

塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏 溶洞发育规律

徐微^{1,2}, 陈冬梅^{3,4}, 赵文光^{2,5}, 蔡忠贤², 林忠民^{2,3}

(1 中海油研究总院; 2 中国地质大学(武汉); 3 中石化西北油田分公司)

(4 中国石油天然气勘探开发公司; 5 中国石油勘探开发研究院)

摘要 塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层为该区最重要的油气生产层段。依据地质岩心(屑)、录井、钻井、测井、地震等多种资料,运用由点到线再到面的方法,探讨了塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏的溶洞发育规律。由区内溶洞充填砂泥岩的伊利石 K—Ar 同位素定年,得出其形成时间在 369.33~451.90 Ma,古溶洞的形成时间应该早于该时段或与该时段同时,即加里东中晚期—海西早期。溶洞的发育受控于古地貌,存在三个纵向溶洞带。岩溶水输入方式的不同,使得塔河地区溶洞的平面分布分区性较强。北部区奥陶系鹰山组 and 一间房组中的岩溶水为面状输入方式,南部有上奥陶统隔水层覆盖的区,鹰山组 and 一间房组中岩溶水为侧向输入方式,岩溶水的出口位置位于断裂带附近,尤其是断裂带与断裂带相交的部位。塔河油田北部和南部的岩溶水系统基本为一个统一的系统。建立了该区大气淡水岩溶模式。

关键词 塔河油田; 奥陶系; 碳酸盐岩储层; 溶洞性储层; 储层特征; 储层成因模式

中图分类号: TE112.23

文献标识码: A

塔河油田是我国第一大古生界海相油田。塔河油田的发现实现了古生代海相碳酸盐岩油气勘探的重大突破,它对我国海相碳酸盐岩油气勘探有重要的借鉴意义。

已有研究表明,塔河油田奥陶系碳酸盐岩因基质岩性致密,不具备有效的储渗能力,只有溶洞和裂缝储集体为其主要的储集空间,因此溶洞的发育展布规律成了重大的攻关课题^[1-2]。

塔河油田奥陶系古岩溶系统研究已取得了相当大的进展,但在岩溶期次、成因模式等方面仍存在较大分歧。在古岩溶的认识方面,部分学者认为,桑塔木组覆盖区的中下奥陶统溶洞应是加里东中期岩溶的产物,而另一种观点认为,塔河地区奥陶系碳酸盐岩具有多期岩溶作用改造的历史,但主要岩溶作用发生于海西早期。

对于塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层的古岩溶体系的研究,张希明^[3]曾建立过相应的表生大气淡水岩溶分布模式,钱一雄等^[4]则提出塔河地区还存在海岸带混合水成因的洞穴,张涛等^[5]还就早海西期

垂向岩溶的分层性及储层成因预测模式做过研究。笔者通过对洞穴充填沉积物中自生伊利石 K—Ar 同位素年龄以及孢子花粉的分析,结合奥陶系恰尔巴克组尖灭线两侧覆盖区和裸露区 T₄ 顶面地表河谷的延展性分析以及加里东中期构造对水文网的控制,认为奥陶系一间房组—鹰山组主体裸露区加里东中期的岩溶特征表现非常明显,目前在垂向上大部分钻井中所划分的三个岩溶期次主要形成于加里东中期。

本文主要目的,是以塔河地区岩溶井段的岩心观察和地球化学测试分析以及钻井、录井和测井相结合标定为手段,以现代岩溶理论为指导,通过对洞穴充填物分析以及连井储层格架的建立,来揭示塔河地区古溶洞形成及其发育的分带性和差异性,归纳塔河地区古溶洞的宏观分布规律并建立相应的成因地质模型。

1 区域概况

塔河油田位于新疆维吾尔自治区轮台县与库车

收稿日期: 2010-10-08; 改回日期: 2011-01-10

本文为中国石化西北油田分公司勘探研究基金项目(项目编号 KY-S2006-031)

本文为 2007 届湖北省优秀硕士学位论文的部分成果;曾获 2010 年全国第六届油气层序地层学大会“优秀论文奖”

徐微:女,1981 年生,硕士,工程师。主要从事层序、沉积、储层方面的研究工作。通讯地址:100027 北京市东直门外小街 6 号海油大厦;电话(010)84525420

县交界处,构造位置属塔里木盆地北部沙雅隆起阿克库勒凸起中南端,面积近 1 800km²。随着塔河油田奥陶系油藏勘探、开发规模的不断扩大和综合研究工作的逐步深入,现已相继在塔河奥陶系油田三、四、六、七、二、八区块实现油气突破,并进入正式开发。本文研究工区位于塔河油田主体区域内(图 1)。

