

李胜勇, 胡林, 甘军, 等. 琼东南盆地深水区陵南低凸起古潜山油气成藏条件[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(7): 68-75.

琼东南盆地深水区陵南低凸起古潜山油气成藏条件

李胜勇^{1,2}, 胡林^{1,2}, 甘军^{1,2}, 吴其林^{3*}, 李夏露^{1,2}, 李明^{1,2}, 陈奎^{1,2}, 李凤霞^{1,2}, 郑飞^{1,2}

(1 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 湛江 524057; 2 中海石油(中国)有限公司海南分公司, 海口 570100;

3 广东石油化工学院石油工程学院, 广东茂名 525000)

摘要:基于琼东南盆地深水区砂岩储层整体欠发育这一地质背景,综合评价了陵南低凸起古潜山领域油气成藏地质条件,并对该区的成藏模式与特征进行了预测和讨论。研究表明,陵南低凸起古潜山由邻近的乐东-陵水富生烃凹陷供烃,被成熟烃源岩包围,具有中生界花岗岩潜山储层与新近系厚层海相泥岩构成的储盖组合,发育大型沟源断裂及与之配置较好的大型继承性构造脊等构成畅通的运聚系统,具有源储压差大、近源直接充注的优势。相较已获勘探成功的松南低凸起古潜山油气藏,其成藏条件更为优越,成藏模式与越南白虎大型古潜山油田和渤海渤中 19-6 大型古潜山凝析气田具有一定的可类比性。陵南低凸起的石油地质条件切合琼东南盆地深水区“富泥贫砂”的地质背景,可形成大规模、连片性古潜山油气藏,是琼东南盆地中央峡谷水道领域之外又一有利的深水油气勘探新领域。

关键词:陵南低凸起; 古潜山油气藏; 油气成藏条件; 深水油气勘探; 琼东南盆地

中图分类号:P744.4; P618.13

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2021.098

0 引言

琼东南盆地是南海北部重要的天然气勘探主战场,在此发现了中国海上对外合作勘探的首个浅水大气田与自营勘探首个深水大气田,但随着成熟领域勘探程度的不断增加,大中型油气田勘探发现的难度越来越大,因此,必须开发新区、新领域,确保油气勘探的可持续发展^[1]。近年来,松南低凸起中生界花岗岩潜山首次取得勘探突破,拓展了琼东南盆地的勘探层系,成功实现了由碎屑岩勘探向古潜山勘探的转型^[2]。陵南低凸起与松南低凸起具有相似的成藏背景,但目前涉及陵南低凸起的相关文献主要集中在新生界碎屑岩领域^[3-4],针对基岩潜山

成藏条件的相关研究还鲜有报道。鉴此,笔者根据琼东南盆地油气地质条件,综合分析了陵南低凸起古潜山油气藏形成条件,预测其可能具有千亿立方米油气储量规模,有望成为琼东南盆地油气储量新的增长领域,这对该区油气储量的接替及可持续发展等,均具有重要的勘探意义与现实的经济意义。

1 地质背景

陵南低凸起位于琼东南盆地南部隆起带西北侧,中央坳陷带乐东-陵水凹陷南部(图 1),海水深度分布在 1 000~1 600 m 的深水区域,面积约 3 500 km²。该区勘探起步较晚,勘探程度较低。2010 年合作勘探由 B 公司在陵南低凸起钻探首口探井 LS33a 井,钻探显示该区新生界以富泥地层为主,储层欠发育,运移条件较差,本地烃源岩成熟度较低^[5-6],推测大规模成藏难度较大,遂转至中央坳陷针对中央峡谷水道进行勘探,之后多年该区未有勘探投入。

陵南低凸起新生界地层碎屑岩储层欠发育,有经济价值的构造或岩性圈闭较少,但前古近系基岩古潜山构造较多(图 2),且多为背斜圈闭,构造成群成带分布,其中西北侧近洼潜山构造带由于邻近乐

收稿日期: 2021-04-14

资助项目: 广东省普通高校特色创新项目“南海北部深水块体流沉积(MTDs)特征及其对浊流储层的影响”(2020KTSCX084); 广东省自然科学基金“高阶煤储层煤层气跨尺度传质提效机理及方法研究”(2019A1515012235)

