

# 白云深水凹陷成藏体系划分与成藏模式

何大双<sup>1</sup>, 侯读杰<sup>1\*</sup>, 施和生<sup>2</sup>, 朱俊章<sup>2</sup>, 张鹏辉<sup>3</sup>

(1.中国地质大学(北京)能源学院,北京 100083; 2.中海油深圳分公司技术部,广东广州 510240;

3.中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,河北廊坊 065000)

**摘要:**通过对白云深水凹陷原油地球化学特征的系统研究,结合断裂展布、沉积和构造等地质要素,以成藏体系划分原则为理论依据,将研究区划分为北部番禺低隆起带成藏体系和东部流花—荔湾带成藏体系2大类,其中,北部番禺低隆起带成藏体系可进一步分为N1,N2,N3和N4共4小类,东部流花—荔湾带成藏体系可进一步分为E1,E2和E3共3小类。根据沉积环境、油源、原油成熟度、油气运聚主导因素等,总结出白云深水凹陷各成藏体系特征,并提出3种具有代表性的成藏模式,即开放式、封闭式和复式成藏模式。其中,开放式成藏模式的断裂非常发育,对油气运移和聚集具有重要作用;封闭式成藏模式的油气演化达到高成熟阶段,已热裂解成天然气,断裂、构造脊和砂体是其油气运移通道;复式成藏模式为晚期断裂、底辟带和构造脊共同控制油气成藏,其油气演化程度较高,已热裂解成天然气。北部番禺低隆起带N2,N3,N4成藏体系和东部流花—荔湾带E2,E3成藏体系均为有利油气运聚区。

**关键词:**成藏体系 成藏模式 有利油气运聚区 白云深水凹陷 珠江口盆地

**中图分类号:**TE112.33

**文献标识码:**A

**文章编号:**1009-9603(2014)02-0071-04

油气属于流体矿产,从其生成至运聚成藏是一个复杂的地质过程,如何准确地掌握这一过程并最终预测油气资源远景,一直是石油地质学家关心的热点问题。油气成藏体系是以藏为核心,或者说以控制油气运移指向的构造单元为核心,是含油气盆地的一个地质实体,包括了形成油气藏的一切必要元素,如烃源岩、输导体系和圈闭以及这些元素之间的有效配置关系<sup>[1]</sup>。

位于南海北部深水陆坡的白云凹陷具有广阔的油气勘探前景,正确认识其油气成藏特征及规律、进行成藏体系划分以及明确成藏模式是进一步推动研究区油气勘探的基础。目前白云深水凹陷存在油气成藏过程复杂、油气资源不确定、深水勘探成本高以及风险大等问题,须应用系统论的观点,恢复油气成藏过程,整体、动态、系统地分析油气藏的形成,为其油气勘探方向提供理论基础<sup>[2-3]</sup>。为此,笔者对白云深水凹陷油气成藏体系和成藏模式进行研究,结合构造、沉积等地质条件分析,探讨其油气成藏的主控因素及特征,进而预测有利油气运聚区,以期对研究区今后的油气勘探提供指导和借鉴。

## 1 地质概况

珠江口盆地是在加里东—海西—燕山期褶皱基底上形成的中—新生代含油气盆地,由5个一级构造单元组成,自北向南依次为北部断阶带、北部凹陷带、中央隆起带、南部裂陷带和南部隆起带,各构造单元又进一步划分为若干个凹陷和隆起。白云深水凹陷位于珠江口盆地南部裂陷带,是珠Ⅱ坳陷重要的次级构造单元;整体呈北东向展布,包括白云西洼、白云主洼和白云东洼(图1)。其形成

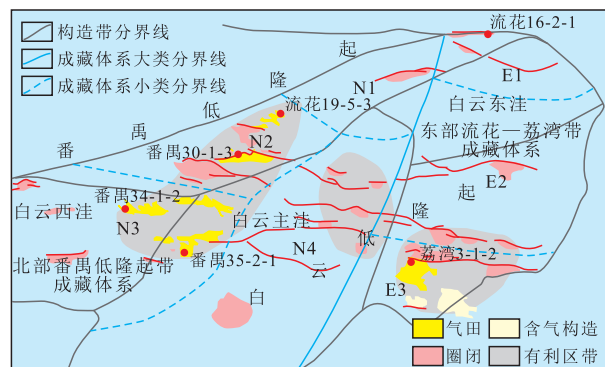


图1 白云深水凹陷区域构造及成藏体系划分

收稿日期:2013-12-01。

作者简介:何大双,女,在读硕士研究生,从事石油地质与成藏地球化学方面的研究。联系电话:18810548846,E-mail:hds\_0625@126.com。

\*通讯作者:侯读杰,男,教授,博导,联系电话:(010)82322278,E-mail:hdj@cugb.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项“南海北部深水区储层识别技术与评价”(2011ZX05025-003)。