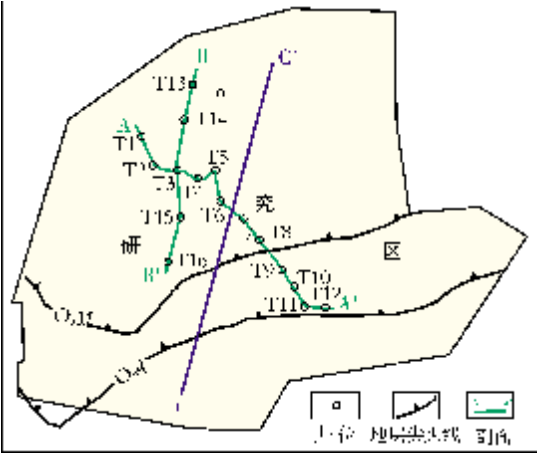


图 1 塔河油田研究区井位与剖面位置简图
O₂yj 一间房组; O₃q 恰尔巴克组

塔里木盆地阿克库勒凸起主要受到六期次构造运动的改造,它们分别是加里东中期(O₂₃ — S_末)、海西早期(D_末)、海西晚期(P_末)、印支期(T_末)、燕山期(K_末)和喜马拉雅期(N₁以来)。奥陶系碳酸盐岩受大气淡水淋溶溶蚀而形成的古溶洞储集体,主要受加里东中期、海西早期的改造。塔河地区奥陶系古岩溶主要发育在中下奥陶统一间房组和鹰山组的巨厚纯灰岩中,为加里东中期和海西早期构造运动多期改造和叠加的产物。奥陶系内部也存在沉积间断,上奥陶统岩性多为灰质泥岩或泥灰岩,不发育岩溶。灰岩中发育有小规模的溶洞,主要是加里东期构造运动的产物。

2 溶洞的类型及特征

溶洞类型的识别和划分是认识古岩溶储层内部结构的一个重要内容,但至今为止如何识别和划分,仍然没有一个系统和完整的理论和方法。徐微等^[6]根据钻井、岩心、测井等解释,在塔河油田奥陶系古风化壳储层的 172 口发育溶洞的井中识别出 323 个各种类型溶洞,并利用地下暗河的溶洞形成和演化理论以及现代溶洞特点,结合生产需要,将塔河油田

奥陶系古岩溶储层溶洞的类型分成未充填型溶洞和充填型溶洞两大类。其中,未充填型溶洞根据溶洞空间的大小,可划分出小型、中型和大型三类,并可进一步分为溶道、岩屋、大岩屋、岩厅和巨岩厅五种类型。充填型溶洞根据溶洞充填特征,可归纳为四类溶洞充填相,它们分别为化学沉(淀)积岩相、搬运型岩相、垮塌型岩相、渗流充填相,前三种相类型还可进一步划分为八个次一级相类型^[7](表1)。搬运型岩相为溶洞的早期充填产物,当地表岩溶的溶蚀作用发展到一定程度岩石会发生崩落,崩落的结果就产生了垮塌型岩相,后期的渗流充填相以填隙物的形式充填在垮塌型岩相里。

表 1 塔河油田奥陶系溶洞与充填类型划分表

一级	二级	三级	分类依据
未充填型溶洞	小型溶洞	溶道	空间大小
	中型溶洞	岩屋	
		大岩屋	
	大型溶洞	岩厅	
		巨岩厅	
充填型溶洞	化学沉(淀)积岩相	滴水类化学沉积相	充填特征
		流石类化学淀积相	
	搬运型岩相	搬运型砾岩相	
		搬运型砂岩相	
	垮塌型岩相	细碎屑角砾岩相	
		粗碎屑角砾岩相	
		裂纹化围岩相	
		高裂纹化围岩相	
	渗流充填相		

3 溶洞的分布规律

塔河油田奥陶系溶洞的形成主要是大气淡水岩溶作用的结果^[6],由于经过多期构造运动的改造叠加,故对其分布规律的研究难度相对较大。对于研究区内奥陶系古风化壳储层,由钻井、岩心、测井等解释识别出的 172 口井中发育有 323 个各类溶洞,笔者主要从溶洞的形成时间、纵向分带性和平面的分区性、差异性等方面来研究溶洞分布规律。

3.1 溶洞的纵向展布规律

溶洞的纵向分布受水文剖面制约,可将水文剖

面划分为破碎带、渗流带、混合带、潜流带、隔水带等五个带(图2)。在实践中,并不是在所有碳酸盐岩溶洞系统中都能见到这五个带,不同的古地貌,各带的发育程度不同。

名称	剖面示意	水文特点
破碎带		风化、裂隙、破碎、地表径流
渗流带		地表径流、裂隙、地表径流
混合带		地表径流、裂隙
潜流带		潜水带、裂隙
隔水带		地表径流、潜水带、地表径流

图2 大陆型古风化壳地质体完整水文剖面划分

溶洞在各个带中都能见到,但发育程度和规模则不同。溶洞最发育的是在混合带,这是因为混合带水流最强,加上淡水和海水混合,化学性质发生变化,引起较强的溶蚀作用,因此任何一个古风化壳,大规模的溶洞都发育于渗流带与潜流带之间的过渡带,我们称之为混合带。塔河油田奥陶系古风化壳储层大量资料的统计证实了这个理论(图3)。

