

文章编号:0253-9985(2004)04-0462-05

塔河油田奥陶系一间房组 礁滩相溶蚀孔隙型储层特征与成因

张涛¹, 闫相宾¹, 王恕一², 余茂生³

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石化石油勘探开发研究院无锡实验地质研究所, 江苏无锡 214151;
3. 中国石化大港油田滩海勘探开发公司, 天津大港 300280)

摘要:塔河油田中奥陶统一间房组广泛发育的生物礁滩相具有台地内部的点礁、点滩性质, 储层的储集空间主要是微裂缝-次生溶蚀孔隙。储层纵向上分布层位不稳定; 平面上总体显示出西强东弱的特点; 储层段内储渗空间的发育也具有较强的非均质性。次生溶蚀孔隙的形成受控于加里东期或海西早期大气水岩溶作用、后期构造破裂作用和深埋溶蚀作用的叠加改造, 以晚期深埋溶蚀作用为主。烃源岩的热降解和储层中的烃类热催化裂解, 生成有机酸和二氧化碳, 引起深层碳酸盐岩发生溶解作用。温度差所产生的热对流循环系统是驱动流体流动的主要动力。

关键词:一间房组; 生物礁滩相; 深埋溶蚀; 次生溶蚀孔隙; 塔河油田

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

Characteristics and genesis of reef-bank facies reservoirs with dissolution pores in Ordovician Yijianfang Formation in Tahe oilfield

Zhang Tao¹, Yan Xiangbin¹, Wang Shuyi², Yu Maosheng³

(1. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing; 2. Research Institute of Experimental Geology, Wuxi, Jiangsu;
3. Tidal & Shallow Water Area Exploration and Development Company, Dagang Oilfield Company, PetroChina, Dagang, Tianjin)

Abstract: The organic reef and bank facies, widely developed in Middle Ordovician Yijianfang Formation in Tahe oilfield, are characterized by point reefs and banks within the carbonate platforms, and the reservoir spaces are mainly of microfissures and secondary dissolution pores. Vertically, characterized by their uneven distribution in various horizons, while laterally, as a whole, they appear to be well developed in the west and poor in the east. In addition, the permeable-storage spaces are heterogeneous in the reservoir intervals. The formation of secondary dissolution pores had been controlled by karstification of meteoric water during Caledonian or Early Hercynian, and then had been superimposed by late structural fracturing and deep-lying dissolution, of which late deep-lying dissolution to be the main agent. Organic acid and CO₂, generated from thermal degradation of source rocks and thermo-catalytic cracking of hydrocarbons in reservoirs, destabilized and dissolved the carbonates at depth. Thermal convection and circulation system, caused by temperature difference, would be the main dynamic force driving the fluid flow.

Key words: Yijianfang Formation; organic reef and bank facies; deep-lying dissolution; secondary dissolution pore; Tahe oilfield

塔河油田位于塔里木盆地塔北隆起区南坡阿克库勒凸起上, 是一个以奥陶系碳酸盐岩不整合-岩溶缝洞型油气藏为主的大型油田。随着塔河油田钻探范围的扩大和钻井数的增加, 目前有30余口井钻遇奥陶系一间房组礁滩相, 近半数钻

井获工业油气流, 表明奥陶系一间房组礁滩相溶蚀孔隙型储层在塔河地区是一种新的、具有广阔勘探前景的储层类型。目前围绕塔里木生物礁滩相的地层层位分布、造礁生物种类、礁体组成演化、储集性等方面有较多论述^[1~4], 明确生物礁主

基金项目:“十五”国家攻关项目一级专题“塔里木盆地北部碳酸盐岩大中型油田勘探目标选择”(2001BA605A-03-01)

第一作者简介:张涛, 男, 31岁, 工程师(硕士), 石油地质

收稿日期:2004-07-10

要分布于台地边缘环境和台地内的低隆部位,层位集中于中奥陶统一间房组、上奥陶统良里塔格组和吐木休克组^[1,2];含礁层系储层物性总体较差,礁基和礁盖储层物性明显好于礁体本身,储层性能主要受沉积相和成岩作用的控制^[3]。本文通过塔河地区沉积相特征、储层特征及成因、发育分布等方面的分析,对该类储层的成因进行了探讨,为类似储层的勘探提供指导。

