

文章编号:1009-9603(2023)03-0077-10

DOI:10.13673/j.pgrec.202207005

油气勘探对标方法研究及应用

张宇¹,章朋^{2,3},郭元岭²,刘士林¹,洪太元²,秦伟军²

(1.中国石化油田勘探开发事业部,北京 100728; 2.中国石化石油勘探开发研究院,北京 102206; 3.中国石化科技部,北京 100728)

摘要:对标是提升企业精细化管理水平的有力举措。中国石化为实现保障国家能源安全责任使命,推动中国上游油气公司向世界一流油气公司迈进,建立了系统而适用的油气勘探对标体系,以发现制约油气勘探的共性问题 and 薄弱环节,进一步挖掘资源潜力、增强核心竞争力,实现高质量勘探发展。聚焦油气勘探对标流程,分企业级、领域(区带)级和投资项目级3个层级,建立了油气勘探对标方法。针对不同层次的特点,从勘探经营管理、理论技术等方面入手,构建了勘探对标指标体系;其中,为消除矿业权差异影响,建立了单位矿权面积或单位剩余资源条件下的相对量对标指标。据此,中国石化开展了24项勘探对标工作,在“中-中”合作基础上,重点剖析了顺北油田与富满油田奥陶系、中江气田与金秋气田沙溪庙组的勘探对标。总结前期经验,从组织、制度、运行3个方面建立了较完整的管理保障体系;提出了加强对标指标体系与对标管理制度体系建设、加强油气企业合作等勘探对标工作建议。

关键词:勘探对标;指标体系;勘探管理;高质量发展;中国石化

中图分类号:TE13

文献标识码:A

Research and application of oil and gas exploration benchmarking method

ZHANG Yu¹, ZHANG Peng^{2,3}, GUO Yuanling², LIU Shilin¹, HONG Taiyuan², QIN Weijun²

(1. *Oilfield Exploration & Development Department, SINOPEC, Beijing City, 100728, China*;
2. *SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing City, 102206, China*;
3. *Science and Technology Department, SINOPEC, Beijing City, 100728, China*)

Abstract: Benchmarking is a powerful measure to improve the fine management level of enterprises. To fulfill the mission of ensuring national energy security and promote the domestic upstream oil and gas companies to the world-class level, SINOPEC established a systematic and applicable benchmarking system for oil and gas exploration. The effort aims to discover some common problems and weak links that constrain oil and gas exploration, exploit resource potential, enhance core competitiveness, and achieve high-quality development. Focusing on the benchmarking process of oil and gas exploration, SINOPEC established a benchmarking method of oil and gas exploration with three classes, i.e., the enterprise class, exploration field(play)class, and investment project class. Considering the characteristics of different classes, an index system for exploration benchmarking was constructed in terms of exploration and operation management as well as theory and technology. In particular, the relative quantity benchmarking index under the unit area of mineral rights or unit residual resources was built to eliminate the influence of differences in mineral rights. Accordingly, SINOPEC carried out 24 exploration benchmarking projects. On the basis of SINOPEC-CNPC cooperation, it mainly investigated the Ordovician exploration benchmarking between Shunbei Oilfield and Fuman Oilfield and the Shaximiao Formation exploration benchmarking between Zhongjiang Gas Field and Jinqiu Gas Field. Upon the summary of previous experience, a complete management support system of exploration benchmarking was built from the aspects of organization, system, and operation. In addition, some suggestions on exploration benchmarking were put forward, including improved construction of the benchmarking index system and benchmarking management system and greater cooperation among oil and gas companies.

收稿日期:2022-07-05。

作者简介:张宇(1971—),男,河北唐山人,教授级高级工程师,博士,从事油气勘探综合研究。E-mail:zhangyu688@sinopec.com。

通信作者:章朋(1988—),男,湖南汨罗人,副研究员,博士。E-mail:zhp.syky@sinopec.com。

Key words: exploration benchmarking; index system; exploration management; high-quality development; SINOPEC

受新冠疫情、俄乌冲突等影响,国际能源市场加速波动,当前我国能源需求刚性增长,据中国石油经济研究院《2021年国内外油气行业发展报告》,石油、天然气对外依存度持续攀升,2021年分别为72.2%和46%,持续加大国内油气勘探开发力度,保障国家能源安全,是未来相当长时间内油气勘探开发工作肩负的使命与担当^[1-2]。

新形势下,国内油气勘探高质量发展面临多重挑战^[2-6]:一是资源接替能力不足。随着勘探程度的不断提升,资源劣质化加剧,油气勘探发现难度加大,储量接替不足的矛盾愈发凸显。二是勘探效益减弱,面对油气藏“低、深、难、散”等问题,油气规模增储难度加大,新的地震、钻井、压裂等技术要求不断提高,勘探经济风险增强。三是国际政治环境极不稳定,导致国际油价持续波动;同时,土地征用、原材料价格、安全环保支出、人工成本刚性上涨,盈利空间不断压缩,对勘探经营管理能力提出新的要求。此外,矿权等新政的颁布实施,油气行业市场化不断拓展,行业之间的竞争日趋激烈,给油气公司的生存、发展带来了剧烈挑战。在此背景下,如何加强经营管理创新、理论技术创新,降低勘探成本,提高勘探突破效率,实现高质量发展,成为眼下油气公司迫切关注的问题。

对标作为一种科学的管理理念和工作方法,具有广泛适用性,是提高企业竞争力的重要手段。通过与“标杆”的对比分析,找出自身的不足,采用相应措施持续改进,以达到或超越“标杆”的目的^[6-9]。国务院国有资产监督管理委员会为提高中央企业和地方重点国有企业工作效率、激发企业活力、打造核心竞争力,制定并发布了《关于开展对标世界一流管理提升行动的通知》^[10];中国石化也相应制定了《中国石化集团对标提升行动实施方案和工作清单》。前期对标实施方案的制定为国内油气公司勘探对标工作的开展提供了重要借鉴。油气企业勘探对标既隶属于国有资产监督管理委员会及集团公司的整体对标工作,也是对其工作的丰富与发展^[11]。

