

文章编号: 1001 - 6112 (2005) 05 - 0468 - 05

塔里木盆地塔河油田加里东期古岩溶特征及其意义

俞仁连^{1,2,3}

(1. 西北大学 地质系, 西安 710069; 2. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029;
3. 中国石化 西北分公司, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 塔河油田位于塔里木盆地北部沙雅隆起阿克库勒凸起, 是迄今为止我国已发现的最大的碳酸盐岩油气藏。勘探实践证明, 塔河油田主力油层奥陶系油藏储集空间以碳酸盐岩岩溶孔、洞、缝为主, 因此岩溶作用及其发育程度对奥陶系碳酸盐岩岩溶缝洞型储集体的发育及油气成藏必然具有重要的控制作用。多种资料表明, 本区除发育海西期岩溶外, 还存在加里东期岩溶。原岩性质、断裂、裂缝发育强度、古地貌形态、古气候、古水系是控制岩溶发育的因素, 其中古地貌形态、断裂裂缝发育强度是主要的控制因素。加里东期岩溶对该区奥陶系碳酸盐岩缝洞系统的形成具有重要作用, 对上奥陶统桑塔木组覆盖区之下的中—下奥陶统一间房组、鹰山组和上奥陶统良里塔格组碳酸盐岩的油气勘探具有重要意义, 从而扩大了该区的油气勘探前景。

关键词: 岩溶缝洞型储集体; 加里东期岩溶; 奥陶系油藏; 塔河油田; 塔里木盆地

中图分类号: TE122. 2

文献标识码: A

塔河油田位于塔里木盆地北部沙雅隆起阿克库勒凸起西南部, 东南临满加尔生烃拗陷(图 1)。其总体特征是: 纵向上, 以奥陶系含油层系为主, 其上叠加成带分布的石炭系、三叠系中小型低幅度背斜圈闭、岩性圈闭及复合型圈闭, 由断裂、不整合沟通形成次生油藏, 纵向上具有“复式”成藏组合特征; 平面

上, 奥陶系碳酸盐岩大型不整合—岩溶缝洞圈闭油藏具有大面积连片、不均匀含油特点^[1-3]。

塔河油田主体的奥陶系油藏储集空间以碳酸盐岩岩溶孔、洞、缝为主, 岩溶发育程度对奥陶系碳酸盐岩岩溶缝洞型储集体的发育及油气成藏有重要的控制作用。海西早期是最主要的岩溶发育时期,

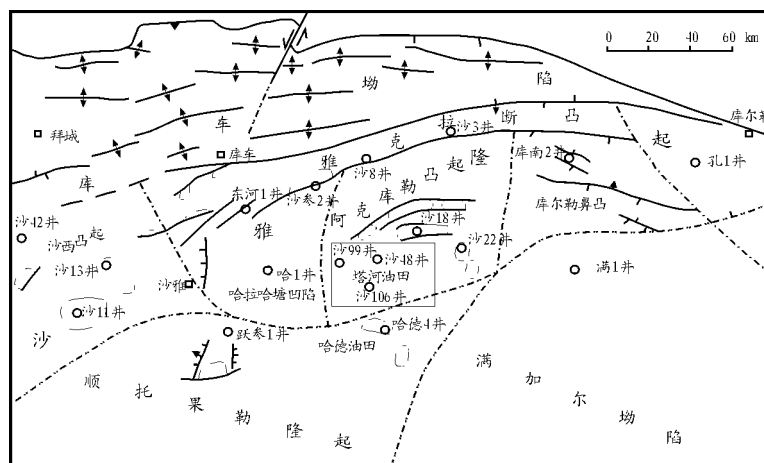


图 1 塔河油田构造位置

Fig. 1 Structural location of the Tahe oil field in the Tarim Basin

收稿日期: 2005 - 05 - 03; 修订日期: 2005 - 07 - 01。

作者简介: 俞仁连 (1962 -), 男 (汉族), 安徽和县人, 高级工程师, 主要从事石油地质研究工作。

其次是加里东中—晚期^[4,5]。

加里东期岩溶对该区奥陶系碳酸盐岩缝洞系统的形成具有重要作用^[5], 对上奥陶统桑塔木组覆盖区之下的中—下奥陶统一间房组、鹰山组和上奥陶统良里塔格组碳酸盐岩的油气勘探具有重要意义, 从而扩大了该区的油气勘探前景^[6,7]。

