

珠江口盆地深水区白云凹陷气烟囱特征及成藏模式

何永焱¹, 王英民¹, 许翠霞², 常圆³

(1 中国石油大学(北京)地球科学学院; 2 中国石油勘探开发研究院)

(3 中国石油集团西部钻探工程公司苏里格气田项目经理部)

摘要 以高分辨率三维地震资料为基础,结合地震属性,在珠江口盆地深水区白云凹陷识别出了大量的气烟囱现象。气烟囱可分为根部、过路区和顶部三个组成单元,各个单元具有不同的地震异常特征,主要通过同相轴的侧向变化,振幅、频率、连续性的局部增强和减弱,AVO响应以及它们的组合来识别。气烟囱根部是气体释压的初始部位,是气源供应区;过路区是流体泄压所经过的区带,在整个气烟囱结构的空间中占有主体地位;顶部常形成气藏。对白云凹陷建立了气烟囱顶部聚集和侧翼聚集两种气藏成藏模式,它们均由古近系文昌组—恩平组的河湖相沉积提供烃源。

关键词 气烟囱;地震特征;成藏模式;白云凹陷;珠江口盆地

中图分类号: TE112.33

文献标识码: A

海底气烟囱早就被人们所认识,一直以来备受关注^[1-3],尤其是它对深海油气勘探有重要意义^[4-6]。在北海、西非、东南亚等世界各地的许多盆地均已有气烟囱现象发现。

气烟囱是指深层气体所处超压状态被破坏之后,纵向流动穿过上覆地层,造成地震反射异常,形似烟囱,在实际气体运移过程中且具烟囱效应^[1],故名气烟囱。气烟囱诱导因素往往发育在深层,在地震体上探测不到,而且深层地震分辨率低,同时在浅层伴有气云现象,对下伏地层结构产生模糊成像,由此导致太多的不确定性。但根据气烟囱在地震体上的异常响应特征及宏观体系^[2],我们还是能够对气烟囱进行识别并加以利用的,这对油气勘探尤为重要,它可以很好地指示烃类运移与聚集信息,预测烃类的空间分布,从而为寻找区域“油气聚集带”提供依据。

本文根据珠江口盆地白云凹陷高分辨率三维地震资料及各种地震属性,判定了该区气烟囱的存在,并对该研究区内的气烟囱进行了比较完整的结构要素分类,同时对其特征进行详细的归纳总结,在此基

础上提出了该区气烟囱的两类气藏成藏模式。

1 区域地质背景

珠江口盆地由北向南划分为北部断阶带、北部拗陷带、中央隆起带、南部拗陷带和南部隆起带5个构造单元(图1)。白云凹陷位于南部拗陷带,总体呈北东东—南西西走向,北接中央隆起带的番禺低凸起,西连云开低凸起,南至南部隆起带,东邻中央隆起带的东沙凸起。本文所研究的气烟囱发育区分为A和B两个区块,主体位于白云凹陷东部,它们在靠近南部隆起带的一侧,断裂比较发育。

白云凹陷形成和演化过程经历了断陷、断拗及拗陷三个阶段,形成了三个构造层序(图2)。

断陷期 对应文昌组和恩平组沉积,主要发育断陷湖盆沉积及河湖相煤系沉积。

断拗期 珠海组和珠江组为断拗阶段沉积,处于陆相—海相过渡期,主要为浅海陆架—三角洲及深水陆坡—海底扇沉积。

拗陷期 韩江组下段(即13.8 Ma界面附近)发育砂体为主,厚度较大,横向分布稳定,而且具有很好

收稿日期: 2011-11-28; 改回日期: 2012-06-04

何永焱: 1981年生,2006年毕业于成都理工大学,现为中国石油大学(北京)地球科学学院博士研究生,研究方向为层序地层学与储层预测。通讯地址: 102249 北京市昌平区府学路18号