1 沉积微相

根据区域地质研究及地震剖面资料,早奥陶世塔里木盆地北部为一套台地相碳酸盐岩沉积,塔河油田则处于台地区内部。塔河油田奥陶系一间房组发育的礁滩属于台地内部点礁点滩性质。

在 S76 井 5 590.25 ~ 5 598.65 m 井段中,下部为生物礁(丘),包括礁丘基、礁丘核、礁丘盖。其中礁丘核厚 1.77 m,为浅灰色障积型海绵礁(丘)灰岩,海绵含量为 20% ~ 30%,基本上保持原始生态,并含较多棘屑、腕足、藻类等生物或生屑。其中,生物体腔溶蚀孔及微裂缝含油,经中国科学院南京古生物研究所鉴定,海绵属种较为单一,主要为 *Calathium* sp(瓶筐石),属造礁海绵^[3-5];上部为浅滩相。

经钻井揭示,一间房组礁滩相在塔河油田南部分布广泛,如塔河西南部 S102, S86, T704, T706(图 1),中部 S106, T208, T207, 东部的 S96 和 T902, 南部的羊屋 2 井等井钻遇礁滩颗粒灰岩(砂屑灰岩、鲕粒灰岩、生物碎屑灰岩、粒屑灰岩),表明此礁滩相不是呈台地边缘的“带”状或“线”状分布,而是呈“面”状分布。

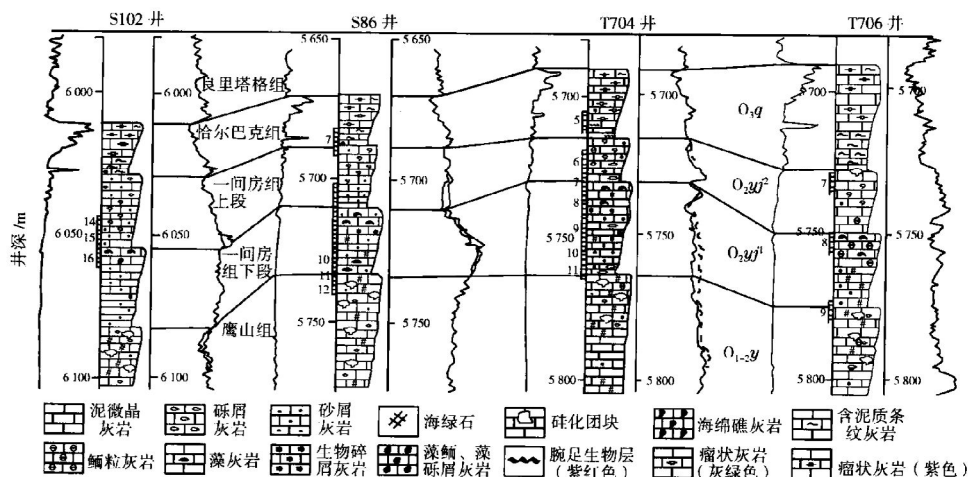


图 1 塔河地区 S102-S86-T704-T706 井中奥陶统一间房组地层对比图

Fig.1 Stratigraphic correlation of Middle Ordovician Yijianfang Formation encountered in S102-S86-T704-T706 wells in Tahe area

从其发育规模看,本区所发现的生物礁(丘)规模均很小,礁主体一般仅 1 ~ 2 m,如 S76 井礁主体仅 1.77 m;S60 井第 14 ~ 16 回次取心井段,发育 4 层礁(丘),其厚度分别为 1.55 m, 1.11 m, 1.10 m 及 1.0 m,这正是台内礁(丘)的特点。与阿尔金断隆尧勒萨依剖面下奥陶统环形山组发现的台地边缘生物礁(礁主体的厚度达 72.83 m)差异较大^[5]。

