

印尼库特盆地深海区中北部沉积波动与油气分布特征

吴宝年^{1,2}, 金之钧³

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国石化 国际石油勘探开发有限公司, 北京 100083;

3. 中国石化 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:对印尼库特盆地深海区中北部中中新统以上地层开展沉积波动分析及波动与油气分布的关系研究,应用米兰科维奇旋回地层定年方法对研究区内的单井地层进行定年,建立精细地层年代格架,并计算精细沉积速率曲线。应用地质滤波法从精细沉积速率曲线中提取出周期分别约为6.3、7.1、8.5和0.4 Ma的4个主要波动,它们与成藏要素的形成及油气分布有重要关系。其中,6 Ma周期波动对研究区内的成藏要素形成起主要控制作用,在它控制下形成上、下两套成藏组合,上部成藏组合以下更新统底部—上新统中部泥岩为盖层,以上新统下部—上新统上部砂岩为储层;下部成藏组合以上中新统中部泥岩为盖层,以上中新统下部—中新统顶部砂岩为储层。其它短周期波动对6 Ma周期波动控制下的储层与盖层形成过程有一定影响,它们决定了6 Ma周期波动控制下局部位置储层与盖层发育情况。0.4 Ma周期波动是米兰科维奇旋回中0.40 Ma长偏心率旋回,对研究区高频沉积旋回起主控作用。同时,研究结果显示研究区内油气分布受盖层控制,6 Ma周期波动和3.7 Ma周期波动双重控制下的有利盖层发育叠加区之下均是油气发现区或地震反射异常区。

关键词:波动分析;米兰科维奇旋回;中新统;库特盆地;印度尼西亚

中图分类号:TE122.1 **文献标识码:**A

Sedimentary undation and hydrocarbon distribution features in northern and central deep-sea area of Kutei Basin, Indonesia

Wu Baonian^{1,2}, Jin Zhijun³

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. International Petroleum Exploration and Production Corporation, SINOPEC, Beijing 100083, China; 3. Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: The relationship between sedimentary undation and hydrocarbon distribution in the formations above the mid-Miocene in northern and central deep-sea area of Kutei Basin, Indonesia, was identified through Milankovitch cycles dating of single wells, construction of chronostratigraphic framework, and calculation of sedimentation rates in the study area. Four major undation periods (about 6, 3.7, 1.85 and 0.4 Ma) that had important relationships with hydrocarbon reservoiring and distribution were recognized on fine sedimentation rate curves by using geological wave filtering methods. The undation period during 6 Ma was considered to control the formation of two plays (upper and lower). The upper play had the lower Pliocene-the Upper Miocene sandstone as the reservoirs and the bottom Lower Pleistocene-the middle Pliocene mudstone as the caprocks. And the lower play had the lower Upper Miocene-the top Middle Miocene as the reservoirs and the middle Upper Miocene mudstone as the caprocks. Other undation periods also contributed to the development of reservoirs and caps controlled by the 6 Ma period. The undation period of 0.4 Ma was the long-eccentricity cycles among Milankovitch cycles and the major controlling factor for the formation of high-frequency sedimentary cycles. The study also shows that hydrocarbon distribution was controlled by the caprocks in the study area. All areas where favorable caprocks jointly controlled by the undation periods of 6 Ma and 3.7 Ma superimpose have oil/gas discoveries or abnormal seismic reflections.

Key words: undation analyses, Milankovitch cycle, Miocene, Kutei Basin, Indonesia

地壳的波状运动是其运动的一种形式,表现为地壳质点的垂向运动。构造分布的“等距性”和“迁移

性”、盆地沉积的“旋回性”和“韵律性”等都表明地壳的波动是客观存在的。板块构造理论强调板块的水平

运动,而波动理论强调地壳的垂向运动。板块间在水平相互作用的同时,板块内部又有垂向运动。板块构造理论侧重板块的水平运动,而波动理论关注地壳的垂向运动,二者互为补充。

我国学者对波动理论作过大量研究^[1-4],前苏联学者姆斯妮高娃和施比伊曼在20世纪80年代末至90年代初建立了波动过程量化分析方法,我国以张一伟、金之钧为代表的学者将该方法引入、发展和完善^[5],并对我国盆地(如塔里木和柴达木盆地等)成功开展了波动分析研究,取得大量创新性成果^[5-13],对指导油气勘探发挥了重要作用。通过盆地波动分析的“地质滤波法”可以分析盆地发育的构造-沉积波动过程,以及这些波动过程与油气成藏的关系^[6]。利用小波分析技术可以分析盆地内的高频沉积旋回,并可利用米兰科维奇周期之间的比例关系,识别隐含在盆地沉积中的米兰科维奇周期性旋回,进行地层年代精细定年^[7]及生、储、盖沉积过程研究^[8]。

库特(Kutei)盆地是印度尼西亚主要含油气盆地之一,位于印度尼西亚中部加里曼丹岛东,是新生代形成和发育的盆地,盆地面积 $20.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,分陆上和海域两部分,陆上部分又称上库特盆地,海域部分又称下库特盆地,海域面积 $9.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中深水区的勘探开发程度较低,近些年不断有新的油气发现。本文立足库特(Kutei)盆地深水区中部偏北,应用盆地定量波动分析技术对研究区进行单井沉积波动分析,探讨研究区中新世以来的沉积波动过程及与油气成藏要素之间的关系。

