

文章编号:1001-6112(2008)06-0575-05

“三元耦合”控藏机制与勘探有利区分析

——以渤海湾盆地歧口凹陷古近系岩性地层油气藏为例

蒲秀刚¹, 柳 飒¹, 周建生¹, 周立宏¹, 廖前进¹,
王振升¹, 肖敦清¹, 查明², 杨志彬¹

(1. 中国石油大港油田分公司, 天津 300280; 2. 中国石油大学(华东), 山东 东营 257061)

摘要:应用单因素叠合分析的思路,在构造—砂体—成藏综合研究基础上,认识到“三元耦合”控藏本质,研判出渤海湾黄骅坳陷歧口凹陷古近系岩性地层油气藏的勘探有利区。研究表明,歧口富油气凹陷岩性地层油气藏控藏主因素可以概括为3个端元,一是油源,包括生排烃和其输导体系;二是储集层物性,包括孔渗性能和孔隙结构特征;三是圈闭是否有效以及圈闭闭合幅度多高。可用“三元耦合”控藏新模式来表达油气成藏的本质,决定其圈闭发育的主要因素是古构造背景与沉积物源体系的匹配。板桥—滨海断鼻、滨海斜坡区与埕北断坡区等是歧口凹陷古近系最有利的大型勘探战场。

关键词:岩性地层油气藏;油气成藏;古近系;歧口凹陷;黄骅坳陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

MECHANISM OF TERNARY FACTORS COUPLING FOR CONTROLLING RESERVOIR AND ANALYSIS OF BENEFICIAL EXPLORATION AREAS

—AN EXAMPLE OF THE EOGENE STRATIGRAPHIC RESERVOIR OF QIKOU
SAG IN HUANGHUA DEPRESSION OF THE BOHAI BAY BASIN

Pu Xiugang¹, Liu Sa¹, Zhou Jiansheng¹, Zhou Lihong¹, Liao Qianjin¹,
Wang Zhensheng¹, Xiao Dunqing¹, Zha Ming², Yang Zhibin¹

(1. *Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China;*

2. China Petroleum University, Dongying, Shandong 257061, China)

Abstract: Applying the method of single factor analysis on the basis of comprehensive evaluation with structure, sandstone, and the model of hydrocarbon accumulation, the mechanism of ternary factors coupling for controlling reservoir has been understood, and beneficial exploration areas for Paleogene stratigraphic reservoir of Qikou Sag in Huanghua Depression of the Bohai Bay Basin were revealed. It indicated that the major controlling factors of forming reservoir could fall into three categories: first was oil source including hydrocarbon-generating, expulsion and transportation system; the second was physical property of reservoir including properties of porosity, permeability and characteristics of pore structure; the third was whether the trap was effective or not (storage oil or not) and the closing height of trap (deciding the output proportion of oil and water). The major factor of deciding distribution of traps were whether paleo structural setting was matched with depositional systems. New patterns of “Ternary Factors Coupling” controlling reservoir-forming can be used to express the essence of pool-forming. There are large scale beneficial exploration areas for Paleogene stratigraphic reservoir in Qikou Sag such as Banqiao—Binhai faulted-nose, Binhai slope area and Chengbei fault ramp.

Key words: stratigraphic reservoir; oil and gas accumulation; Paleogene; the Qikou Sag; the Huanghua Depression; the Bohai Bay Basin

