

涠西探区D次洼流二段岩性圈闭地球物理预测及其形成机制

周静毅¹, 潘新朋², 黄家琳¹, 刘婷婷¹

(1. 中国石化上海海洋油气分公司勘探开发研究院, 上海 200120; 2. 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083)

摘要:涠西探区经历了始新世流沙港组时期的湖泊沉积和渐新世涠洲组时期的三角洲沉积, D次洼槽-内坡带成熟烃源岩范围区是寻找岩性圈闭的相对最有利地区。为扩大涠西探区的资源潜力, 分阶段采用不同的地球物理技术识别流二段岩性圈闭构成元素。利用地震波阻抗反演技术、地震谱分解技术对岩性圈闭进行砂体预测; 运用砂体自动追踪技术和地震同相轴解释技术进行砂体顶底界面刻画; 运用地震吸收属性分析开展岩性圈闭的含油气性预测。在流二段识别出了浊积砂和砂岩上倾尖灭两种岩性圈闭, 并对其做了形成机制分析。流二段岩性圈闭的识别增强了涠西探区的勘探前景。

关键词:地震属性; 岩性圈闭; 形成机制; 砂体预测; 含油气性预测; 涠西探区

中图分类号: P631 **文献标志码:** A

Geophysical prediction and formation mechanism of lithologic traps in the second member of Liushagang Formation, D Subsag, Weixi exploration area

ZHOU Jingyi¹, PAN Xinpeng², HUANG Jialin¹, LIU Tingting¹

(1. Institute of Exploration and Development, SINOPEC Shanghai Offshore Oil & Gas Company, Shanghai 200120, China;

2. School of Geosciences and Information Physics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The Weixi exploration area has experienced lacustrine deposits during the Eocene Liushagang Formation period and delta deposits during the Oligocene Weizhou Formation period. The range of mature source rocks in the D Subsag-inner slope zone is the relatively most favorable area for searching for lithological traps. In order to expand the resource potential of the Weixi exploration area, different geophysical techniques were used to identify the constituent elements of the lithological trap of the second member of the liushagang Formation in stages. Firstly, the sand body prediction of lithologic traps was carried out by using seismic impedance inversion technology and seismic spectrum decomposition technology. Secondly, the interface between the top and bottom of sand body was characterized by sandbody automatic tracking technology and seismic isomorphous axis interpretation technology. Finally, the oil and gas properties of lithologic traps were predicted by using seismic absorption attribute analysis. Two lithologic traps of turbidite sand and sandstone updip pinch-out were identified in the second member of the liushagang Formation, and their formation mechanism was analyzed. The identification of lithologic traps in the second member of the liushagang Formation enhances the prospects for exploration in the Weixi exploration area.

Key words: seismic attribute; lithologic trap; formation mechanism; sandbody prediction; oil-gas property prediction; Weixi exploration area

1 地质背景

隐蔽圈闭的形成和分布有一定的特殊性, 其圈闭形态是不规则的, 在分布上有一定的隐蔽性, 但与构造圈闭类似, 隐蔽圈闭也具有一定的分布规律和成因特点, 是特定地质条件下的产物。平面上, 隐蔽圈闭位于区域构造和沉积体系的一定部位, 不是单一的、孤立的分布, 而是成群成带出现, 从属于一定的区域构造单元。隐蔽圈闭聚集区带主要与区域构造条件、区域岩性尖灭带、物性变化带、地层

超覆带和地层不整合面的分布有关, 即隐蔽圈闭的形成和分布取决于古构造、古地貌、物源体系和沉积环境等构造、沉积条件。

涠西探区位于北部湾盆地。北部湾盆地属于南海北部盆地群, 位于华南板块的西南边缘, 是发

收稿日期: 2021-04-16; 修回日期: 2021-06-20。

第一作者简介: 周静毅(1980—), 硕士, 高级工程师。研究方向为地震资料解释与地震属性分析。E-mail: zhoujingyi.shhy@sinopec.com。