作者简介: 李胜勇(1986—),男,硕士,工程师,主要从事油气勘探综合地质研究工作。E-mail: lishy10@cnooc.com.cn

* 通讯作者: 吴其林(1982—),男,博士,副教授,主要从事海洋地质学、地震沉积学相关教研工作。E-mail: 86800051@qq.com

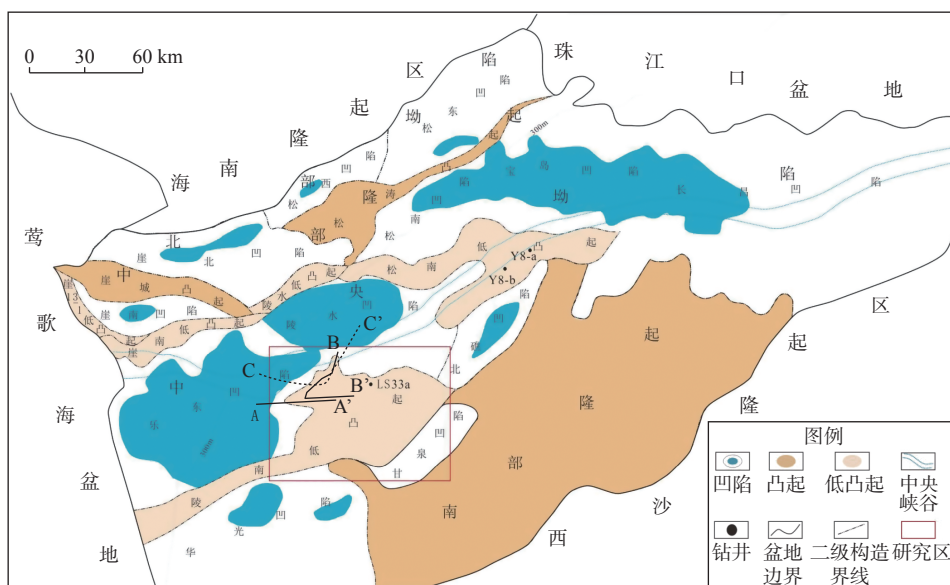


图 1 琼东南盆地构造单元构成及研究区分布位置

Fig.1 Tectonic division of the Qiongdongnan Basin and the location of study area

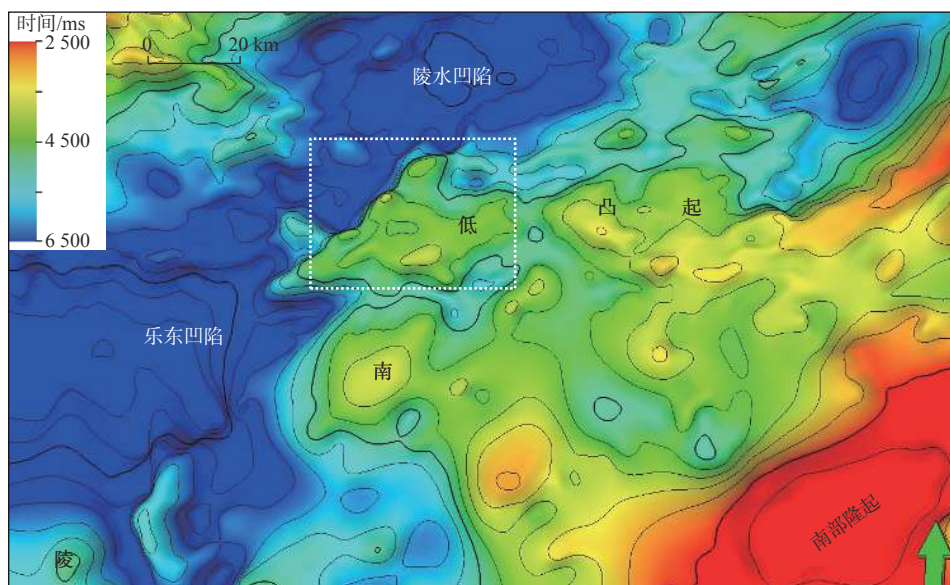


图 2 陵南低凸起及周缘基底古潜山特征三维显示

Fig.2 Three dimensional diagram of buried-hills on the Lingnan Low Uplift and peripheral basement

东-陵水富生烃凹陷, 烃源岩与基岩潜山直接接触, 运聚成藏条件最为优越。陵南低凸起古潜山构造数量多、规模大, 具有较好的领域勘探价值, 但受传统勘探思路制约, 长期未对该区潜山进行深入研究, 直到 2018—2019 年松南低凸起 Y8 井区基岩潜山的成功钻探与高产测试^[1-2], 才引起人们对琼东南潜山勘探的重视。Y8 区的成功首次证实了琼东南盆地花岗岩古潜山发育优质产层, 丰富了本区储层类型与成藏层系, 提升了琼东南盆地基岩潜山的勘探价值。陵南低凸起独特的区位优势 and 成藏背景有利于基岩潜山规模成藏, 相较已经取得初步成功的

松南低凸起古潜山油气藏,其成藏条件更为优越,有望在古潜山领域取得更大勘探成果。

2 油气成藏条件

2.1 烃源条件

从大的地质背景看,陵南低凸起多凹环抱,周缘发育乐东凹陷、陵水凹陷、北礁凹陷、甘泉凹陷、华光凹陷等多个生烃凹陷,整体具有“凹中隆”的构造特征,地理位置优越。其中乐东-陵水凹陷面积大、

埋藏深, 凹陷主体埋深 8~12 km, 烃源岩厚度大, 成熟烃源岩分布广。横跨乐东-陵水凹陷的中央峡谷水道已发现超过 2 000 亿 m^3 天然气^[7], 是已证实的富生烃凹陷。

