

文章编号: 0253-2697(2002)03-0023-04

# 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件

林忠民

(中国地质大学 湖北武汉 430074)

**摘要:** 石油地质和地球物理综合研究及油气勘探实践表明,塔河油田是在长期发育的古隆起基础上形成的下奥陶统碳酸盐岩岩溶-缝洞型大型油气田。碳酸盐岩形成于开阔-局限海台地环境,由于经历了后期多期次的构造运动、岩溶作用和成岩作用的叠加改造,因而呈现出基质孔渗性低、并受构造和岩溶作用控制的强烈非均质性的岩溶-缝洞型储层特征。塔河岩溶-缝洞型油气藏主要分布于古岩溶斜坡地带、距风化壳不整合面 200m 范围内。岩溶残丘、岩溶缝洞、断裂、不整合面和输导层共同构成了塔河油气区复杂的多幕式油气成藏动力学系统。

**关键词:** 岩溶-缝洞体系; 碳酸盐岩储层; 成藏条件; 奥陶系; 塔里木盆地北部

**中图分类号:** TE112.2

**文献标识码:** A

## 引 言

塔里木盆地是我国内陆最大的复合型含油气盆地。20 世纪 90 年代以来,由于地质和地球物理的新技术、新方法不断应用于岩溶-缝洞型碳酸盐岩储层的研究,对海相碳酸盐岩的油气勘探不断深入,相继发现了一批碳酸盐岩岩溶-缝洞型油气藏<sup>[1~2]</sup>。随着对塔里木盆地石油地质条件及成藏规律认识的进一步提高,对奥陶系碳酸盐岩的油气勘探同样取得了重大进展<sup>[3~6]</sup>。塔河油田奥陶系目前控制含油气面积 700km<sup>2</sup>,已获探明储量 11661.4×10<sup>4</sup>t,形成年产 200 万 t 的工业油气产能。已初步显示出阿克库勒凸起西南部斜坡奥陶系呈大面积连片含油的特征,油气资源潜力大,成藏条件好,具有极大的油气勘探开发潜力。

笔者在对大量钻井、测井及地球物理资料进行综合研究的基础上,对塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层的类型、物性特征、空间分布规律及其发育的控制因素进行系统分析,并进而探讨研究区碳酸盐岩岩溶-缝洞型油气藏的成藏规律及其控制因素。

## 1 区域构造背景

塔河油田位于塔里木盆地北部轮台县城南偏西约 50km(图 1),属沙雅隆起中段,在阿克库勒凸起的西南端。阿克库勒凸起是在加里东中晚期形成凸起雏形,在海西早期受区域性挤压抬升形成向西南倾伏的北东向大型鼻凸,在海西晚期改造基本定型,后经印支-燕山和喜山运动进一步改造成为大型古隆起<sup>[2]</sup>。