1 加里东期古岩溶特征

塔河地区经历了多次构造运动与暴露, 发生了多期岩溶作用。根据实钻大量岩心描述、岩溶充填物包裹体测温、元素分析、同位素测定、裂缝充填与交切关系等方面的综合研究认为, 海西早期、晚期是最主要的岩溶发育时期, 其次是加里东中—晚期。海西期岩溶前人已进行了大量研究, 本文主要讨论加里东中期岩溶作用特征。

1.1 地质背景

塔里木板块在中、新元古代南华纪固结为增生的大陆地壳, 成为具前寒武系基底的克拉通盆地, 大陆边缘和深海盆与原特提斯洋各分支小洋盆相连。早震旦世—中奥陶世, 塔里木板块和边缘裂解, 板块南、北的古生代西昆仑北带及北天山有限洋盆扩张, 塔北至中奥陶世为被动大陆边缘。克拉通在基底隆起的基础上, 组建塔北和塔中2个遥相对应的碳酸盐台地, 其间的阿瓦提—满加尔分别为克拉通内浅海—深海坳拉槽盆。中奥陶世—晚奥陶世, 塔里木板块南、北的古生代西昆仑北带及北天山有限洋盆俯冲、削减, 满加尔深海盆地反转为浊流盆地, 碎屑岩由东向西推移, 形成向塔北和塔中海侵上超的假象, 塔北的碳酸盐台地经2次“淹没”后消亡^[5,8]。

奥陶纪塔里木盆地演化和沉积相的配置, 是加里东期盆山转换的重要反响, 形成多个沉积—构造转换面。寒武纪—早奥陶世的早加里东运动, 造成两者间的假整合。中—晚奥陶世的中加里东运动(艾比湖运动、阿克库勒运动), 塔里木由克拉通被动大陆边缘向前陆盆地转换, 塔北和塔中分别为前陆隆起。志留纪—泥盆纪晚加里东运动, 大规模的海退始于早志留世, 塔北大部缺失中志留统一中泥盆统。

加里东中期岩溶主要表现为中奥陶统与上奥陶统之间及上奥陶统内部发生的岩溶作用。中、晚奥陶世之交, 正是塔里木构造环境由拉张、离散向聚敛、挤压转换的阶段, 盆地由内源沉积为主转变为陆源沉积为主。在此构造背景下, 塔里木盆地广大地区发生了加里东中期运动, 但不同地区受该期运

动的影 响程度不同, 巴楚隆起该期运动表现强烈, 缺失8~12个牙形刺带, 沉积间断延续30~50 Ma; 沙西地区该期运动程度较弱, 仅造成中奥陶统顶部的短暂暴露和轻微岩溶; 前人认为包括本区内的阿克库勒凸起中奥陶统与晚奥陶统之间为连续沉积、无间断。通过近两年的研究认为: 塔河油田南部在中奥陶统一间房组与上奥陶统恰尔巴克组之间, 以及上奥陶统内部(良里塔格组与桑塔木组间)存在间断, 即加里东中期至少存在2幕岩溶作用。

加里东中期第一幕岩溶作用: 中奥陶统一间房组与上奥陶统恰尔巴克组之间。塔河油区三维地震解释成果表明, 部分地区中奥陶统一间房组与上奥陶统恰尔巴克组之间为明显削截关系, 表明其间存在间断和缺失; 同时, 塔河油区南部的S69等10余口井中发现中奥陶统与上奥陶统之间缺失2~4个牙形刺带, 表明其间确实存在缺失、间断。

加里东中期第二幕岩溶作用: 发生在晚奥陶世良里塔格组沉积期与桑塔木组沉积期之间。塔河油区南部兰尔及东部桑东三维地震解释成果表明, 本区良里塔格组与桑塔木组为明显超覆关系, 表明其间存在间断和缺失。