乐东-陵水凹陷由于埋深较大, 没有直接钻遇烃源岩地层。根据已钻井研究认为, 崖城组陆源海相烃源岩为乐东-陵水凹陷主要烃源岩, 有机质类型为 II₂-III 型, 以生气为主, 凝析油生成量也较多^[8-9]; 陵水组下部海相泥岩也具有一定生烃能力, 为次要烃源岩。实验分析与盆地模拟显示, 位于陵南低凸起之上埋深相对较浅的 LS33a 井区崖城组烃源岩热演化程度已进入成熟阶段, 研究区烃源岩成熟度随埋深增大而增加, 埋藏更深的乐东-陵水凹陷崖城组主力烃源岩已处于高成熟-过成熟阶段, 整体处于生气窗内。油气资源评估显示, 乐东-陵水凹陷天然气资源规模大, 为琼东南盆地 I 类生烃凹陷^[10-12]。乐东-陵水凹陷烃源基础雄厚, 但深水勘探层系主要集中在中新统峡谷水道与海底扇, 少量在崖城组扇三角洲, 勘探目的层相对单一, 整体勘探程度较低, 目前仅发现陵水 25、陵水 17 等少量商业气田, 储量探明率较低, 剩余勘探潜力较大, 烃源供给充足。

2.2 储层特征及成因

琼东南盆地海侵较早, 各个凹陷在早渐新世开始连通接受区域广布的海相沉积, 中央坳陷逐渐从滨浅海向深海演变^[5-6]。由于琼东南盆地周缘无继承性大河流域, 外部物源供给有限, 使得大量粗碎屑主要分布在靠近大陆边缘的北部坳陷及其周缘, 远离物源的中央坳陷与陵南低凸起仅在早渐新世短暂接受了近源扇三角洲沉积。之后的沉积物粒度普遍较细, 以富泥地层为主, 仅局部发育深海重力流沉积, 以中新统海底扇与峡谷水道砂岩为代表^[7], 整体表现为“富泥贫砂”的地层特征。砂岩储集体类型单一、储层整体欠发育这一现状严重制约了琼东南盆地深水油气的勘探进程与储量发现, 中生界基岩古潜山储集体是碎屑岩储层的有效补充, 且由于常规砂岩储集体的欠发育进一步增加了古潜山这一非常规储集体类型的勘探价值。事实上, 前期已有钻井证实, 琼东南盆地基岩发育孔缝, 具有储集油气的能力, 只是在基岩井段没有油气发现, 没有引起足够的重视和系统研究。

前人研究认为, 琼东南盆地所在的琼台地块属于华夏古陆的一部分^[13], 盆地基岩经历了以下演化

过程: 前震旦纪主要为区域性的结晶基底, 到早古生代接受浅海相-半深海相沉积, 晚古生代与中生代主要为隆起和剥蚀区, 以陆相沉积或无沉积为主, 只有零星的火山作用; 因此, 理论上琼东南盆地的基底应该以古生代沉积岩或变质岩为主^[14-15], 局部发育中生代岩浆岩, 但实际钻探显示, 琼东南盆地基底岩性主要为中生代岩浆岩, 并以花岗岩为主, 其中, 陵南和松南低凸起以印支期花岗岩为主^[1, 16], 崖城和松涛凸起以燕山期花岗岩和安山岩为主, 反映中生代岩浆活动的规模与强度比预期更大更强烈, 分布范围更广。花岗岩基岩潜山由于长英质矿物含量较高, 经风化淋滤或构造作用较易形成优良储层, 越南白虎油田和渤海渤中 19-6 凝析气田即为其典型代表, 发育孔隙型和裂缝性储层, 潜山油气垂向产层厚度均 > 1 000 m^[17-19], 远大于碎屑岩储层厚度。琼东南盆地松南低凸起 Y8 区基岩潜山钻遇厚逾百米的优质气层, 地层测试日产超百万立方米天然气^[1-2], 证实本区中生界花岗岩潜山也发育优质高产储层。新的成藏层系与储盖组合的发现, 有效缓解了琼东南盆地深水区“缺砂”的地质疑难问题, 开启了勘探新局面, 增强了陵南低凸起基岩潜山勘探的信心。

陵南低凸起上 LS33a 井崖城组岩屑锆石测年数据间接反映基岩剥蚀区母岩的地质年代以印支期为主^[16], 其次为燕山期, 古生代或前震旦纪基岩的比例很低。陵南斜坡带钻遇的基底岩性为花岗岩, 其锆石测年数据显示为中生代印支期花岗岩, 据此推测陵南低凸起基岩潜山主要为印支期花岗岩, 与松南低凸起优质高产潜山在储层发育演化方面具有较好的可比性。

潜山的储集空间主要为风化淋滤形成的“孔”、风化和构造作用形成的“缝”以及后期溶蚀作用等成岩改造产生的孔缝^[17-19]。陵南低凸起近洼前排基岩潜山上覆地层不发育崖城组, 直到早中新世之后才全部被掩埋覆盖, 风化暴露时间长。根据不同岩性风化壳厚度与风化时间关系的研究显示, 研究区中生界花岗岩潜山风化暴露时间已超过花岗岩风化平衡所需时间, 理论上风化壳最厚可达 500 m^[20-21]; 同时花岗岩作为深层侵入冷凝固结的岩浆岩, 自身经历了高温高压的淬炼, 抗压强度大, 储层物性基本不受埋深影响, 加上微裂隙的发育, 其孔隙度下限通常较低^[22], 这也是花岗岩潜山储层的优势。陵南低凸起 Y8 区潜山测试高产的经验显示, 优质高产的潜山储层除了厚层孔隙型的风化壳储层之外,

