

琼东南盆地崖城 13-1 气田渐新统陵三段 沉积物源综合分析

白振华^{1,2,3} 李胜利⁴ 苏 燕⁵ 马行陟^{1,2,3} 李茂文⁶

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 提高石油采收率国家重点实验室, 北京 100083; 3. 中国石油天然气集团公司盆地构造与油气成藏重点实验室, 北京 100083; 4. 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083; 5. 中国石化西南分公司勘探开发研究院, 四川 成都 610081; 6. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057)

摘要:物源体系分析是确定储层沉积的成因类型、空间展布与演化规律的关键问题之一, 本文通过古地貌、重矿物、岩屑成分和结构与地层倾角测井等多种方法的综合分析, 对琼东南盆地崖城 13-1 气田渐新统陵三段物源进行系统研究, 确定了研究区陵三段沉积时期的物源体系主要来自北西方, 碎屑沉积物以石英含量高的岩屑长石石英砂岩与长石石英砂岩为主, 并根据重矿物组合特征分析, 认为物源区母岩类型主要有酸性岩浆岩、变质岩以及再改造的沉积岩等。由于物源区距研究区距离适中, 地形有一定的坡度, 容易产生机械破碎的大块碎屑, 故此种母岩特征是研究区陵三段辫状河三角洲砂体成因及沉积特征的内在因素。

关键词:崖城 13-1 气田; 陵三段; 物源分析; 重矿物; 地层倾角测井

中图分类号: P58 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)04-0384-09

物源分析的主要任务是确定物源方向、侵蚀区或母岩区的位置、搬运距离及母岩性质^[1-3], 在结合区域构造活动、沉积古地貌及盆地演化史研究的基础上, 为进一步确定不同成因砂体的沉积特征、平面展布及垂向演化特征提供前提, 并最终为沉积模式的建立与有利砂体分布区带的预测提供必要的地质依据。近年来物源体系的研究越来越受到地质学家的重视, 已发展成一个多学科、多技术、多方法的综合研究领域, 通过构造地质、沉积、岩石矿物等多种地质方法与地球物理、地球化学分析化验等多种技术手段的相互结合, 提出了物源体系分析的多种有效方法, 并在生产实践中逐渐突显出良好的应用效果^[4-9]。古地形与古构造背景分析、重矿物含量与组分特征、碎屑岩结构成熟度(分选磨圆)与成分成熟度(岩性)的平面展布、古水流方向分析都对物源方向具一定指示作用。

崖 13-1 气田位于琼东南盆地西部崖南凹陷西北角的崖 13-1 低凸起上, 西南面是崖 1 大断裂与莺歌海盆地毗邻, 东北方向为崖城凸起(图 1)^[10]。崖城 13-1 气田所在的琼东南盆地是新生代沉积盆地, 面积达 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$, 古—新近系厚度达近万米^[9]。该气田有陵三段、陵二段和三亚组气层三套含气层, 其中陵三段为主力气层, 为陵水组下部地层, 介于地震反射界面 T7 与 T62 之间, 为一个完整的三级层序, 厚 87.0~447.0 m, 顶部以灰色泥岩夹薄层的粉细砂岩、中下部为灰色的含砾砂岩夹薄层泥岩, 砂岩以中—细砂为主, 局部为砂砾岩、粗砂岩^[11]。陵三段时期崖 13-1 气田主要为滨浅海相背景(开阔海湾为主)下的辫状河三角洲沉积^[11,12]。

近年来, 中外双方对气田进行了多轮的评价, 涉及到沉积与储层的研究, 特别是崖城 13-1 气田三角洲的成因一直是一个争议较大的问题, 而物源体

收稿日期: 2010-09-03; 改回日期: 2011-01-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40242015)资助。

作者简介: 白振华, 男, 1982 年生, 博士生, 从事储层地质学与油气成藏机理研究; E-mail: baizhh@163.com。

系分析则是确定该区储层沉积的成因类型、空间展布与演化规律的研究的关键问题之一。因此,本文通过崖城 13-1 气田的古地貌和古构造分析,重矿物含量与组合特征,岩屑成分及结构特征分析,地层倾角测井预测古水流方向等多方面研究,综合分析了崖城 13-1 气田的物源体系特征,这将为进一步明确本区沉积砂体的展布特征与演化规律提供地质依据。

2 古地貌分析

崖城 13-1 气田位于崖 1 号大断裂的上升盘,东北、西南、西北三面高,东南低,而内部地层却呈现西南高东北低的构造趋势。从古地形及古构造背景图(图 3)可以看出,由于工区西部为 1 号大断裂,倾向向西,且倾角较大,碎屑物质无法从西部搬运到东部。而东南方向是广海,更不可能为气田提供物源。一个可能的物源方向是气田东北方向的崖城凸起,但根据古构造背景图地震剖面,东部为一个构造低部位,这一低部位位于崖城凸起与崖城 13-1 气田之间,碎屑物质需要填满该构造低部位才有可能被搬运到气田范围;西北方向有坡度,利于辫状河的形成,西北物源区距气田适中,更易形成辫状河三角洲;此外,地震属性分析显示气田东北方向上含砂率较低,说明物源方向是东北方向的可能性较小。而 NW-SE 向地层含