## 2 岩溶-缝洞型储层的基本特征

塔河油田下奥陶统碳酸盐岩形成于开阔-局限海台地环境,岩石类型较简单<sup>[7~8]</sup>。由于受到后期多期次强烈的构造运动、岩溶

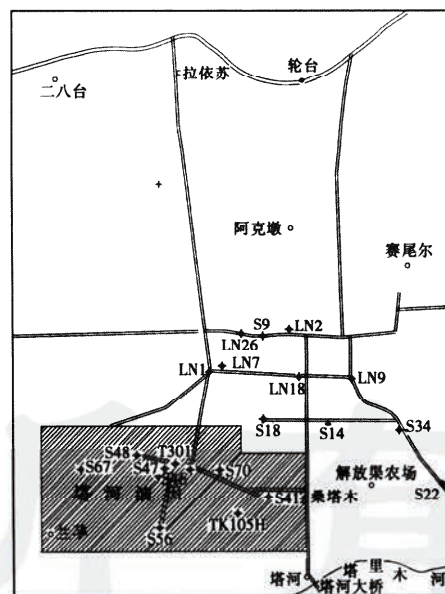


图 1 塔河油田位置

Fig. 1 Location of Tahe Oilfield

**基金项目:** 国家“九五”科技攻关项目(99-111-02-01)部分研究成果。

**作者简介:** 林忠民,男,1962 年 6 月生,1982 年毕业于长春地质学院地球物理系,现为中石化新星石油公司西北石油局规划院副总工程师、高级工程师,中国地质大学(武汉)在读博士。

作用和成岩作用的叠加改造,碳酸盐岩中形成了分布极不均匀的裂缝和孔洞系统,后又形成了基质孔隙度及渗透率极低、孔缝洞发育带的储层物性明显增强、非均匀性极强的岩溶-缝洞型储层系统。

## 2.1 储层岩石学特征

据对 20 多口钻井岩心的详细观察及 150 多个岩石薄片分析结果,组成下奥陶统碳酸盐岩储层的主要岩石类型是:亮晶颗粒灰岩,占 17.6%;泥晶和微晶灰岩,占 58.3%;泥微晶颗粒灰岩,占 13.8%;其次为岩溶角砾岩和碎屑岩夹层,约占 10%。偶见藻粘结灰岩和层孔虫-海绵礁灰岩。生物碎屑主要为海百合、腕足、三叶虫、介形虫、海绵骨针及双壳生物碎片等,属于正常海相窄盐度生物组合。

由于碳酸盐岩沉积物对成岩作用十分敏感,加上本地区经历了多期重大构造变动,因而表现出多期次、多种成岩作用的叠加改造。其中,最主要的成岩作用特征表现为:压实、压溶和胶结作用,白云石化作用,重结晶作用,硅化作用,溶蚀和充填作用等。上述成岩作用在很大程度上控制并影响着本地区碳酸盐岩储层的性质。

## 2.2 储层类型、物性特征及空间分布规律

据研究区岩心、铸体薄片、荧光薄片及扫描电镜等观察及分析资料,塔河油田下奥陶统储层的储集空间类型有基质孔隙、溶蚀孔洞和裂缝三大类。其中,基质孔隙包括晶间孔、残余粒间孔、粒内和粒间溶孔等。晶间孔直径一般在 0.01~0.2mm,残余粒间孔仅在塔河油田南缘礁滩型颗粒灰岩中发育,粒内和粒间溶孔主要见于颗粒灰岩中。被溶蚀的颗粒常为砂屑和鲕粒,是颗粒间胶结物被选择性溶蚀的结果。溶蚀孔洞大小一般在 5~100mm,形状各异,常被方解石部分充填,可在岩心上完整地识别。直径大于 100mm 的大型洞穴是研究区内极为重要的一类储渗空间,并常常被岩溶角砾及碎屑岩部分充填。储层中的裂缝包括构造缝、构造溶缝及缝合线三类,裂缝的发育程度及空间分布主要受构造运动、岩溶作用及成岩作用控制。以中—高角度缝为主,其中立缝占 54.92%,斜缝占 40.6%,张开度小于 0.1mm 的裂缝约占 70.47%,裂缝宽度多数在 0.005~0.02mm。海西晚期和印支—燕山期形成的方解石半充填缝和微细裂缝是最有利的储集空间。缝合线呈水平锯齿状,缝宽几微米至几十微米,荧光显示率高达 95.3%。根据储集层空间类型及组合方式,研究区主要的储层类型可划分为裂缝型、裂缝-孔洞型及生物礁相孔隙型等,其中以裂缝-孔洞型储集性能最为优越。裂缝性储层主要分布于风化壳型岩溶不发育地区,或褶皱和断裂构造较发育的变形强烈部位。孔洞-裂缝型储层中的孔洞和裂缝均较发育,裂缝和溶蚀孔洞是主要的储集空间,因此其分布与裂缝及古岩溶发育带密切相关。常常分布在岩溶高地边缘或部分岩溶斜坡区,大致位于风化面以下 200m 范围内、多期构造线的交汇处及褶皱的轴部等。裂缝-孔洞型储层的主要储集空间为次生的溶蚀孔洞,裂缝仅起渗滤通道和连通孔洞的作用,其分布与古岩溶发育带的岩溶斜坡地区密切相关。生物礁(滩)型储层常常位于台地边缘的斜坡地带,是研究区内一种新的储层类型,分布局限。

