

扎尔则油田及深层天然气立体开发策略研究

许 晨（中石化国际石油勘探开发有限公司，北京 100020）

摘 要：扎尔则油田位于阿尔及利亚利比亚盆地，自 1959 年投产以来已进入油田开发中后期，项目面临着可持续发展的挑战。阿尔及利亚凭借其优越的地理位置及丰富的石油天然气资源已成为欧盟主要的天然气供应国之一。本文将阿尔及利亚天然气市场为目标，立足扎尔则油田现有资产，提出纵向深层天然气立体开发策略，通过“深浅”结合、“常规非常规”关联及地面协同的方式，为海外项目的产量及效益增长点提供策略建议。

关键词：阿尔及利亚；天然气立体开发；海外油气项目合作

阿尔及利亚是非洲最大的天然气生产国和第三大石油生产国。得益于其优越的地理位置及丰富的自然资源，阿尔及利亚也成为了俄乌战争后欧盟主要的天然气供应国。近年来阿政府对外政策不断开放，旨在吸引更多外国资本进入该国油气领域。对于已进入该国油气市场的公司，除了关注现有资产的产量及效益，还需要立足现有资产发挥自身优势，扩大项目规模，加深合作。

1 目的和意义

随着世界经济从新冠疫情的影响中复苏，能源需求强劲反弹，同时俄乌战争等一系列事件对世界能源供给造成了冲击。在能源危机及绿色能源转型期间，天然气具有不可替代的重要地位：不但相较于石油及煤炭具备减碳效果，还比新能源稳定可靠，在低碳减排及绿色能源发展过程中可长期保障能源供给。

阿尔及利亚北隔地中海与欧洲相邻，是欧洲的主要天然气供应国。目前通过 TransMed 管道和 Medgaz 管道分别向意大利及西班牙出口天然气。阿尔及利亚国内天然气需求量超过 1.1 亿方/d，其将继续优先天然气国内供应以及管道出口^[1]。

考虑到国内及欧洲广阔的天然气市场需求，政府希望未来页岩气等非常规油气资源成为阿尔及利亚油气增长的关键。雪佛龙跟埃克森美孚正计划以东部盆地的非常规页岩气为目标进入阿尔及利亚油气市场^[1]。因此，伊利兹盆地深层致密气勘探与开发也成为了阿尔及利亚油气开发的重点之一。对于已经进入该国油气市场的公司来说，除了维持现有区块产量及效益外，立足现有资产开展新油气项目的收并购，是增加产量拓展业务的方法之一。同时，天然气销售一般采的长签协价机制，通过增加天然气产量，可实现稳定的收益。

以中国石化与阿尔及利亚索纳塔克国家石油公司联合运营的扎尔则油田为例，探讨对于海外项目如

何立足现有资产进行立体联合开发，获得产量及效益提升。该油田处于开发中后期，石油产量递减明显，剩余可采储量不高，但依旧存在较为庞大的义务工作量。同时现有油气藏气顶规模不大，可利用价值低。采出的伴生气因产量不足，除现场生产生活使用外，均燃烧排放上缴污染罚款。整个项目缺少新的产量及经济增长点。因此开展扎尔则油田及深层天然气立体勘探开发，通过“深浅”结合、“常规-非常规”关联、地面协同、立体开发的模式，或许可以奠定新的产量基础，找到新的效益增长点，并进一步扩大公司在阿尔及利亚业务范围，深化合作。

2 扎尔则油田及奥陶系储层地质特征及天然气资源潜力

扎尔则油田（Zarzaitine）位于阿尔及尔东南 1500km，利比亚边界附近，位于利比亚盆地（图 1），区块面积 184.41km²，目前由中国石化及阿尔及利亚国家石油公司索纳塔克联合作业。



图 1 扎尔则油田

扎尔则油田在泥盆系和石炭系共发现 14 套含油

气储层,其中油气层有8套(F4、A、F2、B4、B2、B6、B8、D4),气层有4套(F6、D0、D2、B10),致密层有2套(D6、D8),主力含油层系为泥盆系下段F4油气藏。扎尔则油田以产油为主,但随着油田开发历程,开发区域逐渐靠近油气界面,气产量逐渐上升。但目前出产天然气因产量低,除了供给现场生产生活外,均燃烧排空并需上缴污染罚款。日常生产中对于高气油比的低产井均实施关井作业,以避免产气量上升增加罚款,影响区块产量。

奥陶系资产边界包含在扎尔则油田内并向东北方向外扩,其不在扎尔则油田现有合同权益范围内。区块面积大约为150km²,主要研究层系为奥陶系及泥盆系F6。从1957年07月钻探井ZR-1井以来,19口井钻遇奥陶系,控制整个构造区域,三维地震基本全覆盖。

