

# 可靠技术在南海气田 SEC 储量评估中的应用

王庆帅

(中海石油(中国)有限公司 湛江分公司, 广东 湛江 524057)

**摘要:**全球各大油气公司的上市储量评估是基于 2010 年美国证券交易委员会颁布的 SEC 储量评估准则进行的。该版准则明确了可以利用“可靠技术”来扩展评估证实储量的技术类型。自准则颁布以来,中海石油(中国)有限公司不断地尝试探索“可靠技术”在天然气上市储量评估中的应用,形成了多项“可靠技术”,并逐步得到了国外第三方评估审计公司的认可。文章讨论了“可靠技术”的含义,结合国内外研究列举了“可靠技术”的披露原则及条件,通过实例展示了近年来在南海西部气田 SEC 储量评估中所使用的如利用地球物理信息确定含气范围、利用压力资料计算动用储量、平台压缩机降压提高气田开发后期采收率技术等多项可靠技术。近年来中海石油通过对“可靠技术”的合理应用,使得评估结果更加接近气田实际开发情况,保障了评估结果的客观准确以及公司储量替代率的稳定,为国内天然气田的上市储量评估提供了可参考案例。

**关键词:**上市储量评估;SEC 准则;可靠技术;上市年报;压缩机降压;动用储量

**中图分类号:**TE155

**文献标识码:**A

## Application of reliable technology in SEC reserve evaluation of South China Sea Gas Field

WANG Qingshuai

(Zhanjiang Branch Company, CNOOC, Zhanjiang, Guangdong 524057, China)

**Abstract:** Reserve assessment of major oil and gas companies around the world is based on the SEC Guidelines issued by the US Securities and Exchange Commission in 2010. This edition expanded the types of “reliable technology” that can be used to determine proved reserves. Since the publication of the guidelines, CNOOC has continuously tried to explore the application of “reliable technology” in the assessment of natural gas reserves, and has formed a number of “reliable technologies” that have gradually been recognized by third-party evaluation agencies and auditing companies. The article discusses the meaning of “reliable technology”. It combines domestic and foreign studies to enumerate the disclosure principles and conditions of “reliable technology”, and demonstrates some “reliable technology” which has been widely used in the evaluation of SEC reserves in the western South China Sea gas field in recent years, such as the use of geophysical information, the use of pressure data to calculate reserves, the installation of a platform compressor to reduce the pressure and improve the recovery technology in the late stage of gas field development. In recent years, through the application of “reliable technology”, CNOOC has made the evaluation results closer to the actual development of the gas field, which guaranteed the objectivity and accuracy of the evaluation results and the stability of the company’s reserve replacement rate. It provides a reference case for the domestic natural gas field reserve assessment.

**Key words:** reserve evaluation; SEC rule; reliable technology; annual report; compressor depressurization; dynamic reserve

为了更好地反映油气公司在勘探、开发技术方面的进步,美国证券交易委员会于 2010 年 1 月颁布了新版 SEC 准则(SEC Federal Register-Modernization of Oil and Gas Reporting)<sup>[1-2]</sup>。行业分析家和投资者等认为新版 SEC 准则充分体现了石油工业发展和进步的步伐。这些发展和进步包括:(1)用于储量评估的技术革新和进步;(2)油价频繁大幅度

的变化;(3)非传统资源变得越来越重要;(4)非美国公司的迅速增长增加了地域的多样性。该准则的存在保证了上市油气公司可以在统一的标准下开展储量评估工作<sup>[3-4]</sup>。2010 年 SEC 准则中较为明显的变化是较旧版新增了“可靠技术”(Reliable Technology)词条,允许油气公司通过更多的新方法、新技术来开展储量评估并进行登记和披露<sup>[5]</sup>。如提高

采收率技术、证实储量的流体界面确定方法等。

### 1 可靠技术的含义

SEC 准则中将“可靠技术”定义为:一种技术或者多种技术的组合(包括计算方法),同时已经在所评估地层或可类比的相似地层中经过了现场测试,测试结果应表现出合理可靠的一致性以及可重复性。其中“一致性”和“可重复性”是某项技术被判定为可靠技术的重要标准。一致性是指该技术的应用结果应该是一致可靠的;可重复性是指该技术多次计算或测量的结果需要在一个较小的计算误差内,并且多次重复的结果应该保持基本相同<sup>[6-7]</sup>。

在 SEC 准则修订版中曾经尝试对可靠技术进行过量化的表达:“可靠技术需要在实际应用中有 90% 以上的成功率”。但在修订过程中较多油气公司反映 90% 的概率较难去实际验证,因此随后 SEC 准则正式版本中取消了 90% 的界限,但仍然隐含了可靠技术需要有较高的重复成功率。

### 2 可靠技术的披露原则

为了保护投资者的权利,SEC 准则中要求上市油气公司在对外披露储量评估结果时,特别是储量增加的部分是因为某项技术的应用所导致的时候,应该对所使用的该项技术及其原理进行披露。同时为了保护知识产权,当某项“可靠技术”可能涉及到知识产权泄露时,上市公司仅需要对其进行简要的说明即可。根据 SEC 的审查机制,一项技术是否能被认定为可靠技术,需要油气公司对其进行严格的论证,并且在披露之后接受审计公司的审查。SIDLE<sup>[8]</sup>对可靠技术的论证方法结合实际案例作了明确说明,包括:(1)说明可靠技术所要解决的问题;(2)对该技术的原理进行论述;(3)进行