## 2.3 储层缝洞发育的控制因素

本区下奥陶统碳酸盐岩储层属于主要由泥晶和微晶灰岩组成的岩溶-缝洞型储层,基块孔隙度及渗透率极低,缝洞发育程度和储层物性明显受构造运动、岩溶作用的控制,具有极强的储层非均质性,局部发育浅滩(礁)孔隙型储层。

(1) 构造运动 从区域构造特征、构造应力场模拟、钻井成像测井及测试等资料分析,储层裂缝的产生主要受控于海西早、晚期的构造应力变形叠加作用,形成了由断裂、裂缝及微裂缝组成的断裂-裂缝网络体系。呈北东、近东西及南北三组优势方向成排成带发育,相互交切,以高角度构造裂缝为主。在构造变形强烈的褶皱转折端、断裂带附近以及高应变地区是裂缝发育的主要地区<sup>[3~4,9]</sup>。

(2) 岩溶作用 常沿断裂和裂缝发育的地区发生岩溶作用,对碳酸盐岩储层物性具有明显改造作用<sup>[6,9]</sup>。塔河油田奥陶系大量岩心描述、岩溶充填物电子探针分析、碳氧同位素测定、包体测温、缝洞改造等方面的研究成果表明<sup>①</sup>,研究区在海西早期、海西晚期均发育了不同程度的岩溶作用,尤其是海西早期的岩溶作用表现得更为广泛而强烈,在研究区的大部分钻井剖面中均有明显表现(图 2)。岩溶作用对储层物性的影响主要体现

① 林忠民,罗传容,蒋进勇.新疆塔里木盆地阿克库勒凸起寒武—奥陶系碳酸盐岩储层特征及圈闭研究(99-111-02-01),2000,12.



在形成未完全充填的大型洞穴、小型孔洞、溶缝、洞顶破裂缝及溶洞充填物中的孔隙。在纵向上,由于岩溶作用的影响,在地表岩溶带会产生碎屑支撑的角砾灰岩,渗流岩溶带发育洞穴及其充填物,潜流岩溶带形成水平溶洞及其洞顶破裂带,深部缓流岩溶带将发育溶缝、针孔及小型溶蚀孔洞。

(3) 成岩作用 对碳酸盐岩储集性能的影响有明显的双重性<sup>[7,10]</sup>。在研究区,压溶作用产生的缝合线普遍含油,它不仅成为流体运移的通道,而且晚期溶蚀作用常沿缝合线发生,形成串珠状溶蚀孔隙;相反,胶结作用、重结晶作用和沉积物充填作用将使储层孔隙度减小。白云岩化作用常发生在碳酸盐岩颗粒周围及缝合线附近,形成的微孔隙和缝合线普遍含油。

### 3 成藏条件分析

塔河特大型油气田的形成与有利的区域成藏背景密不可分。阿克库勒凸起在地质历史中经历了多期构造运动的叠加改造,形成了一大批对油气聚集和保存有利的圈闭。碳酸盐岩岩溶的长期发育,优越的储盖配置,区域不整合面、断裂和疏导层的广泛发育,这些最终使阿克库勒凸起成为塔北地区长期的油气运移和聚集的指向地区。

#### 3.1 有利的区域构造位置

作为塔河油田载体的阿克库勒凸起在海西运动早期经历了长期的风化剥蚀过程,形成了以岩溶残丘-缝洞型储层为特色的油气聚集体。其东南部紧邻寒武纪-奥陶纪大型满加尔生油坳陷,生成的不同期次的油气可以通过区域不整合面、断裂及疏导层持续不断地向凸起区运移和聚集。