收稿日期:2008-03-13;修订日期:2008-11-07。

作者简介:蒲秀刚(1968—),男,高级工程师,博士后,主要从事石油地质勘探领域的综合研究与管理工。E-mail:puxg@163.com。

基金项目:中国石油大港油田公司博士后科技创新基金项目(DGKT2004-07)。

勘探实践证明,渤海湾黄骅拗陷歧口富油气凹陷从古潜山、古近系到新近系已发现 Nm, Ng, Ed, Es¹, Es², Es³, Mz, P, O 等 9 套含油气层系, 油层埋深 600~4 800 m^[1,2]。岩性地层油气藏十分丰富, 各级石油地质储量过亿吨。形成规模储量的主要为储集层上倾尖灭与构造—岩性地层复合 2 大类油气藏。大港主力油区——黄骅拗陷中北部滨海地区, 甚至有 70% 的储量与岩性地层等“隐蔽性”控藏因素有关。本区复杂的基底结构、凹陷相间的构造展布、多阶段的断—拗演化史、多沉积旋回与沉积体系、歧口洼陷充足的油源、以及多种储盖组合, 为多样性的岩性地层油气藏的形成贮备了良好的地质背景^[3,4]。结合国内外岩性地层油气藏^[5~13]划分方案^[14,15]和本区特点^[1~3], 将该区与岩性地层因素有关的油气藏划分为非构造与复合油气藏 2 个大类, 3 个亚类(岩性、地层和构造—岩性复合油气藏)与 8 个小类^[3]。

1 成藏主控因素分析

1.1 源为先

勿容置疑, 对于陆相沉积盆地, 油源是成藏的物质基础, “源控论”在歧口凹陷依然行之有效。对

于歧口凹陷, 古近系有效烃源岩非常发育, 热演化适中, 成烃转化率较高, 生排烃量充足, 其范围控制了油气的分布格局, 油气藏围绕烃源中心呈环带状分布^[1,2,4]。

1.2 横向构造为重

正向构造带与断裂活动息息相关, 它们是区内油气富集的宏观主控因素。歧口凹陷横向 3 条 NEE—SWW 向(近 E—W 向)断控凸起带(北大港、南大港及埕北断阶)分割控制了凹陷相间的构造格局。这种构造格局造就了多种类型的沉积体系, 蕴育了丰富多彩的圈闭类型; 另外这些正向构造带及其板桥—滨海围斜地区往往是优势输导体系的发育空间, 长期位于油气运移的指向上。因此, 这些构造凸起及围斜区就是油气的潜在富集成藏区。

1.3 纵向物源是关键

歧口凹陷古近纪来自北部燕山褶皱带与西部沧县隆起带的 NNE—SSW 向主碎屑物源多期进退, 与古地貌共同影响了沉积体系的展布, 决定了北部、中部及南部 3 组砂体尖灭带的发育。东二段、沙一段尖灭线主要出现于北部; 东三段和沙二段尖灭线主要位于歧口凹陷中部; 沙三段尖灭线主要发育于歧口凹陷南部(图 1)。古近纪大型砂体

