

文章编号: 0253-9985(2007)05-0584-06

辽河坳陷变质岩古潜山内幕油藏 形成主控因素分析

孟卫工¹, 李晓光^{1,2}, 刘宝鸿¹

(1. 中国石油 辽河油田分公司, 辽宁 盘锦 124010 2. 中国石油大学, 北京 102249)

摘要: 以辽河坳陷西部凹陷兴隆台古潜山为研究对象, 总结了变质岩古潜山内幕油藏多层次分布特征, 从岩性特征、构造活动、烃源岩、供油“窗口”、封盖体系等方面分析了对古潜山内幕油藏形成的控制作用, 建立了变质岩古潜山内幕成藏模式。取得了裂缝发育受构造活动和优势岩性双重因素控制、变质岩古潜山存在多种岩性组合、可形成储隔层交替分布、古潜山侧向供油“窗口”是其内幕成藏的关键、供油“窗口”的幅度决定了纵深方向含油气范围等认识, 有效地指导了辽河坳陷古潜山深层的勘探实践。

关键词: 变质岩; 优势岩性; 构造运动; 裂缝性储集层; 复合生烃系统; 古潜山内幕油藏; 辽河坳陷

中图分类号: TE112.1 **文献标识码:** A

Main factors controlling the formation of interior reservoirs in the metamorphic palaeo-buried hills of the Liaohe Depression

Meng Weigong¹, Li Xiaoguang^{1,2}, Liu Baohong¹

(1. Liaohe Oilfield Company, PetroChina, Pangjin, Liaoning 124010 China;

2. China University of Petroleum, Beijing 102249 China)

Abstract By focusing on Xinglongtai buried hills in the western sag of Liaohe depression, this article summarizes the distribution characteristics of multileveled interior reservoirs in metamorphic buried hills, analyzes the controlling factors, such as lithologic characteristics, tectonic movements, source rocks, oil charging “window” and sealing system, upon the formation of interior reservoirs in buried hills and establishes hydrocarbon accumulation pattern of interior reservoirs in metamorphic buried hills. It concludes that the development of fractures is jointly controlled by tectonic movements and dominant lithology, the existence of various lithologic combinations in metamorphic buried hills makes it possible for an alternate distribution of reservoirs and barriers, and the lateral charging “window” for oil migration is the key to the formation of interior reservoirs and its extent determines the vertical range of oil/gas pools. These understandings effectively guide the exploration in deep buried hills in Liaohe depression.

Key words metamorphic rock; dominant lithology; tectonic movement; fractured reservoir; composite hydrocarbon-generating system; interior reservoir in buried hills; Liaohe Depression

辽河坳陷古潜山油气藏历经 30 余年勘探和开发, 先后发现了太古宇、中上元古界、古生界和中生界等 4 套含油层系, 探明的几十个古潜山油气藏。截止到 2006 年底, 已累计探明石油地质储

量 2.5×10^8 t, 占辽河坳陷累计探明储量的 11%, 累计产油量 2.998×10^4 t, 占辽河坳陷总产量的 8.8%, 取得了良好的勘探开发效果。近年来, 古潜山油藏已成为深化勘探的重要领域和目标, 随

收稿日期: 2007-08-09

第一作者简介: 孟卫工 (1963-), 男, 博士、高级工程师, 石油地质

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科技项目 (07-01c-01-04)

着勘探工作的不断深入, 取得了古潜山油藏成藏方面的创新认识。

对于海相碳酸盐岩沉积地层组成的古潜山可形成内幕油气藏, 勘探多有发现, 对此认识比较深入。位于生油凹陷中的变质岩古潜山表层风化壳可以形成油气藏的观点已被广泛接受^[1~4], 并被勘探所证实, 变质岩古潜山是否能够形成内幕油藏及其形成的主要控制因素是其研究重点。