实例验证;(4)解释验证的结果并得出结论。

### 3 可靠技术的应用

目前中国南海西部共 5 个在生产气田,年产量超  $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,南海西部通过深入剖析研究,针对性调整挖潜,在天然气增储上产方面取得了良好成效,其中所使用的关键技术经过实际现场验证测试,有较好的应用效果。近年来,伴随着勘探理论的创新及地球物理技术的进步,在高温高压领域和深水领域接连发现了多个大中型认定商业性气田,且均在上市年报中登记披露。在多年的储量评估过程中,通过实例举证、理论分析,南海西部气田所应用的部分天然气 SEC 储量评估方法、技术已经逐步得到了美国第三方评估审计机构的认可,为天然气领域的上市储量评估奠定了良好的基础。

#### 3.1 利用地球物理信息确定含气范围

海上油气勘探有着高风险、高投入的特点<sup>[9]</sup>,在钻井成本高昂、海上作业风险大的情况下,地球物理资料在资源量评价及储量评估中的作用<sup>[10-13]</sup>就显得愈发重要。在 SEC 准则中,对于确定证实储量流体边界范围的方法有如下描述:“在计算证实储量时,按照井所钻遇的最低流体界面深度来圈定,除非有地球物理、压力等可靠技术证实本区存在更深的流体界面”。因此利用地球物理信息来对油、气、水界面进行识别,可以作为一项可靠技术来应用,但在披露时需要进行多方面的论证。

乐东 15-1 气田位于莺歌海盆地中央泥底辟背斜构造带,该气田呈穹隆背斜形态,该背斜被一系列放射状断层分割成多个断块,每个断块多呈扇形,上下构造形态具有一致性<sup>[14]</sup>。II 气组是该气田主力气组(图 1)。

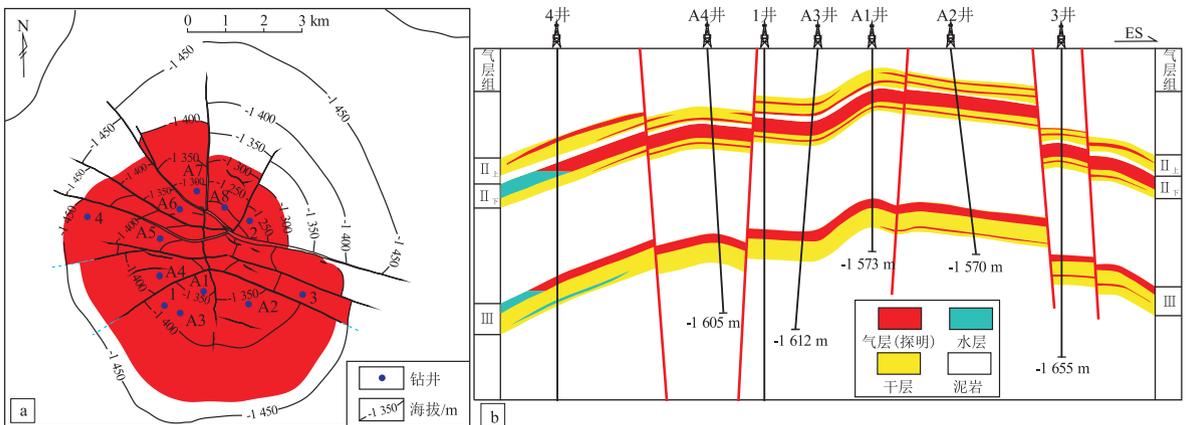


图 1 莺歌海盆地乐东 15-1 气田含气面积(a)和气藏剖面(b)

Fig.1 Gas bearing map (a) and vertical section (b) of LD15-1 gas field in Yinggehai Basin