和演化经历了3个阶段,分别为断陷裂谷阶段(晚白垩世—早渐新世)、裂后断拗转换及热沉降阶段(晚渐新世—早中新世)和新构造运动(即东沙运动)及热沉降拗陷阶段(中中新世至今),垂向上具有断陷、断拗和拗陷3层结构;其中,新构造运动演化阶段发生的构造运动、断裂活动和热沉降事件具有主导控制作用,决定了研究区现今的构造格局、油气成藏及分布<sup>[2-6]</sup>。

研究区正对珠江大河出口的下倾方向,具有充足的陆源沉积物供给,发育厚度较大的烃源岩。根据演化阶段可将其地层划分为裂陷期沉积的神狐组、文昌组和恩平组,过渡期沉积的珠海组,拗陷期沉积的珠江组、韩江组、粤海组、万山组以及第四系。其中烃源岩以文昌组和恩平组为主,珠海组也可作为有效的烃源岩<sup>[2-3]</sup>。研究区古近纪断陷期为长期继承性发育的封闭一半封闭凹陷,地震地层学研究表明文昌组以浅湖—深湖相沉积为主,恩平组以浅湖—深湖—三角洲平原沼泽相沉积为主,珠海组以浅海陆架—三角洲海陆过渡相沉积为主。

## 2 成藏体系

根据庞雄奇等提出的成藏体系划分原则<sup>[1,7-8]</sup>,综合断裂展布、沉积和构造等地质要素,对白云深水凹陷的成藏体系进行划分,共划分为2大类7小类,即北部番禺低隆起带成藏体系和东部流花—荔湾带成藏体系2大类。其中,北部番禺低隆起带成藏体系可进一步分为N1,N2,N3和N4共4小类,东部流花—荔湾带成藏体系可进一步分为E1,E2和E3共3小类(图1)。以示踪油气运移路径和沉积环境特征为划分依据,根据沉积环境、原油分类、物源等因素,确定研究区不同成藏体系特征(表1)。原油分类研究选用的样品取自珠江组,分类依据为研究区的特征生物标记化合物奥利烷和树脂化合物,将研究区的原油分为A和B共2大类,并可进一步划分出A1,A2,A3以及B1,B2共5小类;其中A类原油位于白云深水凹陷北部,邻近番禺低隆起带,B类原油位于凹陷东部流花—荔湾地区。

表1 白云深水凹陷成藏体系划分及特征

成藏体系划分	沉积环境	原油分类	物源	油气来源	原油成熟度	油气运聚方向	运移主导因素
北部番禺低隆起带成藏体系	N1	滨岸—三角洲相	陆源输入	恩平组为主,文昌组混入		北西向	白云东洼
	N2	三角洲平原相	南北向物源输入,主体以陆相输入为主,树脂化合物丰富	主要为恩平组,文昌组一定程度混入	1.5~1.7	北西向和北东向	断裂和白云主洼
	N3	三角洲平原相	北东向物源输入,树脂化合物丰富	主要为恩平组,文昌组一定程度混入	1.7	北东向和北西向(白云西洼和成熟度方向均指示油气运移为北东向)	白云主洼、西洼双向供烃和断裂
	N4	三角洲前缘相	南北和北东向物源一定距离运移	恩平组和文昌组混源	1.7	北东向和北西向	白云主洼和断裂
东部流花—荔湾带成藏体系	E1	滨岸—前三角洲相	北西向物源长距离运移,奥利烷丰富	主要为恩平组,珠海组一定程度混入	1.3	北向	白云东洼
	E2	前三角洲—半深海相	北西向物源长距离运移,奥利烷丰富	主要为恩平组,珠海组一定程度混入	1.3~1.5	东南向和北东向	白云主洼和东洼双向供烃
	E3	前三角洲—半深海相	北西向物源长距离运移,一定量的奥利烷和树脂化合物	主要为恩平组,珠海组混入	1.4	东南向(白云主洼和断裂指示油气运移均沿东南方向)	白云主洼和断裂

