



地质学报
Acta Geologica Sinica
ISSN 0001-5717, CN 11-1951/P

《地质学报》网络首发论文

题目: 珠江口盆地白云凹陷北坡断裂对油气运聚的控制作用
作者: 季瑞允, 邱楠生, 常健, 汪旭东, 陈聪, 李孔森, 陈冉
DOI: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2024493
收稿日期: 2024-10-10
网络首发日期: 2025-07-28
引用格式: 季瑞允, 邱楠生, 常健, 汪旭东, 陈聪, 李孔森, 陈冉. 珠江口盆地白云凹陷北坡断裂对油气运聚的控制作用[J/OL]. 地质学报.
<https://doi.org/10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2024493>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

珠江口盆地白云凹陷北坡断裂对油气运聚的控制作用

季瑞允^{1,2)}, 邱楠生^{*1,2)}, 常健^{1,2)}, 汪旭东^{1,2,3,4)}, 陈聪^{3,4)}, 李孔森^{3,4)}, 陈冉^{1,2)}

1) 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京, 102249;

2) 油气资源与工程全国重点实验室, 北京, 102249;

3) 中海石油(中国)有限公司深圳分公司研究院, 广东深圳, 518054;

4) 中海石油深海开发有限公司, 广东深圳, 518054

内容提要:珠江口盆地白云凹陷北坡油气分布具有自洼陷向斜坡层系逐渐上升的特点, 断裂控制了油气运移和成藏过程。本文基于地震资料对断裂进行分类, 并评价断裂对油气的输导和遮挡作用, 结合油气分布规律, 建立了三种断裂控藏模式, 阐明了白云凹陷北坡油气运聚过程。洼陷区通源断裂控制烃源岩生成的油气垂向运移, 并且部分油气在源上多层系成藏; 斜坡区关键调节断裂控制珠江组油气向浅层韩江组、粤海组运移, 斜坡区 P3 构造附近是油气垂向调整的关键区域, 远源端 H6、H3 构造油气已全部调整至浅层; 控圈调节断裂控制斜坡区圈闭形成, 同一条断裂可以控制珠江组、韩江组及粤海组多层圈闭形成, 并遮挡侧向运移的油气成藏, 反向断裂上盘泥岩与下盘砂岩对接, 封闭性较好。通过断裂控藏模式与油气藏特征总结出白云凹陷北坡 P3、H5 珠江组油气藏具有动态成藏的特点, 成藏晚期主注油气充注与断裂垂向泄漏漏同时进行。最终建立了白云凹陷北坡通源断裂有效排烃、关键调节断裂控制浅层气运聚和反向调节断裂遮挡成藏的成藏模式。

关键词: 白云凹陷北坡; 油气藏分布; 断裂控藏; 油气运聚

断裂在盆地形成、地层沉积、油气运聚成藏和油气藏后期保存过程中都扮演了重要的角色。在含油气盆地中, 断裂对油气既有垂向输导的作用, 又有遮挡油气成藏的作用(李丕龙等, 2004; 张功成等, 2007; 罗群, 2010), 断裂、砂体和盖层组成的复合输导体系控制了油气运聚方向, 并且断裂还控制了圈闭形成和油气藏后期保存条件, 从而控制了油气分布规律(付广等, 2001; 罗晓容等, 2012)。不同类型的断裂对油气运移的控制作用不同, 通源断裂沟通烃源岩与输导砂体或储层, 开启的通源断裂是油气垂向运移的重要通道; 调节断裂沟通不同层位输导层, 控制油气运移的方向与层位, 与侧向输导层控制油气分布规律; 控圈断裂控制构造圈闭形成与油气藏保存。前人大量研究表明, 断裂是由断层核与断裂破碎带组成的三维地质体(Chester et al.,

1986; Scholz et al., 1993; 张立宽等, 2013; 付晓飞等, 2021), 近年来也发展出众多评价断裂启闭性的方法, 如生长指数法、断裂活动性、岩性对接及断裂泥比率等方法(张立宽等, 2013)。含油气盆地中断裂具有多期、多类型的特点, 厘清盆地各类断裂特征及其对油气运移的控制作用可以更好地理解油气成藏过程。

白云凹陷位于珠江口盆地珠二坳陷, 油气资源丰富, 油气兼生, 以气为主, 凹陷形成过程与油气成藏过程均受断裂控制(张远泽等, 2019; 庞雄等, 2022)。白云凹陷北坡发育大量近 EW 向及 NWW 向断裂, 断裂发育规模及活动时间不同。前人对白云凹陷断裂控洼作用及动力学机制等开展了大量研究, 其早期发育拆离断裂, 控制了沉积充填过程, 晚期活动和发育的断裂控制了圈闭形成和油气运移

注: 本文为中国海洋石油有限公司“十四五”重大科技项目(编号 KJGG2022-0103-03)资助的成果。
收稿日期: 2024-10-10; 改回日期: 2025-01-20; 责任编辑: 周健。
作者简介: 季瑞允, 男, 1998 年生。博士研究生, 地质资源与地质工程专业。E-mail: 2022310049@ student. cup. edu. cn。
* 通讯作者: 邱楠生, 男, 1968 年生。博士, 教授, 研究方向为沉积盆地温压场重建与地热资源评价。E-mail: qiunsh@cup.edu.cn。

引用本文: 季瑞允, 邱楠生, 常健, 汪旭东, 陈聪, 李孔森, 陈冉. 2025. 珠江口盆地白云凹陷北坡断裂对油气运聚的控制作用. 地质学报, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2024493.
Ji Ruiyun, Qiu Nansheng, Chang Jian, Wang Xudong, Chen Cong, Li Kongsan, Chen Ran. 2025. Control of faults on hydrocarbon migration and accumulation of the north slope of Baiyun sag in the Pearl River Mouth basin. Acta Geologica Sinica.

(杨建民, 2013; 谢志远等, 2017; 马凌等, 2024)。前人研究表明,白云凹陷油气运移主要受控于断裂和砂体组成的复合输导体系,北坡多层油气分布受控于断裂的垂向调节。断裂控制了圈闭的形成,并且部分断裂对油气藏具有破坏作用,白云凹陷北坡断控油气藏存在晚期边成藏边泄漏的动态成藏过程(米立军等, 2006; 施和生等, 2007, 2008)。白云凹陷北坡油气具有垂向多层系成藏的特点,古近系珠海组及新近系珠江组、韩江组、粤海组储层均有油气藏发现,且油气分布层位由主洼向北坡逐渐上移。白云凹陷北坡油气运移过程中断裂起到垂向调节的作用,但由于断裂复杂,断裂规模及活动期次存在较大差异,不同级别和类型断裂对油气垂向运移的控制作用尚不清楚,关键油气调整部位尚不明确,韩江组、粤海组浅层气成藏过程有待进一步研究。本文通过地震资料对白云主洼—北坡关键断裂进行分类,并评价各类断裂启闭性,结合油气分布规律,总

结断裂对油气运聚的控制作用,阐明白云凹陷北坡油气运聚过程,总结断控作用下的油气运聚规律,以期为下一步勘探提供理论依据与参考。

1 地质概况

白云凹陷水深 200~2000 m,大部分位于深水区。白云凹陷分为四个次级构造单元,白云主洼、白云东洼、白云西洼及白云南洼,本次研究区为白云主洼及北部番禺低隆起部分区域(图 1),水深和地层埋深由主洼向番禺低隆起逐渐变浅。

白云凹陷是珠江口盆地沉积厚度最大、埋深最深的凹陷,新生代地层沉积超过 10000 m,自下而上沉积了文昌组($T_g \sim T_{80}$)、恩平组($T_{80} \sim T_{70}$)、珠海组($T_{70} \sim T_{60}$)、珠江组($T_{60} \sim T_{40}$)、韩江组($T_{40} \sim T_{32}$)、粤海组($T_{32} \sim T_{30}$)、万山组($T_{30} \sim T_{20}$)及第四系($T_{20} \sim T_0$),其中文昌组为主要烃源岩层,主要在白云主洼、东洼分布,具有埋深大、厚度大的特点,白