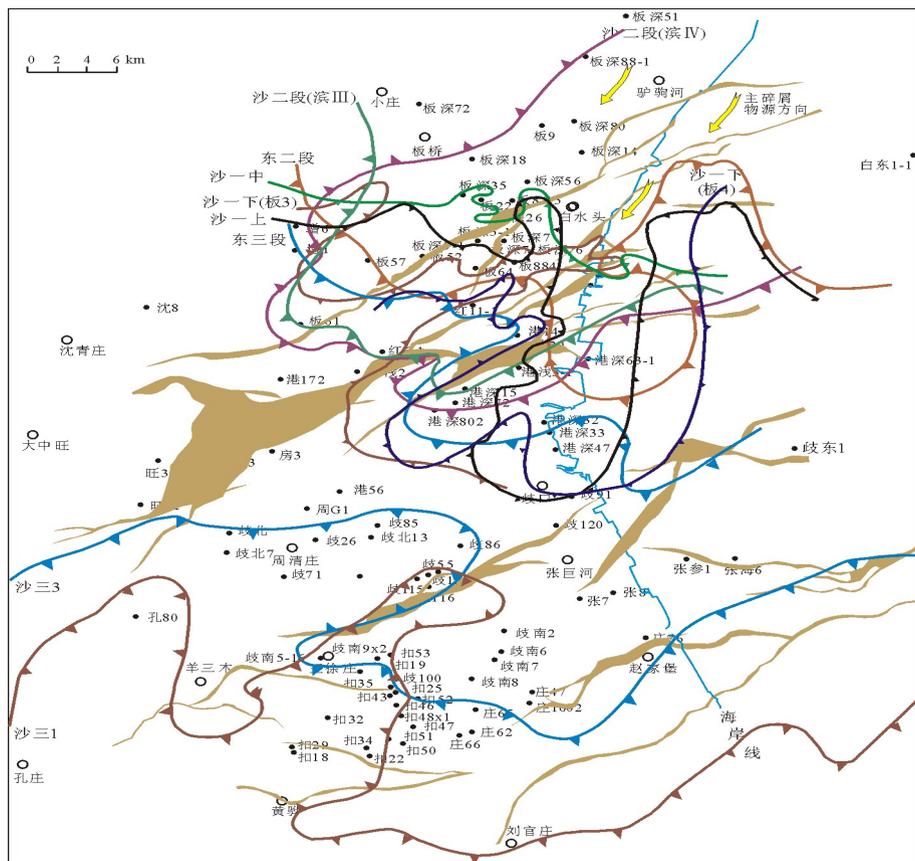


图 1 渤海湾盆地歧口凹陷主体区古近系砂体尖灭线展布

Fig. 1 Distribution of Paleogene sandstone pinch out line in the Qikou Sag, the Bohai Bay Basin

带均向北大港、南大港潜山等正向构造区上倾尖灭,由此形成了上倾尖灭岩性油气藏大规模发育的局面。注入凹陷内的陆源碎屑物质受沉积相带控制,形成了多种类型的储集体,包括三角洲(或扇三角洲)前缘砂体,重力流砂体,滩坝砂体等,同时由于古近纪湖盆演化的周期性与旋回性造就了多套生储盖组合,导致纵向上砂泥交互沉积,在交替沉积带可形成多种岩性圈闭。

1.4 三线四面主控圈,反向匹配易成圈

各类储集体前缘和侧翼的岩性尖灭线和岩性致密带具有良好的封闭性,岩性地层圈闭的形成条件取决于岩性尖灭线、地层超覆线、构造等高线、地层不整合面、储集岩体的顶底板面和断层面(三线四面)等^[9]。这些要素的有机配合,可形成多种类型的岩性圈闭。

“反向匹配”机制使得碎屑物源前端或侧翼在斜坡区形成上倾尖灭封闭条件,它是岩性地层油气藏形成的重要途径之一。在岩性地层油气藏中,储集层上倾尖灭油气藏广泛发育,这类圈闭均与北部燕山物源和构造背景直接相关。北大港潜山构造带为一继承性的古凸起,沿湖盆北东向长轴发育的燕山物源形成的大型复合三角洲前缘砂体及重力流浊积砂体与北大港古隆起反向匹配,在北大港北翼、南翼的围斜部位以及东部倾没端的滨海斜坡区形成复合成因的上倾尖灭圈闭。

1.5 高低输导先后充注

输导体系存在优劣之分,位于优势输导体系上的圈闭将优先高强度充注油气,充注的阶段是连续的,而劣质输导体系内油气充注将是断续发生的(或者不充注),其波动性明显。歧口凹陷不同演化阶段、不同构造部位发育了不同类型的输导体系。北大港断控陡坡带断裂和砂体都较发育,以二元并

行“工”字型输导体系为主;洼陷卸载区以自输自储“O”型输导体系为主;歧北西坡缓坡带由于断裂较少,主要存在多面汇聚型输导体系;南大港断控低凸起区则以断控“Y”型输导体系为主,从而形成新近系油气藏;南大港南翼断控陡坡带则以二元倒“S”型输导体系为主,但“S”型组合较单一;埕北断阶带在多组北倾断裂的控制下则典型发育了二元串行倒“S”型(或梯形)输导体系,多个倒“S”型(或梯形)组合互相串联;埕北隆起区主断裂较少,但地层尖灭线和不整合面相当发育并逐渐集中,输导体系则典型发育多面汇聚型(图 2)。