更需要多期构造应力作用形成的裂缝性储层^[1,23], 这样才能不断突破风化带的约束, 纵向上在潜山深层内幕不断增加储层的厚度, 创造大中型油气田的基本条件。陵南低凸起断层较为发育, 受新生代成盆期与渐新世两期构造运动影响, 潜山被切割成块, 尤其是陵南低凸起近洼区(图 2 虚线标识范围)古

潜山构造带断层更为发育, 其整体上是受 NE 向与 EW 向 2 组断层夹持的垒块, 内部发育多条近 EW 向与 NW 向断层(图 3), 不同应力方向的断层叠加易形成网状缝, 既可作油气垂向运移的通道, 也可作为潜山内部的有效储层。

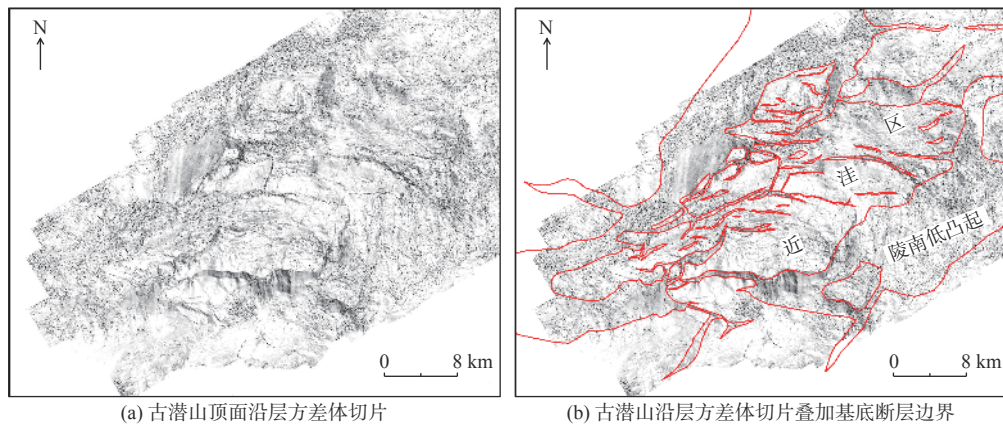


图 3 陵南低凸起近洼区古潜山顶面沿层方差体切片与基底断层分布特征

Fig.3 Distribution patterns of anorthosite slices and basement faults along the top of buried-hills on Lingnan Low Uplift near depression

陵南低凸起热流值介于 $70 \sim 80 \text{ mW/m}^2$, 高于陆架浅水区与中央坳陷^[24-25], 加上该区局部发育热液底辟现象, 指示该区热流体活动频繁, 热液溶蚀作用可进一步改善潜山储层。在宏观尺度上, 陵南低凸起中生界花岗岩潜山地震反射特征也具有一

定异常响应特征(图 4), 与基岩深部杂乱至空白的弱反射不同, 潜山构造带上部呈中强振幅、中—低频的反射特征, 纵向上具有类似分层的现象, 这是由于风化程度与裂缝发育程度有所差异造成, 推测潜山上部发育优质储层的可能性较大。

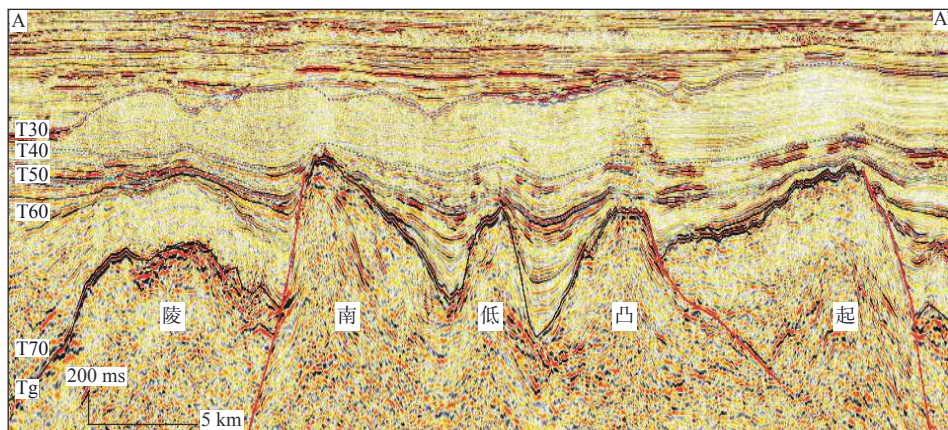


图 4 陵南低凸起中生界古潜山典型地震剖面特征

Fig.4 A typical seismic profile through the Mesozoic buried-hills on Lingnan Low Uplift

2.3 储盖组合

整体来看, 陵南低凸起中生界花岗岩潜山风化暴露时间长, 经历多期构造应力作用, 客观上具有良好的储层发育条件, 且潜山规模大、储层物性受埋深压实作用小, 是琼东南盆地深水“富泥贫砂”

地质背景下理想的新储集体类型; 陵南低凸起上覆发育巨厚的、区域稳定分布的浅海-深海相泥岩, 直接泥岩盖层厚 $2\,000 \sim 3\,400 \text{ m}$, 且上覆泥岩具有一定异常超压, 压力系数达 $1.2 \sim 1.8$ ^[26-28], 可作为优质盖层, 使得中生界花岗岩潜山与新生界厚层海相泥岩形成良好的储盖组合, 这也是陵南低凸起最主要