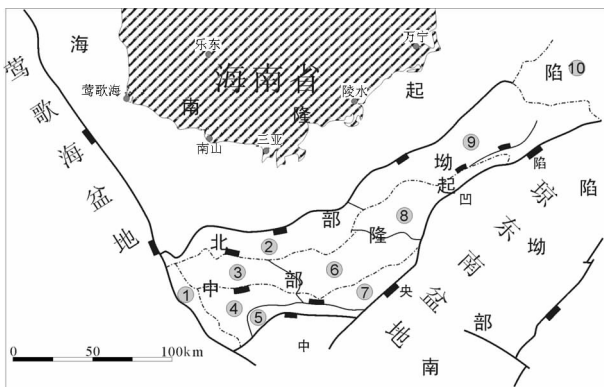


图 1 崖城 13-1 气田地理和构造位置图

- ①崖 13-1 低凸起;②崖北凹陷;③崖城凸起;④崖南凹陷;
- ⑤崖 12-1 低凸起;⑥陵水低凸起;⑦陵水凹陷;⑧松涛凸起;⑨松涛凹陷;⑩宝岛凹陷

Fig.1 Geographic and structural position of the Yacheng 13-1 Gasfield

- ① Y13-1 low uplift; ② Yabei sag; ③ Yacheng uplift;
- ④ Ya'nan sag; ⑤ Y12-1 low uplift; ⑥ Lingshui low uplift;
- ⑦ Lingshui sag; ⑧ Songtao uplift; ⑨ Songtao sag; ⑩ Baodao sag

砂率较高,且呈带状分布,地震剖面上显示地层平缓,略显西北高东南低,具备河道物源供给条件。综上所述,物源最有可能是西北方向^[12,13]。

3 重矿物分析

重矿物是物源区的重要标志,在岩石中的含量及成分对于判断母岩的岩性和风化破坏条件以及碎屑物质的搬运、沉积环境都具有重要意义。地质学家很早就根据重矿物的物性特征(如颜色、形态、粒度、硬度、稳定性等)及其组合关系来判别物源。尽管重矿物的地球化学特征对物源分析很灵敏,但是重矿物组合和丰度在搬运、沉积和成岩过程中往往受到多种因素的影响,如物理分选、机械破碎、层间溶解等,这些势必会影响对物源判别的准确性^[3-6]。

笔者对取心井中的 6 口井进行了取样,并全部做了重矿物的挑选与鉴定,样品覆盖了三亚组、陵水组、崖城组等层位。在重矿物鉴定中,根据重矿物的风化稳定性将其划分为稳定重矿物和非稳定重矿物两种:稳定重矿物主要包括有锆石、磷灰石、金红石、板钛矿、锐钛矿、白钛矿、石榴石、电气石等,其他还有少量的楣石、独居石、刚玉、磁铁矿、孔雀石等;非稳

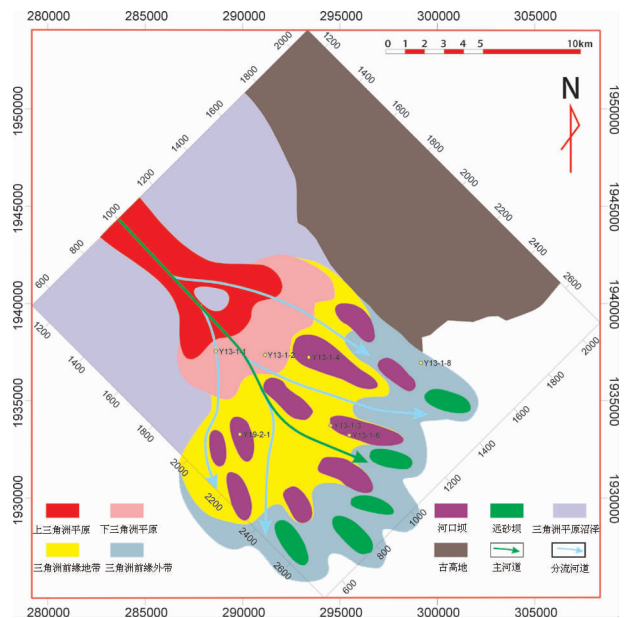


图 2 崖城 13-1 气田陵三段沉积相展布 (据杜海峰,2009^[11])

Fig.2 Sedimentary facies distribution of 3rd Member of Lingshui Formation in Yacheng 13-1 Gasfield (after Du Haifeng, 2009^[11])

