

文章编号: 1000-0550(2000)03-0408-06

塔里木盆地塔中地区奥陶系构造—沉积模式 与碳酸盐岩裂缝储层预测

魏国齐^{1,4} 贾承造² 宋惠珍³ 施央申¹ 卢华复¹ 李亚红⁴

1(南京大学地球科学系 南京 210064) 2(塔里木石油勘探开发指挥部 新疆库尔勒 841000)

3(中国地震局地质研究所 北京 100029) 4(石油勘探开发科学研究院廊坊分院 河北廊坊 065007)

摘要 奥陶系碳酸盐岩是塔中地区油气勘探的重要目的层。本文在讨论塔中地区奥陶纪区域构造背景和奥陶系岩性段划分的基础上,建立了塔中地区奥陶系构造—沉积模式,并用三维有限元数值模拟方法对塔中地区有利碳酸盐岩裂缝储层发育区进行了预测,以期指导塔中地区碳酸盐岩的油气勘探。

关键词 塔中地区 奥陶系 构造—沉积模式 碳酸盐岩裂缝储层 三维有限元数值模拟

第一作者简介 魏国齐 男 1966 年出生 博士 构造地质和石油天然气地质

中图分类号 P618.130.2⁺1 P588.24⁺5 **文献标识码** A

1 前言

塔中隆起为一前石炭纪大型隆起构造,位于塔里木盆地现今中央隆起中段的广大地区,北界以斜坡形式与满加尔凹陷为邻,南界以逆冲断裂带形式与塘古孜巴斯凹陷为界,西界以吐木休克断裂东南段与巴楚断隆为界,面积 2.75 万 km²。碳酸盐岩是塔里木盆地塔中地区油气勘探的重要目的层。自 1989 年 10 月塔中一号构造上的塔中 1 井在奥陶系风化壳和内幕分获高产油气流和良好油气显示以来,塔中 16、12、30、45、451、44 等井先后在奥陶系碳酸盐岩获得高产油气流,探明或控制了一批油气地质储量,塔中地区奥陶系碳酸盐岩油气勘探取得重要进展。但是由于碳酸盐岩储层主要为溶洞溶孔型(如塔中 1 井)、溶洞溶孔裂缝型(如塔中 16 井)和裂缝溶孔型三种类型,储层非均质性很强,因此尽管塔中地区奥陶系碳酸盐岩油气勘探潜力很大,但油气勘探成果与人们的期望相差较大,如何寻找奥陶系碳酸盐岩溶孔、溶洞、裂缝发育区,是当前塔中地区碳酸盐岩油气勘探面临的主要地质问题。

碳酸盐岩储层中,由于裂缝可以将分散的、孤立的孔洞连通起来,构成有效的储渗体系,因此,研究和预测碳酸盐岩裂缝储层有利发育区,对碳酸盐岩油气勘探具有重要意义。本文主要研究了塔中地区奥陶纪沉积的区域构造背景,结合钻井资料对奥陶系岩性段进行划分,建立了塔中地区奥陶系构造—沉积模式,在此基础上,用三维有限元数值模拟法对奥陶系碳酸盐岩

裂缝储层有利发育区进行了预测,以指导塔中地区碳酸盐岩油气勘探。

2 塔中地区奥陶纪的区域构造—沉积背景

奥陶纪是塔中地区隆起构造形成的重要地质时期。盆地及周边板块活动性和该区地震、钻井和地质资料研究表明,早、中、晚奥陶世塔中地区处于不同的区域构造背景,表现了不同的构造—沉积特征。

早奥陶世是塔里木盆地南北缘被动大陆边缘发展的重要地质时期。在伸展构造作用和震旦—寒武纪构造演化的基础上,盆地东部和中西部表现了不同的原型盆地性质。盆地东部为库鲁克塔格—满加尔坳拉槽^[1,2],库鲁克塔格—满加尔坳拉槽为一自早震旦世开始发育,南北分别受阿尔金山地区的巴什考供断裂和库鲁克塔格地区的兴地断裂控制的向东开口的克拉通边缘盆地,下奥陶统主要为一套厚 100~800 m 深海槽盆相沉积,岩性为深灰、黑灰色岩屑细—粉砂岩、泥岩、笔石页岩和薄层放射虫硅质岩等,具欠补偿沉积特征。盆地中西部为塔西克拉通内坳陷,主要为一套台地相碳酸盐岩沉积,最大沉积厚度达 1 800 m。而塔中地区则处于塔西克拉通内坳陷中部相对高的构造地貌,总体表现为一向东倾没的巨型鼻状隆起构造,轴向位于和 2 井—塔中 1 一线(图 1a)。早奥陶世末,随着盆地边缘由被动大陆边缘开始向活动大陆边缘的转化,塔里木盆地构造分异明显,塔中地区构造高部位进