辽河拗陷在以往的勘探过程中, 发现了兴隆台古潜山、齐家古潜山、东胜堡古潜山等多个变质岩古潜山油藏, 受古潜山风化壳含油认识的限制, 钻探集中于表层部分, 揭露厚度一般小于 200 m。随着勘探由中、高古潜山向低古潜山拓展, 含油底界不断下延。2003 年在西部凹陷兴隆台古潜山带南部的马圈子低古潜山钻探了马古 1 井, 该井在 4 000 m 深部潜山获工业油气流, 之后在兴隆台古潜山翼部钻探的马古 3 井钻穿 911 m 中生界后, 于 4 300 m 深度获油气层, 突破了以往兴隆台古潜山 2 700 m 深度为含油底界的认识。为了探索兴隆台古潜山整体含油底界, 在主体部位部署了兴古 7 井进行古潜山深层钻探。兴古 7 井揭露太古界变质岩厚度 1 640 m, 揭示了潜山内幕多层段富含油气的特点, 从而发现了变质岩古潜山内幕油藏。

1 兴隆台古潜山内幕油藏特征

1.1 储层特征

兴隆台古潜山岩性为区域变质岩、混合岩和岩浆岩岩脉组合。储集岩包括黑云母斜长片麻岩、混合片麻岩、混合花岗岩、碎裂岩以及花岗斑岩、闪长玢岩等, 非储集岩包括角闪岩、斜长角闪岩、辉绿岩、煌斑岩等。

根据岩心观察、薄片鉴定、常规测井及成像测井等资料综合分析, 兴隆台太古宇古潜山储层为宏观裂缝、孔洞和微观孔、缝较发育的具有双重孔隙结构的孔隙-裂缝型储层。岩心观察古潜山内幕储层宏观裂缝发育, 多为高角度张开缝, 裂缝张开度为 0.1~0.2 mm 不等, 裂缝面延伸较长, 多切割岩心, 见多组裂缝呈网状分布 (图 1)。声电成像测井解释统计表明, 裂缝面倾角主要为 40°~

70°, 为高角度缝, 裂缝开度为 0.15~3.75 mm。表明这为古潜山裂缝发育, 但早期裂缝多被充填, 晚期裂缝常切割早期裂缝, 反映出多期裂缝发育的特点; 同时, 裂缝发育程度受岩性控制, 不同岩性段裂缝发育程度不同, 具有储隔层交替分布的特点 (图 2)。

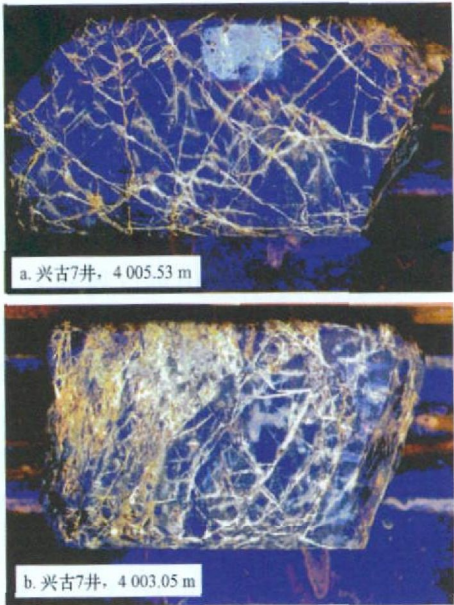


图 1 兴隆台古潜山兴古 7 井岩心荧光照片
Fig. 1 Fluorescent photos of cores from Well Xinggu-7 in the Xinglongtai palaeo-buried hill

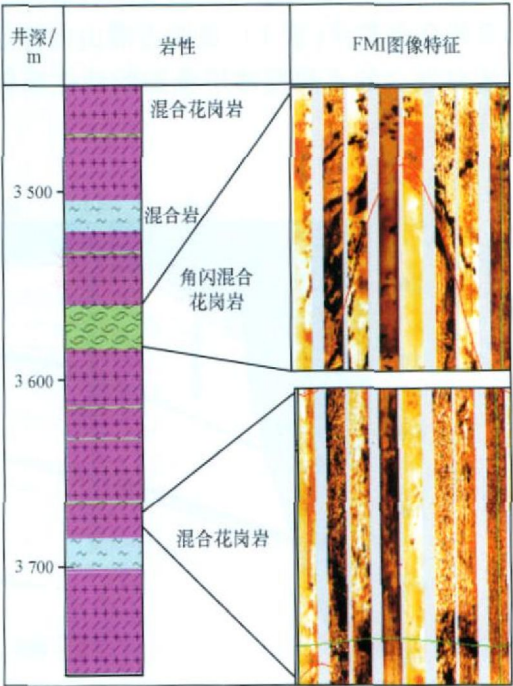


图 2 兴隆台古潜山内幕储集层发育
Fig. 2 Interior reservoir development in the Xinglongtai palaeo-buried hill