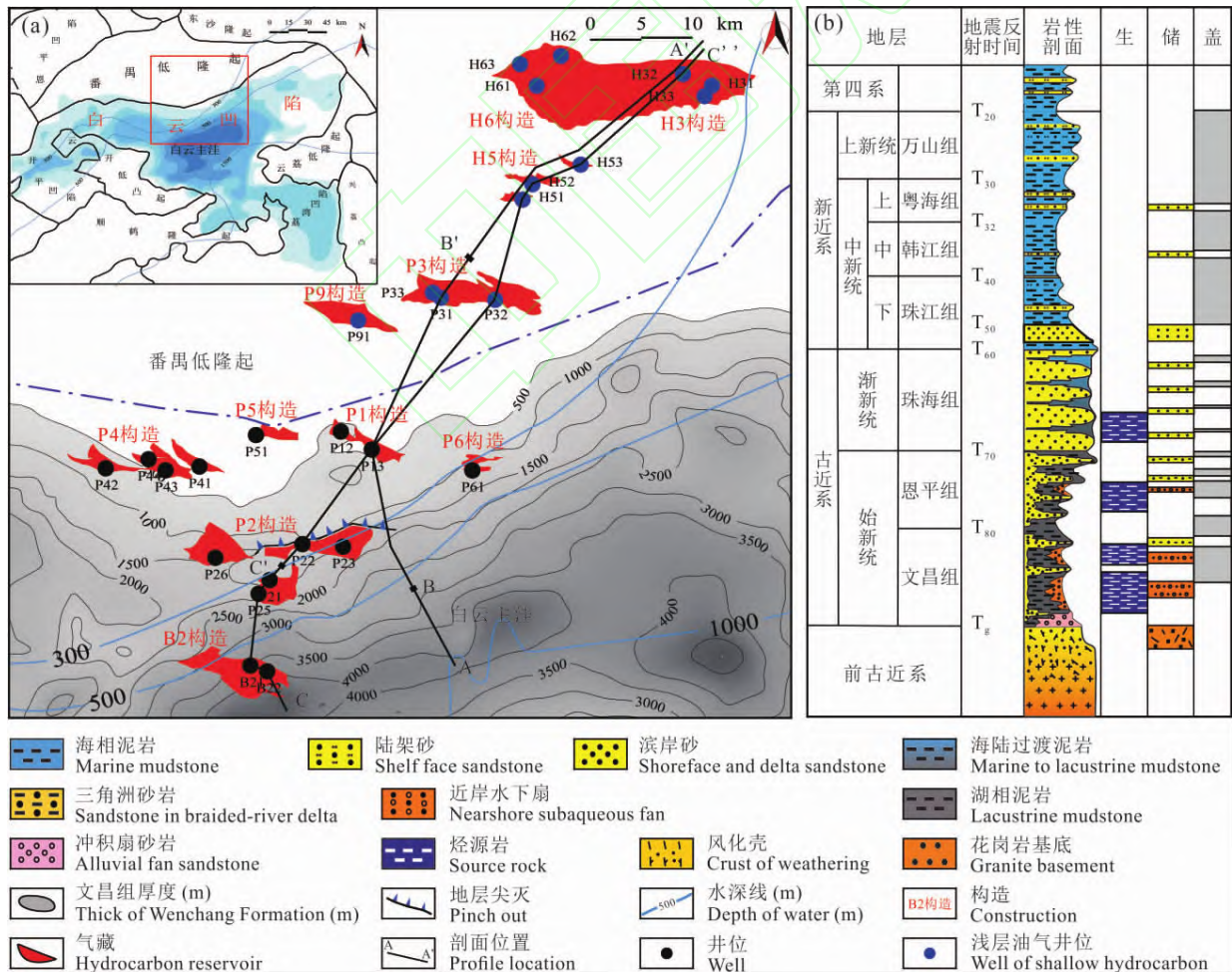


图 1 白云凹陷北坡位置(a)及地层柱状图(b) (据翟普强等, 2015; Ping Hongwei et al., 2019)

Fig. 1 The location (a) and stratigraphic column chart (b) of the north slope of Baiyun sag (after Zhai Puqiang et al., 2015; Ping Hongwei et al., 2019)

云凹陷北坡油气主要来源于白云主洼文昌组烃源岩(龙祖烈等, 2020; 陈聪等, 2022; 张忠涛等, 2023)。白云凹陷北坡番禺低隆起未沉积文昌组,至恩平晚期逐渐开始沉积地层,文昌组烃源岩仅在洼陷内分布(图 1)。白云凹陷地层存在多个储盖组合,深层文昌组、恩平组自生自储;珠海组储盖组合;珠江组储盖组合,是目前钻遇油气藏最多的储层,其中珠江组上段泥岩厚度超过 400 m,是白云凹陷北坡稳定分布的一套区域盖层,珠江组下段砂岩累计厚度可达 100 m 以上,砂地比大于 20%,既是一套优质的储层,也是稳定连续的输导砂体;浅层主要有韩江组、粤海组储盖组合。多类型储盖组合为油气多层系成藏提供了油气储存条件。

2 断裂分类及活动性评价

断裂对油气运聚过程的控制作用主要有输导和遮挡两种类型,同一断裂也可以同时具备输导和遮挡油气的作用(罗群, 2010; 吴智平等, 2010)。本文利用地震资料,按照断裂断穿层位将白云凹陷北坡断裂分为通源断裂、调节断裂及其他断裂,并分析不同类型断裂在油气运聚过程中的控制作用(图 2)。通源断裂为同时断穿文昌组烃源岩及上部珠江组储层的断裂,是油气排出烃源岩垂向运移的通道;调节断裂仅在中浅层发育,断穿珠海组至万山组部分地层,控制油气在侧向输导层中的运移;其他断裂是指规模较小仅在单一层位发育的断裂,对油气运聚的控制作用较小。

白云凹陷形成受南海扩张运移控制,具有伸展背景,白云凹陷北坡断裂均为正断裂,并且走向多为近 EW 向和 NWW 向(图 3)。受控于文昌组烃源岩发育范围,通源断裂仅在白云主洼发育,通源断裂具

有延伸较长、断穿层位多、活动时间长的特点,多呈 NWW 向、近 EW 向展布,其中绝大部分可以沟通到文昌组下段,且多为顺向南倾断裂,油源接触面积大,剖面上的形态主要为铲式(图 2)。调节断裂主要在白云凹陷北坡发育,主洼发育较少,呈 NW 向展布,为晚期发育断裂,倾向多为 N 向或 NE 向,与地层倾向相反,调节断裂剖面上形态主要为多米诺式,断裂断穿层位较少(图 2),调节断裂可以改变油气侧向运移方向,也可以遮挡油气在下盘成藏,并且可以垂向输导油气,调节油气运聚层位(图 2)。其他断裂在洼陷区及斜坡区俱有发育,受伸展背景控制,走向为 NWW 向,其他断裂具有延伸距离较小、切穿层位少的特点(图 3)。部分通源断裂和调节断裂具有控圈性质,其中白云主洼部分通源断裂控制断块圈闭和岩性-构造复合圈闭形成,白云凹陷北坡部分反向调节断裂控制断鼻及断背斜圈闭形成,油气在断层下盘运聚成藏。

大量研究表明,断层活动期上下盘相对活动,之前闭合的裂缝在断层活动的作用下重新开启,断层在纵向上形成连通的体系,油气在浮力或超压驱动的作用下垂向运移(孙永河等, 2007)。断裂活动性是评价断裂是否开启的一个重要指标。通源断裂和调节断裂活动期开启可以垂向运移油气,控圈断裂活动则会使油气垂向泄漏,破坏油气藏,评价断裂活动性对于理解油气运聚过程至关重要。本文采用活动速率法并利用地震资料评价白云凹陷北坡关键断层活动性。

通源断裂活动性:通源断裂具有长期活动的特点,大部分通源断裂在文昌组沉积期至今均有活动(图 4)。白云凹陷中浅层油气藏主要成藏期为 16 Ma 至今,该时期也是珠江组上段泥岩沉积结束的

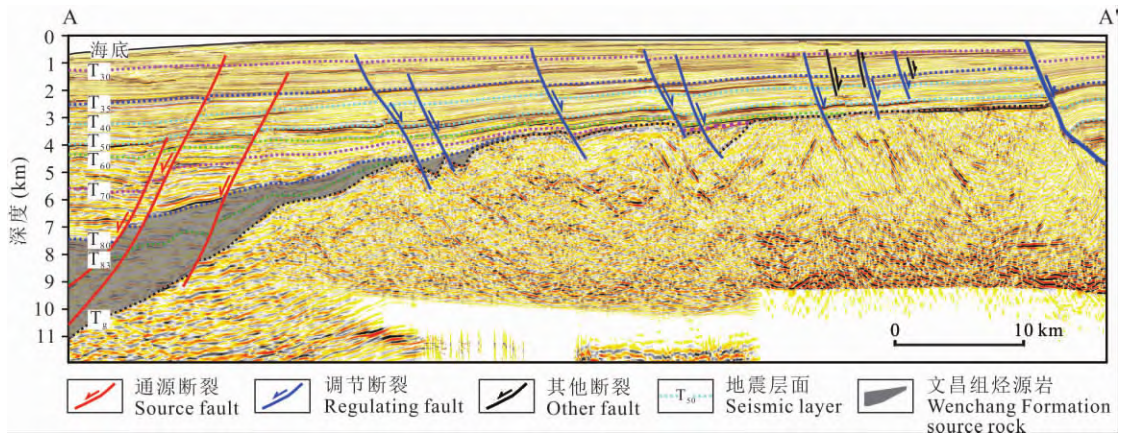


图 2 白云凹陷北坡地震剖面断裂类型划分(剖面位置见图 1)

Fig 2 Classification of fault types in seismic profile of the north slope of Baiyun sag (profile location shown in Fig. 1)