基金项目: 涠西高密度三维工区隐蔽圈闭研究(2019-KJC-06)。

育于古生界粤桂隆起区和中生界海南隆起区之上的第三纪裂谷盆地。盆地的演化经历了裂陷(张裂)和拗陷(裂后)两个阶段。以古近纪张裂阶段形成的构造格局为划分依据,平面上将北部湾盆地的构造单元划分为5个二级构造单元:北部拗陷、企西隆起、中部拗陷、徐闻隆起、南部拗陷^[1](图1)。其中北部拗陷分为3个次一级(三级)构造单元:涠西南凹陷、涠西低凸起和海中凹陷,其中涠西南凹陷又分为A、B、C、D生油次注^[2]。就涠西探区而言,隐蔽圈闭的形成主要与地层不整合、构造活动的强弱程度、构造反转、潜山古地貌、地层坡折带、湖岸线变迁带等有着密切关系。

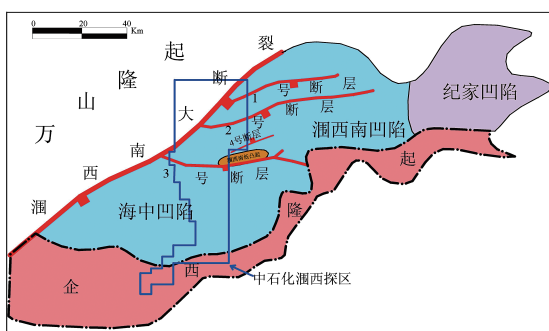


图1 涠西探区构造位置

2 流沙港组时期物源及沉积体系特征

2.1 物源区分布

始新统流沙港期是湖泊水体明显上升的沉积过程。该时期北部拗陷南北水体连通,大部分范围被湖泊水体覆盖(图2),尤其是企西隆起,仅较高部位出露剥蚀区提供物源。万山隆起作为北部湾盆地的西北侧边界,仍然可以作为北部拗陷西北侧的物源提供区域,可以发育中、小规模近岸扇三角洲或水下扇体。该时期的涠西南低凸起区域完全处于水下,接受流沙港组(二、一段)的沉积。海中凹陷南部斜坡带南段、东段接受一部分来自企西隆起的物源,也可形成小规模扇三角洲沉积。

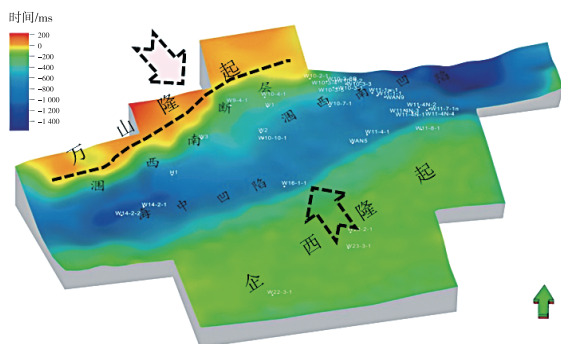


图2 始新统流沙港组物源区分布

2.2 流二段沉积体系特征

流二段沉积时期,湖泊扩张至鼎盛期,涠西南低凸起没于水下,拗陷大面积发育深湖、半深湖亚相沉积环境,因此该时期的沉积体系类型为湖泊沉积体系,深湖、半深湖亚相覆盖整个涠西南拗陷中部洼槽带和海中凹陷西北部洼槽带,在1号断层和涠西南大断裂下降盘深湖-半深湖内发育近岸水下扇,滨浅湖亚相主要分布在两个拗陷的南部斜坡带,涠西南拗陷北部断阶带及企西隆起周边发育泛滥平原相,两拗陷东南侧邻近企西隆起位置主要发育三角洲相沉积环境。在靠近拗陷中心部位,局部区域有浊积砂体分布(图3)。