的储盖组合。除此之外,局部发育的崖城组扇三角洲或莺歌海组海底扇与其上覆的海相泥岩形成次要的储盖组合。

2.4 油气运移通道

陵南低凸起具有“多凹环抱”的构造优势以及深水“富泥贫砂”的天然条件,使得该区花岗岩古潜山的油气运聚条件格外优越。

首先,陵南低凸起近洼区古潜山构造带北侧发育大型控凹断裂,下降盘乐东-陵水富生烃凹陷成熟烃源岩直接与潜山接触,供烃窗口超过 1 000 m (图 5),具有近源直接充注的优势,且烃源岩地层向潜山方向上倾超覆,油气运移顺畅,油气排烃后可

直接通过大型沟源断裂、潜山不整合面以及潜山内幕裂缝带垂向运移至潜山浅层聚集成藏。其次,陵南低凸起基岩潜山北侧两端发育 2 个继承性构造脊直接伸入乐东-陵水凹陷成熟供烃单元,尤其是西侧构造脊规模大、幅度缓、延伸远(图 2),有利于乐东凹陷主注油气沿潜山不整合面运聚成藏;加上乐东-陵水凹陷断层停止活动时间早,新近系断层不发育,油气只能依靠微裂隙向浅层运移,在一个“富泥贫砂”的地质背景下,相对单一的疏导方式更凸显出不整合面与基岩沟源断裂运移路径的重要性。再次,潜山周边崖城组与陵水组早期滨浅海砂岩或扇三角洲砂岩可作为良好的油气输导体协助油气侧向运移至潜山不整合面,可提升油气运聚效率。

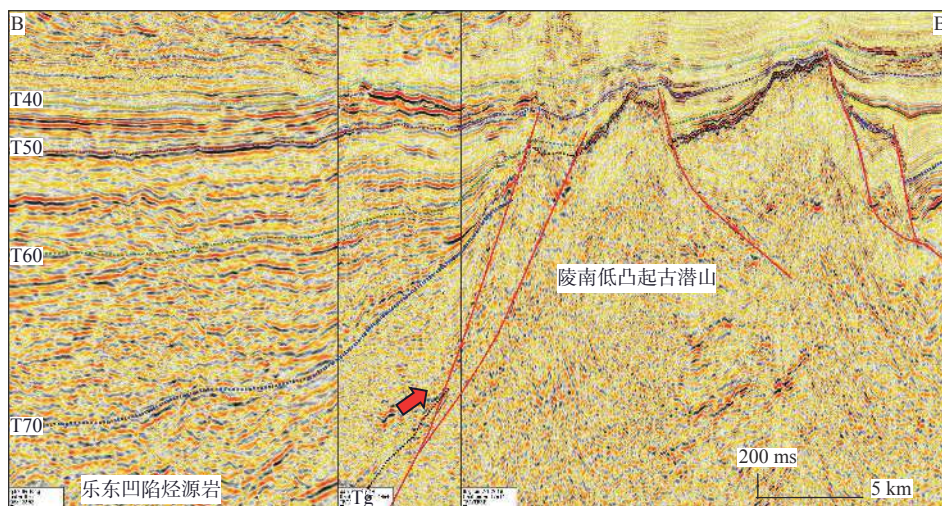


图 5 乐东凹陷崖城组烃源岩与陵南低凸起古潜山接触关系地震剖面

Fig.5 A seismic profile showing the contact relationship between source rocks of Yacheng Formation in Ledong Sag and the buried hill on Lingnan Low Uplift

陵南低凸起古潜山发育多种油气运移通道与复合型油气运移通道,加之成熟烃源岩与潜山直接接触,使得整体的油气运移通道较为畅通。

2.5 与松南低凸起潜山油气成藏条件对比

松南低凸起 Y8 区古潜山勘探已取得初步成功,各成藏条件与之对比,其结果对陵南低凸起实际勘探具有较好的参考性。相较松南低凸起离有效烃源岩较远,需要“长距离侧向运移”,陵南低凸起古潜山最大的优势在于距离已证实的乐东-陵水富生烃凹陷近,具有近源充注和垂向运移的成藏特征,在现有资料条件下,通过对比松南低凸起与陵南低凸起古潜山的成藏条件(表 1),较易形成后者油气地质条件优于前者的共识,尤其是在烃源条件、供

烃量、油气运移距离、充注强度以及盖层封盖能力等方面优势明显。

3 油气成藏模式探讨

陵南低凸起受渐新世构造抬升影响,古潜山构造数量多,既发育多个独立的小潜山构造,也存在与崖城组扇三角洲或浅层莺歌海组海底扇叠合的多目的层构造;同时,由于圈闭成群成带分布,多个孤立的小潜山还可联合而成大潜山构造,如本文着重强调的近洼区前排古潜山大构造面积 $>600\text{ km}^2$,构造幅度 $>1\,700\text{ m}$,潜在资源量 $>3\,000\text{ 亿 m}^3$ ^[29]。一旦勘探成功还可拓展周缘类似的潜山勘探。陵南低凸起古潜山整体勘探潜力超过 $5\,000\text{ 亿 m}^3$ ^[29],