#### 3.2 圈闭类型及储盖组合

现有的地震和勘探资料表明,塔河地区奥陶系发育的主要圈闭类型有岩溶-缝洞型圈闭、岩溶残丘-缝洞型圈闭、断块-岩溶潜丘-缝洞型圈闭及生物礁(滩)型圈闭(图3)。根据塔河油田所揭示的地质剖面,下石炭统卡拉沙依组下部泥岩段、巴楚组泥岩段具有岩性致密、单层厚度大及层位稳定的特点,是研究区内最重要的区域性盖层。局部盖层有巴楚组双峰灰岩段、中奥陶统灰岩及灰质泥岩以及下奥陶统致密灰岩段。主要的储盖组合类型有:下奥陶统风化壳岩溶-缝洞型储层与石炭系巴楚组泥岩及双峰灰岩盖层组合( $C_{1b}/O_1$ );下奥陶统岩溶缝洞储层与下奥陶统风化致密坡积物盖层组合( $O_1/O_1$ )。次要储盖组合为:下奥陶统礁(滩)灰岩储层与中奥陶统灰岩、灰质泥岩盖层组合( $O_2/O_1$ );下奥陶统岩溶缝洞储层与下奥陶统致密灰岩盖层组合( $O_1/O_1$ )。

#### 3.3 油气藏类型及分布

目前在塔河油田下奥陶统碳酸盐岩中已发现的油气藏可划分为三种类型:岩溶-缝洞型具底水带凝析气顶块状油气藏,岩溶-缝洞型具底水低饱和块状油气藏,裂缝-岩溶型具底水块状凝析气藏。

油气藏的分布与阿克库勒凸起的形成与演化、应力场特征及裂缝发育程度、运移通道、古岩溶发育程度、油气源

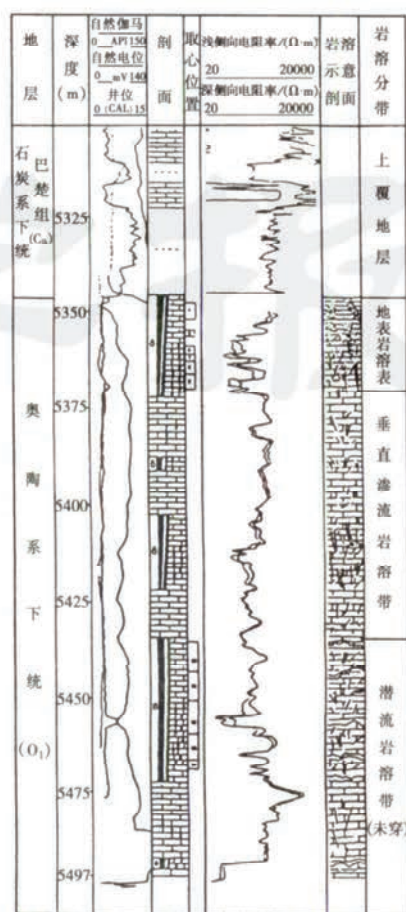


图2 S47井下奥陶统储层岩性及岩溶垂向分带

Fig.2 Reservoir lithology and vertical karst zone in Lower Ordovician of well S47

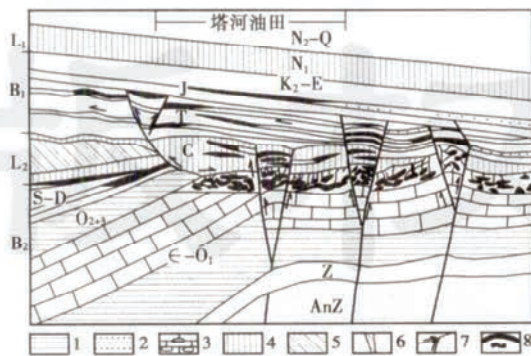


图3 塔河油田奥陶系主要圈闭类型

Fig.3 Main types of traps in Ordovician of Tahe Oilfield  
① 岩溶-缝洞型; ② 岩溶残丘-缝洞型; ③ 断块-岩溶潜丘-缝洞型