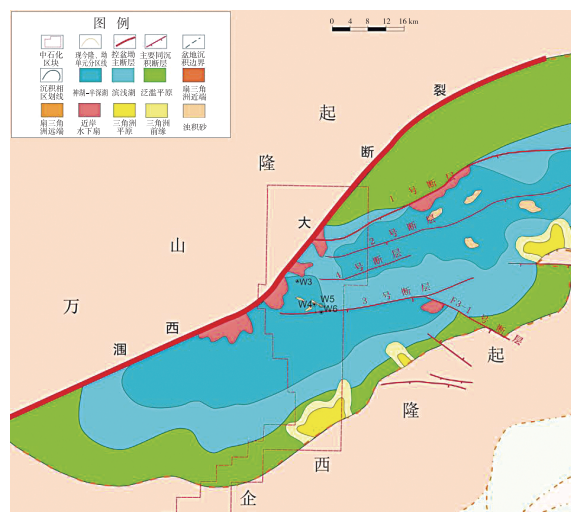


图3 流二段沉积相

3 地球物理方法识别岩性圈闭

在研究区层序地层格架约束下,结合物源方向开展沉积体系分析,指出岩性圈闭发育有利区。识别岩性圈闭的方法很多,主要为综合使用地震属性分析、地震反演、地震切片和可视化技术^[3-5]。本文采用三个不同的主要技术方法:砂体预测采用地震谱分解(定性)与地震波阻抗反演(定量)结合;砂体顶底界面刻画采取自动拾取与人工解释相结合;油气预测采用的是基于S变换的地震吸收属性技术。

利用地震波阻抗反演技术、地震吸收属性等地球物理技术在研究区精细识别两种类型的隐蔽圈闭:流二段重力流浊积砂岩性圈闭、流二段上部浊积砂岩上倾尖灭岩性圈闭。岩性圈闭地球物理预测技术流程见图4。岩石物理分析认为波阻抗属性结合地震谱分解技术可以较好地地区分砂泥岩;通过隐蔽油气藏表征系统(SeisSpecial)的砂体自动追踪技术并辅以地震同相轴解释技术可以解释出岩性

圈闭的顶底界面;最后通过基于S变换的地震吸收属性分析预测岩性圈闭的含油气性。

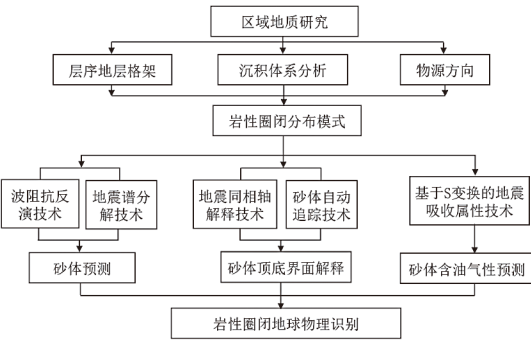


图4 岩性圈闭地球物理预测技术流程

波阻抗反演是岩性圈闭识别关键地球物理技术,而岩石物理定量分析则是影响研究区波阻抗反演的主要因素。岩石物理分析准确区分砂泥岩才能通过波阻抗属性识别有利砂体。

3.1 流二段浊积砂岩性圈闭

对于始新统流二段来说,从纵波阻抗(Z)和自然伽马(GR)的交汇图看出(图5):砂泥岩的分界值为8 700(Z 值)。相对于流二段的中—深湖亚相泥岩的低纵波阻抗特征^[6-7],流二段砂岩具有较高的

纵波阻抗,与低纵波阻抗泥岩形成强反射系数,在地震上表现为强振幅能量。

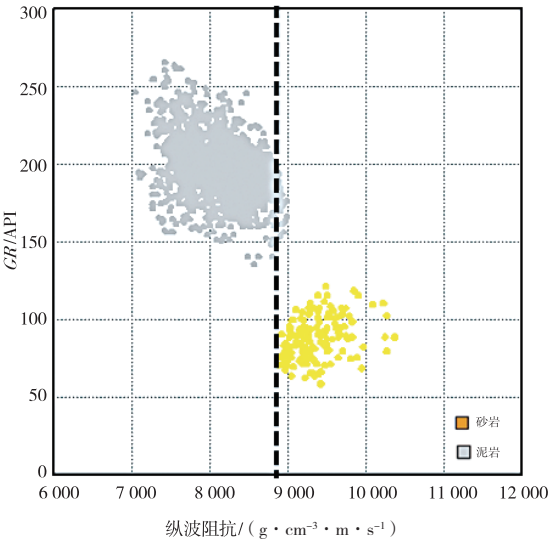


图5 流沙港组纵波阻抗(Z)和自然伽马(GR)交汇

在D次洼附近流二段下部,有一套来自西北方向万山隆起物源的浊积砂体,被流二段湖相泥岩所遮挡形成处于深凹区的透镜体岩性圈闭(图6)。浊积砂体在地震剖面上呈现为一套强振幅、低频反射特征(图7)。