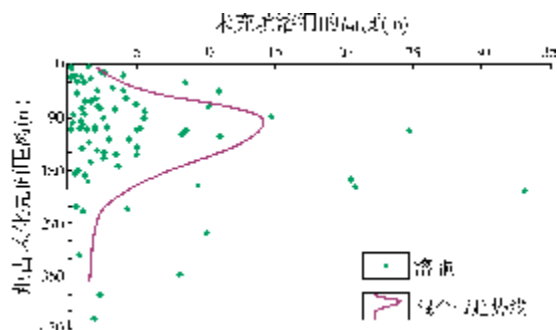


图3 塔河油田奥陶系古风化壳未充填溶洞的高度与距古风化壳面距离关系图

塔河油田奥陶系碳酸盐岩溶洞储层,由于经历了加里东、海西等多次构造运动的改造,前期的分带必然被后期的运动所改造,如果多次改造叠加,就很难识别每期的古风化壳分带性,但一般每期混合带的大规模溶洞带都能得以保存,因此,我们可以通过研究这些混合带的溶洞,来掌握塔河油田奥陶系古风化壳储层的溶洞系统的发育特征。

本文结合混合带溶洞带的发育规律,对塔河地区奥陶系溶洞纵向展布规律的探讨,主要从溶洞形成时间和纵向分带性两个方面展开。

3.1.1 溶洞的形成时间

同位素定年必须满足三个基本的条件:(1)测试的样品必须具有同时性;(2)测试的样品要具有相同的初始比值;(3)形成后体系处于封闭状态。为了探讨塔河油田奥陶系溶洞的形成时间,我们采用K—Ar同位素定年法,试图通过对洞穴碎屑沉积物中自生伊利石的形成时间来大体确定沉积物形成的时间(即地层形成的时间),从而推断洞穴形成的时间。

K—Ar测年法的原理基于放射性母体 ^{40}K 衰变为子体 ^{40}Ca 和 ^{40}Ar 。其中88.8%的 ^{40}K 通过释放电子蜕变为 ^{40}Ca ;而11.2%的 ^{40}K 通过捕获电子或释放正电子衰变为 ^{40}Ar 。根据下式可以计算出一个含K体系的地质年代t:

$$t = (1/\lambda) \ln [(^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{K}) \times (\lambda/\lambda_e) + 1] \quad (1)$$

式中: $\lambda=5.543 \times 10^{-10}/\text{a}$,是 ^{40}K 衰变为 ^{40}Ca 和 ^{40}K 的总衰变常数;

$\lambda_e=0.581 \times 10^{-10}/\text{a}$,是 ^{40}K 衰变为 ^{40}Ar 的衰变常数;

^{40}K 和 $^{40}\text{Ar}^*$ 分别为母子放射性元素的含量。

式(1)成立所必须满足的基本条件是:(1)体系在形成时没有继承性的 ^{40}Ar 存在;(2)形成以来始终是一个封闭体系,即没有 ^{40}K 和 ^{40}Ar 的损失和加入。

我们在全区范围内选取了5口井(各井1个样品)中溶洞段的细粒沉积物进行了K—Ar年龄分析。样品测试是由中国石油勘探开发研究院的同位素实验室完成的。为了区分碎屑状的伊利石和自生伊利石,采用湿磨真空抽滤技术对5个样品的粒级进行了分离提纯,理论依据是自生伊利石的晶体较为细小,碎屑长石和碎屑伊利石(包括碎屑云母类矿物)晶粒一般较为粗大。大量实际测试结果表明,采用湿磨技术分离选择“ $<0.15 \mu\text{m}$ ”和“ $0.15 \sim 0.30 \mu\text{m}$ ”两个粒级可能较为合理^[8],在此基础上分别对两个粒级组样品进行了X衍射分析,确定了两组不同粒级样品中钾长石及其黏土矿物的相对含量和I/S间层比,再用质谱仪分别测试其年龄(表2)。

从X衍射分析结果看,5个样品均未检测出有钾长石存在,黏土矿物中I/S间层矿物相对含量达到了91%~97%,比值为20~25,表明进行同位素测试的5个样品碎屑质含钾矿物含量不多,多数是自生伊利石,因此分析结果可以用来定年。