1.6 三元耦合自成藏

歧口凹陷资源基础雄厚,油源充足。控藏主因素可以概括为 3 个端元,一是油源,包括生排烃和输导体系;二是储集层物性,包括孔渗性能和孔隙结构特征;三是圈闭是否有效(能否储油)以及圈闭闭合幅度多高(决定油水产出比例),决定其圈闭分布的主要因素是古构造背景与沉积物源体系的匹配。可用“三元耦合”控藏新模式来表达油气成藏的本质。其关系表述为:目标成藏=油源(生排烃+输导)×物性(孔渗+孔隙结构)×圈闭闭合幅度。该关系式中,三元控藏为“一票否决制”,即任何一项不达标均不能成藏^[3]。本区内北大港潜山构造带及板桥—滨海围斜地区,特别是东翼环歧口凹陷滨海坡折带是三元耦合的最佳区域。

2 成藏差异性分析

对于歧口凹陷岩性地层油气藏勘探领域的确定,其核心工作一是细分砂层的综合研究(三维空间展布、储集物性及渗流能力、与输导体系的配置关系等);二是剖析构造与砂体分布的叠合匹配关系,预测不同类型的圈闭发育区,从而可以确定有

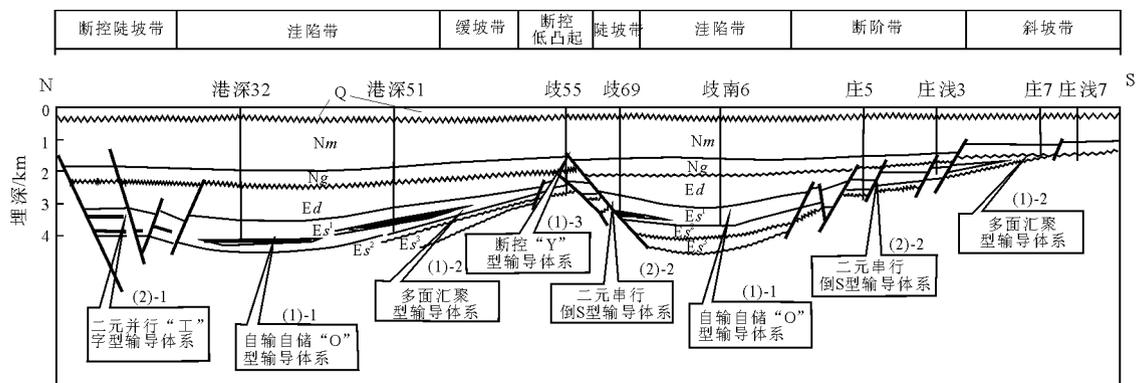


图 2 渤海湾盆地歧口凹陷南北向输导体系分布剖面

Fig. 2 Oil and gas transportation system of the Qikou Sag, the Bohai Bay Basin

利勘探方向。

根据三元耦合控藏机制,对于工区富有特色值得深化的上倾尖灭油气藏,直接的成圈控藏因素一是油源(近水楼台先得月),二是构造背景(形成反向匹配闭合幅度),三是砂体空间展布与尖灭区位置(储集体发育程度与圈闭发育区),特别是后两者非常重要。

砂岩尖灭线与已发现油气藏的叠合分析表明,岩性油气藏受砂岩尖灭区和构造的双重控制,特别是北大港东部滨海坡折区。

古近系砂体尖灭线与构造的叠合分析表明,北大港东部滨海坡折区构造倾向与西部沧县隆起及北部燕山褶皱带碎屑物源形成“反向匹配”,构成储集砂体上倾尖灭封闭条件。同时,北大港东北部滨海坡折区紧邻歧口生烃中心,北东向帚状断裂与储集砂体长轴方向一致或小角度斜交(顺向断裂区,似“切面条”),为油气输导提供了极好的通道。在此背景下,北大港东部滨海坡折区东营组和沙一段油气藏实为一被断裂切割的多层叠合大型上倾尖灭油气藏。南大港构造带沙三段也可形成此类岩性上倾尖灭—构造复合油气藏。