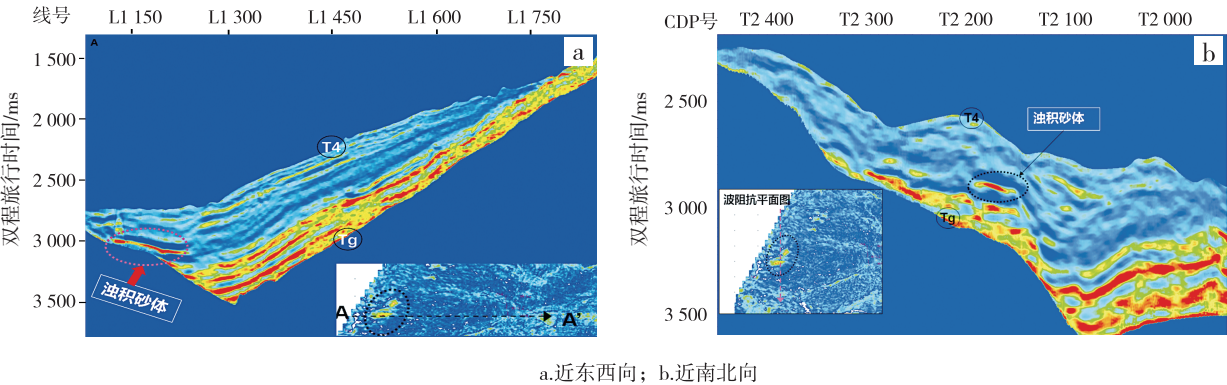


图6 过流二段浊积砂岩性圈闭的波阻抗剖面

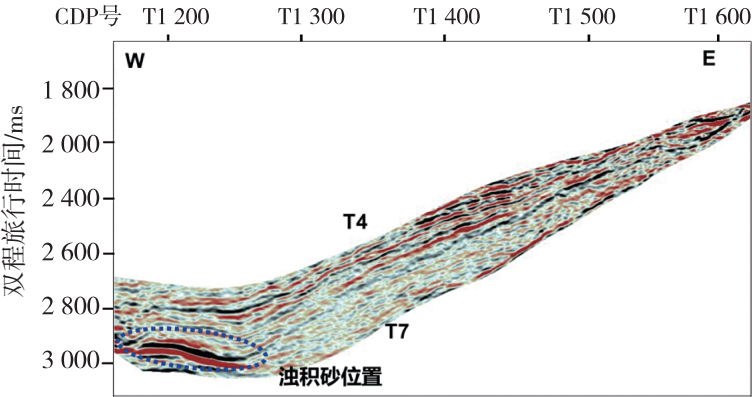


图7 过流二段浊积砂岩性圈闭地震剖面

通过谱分解技术对流二段浊积砂岩性圈闭进行了刻画,流二段的地震体频宽在10~30 Hz左右,分别提取了10 Hz、20 Hz、30 Hz的平面振幅属性(图8),可见10 Hz所刻画的这套砂体最为清楚。