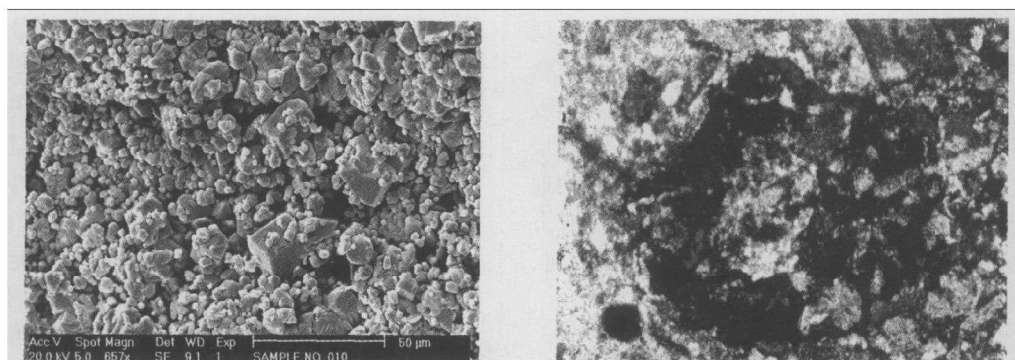
2 储层特征及评价

2.1 储集空间类型

通过岩心、薄片、铸体薄片、荧光薄片及扫描电镜等观察与综合分析,认为该套储层孔隙类型主要

为次生溶蚀孔隙。以 S76 井 5 590.35 ~ 5 595.86 m (即浅滩相发育段)为例,主要孔隙类型有 7 类(图 2): (1) 藻屑内溶孔,溶孔直径一般为 0.01 ~ 0.05 mm,最大为 0.22 mm; (2) 散布在微晶方解石基质中的葛万藻、兰绿藻局部溶蚀所形成的溶蚀孔隙; (3) 宽度为 0.005 ~ 0.030 mm 的溶缝; (4) 沿裂缝及缝合线分布的溶蚀孔隙; (5) 粒内溶孔中充填的方解石晶间孔及充填高岭石的晶间孔; (6) 方解石胶结物晶间及晶内溶孔; (7) 较大生物(如海绵、腕足类等)体腔的局部溶蚀孔隙。

该类储层孔隙总体具有以下特点: (1) 以溶蚀孔隙为主,占 90% 以上,特别是第 1 及第 2 类(即



A S76 井 5593m. 亮晶砂屑-生屑灰岩, 溶孔及晶间孔发育, 扫描电镜

B 76 井 5591m 砂屑中的溶孔 (粒内溶孔) 单偏光 $\times 45$

图2 塔河一间房组颗粒灰岩扫描电镜、铸体薄片所示溶孔分布图

Fig.2 Distribution of dissolution pores observed from SEM and cast thin sections of grainstones in Ordovician Yijianfang Formation in Tahe area

藻屑内及基质中散布的藻类)溶孔, 占总孔隙的70%~80%;(2)孔隙分布较均匀, 散布在整个岩石中, 因此, 粗看似原生孔隙;(3)孔隙一般都较小, 孔隙直径以0.01~0.05 mm为主, 仅第7类孔隙较大, 但数量很少, 分布不均;(4)孔隙主要发育于藻屑及富藻的微晶基质中, 亮晶胶结物中极少发育孔隙。

2.2 物性特征

根据溶蚀孔隙发育程度、分布, 可将奥陶系一间房组发育的滩相颗粒灰岩溶蚀孔隙型储层分为两类, 它们具有不同的物性特征。

第一类——相对均质的溶蚀孔隙储层。此类储层以 S76 井 5590.00~5595.65 m 段和 S86 井 5709.27~5717.55 m 段为代表, 岩性上主要为亮

晶海百合生物碎屑灰岩、藻粘结生物碎屑灰岩等, 岩心上见针状溶蚀孔隙密集发育, 分布较均匀。另外, 可见少量溶蚀孔洞和垂直层面未充填裂隙, 岩石具有整体含油特征。

从溶蚀孔隙发育段的岩心孔隙度、渗透率分布直方图上可以看出(图3), 其孔隙度多在4%以上, 渗透率主要集中于 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于储集性较好的碳酸盐岩储层。该类储层在 S86, T443, S96, T204, T708, T710 等井也很发育。

第二类——斑状分布的溶蚀孔隙型储层。此类储层以 S72 井 5515.00~5527.88 m 段和 T204 井 5553.50~5566.63 m 段为代表, 其岩性仍为亮晶粒屑灰岩和藻粘结粒屑灰岩, 溶蚀孔隙在岩心上呈斑状分布。另外, 有少量高角度斜交层面未充