一般情况下,伊利石的实测年龄可以分成三种情况,一是明显大于地层年龄,二是与地层年龄相差

表 2 塔河油田奥陶系岩样描述及不同粒级岩样 K—Ar 年龄测定结果表

井号	样品深度 (m)	距不整合面 的距离(m)	距双峰灰岩 ^① 顶 的距离(m)	岩 性	K—Ar 年龄测定值(Ma)		地质时代
					<0.15 μm 粒级	0.15~0.30 μm 粒级	
T17	5540.0	135.0	173.5	泥岩	479.04 \pm 3.16	451.90 \pm 2.88	中—晚奥陶世
T18	5540.7	19.7	90.2	粉砂岩	407.88 \pm 4.13	394.47 \pm 3.25	早泥盆世
T19	5700.0	200.0	273.0	泥岩	410.16 \pm 3.58	369.33 \pm 2.86	早—晚泥盆世
T20	5617.5	13.5	109.0	泥岩	416.93 \pm 2.66	404.54 \pm 4.26	晚志留世—早泥盆世
T11	5550.6	12.1	159.1	粉砂岩	401.66 \pm 3.44	399.14 \pm 2.56	早泥盆世

较小,三是明显小于地层年龄。若出现第一种情况,则是因为碎屑含钾矿物明显占了优势^[8]。

X 衍射分析结果已经表明了本区自生伊利石的相对丰度占优势,因此即便混有一定比例的碎屑伊利石,实测样品的年龄数据也应该接近或小于地层年龄。从分析结果中可以看出,0.15~0.30 μm 粒级的伊利石 K—Ar 年龄在 369.33~451.90 Ma 之间,<0.15 μm 粒级的伊利石 K—Ar 年龄在 401.66~479.04Ma 之间,且这 5 个样品中的每个样品,<0.15 μm 粒级的伊利石 K—Ar 年龄都偏大,故在此采用 0.15~0.30 μm 粒级的 K—Ar 年龄。尽管目前我们对此尚无法解释,但这些年龄数据表明,伊利石所赋存的洞穴沉积物的时代不会小于这些年龄。这些数据给出的是洞穴沉积物形成的一个时间段,因此溶洞的形成时间也应该早于或等于 369.33~451.90 Ma,即加里东中晚期—海西早期。

3.1.2 溶洞的纵向分层分带性

研究发现,塔河油田奥陶系古风化壳储层发育多个溶洞层,单井中发育溶洞层最多的可达到 8 个,广泛可见 1~5 个溶洞层(如 T2 井等)。由于塔河油田的古岩溶是加里东运动和海西运动叠加改造的产物,所以对发育的多个溶洞层段的纵向分带性的研究就显得至关重要。

3.1.2.1 溶洞纵向分布的统计规律

溶洞的纵向分布与古风化壳不整合面之间的关系 为了研究塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层中溶洞的分带性,笔者对区内发育的 323 个溶洞层距不整合面的深度做了归类整理,以 20 m 距离为一个间隔,对其发育频率进行统计,并绘制出溶洞发育数量—距不整合面距离的关系柱状图(图 4)。该图表

明,溶洞发育在距不整合面以下 400 m 之内,主要分布在距不整合面 200 m 以内,其中,距不整合面以下 20 m 内溶洞最为发育,发育数量达 89 个(占溶洞总数的 27.55%),距不整合面以下 20~40 m 之间的溶洞发育数量次之,发育数量达 48 个(占溶洞总数的 14.86%)。在纵向上,溶洞发育数量随着距不整合面的深度增大而减小。

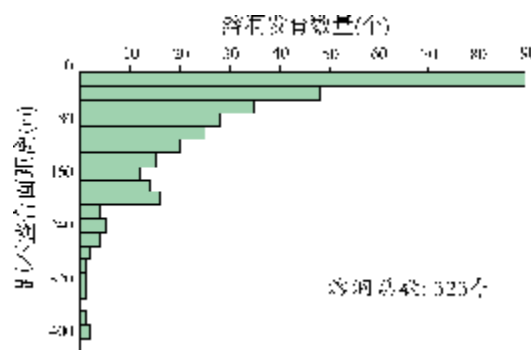


图 4 塔河油田奥陶系溶洞发育数量与距不整合面距离的关系柱状图

溶洞的纵向分布与古地貌之间的关系 同样以 20 m 距离为一个间隔,对区内发育的 323 个溶洞层距双峰灰岩顶部以下的距离做了归类整理,对其发育数量进行统计。在恢复海西早期古地貌(即双峰灰岩^①顶面)的情况下,同时也绘制了溶洞发育数量—距双峰灰岩顶距离的关系柱状图(图 5)。该图表明,区内溶洞的纵向发育主要分了三个带,即 0~120 m、120~200 m 和 200 m 以上,溶洞主要发育在第一、第二溶洞带中,所占比例高达 80%。第三溶洞带中发育数量较少。