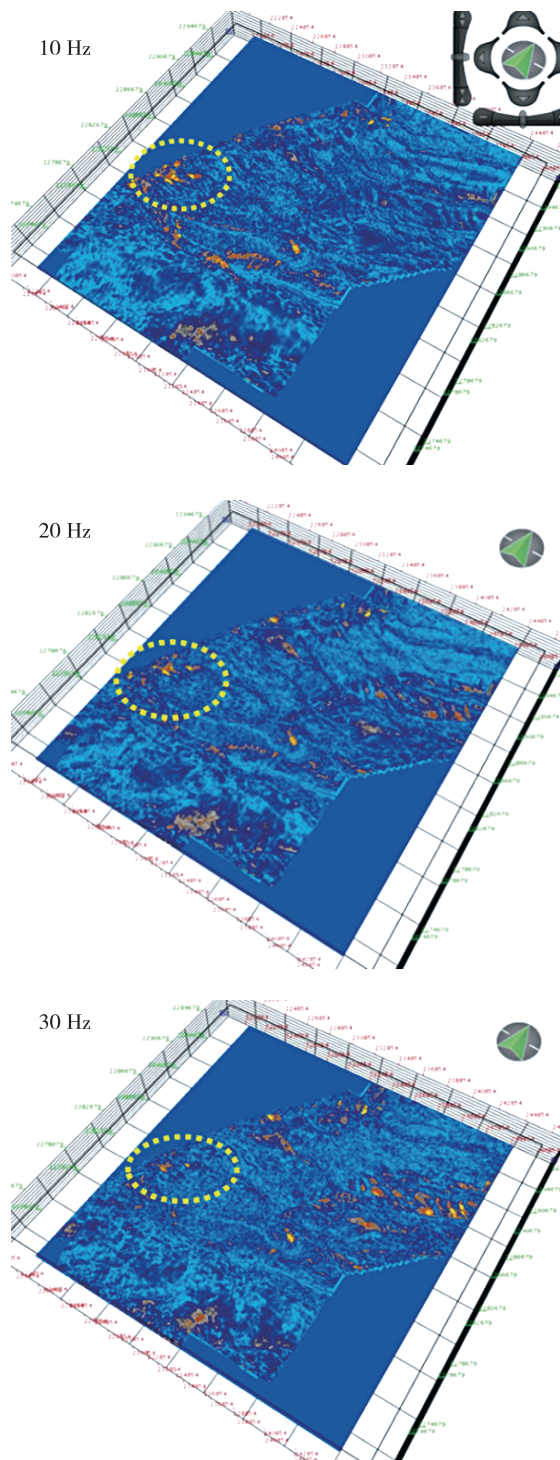


图8 流二段浊积砂岩性圈闭的地震谱分解分析

利用基于S变换的地震吸收属性 S_{sw}/S_{ww} (参考频率到低截频范围内的能量与参考频率到高截频范围内的能量的比值)进行了含油气性的预测^[8-9]。流二段下部浊积砂隐蔽圈闭的含油气性预

测图可见,此岩性圈闭含油气的可能性较大(图9)。

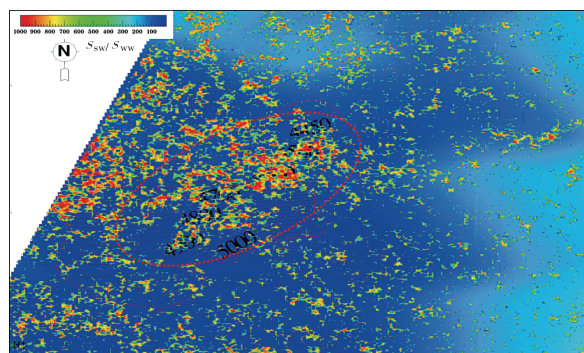
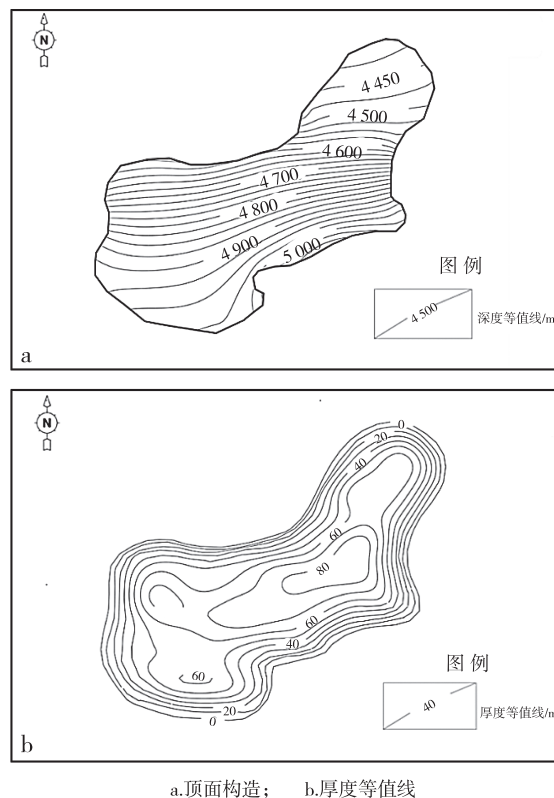


