)

Table 2 Analyses of some heavy minerals in Well Fengtan1 of the 1st Member of Taizhou Formation (%)

样品号	铁矿	石榴子石	锆石	其他
227	48.20	23.60	-	28.20
257	44.00	49.20	-	6.80
258	39.20	41.60	-	19.20
261	35.60	53.80	-	10.60
262	54.40	29.60	-	16.00
284	41.20	32.20	10.20	16.40
293	77.94	6.76	5.88	9.42
294	50.40	35.80	-	13.80
316	13.40	64.00	5.40	17.20
333	81.61	-	6.61	11.78

标志(表 2)。众所周知,锆石相对稳定,铁矿相对不稳定,石榴子石介于两者之间,因此靠近物源区较不稳定的矿物铁矿和石榴子石含量高,远离物源区,稳定矿物锆石将被积聚,含量增高。

根据重矿物的相对含量、组合及其平面分布特征,结合研究区小层划分与对比结果,分别对研究区洋心次凹泰州组一段上、下亚段的重矿物组合特征做了分析。研究表明,无论是上亚段还是下亚段,都在平面分布上表现出一定规律(图 5)。由图可以看出,泰州组一段地层中重矿物的平面分布大致从北西方向到南东方向稳定矿物逐渐增多,西北部带主要为石榴子石+铁矿(赤铁矿+磁铁矿+褐铁矿),往东南部锆石增多。各带内最稳定重矿物锆石的含量由北西向南东呈现逐渐增高的趋势,中等稳定的重矿物石榴子石在北西部含量较高,说明泰州组一段沉积期的物源主要来自北西部的建湖隆起。

4 结论

(1)地层倾角测井资料包含丰富的沉积学方面的信息,在物源分析、沉积微相划分、水平钻井设计、地应力分析等多方面都起了重要作用,具有很好的应用效果和前景。

(2)通过地层倾角测井研究分析,得出白驹凹陷洋心次凹泰州组一段的物源为北西部的建湖隆起。

(3)通过重矿物研究得出,研究区洋心次凹泰州组一段不论上、下亚段,地层中的重矿物均呈现由北西至南东方向稳定矿物逐渐增多的现象,由此推断泰州组一段沉积期的物源主要来自北西部的建湖隆起。

(4)地层倾角测井资料结合重矿物资料对最终物源方向的确定为洋心探区沉积相展布研究提供了有力的地质证据,从而为今后寻找有力勘探区带奠定基础。

参考文献(References):

- [1] 燕金梅,鞠江慧,王建功,等. 地层倾角测井资料的地质应用[J]. 测井技术, 2005, 29(3):227-229.
Yan Jinmei, Ju Jianghui, Wang Jianguo, et al. Geologic application of diplog data[J]. Well Logging Technology, 2005, 29(3):227-229 (in Chinese with English abstract).
- [2] 吴秀田,罗胜,李振河,等. 地层倾角测井资料在林 4 断块水平井中的应用[J]. 石油钻采工艺, 2006, 28(增刊):10-11.
Wu Xiutian, Luo Sheng, Li Zhenhe, et al. Application of diplog data in Lin 4 Block horizontal well [J]. Oil drilling & Production Technology, 2006, 28 (supp.):10-11 (in Chinese with English abstract).
- [3] 文静,何幼斌,吴彩雄,等. 地层倾角测井的地质应用 [J]. 石油天然气学报, 2008, 30(1):263-265.
Wen Jing, He Youbin, Wu Caixiong, et al. Geologic application of diplogging [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(1):263-265(in Chinese with English abstract).
- [4] 王曰才,王冠贵. 地层倾角测井[M]. 北京:石油工业出版社, 1987.
Wang Yuecai, Wang Guangui. Formation Diplogging [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987(in Chinese).
- [5] 周永亮,许春燕,黄在友,等. 地层倾角测井资料在大港油田的应用研究[J]. 测井技术, 2006, 30(6):565-567.
Zhou Yongliang, Xu Chunyan, Huang Zaiyou, et al. Research on diplog application in Dagang oilfield [J]. Well Logging Technology, 2006, 30(6):565-567(in Chinese with English abstract).
- [6] 徐田武,王英民,曾澹辉,等. 苏北盆地泰州组一段重矿物组合特征及物源分析[J]. 石油天然气学报, 2007, 29(6):43-48.
Xu Tianwu, Wang Yingming, Zeng Jianhui, et al. Characteristics of heavy mineral source analysis in the first Member of Taizhou Formation in Subei basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2007, 29(6):43-48(in Chinese with English abstract).
- [7] 徐田武,王英民,曾澹辉,等. 苏北盆地高邮-海安地区晚白垩世泰州组沉积相及物源分析[J]. 地球学报, 2007, 28(6):627-634.
Xu Tianwu, Wang Yingming, Zeng Jianhui, et al. Sedimentary facies and provenance analysis of late Cretaceous Taizhou Formation in Gaoyou - Haian depression, Subei basin [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2007, 28(6):627-634. (in Chinese with English abstract).
- [8] 常静春,杨宝凤,郝丽萍,等. 地层倾角测井资料在大港油田北区的新应用[J]. 测井技术, 2006, 30(4):344-346.
Chang Jingchun, Yang Baofeng, Hao Liping, et al. The Application of diplog data in the middle-north area in Dagang oilfield [J]. Well Logging Technology, 2006, 30 (4):344-346 (in Chinese with English abstract).

The sediment source of 1st Member of Taizhou Formation in Baiju depression, Subei basin

TAO Li¹, ZHANG Ting-shan¹, DAI Chuan-rui¹, LI Qiu-ju², LI Bin²

(1. School of Earth Resources & Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, Oil Field of Henan, Nanyang 473132, Henan, China)

Abstract: The study of sediment source is significant in understanding and identifying favorable sedimentary facies belts and distribution of reservoir sands in the study area as well as in prospecting for favorable oil and gas reservoirs. The study area of this paper, Baiju depression, is at a low level of exploration. Research results concerning the sediment source of the 1st Member of Taizhou Formation are very insufficient. Based on an integrated study of dip logging data, heavy mineral data and core data, the authors probed into the orientation of the sediment source in this area. It is concluded that the sediment source of Yangxin secondary depression was derived from the Jianhu uplift in the northwest during the deposition of the 1st Member of Taizhou Formation.

Key words: Baiju Depression; 1st Member of Taizhou Formation, dip logging; heavy mineral; direction of sediment source

About the first author: TAO Li, female, born in 1983, master candidate, engages in earthquake, log interpretation and sedimentology; E-mail: luoluo20042003@tom.com.