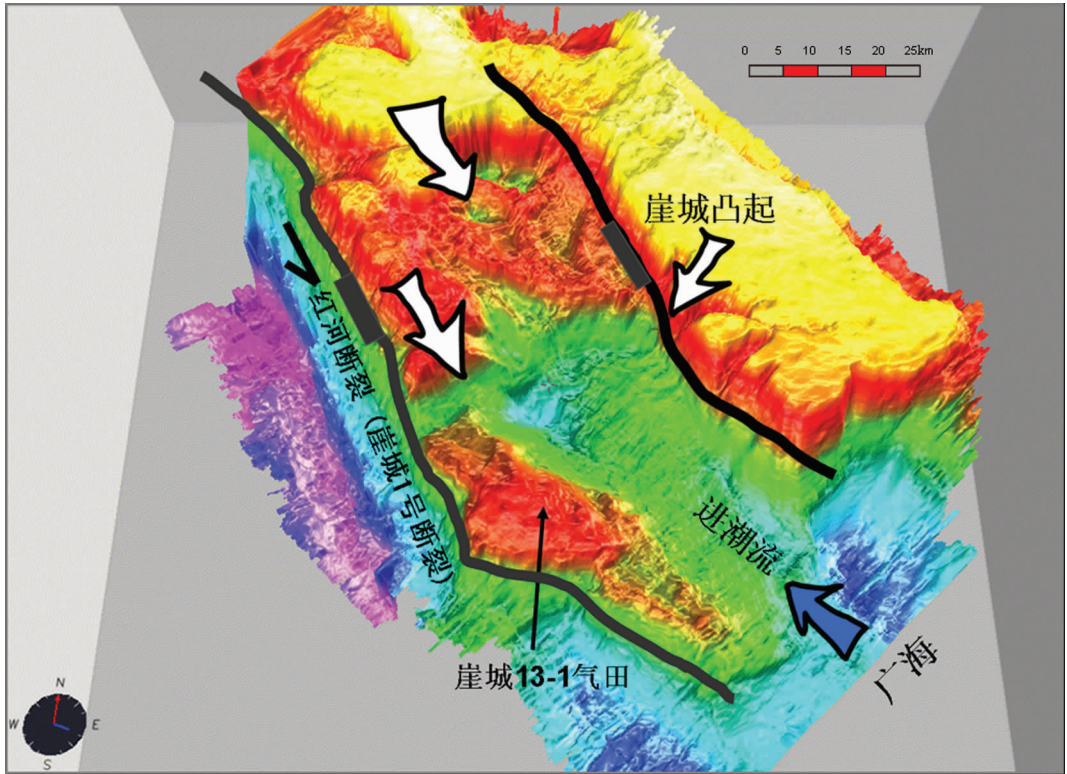


图3 崖城基底地貌图 (T70 Time Structure, 据BP解释结果)

Fig.3 Basement geomorphology of Yacheng (T70 Time Structure, after the seismic interpretation of BP)

定重矿物主要包括黄铁矿、褐帘石、重晶石、方铅矿、闪锌矿等,还有少量的黄铜矿、硬软锰矿、雄黄等^[1]。计算稳定和非稳定重矿物的百分含量,可以得出它们在研究区内的分布趋势,而重矿物的含量在一定程度上可以反映距离物源的远近。稳定重矿物抗风化能力强,分布广,在搬运的过程中不容易受到周边环境的影响,可以经过长距离的搬运、淘筛等基本上保持原来的属性,在远离母岩区含量相对升高;而非稳定的重矿物则抗风化能力弱,分布不广,在长距离的搬运过程中容易受到周围环境的影响而改变自身的属性,难以到达比较远的地方,所以在远离母岩区含量相对减少^[1]。通过分析稳定和不安定组分在平面上的分布和变化,可以恢复物源方向距离及母岩性质,还可以分析各河流体系的分布范围和扩散方向,但是由于影响重矿物含量和分布的因素比较多,准确地确定研究区的物源还需要其他资料的相互印证。

崖城13-1气田陵三段的稳定重矿物主要以锆石、电气石、金红石、石榴石、独居石、白钛矿、锐钛矿

等为主;不稳定矿物以闪锌矿、黑云母、重晶石和帘石类为主。根据母岩的重矿物组合和含量分析(表1),研究区母岩主要为酸性岩浆岩、变质岩以及再改造的沉积岩等。

3.1 陵三段稳定重矿物分析

在崖城13-1气田陵三段,共有6口井的数据,由典型稳定重矿物金红石(图4)以及总稳定重矿物含量等值线图(图5)可以看出:稳定重矿物数据的分布总体上呈现西北低东南高的特点,由于该区数据点相对较少,所以对物源只能是定性判断。最高值出现在工区的中部崖13-1-2井,崖13-1-3井和崖19-2-1井附近,从其他井的数据分布来看,主要是围绕着崖13-1-4井和崖19-2-1井,根据这种分布可以初步判断物源来自于研究区的西北方向。对于其他的稳定重矿物,也有相似的数据分布趋势。

3.2 陵三段不稳定重矿物分析

陵三段不稳定重矿物以帘石类、闪锌矿和黑云母为主。根据取心井的取样分析,共有6口井的资料

表 1 崖城 13-1 气田陵三段重矿物统计
Table 1 Statistical results of heavy minerals in 3rd Member of Lingshui Formation in Yacheng 13-1 Gasfield

井号	YCHI3-1-1		YCHI3-1-2		YCHI3-1-3		YCHI3-1-4		YCHI3-1-6		Ya19-2-1	
	重量/mg	含量/%	重量/mg	含量/%	重量/mg	含量/%	重量/mg	含量/%	重量/mg	含量/%	重量/mg	含量/%
锆石	327.8	27.95	644.2	13.47	141.4	13.78	1033.8	11.47	1041.03	14.39	596.8	14.79
电气石	20	1.71	551.8	11.54	120.4	11.73	836.5	9.28	596.12	8.24	415	10.29
石榴石	14.4	1.23	111.4	2.33	164.8	16.06	584.1	6.48	403.72	5.58	114.9	2.85
磁铁矿	12.4	1.06	27.2	0.57	8.7	0.85	58.8	0.65	37.92	0.52	63.6	1.58
赤褐铁矿	31.8	2.71	329	6.88	27	2.63	541	6	253.34	3.5	525.3	13.02
白铁矿	146.5	12.49	1385.9	28.97	245.8	23.95	2469.8	27.4	1578.53	21.81	1054.9	26.14
绿泥石	4.701	0.4	159.8	3.34	29	2.83	485.1	5.38	166.6	2.3	146.6	3.63
金红石	11.4	0.97	104.4	2.18	20	1.95	176.2	1.95	183.12	2.53	65	1.61
十字石	/	/	/	/	0.4	0.04	/	/	0.3	0.004	0.3	0.007
锐钛矿	15.8	1.35	219.6	4.59	27.6	2.69	306.3	3.4	309.23	4.27	218.1	5.41
板钛矿	0	0	5.6	0.12	/	/	8.1	0.09	4.51	0.06	6.5	0.16
独居石	11.3	0.96	58	1.21	13	1.27	99.6	1.11	116.91	1.62	69	1.71
刚玉	0.9	0.08	0.4	0.01	/	/	23.8	0.26	0.2	0.003	/	/
萤石	0.9	0.08	2.4	0.05	/	/	13.4	0.15	2.9	0.04	0.3	0.01
稳定重矿物	597.9	50.98	3599.7	75.26	798.1	77.76	6637.3	73.64	4695.83	64.89	3277.3	81.22
黑云母	/	/	0.4	0.01	0.5	0.05	10.8	0.12	1.2	0.02	/	/
黄铁矿	486.5	41.48	1104.9	23.1	220.8	21.51	2130.3	23.64	2483.2	34.32	361.2	8.95
重晶石	83.9	7.15	60	1.25	6.3	0.61	218	2.42	45.1	0.62	381.8	9.46
闪锌矿	1.8	0.15	18.301	0.38	0.7	0.07	16.8	0.19	12.3	0.17	15.6	0.39
帘石类	2.7	0.23	/	/	/	/	0.5	0.01	/	/	/	/
不稳定重矿物	574.9	49.02	1183.601	24.74	228.3	22.24	2376.4	26.37	2541.8	35.13	758.6	18.8