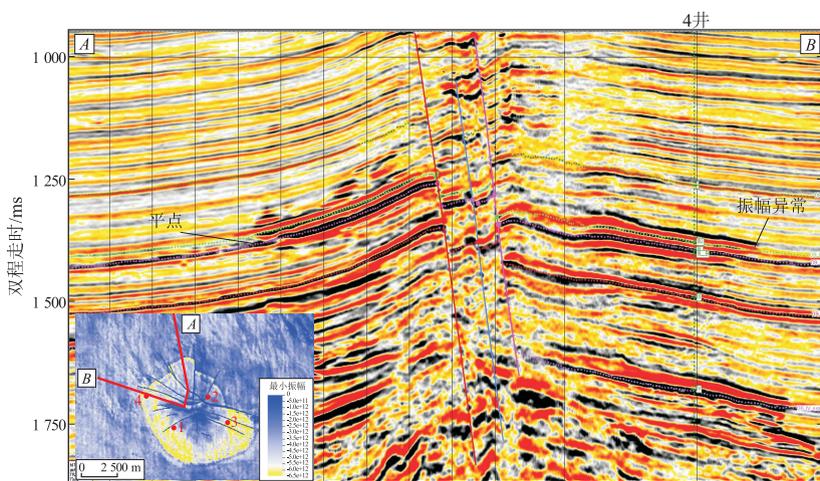


图2 莺歌海盆地乐东 15-1 气田地震剖面

Fig.2 Seismic intersection of LD15-1 gas field in Yinggehai Basin

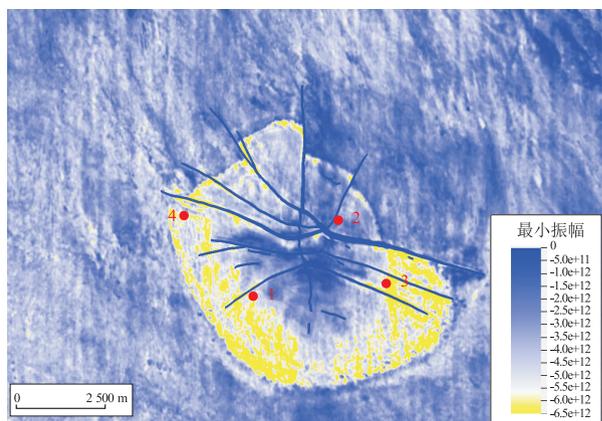


图3 莺歌海盆地乐东 15-1 气田 II 气组最小振幅属性

Fig.3 Minimum amplitude of II zone of LD15-1 gas field in Yinggehai Basin

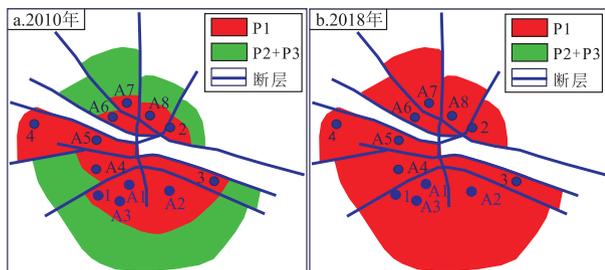


图4 莺歌海盆地乐东 15-1 气田 II 气组 SEC 储量级别对比  
Fig.4 Reserve category changes between 2010 & 2018 of II zone of LD15-1 gas field in Yinggehai Basin

气组内部除 4 井钻遇气水界面外,其余各断块的井均未直接钻遇气水界面。通过地震资料可以看出,4 井实钻气水界面深度和地震剖面上的平点深度吻合(图 2);同时利用 4 井实钻气水界面深度圈定的含气范围与 4 井区振幅异常范围也非常吻合(图 3),证实了平点、振幅异常等地震信息在该气田中是判断流体界面的可靠依据。

该气田在进行上市储量评估时与美国第三方评估审计公司进行了充分的沟通,地球物理信息确定含气范围的方式基本得到了认可与采纳。在进行 SEC 储量评估时,本着保守的原则,在该气田 2010 年投产初期按照以下方式进行了评估:将地球物理信息圈定的含气范围作为 3P 储量,同时不断结合生产情况进行验证、升级(图 4)。截至 2018 年底,考虑到 II 气组累产已经基本接近 2010 年上表时的证实储量(P1)对应的技术可采,但气田仍未见水,生产资料进一步证实

了储量扩大的潜力。因此 2018 年上市储量评估中将之前概算(P2)和可能(P3)储量升级为了证实(P1)储量。

虽然地球物理信息在储量研究中经常起到非常重要的作用,但地球物理信息所包含的内容非常广泛,包括振幅信息、频率信息、连续性信息等以及不同信息的组合。在不同的沉积盆地、不同地层、不同流体性质的条件下,需要通过综合分析判断来确定具体哪种地球物理信息可归到可靠技术的范畴,要避免将某种地球物理信息或技术笼统不加前提的作为可靠技术来披露,这样是不符合可靠技术的定义的。例如,在对最小振幅属性是否可以作为可靠技术来进行气水分布研究时,可以发现在不同的沉积盆地以及不同的地层吻合程度不一(表 1)。在进行可靠技术的定义时需要严格明确某种技术的使用边界及条件。

### 3.2 利用压力资料进行储量评估

容积法<sup>[15]</sup>是上市储量评估中较为常用的一种方法,对于气田来说,容积法常包含以下 2 种计算方法:一是根据地质储量、采收率来确定可采储量;

表 1 南海两大含气盆地最小振幅属性与实钻气水界面深度关系

Table 1 Comparison of seismic attribute and GWC depth of South China Sea

盆地	气田	气组	气水界面/m	最小振幅属性界面/m	是否吻合
莺歌海盆地	东方 1-1 气田	莺歌海组	-1 406.9	-1 406.9	是
	乐东 15-1 气田	乐东组	-1 450.8	-1 450.8	是
	东方 13-2 气田	黄流组	-3 095.0	-3 098.0	是
琼东南盆地	崖城 13-1 气田	陵水组	-3 960.0	-3 960.0	是
	陵水 25-1	黄流组	-3 757.5		否
	陵水 18-1	黄流组	-2 838.7	-2 839.0	是

二是根据物质平衡法(压降法)计算动态储量<sup>[16-19]</sup>,结合采收率来确定可采储量。其中第 2 种方法由于可以直观地反映现有生产井网实际能够波及到的储量,因此在气田储量评估时较为常见。

崖城 13-1 气田是南海西部最大的对外合作气田,该气田属于弱边水驱动的气藏,该气田在开发生产中建立了完善的取资料制度,定期来获取压力资料判断气藏开发生产动态<sup>[20-21]</sup>。并且在历年上市储量评估过程中会及时地根据最新压力资料,来进行动用储量评价和可采储量的计算。