### 2.1 北部番禺低隆起带成藏体系

北部番禺低隆起带成藏体系以滨岸—三角洲平原相沉积为主,由北至南物源输入逐渐减弱,至N4成藏体系表现为物源远距离搬运、树脂化合物丰富、陆源高等植物丰富的特征。该成藏体系的油气主要来自恩平组,也有部分文昌组的贡献,原油成

熟度高达1.5~1.7;油气沿着以白云主洼为中心的洼陷周围运移,以北东和北西向的油气运移占主要优势,断裂和白云主洼对油气运移和聚集起到主导作用。其中,N1成藏体系邻近白云东洼,油气运聚受东洼影响较大;N3成藏体系邻近白云西洼,油气运聚较为复杂,由白云主洼与西洼双向供烃,断裂

对其油气运聚也有一定的影响;N2和N4成藏体系的油气运聚主要受白云主洼和断裂的影响。

## 2.2 东部流花—荔湾带成藏体系

东部流花—荔湾带成藏体系以滨岸—前三角洲—半深海相沉积为主,北西向物源长距离运移,较北部番禺低隆起带成藏体系的物源输入有所减弱,含有丰富的奥利烷及一定量的树脂化合物。恩平组烃源岩是其重要的油气源岩,也可能存在文昌组和恩平组混源,且珠海组海相烃源岩也有一定程度的贡献,原油成熟度为1.3~1.5;油气沿白云主洼向北东和东南向运移,断裂和白云主洼仍为该成藏体系油气运移和聚集的主导因素。其中,E1成藏体系邻近白云东洼,因此东洼对其油气运聚具有决定性作用;E2成藏体系由白云主洼和东洼双向供烃,断裂也对其油气运聚具有影响;E3成藏体系邻近白云主洼,且断裂发育,具有有利的油气成藏条件。

## 3 成藏模式

白云深水凹陷是珠Ⅱ坳陷中长期沉降深陷的巨型凹陷,未经历较大的抬升剥蚀,晚期构造运动相对较弱,因此其断裂发育,圈闭类型多样,以岩性—构造复合圈闭为主。来自北北向和北东向的物源充足,以三角洲—滨浅海相沉积为主,沉积物粒度偏细,储集条件较好,有利于油气的生成、运移和聚集成藏<sup>[8-20]</sup>。根据白云深水凹陷成藏体系划分,确定研究区发育3种成藏模式,即开放式、封闭式和复式成藏模式。