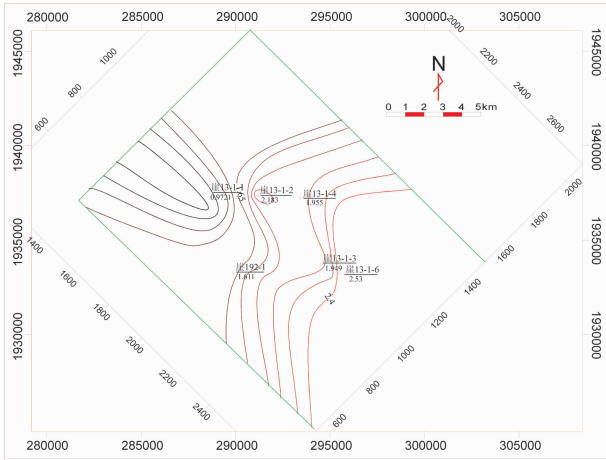


图4 陵三段金红石含量等值线图

Fig.4 Contour map of rutile content in 3rd Member of Oligocene Lingshui Formation

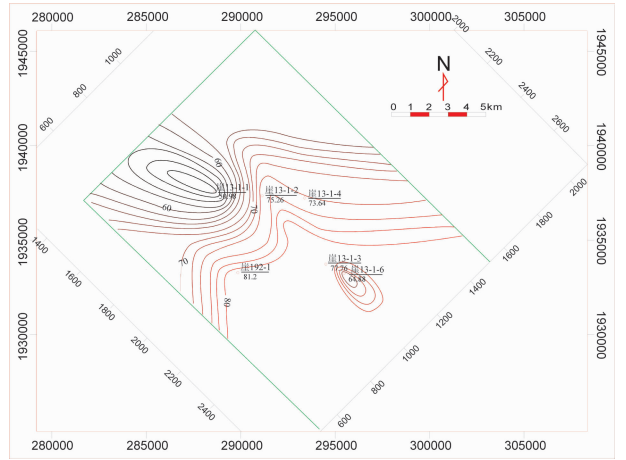


图5 陵三段稳定重矿物含量等值线图

Fig.5 Contour map of stable heavy mineral content of 3rd Member of Oligocene Lingshui Formation

可以利用,由于井数较少,不能准确地判定工区内重矿物的具体分布形势,只能根据少数几口井的数据来进行大致的判断。通过对典型不稳定重矿物绿帘石(图6)和总不稳定重矿物含量等值线图(图7)以及不稳定重矿物数据的分析和比较认为,不稳定重矿物的含量在研究区中的分布大体上由西北向东南逐渐减小,在中部分为两个方向,一支近NW-S向,另一支为NW-E向,在中部个别之处出现高值。最高值出现在崖13-1-1井附近,可以初步判断物源来自于研究区的北西向,沿着NW-SE向展布,与稳定重矿物的分析结果是一致的。

3.3 陵三段稳定系数分析

稳定系数是指碎屑重矿物中的稳定矿物组分与不稳定矿物组分的含量比值,又称古地理系数。通过对该系数变化规律的分析,有助于查明物源,明确古地理条件,比用单一矿物含量变化分析效果要好。研究区陵三段重矿物的稳定系数的分布呈分支状,沿NW-SE向展布,且在工区中部分为两支,稳定系数的分布形势大体上由北西向南东含量逐渐增大;最低值出现在崖13-1-1井附近,约为1.04,最高值在崖19-2-1井,为4.32;第二高值崖13-1-3井,为3.496(图8)。