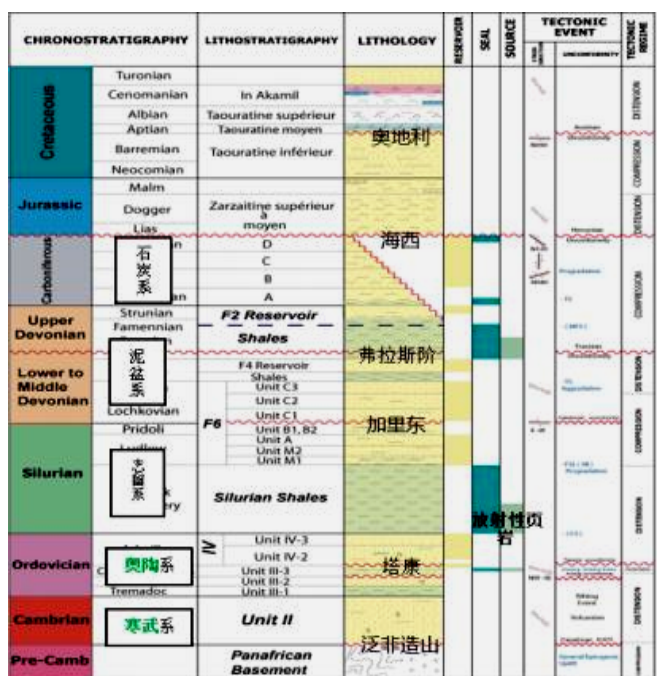


图2 伊立兹盆地油气系统综合柱状图

探井钻遇地层自下而上为前寒武系基底、寒武—奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系海相地层,石炭系以上为晚达西勒陆相沉积,钻遇地层厚度约2000m。区域内共存在三个含油气系统:下志留—寒武/奥陶;中下泥盆/上志留;石炭/上泥盆。生油岩主要为志留系和泥盆系的页岩,其中志留系黑色页岩更重要;次要或潜在源岩有奥陶系和石炭系的页岩。最主要产层和区域性储层为早志留—晚泥盆F6储集单元的砂岩,其次为早奥陶沉积中的冰河沉积砂岩和石英砂岩,此外,油气还聚集在泥盆系的F4、F3和F2储集单元。志留系的页岩是寒武和奥陶系储层的区域性盖层,海西不整合面也

是伊立兹盆地的区域性盖层(图2)。

①奥陶系地层从北向南逐渐抬升,被断层切割,形成受断层控制的断鼻构造,垂直海平面深度约1300m。研究区平均有效厚度为73.8m,平面在局部较小的范围内变化较大,部分探井垂向储层厚度累积可达108m,部分探井储层发育较差,仅27m,储层不确定性大。研究区奥陶系整体厚度较大,但物性较差,为低孔低渗砂岩气藏,平均有效孔隙度为5.5%,渗透率基本小于1mD,天然气地质储量初步评估为500至900亿方;②泥盆系F6地层为扎尔则油田未动用储层,是伊立兹盆地主要的产气层,在扎尔则区块较其他区域沉积厚度较薄,垂直海平面深度约1100m,平均有效厚度约7m,储层薄是限制该层开发的主要因素。测井结果显示,F6层从东北向西南储层厚度逐渐减薄。F6层储层物性相对较好,测井解释平均孔隙度18.9%,平均渗透率为185mD,天然气地质储量初步评估为50-100亿方;③泥盆系F4层为扎尔则油田目前主力储层,为中-高孔渗、具有气顶和边水、被断层切割的背斜过饱和油气藏。储层砂体分布比较稳定,垂直海平面深度约750m,平均有效厚度为30.9m,平均孔隙度24.2%,平均渗透率为225mD,天然气原始地质储量约为96亿方;④泥盆系F2层为扎尔则油田非主力层系,有气顶和边水的中孔中低渗碎屑岩储层。垂直海平面深度约为560m,平均有效厚度19.5m,平均孔隙度为18%,平均渗透率为45mD,天然气原始地质储量约为45亿方;⑤石炭系储层为扎尔则油田非主力层系,有气顶和边水的中孔中渗油气藏,垂直海平面深度约为280m。层系多而薄,除A小层有效厚度10m外,其余小层平均有效厚度约3m,平均孔隙度为25%,各小层平均渗透率差异明显,范围为38-500mD。天然气原始地质储量约为40亿方。

表1 储层物性参数及天然气资源潜力

层位	有效厚度	平均孔隙度	平均渗透率	原始天然气地质储量
	m	%	mD	10 ⁸ m ³
石炭系	1.8-10	25	38-500	40
F2	19.5	18	45	45
F4	30.9	24.2	225	96
F6	7	18.9	185	50-80
奥陶系	27-108	5.5	< 1	500-900
合计	/	/	/	730-1160

除奥陶系外,其余层系皆属于扎尔则油田现有合同权益内资产。扎尔则及奥陶系研究区初步评估天然气地质储量为730-1160亿方(表1),按照国内气藏储量规模评价标准,属于大于300亿方的大气藏,天然气资源潜力巨大。

3 扎尔则油田及深层天然气立体开发策略

目前扎尔则油田以 F4 油气藏产油为主, 随着开发进程伴生气产量也在逐渐增加, 但产气量较小, 未能外输出售且需上缴罚款。F6 层因储层厚度薄并未开发。而奥陶系层储层物性差, 探井测试产量差异较大, 产量范围为 23 万方/天至难以开井。目前由资源国开展勘探与开发评价工作, 计划 2025 年投入开发。不论是扎尔则油田现有储层还是奥陶系气藏, 单独进行以天然气为主要产物的开发生产都具有一定的局限性。