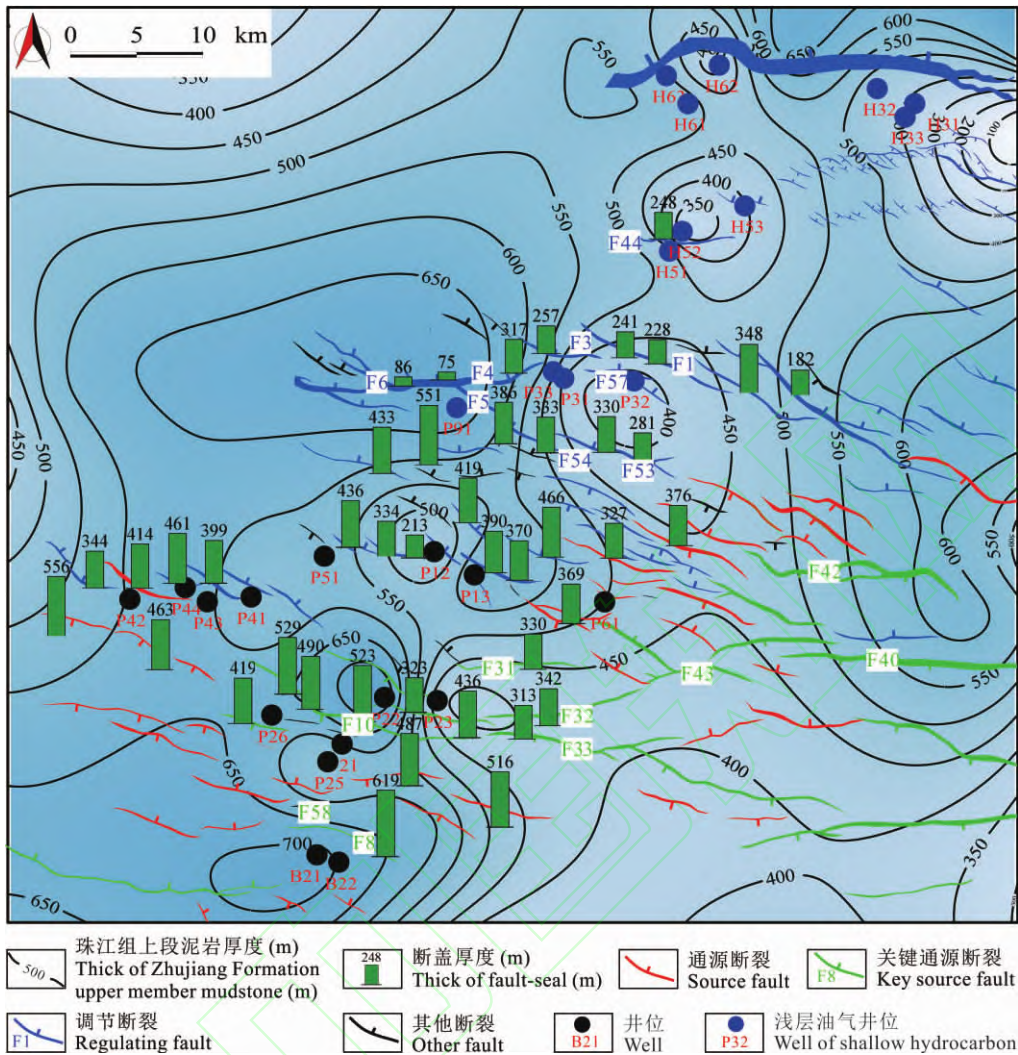


图 3 白云凹陷北坡 T_{50} 界面断裂分类及断盖厚度

Fig. 3 Fault classification and fault-cap thickness of T_{50} in the north slope of Baiyun sag

时间,即珠江组储盖组合形成(Ping Hongwei et al., 2019)。因此在 16 Ma 之后活动的通源断裂即可视为关键通源断裂,本文将 16 Ma 之后活动速率大于 10 m/Ma 的通源断裂视为关键通源断裂,关键通源断裂分布如图 3 所示,白云主洼大部分通源断裂为关键通源断裂,并且多数位于洼陷向斜坡的转换区域,垂向运移的油气可以沿构造脊向白云凹陷北坡运移。

调节断裂活动性:调节断裂主要分布在白云凹陷北坡,白云凹陷北坡早期为隆起剥蚀区(官伟等, 2024),大部分区域未沉积文昌组及恩平组下段,白云凹陷北坡调节断裂多在珠江组沉积期开始活动,活动速率在 5~25 m/Ma(图 4)。

控圈断裂活动性:白云凹陷北坡油气圈闭多与断裂相关,控圈断裂活动性影响了油气晚期保存条件,本文对控制圈闭形成的通源断裂及调节断裂晚

期活动性进行计算和分析,白云凹陷北坡控圈断裂晚期具有不同程度的活动性,白云主洼控圈断裂晚期活动性较弱,有利于早期油气藏的保存,远源端控圈断裂在粤海期和万山期活动性相对较强,活动速率为 9~27 m/Ma(图 5)。

3 断裂对油气运聚的控制作用

3.1 圈闭类型及油气分布

圈闭是形成油气藏的重要条件,圈闭类型主要有构造圈闭、岩性地层圈闭、复合圈闭和流体圈闭四大类(张万选, 1981)。白云凹陷北坡油气圈闭类型主要为构造圈闭和复合圈闭,具体有断鼻、断块、断背斜及岩性构造复合圈闭。南部洼陷区发育多组不同走向的断裂,圈闭类型主要为与通源断裂伴生的断块圈闭,斜坡区主要发育单一断裂控制的断鼻圈闭或断背斜圈闭(图 6)。白云凹陷北坡多数圈闭与

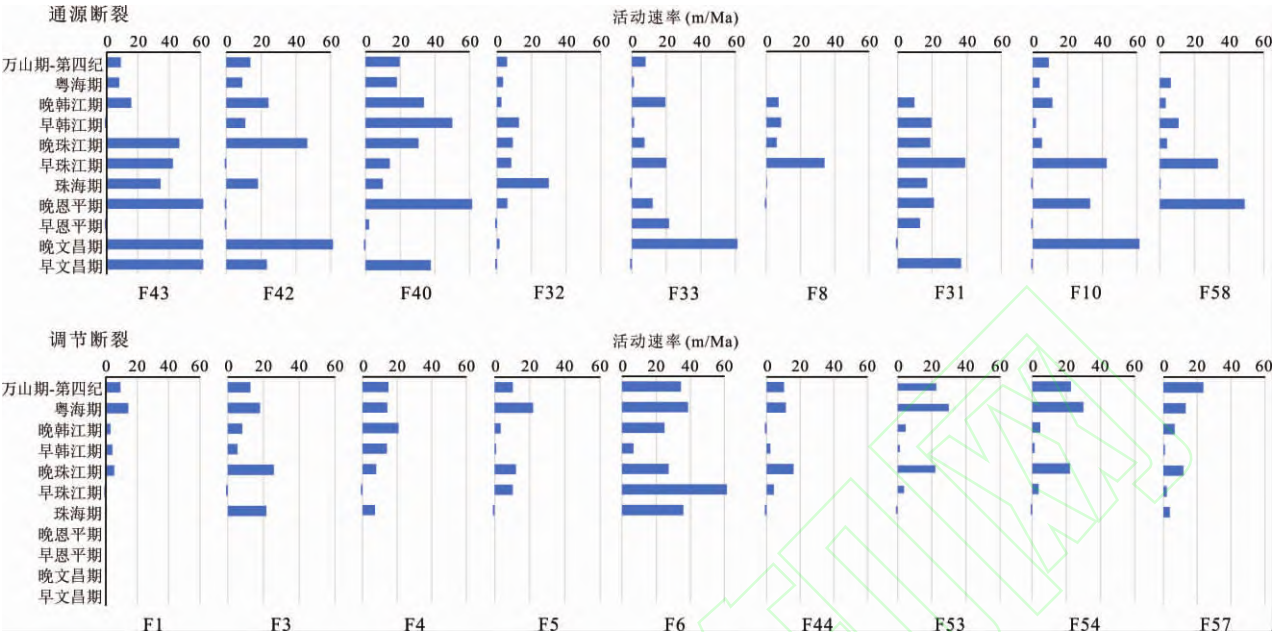


图 4 白云凹陷北坡关键断裂活动速率(断裂位置见图 3)

Fig 4 Fault activity rate of main faults in the north slope of Baiyun sag (fault location shown in Fig. 3)

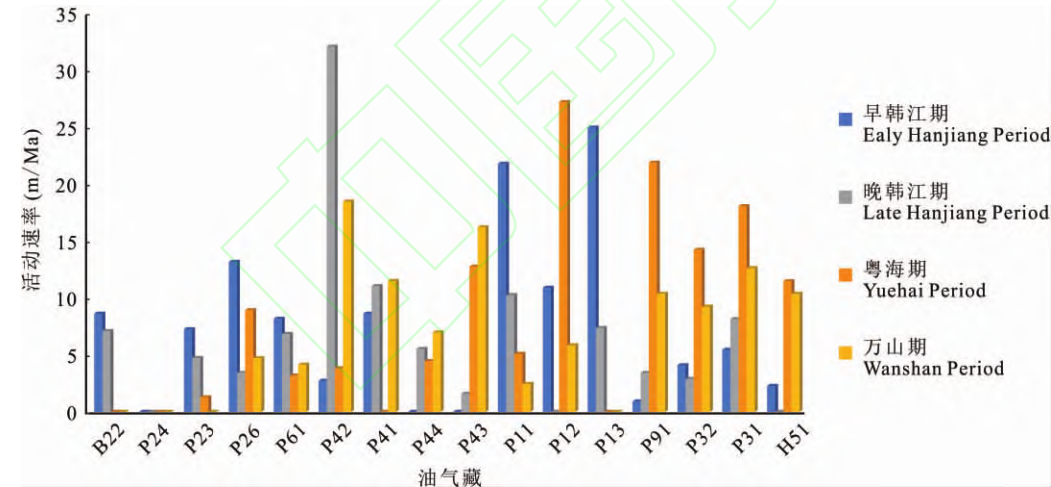


图 5 韩江期以来白云凹陷北坡控圈断裂活动速率

Fig 5 Activity rate of the control trap faults in the north slope of Baiyun sag since Hanjiang Period

断层相关,控圈断裂启闭性控制了油气藏保存与破坏,从而控制油气藏规模。

白云凹陷北坡目前钻遇古近系珠海组及新近系珠江组、韩江组、粤海组多套储层。其中珠江组分布范围最广,在洼陷及隆起区稳定发育,是目前钻遇油气最多的层位。中深层恩平组油气主要在主洼钻遇,埋深较大,而地震资料显示,研究区北部斜坡区古近系部分缺失,浅层韩江组、粤海组储层主要在北部斜坡区发育。

通过统计实钻井钻遇油气可知,珠海组油气仅在主洼内发育,珠江组下段油气在研究区各个部位均

有发育,韩江组、粤海组浅层气主要分布在斜坡区P3、H5、H3构造,油气分布层位具有从主洼到北坡逐渐上移的特点。主洼油气受珠江组上段区域盖层控制,主要在T₅₀界面之下发育。白云凹陷北坡通过珠江组下段砂岩侧向运移的油气突破区域盖层,向浅部储层聚集成藏,因此浅层气层仅在油气突破区域盖层的部位分布(图7)。

圈闭充满度是定量评价圈闭中油气聚集量的重要参数之一,圈闭充满度主要受控于油气运移条件、储层物性和圈闭几何特征及有效性(曾斌辉等, 2003; 高伟中等, 2019)。对于断控圈闭,断层封闭