1 地质概况

库特盆地是在欧亚板块、太平洋板块和印度-澳大利亚板块运动汇聚背景下,晚古新世印度-澳大利亚板块北向运动,太平洋板块西向俯冲作用下形成和发展起来的,起因与沿太平洋边缘发生的弧后拉张有关^[14],其北部边界是Mangkalihat隆起,西部边界是中Kalimantan穹隆,东部延伸到Makassar海峡深水区(图1)。在古新世晚期—始新世早期,太平洋板块西向俯冲,在弧后拉张应力场环境下诱发的地壳减薄运动导致地幔物质上涌并产生一系列裂谷。随着裂谷形成,海水侵入Makassar海峡。裂谷下部为冲积扇沉积,向东部远端和向上部逐渐演变为海相沉积,发育有河道、三角洲、浅海、碳酸盐岩台地和海相沉积。始新世末期,随着裂谷发展,盆地继续扩张,地壳不断减薄,盆地进入拗陷期,发育有海相泥岩夹退积碎屑岩和碳酸盐岩沉积。渐新世早期,盆地部分地区沉积了厚层台地相碳酸盐岩。渐新世晚期,在上库特盆地开始三角洲相沉积,并向盆地东部进积。至中新世末,盆地主要物



图1 印尼库特盆地位置

Fig. 1 Location of Kutei Basin

源方向为自西向东,盆地西部边缘的三角洲沉积向盆地东部进积,盆地内发育有河道、三角洲、浊流、深水水道和盆底扇等沉积。约在晚中新世—早上新世,与澳大利亚板块发生北西-南东向陆陆碰撞,使盆地内构造环境发生反转,出现了逆冲和北西-南东向收缩变形,随后逐渐形成现今构造格局。

库特盆地深水区主要含油气层位于中新统,储层为斜坡水道、斜坡扇、浊积扇、深水水道、盆底扇等砂岩沉积,烃源岩为中新统夹有陆源植物碎片富集层的深水砂岩^[15]。这些陆源植物碎片由浊流等深水流经深水水道搬运到浊积扇、盆底扇等部位沉积,与储层砂岩呈互层状发育。烃源砂岩夹杂的植物碎片富集层有机碳含量可达50%,以Ⅲ型干酪根为主,富氢有机显微组分主要为植物叶片角质体,生烃潜力佳,而盆地深水区中的深海相泥岩有机显微组分主要为粉细镜质体颗粒,生烃潜力差^[15]。研究区位于深水区中部偏北,水深超过1000 m,有M-2井,M-3井和A-2井3口钻井(图1),其中仅M-2井钻达中新统顶部,其余2口井钻达上新统下部。自中新世以来,研究区沉积环境始终为深海相,发育深海相泥岩、深水水道、浊积和盆地扇等深水沉积,主要岩性为砂岩和泥岩,无不整合。

2 沉积速率计算

利用地质滤波法分析盆地沉积波动周期,需要计算盆地地质历史时期中的沉积速率,建立沉积速率直方图,在此基础上进行滤波分析,提取控制沉积的波动周期。作高频沉积波动分析时,需要建立精细的高频沉积速率曲线,因此需要在建立精细地层年代格架的

基础上计算分辨率更高的精细沉积速率曲线。依据沉积地层中米兰科维奇 (Milankovitch) 旋回的年代地层意义可对地层进行定年,建立精细地层年代格架^[10]。米兰科维奇周期包含 0.4 Ma 的长偏心率周期、0.1 Ma 的短偏心率周期、0.04 Ma 的黄赤交角周期和 0.02 Ma 的岁差周期。依据这些周期之间的比值关系,可以识别盆地沉积中的米兰科维奇旋回。

M-2 井是研究区内最深的一口井,完钻地层钻达中中新统顶部;M-3 井次之,井底地层为上中新统下部,接近中中新统顶界;A-2 井是最浅的一口井,井底地层位于上中新统下部(图 2)。对这 3 口井的 GR 测井曲线分别作小波分析和小波系数模平均值曲线,依据米兰科维奇周期之间的频率比值关系识别其中的米兰科维奇旋回,然后采用基于米兰科维奇旋回的地层定年方法^[7](根据计算层段内的米兰科维奇旋回个数,得到分析层段的持续时间),建立采样间隔为 1 万年的地质年代时间与井深对应关系(即地层年代格架)(表 1),在地层厚度去压实校正^[16]的基础上计算沉积速度,建立精细沉积速度直方图(图 3)。

以 A-2 井为例,其 GR 测井曲线在小波分析基础上识别出米兰科维奇旋回对应的频率成分(图 4),它们在全井段的周期个数分别为 23,99,268 和 511 个,其周期长度比即周期个数比的倒数为 0.232 : 1 : 2.707 : 5.162,与米兰科维奇周期在全新世的 0.4,0.1,0.041 和 0.019 Ma