区域二维地震剖面解释成果表明, 从满加尔坳陷至阿克库勒凸起, 上奥陶统逐层超覆到中奥陶统之上, 其间存在明显的间断和缺失(图2)。

塔河油区南部兰尔及东部桑东三维地震解释成果表明, 本区上奥陶统良里塔格组与桑塔木组为明显超覆关系, 表明其间存在间断和缺失(图3)。

1.2 地球化学证据

研究表明, 本区加里东中期岩溶及海西早期岩溶充填物在锶同位素和铍、钡等微量元素地球化学标志方面存在明显的差别。

1.2.1 锶同位素组成特征

从塔河油田奥陶系碳酸盐岩早期孔洞方解石及洞穴方解石锶同位素值测定结果(图4)可以看出, 早期孔洞方解石的锶同位素组成为0.70935~0.70970, 与早奥陶世海洋的锶同位素组成范围(0.7087~0.7094)相近, 表明它们是海水中沉淀的早期胶结物及充填物。

岩溶洞穴方解石的锶同位素组成为0.70894~0.71827, 变化范围较宽。可大致分为2组, 第一组的锶同位素组成为0.70894~0.70993, 仍与早奥陶世海洋的锶同位素组成相近, 表明没有大量陆壳锶的加入, 应为加里东中期岩溶产物; 第二组的锶同位素组成为0.71018~0.71827, 分布范围较宽, 且明显大于早奥陶世海洋的锶同位素组成, 表

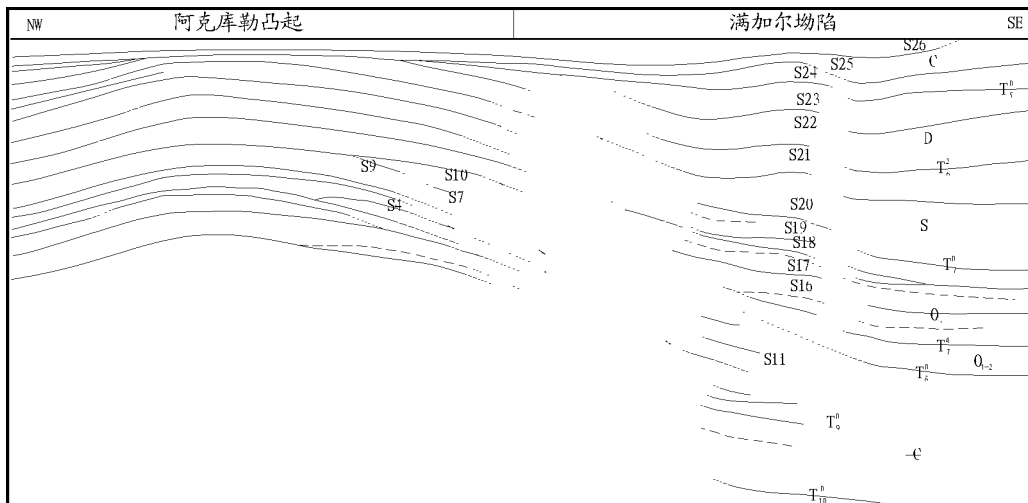


图 2 塔里木盆地北部地震 TBB - E59 测线层序地层解释剖面

Fig. 2 Strata sequence interpretation of seismic line TBB-E59 in the north of Tarim Basin