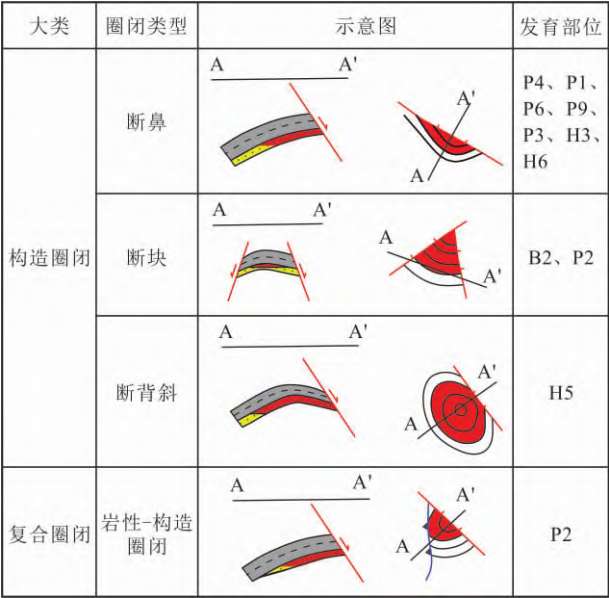


图 6 白云凹陷北坡油气圈闭类型及示意图
Fig 6 Hydrocarbon trap types and schematic diagram in the north slope of Baiyun sag

性控制了烃柱高度及油气充满度的大小。本文对白云凹陷 9 个油气藏不同层位及井位圈闭烃柱高度、圈闭幅度进行统计,并计算圈闭充满度,由图 8 可见,白云凹陷圈闭幅度在 20~260 m 之间,油气藏烃柱高度为 14~181.6 m,圈闭充满度为 6.8%~100%,其中珠江组四段油气藏充满度相对较高,为

14%~100%,大部分圈闭充满度为 60%以上;珠江组五段及珠海组圈闭充满度相对较小;浅层圈闭的圈闭幅度较小,为 40~120 m,但圈闭充满度较高,为 50%~100%。

由于天然气密度小于水,气藏内部压力会高于静水压力,对控圈断裂封闭性要求较高(付晓飞等, 2022; 韩云浩等, 2023)。白云凹陷北坡油气藏以天然气藏为主,封闭性较差的圈闭油气会沿断裂垂向泄漏。断控圈闭有效性主要受断裂封闭性控制,前人建立了利用断层内部泥岩含量的评价方法:断层泥比率及泥岩涂抹因子。白云凹陷北坡控圈断裂大多为北倾反向断裂,即断裂倾向为 NE 向或 N 向,地层倾向与断裂倾向相反,为 S 向或 SW 向,并且受控于盆地拉张背景,所有断裂均为正断裂,白云凹陷北坡油气圈闭大多位于断层下盘,储层对盘为下降的珠江组上段泥岩,因此对盘泥岩封闭性较好,油气无法发生侧向泄漏。所以本文采用 SGR 法(断层泥比率)对断层封闭性进行评价(Yielding et al., 1997):

$$SGR = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i V_{shi}}{H} \times 100\% \tag{1}$$

其中,SGR 为断层泥比率(无量纲); Z_i 为泥岩层厚度(m); V_{shi} 为泥质含量(%); H 为断距(m)。由

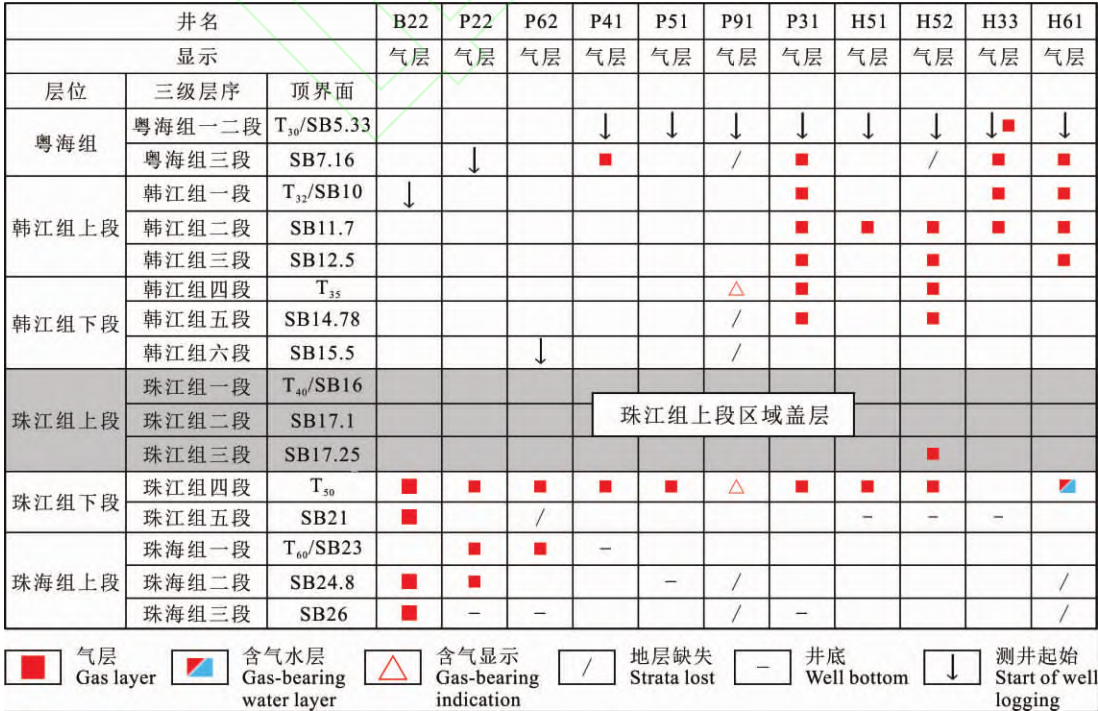


图 7 白云凹陷北坡油气分布层位
Fig 7 Hydrocarbon distribution in the north slope of Baiyun sag

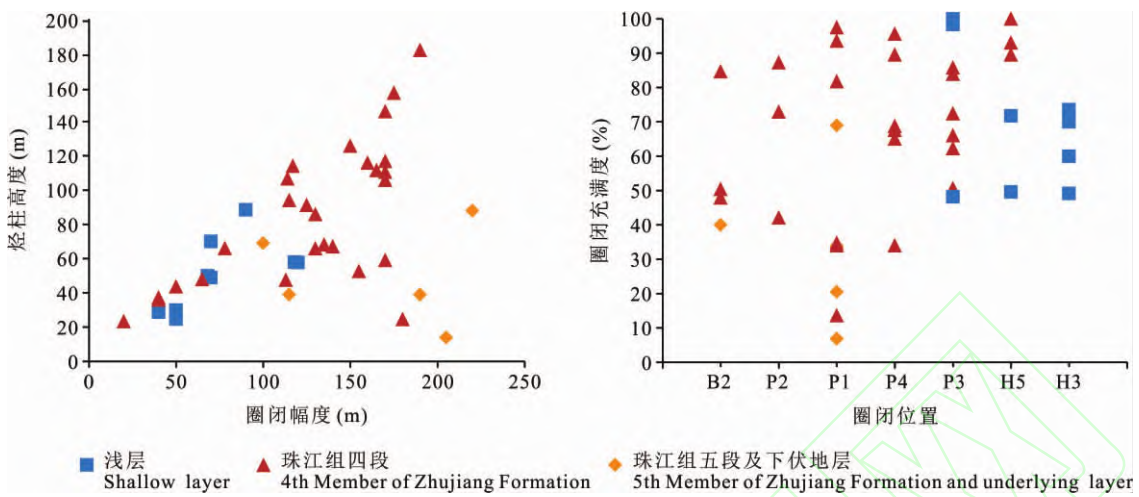


图 8 白云凹陷北坡圈闭油气充满意度

Fig. 8 Hydrocarbon filling degree of traps in the north slope of Baiyun sag

图 9 可知大多数油气圈闭断层泥比率在 60% 以上, 断层封闭能力较强, H51 井及 P32 井珠江组圈闭 SGR 较小, 其中 H51 井珠江组油气藏烃柱高度较小, P32 井油气圈闭烃柱高度较大, 圈闭封闭性较差会导致油气垂向泄漏, 两个区域均有浅层油气发育。

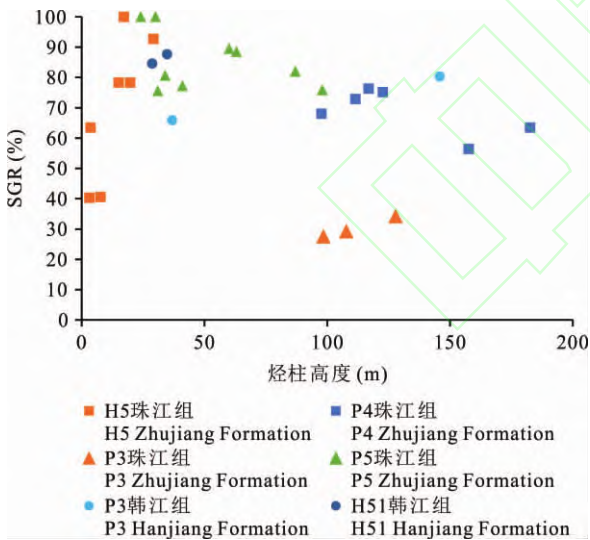


图 9 白云凹陷北坡断层泥比率与圈闭烃柱高度

Fig. 9 SGR of faults and trap hydrocarbon height in the north slope of Baiyun sag

3.2 通源断裂有效排烃, 源上成藏

通源断裂是沟通烃源岩与储层的关键输导通道, 油气通过通源断裂垂向运移过程中, 遇到有利砂体可以发生侧向运移, 这与砂体规模、地层与断层倾角及断层运移效率等有关(付广等, 2019, 2023a)。洼陷区发育大量不同期次断裂, 并且垂向发育多套储层及与通源断裂伴生的断块及断鼻圈闭, 断裂与断裂之间也形成了较多断块圈闭, 油气在垂向运移