周期频率比 0.25 : 1 : 2.439 : 5.263 基本一致。通过对比分析,0.1 Ma 周期曲线具有较好的波组特征,且分布稳定,因此选用 0.1 Ma 周期曲线进行地层定年标定。根据 0.1 Ma 周期曲线包含的周期个数和每个周期内不同点之间的相位关系,将 0.1 Ma 周期曲线对应的时间分配到相应井深上,然后以采样间隔 0.01 Ma 进行时深采样,建立地质年代时间与井深的对应关系。米兰科维奇旋回定年得到的是从计算起点开始的相对年龄,如果要得到绝对年龄,需要确定起算点的绝对地质年龄。A-2 井 GR 测井起始井深 1 929 m,与海底井深 1 918 m 相差 11 m,根据赵全基对赤道太平洋西部深海(水深约 2 178 m)海底表层沉积物取心(站点位置约 2°S, 160°E)分析得到表层沉积物平均沉积速率 1.4 cm/ka^[17],李培英等人对冲绳海槽槽底平原站点(水深 1 100 ~ 1 679 m)取样测年分析得到站点海底表层沉积物平均沉积速率为 6.28 ~ 22.77 cm/ka^[18],及本研究计算得到的起算点处的平均沉积速率约 33 cm/ka,若取 A-2 井海底表层沉积物的平均沉积速率范围为 1.4 ~ 33 cm/ka,则 11 m 厚地层对应的地质时间范围约 0.79 ~ 0.03 Ma,由于该时差不大,不影响研究精度,因此为便于研究,对该时差进行忽略,将测井起点处的地质年龄近似为 0 Ma。在 A-2 井地层及沉积波动曲线综合柱状图中(图 5),沉积速率曲线是通过上述方法计算得到的,可以看到沉积速率与地

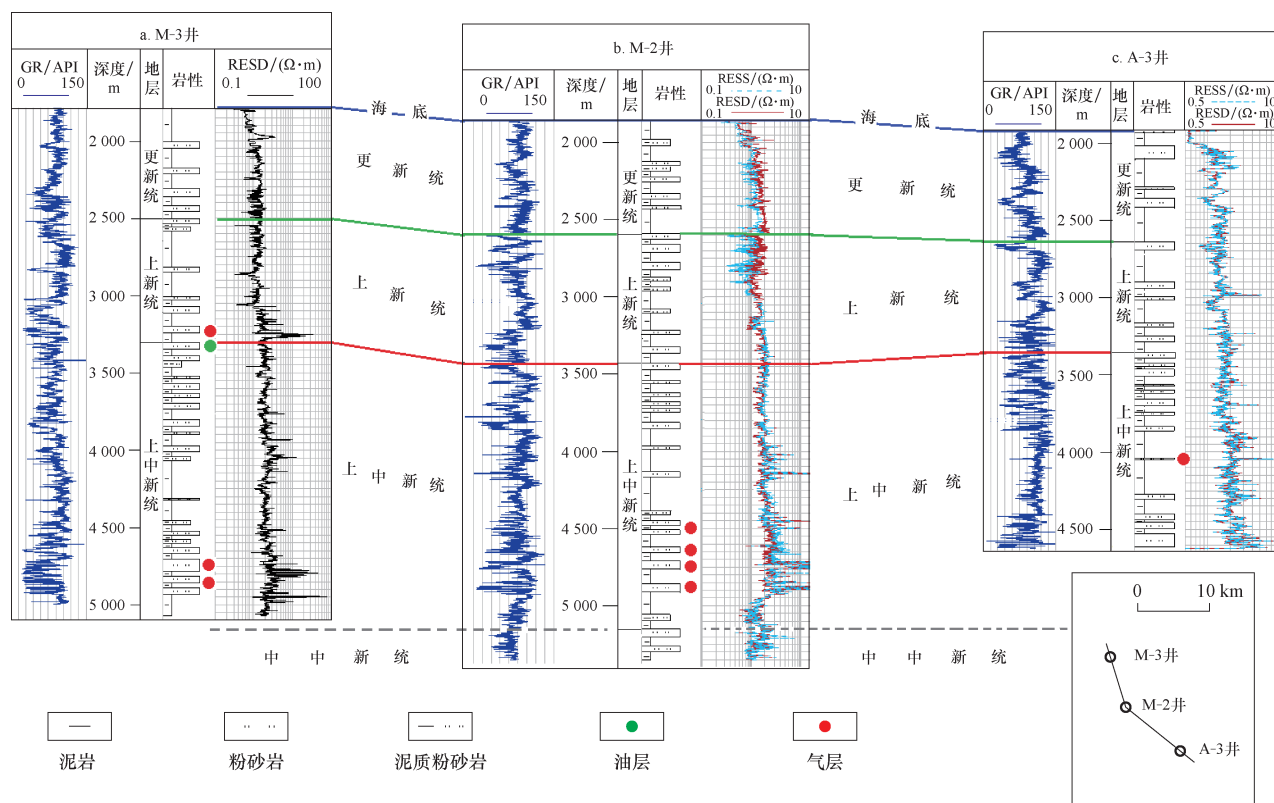


图 2 研究区过 M-3 井, M-2 井和 A-2 井联井剖面

Fig. 2 Well-tie correlation of M-3, M-2 and A-2 wells in the study area

表 1 米兰科维奇周期定年井深与地层年龄对应关系

Table 1 Correspondence between well depth and strata age determined by Milankovitch cycles dating method