表 1 陵南低凸起古潜山与松南低凸起古潜山油气成藏条件对比

Table 1 Comparison of hydrocarbon accumulation conditions between Lingnan Low Uplift buried-hills and Songnan Low Uplift buried-hills

成藏条件	陵南低凸起(近洼区)	松南低凸起(Y8区)
烃源条件	多凹环抱, 已证实富生烃凹陷(乐东-陵水凹陷), 供烃量超 10 000 亿m ³	多凹环抱, 供烃量超 5 000 亿m ³
运聚条件	超压顶界面埋深浅, 源储压差大, 近源(0~20 km), 垂向充注为主, 发育大型构造脊, 供烃窗口超 1 000 m	超压顶界面埋深较深, 源储压差相对较小, 远距离侧向运移成藏(28~45 km), 砂岩输导体较发育
储层条件	印支期花岗岩为主, 风化暴露至中新世, 多期构造活动	印支期花岗岩为主, 风化暴露至中新世, 多期构造活动
盖层条件	2 000~3 400 m 泥岩, 超压盖层	600~1 200 m 泥岩, 常压盖层

勘探潜力大, 领域意义明显。陵南低凸起潜山构造以背斜圈闭为主, 邻近中央峡谷水道领域的陵水 25、陵水 17 气田, 勘探成功后既可联合开发也可独立开采, 经济前景较为广阔。但基岩古潜山由于储层非均质性强、隔夹层更发育, 加之运聚成藏特征与碎屑岩也有所差别, 油气藏模式较常规砂岩储集体更为复杂, “上干下油型”甚至“上水下油型”^[30]也并不鲜见, 会给勘探带来更多困难与挑战。笔者结合陵南低凸起地质特征对该区成藏模式进行分析和预测, 以期降低油气成藏认识的不确定性, 为实际勘探提供参考。

陵南低凸起古潜山虽然整体属于同一构造领域, 但不同构造带供烃凹陷及其烃源条件有所差异, 其中北侧近洼潜山构造带紧邻已证实的乐东-陵水富生烃凹陷, 成藏条件最优。根据乐东凹陷与陵水凹陷供烃单元的差异, 近洼潜山构造带不同圈闭又分属不同的含油气系统, 其成藏模式也略有差异。具体表现为西北侧潜山圈闭由乐东凹陷供烃, 以“源内砂岩输导体+大型构造脊+潜山不整合面”复

合运聚成藏为主; 北侧潜山圈闭由乐东-陵水凹陷结合部供烃, 以“沟源断裂+潜山内幕裂缝”垂向运移为主; 东北侧潜山圈闭由陵水凹陷供烃, 以“源内砂岩输导体+小型构造脊+潜山不整合面”复合运聚成藏为主(图 6)。

陵南低凸起近洼潜山构造带上覆地层不发育砂岩储集体, 砂体主要分布在断层下降盘的生烃凹陷边缘, 仅作为油气输导体有利于潜山油气运聚与规模成藏; 同时由于陵南低凸起基岩潜山与乐东-陵水凹陷崖城组烃源岩对接面积与厚度均较大, 无论是大型构造脊还是沟源断裂运移通道, 油气“近源充注+垂向运移”将是陵南低凸起潜山运聚成藏的主要特征, 这也是与松南低凸起潜山“远距离+侧向运移”成藏的最大区别和优势。

乐东-陵水凹陷地层超压广布, 陵水组顶面压力系数约为 1.8~2.2, 往深层异常压力具有增大的趋势, 烃源岩层段崖城组顶面压力系数多在 2.0 以上^[26-28], 乐东凹陷较陵水凹陷压力系数更大, 异常压力顶部地层埋藏更浅, 而理论上花岗岩潜山不发

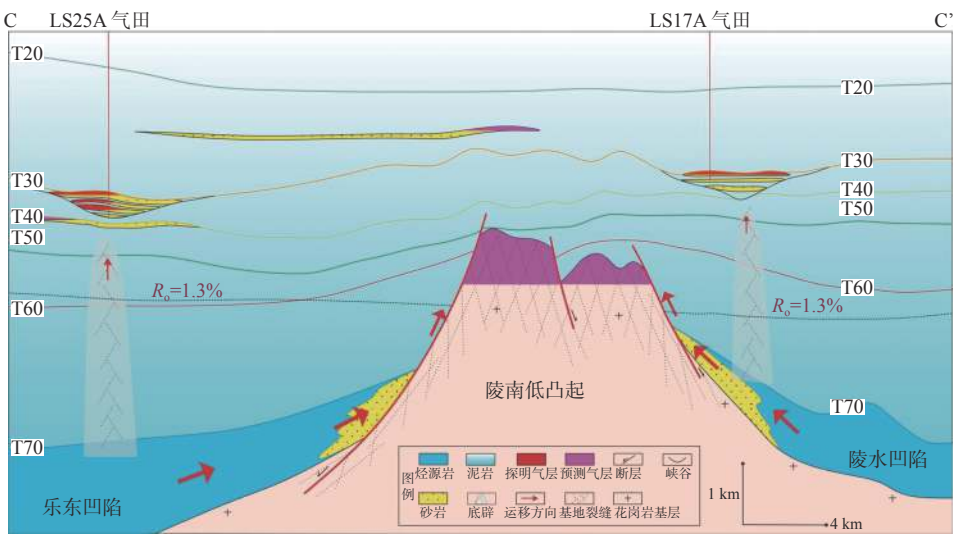


图 6 陵南低凸起近洼区古潜山构造带油气运聚成藏地质模式

Fig.6 Geological model of hydrocarbon migration and accumulation in buried hill structural belt of Lingnan Low Uplift near depression