过程中可以向不同层系运聚成藏。

白云凹陷洼陷区在珠海组、珠江组均可见油气成藏, 油气圈闭与通源断裂伴生, 油气在通源断裂附近圈闭聚集成藏。B2 构造在珠海组、珠江组均钻遇油气藏, 北部 F8 断裂是该构造主要通源断裂, 其沟通了文昌组烃源岩与上部储层, 并且仅断至 T_{50} 界面, 晚期活动性较差, F2 断裂上盘为珠海组、珠江组断块圈闭, 地层倾向与断裂倾向相向, 烃源岩内部超压与浮力为油气运移提供动力, 油气在超压与浮力的共同作用下多层成藏(张向涛等, 2022; 张忠涛等, 2023)。P2 构造位于两条相向的通源断裂 F10、F57 之间的地堑区, F10、F58 自文昌组沉积期至今均有不同程度的活动, 韩江组沉积以来活动速率在 10 m/Ma 左右(图 4), 油气通过通源断裂垂向运移后向上盘侧向运移, 珠海组及珠江组均有油气成藏, 珠海组油气藏仅在通源断裂伴生圈闭发育。

洼陷区还存在大量无伴生圈闭的通源断裂, 由于通源断裂活动速率大, 油气垂向运移速率高, 所以大部分油气沿垂向“高速公路”快速运移, 遇到珠江组上段区域泥岩盖层的遮挡后才发生侧向运移, 珠江组下段砂岩为主要的侧向运移通道。高效的通源断裂控制烃源岩层油气垂向运移, 部分油气在珠海组、珠江组有利圈闭中聚集, 剩余油气沿珠江组下段砂岩向斜坡区侧向运移。

3.3 关键调节断裂断盖配置及晚期活动控制浅层气成藏

白云凹陷北坡油气分布层位逐渐由中深层珠海组、珠江组上移至区域盖层之上的浅层韩江组、万山组, 浅层气主要在 P3、H5、H3、P6 构造发育。白云

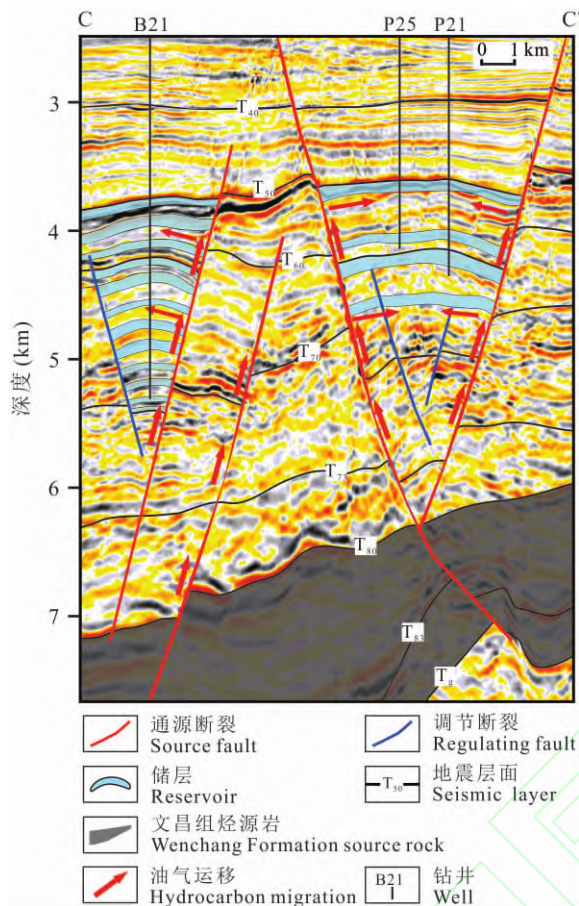


图 10 白云凹陷主洼通源断裂伴生圈闭成藏
(剖面位置见图 1)

Fig 10 Hydrocarbon accumulation in source fault associated trap in main sub-sag of Baiyun sag
(profile location shown in Fig. 1)

凹陷北坡的断裂均未完全断开珠江组上段盖层,但油气在远源端运移至了浅层,说明斜坡区部分断裂可以使油气突破珠江组上段区域盖层垂向运移。油气在通过断裂垂向运移时,遇到厚层泥岩时不同的断盖厚度对应的油气运移模式不同,断盖厚度为盖层厚度与断层断距的差值,当断盖厚度小于某个数值时,油气可以通过断层突破盖层,当断盖厚度大于某个数值时油气受盖层遮挡,油气无法通过断裂垂向运移(付广等, 2023b, 2023c; 杨珀等, 2023)。

本文对白云主洼到北坡油气运移路径上的主要断层的断盖厚度进行统计,结合油气分布情况,确定最小断盖厚度。白云主洼到北坡各构造油气显示情况可以分为三类:仅珠江组见油气层且浅层见油气显示、浅层韩江组或粤海组见气层。由图 11 可知,断盖厚度小于 380 m 时,浅层气发育,断裂适合油气垂向运移,因此将白云凹陷北坡断盖厚度小于 380 m 的断裂定为浅层气调节断裂。有效调节断裂

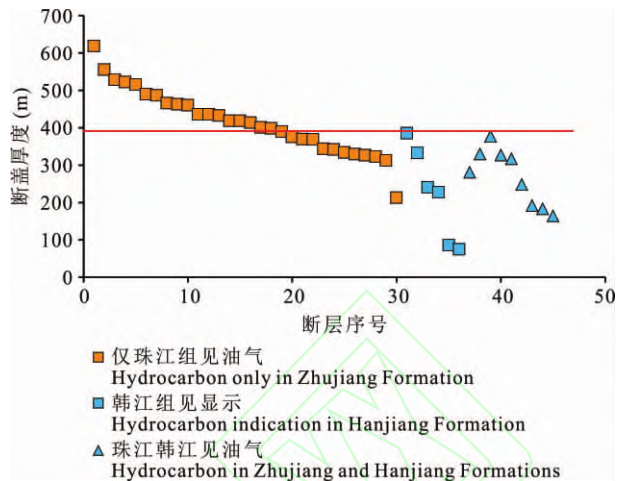


图 11 白云凹陷北坡断层断盖厚度及油气显示

Fig 11 Fault-cap thickness and hydrocarbon display in the north slope of Baiyun sag

主要在 P3 构造附近分布(图 3),说明该区域是油气通过断裂向浅层调整的关键区域。通过计算北坡浅层气调节断裂活动性,可见该类断层在韩江期以来均有不同程度活动,粤海期之后活动性均大于 15 m/Ma,且多在 20 m/Ma 左右(图 4)。调节断裂晚期活动和较小的断盖厚度使其可以作为油气突破珠江组上段区域泥岩盖层的关键通道。而 P9 及 P3 构造即为油气层位调整的重要区域,由该区域向远源方向油气逐渐向浅层调整。H3 构造珠江组储层未见油气显示,H6 构造珠江组储层仅见含气水层,也说明油气在到达该构造之前已大量垂向调整至浅层储层,并且沿浅层砂体侧向运聚成藏。

断盖配置控制了油气是否能突破珠江组上段泥岩向浅层运移,洼陷区断裂断盖厚度较大,油气无法突破盖层垂向运移,在 T_{50} 构造面及断层的控制下沿珠江组下段砂岩向斜坡区运移,P3 构造及 H5 构造附近存在 6 条关键调节断裂,断盖厚度小于 380 m (图 3),这使得断层在泥岩中产生的裂缝相互连通,并且该区域调节断裂粤海期以来活动速率大于 10 m/Ma(图 4),断层活动更有利于裂缝的开启,油气开始向韩江组垂向调整,并沿韩江组、粤海组砂体侧向运移。

3.4 反向调节断裂控圈遮挡油气成藏

白云凹陷北坡发育大量反向断裂,部分断裂与断鼻、断块圈闭相关,控制圈闭形成和油气聚集,其中 P4、P1、P9、P3、H5、H3、H6 构造均为反向断裂控制的断鼻、断背斜圈闭,并且同一条反向断裂可以控制不同层的圈闭形成,如 P3、H5、H3 构造珠江组、韩江组和粤海组在断裂控制下形成了垂向多个圈

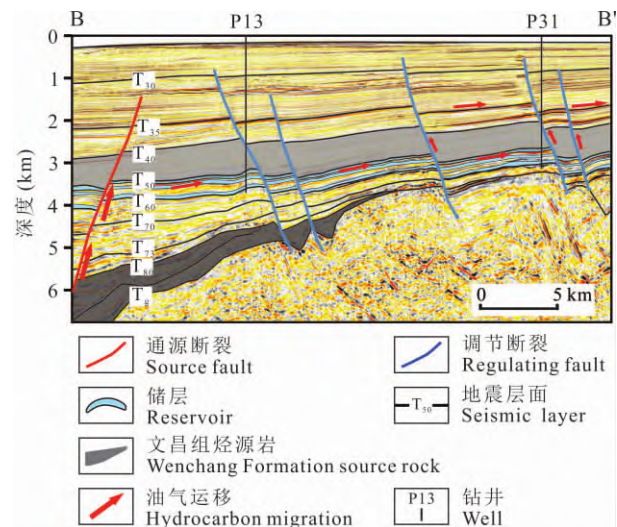


图 12 白云凹陷北坡断裂遮挡成藏及油气垂向调整
(剖面位置见图 1)
Fig. 12 Fault blocking accumulation and vertical adjustment
of hydrocarbon in the north slope of Baiyun sag
(profile location shown in Fig. 1)

闭。断控圈闭是断裂在变形过程中形成的圈闭构造,断鼻圈闭是断裂生长过程中沿断裂走向差异变形而形成的圈闭(刘峻桥等, 2018; 付晓飞等, 2022; 朱焕来等, 2022)。白云凹陷北坡油气圈闭明显具有断裂控制圈闭形成的特点,其圈闭发育幅度与控圈断裂断距成正相关关系,断距越大,圈闭幅度越大,并且圈闭烃柱高度与断距成正相关关系,圈闭越大,油气藏烃柱高度越高(图 9)。白云凹陷北坡反向控圈断裂下盘砂岩与上盘泥岩对接,圈闭封闭性相对较好,油气侧向运移过程中受反向控圈断裂遮挡在下盘成藏。沿珠江组下段砂岩侧向运移的油气在反向断圈中聚集成藏,白云凹陷北坡多发育