1 2 油藏分布特征

截止到目前, 兴隆台太古宇古潜山完钻井 20 口, 其中潜山深层钻探井 8 口。证实太古宇变质岩不仅表层风化壳含油, 而且潜山内幕多层系裂缝含油, 为裂缝性油藏。太古宇油层埋深在 2 400~ 4 300m, 尚未见到油水界面, 出油底界为受岩性因素控制的物性界面。测井、试油及生产结果表明潜山整体有油层分布, 含油幅度高达 1 900m, 兴古 7 井揭露井段从 2 590~ 4 014 m 含油幅度达 1 424m。

兴隆台古潜山油藏纵向上分布具有层次性。目前钻井揭露兴隆台古潜山可以划分为 3 个油气层集中发育段。在古潜山内部发育有暗色矿物含量较高的角闪岩类地层条带, 岩性较致密为隔层段, 将古潜山分割成上、中、下 3 个层段。上层段: 兴古 7 井在 2 748. 3~ 2 596. 5 m 井段中途测试, 获日产油 30. 8 t 天然气 1 399 m³, 兴气 9 井在 3 214~ 3 258 m 井段获日产油 41. 8 t 天然气 7 042 m³; 中层段: 兴古 7 在 3 653. 5~ 3 592. 0 m 井段 6 mm 油嘴求产, 日产油 73. 5 t 天然气 6 688 m³; 下层段: 兴古 7- 1 井 3 704. 5~ 3 774 m 井段自喷日产油 14. 4 t 天然气 5 790 m³。各层段油气产量存在较大差异, 油层压力资料显示古潜山内部压力系统存在差异 (表 1), 说明古潜山内部是由多套相对独立的不规则油层叠加的油气藏体系 (图 3)。

表 1 兴隆台古潜山压力
Table 1 Pressure of the Xinglongtai palaeo-buried hill

层段	井号	油层中部深度 /m	静压 /MPa	压力系数
上层	兴古 7	2 672. 5	33. 20	1. 24
	兴气 9	3 236. 0	37. 94	1. 17
中层	兴古 7	3 622. 8	41. 24	1. 14
	兴古 7- 3	4 029. 5	29. 97	0. 74
下层	兴古 7- 1	3 739. 2	39. 26	1. 05
	兴古 8	3 726. 1	39. 28	1. 05

2 古潜山内幕油藏形成主控因素

2 1 古潜山内幕存在非均质性

1) 变质岩的非均质性

利用钻井取心和系统的岩屑样品结合常规测井、FM I 成像测井以及 ECS 测井岩性解释资料, 建立了兴隆台古潜山 1 500 余米井段岩性剖面, 表明变质岩古潜山内幕岩性成层特征。

2) 裂缝储层发育遵循“优势岩性”序列规则

对辽河坳陷各变质岩古潜山的岩石学特征分析, 变质岩类主要有元古界的石英岩, 太古宇的黑云斜长片麻岩、混合花岗岩、变粒岩、浅粒岩以及角闪岩等, 另外, 穿插于变质岩古潜山中的岩脉种类繁多, 有基性的煌斑岩、辉绿岩岩脉, 同时也有中酸性侵入岩岩脉^[5~ 7]。