在埕北地区,来自北部的物源与埕北断阶形成一定规模的“反向匹配”,而埕宁隆起自身主物源与构造形成“顺向匹配”。在羊二庄断层以北,断裂走向与砂体延伸方向垂直或大角度交叉(交叉断阶区,似“切香肠”),由于断裂在砂体延伸方向上的“拦腰”切割,砂体上倾方向多为断层错接封堵,易于形成垒块式构造油气藏。而在羊二庄断层以南埕宁隆起缓坡地区,则为新近系地层超覆及不整合遮挡地层圈闭发育区。

在歧口主洼西坡,本地大型碎屑物源不发育,存在沙二段地层尖灭以及沙三段的岩性尖灭等构造与物源的“反向匹配”区,能发育与滩坝砂体有关的岩性圈闭和与不整合面有关的地层圈闭2个类别,由于该区离生烃中心较远,烃类充注强度较差,相对缺少断裂等输导体,在圈闭顶封条件较差或圈闭幅度较低的情况下,不易于形成大型或持续高产的油气藏。同时由于该区周边存在继承性大型低势区(凸起区),油气聚集程度可能较差,圈闭要求条件较高。

3 勘探有利区分析

在综合分析基础上,把工区划分为13个勘探区块,针对每一个勘探区对其油源、输导体系、圈闭发育程度等单因素评价打分,然后根据三元控制模式得到成藏效果评价和综合评价结果(表1,图3)。

在这13个勘探区中,I类勘探潜力有利区4个,主要集中在板桥—滨海地区。

北大港潜山构造带东部滨海坡折区近端的反向匹配区,勘探主要对象是砂岩上倾尖灭油气藏及复合油气藏,目的层为Ed,Es¹,Es²,Es³,主要储集体类型为(扇)三角洲前缘砂体、重力流砂体等。

北大港潜山构造带东北部远端的顺向断裂区(频繁相变区),勘探主要对象为构造—岩性复合油气藏,目的层为Ed,Es¹,Es²,Es³,主要储集体类型为(扇)三角洲前缘砂体。

北大港潜山构造带南翼断控陡坡带,勘探主要对象是砂岩上倾尖灭油气藏,目的层为Ed,Es¹,Es²,Es³,主要储集体类型为(扇)三角洲前缘砂体、重力流砂体等。

表1 渤海湾盆地歧口凹陷古近系岩性地层油气藏勘探有利区综合评价

Table 1 Comprehensive evaluation of the Paleogene lithologic—stratigraphic reservoirs in the Qikou Sag, the Bohai Bay Basin

序号	分区编号	特征勘探领域	主要目的层	油源	输导体系	圈闭发育程度	成藏效果	综合评价
1	①	构造倾没端反向匹配区	Ed,Es ¹ ,Es ² ,Es ³	0.9	1.0	1.0	0.90	I类 (有利区)
2	②	顺向断裂区、频繁相变区	Ed,Es ¹ ,Es ² ,Es ³	0.9	0.9	0.9	0.73	
3	④	断控陡坡带	Ed,Es ¹ ,Es ² ,Es ³	0.8	0.9	1.0	0.72	
4	⑥	交叉断阶区	Es ² ,Es ³	0.8	0.8	1.0	0.64	
5	⑦	深注卸载区	Ed,Es ¹ ,Es ² ,Es ³	1.0	0.9	0.6	0.54	II类
6	⑬	低凸起	Ed,Es ¹ ,Es ³	0.7	0.8	0.8	0.45	
7	⑫	古隆起	Ed,Es ¹ ,Es ³	0.6	0.8	0.8	0.38	
8	③	斜坡区	Ed,Es ¹ ,Es ² ,Es ³	0.7	0.6	0.9	0.38	III类 (较差区)
9	⑨	缓坡湖湾区	Es ¹ ,Es ³	0.6	0.7	0.7	0.29	
10	⑧	洼陷卸载区	Es ² ,Es ³	0.8	0.7	0.5	0.28	
11	⑩	缓坡坡折区	Es ¹ ,Es ³	0.6	0.6	0.6	0.22	
12	⑤	围斜区	Ed,Es ¹ ,Es ³	0.4	0.5	0.6	0.12	
13	⑪	缓坡挠折带	Es ¹ ,Es ³ ,Ng	0.4	0.5	0.5	0.10	