珠江组下段油气藏,并且沿调节断裂垂向运移至浅层的油气也在反向断裂控制的韩江组、粤海组圈闭聚集成藏,反向控圈断裂控制圈闭形成从而控制白云凹陷北坡油气平面分布位置(图 12)。

白云凹陷北坡反向断裂控制了珠江组、韩江组及粤海组油气圈闭的形成,并且控制了油气圈闭的封闭性,油气在反向断裂下盘成藏,上盘为泥岩对接封闭,断层泥比率较高,对油气具有较好的封闭能力。

4 断裂控制下的油气运聚模式

白云凹陷北坡不同位置、不同类型断裂对油气运聚过程的控制作用不同,基于上述研究建立了白云凹陷北坡通源断裂垂向多层成藏、反向调节断裂遮挡油气成藏、关键调节断裂控制浅层气成藏的油气运聚模式(图 13)。

中深层油气在通源断裂附近分布,受控于通源断裂及区域盖层,为近源成藏。烃源岩排出的油气通过通源断裂垂向运移,部分油气在恩平组及珠海组有利砂体发生侧向运移并在断块及断鼻圈闭聚集成藏,发育垂向多层油气藏。主洼通源断裂断盖配置使垂向运移的油气无法突破珠江组上段区域盖层,通源断裂垂向输导的油气除在中深层成藏外,剩余油气均向上运移至珠江组下段,并沿 T_{50} 构造面优势运移路径侧向运移,因此目前钻遇的主要油气藏在珠江组下段发育。充足的油气来源和稳定分布的珠江组下段砂体为油气远源运聚提供基础条件,油气在反向调节断裂控制的断鼻运聚成藏,珠江组下段油气在主洼及北坡大部分区域均有分布。

前人大量研究成果表明,油气成藏过程是一个

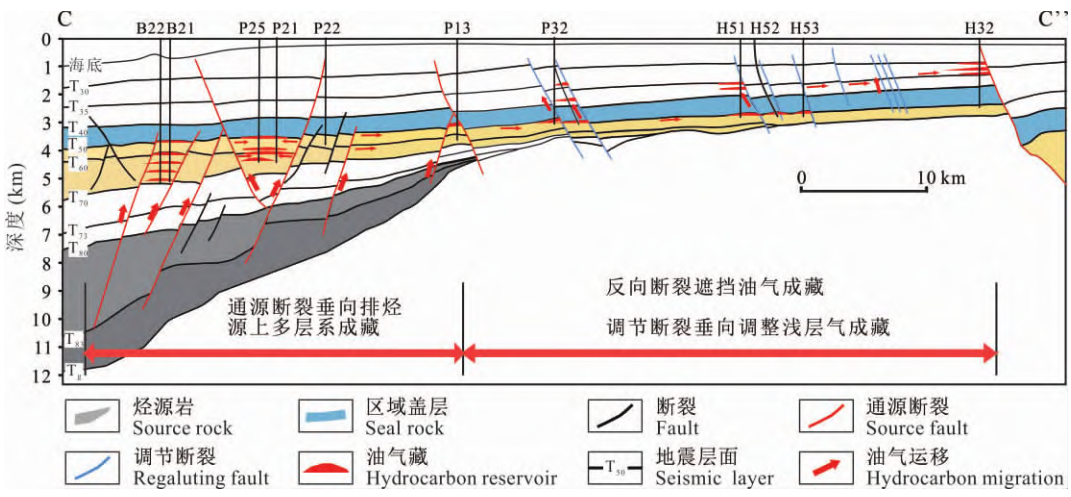


图 13 白云凹陷北坡油气成藏模式(剖面位置见图 1)
Fig. 13 Hydrocarbon accumulation model of the north slope of Baiyun sag (profile location shown in Fig. 1)

动态聚散、晚期定型的过程(于水明等, 2007; 刘池洋等, 2022; Chu Rong et al., 2023), 油气圈闭形成之后有充足油气来源时会不断接受油气充注, 直至圈闭充满油气溢出, 但当圈闭封闭条件较差时油气会发生泄漏, 导致圈闭无法充满, 但充足的油气来源又可以使圈闭保持较高的烃柱高度形成规模油气藏。白云凹陷沉积了巨厚的文昌组烃源岩, 烃源条件优越, 现今斜坡区埋深较浅的烃源岩尚可产气(Li Wenhao et al., 2016), 因此白云凹陷北坡部分圈闭油气泄漏的同时, 也存在烃源岩油气的补充。前人利用流体包裹体确定的油气成藏期为 16 Ma 至今, 也证明了圈闭晚期存在天然气充注(Ping Hongwei et al., 2019)。白云凹陷北坡 P3、H5 控圈调节断裂及周边调节断裂成藏期活动性较强, 并且断盖厚度较小, 断裂垂向封闭性较差, 使得珠江组油气向浅部垂向运移, 油气圈闭未充满, 但主洼内烃源岩供气量充足, 油气在垂向调整的同时圈闭也保持较高的烃柱高度。受调节断裂的控制, 珠江组油气藏成藏期至今一直保持动态聚散的过程, 并且圈闭泄漏的油气向浅层运聚成藏。

5 结论

白云凹陷北坡断裂在烃源岩排烃、油气圈闭形成、油气垂向调整及遮挡油气成藏各环节均发挥重要作用, 不同类型的断裂控制了现今油气由洼陷向斜坡逐层抬升的分布格局及主要油气藏分布。

(1) 洼陷内通源断裂控制烃源岩有效排烃, 源上多层系成藏, 部分油气沿通源断裂垂向运移时向珠海组、珠江组砂体侧向运移, 在通源断裂伴生的断块圈闭及复合圈闭中聚集成藏。除源上成藏外的大部分油气垂向运移至珠江组下段砂岩, 受珠江组上段泥岩遮挡向斜坡区侧向运移。

(2) 关键调节断裂控制油气垂向调整, 浅层气成藏, 白云凹陷北坡珠江组油气在 P3 构造开始向浅层垂向运移, 关键调节断裂断盖配置和晚期活动是珠江组下段油气突破珠江组上段区域盖层的关键控制因素, 油气垂向调整后沿浅层砂体侧向运移。

(3) 斜坡区控圈调节断裂控制油气聚集, 白云凹陷北坡发育的大量 NWW 向反向断裂控制珠江组及浅层韩江组、粤海组断鼻圈闭形成, 油气侧向运移过程中在断裂下盘聚集成藏, 受上盘泥岩遮挡, 封闭性较好。

(4) 白云凹陷北坡油气在多种类型断裂控制下由洼陷内文昌组烃源岩逐渐调整至珠海组、珠江组

储层, 在通源断裂伴生圈闭中聚集成藏, 受到珠江组上段区域泥岩盖层遮挡沿 T_{50} 界面向斜坡区发生大规模运移, 运移过程中受反向控圈调节断裂遮挡成藏, 在 P3 构造附近受关键调节断裂控制开始向浅层韩江组垂向调整, 至 H3 构造完全由珠江组调整至韩江组、粤海组。

References

- Chen Cong, Long Zulie, Xiong Yongqiang, Zhu Junzhang, Zhai Puqiang, Zheng Yangdi. 2022. Analysis of source rock distribution and oil-gas source difference in Baiyun sag. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, 41(1): 1~12 (in Chinese with English abstract).
- Chester F M, Logan J M. 1986. Implications for mechanical properties of brittle faults from observations of the Punchbowl fault zone, California. *Pure and Applied Geophysics*, 124(1-2): 79~106.
- Chu Rong, Yan Danping, Qiu Liang, Wang Haixue, Wang Qi. 2023. Quantitative constraints on hydrocarbon vertical leakage: Insights from underfilled fault-bound traps in the Bohai Bay basin, China. *Marine and Petroleum Geology*, 149: 106078.
- Fu Guang, Xue Yongchao, Fu Xiaofei. 2001. On oil-gas migration systems and their control over the formation of reservoir. *Xinjiang Petroleum Geology*, 22(1): 24~26 (in Chinese with English abstract).
- Fu Guang, Liang Mugui, Li Qiaoqiao. 2019. Effectiveness of transporting oil and gas of source-fault-sandstone space matching. *Journal of China University of Mining & Technology*, 48(3): 584~591 (in Chinese with English abstract).
- Fu Guang, Fan Chenshuo, Liang Mugui. 2023a. Determination method of hydrocarbon transport time of overlying combination of different reservoir-cap assemblages by oil source faults and its application. *Natural Gas Geoscience*, 34(1): 15~22 (in Chinese with English abstract).
- Fu Guang, Lu Degen, Liang Mugui, Wang Hongwei. 2023b. Prediction method and its application for oil and gas sealing period in fault-caprock configuration. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 42(3): 40~47 (in Chinese with English abstract).
- Fu Guang, Xie Jihong, Liang Mugui. 2023c. Prediction method and application of maximum distance distribution position of oil and gas transported upward by oil source fault. *Chinese Journal of Geology*, 58(4): 1242~1254 (in Chinese with English abstract).
- Fu Xiaofei, Li Kun, Dong Rou, Li Jinku. 2021. Review of fault sealing research. *Energy Technology and Management*, 46(3): 24~26 (in Chinese with English abstract).
- Fu Xiaofei, Lu Dingyou, Huang Jiangbo, Wang Gaiwei, Meng Lingdong, Wang Haixue, Jia Ru. 2022. Fault-caprock coupling sealing mechanism and fault trap hydrocarbon accumulation model. *Natural Gas Industry*, 42(3): 21~28 (in Chinese with English abstract).
- Gao Weizhong, Tan Sizhe, Tian Chao, Gao Shunli, Sun Peng. 2019. Analysis on the oil and gas fullness difference of the central inversion tectonic belt of Xihu sag in East China Sea basin. *China Offshore Oil and Gas*, 31(3): 20~28 (in Chinese with English abstract).
- Guan Wei, Liu Chiyang, Peng Guangrong, Huang Lei, Song Lijun, Liang Chao, Li Xin, Zhang Lili, Li Hongbo, Wu Zhe, Ma Yunjie. 2024. The differences and significance in the genesis of the peripheral uplift of the Baiyun sag, Pearl River Mouth basin. *Acta Geologica Sinica*, 99(5): 1538~1553 (in Chinese with English abstract).
- Han Yunhao, Jiang Zhenxue, Zhang Zhiyao, Zhu Guangyou. 2023.