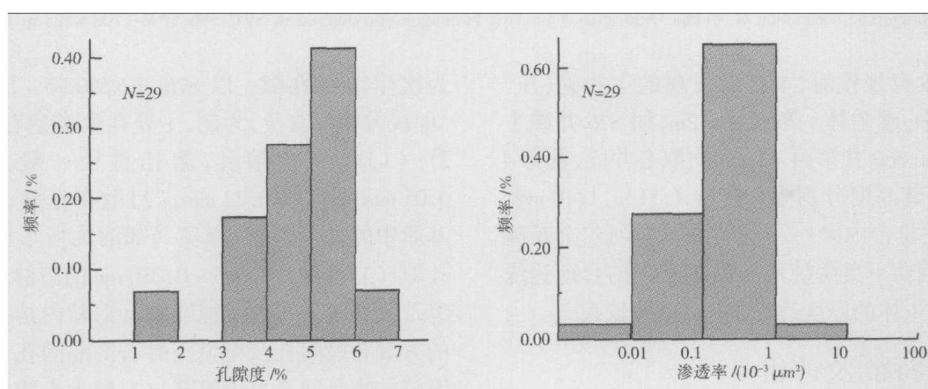


图3 S76 井 5590.00~5595.65 m 井段滩相颗粒灰岩储层岩心孔、渗分布直方图

Fig.3 Histogram of porosities and permeabilities of organic bank

facies grainstone cored from 5590~5595.65 m interval in S76 well

填裂隙。岩石具有斑状含油特征。

2.3 储层分布

依据塔河油田南部钻遇目的层井的综合识别和解剖,其储层发育特征如下。

(1)在横向和纵向上的非均质性均较强,且纵向上分布层位不稳定。有的井(S69, S72)一间房组虽发育滩相颗粒灰岩,但缺乏与此相联系的溶蚀孔隙型储层;有的井(S76, S86, T207)仅发育一套溶蚀孔隙型储层;还有一些井段一间房组却发育2或3段滩相颗粒灰岩溶蚀孔隙型储层。这说明碳酸盐岩浅滩相是控制该类储层发育的重要因素,然而,并非滩相颗粒灰岩层段都能发育成此类储层。

(2)平面上,此类储层的发育总体呈现出西强东弱的特点。塔河油田南部中西段滩相颗粒灰岩溶蚀孔隙型储层发育程度相对较强,而塔河油田南部东段滩相颗粒灰岩溶蚀孔隙型储层发育程度相对较弱。

(3)储渗空间的发育具有非均质性,岩心观察结果表明,塔河油田 S76 和 S86 井一间房组该类储层段内容蚀孔隙的发育具有相对均质性,而塔河油田 S72 和 T204 井一间房组该类储层段内的溶蚀孔隙呈斑块状分布,原始孔隙亦呈斑状分布。

3 储层成因——深埋溶蚀

3.1 依据

岩心、薄片、扫描电镜观察结果表明,早期溶孔全部被粒状亮晶方解石充填胶结^[2]。此类储层的储渗空间主要为次生溶蚀孔隙,是后期深埋阶段溶蚀的产物,依据如下。

(1)溶蚀作用主要发育在滩相生物颗粒灰岩中,主要表现为颗粒内容孔(砂屑内容孔、葛万藻壁发育的溶孔)、粒缘(棘屑)溶蚀孔、粒间微晶基质中的晶间溶孔、亮晶方解石胶结物中的晶间溶孔及沿缝合线发育的溶缝,溶蚀孔隙分布较为均匀、孔径小(一般0.01~0.03 mm,少数可达0.10 mm以上),这与受裂隙通道控制的表生岩溶期灰岩溶蚀特征相比存在显著差异^[6-8],表明这些次生溶孔主要不是古表生岩溶作用的产物。

(2)该期溶蚀作用可能与深部热水活动有关,其证据有:①两相流体包裹体分析表明,本区已检测到的流体包裹体均一化温度大于该层位在地质历史中所经历的最高温度(152.3~163.2℃,