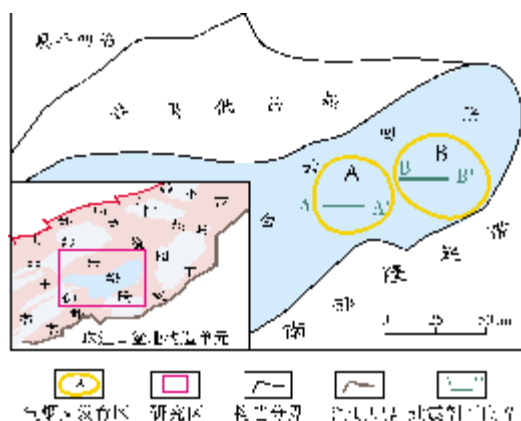


图1 白云凹陷位置及气烟囱分布区

“A”和“B”为两个气烟囱发育区研究单元。

A—A'和B—B'为地震测线,对应的剖面分别见图3和图4

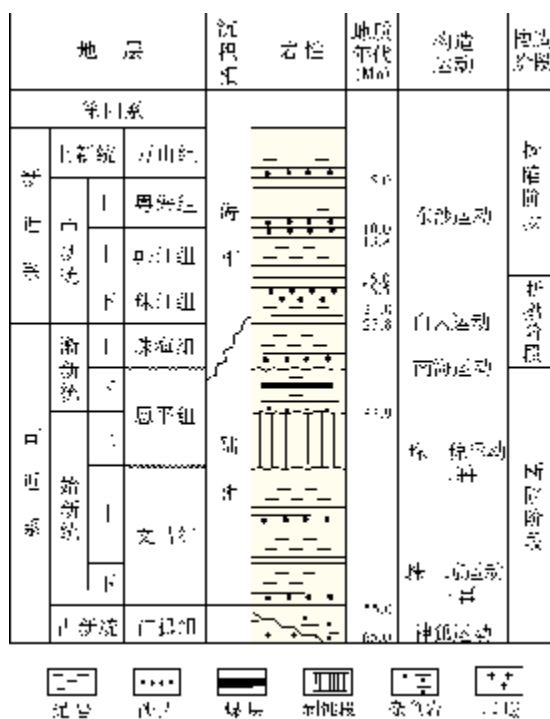


图2 白云凹陷地层与构造演化阶段(据文献[7]修改)

的储层物性。粤海组—万山组为开放陆坡深水泥质沉积,可以构成区域性盖层。

2 白云凹陷气烟囱组成单元的地震识别特征

根据形态及空间分布等特征,可以把一个完整的气烟囱划分为根部、过路区、顶部三个组成单元^[8]。各

个单元的异常特征可通过同相轴的侧向变化,振幅、频率、连续性的局部增强或减弱,AVO响应以及这些现象的组合等来识别,并可通过识别各单元的地震特征及其所构成的烟囱体系来认识气烟囱的成藏过程。

高分辨率三维地震资料显示白云凹陷发育有气烟囱,下面对其根部、过路区、顶部等组成单元的地震反射振幅、频率及构型等特征分别予以讨论。

2.1 气烟囱根部特征

气烟囱根部是气体释压的初始部位,其泄压机制造主要受原地层岩性、流体超压状况及构造诱导等影响。白云凹陷始新统文昌组、始新统一渐新统恩平组的压力数值模拟结果表明这里曾有过异常超压^[9],且发育底辟构造^[10]。超压流体在中新世中晚期东沙运动的诱导下,打破了烟囱根部所承受的压力平衡而刺穿上覆地层。

在地震剖面(图3)上,白云凹陷A区文昌组—恩平组是气烟囱根部发育的主体层位,地层显示为上拱型杂乱反射。这种拱形样式可能是原地层成藏构造高点的反映,也可能是烃源岩生烃造成超压、或是流体持续泄漏造成的塑性变形所致。结合本区的地质背景,认为此处的拱形应属于后者,即流体的持续泄漏塑造了白云凹陷A区气烟囱根部的拱形样式。拱形的大小可反映泄压区的范围。根部烃类泄漏对上覆地层结构的影响强度则取决于流体的泄漏方式:如果释压很集中,流体释放的速度大,对上覆地层结构的破坏性就强;反之,对上覆地层的影响就会较小。