育超压,因此,潜山构造带为良好的泄压区,超压烃源对接常压潜山,源储压差大,成藏动力强。由于陵南低凸起古潜山圈闭形成时间早,在早中新世多数圈闭已基本形成,至中中新世早期已全部形成并定型,而乐东-陵水凹陷主要发育陵水组沉积晚期至三亚组早期和梅山组沉积晚期持续至今2期生排烃高峰^[10-12],因此,研究区可持续接受油气的充注,加上该区发育2 000~3 400 m厚的深海相泥岩盖层,没有后期断层破坏,圈闭保存条件好,相较常压盖层,该区超压泥岩盖层进一步增强了封盖能力,有利于形成大型油气藏。

综上,陵南低凸起古潜山由富生烃凹陷供烃,被成熟烃源岩包围,发育中生界花岗岩潜山与新近系厚层海相泥岩储盖组合,源储压差大,既发育大型沟源断裂也发育大型继承性构造脊,运移路径畅通,具有近源直接充注的优势,成藏动力强,超压盖层配置优,在成藏模式上与越南白虎油田和渤海渤中19-6大型凝析气田具有一定的可比性^[1,21](图6),成藏条件可谓得天独厚。

4 结论

(1)陵南低凸起中生界花岗岩潜山风化暴露时间长,至中中新世才完全淹没至水下,并受多期构造应力作用,断层较为发育,理论上可形成较厚的风化壳储层与内幕裂缝型储层,弥补了琼东南盆地深水“富泥贫砂”地质条件的不足,同时,花岗岩古潜山具有受埋深压实影响小、储层厚度大的优势,是碎屑岩储层之外的新的大型有利储集体类型。

(2)陵南低凸起紧邻乐东-陵水富生烃凹陷,古潜山构造数量多、规模大、储盖组合配置好,源储压差大,发育畅通的油气运聚系统,整体具有“近源充注+垂向运移”的成藏特征,相较松南低凸起Y8区古潜山油气藏具有运移距离近的优势,可形成大规模、连片性古潜山油气藏,是琼东南盆地中央峡谷水道领域之外又一有利的深水油气勘探新领域。

参考文献:

- [1] 谢玉洪,高阳东.中国海油近期国内勘探进展与勘探方向[J].中国石油勘探,2020,25(1):20-21.
- [2] 施和生,杨计海,张迎朝,等.琼东南盆地地质认识创新与深水领域天然气勘探重大突破[J].中国石油勘探,2019,24(6):691-698.
- [3] 张功成,米立军,吴景富,等.凸起及其倾没端:琼东南盆地深水大中小型油气田有利勘探方向[J].中国海上油气,2010,22(6):360-368.
- [4] 郭明刚,苟再辉,孙志鹏,等.南海北部琼东南盆地深水陵水凹陷南部油气成藏条件[J].海相油气地质,2016,21(4):34-42.
- [5] 张伟,何家雄,李晓唐,等.南海北部大陆边缘琼东南盆地含油气系统[J].地球科学与环境学报,2015,37(5):80-92.
- [6] 李娜,翟世奎,刘新宇,等.琼东南盆地深水LS33-1-1井钻井岩心微量元素地球化学特征及其沉积环境[J].海洋地质与第四纪地质,2014,34(3):1-12.
- [7] 王振峰,孙志鹏,张迎朝,等.南海北部琼东南盆地深水中央峡谷大气田分布与成藏规律[J].中国石油勘探,2016,21(4):54-64.
- [8] 张功成,曾清波,苏龙,等.琼东南盆地深水陵水17-2大气田成藏机理[J].石油学报,2016,37(增刊1):31-46.
- [9] 黄合庭,黄保家,黄义文,等.南海西部深水大气田凝析油成因与油气成藏机制[J].石油勘探与开发,2017,44(3):380-387.
- [10] 甘军,张迎朝,梁刚,等.琼东南盆地深水烃源岩沉积模式及差异热演化[J].地球科学,2019,44(8):2627-2635.
- [11] 徐新德,张迎朝,梁刚,等.南海北部琼东南盆地深水烃源条件及天然气成藏机制[J].天然气地球科学,2016,27(11):1985-1992.
- [12] 李金帅,李贤庆,王元,等.琼东南盆地深水烃源岩地球化学特征和生烃潜力评价[J].矿业科学学报,2021,6(2):166-175.
- [13] 张功成,王璞珺,吴景富,等.边缘海构造旋回:南海演化的新模式[J].地学前缘,2015,22(3):27-37.
- [14] 鲁宝亮,王璞珺,张功成,等.南海北部陆缘盆地基底结构及其油气勘探意义[J].石油学报,2011,32(4):580-587.
- [15] 孙晓猛,张旭庆,张功成,等.南海北部新生代盆地基底结构及构造属性[J].中国科学:地球科学,2014,44(6):1312-1323.
- [16] 修淳,翟世奎,霍素霞,等.琼东南盆地陵南低凸起崖城组沉积物源的地球化学与碎屑锆石U-Pb年龄记录[J].矿物岩石地球化学通报,2018,37(6):1102-1113.
- [17] 龚再生.继续勘探中国近海盆地花岗岩储层油气藏[J].中国海上油气,2010,22(4):213-220.
- [18] 朱文森,王清斌,杨波,等.大型花岗岩潜山储层特征及油藏模式研究[C]//中国地质学会2013年学术年会摘要汇编.2013.
- [19] 施和生,王清斌,王军,等.渤中凹陷深层渤中19-6构造大型凝析气田的发现及勘探意义[J].中国石油勘探,2019,24(1):36-45.
- [20] 侯连华,罗霞,王京红,等.火山岩风化壳及油气地质意义:以新疆北部石炭系火山岩风化壳为例[J].石油勘探与开发,2013,40(3):257-274.
- [21] 李富恒,侯连华,石磊,等.花岗岩油气藏成藏富集因素[J].岩性油气藏,2017,29(1):81-89.
- [22] 毛治国,朱如凯,王京红,等.中国沉积盆地火山岩储层特征与油气聚集[J].特种油气藏,2015,22(5):1-9.
- [23] 宋爱学,杨计海,杨金海,等.南海西部深水潜山储层分带特征与有利储层预测[J].中国海上油气,2020,32(6):54-63.
- [24] 施小斌,于传海,陈梅,等.南海北部陆缘热流变化特征及其影响因素分析[J].地学前缘,2017,24(3):56-64.
- [25] 何家雄,李福元,王后金,等.南海北部大陆边缘深水盆地成因机制与油气资源效应[J].海洋地质前沿,2020,36(3):1-11.
- [26] 翟普强,陈红汉,谢玉洪,等.琼东南盆地深水超压演化与油气运移模拟[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(10):4187-4201.