3.1.2.2 全区岩溶井段连井骨架剖面对比

利用连井剖面进行岩溶层的划分对比主要是基

① 双峰灰岩在全区范围内分布比较稳定,沉积厚度比较均一,因此将其作为标准层。

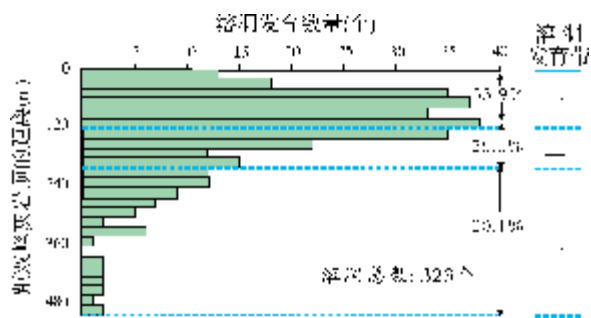


图5 塔河油田奥陶系溶洞发育数量与距双峰灰岩顶距离的关系柱状图

于基准面控制的岩溶层,是地下水面对岩溶地层作用结果的具体表现,每一个基准面控制的岩溶作用期间,地下水面尽管在不同流域和水文地质单元之间存在一定差异,但一般是由地下分水岭分割的连续界面,因此是可以连井剖面的形式加以刻画的。由该地下水面控制形成的溶蚀作用是钻井岩溶层对比的理论基础。通过图4和图5的对比可得出,塔河油田溶洞的发育特征主要受控于古地貌,而对于研究区内溶洞带的分带性仅有统计规律得出结论还是不够的,还需要进一步佐证。因此,笔者在海西早期古地貌条件下,做了5条贯穿整个研究区溶洞对比的连井大剖面,对溶洞系统的纵向分带性进一步论证,本文给出了其中2条剖面(图6)。在5个剖面

中,有4条剖面是NW—SE向的,它们是在海西早期古地貌背景下,横切古水系主流的连井剖面(如图6的A—A'),另一条剖面是NE—SW向的,与古水流方向近似一致(图6的B—B')。

该区岩溶层的发育特点如下。

(1)全区依据目前的钻井深度,总体上存在三个岩溶发育带,第一岩溶发育带最浅,多数位于地震界面 T_4 (即不整合面)以下20m范围内,在连井剖面的大部分井中均可见到,一般洞段规模普遍较小;第二岩溶发育带也已被大部分井揭示;第三岩溶发育带深度较大,因此钻遇的井比较有限,特别是南部地区的大部分井未钻遇到该层段,该带在工区北部发育较好。

(2)三个岩溶发育带明显反映了三期排泄基准面的控制。

(3)区域上,三个岩溶发育带自北部主体区一直可以延续到南部上奥陶统覆盖区和西部岩溶盆地,表明在三个岩溶带的发育期间,这些地区具有相似的岩溶地质条件。

(4)横向上三个岩溶发育带的分布与古地貌的起伏形态具有比较好的一致性,同时沿着整个鼻状背斜构造的形态分布,说明三个岩溶层段的形成是在近于相似的构造及岩溶水文地质条件下形成的。