目前,国内油气公司尚未建立专门针对油气勘探的对标体系^[3-4,6,8,12-15]。为此,笔者对油气勘探对标流程进行了系统的梳理与分析,分为企业级、领域(区带)级、投资项目级3个层级,针对不同层级的特点,提出了相应的对标指标体系。据此,中国石化开展了24项勘探对标工作,形成东部陆相页岩

油、塔里木盆地顺托果勒低隆起奥陶系、四川盆地组合、川西中江致密气等典型对标案例,笔者重点介绍了顺北油田与富满油田奥陶系、中江气田与金秋气田沙溪庙组的勘探对标。最后,对勘探对标工作的下步发展方向提出建议。

1 勘探对标指标体系

油气勘探是指在石油地质学及相关学科理论的指导下,采用地球物理、钻井等勘察技术,以实现油气发现为目的的勘探实践活动。公司作为油气勘探活动的主体,勘探实践过程中不仅要从油气发现的角度考虑客观地质条件、勘探理论技术的适应性,还需从经营管理的角度考虑勘探的经济效益性。因此,根据对标范围与目的的差异,将油气勘探对标划分为3个层级(图1)。

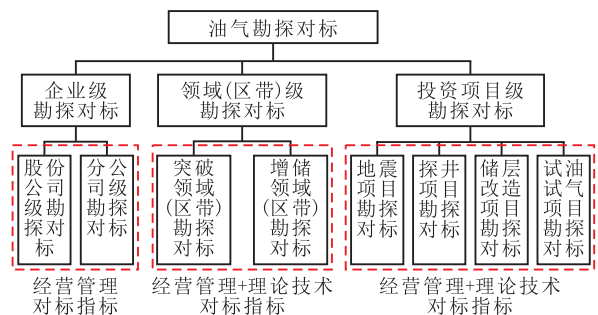


图1 油气勘探对标指标体系架构

Fig.1 Architecture of index system for oil and gas exploration benchmarking

1.1 企业级勘探对标

企业级勘探对标聚焦在经营管理范畴内,寻找企业在勘探经营管理上的差距,提出下步改进措施,提高企业整体勘探效益。按照企业级别的不同划分为2个层次:①股份公司级勘探对标,主要涉及中国石化、中国石油、中国海油等开展的勘探对标工作。②分公司级勘探对标,多为同一盆地中不同油气分公司,例如:塔里木盆地的塔里木油田分公司与西北油田分公司、鄂尔多斯盆地的长庆油田分公司与华北油气分公司等开展的勘探对标工作。

对标指标体系设置是实施对标工作的基础,应具有科学性、实用性、可操作性、代表性和简练性等原则。企业级勘探对标指标体系既要能系统客观反映勘探经营管理的真实水平,又要能涵盖影响总体管理水平的关键因素和环节。据此提出了投资、工作量、成本、成效、储量5个一级对标指标,进一步细分为勘探投资、三维地震覆盖程度、探井数、进

尺、二维地震成本等17个二级对标指标。结合研究需求,根据不同资源、探井、地震、储量等类型又进一步细分为多个三级对标指标(表1)。

企业级勘探对标指标总体划分为绝对量指标与相对量指标。绝对量指标主要反映勘探经营规模,如投资、工作量、储量等;相对量指标主要反映经营效率,包括成本、成效等。勘探对标实践发现,由于不同油气企业在矿权面积、剩余资源等方面存在巨大差别,导致绝对量指标差异性较大,可对比性弱。为此,建立了绝对量指标与相对量指标的转化关系式,将绝对量指标转化为相对量指标开展对

标分析,从而客观反映勘探经营管理实际情况,包括单位面积强度和单位剩余资源量强度。

单位面积强度计算公式为:

$$KT_i = \frac{q_i}{K} \quad (1)$$

单位剩余资源量强度计算公式为:

$$QT_i = \frac{q_i}{Q} \quad (2)$$

以“十三五”时期中国石化、中国石油、中国海油的勘探投资与新增探明储量对标为例(图2,图3)。中国石化与中国海油年勘探投资相近,约为

表1 企业级勘探对标指标体系
Table1 Index system of enterprise-class exploration benchmarking

一级对标指标	二级对标指标	三级对标指标
投资	勘探投资	探井、地震、常规勘探、非常规勘探等
	三维地震覆盖程度	高密度、高精度等
工作量	探井数	评价井、预探井、风险井等
	进尺	评价井、预探井、风险井等
成本	二维地震成本	西部盆地、东部盆地、山前带等
	三维地震成本	高密度、高精度等
	钻井工程成本	评价井、预探井、风险井等
	油气综合发现成本	天然气、石油、页岩油气等
成效	综合探井成功率	评价井、预探井、风险井等
	单位地震新发现圈闭资源量	二维地震、高密度、高精度等
	单位地震新发现圈闭数	二维地震、高密度、高精度等
储量	新增油气储量	石油、天然气、页岩油气等
	油气储采比	石油、天然气等
	油气储量替代率	石油、天然气等
	探明储量动用率	石油、天然气等
	控制储量升级率	石油、天然气等
	预测储量升级率	石油、天然气等