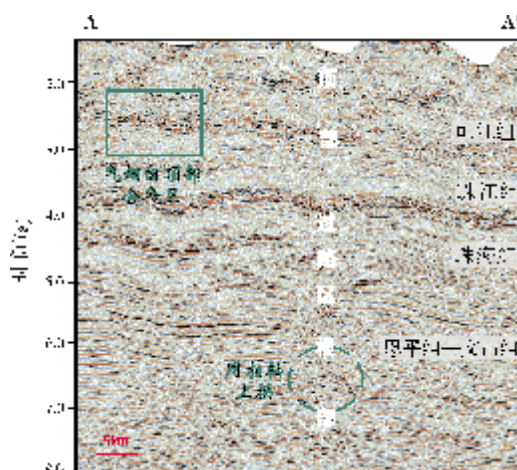


图3 珠江口盆地白云凹陷A区气烟囱结构特征

A—A'地震剖面位置见图1。

图中方框区域为浅层含气区,其放大的地震剖面见图5

2.2 气烟囱过路区特征

气烟囱的过路区是流体泄压所经过的区带,在整个气烟囱结构的空间中占有主体地位。它在地震体上最容易被识别,在其侧翼和顶部浅层往往伴有强振幅

异常,而在过路区内部有时可识别出地震同相轴,但振幅的连续性和强度相对降低,有时也会出现杂乱甚至空白反射特征。白云凹陷气烟囱过路区的地震形态各异,根据泄压区物性差异及释压速度不同可归结为网状、杂乱状、管状或柱状等三类(图4)。