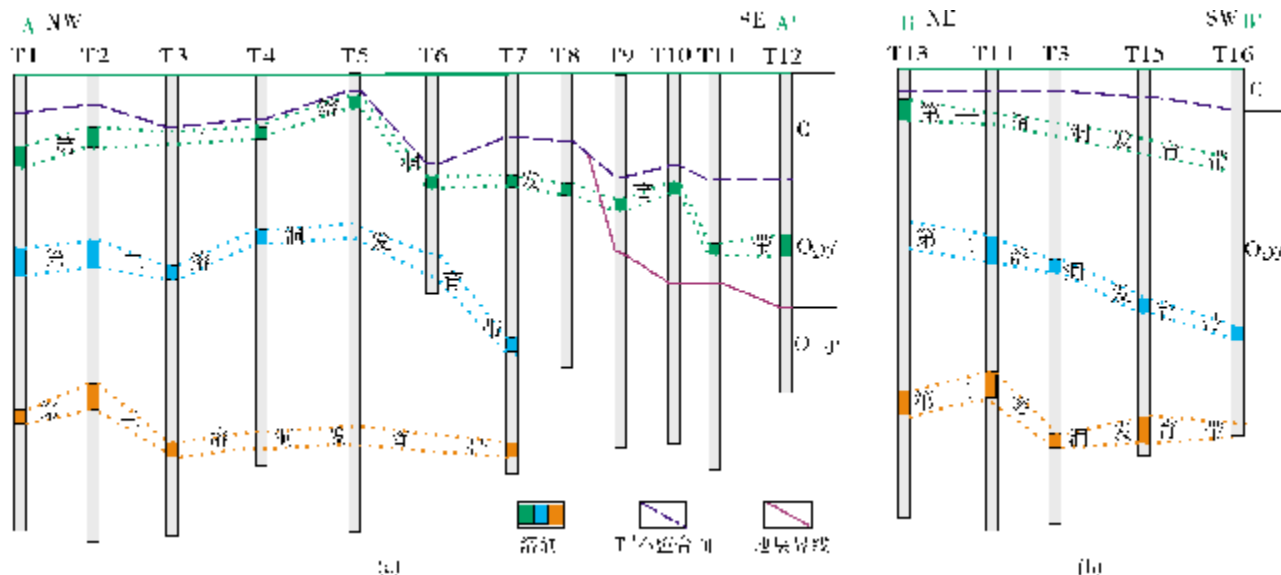


图6 塔河油田奥陶系溶洞发育带及井间对比连井剖面简图
A—A'与B—B'剖面位置见图1。 O_{1y} 鹰山组; O_{2y} 一间房组

3.2 溶洞的平面展布规律

笔者依据已建立的溶洞测井综合识别模式,对

区内的近300口井进行判断和标定,并按照溶洞的不同类型来对其发育规律进行讨论。塔河油田主体区奥陶系碳酸盐岩地层的溶洞的平面展布规律研

究,主要是通过溶洞平面分布状况和线洞率的平面展布规律研究来进行。

对塔河油田奥陶系 172 口井 323 个各类溶洞的统计表明,溶道仅占 12.38%,岩屋则占 25.39%,大岩屋占 28.17%,岩厅占 13.31%,巨岩厅占 20.74%(表 3)。可以看出整个溶洞中,岩屋和大岩屋占主体(53.56%),其次是巨岩厅占 20.74%。

从溶洞统计表中可以看出,塔河油田 B 区是分布溶洞最多的一个区块,且中型溶洞(岩屋+大岩

屋)的数量占该区总溶洞数的 55.05%,大型溶洞(岩厅+巨岩厅)所占比例为 28.44%,小型溶洞(溶道)的比例占到 16.51%;C 区的溶洞发育数量为 71 个,仅次于 B 区,中型溶洞的数量占该区的总溶洞数的 59.15%,大型溶洞所占比例为 26.76%,小型溶洞的比例占到 14.09%。但是在 E 区的各类溶洞分布中,巨岩厅的发育数量最多,比例占到 35.71%,大型溶洞所占比例为 51.79%,中型溶洞占 39.29%,小型溶洞的比例仅占到 8.92%。

表 3 塔河油田不同区块不同类型溶洞的数量统计表

溶洞类型		各区块溶洞数(个)					全区合计	
		北 部		南 部				
		B区	C区	A区	D区	E区	数量(个)	比例(%)
小型溶洞	溶道	18	10	1	6	5	40	12.38
中型溶洞	岩屋	25	22	9	14	12	82	25.39
	大岩屋	35	20	10	16	10	91	28.17
大型溶洞	岩厅	12	7	7	8	9	43	13.31
	巨岩厅	19	12	5	11	20	67	20.74
区块合计(个)		109	71	32	55	56	323	100

溶洞的这些发育情况与其所处的地理位置有关。塔河 B 区和 C 区位于北部,那里没有中—上奥陶统覆盖,石炭系直接覆盖于下奥陶统之上,按照朱学稳等划分的岩溶水输入方式^[9],属于主要为面状输入方式的区域,所以该区的中小型溶洞发育较多,水的输入渠道较多,且水流量都相对较小,主要为伏流河或地下暗河的支流段。而 E 区位于塔河油田南部、有中—上奥陶统覆盖的区域,由于中—上奥陶统中存在泥岩层(恰尔巴克组),阻挡了地表水的下渗,使得此层成了一个天然的隔水层,致使岩溶水在南部区的输入方式不得不发生改变,变成侧向输入方式,这样就导致水流的通道变少,水量变大,使溶洞的形成主要以大型岩厅—巨岩厅洞穴为主。

根据钻井、录井、测井等综合判断的溶洞与海西早期古地貌和断裂的叠合,区内溶洞的平面分布除了受岩溶水输入方式影响外,还受古构造鼻、古构造脊、梁的控制。其中 E 区 T21—T22—T23 井周围发育的多为未充填溶洞,主要受控于古构造鼻;B 区西部和 C 区西部发育的溶洞主要受控于 NE—SW 向断裂和古构造脊;B 区溶洞主要受控于古构造脊。岩溶谷地附近也发育较多的充填—半充填溶洞,主要

受控于古地貌^[5]和断裂系统。

综上所述,塔河地区溶洞的平面分区性较强,因岩溶水输入方式的不同,北部 B、C 区多发育中小型充填—半充填型浅层溶洞,数量较多,以溶道、岩屋和大岩屋为主;而南部 A、D、E 区多发育大型未充填型中深层溶洞,以岩厅、巨岩厅为主,但数量较少。并且不同区域的主控因素不同,北部区主要受古地貌的古构造脊、梁的影响,南部区除了受古地貌的构造鼻影响外,还受控于断裂系统。

塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层中的溶洞在平面上多分布于岩溶的高部位,如岩溶高地,古构造鼻、脊、梁等部位,同时也因岩溶水输入方式的不同,溶洞发育的多少和类型也有较大不同。在岩溶谷地部位,溶洞也相对发育。

4 大气淡水岩溶发育模式

朱学稳等^[9]根据我国南方石灰岩分布区存在大量地下河系统的事实,从洞穴发育与形成必定属于某个物质能量输入—输出系统的基本认识出发,并利用 Ford 等人的模拟实验研究成果^[10-11],建立了地下河系统洞穴形成和演化的新模式。这一模式将系