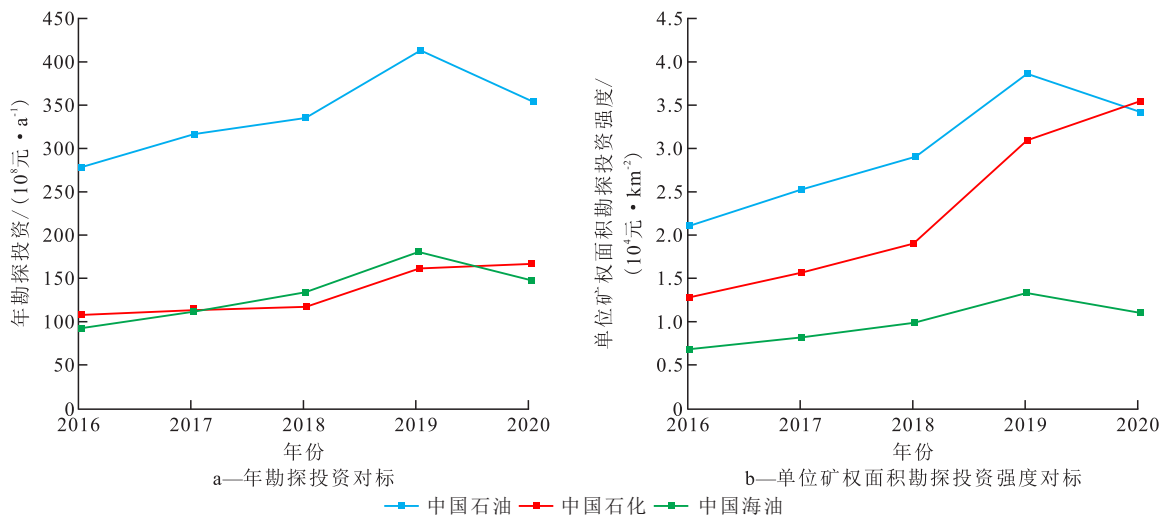


图2 2016—2020年中国石化、中国石油、中国海油的勘探投资对标

Fig.2 Exploration investment benchmarking among SINOPEC, CNPC, and CNOOC from 2016 to 2020

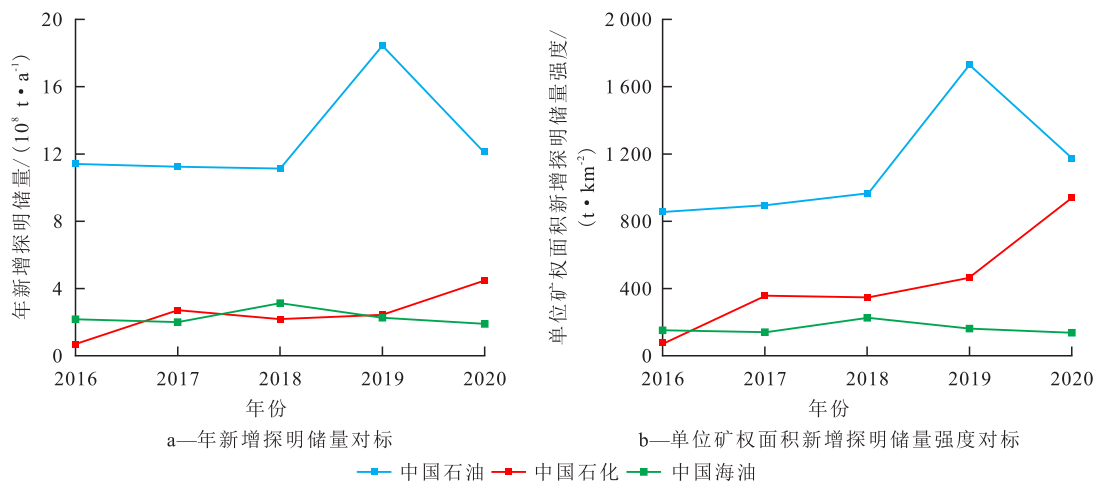


图3 2016—2020年中国石化、中国石油、中国海油的新增探明储量对标

Fig.3 Newly-found proven reserve benchmarking among SINOPEC, CNPC, and CNOOC from 2016 to 2020

100×10⁸~200×10⁸元/a,中国石油年勘探投资远高于中国石化与中国海油,约为300×10⁸~400×10⁸元/a。2016—2018年中国石化单位矿权面积勘探投资强度介于中国石油与中国海油之间,约为中国石油的0.5倍,中国海油的1.0倍。到2020年,随着勘探投资的不断加大,中国石化单位矿权面积勘探投资强度为三桶油之首,为3.53×10⁴元/km²,略高于中国石油的3.41×10⁴元/km²。

中国石油年新增探明储量多为11×10⁸~12×10⁸t/a(油气当量),2019年达到顶峰为18.49×10⁸t/a,远高于中国石化与中国海油(图3)。中国海油与中国石化年新增探明储量多为1×10⁸~3×10⁸t/a(油当量)。2018年以来,中国海油年新增探明储量呈下降趋势,由3.16×10⁸t/a下降至1.91×10⁸t/a,2020年约为中国石油的0.15倍;中国石化则呈上升趋势,由2.19×10⁸t/a上升至4.41×10⁸t/a,2020年约为中国石油的0.36倍。2017年以来,中国石化单位矿权面积新增探明储量强度稳居第二位,呈上升趋势,与中国石油差距不断减小。2017年中国石化单位矿权面积新增探明储量强度为363 t/km²,约为中国石油的0.4倍;2020年增至934 t/km²,约为中国石油的0.8倍。

由此可知,相对量指标的引入,可以有效地消除矿权等先天条件的影响,提高对标指标的科学性和合理性。

1.2 领域(区带)级勘探对标

领域(区带)级勘探对标主要是针对石油公司在某领域(区带)中存在的难点或不足,以提高油气勘探发现速度,增强石油公司在该领域(区带)的勘探效益为目的而展开的勘探对标活动,可进一步分为突破领域(区带)勘探对标与增储领域(区带)勘

探对标。为提高领域(区带)之间的可对比性,更好地寻找领域(区带)勘探工作间的差距,“标杆”的选择应遵从勘探领域相同、地理位置相近、成藏条件相似、勘探开发效果较优的原则。据此,中国石化针对顺北油田奥陶系、库车山前带、页岩油、东部断陷盆地砂砾岩体等18个不同领域(区带)开展了勘探对标(表2)。

领域(区带)级勘探对标指标体系分为2大类:一类是从经营管理出发,反映油气企业在该领域(区带)的勘探强度与成效,主要包括探井强度、地震强度、探井成本、压裂成本、综合探井成功率、新增三级储量、单井探明储量、千米进尺探明储量、单井产量等。一类是从勘探理论技术出发,反映油气企业对该领域(区带)认识与实践的能力,主要包括地质条件、地震资料品质及预测技术、钻井与储层改造工程工艺、勘探部署思路等。