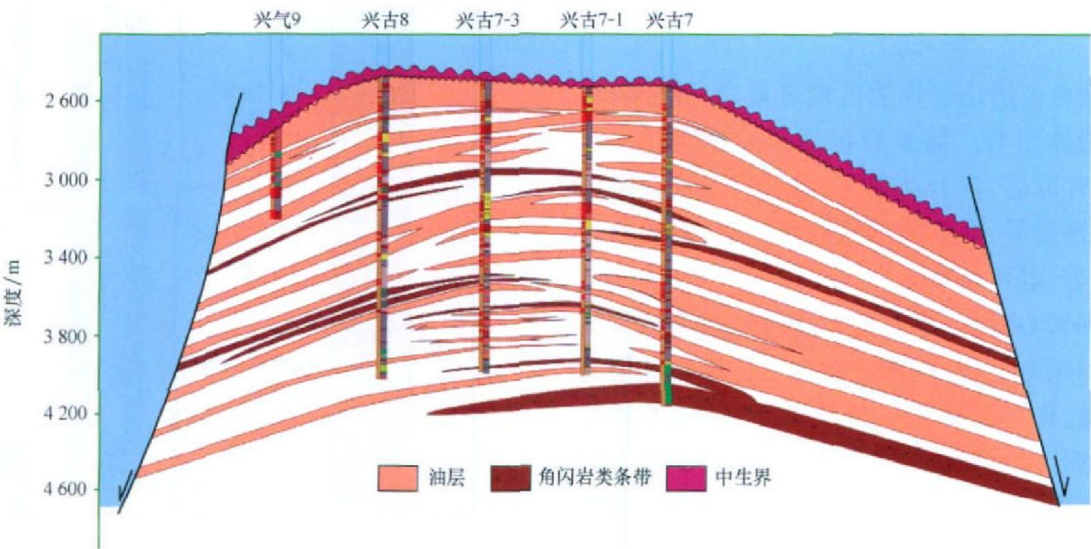


图 3 兴隆台古潜山油藏剖面
Fig. 3 Reservoir profile across the Xinglongtai palaeo-buried hill

表 2 变质岩古潜山的岩性序列

Table 2 Lithologic sequence of metamorphic palaeo-buried hills

序列	iv	㉔	㉕	㉖	㉗	㉘	㉙	㉚
岩性	石英岩	浅粒岩	变粒岩	混合花岗岩	中酸性火成岩	片麻岩	煌斑岩、辉绿岩	角闪岩

通过研究表明, 裂缝发育程度与岩石中暗色矿物含量多少有关。在同样的构造应力的作用下, 暗色矿物含量少的岩性容易产生裂缝成为储层, 而暗色矿物含量较高的岩性不容易产生裂缝, 不易成为储集岩。按照各种岩性中暗色矿物含量的多少对变质岩古潜山中的岩性排序, 形成岩性序列 (表 2), 暗色矿物含量少在岩性序列中靠前的岩性相对于暗色矿物含量多靠后的岩性成为优势岩性。在潜山中, 优势岩性更容易成为储集岩。

在兴隆台古潜山中, 花岗斑岩、闪长玢岩等中酸性的侵入岩岩脉是本区比较好的储集岩, 这是由于在兴隆台古潜山中, 暗色矿物含量最低的岩性为中酸性的侵入岩岩脉, 其他岩性的暗色矿物含量远高于这种岩脉, 因此, 这种岩性能够作为兴隆台古潜山优势岩性, 成为好的储集岩; 而在杜家台古潜山中, 这种中酸性的侵入岩岩脉不是储集岩, 这是由于在杜家台古潜山中石英岩为主要岩性, 暗色矿物含量比中酸性的侵入岩岩脉低, 石英岩为该古潜山的优势岩性, 成为储层。另外, 变质岩古潜山的个体存在岩性的下限, 而对于变质岩古潜山类型来说, 储层岩性无下限, 在一定条件下, 任何一种岩性都有成为储集岩的可能。

通过研究表明, 变质岩自身成层特征以及多种岩性岩性组合, 优势岩性决定有利储层的发育, 从而形成多套储隔层, 为古潜山内幕形成多层次油层提供了前提条件。

2.2 具有多期裂缝发育的构造环境

辽河拗陷的结晶基底属于华北地台的一部分, 受印支运动、燕山运动、喜马拉雅运动等多期造山运动的影响, 在漫长而复杂的地质历史演化过程中, 经历了多期构造运动^[8~10], 抬升隆起、挤压褶皱、块断翘倾、走滑活动以及长期的风化淋滤

等地质应力作用, 造成古潜山裂缝、孔、洞的发育。钻探揭示兴隆台古潜山内部发育碎裂变质岩, 而且岩浆岩脉在古潜山中大量发育, 表明经历了强烈的构造作用。通过对花岗斑岩、闪长玢岩等岩浆侵入体中锆石 U - Pb 原位测年资料分析, 样品年龄值集中在 220~ 230Ma 对应于晚三叠世, 岩心观察这些岩脉裂缝极为发育, 经历了后期构造运动的改造, 表明构造运动的多期性。兴古 7 等井揭示在变质岩潜山内部裂缝储层发育, 是兴隆台古潜山内幕油气富集关键, 彻底改变了以往对太古宇内部为致密层的观点。从马古 1、兴古 7 井的成像测井资料分析, 兴隆台潜山的裂缝走向主要是北东 - 南西向, 与相邻的控制兴隆台潜山的東西向大断层一致, 进一步证明了裂缝发育与构造活动密切相关, 裂缝发育程度直接决定古潜山油气的富集。