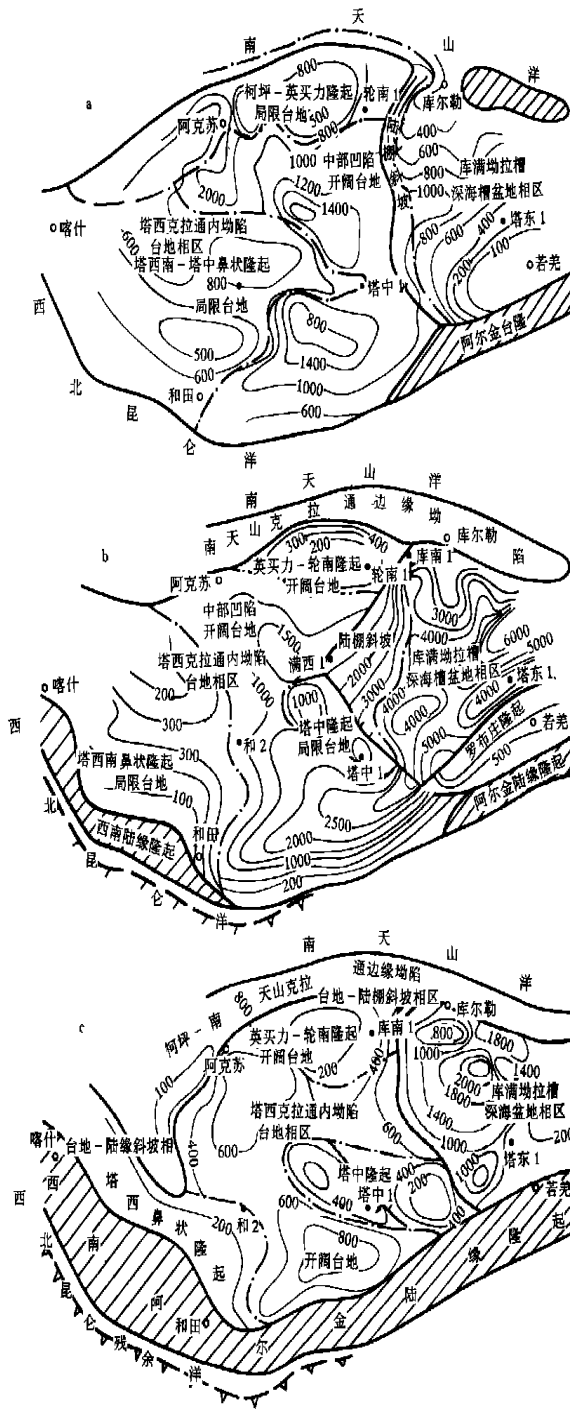


图 1 塔中地区奥陶纪构造—沉积演化图

a. 早奥陶世; b. 中奥陶世; c. 晚奥陶世

Fig. 1 Schematic drawing of structural—depositional evolution during Ordovician in Tazhong area

一步抬升, 并露出水面, 遭受剥蚀, 致使塔中地区缺失下奥陶统大湾阶和中奥陶统庙坡—牯牛潭阶, 表明此时塔中地区隆起雏形已开始形成。

中奥陶世, 塔里木盆地边缘由于被动大陆边缘转化为活动大陆边缘, 受盆地南北缘大洋板块俯冲活动影响, 塔里木盆地东部和中西部构造分异更加明显, 东

部库满坳拉槽快速沉降与快速充填, 并向西发展, 沉积了深海槽盆相的巨厚复理石地层, 厚度一般为 3 500 ~ 6 000 m。盆地中西部塔西克拉通内坳陷, 仍为台地相沉积, 但隆坳格局十分明显, 塔中地区已表现为北西西—南东东向展布的大型孤立隆起构造, 与周围地区相比, 隆起形态已十分明显。另外, 在早奥陶世塔中鼻状