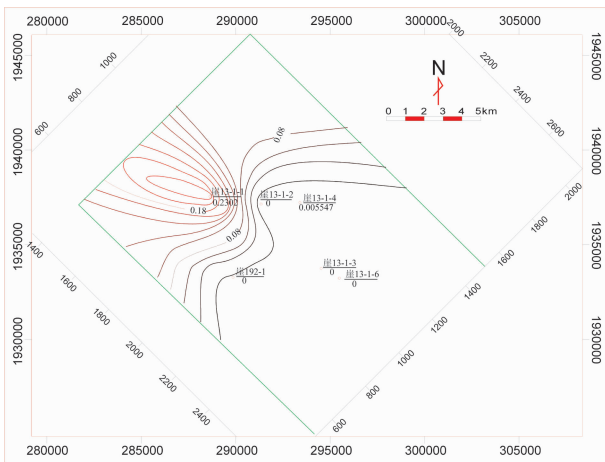


图6 陵三段绿帘石含量等值线图

Fig.6 Contour map of epidote content of 3rd Member of Oligocene Lingshui Formation

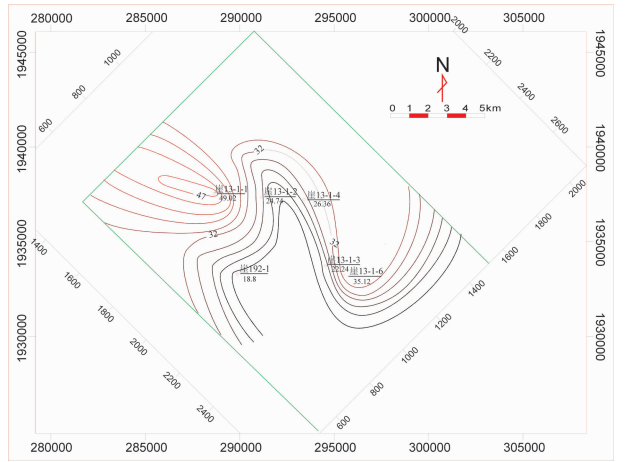


图7 陵三段不稳定重矿物含量等值线图

Fig.7 Contour map of instable heavy minerals content of 3rd Member of Oligocene Lingshui Formation

通过对陵三段的重矿物含量以及稳定系数的分析大致可以判定物源在研究区的西北部,方向NW-SE向展布,并在中部分为两个方向。

4 岩屑成分及结构特征分析

碎屑物质在长距离的搬运过程中,由于颗粒间的碰撞和摩擦、流体对颗粒的分选作用,以及持续进行的化学分解和机械破碎,发生机械分异作用,使它们在矿物成分、粒度分选性和外形上发生变化,根据这些连续的变化可以反推出物源的位置,搬运的远近以及母岩的性质等^[7,8]。

4.1 成分成熟度

碎屑岩的成分成熟度是指碎屑沉积组分在其风化、搬运、沉积作用的改造下接近最稳定的终极产物的程度。岩石成分成熟度在一定程度上也对判断物源方向起到帮助作用。一般来讲,成分成熟度越高,离物源区越远;成熟度越低,相对离物源较近^[1,7,8]。因此,根据岩性的平面分布特征,可以大致判断出物源方向。本次所用的成分成熟度指标是岩石的矿物成熟度,它是指岩石中稳定组分和不稳定组分的相对量比(即 $Q_1/F_1+R_1, Q_1, F_1, R_1$ 分别是石英、长石和岩屑在岩石碎屑中的百分含量),用它可以表征岩石搬运和磨蚀的历史,矿物成熟度越高,磨蚀条件越好,搬运的历史越长^[1,7,8]。崖城 13-1 气田陵三段自西北向东南成分成熟度依次增高(图 9),由岩屑石英砂岩逐渐过渡到石英砂岩,在粒度上向海也有逐渐变

细的趋势。这说明西北部最有可能是物源区,而东南部受海水来回淘洗,砂质较为纯净。

4.2 结构成熟度

碎屑岩的改造程度不仅反映在成分上,还反映在结构上。结构成熟度就是指碎屑沉积物经过风化、搬运、沉积作用的改造,使之接近终极结构特征的程度。从理论上讲,碎屑沉积物的理想终极结构应该是碎屑为等大的球体,即结构成熟度的高低主要反映在碎屑的分选性和磨圆度上^[1]。

4.2.1 矿物颗粒的粒度与分选

随着碎屑物质的长距离搬运,碎屑与碎屑之间,碎屑与河床、河岸之间的相互撞击和摩擦,碎屑发生破碎和磨蚀,粒度将逐渐变小^[1-3]。与此同时矿物颗粒的分选性也逐渐变好,所以根据矿物颗粒的粒度与分选性在平面上的分布特征,可以为物源方向提供依据。平面上陵三段的碎屑颗粒物质粒度从西北向东南逐渐变小,依次从砾岩、含砾中粗砂岩、细砂岩过渡到粉砂岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩;分选性则自西北向东南逐渐变好,由分选中等偏差、中等逐渐过渡到中等偏好。

4.2.2 矿物颗粒的磨圆

由于磨蚀作用,随着碎屑物质搬运距离的增长,颗粒的磨圆程度(圆度)与接近于球形的程度(球度)一般越来越高,所以平面上磨圆程度的不同也可以为物源方向提供依据。离物源区越远,颗粒被搬运的距离越远,磨圆会相对越好;反之,磨圆程度会较差^[1-3]。

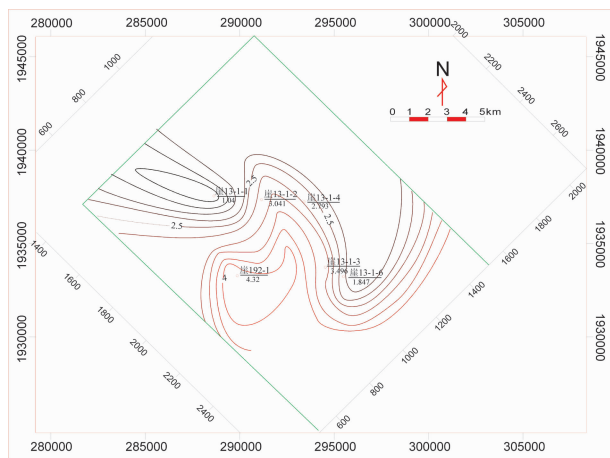


图 8 陵三段稳定系数等值线图

Fig.8 Contour map of stability coefficients of 3rd Member of Oligocene Lingshui Formation