崖城 13-1 气田主要储层为陵水组三段,该气组在纵向上由多期旋回组成<sup>[22]</sup>。根据旋回、岩性

特征,可将陵水组三段划分为 8 个小层(A1、A2、B1、B2-1、B2-2、C1、C2 和 D),小层之间发育泥岩隔、夹层。隔层为中期基准面旋回的海泛面或最大海泛面,主要分布在 B2-2 小层顶部,平面上具有较好的连续性;夹层为次一级的局部的小海泛面,分布范围有限。陵水组三段隔、夹层厚度分布不均,其中隔层厚度在 2.1~7.4 m,夹层厚度在 1.7~5.5 m(图 5)。

崖城 13-1 气田北块地质储量  $498 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,在气田开发早期,地质分析认为北块储层内部的泥岩隔、夹层对于储层并无明显的垂向分割作用,考虑到避水风险,开发早期生产井网仅射孔打开上部

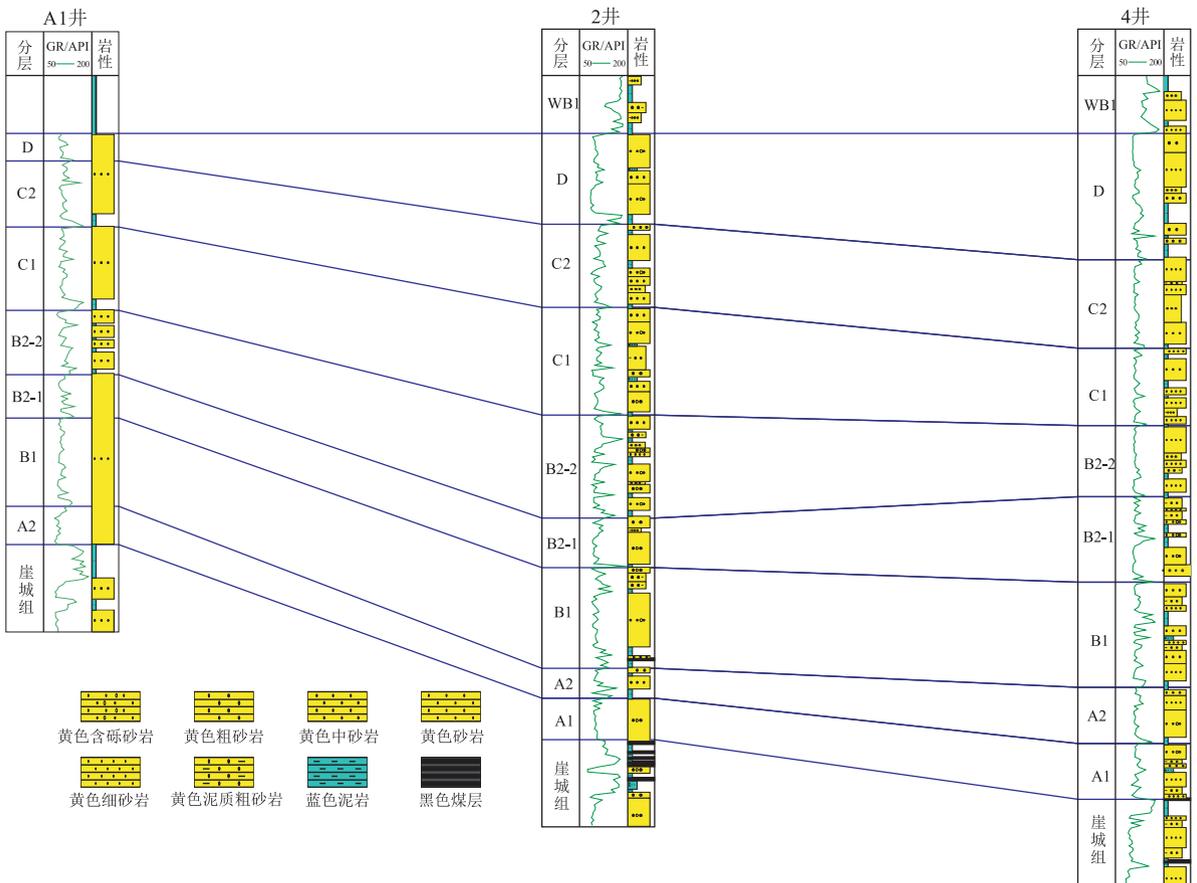


图 5 琼东南盆地崖城 13-1 气田陵水组三段联井对比

Fig.5 Well correlation of third member of Lingshui Formation, YC13-1 gas field, Qiongdongnan Basin

D、C2 和 C1 小层。随着投产后压力资料的进一步获取,根据压降计算的动用储量与地质储量有较大差异,且气井压降较快,说明储层内部隔、夹层对气藏纵向有一定的分割作用,地质储量动用不完全。为了进一步提高气田的动用程度,在 1998 年后开始逐步对储层下部 B2-2、B2-1、A2 和 A1 小层进行补射孔作业。补射孔生产后压力资料显示(图 6),生产井压力下降趋势减缓,动用储量由补孔前的  $418 \times 10^8 \text{ m}^3$  上升到补孔后的  $490 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,动用储量和地质储量之间的差异明显减小,证实了压力资料在该气田对地质储量有着较为准确的响应。

在取得动态压力资料后,根据新的动态资料变化趋势重新计算了动态储量,气田补孔后新增动用储量  $70 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于压力资料对于气藏的开发过程有着较为及时的响应,并且在南海西部处于不同开发阶段、不同储层类型的气田中均有较好的应用效果,符合 SEC 准则中对于“一致性”和“可重复性”的要求。因此,在南海西部气田的上市储量评估中得到了较为广泛的应用。