统的物质与能量输入分为侧向输入、面状输入和多元输入三种基本状况。笔者在对塔河油田主体区奥陶系碳酸盐岩溶洞研究中发现,研究区内发育有面状输入和侧向输入两种岩溶水输入方式。

4.1 北部区岩溶发育特征

塔河油田北部区,由于海西期不整合面之下直接暴露的是一间房组和鹰山组的纯碳酸盐岩,因此岩溶水的输入方式表现为一种面状输入模式,其洞穴发育特征主要表现在以下几个方面:

(1)发育大量的落水洞穴。

(2)溶洞发育数量较多,类型以岩屋—大岩屋、溶道等中小型溶洞为主,大的岩厅、巨岩厅发育数量较少,如B区是分布溶洞最多的一个区块,共发育有109个溶洞层,且岩屋和大岩屋的数量(60个)占该区总溶洞数的55.05%。

(3)落水洞与含水层洞穴(即暗河)在平面上相互交叠,没有明显的分区性。

(4)发育的溶洞多为充填—半充填状态,未充填溶洞相对较少。

4.2 南部区岩溶发育特征

塔河油田南部区,被上奥陶统恰尔巴克组以上

地层所覆盖,由于恰尔巴克组和桑塔木组属于一套由泥岩和泥灰岩组成的隔水层,所以岩溶水的输入方式主要表现为侧向输入,所形成的洞穴发育特征如下:

(1)串珠状反射主要沿断裂带分布。

(2)溶洞发育数量较少,类型多为岩厅—巨岩厅等大型洞穴居多的出口型溶洞,中小型岩屋、大岩屋等溶洞发育数量较少。如在E区发育的各类溶洞,巨岩厅(20个)的比例占到35.71%,岩厅(9个)的比例占到16.07%,二者所占比例之和达到51.78%,而溶道(5个)的比例仅占到8.93%。

(3)发育的溶洞多为未充填—半充填状态,且最大未充填溶洞可达到24.79m(Te井钻井过程中发生24.79m的放空现象),充填溶洞发育相对较少。

4.3 大气淡水岩溶模式

综合上面的分析结果,绘制出塔河油田大气淡水岩溶模式(图7)。塔河油田北部区鹰山组和一间房组中的岩溶水输入方式为面状输入。南部有上奥陶统隔水层覆盖的地区,鹰山组和一间房组中的岩溶水输入方式为侧向输入,岩溶水的出口位置位于断裂带附近,尤其是断裂带与断裂带相交的部位。塔河油田北部和南部的岩溶水系统基本为一个统一的系统。

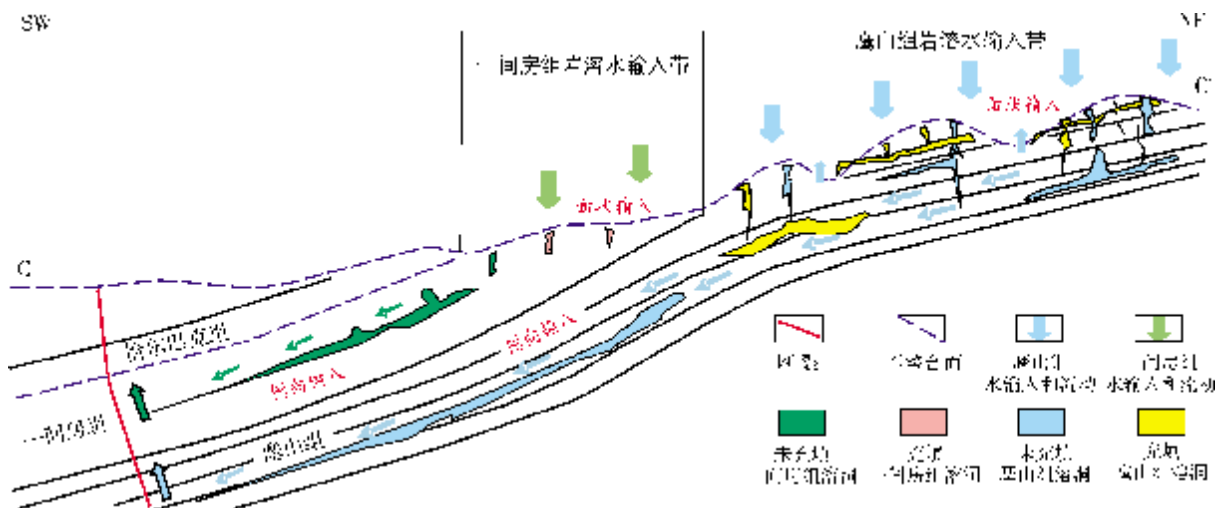


图7 塔河油田大气淡水岩溶模式示意图

C—C' 剖面位置见图1

以上论述的只是塔河地区最为普遍的大气淡水岩溶模式,而岩溶的发育还受控于其他很多因素的影响,这些因素的共同作用改造了该区的溶洞和储集层,使得塔河油田岩溶缝洞型储集体的发育和分