- [27] 王子嵩, 刘震, 王振峰, 等. 琼东南盆地深水区中央坳陷带异常压力分布特征[J]. *地球学报*, 2014, 35(3): 355-364.
- [28] 谢玉洪, 李绪深, 徐新德, 等. 莺-琼盆地高温高压领域天然气成藏与勘探大突破[J]. *中国石油勘探*, 2016, 21(4): 19-29.
- [29] 李胜勇, 李夏露, 胡林, 等. 陵南低凸起潜山构造整体评价研究[R]. 湛江: 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 2019.
- [30] 孟卫工, 陈振岩, 李湃, 等. 潜山油气藏勘探理论与实践: 以辽河坳陷为例[J]. *石油勘探与开发*, 2009, 36(2): 136-143.

ACCUMULATION CONDITIONS OF BURIED-HILL HYDROCARBON RESERVOIRS ON THE LINGNAN LOW UPLIFT IN THE DEEP WATER AREAS OF QIONGDONGNAN BASIN

LI Shengyong^{1,2}, HU Lin^{1,2}, GAN Jun^{1,2}, WU Qilin^{3*}, LI Xialu^{1,2},
LI Ming^{1,2}, CHEN Kui^{1,2}, LI Fengxia^{1,2}, ZHENG Fei^{1,2}

(1 Zhanjiang Branch of CNOOC Limited, Zhanjiang 524057, China; 2 Hainan Branch of CNOOC Limited, Haikou 570100, China;

3 College of Petroleum Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 255000, Guangdong, China)

Abstract: Buried hill reservoirs are quite common in the deep water areas of Qiongdongnan Basin, where sandstone reservoirs are rare. This paper is specially devoted to the forming conditions and geological models of buried-hill hydrocarbon reservoirs on the Lingnan Low Uplift. By careful correlation of the oil and gas exploration results and existing problems of the Songnan Low Uplift buried-hills in Northeast China, geological conditions for buried-hill oil and gas accumulations in the Qiongdongnan basin are comprehensively evaluated by means of the reservoir forming model and its characteristics. The study shows that the buried-hill on the Lingnan Low Uplift is surrounded by matured source rocks. Hydrocarbon is supplied by the Ledong-Lingshui hydrocarbon-rich sag next to it. There is a coupled reservoir cap assemblage composed of Mesozoic granite buried-hill reservoir and Neogene thick cover of marine mudstone. There also occurs a smooth migration and accumulation system composed of large source-connected faults and large inherited structural ridges. Large pressure difference occurs between the source and storage that ensure the reservoir directly to be charged by near source oil and gas. Compared with the buried-hill reservoir on the Songnan Low Uplift, which has been successfully explored, the reservoir forming conditions are excellent in the study area. It could be compared with the large Baihu buried-hill oilfield in Vietnam and the Bozhong 19-6 buried-hill condensate gas field in the Bohai Sea. The petroleum geological conditions of the Lingnan Low Uplift, which is "rich in mud and poor in sand", may be favorable for the formation of large-scale and contiguous buried-hill oil and gas reservoirs in the deep water areas in addition to the Central Canyon of the Qiongdongnan Basin.

Key words: Lingnan Low Uplift; buried-hill reservoir; hydrocarbon accumulation conditions; deep water oil and gas exploration; Qiongdongnan Basin