隆起东北翼部的构造挠曲部位, 由于差异沉降作用, 中奥陶世开始发育北掉正断层, 即塔中 I 号断裂雏形, 构成库满坳拉槽的西南边界断层和塔中隆起的东北部陡边缘。该断裂此时具生长断层性质, 对库满坳拉槽中奥陶统沉积具有重要控制作用(图 1b)。

晚奥陶世, 是塔里木盆地南北缘活动大陆边缘发展的重要时期。受盆地南北缘, 特别是南缘昆仑山向其南侧的中昆仑地块强烈的俯冲活动事件影响, 盆地内部库满坳拉槽消亡, 塔中地区发生了强烈断裂褶皱构造变形, 塔中东西向隆起形成, 此时塔中 I 号断层由正断层转变为逆断层, 对沉积已无明显的控制作用(图 1c)。

奥陶纪后, 塔中地区经志留—泥盆纪强烈逆冲—走滑构造变形, 构造基本定型, 石炭纪及以后, 塔中地区进入构造相对稳定发展期。

3 塔中地区奥陶系岩性段划分与构造—沉积模式

九五期间随着塔中地区奥陶系碳酸盐岩油气藏的

大规模勘探, 塔中地区钻遇奥陶系的探井已超过 40 口, 为研究奥陶系岩性段划分和沉积模式的建立提供了依据。

3.1 塔中地区奥陶系岩性段划分

钻探资料和地层对比研究表明, 塔中地区奥陶系隆起主体部位(塔中低凸起)与相邻斜坡区, 特别是塔中 I 号断裂以北的满加尔凹陷南斜坡地区地层岩性特征有很大差异, 分别阐述如下:

3.1.1 塔中隆起主体部位

塔中隆起主体部位奥陶系自上而下可划分为六个岩性段, 分别是①泥岩段; ②泥质条带灰岩段; ③颗粒灰岩段; ④含泥灰岩段; ⑤灰云岩过渡段; ⑥白云岩段^①。各岩性段特征见表 1。

3.1.2 满南地区

主要指塔中 I 号断裂以北的满加尔凹陷南斜坡地区。塔中 I 号断裂以北的塔中 28、29、31、32、33 等井都钻遇了巨厚的中上奥陶统砂泥岩, 井底层位是中上奥陶统灰岩, 据钻井资料从上到下依次划分为五个岩性段, 分别是: ①砂岩段; ②泥岩灰岩互层段; ③暗色泥

表 1 塔中地区奥陶系岩性段划分简表(据胡云杨等修改, 1998)

Table 1 The lithological members of Ordovician system in Tazhong area

统	阶	塔中隆起主体部位	满南地区
上统	五峰阶	①泥岩段, 以灰—深灰色泥岩、灰质泥岩为主夹砂岩及灰岩	①砂岩段: 灰色、浅灰色粉砂岩、泥质粉砂岩、细砂岩夹灰色泥岩; ②泥岩灰岩互层段: 深灰色、灰色泥岩夹薄层灰岩、泥灰岩, 泥岩中薄层灰岩等间距频繁出现; ③暗色泥岩段: 深灰色泥岩、灰质泥岩夹灰色粉细砂岩; ④泥岩夹灰岩段: 灰色泥岩、灰质泥岩夹薄层泥晶灰岩、泥灰岩及薄层灰质粉砂岩
	临湘阶	②泥质条带灰岩段, 连续或断续的泥质条带生屑灰岩; ③颗粒灰岩段, 灰、褐灰色藻砂屑灰岩、砂砾屑灰岩, 鸟眼构造和针孔较发育; ④含泥灰岩段; 褐灰、灰褐色泥晶灰岩、泥灰岩为主夹砂屑、藻屑灰岩。	
中统	宝塔阶		⑤灰岩段(未钻穿) 塔中 29 井 灰色薄层生屑灰岩、砂屑灰岩夹泥晶灰岩
	庙坡阶		
	牯牛潭阶		
下统	大湾阶		(无钻井资料)
	红花园阶	⑤灰云岩过渡段: 上部以浅灰、褐灰色粉细晶灰岩、砂屑灰岩、云质灰岩为主, 向下云岩含量逐渐增加。	
	分乡阶		
	南津关阶	⑥白云岩段: 灰色、褐灰色粉—细晶藻白云岩为主夹中晶云岩、砂屑灰岩。	
	西陵峡阶		

① 胡云杨等. 塔里木盆地中央隆起及相邻地区勘探目标选择与评价. 1998.