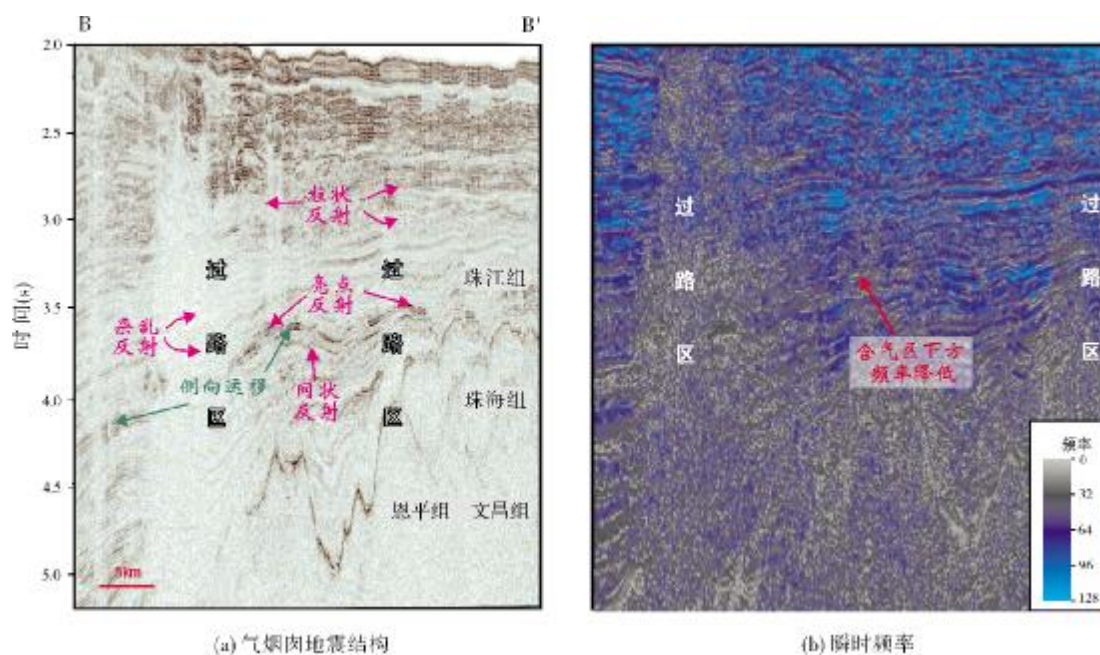


图4 珠江口盆地白云凹陷B区气烟囱特征

B—B'地震剖面位置见图1

网状反射 由多条不清晰的线状反射组成,尤其在地层物性好的地区,网状现象十分明显,同相轴连续性变差,隐约断开两侧的地层,多条线网状交错(图4a)。推测这是因为这里稍微偏离泄压中心、上涌的范围大、向上窜的速度慢,对原沉积地层破坏性小。这种特征出现在地震体上,类似于在岩心上观测到的碟状泄水构造,它对于识别气烟囱很重要,但一般却不太明显,不容易被识别。

杂乱反射 地震反射同相轴模糊,频率降低,推测地层物性差,流体释放速度较高,流体穿过地层产生微裂隙,过路区地层少量含气,地层的连续性和岩石之间的接触关系减弱。同时地震波传播速度偏低,反射同相轴呈下拉现象,同相轴连续性差、振幅弱,表现为模糊或杂乱反射特征(图4a)。

管状或柱状反射 包括针状、管状、柱状、蘑菇云状等,其共性是烟囱过路区物性差,流体释放速度快,上覆地层易于产生水力压力破裂,导致泄压区流

体及细粒沉积物一起被带到过路区及上方地层,流体穿过的地层不再连续,地震反射剖面出现空白反射或透明反射,呈管状或柱状特征(图4a)。过路区上由于含气的影响,在瞬时频率体上主频明显降低(图4b)。

2.3 气烟囱顶部特征

白云凹陷A区气烟囱顶部,即韩江组,在地震剖面上具有亮点、平点、暗点、V型等反射,同相轴相位转换,同时频率降低(图3,图5)。浅层含气层在地震剖面上显示强振幅反射,说明气烟囱在顶部遇到好储层并聚集了大量浅层气。而在浅层气下方的过路区,地震反射表现为弱振幅。如果气烟囱顶部地层发育断裂等有利流体运移的通道,气体会继续向上泄漏,会在更浅层或海底附近聚集气体,出现亮点或麻点、麻坑等现象,预示着流体泄漏活动延续至今。本区井场调查中也确实发现有气体自海底向海面逸出(冒泡)。

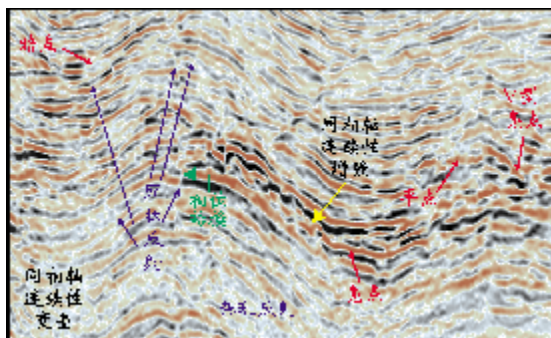


图5 珠江口盆地白云凹陷A区气烟囱顶部
含气区域地震特征

该剖面是图3中方框区域的放大图

3 白云凹陷气烟囱成藏模式

上文中我们识别了白云凹陷气烟囱的各种现象,在此基础上对该凹陷建立了气烟囱顶部聚集(A区)和侧翼聚集(B区)两种气藏成藏模式,它们均由文昌组—恩平组的河湖相沉积提供巨大的烃源^[11-12]。