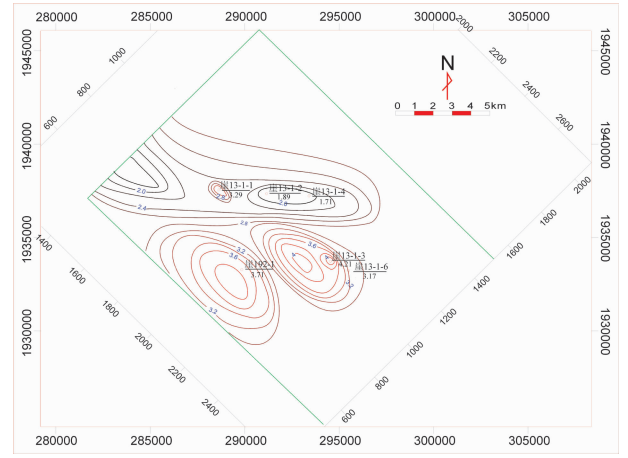


图 9 陵三段矿物成熟度等值线图

Fig.9 Contour map of mineral maturity of 3rd Member of Oligocene Lingshui Formation

根据颗粒磨圆程度的划分,崖城 13-1 气田陵三段自西北部的崖 13-1-1 井到东南部崖 13-1-6 井由次棱角-棱角状含量逐渐减少,次棱角-次圆、次圆状含量逐渐增多(表 2),可见磨圆度由西北到东南逐渐变好。

综合以上结构成熟度与成分成熟度分析的结果表明,陵三段物源方向应来自西北。

5 地层倾角测井预测古水流方向

地层倾角测井用于确定井点处的古水流方向和物源区的位置具有很大的优越性,一般由倾角矢量图,蓝模式或倾角方向频率图来表示古水流的方向^[44]。

为了判断古水流方向在精确计算地层倾角的基

础上消除构造倾角的影响^[4],根据崖城 13-1 气田陵三段的构造倾角和方位角分析,构造倾角大多分布在 10~25°(图 10-A),构造方位角为北北东向 10~36°(图 10-B),与地层构造倾角处理的统计结果基本一致,因此对原地层倾角测井数据进行消除构造倾角 18°、构造方位角北北东 20°的处理。

从崖 13-1-1A 的测井处理结果可见,崖城 13-1 气田陵三段的各砂层发育大量的蓝模式,而且由下至上方向变化较小,直到陵三段顶部才逐渐变化(图 11),结合本区的整体沉积背景分析,应是陵三段的河流-三角洲体系在后期由于海平面的逐渐上升而遭受潮汐和波浪改造作用的结果,综合多口井的倾角测井处理资料,指示了崖城 13-1 气田陵三段沉积

表 2 崖城 13-1 气田陵三段颗粒的磨圆度统计(%)
Table 2 Statistical results of pseplicity of 3rd Member of Lingshui Formation in Yacheng 13-1 Gasfield

井号	Ya13-1-1	Ya13-1-2	Ya13-1-3	Ya13-1-4	Ya13-1-6
棱角状	0	0	6.52	0	0
次棱角状	15.79	32.00	28.26	63.78	42.69
次棱-次圆状	68.42	48.00	17.39	7.48	4.62
次圆状	10.53	8.00	22.83	27.95	28.08
圆状	5.26	12.00	25.00	0.79	24.62

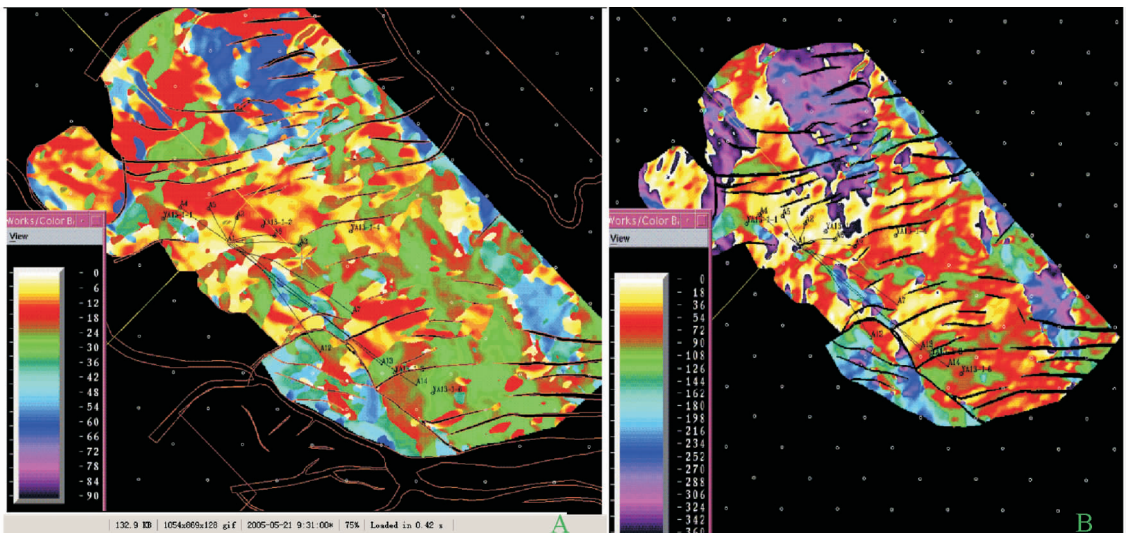


图 10 陵三段地震属性分析
A—地层倾角;B—地层方位角

Fig.10 Seismic attributes of 3rd Member of Oligocene Lingshui Formation
A—Dip; B—Azimuth