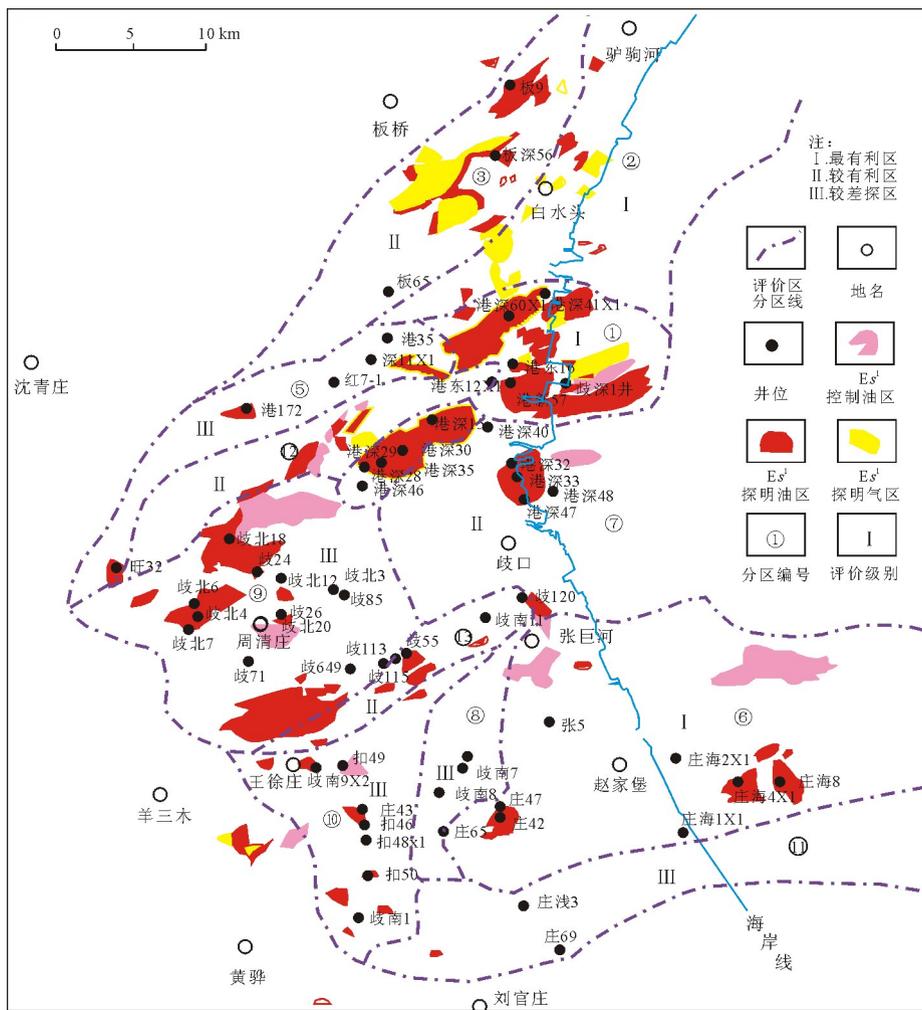


图 3 渤海湾盆地歧口凹陷主体区古近系岩性地层油气藏勘探有利区分析

Fig. 3 Beneficial area distribution of the Paleogene lithologic-stratigraphic reservoirs in the Qikou Sag, the Bohai Bay Basin