图9 流二段浊积砂透镜体岩性圈闭的含油气性预测

结合隐蔽油气藏表征系统砂体自动追踪技术和人工解释在地震数据体对流二段浊积砂隐蔽圈闭进行了顶底面的同相轴追踪,此隐蔽圈闭的面积约为2.6 km²,顶面深度4 450~5 225 m;厚度为0~80 m(图10)。



a.顶面构造; b.厚度等值线

图10 流二段浊积砂透镜体岩性圈闭

3.2 流二段上部砂体上倾尖灭岩性圈闭

在D次洼附近流二段上部,有一套来自西北方向万山隆起物源的重力流浊积砂体在始新世末受濶西南低凸起抬升形成上倾尖灭,位于D次洼东部斜坡带的流二段上部砂体在地震剖面上表现为一套中振幅、中低频反射特征(图11),被流二段湖相泥岩所遮挡形成的岩性圈闭,过此隐蔽圈闭的北、中、南三个不同部位的波阻抗剖面可以看出砂体上

倾尖灭特征(图12)。

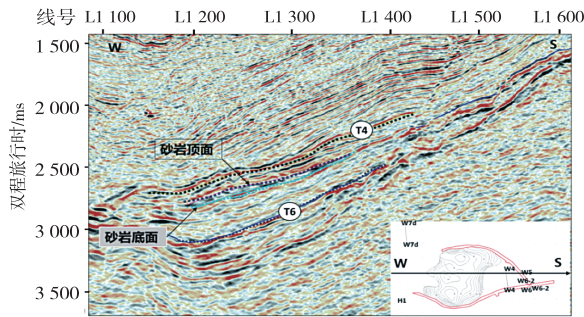


图11 过流二段砂体上倾尖灭岩性圈闭地震剖面

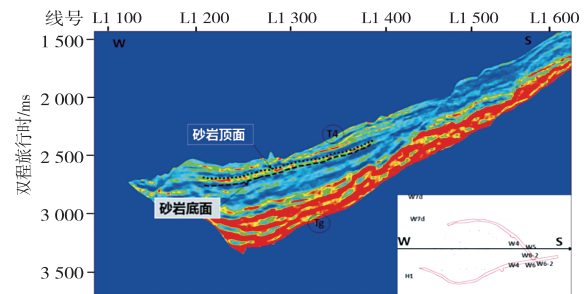


图12 过流二段砂岩上倾尖灭岩性圈闭中部波阻抗剖面

利用基于S变换的地震吸收属性 S_{sw}/S_{ww} (参考频率到低截频范围内的能量与参考频率到高截频范围内的能量的比值)进行了含油气性的预测^[8], 此隐蔽圈闭含油气的可能性较大(图13)。

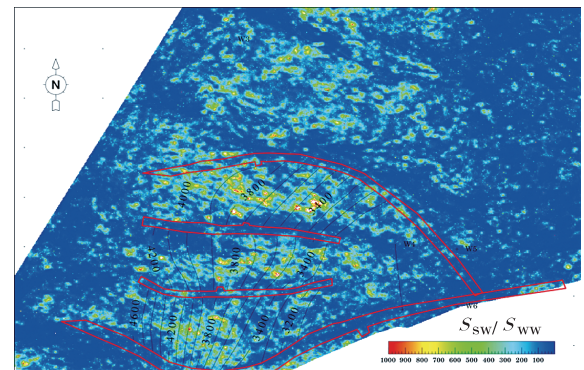
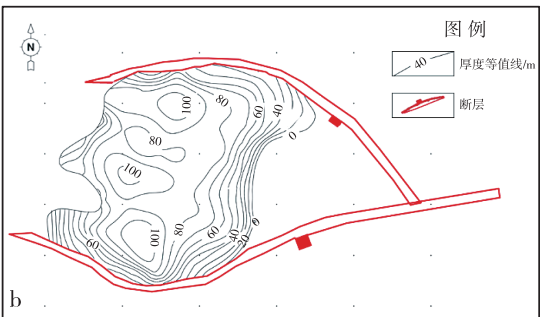
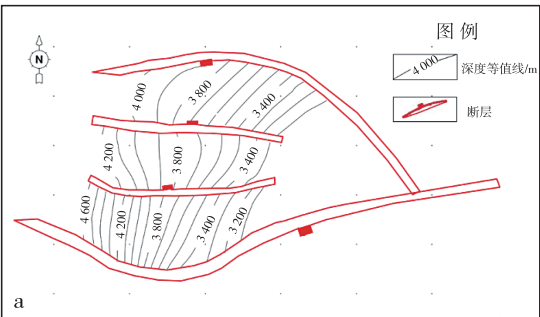