186.7~196.9℃);②本区已发现有热液矿物——萤石,而且在萤石周围(岩石或生物体)有明显的退色作用;③部分溶孔发育于萤石中或萤石中残留的微晶方解石晶间,是埋藏溶蚀的直接证据。

(3)次生溶孔的形成揭示出此期溶蚀作用可改造多期成岩组构,特别是埋藏成因铁方解石遭到溶蚀、沿缝合线的溶蚀、缝洞内(晚二叠世)深部热液成因萤石遭到溶蚀等有力地证明了溶蚀作用发生于晚期深埋条件下。

上述证据表明,深埋溶蚀作用由于其在成岩序列中发生较晚,很容易保存,成为现今的有效孔隙,所以深埋溶蚀作用对提高局部储层孔渗性能具有重要的建设性作用。

3.2 机制

晚期深埋溶蚀作用指的是烃源岩的热降解和储层中的烃类热催化裂解,生成有机酸和二氧化碳,引起深层碳酸盐岩不稳定而发生溶解作用。

塔河地区主要有两个途径提供酸性溶液。①干酪根热降解过程中产生有机酸。油水运移过程中,携带着从源岩排出而溶于油水流体的二氧化碳、有机酸进入储层^[9]。加里东中晚期—海西期的多次岩溶作用,携带细菌的地表水渗入,使原油发生生物降解,不断有中间代谢产物有机酸产生。②烃类热化学反应过程中,硫酸盐还原作用被认为是深埋、较高温条件下储层具有高有机酸浓度的重要原因之一^[10,11]。储层中的烃类在热催化裂解和硫酸盐还原作用(TSR)下,发生蚀变,产生沥青与有机酸。这与研究区碳酸盐岩普遍发育的储层沥青和黄铁矿矿物相吻合。本区奥陶系地层水pH值为4~6, HCO_3^- 浓度为91.27~234.00 mg/L,说明仍有较高的有机酸和碳酸根离子含量,在一定的温度、压力和地球化学条件下可以发生埋藏溶解作用。

研究认为温度差产生的热对流循环是深部流体流动的主要驱动机制,构造作用也为流体运动提供通道和动力条件。

成岩序列研究揭示埋藏溶蚀在成岩晚期(燕山末期—喜山早期)发育,因此深埋溶蚀—沉淀的动力机制的建立应以喜山期的地温场为基础,而这可用现今地温场来近似替代。利用测井测试取得的温度代表地层温度,塔河地区现今地温梯度较低,下奥陶统地温梯度为20~23℃/km(表1),总体上具有北高南低、向东向西变高的趋势,但局部

存在若干高值区和低值区(图4)。如南平台一带表现为最低值,T301和TK311井具有高值,TK403井为较高值,TK423井则为低值。温度差可导致热对流循环驱动流体流动,本区可形成由北向南或由3区向南平台一带地层流体热对流循环单元,其中存在着若干个局部热对流循环系统。地温低的地区发生埋藏溶解,地温高的地区则形成方解石沉淀。这一结论与勘探实际是相吻合的,如南平台S76-S72井一带发育较强的埋藏溶解作用。

表1 塔河地区下奥陶统不同井地层温度
Table 1 Formation temperatures of Lower Ordovician in different wells drilled in Tahe area

井号	中新世末地温/℃	渐新世末地温/℃	现今地温梯度/(℃ km ⁻¹)
S76	87.2~91.2	58.7~64.7	20.0
S67	87.8~91.9	54.5~58.5	20.6
S47	86.8~90.9	52.7~56.8	20.6
S69	90.9~95.2	60.1~64.3	21.3
T40	189.8~94.3	54.1~58.5	22.0