- Favorable geological conditions for the formation of ultra-high petroleum columns in petroliferous basins. *Lithologic Reservoirs*, 35 (2): 125 ~ 135 (in Chinese with English abstract).
- Li Pilong, Zhang Shanwen, Song Guoqi, Xiao Huanqin, Wang Yongshi. 2004. Formation mechanism of subtle oil and gas pools in fault-depression—A case study of Jiyang depression in Bohai Bay basin. *Petroleum Geology & Experiment*, (1): 3 ~ 10 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenhao, Zhang Zhihuan, Li Youchuan, Fu Ning. 2016. The effect of river-delta system on the formation of the source rocks in the Baiyun sag, Pearl River Mouth basin. *Marine and Petroleum Geology*, 76: 279 ~ 289.
- Liu Chiyang, Huang Lei, Zhao Junfeng, Wang Jianqiang, Zhang Dongdong, Zhao Hongge, Shao Deyong, Liu Wei Shuai. 2022. Outline of theory system of oil and gas occurrence and accumulation in reformed basins. *Earth Science Frontiers*, 29 (6): 84 ~ 108 (in Chinese with English abstract).
- Liu Junqiao, Wang Haixue, Lu Yanfang, Sun Tongwen, Zhang Mengdi, He Wei, Sun Yonghe, Zhang Tong, Wang Chao, Cao Lanzhu. 2018. Reservoir controlling differences between consequent faults and antithetic faults in slope area outside of source: A case study of the south-central Wenan slope of Jizhong depression, Bohai Bay basin, NE China. *Petroleum Exploration and Development*, 45(1): 82 ~ 92 (in Chinese with English abstract).
- Long Zulie, Chen Cong, Ma Ning, Zhai Puqiang, Huang Yuping, Shi Chuang. 2020. Geneses and accumulation characteristics of hydrocarbons in Baiyun sag, deep water area of Pearl River Mouth basin. *China Offshore Oil and Gas*, 32(4): 36 ~ 45 (in Chinese with English abstract).
- Luo Qun. 2010. Concept principle model and significance of the fault controlling hydrocarbon theory. *Petroleum Exploration and Development*, 37 (3): 316 ~ 324 (in Chinese with English abstract).
- Luo Xiaorong, Lei Yuhong, Zhang Likuan, Chen Ruiyin, Chen Zhankun, Xu Jianhua, Zhao Jian. 2012. Characterization of carrier formation for hydrocarbon migration: Concepts and approaches. *Acta Petrolei Sinica*, 33(3): 428 ~ 436 (in Chinese with English abstract).
- Ma Ling, Dan Xuanlong, Xiang Xuhong, Hao Guoli, Zhang Penglin, Yan Bo, Yi Jian. 2024. Eoceneprovenance system distribution in the Baiyun sag, Pearl River Mouth basin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 54 (6): 1968 ~ 1985 (in Chinese with English abstract).
- Mi Lijun, Zhang Gongcheng, Fu Ning, He Qing, Ma Liwu. 2006. An analysis of hydrocarbon source and accumulation in Panyu low-uplift and north slope of Baiyun sag, Pearl River Mouth basin. *China Offshore Oil and Gas*, (3): 161 ~ 168 (in Chinese with English abstract).
- Pang Xiong, Zheng Jinyun, Ren Jianye, Wang Fuguo, Yan Hui, Sun Hui, Liu Bajoun. 2022. Structural evolution and magmatism of fault depression in Baiyun sag, northern margin of South China Sea. *Earth Science*, 47 (7): 2303 ~ 2316 (in Chinese with English abstract).
- Ping Hongwei, Chen Honghan, Zhai Puqiang, Zhu Junzhang, George S C. 2019. Petroleum charge history in the Baiyun depression and Panyu lower uplift in the Pearl River Mouth basin, northern South China Sea: Constraints from integration of organic geochemical and fluid inclusion data. *AAPG Bulletin*, 103(6): 1401 ~ 1442.
- Scholz C H, Dawers N H, Yu J Z, Anders M H, Schubert G. 1993. Fault growth and fault scaling laws: Preliminary results. *Journal of Geophysical Research*, 98(B12): 21951 ~ 21961.
- Shi Hesheng, Wu Jianyao, Zhu Junzhang, Qin Chenggang, Wang Feiyu, Zhu Dan. 2007. Identifying residual oil pools and reconstructing hydrocarbon charge history by a quantitative fluorescence techniques along Panyu low uplift-north slope in Baiyun sag. *China Offshore Oil and Gas*, (3): 149 ~ 153 (in Chinese with English abstract).
- Shi Hesheng, Qin Chenggang, Gao Peng, Zhang Zhongtao, Zhu Junzhang, Zhao Renyong. 2008. Late gas accumulation characteristics in Panyu low-uplift and the north slope of Baiyun sag, Pearl River Mouth basin. *China Offshore Oil and Gas*, (2): 73 ~ 76 (in Chinese with English abstract).
- Sun Yonghe, Fu Xiaofei, Lu Yanfang, Fu Guang, Yan Dong. 2007. Suction role of seismic pumping and physical simulation on hydrocarbon migration and accumulation. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 37(1): 98 ~ 104, 111 (in Chinese with English abstract).
- Wu Zhiping, Chen Wei, Xue Yan, Song Guoqi, Liu Huimin. 2010. Structural characteristics of faulting zone and its ability in transporting and sealing oil and gas. *Acta Geologica Sinica*, 84 (4): 570 ~ 578 (in Chinese with English abstract).
- Xie Zhiyuan, Yang Jianmin, Sun Longtao, Zheng Jinyun, Sun Zhen, Qiu Ning. 2017. The characteristics of post-rift fault activities and sedimentary response on the northern slope of the Baiyun sag in the northern margin of the South China Sea. *Journal of Tropical Oceanography*, 36(5): 59 ~ 71 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jianmin. 2013. Model offault systems evolution in the deepwater slope area, northern South China Sea—A case from Baiyun sag. Master's thesis of China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Yang Po, Yang Shenglai, Ma Pengpeng, Han Jing, Chen Jicheng, Yuan Shiquan. 2023. Prediction method for hydrocarbon migration and accumulation locations of overlying reservoir-seal assemblage oil source faults and its application. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 42(6): 42 ~ 49 (in Chinese with English abstract).
- Yielding G, Freeman B, Needham D T. 1997. Quantitative fault seal prediction. *AAPG Bulletin*, 6(81): 897 ~ 917.
- Yu Shuiming, Mei Lianfu, Shi Hesheng, Qin Chenggang, Tang Jiguang. 2007. Characteristics of ultra-late gas reservoiring in Panyu low lift, northern slope zone of Baiyun sag. *Natural Gas Industry*, (4): 7 ~ 9 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Jianhui, Zhang Shanwen, Qiu Nansheng, Jiang Zhenxue. 2003. Hydrocarbon filling degree and its main controlling factors of lithologic traps in Dongying sag. *Oil & Gas Geology*, (3): 219 ~ 222 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Puqiang, Zhu Junzhang. 2015. Comprehensive analysis of hydrocarbon accumulation in the high geothermal background of Baiyun deep water area. 17th Annual Meeting of China Association for Science and Technology. Guangzhou, China, 10 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Gongcheng, Mi Lijun, Wu Shiguo, Tao Weixiang, He Shibin, Lu Jianjun. 2007. Deep water area—The new prospecting targets of northern continental margin of South China Sea. *Acta Petrolei Sinica*, (2): 15 ~ 21 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Likuan, Luo Xiaorong, Song Guoqi, Hao Xuefeng, Qiu Guiqiang, Song Chengpeng, Lei Yuhong, Xiang Lihong, Liu Keqi, Xie Yubao. 2013. Quantitative evaluation of parameters to characterize fault opening and sealing during hydrocarbon migration. *Acta Petrolei Sinica*, 34(1): 92 ~ 100 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wanxuan. 1981. On the classification of oil and gas reservoirs and the main types of oil and gas reservoirs in China. *Acta Petrolei Sinica*, (3): 1 ~ 11 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiangtao, Li Jun, Xiang Xuhong, Zhao Jingzhou. 2022. Genetic mechanism of overpressure and its significance on petroleum exploration in Baiyun sag in the deep water zone of Pearl River Mouth basin. *Acta Petrolei Sinica*, 43(1): 41 ~ 57 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuanze, Qi Jiafu, Wu Jingfu. 2019. Cenozoic faults systems and its geodynamics of the continental margin basins in the northern of South China Sea. *Earth Science*, 44(2): 603 ~ 625 (in Chinese with English abstract).