2.3 富油气凹陷供烃能力强

对于辽河拗陷而言, 富油气凹陷内的古近系沙 (河街组) 三段、沙四段暗色生油岩, 泥岩性纯且厚, 因此通常都有较高的异常流体压力^[11, 12]。实测砂岩和油气层的压力系数最高可达 1.29, 利用声波时差计算的泥岩压力系数高达 1.90, 而古潜山在地层中一般为低势能区。位于生油洼陷之中和油气运移的主要路径上, 油气源十分充足, 有利于古潜山内幕成藏。目前所发现的发育内幕油藏的古潜山均位于生油洼陷内或临近生油洼陷。

兴隆台古潜山带位于西部凹陷中部, 属于相对独立的构造单元。受构造运动多期性的影响, 兴隆台及周边地区具如下特点: 一方面湖盆具有分隔性, 在古潜山周边地区发育了清水、陈家、盘山等多个生烃洼陷, 每个生烃洼陷几乎具有相对独立的构造发育史、沉积埋藏史和生烃演化史, 形成了各自独立的生烃系统; 另一方面, 每个洼陷内部发育了沙三段、沙四段两套生烃系统, 并且各系统具备了沉积环境的多样性、生油母质的多样性、成熟度的多样性等特点。深层沙三段、沙四段烃源岩埋深大于 3 500m, 处于成熟 - 过成熟演化阶段, 不同层位、不同深度烃源岩所处的演化阶段不同, 具有完整的烃源岩演化系列, 可生成正常油、轻质油、凝析油、湿气、干气等多种相态的烃类。兴隆台潜山天然气和凝析油气藏的存在也正是上述成熟度多样性的表现。因此,

可以说多期的构造运动使油气多期充注,古潜山成藏中烃类组成更加复杂化,并形成多源一藏现象,使该潜山处于复合型的生烃系统之中。十分丰富的油气源为古潜山油气富集提供了优越的条件。

2.4 侧向供油“窗口”是内幕成藏关键因素

辽河拗陷古潜山油源主要来自上覆及侧向古近系的生油层系,为“新生古储”成油组合。古潜山之上往往覆盖一定厚度的中生界或房身泡组玄武岩,古潜山能否成藏决定于能否与上部的古近系沙三段、沙四段生油岩相接触。

兴隆台潜山带马古 3 井揭露中生界厚度达 911 m, 马古 3 潜山为巨厚中生界所覆盖的太古宇古潜山,但马古 3 井仍然在太古宇获得了工业性油气流(图 4)。通过分析认为,该潜山尽管上覆巨厚中生界,但该潜山带南北侧存在的大断层拉开了上覆的中生界,使潜山与生油岩直接接触,提供了区域供油“窗口”,该潜山成藏成为可能。因此,潜山上覆隔层的厚薄不是决定因素,而供油“窗口”的存在与否是潜山能否成藏的关键。

通过对兴隆台古潜山带构造精细解释,落实了马圈子潜山的南侧、兴隆台潜山的北侧以及潜山带的西侧存在着断距较大的断裂,尤其是马圈子潜山南侧的大断层,垂直断距可达到 2 000 m,使沙三段、沙四段生油岩与太古界潜山直接接触,提供了区域大面积的供油“窗口”;从古潜山主体顶界埋深 2 400 m 到供油“窗口”底界深度 6 400 m,古潜山总体供油幅度可高达 4 000 m,从而决定了

该潜山千米以上的含油气幅度(图 4)。

2.5 封盖体系和保存条件良好

辽河拗陷古潜山大多具有“早隆、中埋、后稳定”的特点。从构造演化的角度分析,多数古潜山圈闭在沙三时期以前形成,而且基本定型。晚期的断裂活动对其影响较小,使潜山具有良好的保存条件,与东营组末期油气大规模运移期形成良好的时间上的配置关系。