埕北断阶区(交叉断阶区),勘探主要对象为岩性—构造复合油气藏,目的层为 E_s^2, E_s^3 ,主要储集体类型为(辫状河)三角洲前缘砂体及重力流砂体。

可以看到,这些勘探有利区均是紧邻烃源区、近物源、输导及储集条件优良及圈闭发育的构造坡折区或断阶区(图 3),但勘探程度较低。由此可以看出,北大港构造带中北部板桥—滨海断鼻区,滨海斜坡区、歧口凹陷南部埕宁断阶区等是深化细化古近系勘探的主战场,在大型砂体分布和输导体系双重控制下,歧口凹陷板桥—滨海地区勘探目标具有成带分布的特点。

4 结论

在“大岩性地层油气藏”勘探思路的指导下,大港探区形成了不同于邻区的特色勘探对策,主要体现在加强古构造与沉积物源体系的叠合匹配研究,

把构造带按岩性变化带来研究,在复式油气藏勘探方法之基础上引入以岩性油气藏勘探与精细勘探相结合的方法。综合评价表明,歧口富油气凹陷探区北大港潜山构造带中东部滩海地区(特别是板桥—滨海断鼻与滨海斜坡区)、埕北断阶区是歧口凹陷古近系目前现实的勘探区带,最有潜力形成大型的有利战场。

参考文献:

- 1 李绍光,吴涛主编. 中国石油地质志(卷四)大港油田[M]. 北京:石油工业出版社,1987
- 2 孙希敬主编. 大港油田科技丛书:新区新层系新领域[M]. 北京:石油工业出版社,1999
- 3 蒲秀刚,吴永平,周建生等. 歧口凹陷岩性地层油气藏特征及勘探潜力[J]. 石油学报,2007,28(2):35~39
- 4 袁选俊,谯汉生. 渤海湾盆地富油气凹陷隐蔽油气藏勘探[J]. 石油与天然气地质,2002,23(2):130~133

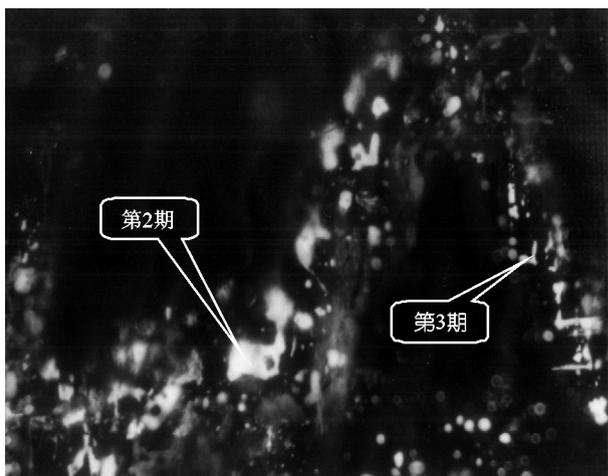


图5 塔里木盆地 S110 井裂缝中油气包裹体
6 084.31m(O₃I), 荧光, ×200

Fig. 5 The oil and gas inclusions filled in the fractures of Well S110 in the Tarim Basin

了良好的物质基础,也为岩溶作用提供了物质基础,加里东期岩溶是其主要的岩溶发育期^[9],岩溶发育与断裂关系密切,平面上呈条带状分布。据油层物性资料,良里塔格组储层为致密特低孔低渗岩石,S110 井良里塔格组孔隙度 1.3%~2.9%,渗透率 $(0.03\sim0.06)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;S116-2 井良里塔格组孔隙度 1.2%~6.3%,渗透率 $(0.02\sim0.32)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,属于较差的储层。而与断裂、裂缝有关的岩溶作用大大改善了良里塔格组的储层物性,S106 井良里塔格组累计漏失泥浆 259.71 m³。目前,已有 2 口井在良里塔格组产出工业油气,S116-2 井产油 192.0~235.2 m³/d、产气 $(1.6\sim 2.9)\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$;S106 井(与 O₂yj 合采)产油 198.7 m³/d,产气 $18\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。从目前塔河南部地区原油产出状况来看,油质相对较好,未见原