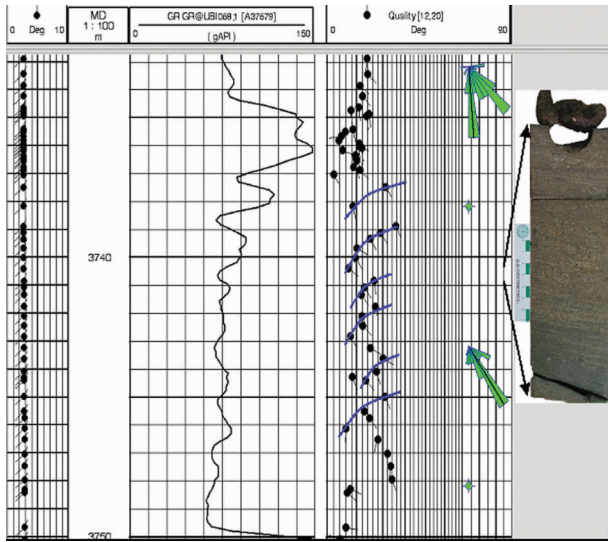


图 11 崖 13-1-1A 倾角测井处理成果(蓝模式)

Fig.11 Dip log processing result of Y13-1-1A (blue pattern)

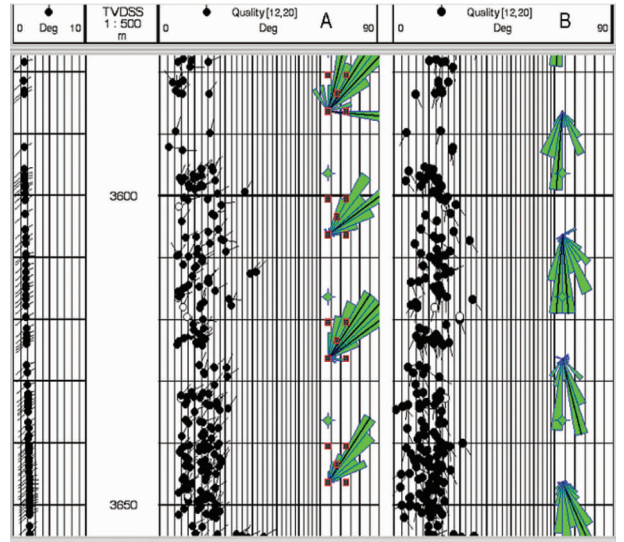


图 12 崖 13-1-1A 井 UBI 测井去构造倾角结果 (A—去构造倾角前;B—去构造倾角后)

Fig.12 Result of eliminating structural dip in UBI log in Y13-1-1A

(A—Before eliminating structural dip; B—After eliminating structural dip)

时期的古水流方向为 SE 向或 SSE 向,因此陵三段的沉积物源方向应为 NW 向或 NNW 向(图 12)。

6 结 语

通过古地貌、重矿物、岩屑成分和结构分析与地层倾角测井等多种方法的综合分析,可以确定研究区渐新统陵三段沉积时期物源体系主要来自北西方向,北西物源体系碎屑沉积物以石英含量高的岩屑长石质石英砂岩与长石质石英砂岩为主。根据重矿物组合特征分析,认为物源区母岩类型主要为酸性岩浆岩、变质岩以及再改造的沉积岩等。由于崖城 13-1 气田构造是在古近纪花岗岩、变质岩基底隆起上发育起来的披覆背斜。渐新世末期至早中新世早期,区域性的隆升幅度增大,西北部构造顶部遭受剥蚀并形成区域性不整合,陵三段则向翼部崖城组超覆沉积,这进一步明确了陵三段的物源体系主要是来自西北部早期基底花岗岩、变质岩的隆升剥蚀产物,由于物源区距研究区距离适中,地形有一定的坡度,容易产生机械破碎的大块碎屑,这种母岩性质的特征,正是研究区辫状河三角洲砂体成因及沉积特征的内在因素。

参考文献 (References):

[1] 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法[M]. 北京:地质出版社, 1985.

Liu Baojun, Zeng Yunfu. Basics of Lithofacies Paleogeography and Work Method [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 210-216(in Chinese).

[2] 汪正江, 陈洪德, 张锦泉. 物源分析的研究与展望[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(4): 104-110.

Wang Zhengjiang, Chen Hongde, Zhang Jingquan. Research and prospects of provenance analysis [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2000, 20(4):104-110(in Chinese with English Abstract).

[3] 赵红格, 刘池洋. 物源分析方法及研究进展 [J]. 沉积学报, 2003, 21 (3):400-415.

Zhao Hongge, Liu Chiyang. Approaches and prospects of provenance analysis [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 400-415(in Chinese With English abstract).

[4] Morton A C, Todd S P, Haughton P D W. Developments In Sedimentary Provenance Studies [M]. Geological Society Special Publication 57, 1991:P31-271.