图13 流二段上部浊积砂上倾岩性圈闭的含油气性预测

通过地震属性提取技术对流二段上部上倾尖灭岩性圈闭进行了刻画,认为均方根振幅属性可以定性刻画其边界。对于流二段上部浊积砂体的顶底界面的解释而言,东西方向波阻抗剖面上砂体连续性较强,可以利用隐蔽油气藏表征系统砂体自动

追踪技术进行自动追踪解释;但对于南北方向波阻抗剖面上砂体之间有断层割裂,断块之间要手动解释;对于流二段上部浊积砂体的尖灭点则全部手动解释。此隐蔽圈闭的面积约为22.6 km²,顶面深度3 025 ~ 4 525 m;厚度约0 ~ 100 m(图14)。



a. 顶面构造; b. 厚度等值线

图14 流二段砂岩上倾尖灭岩性圈闭

4 D次洼岩性圈闭的形成机制

流二段沉积期,涪西南低凸起为水下低隆,与D次洼东部斜坡存在坡折,由于坡折带地形坡度和水体环境的突变,易造成重力流沉积物在坡折带下方卸载,形成重力流滑塌。这些砂体直接与半深湖—深湖亚相的泥岩或油页岩接触,在上覆泥岩和断层的共同封堵作用下,可形成良好的透镜体岩性圈闭。探区内W1井、W2井、W5井等均揭示了该类砂体的存在(图15),在油气输导及储层条件有利的情况下,该类砂体可以形成岩性油气藏。据钻井揭示流沙港组二段为涪西探区的烃源岩层,因D次洼邻近涪西南低凸起,D次洼不同部位可形成不同类型的岩性圈闭。

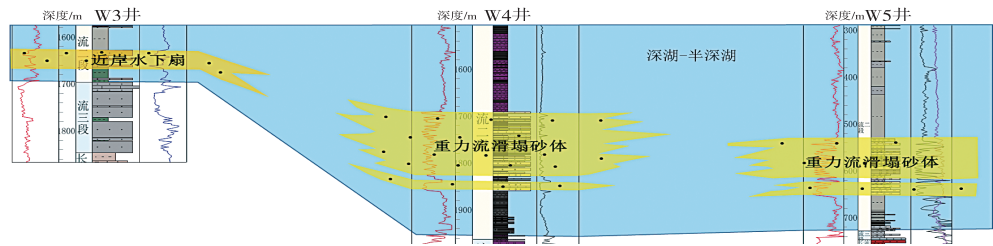


图15 W3—W4—W5井联井相剖面

4.1 流二段浊积砂岩性圈闭的形成机制

砂岩透镜体岩性圈闭是最简单的一种非构造圈闭,主要分布在深水相区域。当扇三角洲形成于坡陡、地形高差大的地质环境时,扇三角洲前缘砂体往往不稳定,容易滑塌再搬运,在深水区的泥岩中形成砂岩透镜体,从而形成岩性圈闭。

在涪西南凹陷中流沙港组沉积时期,盆地边缘沉积地形都比较陡,因此容易形成滑塌浊积体或浊积扇,尤其是处于构造坡折带的扇三角洲砂体,更容易形成滑塌浊积体,从而形成岩性圈闭。

对于流二段岩性圈闭而言,由于重力流滑塌砂体被湖相泥岩包围,只有处在成熟烃源岩分布范围内具备烃源供给才能成藏,但区内成熟烃源岩埋深相对较大,储层物性相对较差,尤其是海中凹陷内坡—深凹带,流二段埋深普遍超过4 000 m,难以形成商业产能。因此D次洼槽—内坡带成熟烃源岩范围区是寻找岩性圈闭的相对最有利地区。