### 3.3 降压开采提高气田采收率

在 2010 版 SEC 准则中,进一步扩宽了“证实

未开发储量(Proved undeveloped reserves, PUD)”的包含范围,在以往按照井控来划分 PUD 的基础上,进一步允许公司可以登记披露通过提高采收率或其他手段所获得的储量增量,同时要求所使用的技术手段需要在本区或可类比区域成功实施过并取得了实际生产效果。

根据气井井口流动压力和输气压力的关系,衰竭式开采气田的开发一般分为 3 个阶段:初期井口流动压力大于输气压力的定产量阶段、井口流动压力等于输气压力的产量递减生产阶段和生产末期低压小产量生产阶段<sup>[23]</sup>。在气田开发后期,当井口压力降低无法进入管线后,通过安装湿气压缩机来对井口气流进行二次加压并重新外输是提高气田采收率的有效手段。

南海西部天然气田在总体开发方案设计阶段就已经考虑了后期的降压方案。2012 年,崖城 13-1 气田顺利实施压缩机降压,湿气压缩机的入口压力从 2.5 MPa 降低到 1.4 MPa,单井增气量明显(图 7)。降压后气田合计产量增加  $78 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,预计增加累产天然气  $12.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,为南海西部天然气降压开采提供了成功经验。

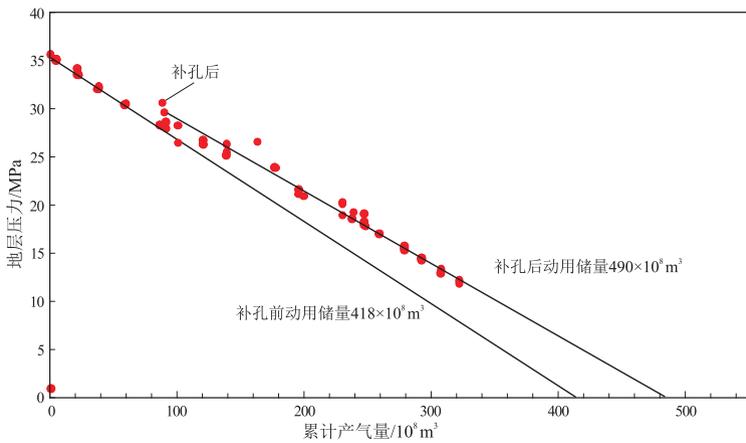


图 6 琼东南盆地崖城 13-1 气田补孔前后压降

Fig.6 Pressure decline of YC13-1 gas field, Qiongdongnan Basin

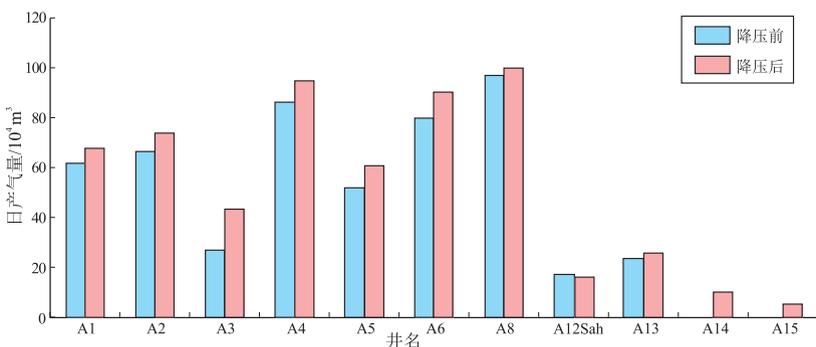


图 7 琼东南盆地崖城 13-1 气田降压前后单井产气量对比

Fig.7 Comparison of wellhead gas production rates before and after step-down production of YC13-1 gas field, Qiongdongnan Basin

为了进一步论证降压开采在南海天然气田开发中的可靠性,中海油在不同盆地开展了降压开采方案研究。东方 1-1 气田是目前中国海上最大的自营天然气田,地质储量接近千亿方,该气田具有储量丰度低(低于  $3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ )、低阻气层产能低、储层非均质性强、组分分布复杂等特点。该气田开发机理为弱边水驱动衰竭开发气藏<sup>[24]</sup>,气藏开发模式与崖城 13-1 气田较为相似。该气田纵向叠合性较好(图 8),各区块存在开发程度不一、天然气组分不一的特点<sup>[25]</sup>,天然气在平台通过湿气压缩机进行二次加压外输。

2016 年,东方 1-1 气田开展了降压项目研究,项目计划对气田压缩机进行改造,并新建降压平台进行集中降压,成功实施后预计湿气压缩机(WGC)入口压力将从 3.0 MPa 降至 1.1 MPa,预计累增天然气  $24.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。为了保证降压开采效果,在项目论证初期对于降压开采后气田生产效果进行了多轮次的测试。例如在 2015 年将压缩机入

口压力从 3.0 MPa 降低到 2.7 MPa,降压后井口压力下降 0.1~0.2 MPa(平均 0.13 MPa),单井测试日产量增加  $(0.4 \sim 1.7) \times 10^4 \text{ m}^3$ (平均  $0.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ ),合计增气  $6.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,基本达到了测试的预期(图 9)。