以中国石油川中与中国石化川北灯影组地质条件对标为例,川中、川北地区灯影组台缘丘滩领域的烃源岩、沉积、储层、成藏特征及保存条件等相似,但构造背景、埋深、地温明显不同(表3)。中国石油川中磨溪—高石梯地区始终处于构造较高部位,灯影组气田集中在古隆起顶部及上斜坡,下斜坡和坳陷带钻探的井均产水,表明灯影组气田受古隆起控制。中国石化川北地区处于九龙山背斜局部构造高点,油气聚集成藏存在较大风险。川中磨溪—高石梯地区灯影组埋深为4 500~6 000 m,目的层温度为135~174℃,钻井、测试、地震技术相对容易;川北地区灯影组埋深为8 500~9 500 m,目的层温度为188~208℃,钻井、测试工程工艺要求高,地震描述难度大。综上,提出下步提质增效措施:①面对埋藏深度大,缺乏古隆起、继承性古隆起的

表2 中国石化不同领域(区带)级勘探对标工作(部分)
Table2 Exploration field(play)benchmarking of SINOPEC(partial)

序号	不同领域(区带)级勘探对标		对标原因
	对标“对象”	对标“标杆”	
1	胜利油田页岩油	大庆油田古龙、大港仓东页岩油	不同集团分公司间竞争性对标
2	塔里木盆地顺北油田奥陶系	塔里木盆地富满油田奥陶系	
3	中原油田东濮凹陷陆相页岩油	胜利油田东营凹陷陆相页岩油	中国石化不同分公司内部对标
4	河南油田泌阳凹陷砂砾岩体	胜利油田济阳拗陷砂砾岩体	
5	西南油气分公司中江地区侏罗系沙溪庙组	西南油气田公司金秋地区侏罗系沙溪庙组	不同集团分公司间竞争性对标
6	西北油田库车山前带	塔里木油田库车山前带	
7	上海油气分公司西湖凹陷保叔斜坡带新生界	胜利油田济阳拗陷滩海新生界	中国石化不同分公司内部对标
8	江汉油田潜江凹陷潜江组	胜利油田东营凹陷沙河街组	

特点,需进一步深化成藏规律认识,落实有利目标。
②加强超深层地震技术攻关,提高目标刻画能力。
③开展井身结构针对性优化研究,开发抗200℃以上钻井液、水泥浆体系与抗高温悬挂器等固井工具。

1.3 投资项目级勘探对标

投资项目级勘探对标范围相对较小,主要选择在相似区带,近期发生、具有共性、具有重要借鉴作用的地震、探井、储层改造、试油试气等项目开展对标。目前,中国石化针对三维地震、页岩气探井等4个勘探投资项目开展了对标(表4)。由于项目类型不同及油气公司关注的侧重点不一样,投资项目级勘探对标指标体系具有较大差异,可归为2大类:经

营管理指标体系和理论技术指标体系。

以西南油气分公司绵竹与西南油气田分公司双鱼石南的三维地震采集项目为例。对标3个指标,分别是:①观测系统。采集技术方案设计的勘探目的层不一样(绵竹为海相二叠系—三叠系,兼顾陆相须家河组、侏罗系,双鱼石南为泥盆系、二叠系、三叠系),导致观测系统设计方案有差异,绵竹的三维地震采集道密度高,覆盖次数高,投入设备多,采用矩形面元采集,方向性强;双鱼石南的三维地震采集采用宽方位、方形面元采集,缺点是炮点多,投资成本高(表5)。②施工参数。绵竹的三维地震采集采用DS-5H单点检波器,采集资料频宽更宽,接收低频信号能力较强,单井激发药量更大,激

表3 中国石油川中与中国石化川北灯影组地质条件对标
Table3 Benchmarking between middle region(CNPC) and northern region(SINOPEC) of Sichuan Basin in terms of geological conditions of Dengying Formation

对标领域	烃源岩		储层	成藏特征	保存条件
	生烃强度/(10 ⁸ m ³ ·km ⁻²)	烃源岩厚度/m	平均孔隙度/%		
川中灯影组台缘礁滩	90~105	260~350	3.23	棚生缘储,侧缘充注	构造变形弱
川北灯影组台缘礁滩	120~150	300~400	4.58		

表4 中国石化投资项目级勘探对标
Table4 Investment project-class exploration benchmarking of SINOPEC

序号	投资项目级勘探对标		对标原因
	对标“对象”	对标“标杆”	
1	苏北盆地华东探区三维地震项目	苏北盆地江苏探区三维地震项目	相同盆地相似领域地震项目勘探对标
2	西南油气分公司绵竹三维地震采集项目	西南油气田分公司双鱼石南三维地震采集项目	
3	江苏油田永安高密度三维地震项目	胜利油田牛庄高密度三维地震项目	相似地震项目勘探对标
4	西南油气分公司永页5-2页岩气探井项目	西南油气田公司黄202页岩气探井项目	相似领域探井项目勘探对标

发井深更深,有利于提高深层地震资料品质,但施工成本较高;双鱼石南三维单井激发药量较小,激发井深较浅(表6)。

③采集成本。绵竹2021年总采集成本为 31×10^4 元/ km^2 ,低于双鱼石南2016年的采集成本。综上,提出下步提质增效措施:①采用“小面元、高精度、高密度”观测方式提高资料品质。②施工参数设计中加强近地表调查力度,寻找合适的激发岩性;加强动态井深设计,确保激发效果。同时,采用低频检波器,获得更宽频带的地震资料。

2 中国石化勘探对标实例

2.1 顺北油田与富满油田奥陶系勘探对标

中国石化在塔里木盆地顺北地区奥陶系海相碳酸盐岩领域获重大油气勘探突破以来,西北油田与塔里木油田持续深化“断控缝洞型”油气藏研究,相继发现了顺北油田与富满油田^[16-17]。目前,西北油田在顺北地区拥有矿权 $2.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,塔里木油田拥有矿权 $2.25 \times 10^4 \text{ km}^2$,塔里木盆地顺托果勒低隆起深层-超深层碳酸盐岩领域已然成为重点增储上产领域^[16-18]。面对全新的“断控缝洞型”勘探领域,西北油田在地质认识、工程技术、勘探部署思路等方面仍在持续探索研究,通过与塔里木油田的对标,寻找异同,明确差距,制定相应提质增效措施,助推高质量勘探。