布变得更为复杂。

5 结论

(1)溶洞充填物的伊利石 K—Ar 同位素定年得

出研究区内溶洞沉积物的形成时间在 369.33~451.90 Ma,因而溶洞的形成时间也应该早于或同时于这一时段,即加里东中晚期—海西早期。

(2) 溶洞的发育受控于古地貌,且存在三个纵向溶洞带,距双峰灰岩顶部距离 0~120 m、120~200 m 和 200 m 以上,且第一、二溶洞带较发育,第三溶洞带发育较少。

(3) 塔河地区溶洞的平面分区性较强,因岩溶水输入方式的不同,北部 B、C 区多发育中小型充填—半充填浅层溶洞,数量较多,以溶道、岩屋和大岩屋为主;南部 A、D、E 区多发育大型未充填中深层溶洞,以岩厅、巨岩厅为主,但数量较少。不同区域溶洞发育的主控因素不同,北部区主要受古地貌的古构造脊、梁影响,南部区除了受古地貌的构造鼻影响外,还受控于断裂系统。

(4) 塔河油田北部区鹰山组和一间房组中的岩溶水为面状输入方式。而油田南部有上奥陶统隔水层覆盖的地区,其鹰山组和一间房组中的岩溶水为侧向输入方式,岩溶水的出口位于断裂带附近,尤其是断裂带与断裂带相交的部位。塔河油田北部和南部的岩溶水系统基本为一个统一的系统。

参考文献

- [1] 翟晓先. 塔河油气田勘探与评价文集[M]. 北京:石油工业出版社,2006.
- [2] 林忠民. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件[J]. 石油学报,2002,23(3):23-26.
- [3] 张希明. 新疆塔河油田下奥陶统碳酸盐岩缝洞型油气藏特征[J]. 石油勘探与开发,2001,28(5):17-22.
- [4] 钱一雄,蔡立国,李国蓉,等. 碳酸盐岩岩溶作用的元素地球化学表征——以塔河 1 号的 S60 井为例[J]. 沉积学报,2002,20(1):70-74.
- [5] Zhang Tao, Yan Xiangbin. A study of the genesis of karst-type subtle reservoir in Tahe Oilfield[J]. Petroleum Science,2004,1(2):99-104.
- [6] 徐微,贾振远,蔡忠贤. 碳酸盐岩古风化壳储层溶洞特征研究——以塔河油田奥陶系油藏为例[J]. 石油天然气学报,2005,27(1):156-158.
- [7] 徐微,蔡忠贤,贾振远,等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏溶洞充填物特征[J]. 现代地质,2010,24(2):287-293.
- [8] 张有瑜,罗修泉. 油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素年代学研究现状与展望[J]. 石油与天然气地质,2004,25(2):231-236.
- [9] 朱学稳,张元海,张任,等. 地下河洞穴发育的系统演化[J]. 中国岩溶,1996,15(1):158-166.
- [10] Ford D C, Williams P W. Karst geomorphology and hydrology [M]. London: the Academic Division of Unwin Hyman Ltd, 1989.
- [11] Ford D C, Ewers R O. The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth[J]. Can J Earth Sci, 1978, 15(11):1783-1798.

编辑:赵国宪

Development Regularity of Karstic Caverns of Ordovician Carbonate Reservoirs in Tahe Oilfield, Tarim Basin

Xu Wei, Chen Dongmei, Zhao Wenguang,
Cai Zhongxian, Lin Zhongmin

Abstract: Ordovician carbonate fissuring/cavernous reservoirs are the important oil pay beds in Tahe Oilfield. Based on the K-Ar isotopic dating for illite from sandstone and mudrock filling in the karstic caverns of the reservoirs, the formation time of cave-fillings is during 369.33-451.90Ma and thus that of the paleocaverns should be earlier than or equal to the 369.33-451.90Ma, which is corresponding to the late Caledonian-early Hercynian periods. There are three vertical cavern zones in Tahe area. Paleocavern development was controlled by paleo-landform. Karstic water input in different ways which resulted in the divisional distribution of caverns in plane in this area. In northern area, the karst water behaved as a planar way of input into the Ordovician Yingshan and Yijianfang strata while in the southern area, the water did as a lateral way of input into the same strata that are covered by impermeable upper Ordovician rocks. Exit of karstic water was located near the fault zone. The karstic water basically belongs to a unified system in the northern and the southern parts of the oilfield. A local model of meteoric karst reservoir is established.

Key words: Ordovician; Carbonate reservoir; Cavern reservoir; Reservoir characteristics; Genesis model of reservoir; Tahe Oilfield,

Xu Wei: female, Master, Engineer. Add: CNOOC Research Institute, 6 Dongzhimenwai Xiaojie, Beijing, 100027 China