考虑到三组储层气体性质相似, 均为不含硫化氢的甜气, 相应的地面处理设备建设简单, 成本较低。构造位置为上下重叠的继承性构造, 可共用地面设备进行天然气立体协同开发: 常规-非常规协同、深层-浅层协同及地面设备设施协同。

目前研究认为奥陶系储层虽厚度变化范围大、储层物性差, 但在区域内存在超过百米的储层。可借鉴国内及加拿大致密气藏立体开发经验方法, 针对储层厚的区域, 利用水平井多级压裂技术进行非常规深层立体开发。理论上采用水平井多级压裂技术生产可提高产能约 3 倍, 预计优选甜点区域产量可提升至约 50 万 t/d。奥陶系埋藏深度与加拿大 Wapiti Montney 相比更浅, 且气体中不含硫化氢等酸性气体, 参考其开发方式采用水平井多级压裂立体开发方式工程造价应更低, 开发效果应更好。泥盆系 F6、F4 及 F2 和石炭系可通过常规气藏开发方式进行开发, 除了 F4 可利用现有井之外, F2 及石炭系可通过 F4 井上返进行开发, 节省钻井成本。F6 储层较薄可与奥陶系合并开发, 进行单一水平井布井。

考虑到非常规产量剖面初产高、递减快的特性, 利用构造的重叠性, 对于常规开发储层除了自身布井开发外, 可在奥陶系非常规多级压裂水平井产量下降后上返至泥盆系及石炭系进行直井常规开发, 节省投资成本。非常规致密气藏需要通过不断打井维持区块产量, 可根据后续经济评价, 合理安排常规-非常规钻井计划及上返常规开发方案。参考国内气田在现有经济技术条件下的预测最终采收率, 常规中高渗气藏最终采收率约 70%, 苏里格致密砂岩气藏最终采收率约 35%^[2], 大概估算扎尔则油田及其深层天然气最终可采约为 300-500 亿方。按照目前理论可采天然气, 可以年产量 15-25 亿方维持稳定生产近 20 年, 为项目公司带来可观的产量提升及经济效益。

4 结论及建议

奥陶系、泥盆系 F6 及 F4 储层均有天然气资源基础,

初步评估的天然气地质储量为 700-1200 亿方, 估算可采天然气气量为 300-500 亿方, 资源潜力巨大。但同时存在气藏评价不全面、资源潜力不落实的问题, 需要进一步加强地质研究, 评价落实气藏性质和规模。以“深-浅”协同、“常规-非常规”协同及共用地面设施等概念立体开发扎尔则油田及其深层的天然气: 利用非常规水平井压裂技术开发深层奥陶系致密储层及 F6 储层, 常规直井开发层位浅的 F4、F2 及石炭系储层。同时考虑到构造位置的重叠性, 奥陶系水平井可上返至 F4、F2 及石炭系进行直井段开发。此外利用气体性质相似的特点, 共用地面处理设施, 节省投资成本。未来还需进一步落实现有地面设施的可利用程度, 并确认工程造价及财税条款, 建立合理经济评价模型。

建议下一步继续就该研究区开展:

①深入地质研究, 开展地层精细描述, 落实区域常规及非常规天然气资源量; ②研究区临近 Tinrhert 凝析气藏开发项目, 需要就现有地面设施展开研究, 确认是否可以利用现有设备通过 Alrar 气站输入国家管网, 保障天然气输送销售通道; ③确认相关工程造价, 如该地区非常规压裂成本及地面设施建设等, 分析奥陶系合同财税条款, 建立经济评价模型; ④利用现有合作关系, 与阿尔及利亚政府及相关利益方开展奥陶系区块接触, 依靠现有资产及充分的区域勘探开发认识获得有利沟通谈判优势, 加深合作。

此外需要注意阿尔及利亚市场对非常规技术开发的态度。虽然目前政府对非常规页岩气寄予厚望, 但民众对环保的要求、基础设施及配套服务的缺乏、水资源短缺以及政府官僚主义作风都会对项目的经济性造成影响。需要在落实资源潜力、工程工艺方案、地面设施评价及经济可行的基础上, 依靠现有合作关系, 积极接触深化合作, 为项目带来新的业务及效益增长点。

参考文献:

- [1] Martijn Murphy, Anastasia Cooper. Maintaining the momentum: Algeria research trip key takeaways [J/OL]. WoodMackenzie.
- [2] 马新华, 何东博, 位云生, 等. 天然气提高采收率理论基础、技术方法与发展方向 [J]. 天然气工业, 2023, 43(1): 1-12.

作者简介:

许晨 (1991-), 女, 籍贯: 甘肃庆阳, 民族: 汉族, 职称: 中级, 学历: 硕士, 单位: 中石化国际石油勘探开发有限公司, 研究方向: 油气田开发。