M-3 井		M-2 井		A-2 井	
井深/m	年代/Ma	井深/m	年代/Ma	井深/m	年代/Ma
1 780(海底)	0	1 868(海底)	0	1 918(海底)	0
1 789	0	1 868	0	1 929	0
(测井起点)	(随钻测井起点)	(随钻测井起点)	(随钻测井起点)	(测井起点)	(测井起点)
1 792.98	0.01	1 871.32	0.01	1 932.13	0.01
1 796.03	0.02	1 875	0.02	1 935.48	0.02
1 799.08	0.03	1 877.72	0.03	1 938.83	0.03
...	...	...	...	...	...
2 506.98	2.5	2 615.64	2.5	2 622.65	2.5
...	...	...	...	...	...
3 322.17	5.2	3 440.89	5.2	3 368.8	5.2
...	...	...	...	...	...
5 006(井底)	10.4	5 366(井底)	11.6	4 639(井底)	9.9

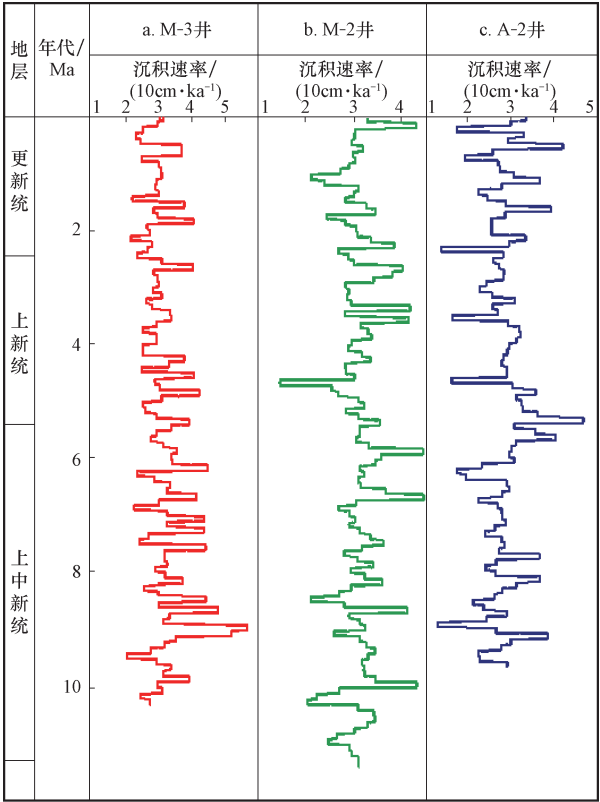


图 3 研究区单井沉积速率直方图

Fig. 3 Sedimentary velocity histogram of single wells in the study area

层岩性有较好的对应关系,沉积速度高的位置砂岩发育,低的位置泥岩发育,符合沉积规律,且 A-2 井米兰科维奇周期定年显示 A-2 井地质分层中新统顶界处的地质年龄约为 5.2 Ma,与 2008 版国际地层年代表^[19]中划分的中新统顶界年龄 5.332 Ma 基本一致。

3 单井波动分析

应用地质滤波法对 A-2 井、M-2 井和 M-3 井

的沉积速率曲线分别进行滤波分析,提取基本有稳定周期的波动曲线计算波动周期,提取出的各单井波动周期(表 2)。可知研究区内主要有 4 个影响大段沉积的波动周期,即 6,3.7,1.85 和 0.4 Ma 周期(图 6)。

以 A-2 井为例进行单井波动分析,A-2 井上新世以来的沉积波动周期主要有 6,3.7,1.85 和 0.4 Ma 4 个周期(图 5)。波动曲线波峰对应的沉积速率最高,主要为砂岩沉积,波谷对应的沉积速率最低,以泥岩沉积为主,波峰向波谷转换时的沉积速率呈减小趋势,波谷向波峰转换时的沉积速率呈增大趋势,最终沉积速率是各不同周期波动对沉积速率的影响趋势叠加在一起的综合响应。在 2~4.2 Ma 时期,对应井段大致为 2 500~3 000 m(含水深,下同),6 Ma 周期波动处于波谷段,A-2 井在该时期内的沉积以泥质沉积为主,该时期沉积与库特盆地深水区上部成藏系统中的盖层发育期对应,其间受其它周期波动影响(如 0.4 Ma 周期),局部发育有砂岩沉积,且在 2.8~3.5 Ma 时间段(对应井段为 2 700~2 900 m),3.7 Ma 和 1.85 Ma 周期波动也处于波谷,受 6,3.7 和 1.85 Ma 3 个周期波动的叠加影响,沉积了一套纯泥岩,是很好的盖层。在 4.2~7 Ma 时期(对应井段为 3 200~3 800 m),6 Ma 周期处于波峰段,以砂岩沉积为主,该时期与库特盆地深水区上部成藏系统中的储层发育期对应,受 0.4 Ma 和 3.7 Ma 周期等影响其间发育有泥岩夹层,约在 4.5~6.1 Ma(对应井段为 3 300~3 600 m),3.7 Ma 周期波动同样处于波峰段,受 6 Ma 周期和 3.7 Ma 周期峰峰叠加影响,此时期砂岩沉积最发育。在 7.3~9.3 Ma 时期(对应井段为 3 900~4 500 m),6 Ma 周期波动又一次处于波谷段,以泥质沉积为主,该时期与库特盆地深水区下部成藏系统中的盖层发育期对应,期间受其它短周期波动的影响,局部发育有砂岩。约 9.3 Ma 之后(井深大于 4 500 m),6 Ma 周期波动将进入另一波峰段,与库特盆地深水区下部成藏系统中的储层发育期对应。影响 A-2 井高频沉积旋回的主要波动周期是 0.4 Ma 周期,该周期与米兰科维奇周期 0.4 Ma 的长偏心率周期对应。这与 1981 年在赤道太平洋深海沉积物中发现一个 0.4 Ma 的轨道周期^[20]相一致,说明自新生代以来,很可能在低纬度地区,0.4 Ma 周期的米兰科维奇长偏心率周期对该区域的高频沉积起主控作用。