注:下奥陶统顶面之下200m地温,恒温带取13℃

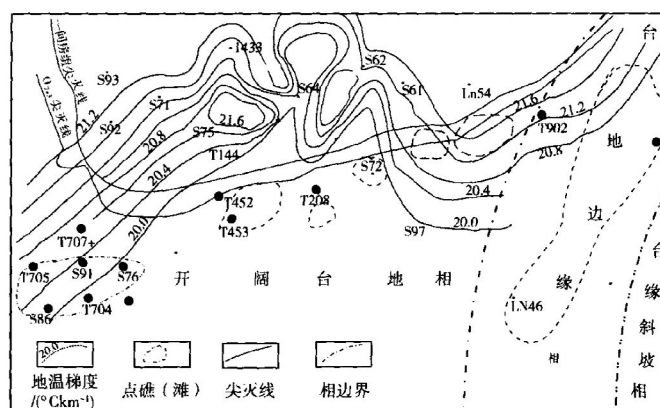


图4 塔河油田奥陶系一间房组沉积相及地温梯度分布示意图

Fig.4 Sketch map showing distribution of sedimentary facies and geothermal gradients in Ordovician Yijianfang Formation in Tahe oilfield

4 结论

(1)塔河油田奥陶系一间房组发育的礁滩属台地内部点礁点滩性质,在塔河地区分布比较广泛。但该套地层中有利储集体的发育有一定的非均质性。

(2)储层储渗空间以溶蚀孔隙为主,孔隙分布较均匀,其形成受到了同生期暴露大气水溶蚀作用、加里东期或海西早期大气水岩溶作用、后期构造破裂作用和深埋溶蚀作用的叠加改造,但晚期深埋溶蚀作用是此类储层形成的主要机制和主控因素。

(3)深埋溶蚀作用机理是烃源岩的热降解和储层中的烃类热催化裂解,生成有机酸和二氧化碳,引起深层碳酸盐岩不稳定而发生溶解作用。温度差产生的热对流循环是深部流体流动的主要驱动机制,是深埋条件下碳酸盐岩溶蚀-沉淀的

动力学机制。

参考文献

- 顾家裕,方辉,蒋凌志.塔里木盆地奥陶系生物礁的发现及其意义[J].石油勘探与开发,2001,28(4):1~3
- 胡明毅,朱忠德,贺萍,等.轮南-巴楚地区奥陶系生物礁储层特征[J].石油与天然气地质,2002,23(2):179~181
- 王兴志,王振宇,马青,等.塔里木盆地中部生物屑灰岩段滩体特征及储集性[J].石油与天然气地质,2002,23(1):58~62
- 翟晓先,俞仁连,何发岐.塔河地区奥陶系一间房组微裂隙颗粒灰岩储集体发现与勘探意义[J].石油实验地质,2002,24(5):387~392
- 叶德生,王根长,林忠民.塔里木盆地北部寒武-奥陶系碳酸盐岩储层特征及油气前景[M].成都:四川大学出版社,2000.74~75
- 肖玉茹,何峰煜,孙义梅.古洞穴型碳酸盐岩储层特征研究——以塔河油田奥陶系古洞穴为例[J].石油与天然气地质,2003,24(1):175~180

(下转第471页)

③孔缝胶结作用对储集空间的破坏性改造。与古近系成岩胶结带相对应,潜山储层的孔缝胶结也具有一定的分带性。但胶结类型比古近系简单,主要是方解石胶结,缺乏铝硅酸岩矿物。这是因为 Ca^{2+} , CO_3^{2-} 多呈真溶液形式存在,易于远距离迁移;而 Si^{4+} , Al^{3+} 等离子多以络合形式存在^[15],稳定性差,不利于远距离迁移。

④古近系油气进入古生界潜山储层,形成新生古储型油气藏,这不仅证实了古近系沉积成岩作用对古生界潜山的改造作用,同时也决定了潜山油藏的总体分布格局受控于古近系生油层展布、生油门限深度、断层分布及进油前流体的运移规律。

实际上,影响储集空间发育的各种因素不是孤立的,它们之间既相辅相成又互相制约。如早期潜山埋藏成岩作用几乎使原生孔隙全部丧失,从而决定了储层的后继成岩演化以裂缝的溶蚀与充填交代为主。地壳抬升引起的破裂作用和风化淋滤作用所产生的裂隙为晚期上覆古近系埋藏成岩作用对潜山储集空间的改造提供了流体运移通道。而新生代断陷作用和古近系埋藏成岩作用决定了潜山储层及其成藏的最后状态。