区的分布、储盖组合及保存条件密切相关。已有勘探成果表明,研究区油气具大面积连片分布特征,集中分布在凸起中部及南部岩溶斜坡地带以及埋深在 5750m 以上、距风化壳不整合面 200m 的范围内。

### 3.4 断裂和不整合面的重要作用

断裂和不整合面在改善储层物性、岩溶分布、圈闭的形成和油气的运聚等方面具明显控制作用<sup>[11,12]</sup>。研究区发育有形成于海西期的近东西、北东、北西向的三组断裂,这些断裂不仅控制岩溶-缝洞型圈闭的发育与分布,而且成为重要的油气运移通道。多期构造运动所形成的多个区域性不整合面由南向北逐渐上超削截,形成了由南往北的汇聚型侧向油气运移机制。阿克库勒凸起多期形成的油气经由断裂、不整合面和疏导层组成的输导网络运移、聚集到各类圈闭中,并经历了后期的改造、调整 and 再分配,形成了复杂的塔河多幕式含油气系统。断裂、岩溶缝洞、不整合面和疏导层共同构成了本区复杂的油气运聚动力学系统。

## 4 结 论

塔里木盆地北部的阿克库勒凸起是在加里东中晚期形成、经海西运动改造并定型的大型继承性古隆起,形成于开阔一局限海台地环境。位于阿克库勒凸起西南端的塔河油田是在该古隆起经历了海西早期长期风化剥蚀的基础上形成的碳酸盐岩岩溶-缝洞型油气田。由于碳酸盐岩储层经历了后期多期次的构造运动、岩溶作用和成岩作用的叠加改造,它是受构造和岩溶作用控制的断裂-缝洞网络带,并具强烈非均质性的岩溶-缝洞型储层特点。

塔河岩溶-缝洞型油气藏主要分布于隆起区的中部台地及南部斜坡地带、距风化壳不整合面 200m 的范围内。油气的形成主要受控于有利的区域构造位置、丰富的油源、良好的岩溶-缝洞型储层发育带及储盖配置、区域不整合面、断裂和疏导层的广泛发育等因素。岩溶残丘、断裂、岩溶缝洞、不整合面和疏导层共同构成了研究区复杂的油气运聚动力学系统。

## 参 考 文 献

- [1] 何登发,李德生.塔里木盆地构造演化与油气聚集[M].北京:地质出版社,1996:1~4.
- [2] 康玉柱.中国塔里木盆地石油地质特征及资源评价[M].北京:地质出版社,1996:3~15.
- [3] 何运碧.试论轮南地区奥陶系碳酸盐岩储集层裂缝类型及发育规律[A].童晓光,梁秋刚.塔里木盆地油气勘探论文集[C].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1991:439~447.
- [4] 杨威,王氰化,赵仁德,等.和田河气田奥陶系碳酸盐岩裂缝[J].石油与天然气地质,2000,21(3):252~255.
- [5] 陈洪德,张锦泉,叶德胜.新疆塔里木盆地北部古风化壳(古岩溶)储集体特征及控油作用[M].成都:成都科技大学出版社,1995:5~10.
- [6] 郭建华.塔里木盆地轮南地区奥陶系潜山古岩溶及其所控制的储层非均质性[J].沉积学报,1996,11(1):56~63.
- [7] 叶德胜,王根长,林忠民,等.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,2000:88~102.
- [8] 叶德胜,王恕一,张希明,等.新疆塔里木盆地北部储层沉积、成岩特征及储层评价[M].成都:成都科技大学出版社,1995:78~204.
- [9] 何发岐,朱起煌,韩振华,等.裂缝碳酸盐岩勘探开发和盐下地震成像技术[J].石油物探译丛,2000(增刊):91~200.
- [10] Mazzullo S J. Facies and burial diagenesis of a carbonate reservoir: Chapman Deep (Atora) field, Delaware basin, Texas [J]. AAPG Bulletin, 1981, 65: 850~865.
- [11] 吕修祥,金之钧.碳酸盐岩油气田分布规律[J].石油学报,2000,21(2):8~12.
- [12] 潘钟祥.不整合面对于油气运移聚集的重要性[J].石油学报,1983,4(4):1~10.