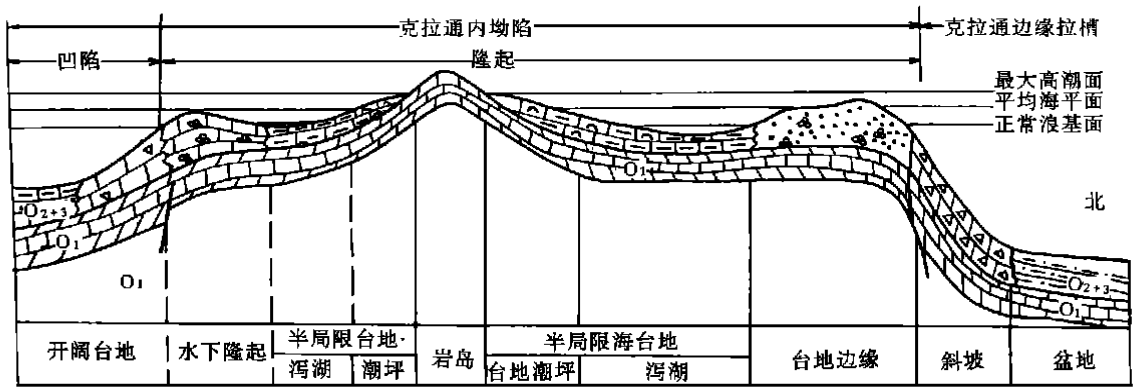


图 2 塔中地区中上奥陶统构造—沉积模式

Fig. 2 The model of structure—deposition during Ordovician in Tazhong area

岩段;④泥岩夹灰岩段;⑤灰岩段(未穿)。各岩性段特征见表 1。

另外,塔中南坡(塘古孜巴斯坳陷北坡)的塔中 60 井、塘参 1 井等钻遇了较厚的中上奥陶统砂泥岩、灰岩,与塔中隆起主体部位、满南地区均显示了不同的岩性特征。

3.2 塔中地区中上奥陶统构造—沉积模式

据上述奥陶纪区域构造背景及特征,结合奥陶系岩性段划分和沉积相研究结果,可清晰地看出,塔中地区奥陶系沉积是受克拉通内坳陷和克拉通边缘坳拉槽两种不同性质的原型盆地控制形成的,克拉通内坳陷的隆起与凹陷对奥陶系沉积亦具有明显的控制作用。塔中地区隆起主体部位中上奥陶统沉积主要受早加里东运动(早奥陶世末)形成的克拉通内坳陷的大型隆起(台背斜)控制,主要发育浅水的局限台地相沉积,具有台地斜坡、台地边缘、半局限台地(包括台地潮坪、泻湖)及碳酸盐岩岛等地貌单元,其东北界为塔中 I 号早期正断层控制的陡边缘;其北部的满加尔南部地区沉积受库鲁克塔格—满加尔坳拉槽控制,主要发育斜坡相、深水盆地相的碎屑岩沉积^[3,4];其南部的塘古孜巴斯地区中上奥陶统沉积受克拉通内坳陷内的凹陷(台向斜)控制,主要发育相对较深水的开阔台地相碎屑岩和碳酸盐岩沉积。塔中地区中上奥陶统特别是中奥陶统构造—沉积模式见图 2。塔中地区下奥陶统主要为克拉通内坳陷控制的台地相沉积,隆起主体部位与相邻地区构造—沉积无明显差异。