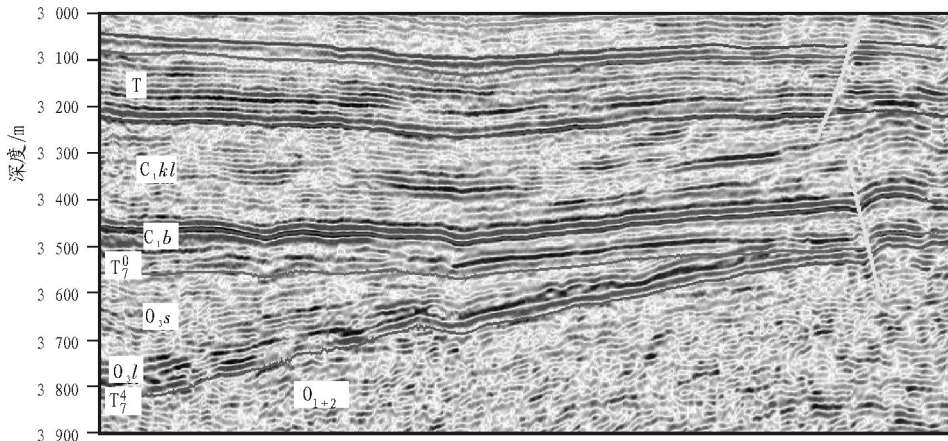


图 3 塔河油田东南部南北向剖面

Fig. 3 SN profile of the southeast of Tahe oil field in the Tarim Basin

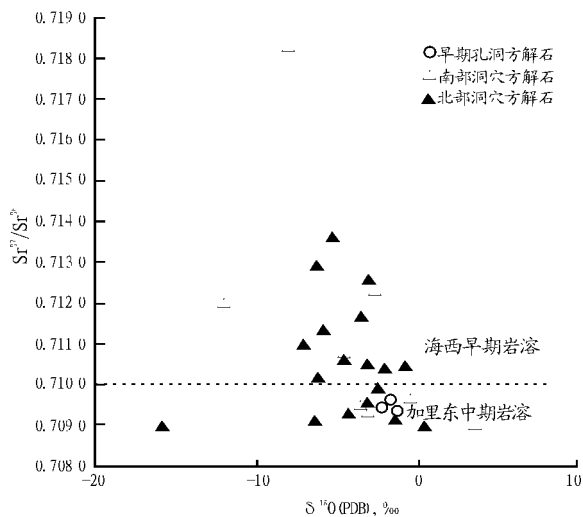


图 4 塔河油田奥陶系岩溶产物 $Sr^{87}/Sr^{86} - ^{18}O$ 组成分布特征

Fig. 4 Distribution characteristics of $Sr^{87}/Sr^{86} - ^{18}O$ in the Ordovician karst of Tahe oil field, the Tarim Basin

明有较多由大陆风化通过河流提供的陆壳锶的加入,使锶同位素值提高,应为海西早期岩溶产物。

此外,从图 4 还可以看出,塔河油田北部(缺失奥陶系上统地区)与南部(奥陶系上统分布地区)洞穴方解石锶同位素组成范围相近,不论是北部还是南部都有加里东中期和海西早期岩溶产物。

1. 2. 2 微量元素组成特征

从塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶产物 Sr/Ba 比值及 $Sr/Ba - MgO$ 的组成(图 5)可以看出,海西早期与加里东中期岩溶洞穴方解石的 Sr/Ba 比值及 $Sr/Ba - MgO$ 的组成分布有较明显的区别,加里东中期岩溶产物 $Sr/Ba > 1$,且 MgO 值分布较宽;而海西早期岩溶产物 $Sr/Ba < 1$,且 MgO 值分布较集中。

1. 3 古岩溶垂向结构

塔河油田南部部分钻井揭示了加里东中期岩溶

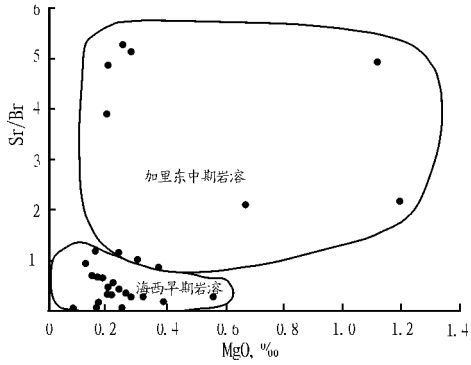


图 5 塔河油田奥陶系岩溶产物 Sr/Br—MgO 组成分布特征
Fig. 5 Distribution characteristics of Sr/Br—MgO in the Ordovician karst of Tahe oil field, the Tarim Basin

作用形成的储层发育段。

1. 3. 1 LN46 井

该井位于塔河油田东南部，5 438. 5 ~ 6 208. 0 m 为奥陶系，在上奥陶统恰尔巴克组完钻（未见底）。近底部在上奥陶统良里塔格组 6 124 ~ 6 141, 6 154 ~ 6 171, 6 200 ~ 6 208 m 取心井段缝洞发育，且多数相互连通，见 3 条垂直大缝（长 10 ~ 58 cm，宽 3 ~ 11 mm），3 条中缝，微缝发育；并见大洞 2 个（30 mm × 35 mm，25 mm × 46 mm）、中洞 74 个，针孔 0 ~ 7 个/cm²；缝洞内为方解石、黄铁矿半充填—全充填。该岩溶发育段（包括角砾岩段