[5] 李珍, 焦养泉, 刘春华, 等. 黄骀坳陷高柳地区重矿物物源分析[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(6):5-7.

Li Zhen, Jiao Yangquan, Liu Chunhua, et al. Source analysis of heavy minerals in Gaoliu area, Huanghua Depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 25 (6):5-7 (in Chinese with English abstract).

[6] 赵俊英, 罗静兰, 雷晓岚, 等. 鄂尔多斯盆地子长油田杨家园则探区长 6 物源分析[J]. 中国地质, 2007, 34(3):422-429.

Zhao Junying, Luo Jinglan, Lei Xiaolan, et al. Provenance analysis of the Sixth Member of the Yanchang Formation in the Yangjiayuanze

- oil prospect area, Zichang oilfield, Ordos basin [J]. *Geology in China*, 2007, 34(3):422-429(in Chinese with English abstract).
- [7] 刘立, 胡春燕. 砂岩中主要碎屑成分的物源区意义 [J]. *沉积与特提斯地质*, 1991, 11(6):48-53.
- Liu Li, Hu Chunyan. Provenance significance of the main detrital composition in sandstone [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 1991, 11(6):48-53(in Chinese with English abstract).
- [8] 杨江海, 杜远生, 徐亚军, 等. 砂岩的主量元素特征与盆地物源分析[J]. *中国地质*, 2007, 34(6):1032-1044.
- Yang Jianghai, Du Yuanshang, Xu Yajun, et al. Major element characteristics of sandstones and provenance analysis of basins [J]. *Geology in China*, 2007, 34 (6):1032-1044 (in Chinese with English abstract).
- [9] Arribas J, Critelli S, Johnsson M J. Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry [M]. Geological Society of America Special Paper 420, 2007:95-176.
- [10] 邓鸣放, 陈伟煌. 崖 13-1 大气田形成的地质条件 [J]. *中国海上油气(地质)*, 1989, 3(6):19-26.
- Deng Mingfang, Chen Weihuang. Geological conditions of Ya13-1 gasfield [J]. *China Offshore Oil And Gas (Geology)*, 1989, 3(6): 19-26 (in Chinese With English Abstract).
- [11] 王香增, 杜海峰. 崖 13-1 气田古近系渐新统陵三段储层特征与沉积微相研究[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(4):497-503.
- Wang Xiangzeng, Du Haifeng. Reservoir characteristics and microfacies of oligocene member Lingshui III, Yacheng13-1 Gasfield [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20 (4):497-503(in Chinese with English abstract).
- [12] Dunay R E, Hailwood E A. Non-Biostratigraphical Methods of Dating and Correlation [M]. Geological Society Special Publication 89, 1995:3-22.
- [13] Jones S J, Frostick L E. Sediment Flux To Basins: Causes, Controls and Consequences [M]. Geological Society Special Publication 191, 2002:P37-53.
- [14] 李洪奇. 沉积学研究中的地层倾角测井资料解释 [J]. *沉积学报*, 1995, 13(1):82-87.
- Li Hongqi. Interpretation of dipmeters in sedimentological research [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1995, 13 (1):82-87 (in Chinese with English abstract).
- [15] 宋子齐, 冯玉成, 唐长久, 等. 地层倾角测井在沉积微相研究中的应用[J]. *断块油气田*, 2009, 16(4):4-7.
- Song Ziqi, Feng Yucheng, Tang Changjiu, et al. Application of dip logging in the study of sedimentary microfacies [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2009, 16(4):4-7 (In Chinese With English Abstract).

Provenance Analysis of 3rd Member of Oligocene Lingshui Formation in the Yacheng 13-1 Gasfield, Qiongdongnan Basin

BAI Zhen-hua^{1,2,3}, LI Sheng-li⁴, SU Yan⁵, MA Xing-zhi^{1,2,3}, LI Mao-wen⁶

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China; 2. State Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery, RIPED PetroChina, Beijing 100083, China; 3. PetroChina Key Laboratory of Basin Structure and Hydrocarbon Accumulation, Beijing 100083, China; 4. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 5. Exploration & Production Research Institute, SWPB, SINOPEC, Chengdu 610081, China; 6. Zhanjiang Division of CNOOC Ltd., Zhanjiang 524057, China)

Abstract: Provenance system analysis is one of the key means for determining the genetic type, spatial distribution and evolution of the reservoir. In this paper, Based on an integrated analysis of palaeogeomorphology, heavy minerals, composition and structure of debris and dip log data, the authors systematically studied the provenance of 3rd Member of Oligocene Lingshui Formation in Yacheng 13-1 Gasfield within Qiongdongnan Basin and revealed that the provenance system of the study area was derived from the northwest during the deposition of 3rd Member of Lingshui Formation. The clastic sediments are mainly lithic feldspathic quartzite and feldspathic quartzite with high content of quartz. An analysis of heavy mineral assemblages shows that the rock types of the source area were mainly acidic magmatic rocks, metamorphic rocks and reworked sedimentary rocks. Because of the moderate distance from the source area to the study area and the existence of some slopes between them, the source area was likely to produce large debris by mechanical crushing and this type of mother rock might have been the inherent factor responsible for the formation of braided channel delta sandstone and sedimentary characteristics in 3rd Member of Lingshui Formation in the study area.

Key words: Ya13-1 gas field; 3rd Member of Lingshui Formation; provenance analysis; heavy minerals; dip

About the first author: BAI Zhen-hua, male, born in 1982, doctor candidate, engages in the study of reservoir geology and hydrocarbon accumulation; E-mail: baizhh@163.com.