(收稿日期 2000-11-27

改回日期 2001-07-27

编辑 张 怡)

## CARBONATE ROCK RESERVOIR FEATURES AND OIL-GAS ACCUMULATING CONDITIONS IN THE ORDOVICIAN OF TAHE OILFIELD IN NORTHERN TARIM BASIN

LIN Zhong-min (*China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*) ACTA 2002,23(3):23~26

**Abstract:** The integral study of petroleum geology, geophysics and oil-gas exploration indicates that Tahe Oilfield formed on the basis of long-developed paleo-uplift is a large scale one which consists of karst-fracture reservoirs of Lower Ordovician carbonate rock. The carbonate rock reservoir developed on the environment of open-limited sea platform presents the features of karst-fracture reservoir of lower matrix porosity, and permeability and strong heterogeneity controlled by tectonism and karstification because the reservoir underwent multi-stages superimposed reformation of tectonism, karstification and diagenesis at late time. The karst-fracture reservoir of Tahe Oilfield is mainly distributed in the center platform of paleo-buried hill and the southern slope, and in the scope of 200 metres under unconformity interface of weathering crust. A complex and multi-episodes oil-gas accumulating dynamic system in Tahe petroleum area is composed of paleo-buried hill, karst-fractures, faults, surface of unconformity and conduit.

**Key words:** karst-fractures system; carbonate rock reservoir; oil-gas accumulating condition; Lower Ordovician; northern Tarim Basin

## GAS TRAP IN DEEP BASIN OF THE UPPER TRIASSIC IN SICHUAN BASIN

ZHANG Jin-liang, et al. (*Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China*) ACTA 2002,23(3):27~33

**Abstract:** Depositional settings of the Upper Triassic in the western Sichuan Basin are favorable for gas accumulation in the deep basin. The delta deposit constitutes the dominante reservoir in the deep basin. The numerous and mature coal-beds and organic-rich shales associated intimately with reservoir rocks throughout the region provide a prerequisite for gas accumulation in deep basin. Gas was trapped in the deepest part of the basin and occupies low-permeability reservoirs extensively. Gas was generated in adjacent source rocks, and moved into the sand layer, and then slowly migrated up dip. This special form of gas trap in deep basin defies conventional concepts of gas entrapment by turning them virtually upside down. Gas is located downdip of a narrow aquifer which outcrops in basin margin. The gas/water contact is really a wide belt, which marks the transition from downdip gas to up dip water. Original gas accumulation pressures lie above the regional formation water pressure gradient. Gas-productive units in the deep basin are not controlled by local structure.

**Key words:** deep basin trap; tight sand; gas/water inversion; abnormal pressure; trapping mechanism; Upper Triassic; Sichuan Basin

## METHODS FOR THE EXPLORATION OF SANDBODY LITHOLOGICAL OIL-GAS RESERVOIR IN THE LOW-LEVEL FAN OF SLOPE—TAKING THE EAST SLOPE ZONE OF CHENGDAO AS AN EXAMPLE

CHEN Guang-jun, et al. (*Geological Scientific Research Institute of Shengli Oil Field, Dongying 257015, China*) ACTA 2002,23(3):34~38

**Abstract:** For the characteristics of complication on the subtle oil-gas reservoir formation and its distribution, as well