考虑到降压项目在南海西部崖城 13-1 气田有成功实施的案例,并且在目标气田(东方 1-1 气田)已经成功完成了降压效果测试,因此,2016 年在对东方 1-1 气田进行上市储量评估时,登记了降压开采提高采收率的证实未开发 PUD 储量  $12.93 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,并在审计过程中得到了第三方审计公司的认可,在上市报表中的“提高采收率”类别中成功披露(表 2)。

### 4 结论

(1) SEC 准则中新增的“可靠技术”词条极大地扩展了油气公司开展储量登记的技术范围,但同时也对“可靠技术”的一致性、可重复性做出了较为严苛的要求。油气公司在进行“可靠技术”披露

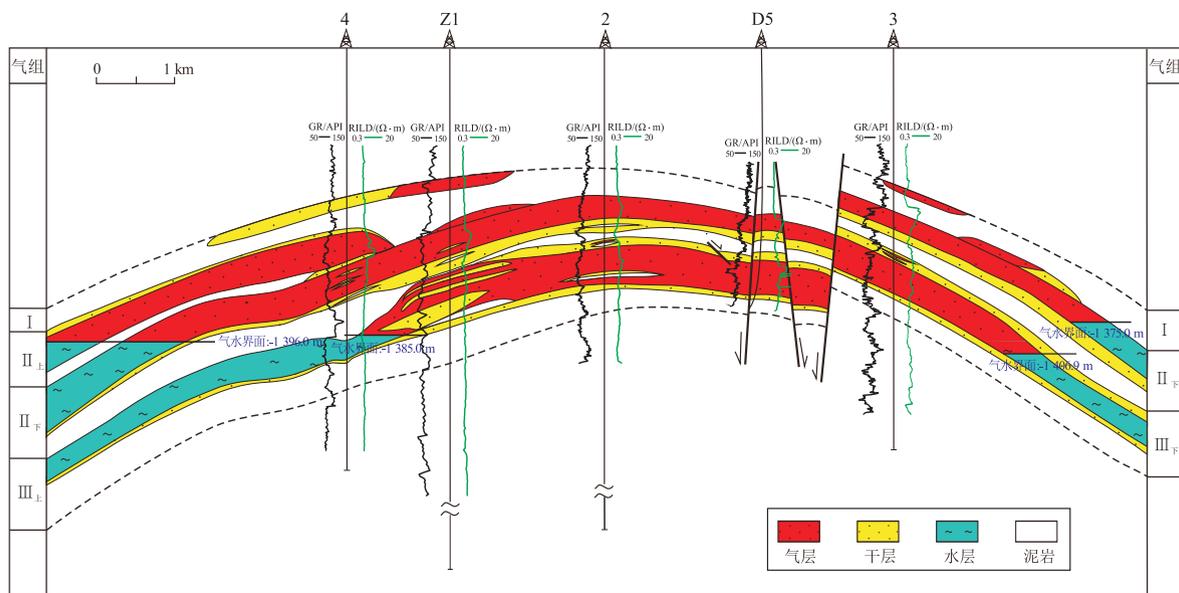


图 8 莺歌海盆地东方 1-1 气田气藏剖面

Fig.8 Cross section of DF1-1 gas field, Yinggehai Basin

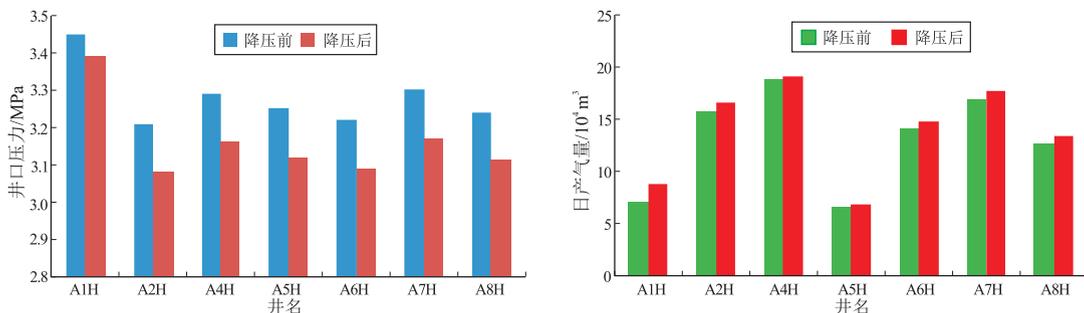


图 9 降压前后东方 1-1 气田井口压力和单井产气量对比

Fig.9 Comparison of wellhead pressure and production rate of DF1-1 gas field before and after step-down test

表 2 莺歌海盆地东方 1-1 气田上市储量披露结果数据 (2016 年)

Table 2 Reserve reconciliation of DF1-1 gas field, Yinggehai Basin (2016)

项目	类别	东方 1-1 气田		
		凝析油/ 10 <sup>4</sup> t	证实储量合计 天然气/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	油当量/ 10 <sup>4</sup> t
上年底净份额储量		18.44	153.34	1 551.84
储量变化量	生产采出	-1.27	-10.23	-103.57
	技术修正	0.64	6.21	62.75
	储量修正	-0.64	-11.17	-112.29
	经济因素			
	其他	0.00	-1.26	-12.60
	提高采收率	1.43	12.93	130.72
扩边和新发现	扩边	0.16	1.60	16.18
本年底净份额储量		18.76	151.43	1 533.03

时需要严格遵循 SEC 准则的要求。

(2) 中海油在南海气田的上市储量评估中形成了利用地球物理信息确定含气范围、利用压力资料进行储量评估、降压开采提高气田采收率 3 大可靠技术,并在上市储量评估中得到了较为广泛的应用和认可,为国内天然气田的上市储量评估提供了可参考案例。

(3) 油气公司应该积极跟踪最新的勘探开发技术动态,不断地总结归纳新的技术体系及应用效果,为今后的上市储量评估工作及“可靠技术”的进一步扩展提供案例上、数据上的支持。

参考文献:

[1] Modernization of oil and gas reporting. Final rule[Z].Securities and Exchange Commission,2009.