兴隆台古潜山位于生油洼陷当中,生油岩和盖层一体为其特点,巨厚的泥岩环围着整个潜山带,封盖条件良好,使古潜山具有内幕成藏的优势。

综上所述,变质岩古潜山内幕储隔层交替分布变化,在具备充足油源和区域供油“窗口”的条件下,潜山内幕多期、多层次发育的具有连通性质的裂缝带对油气运移起着沟通作用,在潜山内幕形成相对独立的多个含油气层段的油气藏体系^[13~15]。

3 勘探意义

辽河拗陷变质岩古潜山内幕油藏的认识,突破了传统古潜山风化壳含油的观点,极大地开拓了古潜山勘探新思路,丰富了勘探新领域,对指导油气勘探具有重要的现实意义和理论价值。

继西部凹陷兴隆台古潜山内幕油藏勘探取得突破以后,在大民屯凹陷前进古潜山钻探的沈 288 井在太古宇古潜山表层油气显示微弱,揭开 200 m 后见到良好油气显示;在曹台潜山钻探的曹 602

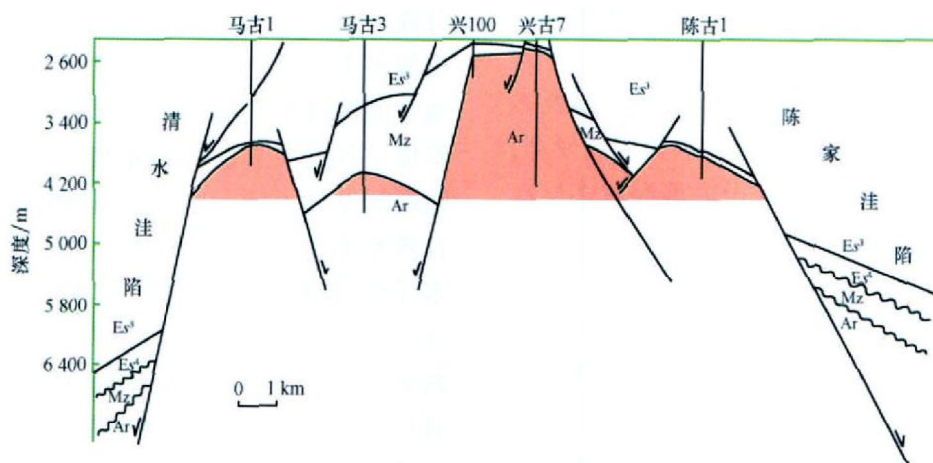


图 4 马古 1 井—陈古 1 井油藏剖面

Fig. 4 Reservoir profile across Well MaGu-1 and Well Chengu-1

井揭开太古宇变质岩 1 896m, 油气显示活跃, 在以往所确定的 1 740m 油水界面以下, 发现依然存在油层, 进一步证实古潜山内幕油藏的观点。以变质岩古潜山内幕成藏模式为指导, 确定了围绕洼陷找潜山、潜山油层之下找油层的勘探思路, 纵向上继续探索古潜山更深层的内幕油藏, 拓展古潜山含油气底界, 并积极开展夹持于西部凹陷和东部凹陷之间的中央凸起以及紧邻东部凹陷的东部凸起古生界的勘探, 辽河拗陷古潜山油藏已展示出广阔的勘探前景。