3.1 气烟囱顶部聚集成藏模式

白云凹陷A区主要发育这一成藏模式,在气烟囱根部生成的气体沿网状或杂乱状的气烟囱过路区垂直向上运移,直抵气烟囱顶部,在浅层储层中聚集成藏(图6)。

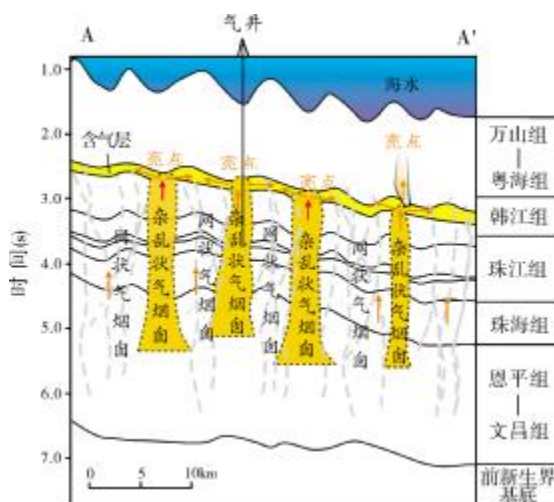


图6 白云凹陷A区气烟囱顶部聚集成藏模式图

A—A'剖面位置见图1

白云凹陷文昌组—恩平组河湖相沉积提供了充足的烃源^[11-12]。A区,在断拗期形成的珠江组主要发

育泥岩、泥质砂岩及石灰岩夹层,储层物性相对差,构成气烟囱过路区。韩江组上部地层主要发育细砂岩、中粗砂岩,储层物性好,而粤海组为区域盖层,两者形成良好的储盖组合,构成气烟囱顶部,聚集了从根部恩平组—文昌组垂直向上运移的气体。

因此认为,白云凹陷A区韩江组上部地层是有潜力的含气远景层位。

3.2 气烟囱侧翼聚集成藏模式

白云凹陷B区主要发育侧翼聚集成藏模式(图7),流体通过空白反射的气烟囱过路区在其侧翼的储层中聚集成藏。

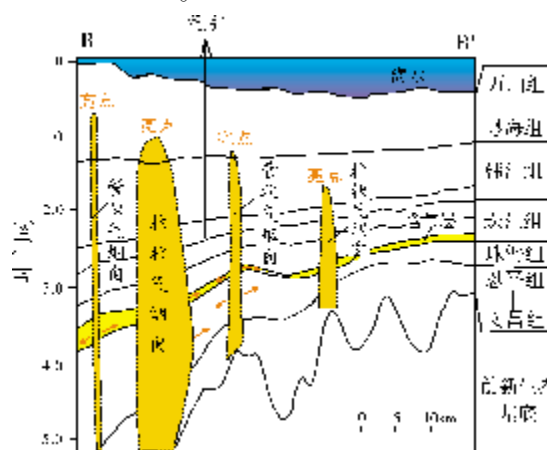


图7 白云凹陷B区气烟囱侧翼聚集成藏模式图

B—B'剖面位置见图1

在白云凹陷B区发育管状、柱状气烟囱,流体沿气烟囱泄压的同时向侧向的储层中运移,并在有利砂体中聚集成藏。珠江组上部地层发育大套的泥岩,是很好的区域盖层,珠江组下段发育三角洲—滨岸沉积体系,连片分布,具有较好的储层物性,因此认为珠江组是油气有利勘探目标。气烟囱作为流体运移通道,有别于毛细管力和浮力,它具有幕式活动的性质,聚集成藏的速度很快。

根据上述对两个研究区块的分析,总体认为白云凹陷气烟囱与上覆地层匹配关系良好,气烟囱作为运移通道,把流体带到有利储层单元,在烟囱周围或其顶部形成很好的含气带。基于三维地震的观察及分析,在下伏地层流体压力的驱使下,流体在运移过程中优先选择优势运移通道,使得优质储层优先聚集成藏,这些含气区在地震体上会显示出亮点异常。

应当指明,上述两种模式并不是绝对的,它们往往会同时出现于一个盆地或一个区块,有时也会以一种模式为主,另一种模式为辅。盆地或区块的气烟囱实际成藏模式,一般取决于该地区的地层物性、组合关系、离释压区的远近以及释压速度等综合因素。