及缝洞发育段）距奥陶系顶 681 m，且该段之上的中上奥陶统有累计厚达 247 m 的泥质岩（单层最厚达 25 m）；并且从过 S9 井至 LN46 井的岩溶剖面图（图 6）来看，该期岩溶不可能是加里东晚期或海西早期的产物，只能是加里东中期（良里塔格组与桑塔木组之间的间断）形成的^[9,10]。

1. 3. 2 S69 井

该井位于上奥陶统尖灭线附近，桑塔木 2 号构造东高点。5 453. 0 ~ 5 530. 5 m 为上奥陶统，钻厚 77. 5 m；5 530. 5 ~ 5 700. 0 m 为中下奥陶统，钻厚 169. 5 m（未见底）。

5 646 ~ 5 650 m 及 5 696 ~ 5 700 m 井段岩心为巨晶方解石夹黑色沥青，巨晶方解石应为大型溶洞中的化学充填物。该大型溶洞距中上奥陶统顶部 200 ~ 240 m，所以不可能是海西早期岩溶的产物，应是加里东期暴露岩溶作用的产物（图 6）。

1. 3. 3 T904 井

T904 井位于桑东地区南部，石炭系巴楚组盐体尖灭线附近。5 457 ~ 5 837 m 为上奥陶统。中奥陶统顶面深度为 5 837 m。在一间房组内部 5 892. 46 ~ 5 900. 41 m 取心见洞穴充填白色方解石，发育不规则裂缝，沿缝发育方解石梯形晶洞（裂缝为浅褐色），明显为多期岩溶作用特征；5 936. 8 ~ 5 939. 49 m 井段放空 2. 69 m。该放空