[2] 刘韵,张贵生,马丽梅.中国与 SEC 储量评估差异分析:以元坝长兴组元坝 103H 井区长二段气藏为例[J].石油实验地质,2012,34(5):514-517.  
LIU Yun,ZHANG Guisheng,MA Limei.Reasons for differences of reserve estimation results between domestic and SEC rules:a case study of gas reservoir in 2nd section of Changxing Formation,well Yuanba 103H[J].Petroleum Geology & Experiment,2012,34(5):514-517.

[3] 黄学斌.SEC 油气证实储量评估结果合理性检验方法[J].石油实验地质,2017,39(3):431-436.  
HUANG Xuebin.Reasonableness assessment of SEC(Securities and Exchange Commission) reserves[J].Petroleum Geology & Experiment,2017,39(3):431-436.

[4] 刘麟,金忠康,潘雪峰.SEC 上市油气储量指数递减曲线评估法参数研究[J].石油实验地质,2012,34(5):522-526.  
LIU Lin,JIN Zhongkang,PAN Xuefeng.Parameters of index diminishing method in SEC standard evaluation of oil and gas reserves[J].Petroleum Geology & Experiment,2012,34(5):522-526.

[5] 毕海滨,李建忠,张君峰,等.SEC 准则证实储量评估中可靠技术应用[J].石油学报,2013,34(6):1212-1217.  
BI Haibin,LI Jianzhong,ZHANG Junfeng,et al.Applications of

reliable techniques to reserves estimation proved by the SEC standard[J].Acta Petrolei Sinica,2013,34(6):1212-1217.

[6] Petroleum resources management system[Z].SPE/AAPG/WPC/SPEE,2007.

[7] Petroleum resources management system[Z].SPE/AAPG/WPC/SPEE/SEG/EAGE/SPWLA,2008.

[8] SIDLE R E, LEE W J.The demonstration of a “reliable technology” for estimating oil and gas reserves[C]//SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium.Dallas,Texas,USA:SPE,2010.

[9] 江怀友,赵文智,裴怿楠,等.世界海洋油气资源现状和勘探特点及方法[J].中国石油勘探,2008,13(3):27-34.  
JIANG Huaiyou,ZHAO Wenzhi,QIU Yinan,et al.Current state of marine oil and gas resources in the world and its exploration[J].China Petroleum Exploration,2008,13(3):27-34.

[10] 邹明生,曾小明,吴碧波,等.北部湾盆地涠西南凹陷涠洲组二段油气成藏特征分析[J].石油实验地质,2018,40(3):330-336.  
ZOU Mingsheng,ZENG Xiaoming,WU Bibo,et al.Hydrocarbon accumulation characteristics of the 2nd member of Weizhou Formation in the Weixinan Sag,Beibu Gulf Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2018,40(3):330-336.

[11] 赵鑫,刘月田,丁耀,等.海上油田优势水流通道模糊综合识别模型[J].断块油气田,2017,24(1):91-95.  
ZHAO Xin,LIU Yuetian,DING Yao,et al.Fuzzy comprehensive recognition model of dominant water channels in offshore oilfield[J].Fault-Block Oil and Gas Field,2017,24(1):91-95.

[12] 张伟,曹仁义,罗东红,等.南海珠江口盆地海相砂岩油藏高倍数水驱驱替特征[J].油气地质与采收率,2018,25(2):64-71.  
ZHANG Wei,CAO Renyi,LUO Donghong,et al.Displacement characteristics of high-multiple water drive in marine sandstone reservoirs in the Pearl River Mouth Basin,South China Sea[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2018,25(2):64-71.

[13] 刘欣,李继强,胡世莱,等.基于流动数据的气藏动态储量计算[J].断块油气田,2018,25(6):732-735.  
LIU Xin,LI Jiqiang,HU Shilai,et al.A new gas-in-place calculation method based on dynamic data of gas well[J].Fault-Block Oil and Gas Field,2018,25(6):732-735.

[14] 刘志杰,卢振权,张伟,等.莺歌海盆地中央泥底辟带东方向与乐东中深层成藏地质条件[J].海洋地质与第四纪地质,2015,35(4):49-61.  
LIU Zhijie,LU Zhenquan,ZHANG Wei,et al.Assessment of accumulation conditions for medium-deep oil in Ledong area of the central diapir belt,Yinggehai Basin[J].Marine Geology & Quaternary Geology,2015,35(4):49-61.

[15] 李冰.SEC 标准确定容积法储量计算参数[J].石油实验地质,2014,36(3):381-384.  
LI Bing.Determination of parameters for volumetric method based on SEC rules [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(3):381-384.