4 波动与油气藏纵向分布关系

含油气盆地波动过程对油气成藏旋回有一定的控制作用^[5],它控制或影响储、盖等成藏要素的形成过程。

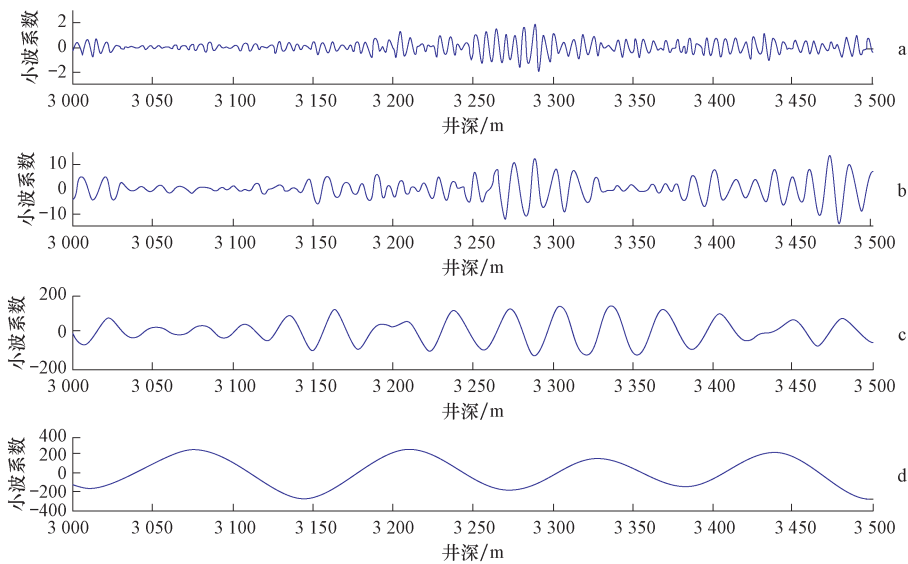


图4 研究区A-2井GR测井曲线小波分析与米兰科维奇旋回对应的频率成分

Fig. 4 Milankovitch cycles derived from wavelet analyses of the GR logging curve of well A-2 in the study area

a. 0.02 Ma的岁差周期;b. 0.04 Ma的黄赤交角周期;c. 0.1 Ma的地球轨道短偏心率周期;d. 0.4 Ma的地球轨道长偏心率周期

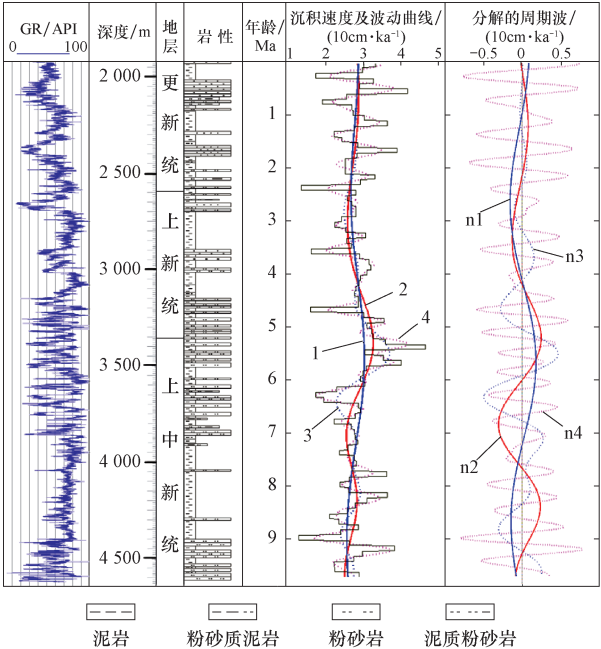


图5 研究区A-2井地层及沉积波动曲线综合柱状图
Fig. 5 Composite columnar section and undation curves of well A-2 in the study area

1. 周期6 Ma波动曲线;2. 周期3.7 Ma波动曲线;
3. 周期1.85 Ma波动曲线;4. 周期0.4 Ma波动曲线;
n1. 分解出的6 Ma周期波;n2. 分解出的3.7 Ma周期波;
n3. 分解出的1.85 Ma周期波;n4. 分解出的0.4 Ma周期波
(图中深度为包含水深的井深。A-2井海底井深1 929 m。)