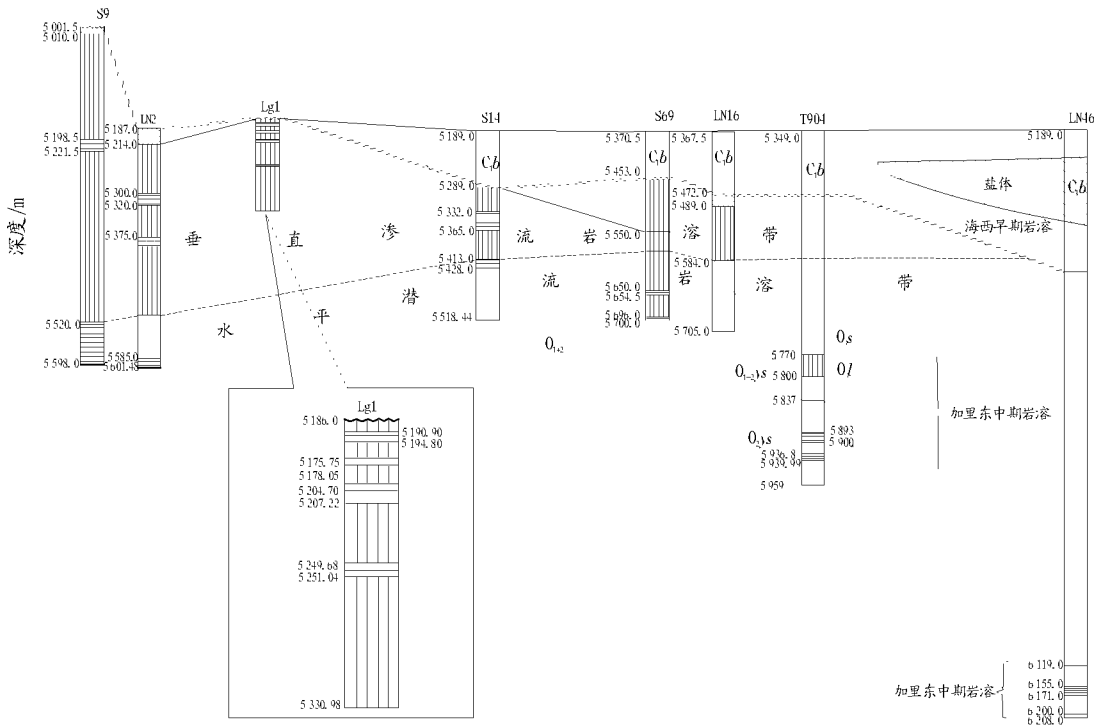


图 6 塔河油田 S9—S69—LN46 井岩溶剖面示意图

Fig. 6 Karst profile of wells S9—S69—LN46 in the Tahe oil field

井段和洞穴充填白色方解石段距奥陶系顶面在 400 m 以上, 且该段之上的上奥陶统有累计厚达 200 m 的泥质岩, 所以只能是加里东中期岩溶作用的产物(图 6)。

1. 3. 4 沙 106 井

沙 106 井位于塔河油田南部石炭系盐体分布区。该井在良里塔格组累计漏失泥浆 259. 71 m³, 推测可能存在岩溶缝洞型储层; 中奥陶统一间房组 5 909. 55 m 井段发生井漏, 累计漏失泥浆近 500 m³。将泥浆密度从 1. 12 调整到 1. 11 后, 发生强烈井涌。后 DST 测试, 6 mm 油嘴, 折算日产油 270 m³, 气 1 000 余 m³, 取得了盐下勘探领域的重大突破。该段之上的上奥陶统累计厚 400 余 m, 其中泥质岩厚达 200 余 m, 所以该期岩溶型储层可能是加里东中期形成的。

典型的单一期次岩溶作用自上而下可分为地表岩溶带、渗流岩溶带(又可细分为近地表渗入带和渗滤岩溶带)和潜流岩溶带, 上述岩溶分带主要受潜水面深度和地下水运动的控制。由于本区经历了多次构造运动, 海平面多次升降引起潜水面多次变化, 导致多次岩溶作用的产物形成的渗流岩溶带和潜流岩溶带叠加在一起, 形成目前塔河油田复杂的岩溶作用发育面貌。目前 T707 井纵向上钻遇了 5 套洞穴层, 下面 2 层可能是加里东中期岩溶作用的产物^[4]。

2 加里东期古岩溶的勘探意义

加里东中期岩溶的发现对本区油气勘探、开发具有重要意义。本区存在的加里东中期岩溶, 可以引导人们正确认识上奥陶统桑塔木组覆盖区的中一下奥陶统一间房组、鹰山组和上奥陶统良里塔格组碳酸盐岩储集体的发育程度, 指导塔河油田南部地区的油气勘探, 向南扩大了奥陶系勘探面积并从纵向上加深了塔河油田勘探层系的深度。塔河油田奥陶系碳酸盐岩加里东期古岩溶发育这一基本认识是塔河油田南扩、向深部领域(6 000 m 以下)加深勘探和盐体覆盖区勘探的理论基础。目前 S101, T453 井在上奥陶统良里塔格组碳酸盐岩缝洞型储层中获工业油气流, S94, S99, S102 等井实钻在 6 000 m 以下于中下奥陶统获工业油气流或见油气层。此外, 根据这一认识, 相继部署了一批探井并获得了重大油气突破, 如 S108 井于 5 960 ~ 5 996 m 井段获高产工业油气流, S106 井于盐下中奥陶统一

间房组 5 911. 5 m 井段获得高产工业油气流, T904 井于 5 936 ~ 5 939 m 井段钻遇大型溶洞并获高产油气流, 均说明这一勘探领域具有巨大的勘探潜力。

因此, 加里东中期岩溶的重要发现, 为塔河油田向南扩大提供了科学依据, 使勘探面积向南(含 SE 和 SW)扩大了 3 700 km², 预计可控制油气地质储量约 3 × 10⁸ t 油当量。