4 结论

①辽河断陷古生代潜山储层为次生型,储集空间主要是岩石裂缝和溶蚀孔、洞。其中,裂缝和古岩溶的形成主要受控于加里东至燕山运动期间的地壳抬升,是储层形成的先决条件;溶蚀孔、洞的形成及纵向上的分带性主要受控于上覆古近系成岩体系的有机-无机成岩的演化,是形成潜山储层的决定性因素。

②古潜山在燕山运动以前独立发展,而在喜马拉雅运动期间与古近系构成统一的封闭体系,即在油气来源、酸性水来源和流体运移系统等方面具有统一性。因此从成岩体系角度对新生古储

型潜山储层进行研究和勘测更具有实际意义。

参 考 文 献

- 1 李宗飞,魏喜,王仁厚.辽河盆地西部凹陷曙103古潜山储层研究[J].特种油气藏,1998,5(3):12~17
- 2 王仁厚,魏喜.辽河断陷元古宙及古生代潜山地层研究[M].北京:石油工业出版社,2001
- 3 陈振岩,吴文柱.辽河盆地东部凹陷幕式成藏特征[J].石油与天然气地质,2003,24(1):32~35
- 4 吴智勇,郭建华,吴东胜.大民屯凹陷静安堡西侧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
- 5 王增银,沈继方,万军伟.清江高坝洲地区古岩溶角砾岩特征及形成条件[J].地球科学——中国地质大学学报,1998,23(5):524~528
- 6 王宝清,张金亮.古岩溶的形成条件及其特征[J].西安石油学院学报,1996,11(4):8~10
- 7 李玉喜,魏喜.辽西地区区域裂缝发育规律及辽河油田西部洼陷低潜山带储层裂缝特征[J].断块油气田,2000,7(6):8~11
- 8 高山林,李学万,宋柏荣.辽河盆地欧利坨子地区火山岩储集空间特征[J].石油与天然气地质,2001,22(2):173~176
- 9 邱隆伟,席庆福.欧利坨子地区沙三下亚段火山岩成岩作用及孔隙演化[J].石油与天然气地质,2000,21(2):139~143
- 10 李建英,卢刚臣,孔凡东,等.千米桥潜山奥陶系储层特征及孔隙演化[J].石油与天然气地质,2001,22(4):367~371
- 11 张琴,钟大康,朱筱敏,等.东营凹陷下第三系碎屑岩储层孔隙演化与次生孔隙成因[J].石油与天然气地质,2003,24(3):281~285
- 12 党森,赵虹,周立发,等.辽河油田曙1区杜84块兴隆台油层储层非均质性[J].石油与天然气地质,2002,23(4):282~286
- 13 魏合明,党森,顿铁军,等.辽河油田曙光地区兴隆台油层隔层特征及其封隔能力评价[J].石油与天然气地质,2001,22(1):88~92
- 14 王延山.利用有机质热演化资料预测砂体孔隙发育层段[J].辽河石油勘探与开发,1993,3(3):19~23
- 15 Surdam R C, Crossey L J, McDonald D A. Organic-inorganic interaction and sandstones diagenesis[J]. AAPG Memior, 1989, 37: 1~13
- 16 魏喜,李学万.大民屯凹陷下第三系砂岩储层孔隙特征及成因[A].见:辽宁省第三届青年学术年会论文集编委会.辽宁省第三届青年学术年会论文集[C].沈阳:辽宁大学出版社,1998.705
- 17 真柄钦次(日).压实与流体运移:实用石油地质学[M].陈荷立,汤锡元,译.北京:石油工业出版社,1981

(上接第466页)

- 7 王金琪.塔里木奥陶系岩溶储集的油气前景[J].石油与天然气地质,1999,20(4):305~310
- 8 闫相宾.塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征[J].石油与天然气地质,2002,23(3):262~265
- 9 Worden R H, Smalley P C, Oxtoby N H. Gas souring by thermochemical sulphate reduction at 140°C[J]. AAPG Bull, 1995, 79(6):856~

863

- 10 蔡春芳,梅博文.塔里木盆地有机酸来源、分布及对成岩作用的影响[J].沉积学报,1997,15(3):103~109
- 11 Willey L M, Kharaka Y K, Presser T S, et al. Short chain aliphatic acid anions in oil field waters and their contribution to the measured alkalinity[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1975, 39: 1707~1711