2.1.1 经营管理对标

“十三五”以来(截至2021年底)顺北油田实施

探井数为66口,完成三维地震采集面积为 $7\,020 \text{ km}^2$ 。富满油田实施探井数与三维地震采集面积略低于顺北油田,分别为61口和 $4\,994 \text{ km}^2$ 。“十三五”时期,富满油田探井成功率约为85%,新增探明储量为 $2.07 \times 10^8 \text{ t}$;顺北油田探井成功率与其近似相等(约为80%),新增探明储量略低(为 $1.93 \times 10^8 \text{ t}$)。富满油田钻探成本为 756×10^4 元/ km^2 ,明显低于顺北油田的 $1\,720 \times 10^4$ 元/ km^2 。工程条件相似的4号断裂带,顺北油田钻探成本为 $1\,486 \times 10^4$ 元/ km^2 ,略高于富满油田的 $1\,200 \times 10^4$ 元/ km^2 ,差距有所缩小。

2.1.2 勘探理论技术对标

地质条件 顺北油田与富满油田在区域构造、断裂特征、储层类型、成藏模式、富集规律和油藏压力等方面具有较大相似性,但在储层温度、油气类型、构造位置和侵入岩体等方面差异明显(表7)。其中,顺北油田构造位置较低,储层温度高、以气藏为主,侵入岩体大范围发育,从而导致顺北地区油气成藏规律、勘探工程难度相对复杂。

钻完井工程 富满油田与顺北油田井深结构均以四开井身结构为主,采用大斜度井和水平井侧钻,横穿主干断裂面。但井深开次存在以下差异:①二开中完原则不同,为降低三开风险,满深1井套管尽量深下。②三开套管尺寸不同,满深1井尾管尺寸大 3.2 mm 。③四开钻头尺寸不同,满深1井钻头尺寸大 3.2 mm (图4)。此外,两者的储层保护思路不同,富满油田针对裂缝型气藏后效严重影响钻井效率的问题,采用“低密度+旋转控制头控压”钻

表5 绵竹与双鱼石南的三维地震采集观测系统对比
Table5 Three-dimensional seismic acquisition and observation system benchmarking between Mianzhu region and Shuangyushinan region

项目名称	观测系统	面元尺寸	道密度/(10^4 道· km^2)	覆盖次数/次	激发方式
双鱼石南三维地震采集	24L×8S×(120+120)T×1R×144F	25 m×25 m	50	12(纵)×12(横)=144	单深井激发
绵竹三维地震采集	24L×4S×(176+176)T×1R×264F 束状集中式	20 m×40 m	78	22(纵)×12(横)=264	井震联合激发

表6 绵竹与双鱼石南的三维地震采集施工参数对比
Table6 Construction parameter benchmarking between Mianzhu region and Shuangyushinan region in three-dimensional seismic acquisition

项目名称	激发井深	激发药量	接收参数
双鱼石南三维地震采集	①第四系河滩砾石:固定井深10 m;	①泥岩8 kg,砂岩10 kg;	陆上使用GTDS-10H; 水域采用HYD-2; 高压线区域DSU-3 三分量检波器
	②第四系黄土砾石:固定井深15 m;	②灰岩12 kg;	
	③白垩系砾岩、侏罗系砾岩、 侏罗系砂泥岩;动态井深12~15 m	③黄土砾石10 kg; ④河滩砾石6 kg	
绵竹三维地震采集	①第四系小卵石:井深≥12 m;	①第四系小卵石10~12 kg;	DS-5H单点检波器
	②大卵石及河滩大卵石:井深≥14 m;	②大卵石及河滩大卵石12~16 kg;	
	③山区侏罗系砾岩:井深≥16 m;	③山区侏罗系砾岩16~18 kg;	
	④山区三叠系灰岩:井深≥18 m	④山区三叠系灰岩20~24 kg	

表7 顺北油田与富满油田勘探理论技术对标
Table7 Exploration theory and technology benchmarking between Shunbei Oilfield and Fuman Oilfield

对标领域	构造条件		储层特征	成藏特征			油藏特征		
	区域构造	断裂特征	储层类型	成藏模式	富集规律	压力系数	储层温度/°C	油气类型	侵入岩体
中国石油富满油田	顺托果勒低隆起	板内小尺度走滑断裂	“断控缝洞型”储层	寒武系供烃、垂向输导、晚期成藏	断裂控富	1.12~1.15	<160	油藏为主	O _{3s} 无侵入岩体
中国石化顺北油田							150~185	气藏为主	O _{3s} 侵入岩体发育

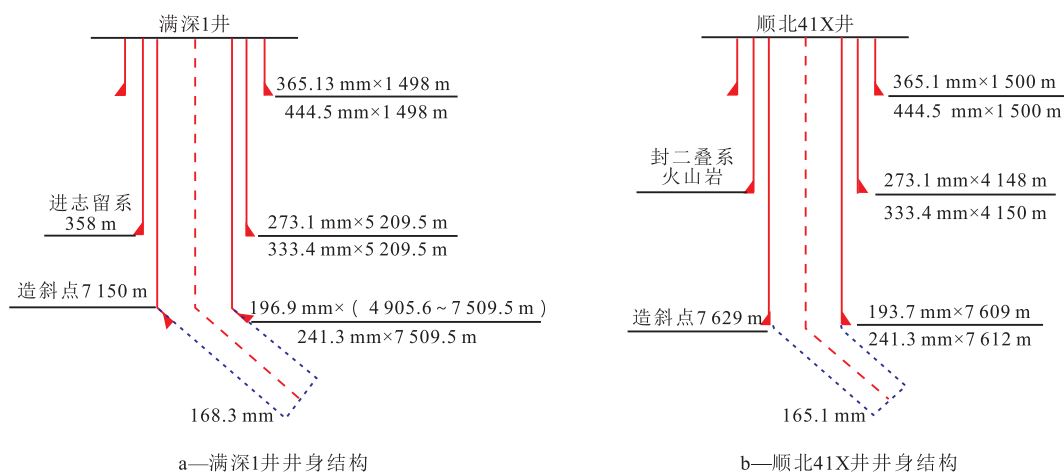


图4 满深1井与顺北41X井井身结构对标

Fig.4 Casing program benchmarking between Well Manshen1 and Well Shunbei41X

井工艺,钻遇储层快速降密度,提高储层保护能力,实现带漏安全钻进。

储层改造 富满油田酸压储层改造思路与顺北油田差异明显。富满油田根据钻井反映的储层规模及漏失量,采用不同酸压储层改造思路,如满深3井漏失大,以酸化为主。顺北油田借鉴富满油田的储层改造思路,在顺北41X井采取大缝高酸压思路,在顺北42X井采取“近井筒酸化+大缝高酸压”思路,应用效果较好。