油遭受强烈氧化裂解,因此,良里塔格组是塔河南部地区一套重要的油气储层。

5 结论

1) 塔河南部地区良里塔格组经历了表生岩溶、构造后浅埋藏、深埋藏矿液活动等成岩环境的改造。

2) 油气在中—深埋藏、深埋藏矿液活动环境及成岩后构造调整期经历了 3 期的石油充注,其中 2、3 期规模宏大,是主要的油气充注期。

3) 加里东古岩溶对良里塔格组的溶蚀作用具有重要影响,与断裂、裂缝有关的岩溶条带可以形成良好的储层,塔河南部地区良里塔格组是一套重要的油气储层。

参考文献:

- 1 张 抗. 塔河油田性质和塔里木碳酸盐岩油气勘探方向[J]. 石油学报,2001,22(4):1~6
- 2 Zhang Kang, Wang Darui. Types of Karst-fractured and Porous Reservoirs in China's Carbonates and the Nature of the Tahe Oilfield in the Tarim basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2004,78(3):866~872
- 3 周兴熙. 初论碳酸盐岩网络状油气藏:以塔里木盆地轮南奥陶系潜山油气藏为例[J]. 石油勘探与开发,2000,27(3):5~8
- 4 周兴熙. 再论网络状油气藏与轮南潜山勘探对策[J]. 石油勘探与开发,2002,29(4):4~7
- 5 何镜宇,余素玉. 沉积岩石学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1986.200~201
- 6 卢焕章,范宏端,倪 培等. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社,2004.25,387
- 7 Robert H Goldstein. Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems[J]. Lithos,2001,55:159
- 8 顾 忆,邵志兵,陈强路等. 塔河油田油气运移与聚集规律[J]. 石油实验地质,2007,29(3):224~237
- 9 俞仁连. 塔里木盆地塔河油田加里东期古岩溶特征及其意义[J]. 石油实验地质,2005,27(5):468~478

(编辑 叶德燎)

(上接第 579 页)

- 5 何治亮. 中国陆相非构造圈闭油气勘探领域[J]. 石油实验地质,2004,26(2):194~199
- 6 潘元林,孔凡仙. 中国隐蔽油气藏[M]. 北京:地质出版社,1998.32~93
- 7 张运东,薛红兵,朱如凯等. 国内外隐蔽油气藏勘探现状[J]. 中国石油勘探,2005,10(3):64~67
- 8 赵政璋. 中国石油近期油气勘探新进展及未来主要勘探对象与潜力[J]. 中国石油勘探,2004,9(1):1~7
- 9 贾承造,池英柳. 中国岩性地层油气藏资源潜力与勘探技术[A]. 见:李丕龙,庞雄奇编. 隐蔽油气藏形成机理与勘探实践[M]. 北京:石油工业出版社,2004

- 10 杜金虎,易士威,卢学军等. 试论富油凹陷油气分布的“互补性”特征[J]. 中国石油勘探,2004,9(1):15~21
- 11 李丕龙,庞雄奇. 隐蔽油气藏形成机理与勘探实践[M]. 北京:石油工业出版社,2004
- 12 杨占龙,陈启林,郭精义等. 流体势分析技术在岩性油气藏勘探中的应用[J]. 石油实验地质,2007,29(6):623~627
- 13 李日容. 油气成藏动力学模拟现状与展望[J]. 石油实验地质,2006,28(1):78~82
- 14 牛嘉玉,李秋芬,鲁卫华等. 关于“隐蔽油气藏”概念的若干思考[J]. 石油学报,2005,26(2):121~126
- 15 沈守文,彭大钧. 试论隐蔽油气藏的分类及勘探思路[J]. 石油学报,2000,21(1):16~22

(编辑 叶德燎)