[16] 杨琳,李晓平,唐灵,等.物质平衡法在水侵气藏中的新应用[J].天然气技术,2009,13(6):20-21.  
YANG Lin,LI Xiaoping,TANG Ling,et al.New application of material balance method to water-encroached gas reservoir[J]. Natural Gas Technology,2009,13(6):20-21.

[17] 辛翠平,王永科,徐云林,等.修正的流动物质平衡法计算致密气藏动态储量[J].特种油气藏,2018,25(2):95-98.  
XIN Cuiping,WANG Yongke,XU Yunlin,et al.Tight gas reservoir dynamic reserve calculation with modified flowing material balance[J].Special Oil & Gas Reservoirs,2018,25(2):95-98.

[18] 张茂林,袁恩,梅海燕,等.新型页岩气藏物质平衡方程[J].断块油气田,2017,24(3):396-400.  
ZHANG Maolin,YUAN En,MEI Haiyan,et al.New material balance equation for shale gas reservoir[J].Fault-Block Oil and Gas Field,2017,24(3):396-400.

[19] 陆江,邓孝亮.非线性统计法在油气资源评价中的应用[J].特种油气藏,2018,25(3):170-176.  
LU Jiang,DENG Xiaoliang.Application of nonlinear statistics in hydrocarbon resource assessment[J].Special Oil & Gas Reservoirs,2018,25(3):170-176.

[20] 姜平,王雯娟,陈健,等.崖城 13-1 气田高效开发策略与实践[J].中国海上油气,2017,29(1):52-58.  
JIANG Ping,WANG Wenjuan,CHEN Jian,et al.Strategies and practices of efficient development in YC13-1 gas field[J].China Offshore Oil and Gas,2017,29(1):52-58.

[21] 汤明光,刘清华,张风波,等.崖城 13-1 气田凝析水产出变化规律研究[J].石油化工应用,2016,35(6):40-44.  
TANG Mingguang,LIU Qinghua,ZHANG Fengbo,et al.Study on the condensate water-producing law in the Yacheng 13-1 gasfield[J].Petrochemical Industry Application,2016,35(6):40-44.

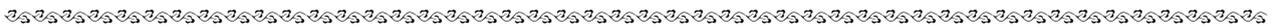
[22] 赵东娜,朱筱敏,林金成,等.南海琼东南盆地崖 13-1 气田古近系陵水组海陆过渡带沉积特征及演化[J].古地理学报,2014,16(3):385-400.  
ZHAO Dongna,ZHU Xiaomin,LIN Jincheng,et al.Sedimentary characteristics and evolution of transitional belt of the Paleogene Lingshui Formation in YA13-1 gasfield of Qiongdongnan Basin, South China Sea[J].Journal of Palaeogeography,2014,16(3):385-400.

[23] 耿新中,刘学凯,张文娟,等.压缩机降压采气系统压损分析与适应性研究[J].断块油气田,2015,22(6):837-840.  
GENG Xinzong,LIU Xuekai,ZHANG Wenjuan,et al.Pressure loss analysis and compatibility research on compressor depressurized gas production system [J]. Fault - Block Oil and Gas Field,2015,22(6):837-840.

[24] 姜平,于兴河,黄月银,等.储层精细描述在东方 1-1 气田中的应用[J].地质前缘,2012,19(2):87-94.  
JIANG Ping,YU Xinghe,HUANG Yueyin,et al.Application of reservoir characterization techniques in DF1-1 gas field [J]. Earth Science Frontiers,2012,19(2):87-94.

[25] 董伟良,黄保家.东方 1-1 气田天然气组成的不均一性与幕式充注[J].石油勘探与开发,1999,26(2):15-18.  
DONG Weiliang,HUANG Baojia.Heterogeneity of natural gases and the episodic charging process:a case study for Dongfang 1-1 gas field,Yinggehai Basin[J].Petroleum Exploration and Development,1999,26(2):15-18.

(编辑 黄娟)



(上接第 922 页)

[13] LIANG Qianying,XIONG Yongqiang,FANG Chenchen,et al. Quantitative analysis of diamondoids in crude oils using Gas Chromatography - Triple Quadrupole Mass Spectrometry [J]. Organic Geochemistry,2012,43:83-91.

[14] 梁前勇,熊永强,房忱琛,等.两种测定原油中金刚烷类化合物方法的对比研究[J].地球化学,2012,41(5):433-441.  
LIANG Qianying,XIONG Yongqiang,FANG Chenchen,et al. Comparison of two methods for the determination of diamondoids in crude oils[J].Geochimica,2012,41(5):433-441.

[15] 陈致林,刘旋,金洪蕊,等.利用双金刚烷指标研究济阳坳陷凝析油的成熟度和类型[J].沉积学报,2008,26(4):705-708.  
CHEN Zhilin,LIU Xuan,JIN Hongrui,et al.Study on condensate maturity and type using methyl diamantane parameter[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2008,26(4):705-708.

[16] 郭小文,何生,陈红汉.甲基双金刚烷成熟度指标讨论与应用[J].地质科技情报,2007,26(1):71-76.  
GUO Xiaowen,HE Sheng,CHEN Honghan.Discussion and application of the maturity indicators of methyl double diamantane hydrocarbons [J]. Geological Science and Technology Information, 2007,26(1):71-76.

[17] 马安来.金刚烷类化合物在有机地球化学中的应用进展[J].天然气地球科学,2016,27(5):851-860.  
MA Anlai.New advancement in application of diamondoids on organic geochemistry [J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(5):851-860.

(编辑 徐文明)