资料录取 富满油田测井资料录取比例较顺北油田高,以斜井测井录取为主,钻遇放空和漏失工况后,积极改善工况,提高资料录取率;顺北油田测井录取井段以直导眼为主。

2.1.3 提质增效措施

通过与富满油田的对标,制定了以下相应提质增效措施:①考虑埋藏深度、侵入岩体等影响,进一步深化顺北地区“断控缝洞型”油气成藏规律研究。②吸收富满油田钻完井经验,优化井深结构,加强钻井过程管理,缩短钻井周期,降低钻探成本。借鉴“低密度+旋转控制头控压”等技术,合理控制钻井泥浆密度,加强储层保护。③根据钻井、测井揭示的储层情况综合确定酸压储层改造思路,随钻揭

示好储层情况时,考虑控制酸压规模或者酸化作业,以改善近井储层通道为目的。④加强斜井及特殊情况下的测井资料录取工作,提高录取比例,为完井储层改造方案设计提供合理依据。

2.2 中江气田与金秋气田沙溪庙组勘探对标

中国石化西南油气分公司探区侏罗系待发现资源量为 $1.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$,开展典型气田侏罗系勘探对标研究,对推进侏罗系增储上产具有重要意义^[19]。西南油气分公司中江气田位于川西坳陷中段东斜坡,西南油气田公司金秋气田位于川中隆起西侧的斜坡带,二者平面上相距30 km,侏罗系沙溪庙组气藏成藏地质条件总体接近,气藏压力系数相对较低,主要为低压气藏,开发难度大,目前后者勘探开发效果较好,为此优选两者开展领域级勘探对标^[19-20]。

2.2.1 经营管理对标

中江气田沙溪庙组探井成功率约为61.2%,成功井平均单井日产量为 $5.26 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,累积提交探明储量为 $1061.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。金秋气田探井成功率约为76.2%,成功井平均单井日产量为 $15.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,累积提交探明储量为 $742.96 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。中江气田单井压裂成本为 $1500 \times 10^4 \sim 1550 \times 10^4$ 元,金秋气田为

2 000×10⁴~2 500×10⁴元。可知,中江气田单井压裂成本优于金秋气田,但探井成功率及平均单井日产量低于金秋气田。

2.2.2 勘探理论技术对标

地质条件 中江气田沙溪庙组的沉积相类型、储层岩性、气藏类型与金秋气田类似,均发育远物源三角洲平原-前缘分流河道砂体,天然气主要来自下伏须家河组五段,气藏类型均以构造-岩性气藏为主,成藏富集受通源断层发育程度、古今构造位置、储层品质及断砂配置关系控制。但与金秋气田相比,中江气田沙溪庙组埋藏更深、断裂较发育,储层物性相对较差,气藏压力系数相对较高(表8)。

钻完井工程 金秋气田形成了以“油基+滑动/旋转导向+钻井参数强化”为主体的三维水平井钻井提速技术,并适配地层岩性,形成了能有效减少趟数的提速模板。中江气田井壁失稳问题未能彻底解决,在降本增效要求下,提速工具优选受限,提速效果长期来看未能达到理想目标。

储层改造 无论压裂工艺、分段簇、压裂液体系、支撑剂类型、液体强度、加砂强度、施工排量等都存在较大差距;中江气田采用无级滑套单段单簇脉冲加砂工艺,段(簇)间距约为50~60 m,采用瓜胶压裂液,用液强度为9~19 m³/m,加砂强度为1~2.73 m³/m,排量为5 m³/m。金秋气田采用易钻桥塞分段多簇连续加砂工艺,段(簇)间距约为7~12 m,采用滑溜水、高低黏度交替,用液强度为17~24 m³/m,加砂强度为2.6~3.3 m³/m,排量为14~18 m³/m。总体中江气田测试效果不如金秋气田,单井产量相对较低(约为3.5×10⁴~6.1×10⁴ m³)。

2.2.3 提质增效措施

通过与金秋气田的对标,制定了以下相应的提质增效措施:①物性较好的低压致密气藏同样具有较大的勘探开发潜力,下一步需加强低压致密气藏的勘探潜力评价,同时借鉴金秋气田低压致密气藏返排工艺,加大低压致密气藏的勘探开发力度。②加快优、新提速工具的应用,推进一趟钻技术的配

套,试验旋导钻井工具,实现快速提速及提高水平段的储层钻遇率。③借鉴金秋气田沙溪庙组储层改造工艺,加大用液强度、加砂强度,同时降低储层改造费用。

3 勘探对标管理保障体系

组织保障 为提高勘探对标工作的开展成效,中国石化油田事业部建立了完善的勘探对标组织机构。其中,油田事业部成立了勘探对标领导小组,负责对标顶层设计及计划制定,确保对标计划与公司的战略一致;建立对标团队,统一思路和工作步骤;搭建资料共享平台、“中-中”合作平台、企业合作平台等。中国石化石油勘探开发研究院提供技术支撑;油气企业勘探主管部门根据自身勘探实际需求制定具体实施方案。

制度保障 为规范对标管理、强化监督,保证对标工作有章可循、有据可依,中国石化油田事业部先后制定并颁布了《中国石化国内勘探对标体系建设实施方案》《勘探对标指标体系》等制度,明确了勘探对标的意义、内涵,对标的主要内容与指标体系及实施路径等内容。