4 塔中地区奥陶系有利碳酸盐岩裂缝储层预测

4.1 预测方法

储层裂缝的研究与预测一般主要采用以下三种方

法:①岩芯裂缝观测描述方法,该方法可直观地了解裂缝发育程度(裂缝数或密度)、裂缝产状、充填物种类及充填程度、有效裂缝的发育程度等。②测井资料(包括成像测井、方位电阻率测井、偶极声波测井、双侧向测井、综合概率法等)裂缝分析法,主要研究储层裂缝的产状及其组合、径向延伸性和连通性,统计各种测井反映裂缝发育程度的能力,对储层裂缝做出评价。③地震资料裂缝判别法,利用多种地震信息综合判识、预测裂缝发育区。上述第①、②种方法,尽管能够较准确的反映储层裂缝发育状况,对储层裂缝做出合理的评价,但受井孔限制,预测范围有限且成本高。第③种方法,尽管能够从区域上对裂缝发育区做出预测,但预测结果严格受地震资料信噪比、分辨率等制约,特别是对象塔中这样的地区(沙漠覆盖,勘探目的层为大套碳酸盐岩,地震信噪比、分辨率均较低),难于发挥其作用。因此,选择有效方法预测塔中地区碳酸盐岩裂缝储层发育区,指导碳酸盐岩油气勘探,是当前非常重要的一项工作。

储层构造裂缝的发育特征取决于其形成时期的应力场。从这一思路出发,本文采用了一种新的储层裂缝预测方法——三维有限元数值模拟法,对塔中地区奥陶系碳酸盐岩裂缝储层进行了预测。该方法是在详细研究储层地质、构造等和建立适于地下地质实际的古构造地质模型的基础上,计算某一地质时期的储层应力场,然后根据格里菲斯破裂准则计算储层有效张应力分布,进而对储层裂缝发育程度进行预测,并将储层潜在裂缝划分为 I、II、III 级,分别为裂缝发育区、比较发育区和发育较差地区^①。另外还可利用板模型、组合板模型等预测裂缝发育方向。

由于塔中地区为一前石炭纪定形的隆起构造,主要断裂构造活动发生于奥陶纪末—泥盆纪,石炭纪及

① 宋惠珍等. 塔中地区奥陶系碳酸盐岩裂缝储层预测. 1998.

以后构造稳定发展;同时,石炭系生屑灰岩在塔中地区普遍发育且厚度稳定,因此,本文在对奥陶系碳酸盐岩裂缝储层预测时,以石炭系生屑灰岩为基准面,采用回剥法恢复古构造,它基本反映了石炭系沉积前塔中地区在奥陶纪末—泥盆纪强烈构造活动后的古构造形态。由于石炭纪及以后塔中地区构造稳定发展,因此预测结果也基本反映了塔中地区现今碳酸盐岩裂缝发育状况。

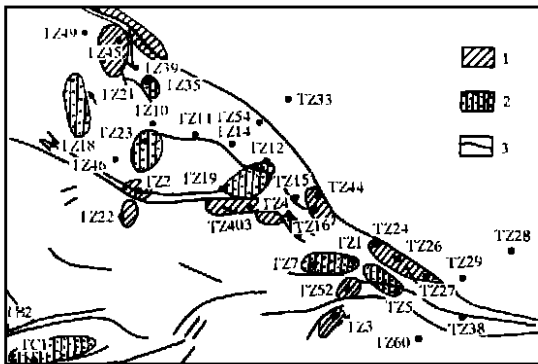


图 3 塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层顶部裂缝预测图
1. I 级裂缝发育区; 2. II 级裂缝发育区; 3. 断裂

Fig. 3 The profitable area for developing cracking reservoir of carbonates of Ordovician in Tazhong area

4.2 预测结果

据上述三维有限元数值模拟方法,对塔中地区奥

陶系碳酸盐岩裂缝储层进行了预测,其结果见图 3。其中 I、II 级裂缝发育区分别为:

I 级裂缝发育区:包括 TZ161—TZ44 井区; TZ24—TZ26—TZ27 井区; TZ45 井区; TZ3 井区; TZ52 井区; TZ403 井区; TZ2、TZ22 井区; TZ35 井东区; I 号断裂西段等。

II 级裂缝发育区:包括 TZ1、TZ7、TZ8 井区; TZ5—TZ1 井区; TZ12—19—403 井区; TZ21 井西区; TZ23 井区; TZ17 井区等。