4 结 论

(1)珠江口盆地白云凹陷发育典型的气烟囱结构,可划分为根部、过路区、顶部三种结构单元。

(2)白云凹陷气烟囱成藏模式可分为气烟囱顶部聚集和气烟囱侧翼聚集两种成藏模式,A区主要为顶部聚集成藏模式,B区主要为侧翼聚集成藏模式。

(3)白云凹陷A区的韩江组和B区的珠江组、珠海组是有利的勘探目标。

参 考 文 献

- [1] Heggland R. Detection of gas migration from a deepsource by the use of exploration 3D seismic data[J]. *Marine Geology*, 1997, 137 (1-2):41-47.
- [2] Heggland R, Meldahl P, Groot P, et al. Seismic chimney interpretation examples from the North Sea and the Gulf of Mexico [R]. *The American Oil and Gas Reporter*, 2000:78-83.
- [3] Aminzadeh P, Connolly D, Heggland R, et al. Geo-hazard detection and other applications of chimney cubes[J]. *The Leading Edge*, 2002, 21(7): 681-685.
- [4] Meldahl P, Heggland R, Bril B, et al. Identifying fault and gas chimneys using multi- attributes and neural networks[J]. *The Leading Edge*, 2001, 20(5):474-482.
- [5] Arntsen B, Wensaas L, Løseth H. Seismic modeling of gas chimneys[J]. *Geophysics*, 2007, 72(5):251-259.
- [6] Nourollah H, Keetley J. Gas chimney identification through seismic attribute analysis in the Gippsland Basin, Australia [J], *The Leading Edge*, 2010, 29(8):896-901.
- [7] 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [8] Løseth H, Gading M, Wensaas L. Hydrocarbon leakage interpreted on seismic data[J], *Marine and Petroleum Geology*, 2009, 26(7):1304-1319.
- [9] 石万忠, 陈红汉, 陈长民, 等. 珠江口盆地白云凹陷地层压力演化与油气运移模拟[J]. *地球科学*, 2006, 31(2):229-236.
- [10] 石万忠, 宋志峰, 王晓龙, 等. 珠江口盆地白云凹陷底辟构造类型及其成因[J]. *地球科学*, 2009, 34(5):778-784.
- [11] 庞雄, 陈长民, 朱明. 南海北部陆坡白云深水区油气成藏条件探讨[J]. *中国海上油气*, 2006, 18(3):145-149.
- [12] 傅宁, 米立军, 张功成. 珠江口盆地白云凹陷烃源岩及北部油气成因[J]. *石油学报*, 2007, 28(3):33-38.

编辑: 吴厚松

Characteristics and Accumulation Model of Gas Chimneys in Deep Water Area of Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin

He Yongyao, Wang Yingmin, Xu Cuixia, Chang Yuan

Abstract: Based upon high resolvable 3D seismic data as well as seismic attributes, a great many gas chimneys are discovered in deepwater Baiyun Sag, the Pearl River Mouth Basin. A gas chimneys can be divided into three components: the root, the leakage zone and the top of the leakage zone. Every one may be of different seismic reflection anomaly including lateral changes of events, local amplitude, frequency and continuity. The roots of gas chimneys are the initial parts of releasing gas pressure and also the source of supplying gas. The leakage zones are the main parts of whole gas chimneys for fluid to pass through. Gas reservoirs are commonly present at the tops of the leakage zones. Two models related with gas accumulation are built. One is the model of gas accumulation at the flanks and the other is the one at the tops of gas chimneys. The hydrocarbon in those chimneys is all derived from Paleogene to Neogene lacustrine sediments.

Key words: Gas chimney; Seismic feature; Model of gas accumulation; Baiyun Sag; Pearl River Mouth Basin
He Yongyao; male, Ph.D. candidate. Add: Geoscience Faculty, China University of Petroleum, 18 Fuxue Rd., Changping, Beijing, 102249, China