表2 研究区单井波动周期统计

Table 2 Undation periods statistics of single wells in the study area

井号	第一周期/Ma	第二周期/Ma	第三周期/Ma	第四周期/Ma
A-2井	6	3.70	1.85	0.40
M-2井	6	3.40	1.90	0.40
M-3井	6	3.90	1.85	0.40

4.1 6 Ma 周期波动的作用

研究区自中中新世以来经历的6 Ma波动周期旋回对油气成藏要素的形成起主要控制作用,共经历了约2.5个6 Ma波动周期旋回,其中波谷段沉积速度低,以泥岩沉积为主,是盖层形成期;波峰段沉积速度高,以砂岩沉积为主,是储层形成期;由于夹有陆源植物碎片富集层的深水砂岩是库特盆地深水区的主要烃源岩,因此波峰段也对应着烃源形成期,但只有位于生油/气门限深度以下的烃源是有效烃源。

从库特盆地深水区已发现油气田看,含油气层系主要集中在上新统下部—上中新统上部(如Gendalo气田)和上中新统下部—中中新统顶部(如Gehem气田),其剖面位置正好与6 Ma波动周期旋回的两个波峰段对应,而泥岩发育段对应着波谷区。因此依据6 Ma周期波动分析结果和含油气层系纵向分布位置,研究区存在上下两套成藏组合,上部成藏组合以下更新统底部—上新统中部的泥岩为盖层,以上上新统下部—上中新统上部的砂岩为储层;下部成藏组合以上中新统中部的泥岩为盖层,以上中新统下部—中中新统顶部的砂岩为储层。

4.2 短周期波动的影响

研究区在6 Ma周期波动控制下的储、盖形成期内,具体位置储、盖发育情况受其它短周期波动的影响。如6 Ma周期波动控制下的盖层形成期内,局部位置受其它短周期波动影响可能发育有储层。

根据M-2井和M-3井波动分析结果(图6),在6 Ma周期波动控制下的上部盖层形成期(约1~4Ma),受3.7 Ma周期波动影响,M-2井和M-3井分

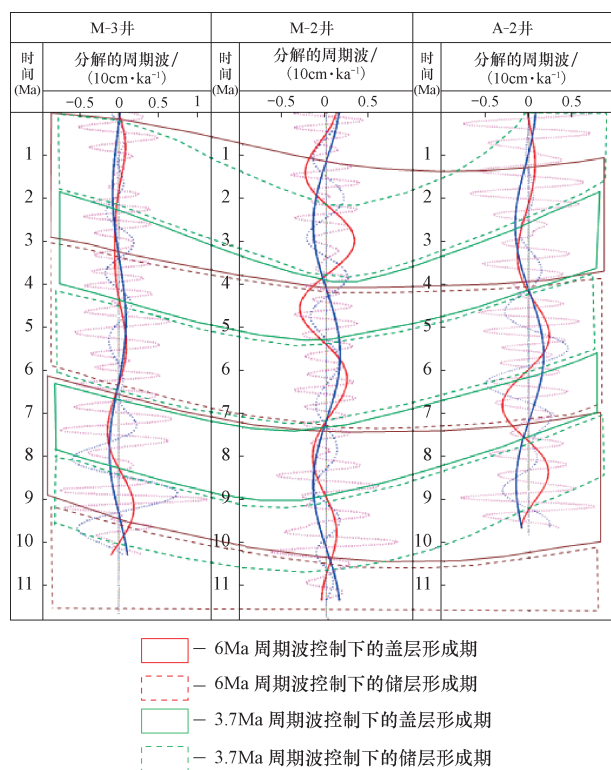


图6 研究区周期波控制下的储盖分布联井对比示意图

Fig. 6 Diagram showing cross-well correlation of distribution of reservoirs and caprocks controlled by undation periods in the study area

(蓝色实线为分解出的6 Ma周期波;红色实线为分解出的3.7 Ma周期波;蓝色虚线为1.85 Ma周期波;粉色虚线为0.4 Ma周期波。)

别约在2~4 Ma和1~2 Ma,处于3.7 Ma周期波动控制下的储层发育期,因此会对6 Ma周期波动控制下的上部成藏组合中的盖层发育起不利影响;但M-3井在约2~3 Ma进入3.7 Ma周期波动控制下的盖层发育期,此时与6 Ma周期波动控制下的盖层发育期重合,谷谷叠加有利于形成好的盖层,因此M-3井上部成藏组合中的盖层条件优于M-2井,这与在上部成藏组合中M-3井钻遇油气层而M-2井未钻遇油气层的实钻结果一致。而在6 Ma周期波动控制下的下部成藏组合盖层形成期(约6.5~10 Ma),M-2井和M-3井分别约在7~9 Ma和6~8 Ma是3.7 Ma周期波动控制下的盖层形成期,此时是6 Ma和3.7 Ma周期波动双重控制下的谷谷叠加,有利于盖层发育;约9~10.5 Ma和8.5~10 Ma分别是M-2井和M-3井在3.7 Ma周期波动控制下的储层发育期,此时发育的储层具有有利的盖层条件,因此M-2井和M-3井下部成藏组合中的盖层条件和储盖配置良好,是有利的油气聚集场所。实钻结果也证实M-2井和M-3井均在下部成藏组合中钻遇气层,与波动分析结果一致。