经与实钻井的岩芯裂缝观察、测井裂缝评价结果对比,上述预测结果的符合率较高,可达 66% 以上,预测结果可靠。因此,利用三维有限元数值模拟方法预测碳酸盐岩裂缝储层发育地区是一种行之有效的办法。

参 考 文 献

- 1 贾承造,魏国齐,姚慧君等.塔里木盆地构造演化与区域构造地质[M].北京:石油工业出版社,1994.71~81
- 2 贾承造.中国塔里木盆地构造特征与油气[M].北京:石油工业出版社,1997.183~263
- 3 顾家裕.塔里木盆地沉积相与油气[M].北京:石油工业出版社,1993.128~172
- 4 顾家裕.塔里木盆地沉积层序特征及其演化[M].北京:石油工业出版社,1996.95~297

Ordovician Structural—Depositional Model and Prediction for Profitable Crack Reservoir of Carbonate Rock in Tazhong Area, Tarim Basin

WEI Guo-qi^{1,4} JIA Cheng-zao² SONG Hui-zhen³

SHI Yang-shen¹ LU Hua-fu¹ LI Ya-hong⁴

1(Department of Earth Sciences Nanjing University Nanjing 210069)

2(Tarim Petroleum Exploration and Development Bureau Korla Xinjiang 841000)

3(Geological Institute of Earthquake Bureau Beijing 100029) 4(RIPED—Langfang, CNPC Langfang Hebei 065007)

Abstract

Ordovician carbonate rock formation is an important target for oil and gas exploration. In this paper, on the basis of regional structure backgrounds, Ordovician lithologic intervals are divided in Tazhong area and, structural—depositional model is built up. With the help of three dimension finite element simulation method, the favorable areas of carbonate fracture reservoirs are predicted. The purpose of this paper is to give a direction for carbonate oil and gas exploration in Tazhong area. Conclusions could be summed up as follows: (1) The lithologic characters of middle—upper Ordovician in the major part of Ordovician uplift in Tazhong are dramatically different from that of adjacent slope, especially from that of slope of south Manjiaer depression in the north of Tazhong number one fault. The lithology of Ordovician in the major part of Tazhong uplift is dominated by carbonate rocks, and the lithology of middle—upper Ordovician is mainly sandy mudstone in the slope of south Manjiaer in the north of Tazhong number one fault. (2) Sedimentation during Ordovician in Tazhong area is controlled by intracratonic de-

pression and Cratonic margin aulacogen, which are with different properties of prototype basin. The uplift and sag in intracratonic depression have prominent control to the sedimentation of Ordovician. Middle—upper Ordovician deposition in the major part of Tazhong uplift is controlled by the large scale anticline in the intracratonic depression formedn early Caledonian (the end of early Ordovician). The restrained platform facies are developed in shallow water in such places where platform clinoform, platform margin, semi—restrained platform (include platform flat, lagoon) and Carbonate morphologic units are found. The northeast boundary of Tazhong area is sharp margin controlled by the early movement of normal fault of Tazhong number one fault. The sedimentation of south Manjiaer depression in north Tazhong is controlled by Kuluketage—Manjiaer aulacogen, the sediments are clastic rocks with slope and deep water basin facies. Middle—upper Ordovician deposition of Tanguzibasi area in south Tazhong is controlled by the syncline of intracratonic depression, the sediments consist of clastic and carbonate rocks with deeper open platform facies. Lower Ordovician in Tazhong area is platform facies controlled by the intracratonic depression, and the structure—sedimentation is no apparent difference between the major part of uplift and adjacent areas. (3) The first favorable fracture zones of Ordovician carbonate reservoirs being predicted in the major part of Tazhong uplift include the following areas: Tz161—Tz44 area, Tz24—Tz26—Tz27 area, Tz45 area, Tz3 area, Tz52 area, Tz403 area, Tz2 area, Tz22 area, the east part of Tz35 area, the west part of number one fault and so on. Correlation the results predicted with the observations of core fractures and well logging evaluating, the fitness is about over sixty—six percent. So it is proposed that three dimension finite element simulation method is very efficient in predicting carbonate fracture zone.

Key words Tazhong area Ordovician structural—depositional model cracking reservoir of carbonate rock three—dimensional finite—element simulation