运行保障 第一阶段,明确年度对标重点任务,制定实施方案;第二阶段,阶段性对标成果交流,分析存在问题,调整思路,明确下一步重点工作;第三阶段,对标总结分析,明确存在问题与不足,提出提质增效措施;第四阶段,持续跟踪改进措施的实施效果,直到差距完全弥补,甚至反超。

4 勘探对标下步工作建议

4.1 加强对标指标体系建设

油气勘探作为一项庞大的系统工程,实施过程中产生海量数据,勘探对标绝不是简单数据对比,应围绕油气勘探工作全过程,根据对标项目的特点,突出效益与勘探理论水平,优选关键参数

表8 中江气田与金秋气田沙溪庙组气藏勘探理论技术对标
Table8 Benchmarking between Zhongjiang Gas Field and Jinqu Gas Field in terms of exploration theory and technology of Shaximiao Formation

对标领域	构造特征	埋深/m	储层岩性	平均孔隙度/%	平均渗透率/mD	压力状况
中江气田沙溪庙组	构造变形相对较强,断裂较发育	2 500~3 000	中-细粒岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩,以溶蚀孔为主	8.36(上沙溪庙组); 8.96(下沙溪庙组)	0.17(上沙溪庙组); 0.27(下沙溪庙组)	常压-高压,压力系数为1.1~1.9
金秋气田沙溪庙组	斜坡背景下低幅构造,断裂不发育	2 100~2 400	中-细粒岩屑长石砂岩为主,以剩余粒间孔为主	10.80(上沙溪庙组); 12.30(下沙溪庙组)	0.35(上沙溪庙组); 4.80(下沙溪庙组)	低压-常压,压力系数为0.3~1.16

作为对标指标。目前,勘探对标指标体系建设中,还存在以下问题:①指标参数繁琐,针对性弱。如企业级勘探对标指标体系中,部分指标指示意义不强或与其他指标重复,未能反映关键问题,导致对标工作量额外增加。②指标参数获取难度大,准确性弱。勘探对标实践中,关键参数,特别是成本相关的效益参数,获取难度大,多为公司保密数据;同时,对于统一参数,不同公司定义不同,统计算法存在差异,也影响了对标的准确性。③指标体系不全,系统性弱。前期对标中,管理结构、组织体系及部门协同等对标指标尚未建立,该类指标直接反映了勘探管理的运行效率。为此,需进一步加强勘探对标指标体系研究,优化繁琐指标参数,弥补关键指标参数,统一关键指标参数统计口径,确保指标参数的科学性、实用性、可操作性。

4.2 加强对标管理制度体系建设

勘探对标涉及部门众多,协调难度大,需要科学的、完善的、成熟的制度作为保障。目前,勘探对标管理处于起步阶段,《中国石化国内勘探对标体系建设实施方案》《中国石油勘探对标工作管理办法》等文件的颁布,为对标工作的开展提供了重要制度支撑,但在对标持续跟踪、对标考核、组织运行等方面还未制定明确规章制度。油气企业应加强业务流程梳理,总结前期经验,从顶层设计层面建立统一的勘探对标管理制度体系,规范管理、强化监督,保证对标工作有章可循、有据可依,为对标工作高效、有序开展提供坚实保障。

4.3 加强油气企业合作

信息是勘探对标工作中最关键的要素,所有对标结论的获得、提质增效措施的制定均基于所需信息的支撑,因此勘探对标工作中需要及时有效的获取关键信息,科学合理的分析信息。信息不仅包括数据信息,还包括勘探思路等文字信息等。勘探对标涉及公司及部门众多,包括不同集团总公司、同一集团不同油气分公司,以及勘探、开发、经济等不同主管部门,这些公司、部门间的信息获取,尤其是勘探经营数据,存在较大壁垒。如何打破信息壁垒、获全获准关键信息,成为勘探对标工作高质量有序开展的关键。在勘探对标工作中,集团公司间应尽快构建“中-中”对标合作平台,分公司间应在总部协调下建立多部门联合参与的对标合作平台,在合作平台的支撑下,通过研讨会等形式加强合作交流,建立相应对标信息交流机制,实现关键信息数据共享,达到寻找差距,相互提高的目的。

5 结论

油气勘探对标划分为企业级、领域(区带)级、投资项目级3个层级。企业级勘探对标按照企业级别划分为股份公司级和分公司级勘探对标。领域(区带)级勘探对标按照勘探程度划分为突破领域(区带)和增储领域(区带)勘探对标。投资项目级勘探对标范围较广,包括具有共性且重要借鉴意义的地震项目、探井项目、储层改造项目等勘探对标。

对标指标体系包括经营管理指标体系和理论技术指标体系。经营管理指标体系指油气勘探中能客观反映管理者经营水平的指标,在企业、领域、项目级勘探对标中均涉及,包括投资、工作量、成本、成效、勘探强度等。理论技术指标体系主要在领域、项目级勘探对标中涉及,指对该领域或项目的认识与实践的能力,包括油气成藏地质理论、地震技术、钻井与储层改造工程工艺、勘探部署思路等。

为提高勘探对标成效,从组织、制度、运行3个方面建立了较完整的管理保障体系。组织保障建立完善的对标管理机构,落实稳定的对标人才队伍;制度保障建立对标制度,规范对标管理;运行保障明确对标阶段及任务,有序推进对标工作。

勘探对标管理工作处于起步阶段,后期应重点加强3方面工作。加强对标指标体系建设,优化繁琐指标参数,弥补关键指标参数,统一关键指标参数统计口径,确保指标参数的科学性、实用性、可操作性。加强对标管理制度体系建设,从顶层设计层面,建立统一的勘探对标管理制度体系,规范管理、强化监督,保证对标工作有章可循、有据可依。加强油气企业合作,实现关键信息数据共享,达到寻找差距,相互提高的目的。

符号解释

i ——个体, $i = 1, 2, 3, \dots, 6$;

K ——油气企业矿权面积, km^2 ;

KT_i ——第 i 个指标对应的单位面积强度,如单位面积勘探投资强度, 10^4 元/ km^2 ;

q_i ——第 i 个指标,如勘探投资;

Q ——油气企业剩余资源量, t ;