参 考 文 献

- 1 谯汉生, 袁选俊, 牛嘉玉. 渤海湾盆地隐蔽油气藏勘探 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999
- 2 吴智勇, 郭建华, 吴东胜. 大民屯凹陷静安堡西侧低潜山变质岩储层裂缝发育特征 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22 (4): 322~ 325
- 3 周心怀, 项华, 于水, 等. 渤海锦州南变质岩潜山油藏储集层特征与发育控制因素 [J]. 石油勘探与开发, 2005 32(6): 17~ 20
- 4 单宝杰, 徐刚, 刘魁元. 滑脱型潜山成藏研究——以沾化凹陷渤深 6 潜山为例 [J]. 地质科技情报, 2005 24(1): 65~ 68
- 5 池英柳, 赵文智. 渤海湾盆地新生代走滑构造与油气聚集 [J]. 石油学报, 2000 21(2): 14~ 20
- 6 揭克常. 东胜堡变质岩油藏 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 7 王允诚. 裂缝性致密储集层 [M]. 北京: 地质出版社, 1992 87~ 121
- 8 廖兴明, 姚继峰, 于天欣, 等. 辽河盆地构造演化与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
- 9 张占文, 陈振岩, 郭克圆, 等. 辽河盆地天然气地质 [M]. 北京: 地质出版社, 2002 20~ 110
- 10 陈义贤. 辽河裂谷盆地断裂演化序次和油气藏形成模式 [J]. 石油学报, 1985 6(2): 11~ 15
- 11 孟卫工. 辽河拗陷大民屯凹陷古近系盖层特征及对油气系统的影响 [J]. 古地理学报, 2005 7(1): 25~ 32
- 12 叶加任, 王连进, 邵荣. 油气成藏动力学中的流体动力场 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20 (2): 182~ 185
- 13 谢文彦, 孟卫工, 张占文, 等. 辽河拗陷潜山内幕多期裂缝油藏成藏模式 [J]. 石油勘探与开发, 2006 6 (33): 649~ 652
- 14 方志雄. 潜江凹陷隐蔽油藏成藏主控因素及勘探方向 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(6): 804~ 812
- 15 翟晓先. 塔河大油田新领域的勘探实践 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(6): 751~ 761

(编辑 高 岩)

(上接第 583 页)

- 4 赵宗举, 周新源, 范国章. 塔里木盆地塔中地区主要构造圈闭形成期分布及成藏意义 [J]. 海相油气地质, 2006 11(2): 1~ 8
- 5 何治亮, 陈强路, 钱一雄, 等. 塔里木盆地中央隆起区油气勘探方向 [J]. 石油与天然气地质, 2006 27(6): 769~ 778
- 6 李慧莉, 邱楠生, 金之钧. 利用磷灰石裂变径迹研究塔里木盆地中部地区的热历史 [J]. 地质科学, 2005 40(1): 129~ 132
- 7 崔可. 塔中隆起油气藏模式及勘探方向 [J]. 海相油气地质, 2004 9(1): 84~ 84
- 8 尚雅珍, 王保才, 解晨, 等. 塔中地区油气运聚特征 [J]. 海相油气地质, 2004 9(1): 97~ 104
- 9 朱东亚, 金之钧, 胡文瑄, 等. 塔中地区志留系砂岩中孔隙游离烃和包裹体烃对比研究及油源分析 [J]. 石油与天然气地质, 2007 28(1): 25~ 34
- 10 胡剑风, 吕修祥, 赵风云, 等. 塔里木盆地塔中隆起志留系油气聚集控制因素 [J]. 沉积学报, 2005 23(4): 734~ 739
- 11 高志前, 樊太亮, 王惠民, 等. 塔中地区礁滩储集体形成条件及分布规律 [J]. 新疆地质, 2005 23(3): 283~ 287
- 12 周新源, 王招明, 杨海军, 等. 中国海相油气田勘探实例之五: 塔中奥陶系大型凝析气田的勘探和发现 [J]. 海相油气地质, 2006 11(1): 45~ 51
- 13 于炳松, 陈建强, 林畅松. 塔里木盆地奥陶系层序地层格架及其对碳酸盐岩储集体发育的控制 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26(3): 305~ 309 316
- 14 赵宗举, 贾承造, 周新源, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系油气成藏主控因素及勘探选区 [J]. 中国石油勘探, 2006 11(4): 6~ 15
- 15 沈安江, 王招明, 杨海军, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层成因类型、特征及油气勘探潜力 [J]. 海相油气地质, 2006 11(4): 1~ 12
- 16 刘剑伦, 吴建政, 侯方辉, 等. 塔中隆起寒武——奥陶纪碳酸盐岩台地沉积体系与油气成藏条件 [J]. 海洋地质动态, 2006 22 (3): 27~ 33
- 17 刘克奇, 金之钧. 塔里木盆地塔中低凸起奥陶纪油气成藏体系 [J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2004 29(4): 489~ 494
- 18 吕修祥, 杨宁, 解启来, 等. 塔中地区深部流体对碳酸盐岩储层的改造作用 [J]. 石油与天然气地质, 2005 26(3): 284~ 289 296

(编辑 武新民)