而A-2井上部成藏组合盖层发育期内约3~4.5 Ma,为6 Ma周期波动和3.7 Ma周期波动的谷谷叠加期,有利于形成好的盖层;在下部成藏组合盖层发育期内约7.5~9 Ma是3.7 Ma周期波动控制下的储层发

育期,谷峰叠加不利于盖层发育,因此,根据波动分析结果A-2井上部成藏组合盖层条件好于下部成藏组合,下部成藏组合具有盖层不利的风险。A-2井实钻情况虽未钻达深部主要目的层(相当于6 Ma周期波动控制下的下部成藏组合储层发育段),但已钻入6 Ma周期波动控制下的盖层发育段,此段仍发育有多层砂岩(与3.7 Ma周期波动控制下的储层发育期有关),除上部砂岩发育有少量无商业价值的气层外,下部砂岩均为水层,这与波动分析结果一致;对于上部成藏组合,波动分析结果显示储、盖及它们的配置条件好,虽然A-2井在此段未获油气发现,但地震资料显示该井西南侧存在很可能是气藏响应的地震振幅平点反射异常(图7)。

5 结论

1) 库特盆地深水沉积自中新世以来存在6, 3.7, 1.85和0.4 Ma周期的4个主要波动,它们对储、盖等成藏要素的形成起控制和影响作用。

2) 6 Ma周期波动对研究区内的成藏要素形成起主控作用,在它控制下,研究区发育上、下两套成藏组合,上部成藏组合以下更新统底部—上新统中部的泥岩为盖层,以上新统下部—上中新统上部的砂岩为储层;下部成藏组合以上中新统中部的泥岩为盖层,以上中新统下部—中中新统顶部的砂岩为储层。

3) 其他短周期波动对6 Ma周期波动控制下的储盖形成过程起影响作用,它们决定了局部位置的储盖发育情况;0.4 Ma周期波动是米兰科维奇旋回中的0.04 Ma地球轨道长偏心率旋回,它对研究区高频沉积旋回起主控作用。

4) 研究区内波动与成藏要素的形成及油气纵向分布有重要关系,如6 Ma周期波动和3.7 Ma周期波动控制下的盖层形成期叠合(谷谷叠加)时有利于盖层的形成和发育,储层形成期叠合(峰峰叠加)时有利

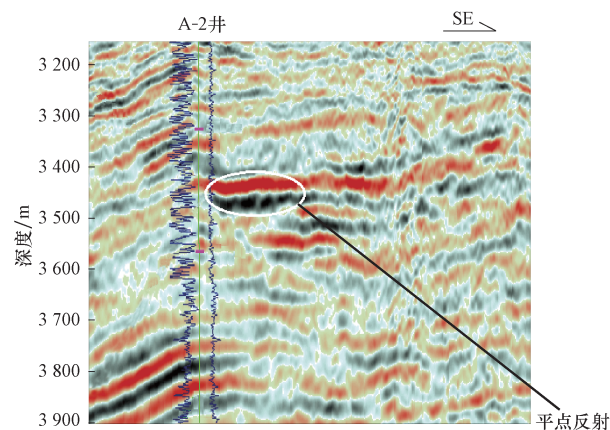


图7 研究区过A-2井地震剖面

Fig. 7 Seismic profile crossing well A-2 in the study area

于储层的形成和发育;研究区内的油气分布除受构造等圈闭因素影响外,盖层发育情况对油气赋存起主控作用,如 M-2 井、M-3 井波动分析结果指示出的 6 Ma 周期波动和 3.7 Ma 周期波动双重控制下的盖层发育叠加有利区之下均是油气发现区,A-2 井波动分析指示的盖层发育叠加区之下也存在地震平点反射,而它们的谷峰叠加区不利于盖层发育,M-2 井、M-3 井、A-2 井在这些部位均无油气发现。