- Zhang Zhongtao, Wang Zhuochao, Chen Cong, Wu Zhe, Chen Shuhui, Zhai Puqiang. 2023. Discussion on hydrocarbon accumulation process in middle-deep layers of Baiyun sag in deep water area of the northern South China Sea. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 38(2): 43~52 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Huanlai, Chen Yan, Wang Weixue, Fu Guang, Gong Jiangping. 2022. Method for determining formation period of associated traps of oil source faults and its application. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 29(4): 30~37 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

- 陈聪, 龙祖烈, 熊永强, 朱俊章, 翟普强, 郑仰帝. 2022. 白云凹陷烃源岩分布与油气源差异性分析. *山东科技大学学报(自然科学版)*, 41(1): 1~12.
- 付广, 薛永超, 付晓飞. 2001. 油气运移输导系统及其对成藏的控制. *新疆石油地质*, 22(1): 24~26.
- 付广, 梁木桂, 李乔乔. 2019. 源断砂空间匹配输导油气有效性研究. *中国矿业大学学报*, 48(3): 584~591.
- 付广, 范晨铄, 梁木桂. 2023a. 上覆不同储盖组合油源断裂输导油气时期厘定方法及其应用. *天然气地球科学*, 34(1): 15~22.
- 付广, 卢德根, 梁木桂, 王宏伟. 2023b. 断盖配置封闭油气时期预测方法及其应用. *大庆石油地质与开发*, 42(3): 40~47.
- 付广, 谢继红, 梁木桂. 2023c. 油源断裂向上输导油气最大距离分布部位预测方法及其应用. *地质科学*, 58(4): 1242~1254.
- 付晓飞, 李坤, 董柔, 李金库. 2021. 断层封闭性研究综述. *能源技术与管理*, 46(3): 24~26.
- 付晓飞, 吕丁友, 黄江波, 王改卫, 孟令东, 王海学, 贾茹. 2022. 断裂—盖层耦合封闭机理及断层圈闭油气聚集模式. *天然气工业*, 42(3): 21~28.
- 高伟中, 谭思哲, 田超, 高顺莉, 孙鹏. 2019. 西湖凹陷中央反转构造带圈闭油气充满足差异性原因分析. *中国海上油气*, 31(3): 20~28.
- 官伟, 刘池洋, 彭光荣, 黄雷, 宋立军, 梁超, 李鑫, 张丽丽, 李洪博, 吴哲, 马云杰. 2024. 珠江口盆地白云凹陷周缘凸起成因差异及意义. *地质学报*, 99(5): 1538~1553.
- 韩云浩, 姜振学, 张志遥, 朱光有. 2023. 含油气盆地超高油气柱形成的有利地质条件. *岩性油气藏*, 35(2): 125~135.
- 李丕龙, 张善文, 宋国奇, 肖焕钦, 王永诗. 2004. 断陷盆地隐蔽油气藏形成机制——以渤海湾盆地济阳凹陷为例. *石油实验地质*, (1): 3~10.
- 刘池洋, 黄雷, 赵俊峰, 王建强, 张东东, 赵红格, 邵德勇, 刘卫帅. 2022. 改造型盆地油气赋存-成藏理论体系纲要. *地学前缘*, 29(6): 84~108.
- 刘峻桥, 王海学, 吕延防, 孙同文, 张梦迪, 何伟, 孙永河, 张桐, 王超, 曹兰柱. 2018. 源外斜坡区顺向和反向断裂控藏差异性——以渤海湾盆地冀中坳陷文安斜坡中南部为例. *石油勘探与开发*, 45(1): 82~92.
- 龙祖烈, 陈聪, 马宁, 翟普强, 黄玉平, 石创. 2020. 珠江口盆地深水区长白云凹陷油气成因来源与成藏特征. *中国海上油气*, 32(4): 36~45.
- 罗群. 2010. 断裂控烃理论的概念、原理、模式与意义. *石油勘探与开发*, 37(3): 316~324.
- 罗晓容, 雷裕红, 张立宽, 陈瑞银, 陈占坤, 许建华, 赵健. 2012. 油气运移输导层研究及量化表征方法. *石油学报*, 33(3): 428~436.
- 马凌, 单玄龙, 向绪洪, 郝国丽, 张朋霖, 闫博, 衣健. 2024. 珠江口盆地白云凹陷裂陷期断裂活动特征与动力学机制. *吉林大学学报(地球科学版)*, 54(6): 1968~1985.
- 米立军, 张功成, 傅宁, 贺清, 马立武. 2006. 珠江口盆地白云凹陷北坡—番禺低隆起油气来源及成藏分析. *中国海上油气*, (3): 161~168.
- 庞雄, 郑金云, 任建业, 王福国, 颜晖, 孙辉, 柳保军. 2022. 南海北部陆缘超伸展区白云凹陷断陷结构演化与岩浆作用. *地球科学*, 47(7): 2303~2316.
- 施和生, 吴建耀, 朱俊章, 秦成岗, 王飞宇, 朱丹. 2007. 应用定量荧光技术判识番禺低隆起—白云凹陷北坡残余油藏并重构烃类充注史. *中国海上油气*, (3): 149~153.
- 施和生, 秦成岗, 高鹏, 张忠涛, 朱俊章, 赵仁永. 2008. 珠江口盆地番禺低隆起—白云凹陷北坡天然气晚期成藏特征. *中国海上油气*, (2): 73~76.
- 孙永河, 付晓飞, 吕延防, 付广, 阎冬. 2007. 地震泵抽吸作用与油气运聚成藏物理模拟. *吉林大学学报(地球科学版)*, 37(1): 98~104, 111.
- 吴智平, 陈伟, 薛雁, 宋国奇, 刘惠民. 2010. 断裂带的结构特征及其对油气的输导和封堵性. *地质学报*, 84(4): 570~578.
- 谢志远, 杨建民, 孙龙涛, 郑金云, 孙珍, 邱宁. 2017. 南海北缘白云凹陷北坡裂后断裂活动特征及构造沉积响应. *热带海洋学报*, 36(5): 59~71.
- 杨建民. 2013. 南海北部陆坡深水区断裂系统发育演化模式——以白云凹陷为例. *中国地质大学硕士学位论文*.
- 杨珀, 杨胜来, 马朋朋, 韩晶, 陈继成, 袁世权. 2023. 上覆储盖组合油源断裂运聚油气部位预测方法及其应用. *大庆石油地质与开发*, 42(6): 42~49.
- 于水明, 梅廉夫, 施和生, 秦成岗, 汤济广. 2007. 番禺低隆起—白云凹陷北坡超晚期天然气成藏特征. *天然气工业*, (4): 7~9.
- 曾溅辉, 张善文, 邱楠生, 姜振学. 2003. 东营凹陷岩性圈闭油气充满足及其主控因素. *石油与天然气地质*, (3): 219~222.
- 翟普强, 朱俊章. 2015. 白云深水区高地温背景油气成藏综合分析. 第十七届中国科协年会——南海深水油气勘探开发技术研讨会. 中国广东广州, 10.
- 张功成, 米立军, 吴时国, 陶维祥, 何仕斌, 吕建军. 2007. 深水区——南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域. *石油学报*, (2): 15~21.
- 张立宽, 罗晓容, 宋国奇, 郝雪峰, 邱桂强, 宋成鹏, 雷裕红, 向立宏, 刘克奇, 解玉宝. 2013. 油气运移过程中断层启闭性的量化表征参数评价. *石油学报*, 34(1): 92~100.
- 张万选. 1981. 论油、气藏的分类及中国油、气藏的主要类型. *石油学报*, (3): 1~11.
- 张向涛, 李军, 向绪洪, 赵靖舟. 2022. 珠江口盆地深水区白云凹陷超压成因机制及其勘探意义. *石油学报*, 43(1): 41~57.
- 张远泽, 漆家福, 吴景富. 2019. 南海北部新生代盆地断裂系统及构造动力学影响因素. *地球科学*, 44(2): 603~625.
- 张忠涛, 王卓超, 陈聪, 吴哲, 陈淑慧, 翟普强. 2023. 南海北部深水区白云凹陷中深层油气成藏过程初探. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 38(2): 43~52.
- 朱焕来, 陈岩, 王卫学, 付广, 宫江萍. 2022. 油源断裂伴生圈闭形成时期厘定方法及其应用. *特种油气藏*, 29(4): 30~37.

Control of faults on hydrocarbon migration and accumulation of the north slope of Baiyun sag in the Pearl River Mouth basin

JI Ruiyun^{1,2)}, QIU Nansheng^{*1,2)}, CHANG Jian^{1,2)}, WANG Xudong^{1,2,3,4)},
CHEN Cong^{3,4)}, LI Kongsen^{3,4)}, CHEN Ran^{1,2)}

1) *Collage of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China;*

2) *State Key Laboratory of Petroleum Resources and Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China;*

3) *Shenzhen Branch of CNOOC (China) Co. Ltd., Shenzhen, Guangdong 518054, China;*

4) *CNOOC Deepwater Development, Shenzhen, Guangdong 518054, China*

** Corresponding author: qiunsh@cup.edu.cn*

Abstract

The hydrocarbon distribution in the north slope of Baiyun sag in Pearl River Mouth basin gradually rises from sag to slope, and the faults control the process of hydrocarbon migration and accumulation. Based on seismic data, we classify faults and evaluate the effects of faults on hydrocarbon migration and shielding. Combined with the distribution of hydrocarbon, three fault-controlled accumulation models are established, and the process of hydrocarbon migration and accumulation in the north slope of Baiyun sag is clarified. The source faults control the vertical migration of hydrocarbon generated by the source rock in the depression area, and some hydrocarbon are accumulated in the multilayer series above the source. Key regulating faults control the migration of hydrocarbon from the Zhujiang Formation to the shallow Hanjiang Formation and Yuehai Formation. The key area for vertical regulation of oil and gas is near the P3 structure in the slope area, and the hydrocarbon in the H6 and H3 structures far from source have all been adjusted to shallow layers. Partial regulating faults in the slope control trap formation, the same fault can control the formation of multi-layer traps in the Zhujiang Formation, Hanjiang Formation and Yuehai Formation, and block the lateral migration of hydrocarbon accumulation. The hanging-wall mudstone of the reverse fault is connected with the foothill sandstone, and the sealing works well. Through the fault-control models and reservoir characteristics, it is concluded that P3 and H5 Zhujiang Formation reservoirs in the north slope of Baiyun sag have the characteristics of dynamic accumulation and dispersion, and hydrocarbon charging and vertical fracture leakage were carried out simultaneously in the late stage of accumulation. Finally, the reservoir formation model of effective hydrocarbon expulsion, regulating fault controlling shallow gas migration and accumulation, and reverse fault blocking accumulation in the north slope of Baiyun sag were established.

Key words: the north slope of Baiyun sag; distribution of hydrocarbon; fault-controlled accumulation; hydrocarbon migration and accumulation