4.2 流二段岩性上倾尖灭圈闭的形成机制

在斜坡背景上,当储层沿上倾方向尖灭,由渗透性岩层变为非渗透性岩层时,易形成岩性上倾尖灭圈闭。上倾尖灭砂体可能是盆地发育过程中断层活动引起的地层掀斜形成上倾尖灭,也可能是沉积过程中沿坡折带形成湖底扇沉积体系,砂体在坡折带形成上倾尖灭。探区内东部斜坡带,流二段沉积晚期,涪西南凹陷经历了流二段主裂陷期强烈的拉张作用后开始减弱活动,此时沉积物供给速率相对增加,物源区提供的沉积物向盆地中心推进,开始形成具有下切水道特征的内扇。随着湖平面进一步下降,陆源碎屑物持续向湖盆中心推进,物源体系继续为湖底扇运送大量的碎屑物,在一定触发机制的作用下,形成的扇三角洲前缘砂体沉积物在坡折带处发生滑塌,并在坡折带的下部沉积下来形成湖底扇。坡折带中断层的反复活动造成斜坡的不稳定,沉积物重力流常在邻近的活动断层处堆积,断裂坡折带离岸的远近决定了补给水道的延伸距离和湖底扇的分布位置。涪西南低凸起斜坡带坡折带离岸较近,因此,补给水道的延伸距离相对较短,导致湖底扇内扇亚相不是很发育,形成离岸较近的湖底扇砂岩体。由于处于深水区,沉积物以泥岩为主,湖底扇砂体沉积后被包裹在湖相泥岩中,具有很好的侧向封堵条件,且后期涪西南低凸起的抬升,使得形成的上倾尖灭的湖底扇砂体能很好的保存下来,该类岩性圈闭面积较透镜体岩性圈

闭面积明显较大。

5 结论

通过涪西探区D次洼流二段岩性圈闭识别研究,有以下三点认识:

(1)基于研究区层序地层格架约束下的物源和沉积体系分析可以指导岩性圈闭的识别。

(2)为了精准刻画流沙港组二段发育的岩性圈闭,利用岩石物理分析、波阻抗反演和地震吸收属性等地球物理技术对流二段岩性圈闭进行了识别研究。岩石物理分析认为,对于流二段地层而言,波阻抗可以区分砂、泥岩,高阻抗为砂岩、低阻抗为泥岩。通过地震波阻抗属性、地震谱分解和地震同相轴追踪对岩性圈闭进行形态描述,刻画出流二段内部砂岩(上倾尖灭砂岩和透镜体砂岩)的顶底界面。利用地震吸收属性进行含油气性预测。

(3)通过地球物理方法综合识别涪西探区D次洼流二段岩性圈闭,对识别的岩性圈闭开展形成机制分析,认为D次洼流二段岩性圈闭具备良好的勘探前景。

参考文献:

- [1] 周静毅,张大海,黄建军,等.涪西探区海中三维非构造圈闭识别[J].海洋石油,2015,35(4):8-12,62.
- [2] 孙文钊,王传雷,杨希滨.北部湾盆地涪西南凹陷始新统隐蔽油气藏类型及勘探方向[J].天然气地球科学,2007(1):84-88.
- [3] 郑园新.地震多参数反演技术在岩性圈闭识别中的应用——以B区块飞仙关组二段为例[J].长江大学学报(自科版),2015,12(17):27-30,34.
- [4] 万晓明,胡荣,肖湘,等.泌阳凹陷古城东南部岩性圈闭识别方法[J].海洋地质前沿,2014,30(12):41-45.
- [5] 靳军,刘楼军,邵雨,等.综合地球物理方法识别准噶尔盆地的岩性圈闭[J].石油地球物理勘探,2002,37(3):287-290,299.
- [6] 张延玲,杨长春,贾曙光.地震属性技术的研究和应用[J].地球物理学进展,2005,20(4):1129-1133.
- [7] 徐天吉,曹伦,程冰洁,等.基于地震波多尺度吸收属性的页岩气识别方法[J].新疆石油地质,2016,37(1):41-45.
- [8] 田晓红.关于地震吸收衰减预测含油气性的思考[J].大庆石油地质与开发,2018,37(4):157-160.
- [9] 印兴耀,周静毅.地震属性优化方法综述[J].石油地球物理勘探,2005,40(4):482-489.

(编辑 杨芝文)