### 3.1 开放式成藏模式

开放式成藏模式的断裂发育,断裂对其油气运移和聚集具有重要作用,以北部番禺低隆起带N2成藏体系的番禺30-1构造为代表(图2)。

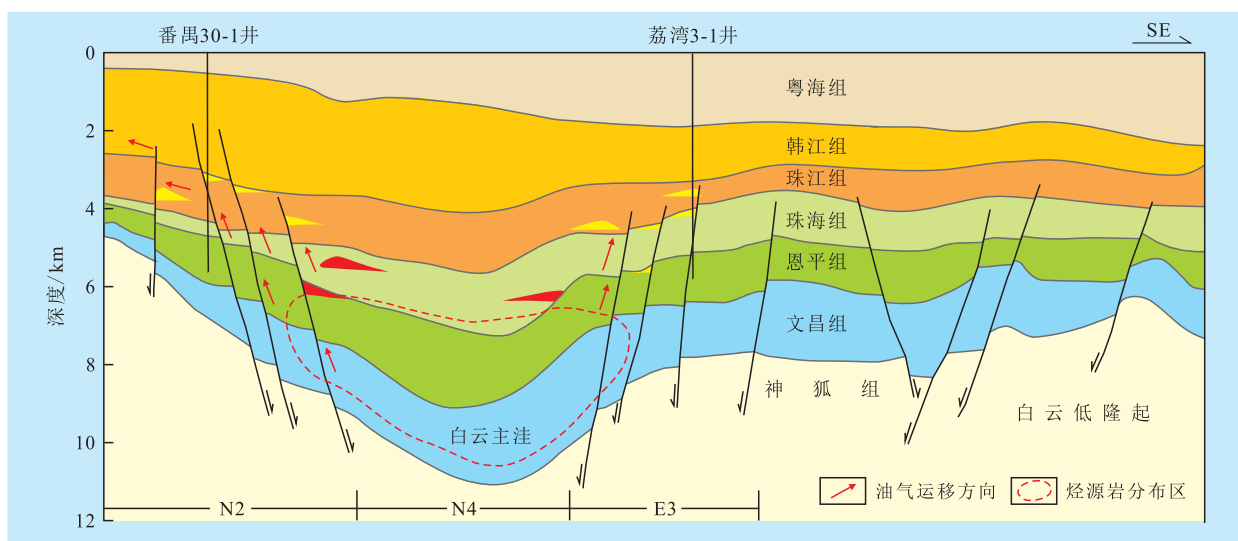


图2 白云深水凹陷油气成藏模式

番禺30-1构造位于番禺低隆起带南部,为形态较为复杂的翘倾半背斜构造;受晚期断裂活动的控制,东沙运动产生或期间再次活动的北西西向断裂形成白云深水凹陷北坡番禺30-1构造的反向断裂带和断背斜构造。其储盖组合良好,储层主要位于珠江组下段—珠海组上段,发育的块状砂岩厚度大、储集物性好;文昌组和恩平组河湖相沉积具有巨大的生烃潜力,研究区成熟—高成熟气和凝析油均主要来自埋藏较深(大于4 200 m)、现今地层温度高和成熟度高的恩平组烃源岩;上覆的珠海组三角洲相和珠江组—韩江组深水扇沉积形成良好的储盖组合,沉积充填整体呈下粗上细及由陆向海、由浅水向深水、由过补偿向欠补偿的演化特征。番禺30-1构造发育的油气藏表现为晚期充注的特点,其

充注主要发生于上新世—第四纪,共经历了4期油气充注过程<sup>[9]</sup>,其中第1期油气充注时间为距今16 Ma,第4期油气充注时间为现今,表现为早期充油、晚期充气的特点。番禺30-1构造位于底辟构造发育区,热异常的存在导致其深部高温热流体活动,且伴随有烃类流体沿底辟体中断裂运移至浅层;底辟体形成演化的不同阶段形成不同类型的断裂和裂隙面,均可作为烃类流体运移的通道。番禺30-1构造整体具有晚期断裂控制油气成藏的特点,刺穿、底辟和断裂等组合构成其垂向输导系统,为深部烃源岩生成的油气运移至上部储层并聚集成藏提供了有利条件。

### 3.2 封闭式成藏模式

封闭式成藏模式的特点是油气演化达到高成

熟阶段,已热裂解成天然气,断裂、构造脊和砂体是油气运移输导的通道,以北部番禺低隆起带N3成藏体系的番禺34-1构造为代表。

番禺34-1构造是由一系列雁形排列的北西、北西西向反向张扭性正断层控制形成的联合翘倾半背斜构造,形成于粤海组(距今10 Ma)沉积之后,晚期断裂活动对其油气成藏具有重要的控制作用,属于典型的晚期成藏。该构造的油气主要来自恩平组湖相烃源岩,文昌组烃源岩也有一定贡献。番禺34-1构造的储盖组合良好,储层主要分布于珠江组下段—珠海组上段,且存在多套具有一定厚度、分布稳定的泥岩隔层。新近纪以来,白云深水凹陷一直处于生、排烃期,东沙运动形成了一系列北西西向断层及其伴生的断层圈闭,并使早期断层又重新开始活动;在番禺低隆起带南部发育的众多断层沟通了古近系烃源岩和新近系储层,可作为油气的垂向运移通道,是油气晚期成藏的重要条件。此外,珠江组—韩江组厚层席状砂体可作为油气的侧向运移通道,使油气沿构造脊和输导砂体进行侧向运移。

### 3.3 复式成藏模式

复式成藏模式的特点表现为油气成藏受晚期断裂、底辟带和构造脊共同控制,且油气演化程度较高,已热裂解成天然气,以东部流花—荔湾带E3成藏体系的荔湾3-1构造为代表(图2)。