参 考 文 献

- [1] 张伯声. 中国地壳的波浪状镶嵌构造[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 1-90.
Zhang Bosheng. Wavy mosaic structure of the crust in Chian[M]. Beijing: Science Press, 1980: 1-90.
- [2] 张伯声. 地壳波浪与镶嵌构造研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1982: 6-26.
Zhang Bosheng. Research on wavy mosaic structure of the crust[M]. Xi'an: Shaanxi Science & Technology Press, 1982: 6-26.
- [3] 张一伟. 山东西部箕状凹陷形成的探讨——初论地壳波状运动[J]. 石油学报, 1983, 4(4): 19-25.
Zhang Yiwei. On the formation of dustpan-shaped depressions in the western part of Shandong—a preliminary discussion on wave-like crustal movement[J]. Acta Petrolei Sinica, 1983, 4(4): 19-25.
- [4] 张一伟, 李京昌, 金之钧, 刘国臣. 中国含油气盆地波状运动特征研究[J]. 地学前缘(中国地质大学, 北京), 1997, 4(3-4): 305-311.
Zhang Yiwei, Li Jingchang, Jin Zhijun, et al. The Characteristics of the crustal wave movement of the Chinese petroliferous basins[J]. Earth Science Frontiers(China University of Geosciences, Beijing), 1997, 4(3-4): 305-311.
- [5] 金之钧, 李京昌, 汤良杰, 等. 柴达木盆地新生代波动过程及与油气关系[J]. 地质学报, 2006, 80(3): 359-365.
Jin Zhijun, Li Jingchang, Tang Liangjie, et al. Genozoic wave processes and their relationships to hydrocarbon in the Qaidam basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(3): 359-365.
- [6] 金之钧, 张一伟, 陈书平. 塔里木盆地构造—沉积波动过程[J]. 中国科学 D 辑地球科学, 2005, 35(6): 530-539.
Jin Zhijun, Zhang Yiwei, Chen Shuping. The process of fluctuations on structure and deposition, Tarim basin[J]. Science in China(Series D), 2005, 35(6): 530-539.
- [7] 金之钧, 范国章, 刘国臣. 一种地层精细定年的新方法[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1999, 24(4): 379-382.
Jin Zhijun, Fan Guozhang, Liu Guochen. A new method for accurate dating of strata[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(4): 379-382.
- [8] 范国章, 金之钧, 刘国臣, 等. 塔里木盆地高频波识别及其意义[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 245-248.
Fan Guozhang, Jin Zhijun, Liu Guochen, et al. Identification and significance of the high-frequency waves in Tarim Basin[J]. Acta Sedi-mentologica Sinica, 2001, 19(2): 245-248.
- [9] 金之钧, 张一伟, 刘国臣, 李京昌. 沉积盆地物理分析—波动分析[J]. 地质论评, 1996, 42(增刊): 170-179.
Jin Zhijun, Zhang Yiwei, Liu Guochen, et al. Physical analysis method for sedimentary basin—wave analysis[J]. Geological Review, 1996, 42(Sup.): 170-179.
- [10] 李京昌, 金之钧, 孙强. 盆地波动分析中的数学模型及计算机实现[J]. 地质评论, 1996, 42(增刊): 276-282.
Li Jingchang, Jin Zhijun, Sun Qiang. Numerical model and its computerization for wave analysis in basin study[J]. Geological Review, 1996, 42(Sup.): 276-282.
- [11] 李京昌, 金之钧, 刘国臣, 等. 100Ma—塔里木盆地演化的重要周期[J]. 地学前缘(中国地质大学, 北京), 1997, 4(3-4): 312-317.
Li Jingchang, Jin Zhijun, Liu Guochen, et al. 100 Ma—an important interval in the evolution of the Tarim basin[J]. Earth Science Frontiers(China University of Geosciences, Beijing), 1997, 4(3-4): 312-317.
- [12] 李京昌, 金之钧, 刘国臣. 盆地沉降史研究的新方法—波动分析[J]. 地球科学进展, 1997, 12(5): 479-483.
Li Jingchang, Jin Zhijun, Liu Guochen. A new method for studying basin sedimentation history: wave analysis[J]. Advance in Earth Sciences, 1997, 12(5): 479-483.
- [13] 张一伟, 李京昌, 金之钧, 刘国臣. 原型盆地剥蚀量计算的新方法——波动分析法[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 88-91.
Zhang Yiwei, Li Jingchang, Jin Zhijun, et al. A new calculating method of denuded amount for prototype basin—wave analysis[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(1): 88-91.
- [14] Daly M C, 项光, 金康辰. 印度尼西亚新生代板块构造和盆地演化[J]. 海洋地质丛译, 1991, 20(5): 50-62.
M. C. Daly, et al, Xiang Guang, Jin Kangchen translating. Indonesia Cenozoic plate tectonic and basin evolution[J]. Marine and Petroleum Geology, 1991, 20(5): 50-62.
- [15] Saller A, Lin R, Dunham J. Leaves in turbidite sands: The main source of oil and gas in the deep-water Kutei Basin, Indonesia[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(10): 1585-1608.
- [16] 刘国臣, 李京昌, 金之钧, 等. 波动地质学研究中资料的收集与整理[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1994, 18(6): 1-7.
Liu Guochen, Li Jingchang, Jin Zhijun, et al. Collection and sorting out of analysis data in wave geology[J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1994, 18(6): 1-7.
- [17] 赵全基. 赤道太平洋西部深海沉积作用[J]. 海洋学报, 1984, 6(5): 647-656.
Zhao Quanji. Deep sea sedimentation in the western equatorial Pacific Ocean[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1984, 6(5): 647-656.
- [18] 李培英, 王永吉, 刘振夏. 冲绳海槽年代地层与沉积速率[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(1): 50-55.
Li Peiying, Wang Yongji, Liu Zhenxiao. Chronostratigraphy and deposition rates in the Okinawa Trough[J]. Science in Chian(Series D), 1999, 42(4): 50-55.
- [19] 章森林, 张允白, 严惠君. “国际地层表”(2008)简介[J]. 地层学杂志, 2009, 33(1): 1-10.
Zhang Sengui, Zhang Yunbai, Yan Huijun. A brief introduction to the “international stratigraphic chart”(2008)[J]. Journal of Stratigraphy, 2009, 33(1): 1-10.
- [20] Kerr R A. Milankovitch climate cycles: old and unsteady[J]. Science, 1981, 213: 1095-1096.