3 结论

综上所述, 地震资料解释、地层古生物、钻井地质及地球化学等依据充分表明, 本区加里东中期运动表现明显, 该期岩溶作用存在, 对奥陶系碳酸盐岩缝洞系统的形成具有重要作用, 对上奥陶统桑塔木组覆盖区之下的奥陶系碳酸盐岩的油气勘探具有重要意义, 扩大了勘探领域, 为塔河油田扩边以及把塔河油田培育成特大型油气田提供了理论基础。但目前这方面的研究仍只是开端, 加里东期岩溶的规模、展布及有利储集体的分布预测等尚需进一步加强研究。

参考文献:

- 黎玉战. 塔里木盆地塔河油田发现历程及其意义 [J]. 石油实验地质, 2004, 26 (2): 180 ~ 186
- 周玉琦. 塔里木盆地塔河油田的勘探实践与认识 [J]. 石油实验地质, 2001, 23 (4): 363 ~ 367
- 王恕一. 塔里木盆地塔河油田下奥陶统碳酸盐岩的空埋溶蚀作用及其对储集体的影响 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (增刊): 601 ~ 606
- 翟晓先. 塔里木盆地北部复杂地质条件下寻找大油气田的方向和地区 [A]. 见: 康玉柱编. 中国塔里木盆地石油地质文集 [C]. 北京: 地质出版社, 1996
- 张光亚, 宋建国. 塔里木克拉通盆地改造对油气聚集和保存的控制 [J]. 地质论评, 1998, 44 (5): 511 ~ 521
- 何发岐. 塔里木盆地塔河油田近年来勘探主要成果与下一步勘探方向 [J]. 石油实验地质, 2004, 26 (1): 23 ~ 27
- 何发岐. 塔里木盆地塔河油田油气勘探新技术 [J]. 石油实验地质, 2001, 23 (3): 318 ~ 322
- 张宝民. 塔里木盆地寒武—奥陶系烃源岩特征及其发育的控制因素初探 [A]. 见: 王宜林编. 第五届全国沉积学及岩相古地理学学术会议论文集 [C]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1997. 319 ~ 322
- 梁狄刚. 塔里木盆地九年油气勘探历程与回顾(续) [J]. 勘探家: 石油与天然气, 1999, 4 (2): 53 ~ 56
- 顾乔元, 潘文庆. 轮南地区奥陶系油气成藏特征 [J]. 新疆石油地质, 1999, 20 (3): 210 ~ 212

(下转第 478 页)

Maracaibo and the Eastern Venezuelan Basin, it suggests that the exploring should focus on the deeper of basins, where is still possible to discover huge oil and gas fields, particularly in the east part of the Maracaibo Basin, El Furrial/ Quiriquire and Great Anaco petroleum provinces of the Eastern Venezuelan Basin. Therefore Venezuelan is an attractable area for petroleum exploration and production.

Key words: exploration area; hydrocarbon resource; exploration potential; the Maracaibo Basin; the Eastern Venezuelan Basin; Venezuelan

(continued from page 472)

CHARACTERISTICS AND SIGNIFICANCE OF THE CALEDONIAN KARST IN THE TAHE OIL FIELD, THE TARIM BASIN

Yu Renlian^{1,2,3}

(1. Geology Department, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. Research Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. Northwest Branch, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: The Tahe oil field is located in the Akekule uplift in the north of Tarim basin. It is the biggest carbonate hydrocarbon reservoir found in the Tarim basin up to now, and the biggest in China. According to exploration, the Ordovician reservoir, as the main reservoir bed in Tahe oil field, is mainly composed of hole, cave and aperture. Karst development consequentially controls the development of carbonate aperture-cave reservoir and reservoir formation. Kinds of data indicate that, there is Caledonian, besides Hercynian karst in the Tahe oil field. Study findings indicate that, native rock characteristics, development of rupture and fissure, ancient physiognomy, climate and water system control karst development, among which ancient physiognomy and development of rupture and fissure are the main factors. The Caledonian karst plays an important role in the development of rupture and fissure system of Ordovician carbonate rock, and is important to the exploration of middle Ordovician Yijianfang Formation, middle-low Ordovician Yinshan Formation and upper Ordovician Lianglitage Formation covered by the upper Ordovician Santamu Formation, consequentially enlarging the exploration foreground in this area.

Key words: karst aperture-cave reservoir; Caledonian karst; Ordovician reservoir; the Tahe oil field; the Tarim Basin