荔湾3-1构造位于白云深水凹陷东部,是在古基底构造背景上发育起来的断裂-背斜-地层复合圈闭,其油气的输导和成藏受晚期断裂、底辟带和构造脊的共同控制。受晚期构造运动影响,白云深水凹陷的南、北两侧发育2个不同类型的陆架坡折带,分别为中新世陆架坡折带(白云凹陷北坡—白云主洼气区)和渐新世陆架坡折带(白云凹陷南坡油气区),目前已发现的油气藏均位于2个陆架坡折带控制的有利成藏区,也展示出研究区具有巨大的油气勘探潜力。荔湾3-1构造已发现气田位于渐新统陆架坡折带珠海组,为古珠江大河出口及其大型珠江三角洲富砂陆架下倾方向的陆坡区,是陆架边缘三角洲砂体和深水扇沉积的有利区。其天然气中的80%来自以Ⅱ型干酪根为主的恩平组烃源岩,20%来自文昌组裂解气,珠海组也有少量贡献<sup>[3]</sup>。该气藏属于近源晚期阶段性累积聚气成藏,成藏时间较晚,主成藏期为距今8 Ma至现今,目前仍处于有效充注阶段;且这种阶段性聚气是通过断裂和底辟带沟通烃源灶,然后沿构造脊、输导砂体和不整合面侧向运移,近源晚期成藏,形成荔湾3-1气田。

综上所述,根据白云凹陷成藏体系划分以及成藏模式综合分析,认为北部番禺低隆起带N2,N3,N4成藏体系和东部流花—荔湾带E2,E3成藏体系为有利油气运聚区(图2),均位于白云主洼附近,具有优越的油源条件,且物源充足,断裂发育,有利于油气的运聚成藏。

## 4 结论

根据油气成藏体系划分原则,将白云深水凹陷划分为2大类7小类成藏体系,即北部番禺低隆起带成藏体系和东部流花—荔湾带成藏体系2大类。其中,北部番禺低隆起带成藏体系可进一步分为N1,N2,N3和N4共4小类,东部流花—荔湾带成藏体系可进一步分为E1,E2和E3共3小类。在成藏体系划分的基础上,总结出研究区开放式、封闭式和复式3种成藏模式。开放式成藏模式的断裂发育,成熟度较高,具多期成藏的特点;封闭式成藏模式的油气演化达到高成熟阶段,已热裂解成天然气,原油具高成熟度的显著特征,断裂、构造脊和砂体是油气运移输导通道;复式成藏模式的油气成藏受晚期断裂、底辟带和构造脊共同控制,且油气演化程度较高,已热裂解成天然气,其原油成熟度表现出一定的分异性。北部番禺低隆起带N2,N3,N4成藏体系和东部流花—荔湾带E2,E3成藏体系均为有利油气运聚区,具有良好的勘探潜力。

### 参考文献:

- [1] 庞雄奇,金之钧,姜振学.油气成藏机理研究系列丛书:卷八·油气成藏定量模式[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [2] 庞雄,陈长民,朱明,等.南海北部陆坡白云深水油气成藏条件探讨[J].中国海上油气,2006,18(3):145-149.
- [3] 施和生,柳保军,颜承志,等.珠江口盆地白云—荔湾深水油气成藏条件与勘探潜力[J].中国海上油气,2010,22(6):369-374.
- [4] 何家雄,刘海龄,姚永坚,等.南海北部边缘盆地油气地质及资源前景[M].北京:石油工业出版社,2008:1-185.
- [5] 于水明,梅廉夫,施和生,等.珠江口盆地番禺低隆起—白云凹陷北坡断层与油气成藏关系[J].石油勘探与开发,2007,34(5):562-565,579.
- [6] 何家雄,陈胜红,马文宏,等.南海东北部珠江口盆地成生演化与油气运聚成藏规律[J].中国地质,2012,39(1):106-118.
- [7] 庞雄奇,金之钧.油气藏动力学成因模式与分类[J].地学前缘,2000,7(4):507-514.
- [8] 姜福杰,姜振学,庞雄奇.东营凹陷油气成藏体系的划分及定量评价[J].地球科学——中国地质大学学报,2008,33(5):651-660.

(下转第79页)