QT_i ——第 i 个指标对应的单位剩余资源量强度,如:单位剩余资源勘探投资强度, 10^4 元/ t 。

参考文献

- [1] 郭旭升,刘金莲,杨江峰,等.中国石化地球物理勘探实践与展

- 望[J].石油物探,2022,61(1):1-14.
GUO Xusheng, LIU Jinlian, YANG Jiangfeng, et al. Geophysical exploration practices and perspectives at Sinopec[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2022, 61(1): 1-14.
- [2] 门相勇,王陆新,王越,等.新时代我国油气勘探开发战略格局与2035年展望[J].中国石油勘探,2021,26(3):1-8.
MEN Xiangyong, WANG Luxin, WANG Yue, et al. Strategic pattern of China's oil and gas exploration and development in the new era and prospects for 2035[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(3): 1-8.
- [3] 王璞,吴海波.油气田企业对标管理现状调查与分析[J].中国石油企业,2020,(12):26-29.
WANG Pu, WU Haibo. Investigation and analysis of standard management in oil and gas field enterprises[J]. China Petroleum Enterprise, 2020, (12): 26-29.
- [4] 李国欣,郭绪杰,杜金虎,等.勘探对标管理指标体系模型研究及应用[J].中国石油勘探,2019,24(1):7-15.
LI Guoxin, GUO Xujie, DU Jinhu, et al. Research and application of the index system model of exploration benchmarking management[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(1): 7-15.
- [5] 潘继平.“十四五”油气增储上产的政策困境及对策建议[J].石油科技论坛,2021,40(1):7-14.
PAN Jiping. Policy bottlenecks for increasing oil and gas reserves and production in 14th Five-Year Plan period and suggestions on countermeasures[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2021, 40(1): 7-14.
- [6] 张雪媛.对标管理在我国石油企业的实践与应用——以中国石油集团公司为例[D].北京:首都经济贸易大学,2013.
ZHANG Xueyuan. Practice and application of benchmarking management in Chinese petroleum enterprises—taking China National Petroleum Corporation as an example[D]. Beijing: Capital University of Economics and Business, 2013.
- [7] KURTOGLU T, JENESEN D, POLL S. Systematic benchmarking of diagnostic technologies for an electrical power system[C]// Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA: IEEE, 2009.
- [8] 晁代君.石油企业财务对标问题研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2010.
CHAO Daijun. The study of oil enterprise financial benchmarking[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2010.
- [9] 李新华.搞好对标管理,提升炼化企业竞争力[J].中国石油企业,2009,(6):16-18.
LI Xinhua. Do well in benchmarking management to enhance the competitiveness of refining and chemical enterprises[J]. China Petroleum Enterprise, 2009, (6): 16-18.
- [10] 宫朝岩.对标管理在国企治理中的应用研究[J].企业管理,2022,(5):21-25.
GONG Chaoyan. Application of benchmarking management in state-owned enterprise governance[J]. State Assets Management, 2022, (5): 21-25.
- [11] 张丽.对标管理六步法[J].企业管理,2021,(2):90-93.
ZHANG Li. Six-step method of benchmarking management[J]. Enterprise Management, 2021, (2): 90-93.
- [12] 张建国.石油石化企业对标世界一流管理提升行动实施路径[J].当代石油石化,2020,28(12):47-50.
ZHANG Jianguo. Benchmarking world-class management improvement action in petroleum & petrochemical enterprises[J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2020, 28(12): 47-50.
- [13] 谭健,方建龙.天然气开发对标管理探索[J].天然气工业,2020,40(7):57-64.
TAN Jian, FANG Jianlong. Exploring the benchmarking management of natural gas development[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(7): 57-64.
- [14] 王欣,魏丽,李洪成,等.中海油桶油成本管控探析——对标国际石油公司[J].国际石油经济,2020,28(5):94-103.
WANG Xin, WEI Li, LI Hongcheng, et al. Comparative analysis of oil & gas cost control between CNOOC and international peers[J]. International Petroleum Economics, 2020, 28(5): 94-103.
- [15] 杨红平.浅谈对标管理在油田生产管理中的应用[J].化工管理,2020,(3):215.
YANG Hongping. Application of benchmarking management in oilfield production management[J]. Chemical Enterprise Management, 2020, (3): 215.
- [16] 马永生,蔡勋育,云露,等.塔里木盆地顺北超深层碳酸盐岩油气田勘探开发实践与理论技术进展[J].石油勘探与开发,2022,49(1):1-17.
MA Yongsheng, CAI Xunyu, YUN Lu, et al. Practice and theoretical and technical progress in exploration and development of Shunbei ultra-deep carbonate oil and gas field, Tarim Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2022, 49(1): 1-17.
- [17] 王清华,杨海军,汪如军,等.塔里木盆地超深层走滑断裂断控大油气田的勘探发现与技术创新[J].中国石油勘探,2021,26(4):58-71.
WANG Qinghua, YANG Haijun, WANG Rujun, et al. Discovery and exploration technology of fault-controlled large oil and gas fields of ultra-deep formation in strike slip fault zone in Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(4): 58-71.
- [18] 田军,杨海军,朱永峰,等.塔里木盆地富满油田成藏地质条件及勘探开发关键技术[J].石油学报,2021,42(8):971-985.
TIAN Jun, YANG Haijun, ZHU Yongfeng, et al. Geological conditions for hydrocarbon accumulation and key technologies for exploration and development in Fuman Oilfield, Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(8): 971-985.
- [19] 郭彤楼,王勇飞,叶素娟,等.四川盆地中江气田成藏条件及勘探开发关键技术[J].石油学报,2022,43(1):141-155.
GUO Tonglou, WANG Yongfei, YE Sujuan, et al. Accumulation conditions and key technologies for exploration and development of Zhongjiang Gas Field in Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022, 43(1): 141-155.
- [20] 张本健,潘珂,吴长江,等.四川盆地金秋气田侏罗系沙溪庙组多期砂组天然气复合成藏机理及模式[J].天然气工业,2022,42(1):51-61.
ZHANG Benjian, PAN Ke, WU Changjiang, et al. Compound gas accumulation mechanism and model of Jurassic Shaximiao Formation multi-stage sandstone formations in Jinqiu Gas Field of the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(1): 51-61.