

轮古西地区奥陶系碳酸盐岩储层特征研究

陶云光^{1,2}

(1.中国地质大学·武汉 2.中国石油勘探开发研究院西北分院)

陶云光.轮古西地区奥陶系碳酸盐岩储层特征研究.天然气工业,2007,27(2):20-22.

摘要 塔里木盆地轮古西地区奥陶系碳酸盐岩油气藏在很大程度上受岩溶型储层发育的控制,深入总结其储层特征及其控制因素,对油气勘探开发具有重要意义。为此从储层岩石学及储集性能等方面,对该区的奥陶系碳酸盐岩储层特征进行了阐述和分析,认为该区储层的基质孔渗极差,难以形成有利的储集空间,而次生孔隙(裂缝、溶蚀孔洞、洞穴等)构成了该区的主要储集空间,裂缝—孔洞型、洞穴型储集层较为发育,是最有勘探价值的储集层。通过对构造演化特征和岩溶系统的分析,认为储层的原生孔隙和沉积相带是次生孔隙形成的基础条件,构造运动产生的裂缝是促进岩溶发育、控制储集体发育的关键因素,岩溶作用是控制储层发育的主要因素。

关键词 碳酸盐岩 储集层 特征 构造裂缝 岩溶 控制因素

一、地层沉积特征

轮南西地区自上而下钻揭地层分别为:第四系、第三系、白垩系、侏罗系、三叠系、石炭系、奥陶系下统,缺失中上奥陶统、志留系、泥盆系、二叠系。

由于海西早期大幅度抬升^[1],轮古西地区奥陶系剥蚀厚度较大,上奥陶统及中奥陶统一间房组被剥蚀殆尽。目前仅钻遇下奥陶统鹰山组及蓬莱坝组顶部地层^[1]。

鹰山组可以分为上段($O_{1-2}y_1$)“褐灰色砂屑灰岩段”和下段($O_{1-2}y_2$)“含云质砂屑灰岩段”两个岩性段。属于一套开阔海台地相沉积^[1]。本组风化岩溶发育,具有良好的储集空间,是轮古西地区主要的含油层系。① $O_{1-2}y_1$ 残厚0~108 m,岩石类型主要有泥晶灰岩、亮晶砂屑灰岩、粒屑灰岩等,其中粒屑灰岩占24.3%。生物含量少但种类多,主要有介形虫、腹足类、瓣鳃类、棘皮类、三叶虫、海绵、骨针等;② $O_{1-2}y_2$ 钻厚在95~114.5 m,以亮晶砂屑灰岩、泥晶灰岩和颗粒灰岩为主,云质化灰岩占10.6%,生物主要有棘皮类、腕足类,含量一般为2%,局部可达18%,其次为三叶虫、介形虫、骨针等。

蓬莱坝组(O_1p)自上而下划分为云质灰岩段(O_1p^1)和泥晶灰岩段(O_1p^2)。属于局限海台地相沉积。① O_1p^1 钻厚24~50 m,岩性主要有砂屑泥晶

云质(化)灰岩、内碎屑泥晶含云质灰岩、亮晶砂屑灰岩,生物含量稀少,主要有棘皮类、腕足类、瓣鳃类,含量1%~5%,一般为2%;② O_1p^2 钻厚11.5~73.0 m,岩石类型主要有褐灰色泥晶灰岩、亮晶砂屑灰岩、云质(化)灰岩,生物含量稀少,主要有棘皮类、腕足类、介形虫类。

二、储层特征

1. 岩石学特征

轮古西地区所钻揭鹰山组与蓬莱坝组上部碳酸盐岩,以颗粒灰岩为主(包括亮晶砂屑灰岩及各种颗粒灰岩),含量为55%;次为泥晶灰岩,含量为28%。鹰山组下部含云质;蓬莱坝组普遍含白云质,且下部为石灰岩与薄层白云岩互层。常见四种岩石类型:亮晶砂屑灰岩、泥晶灰岩、泥晶颗粒云质(化)灰岩和岩溶岩^[2]。

亮晶砂屑灰岩:褐灰色,亮晶结构,方解石含量95%~8%,泥质2%~5%。砂屑由泥晶方解石、生屑组成,近圆—椭圆形,一般大小0.1~1.0 mm,填隙物以亮晶方解石胶结为主,次为泥晶方解石。棘屑常具次生加大。缝合线由泥质充填;构造缝、溶孔由方解石充填。

泥晶灰岩:灰色,泥晶结构,方解石含量88%~93%,泥质含量3%~4%,球粒由泥晶方解石组成,球形,一般大小0.05~0.2 mm。填隙物以泥晶方解

作者简介 陶云光,1967年生,高级工程师;1990年毕业于原江汉石油学院勘查地球物理专业,现主要从事地震资料处理、解释和科研项目管理工作;现为中国地质大学资源学院博士研究生。地址:(730020)甘肃省兰州市雁儿湾路535号。电话:(0931)8686036。E-mail:taoyunguang@163.com

石为主,缝合线由泥质充填。

泥晶颗粒云质(化)灰岩:褐灰色,泥晶结构,方解石含量 72%~80%。白云石含量 18%~20%。颗粒由泥晶方解石组成,椭圆—不规则状,大小 0.1~0.6 mm,白云石沿缝合线附近分布。

岩溶岩^[1]:岩溶岩主要有灰绿色灰质含内碎屑粉砂质细粒岩屑砂岩,灰绿色泥质粉砂岩及灰质细粒岩屑砂岩。粉砂含量 50%~60%,泥质含量 30%~40%,灰质 10%左右,灰质、泥质胶结,具斜层理,局部呈散状黄铁矿。

2. 储集空间类型

轮古西地区奥陶系储层孔隙类型多样,从成因上,包括原生基质孔隙和多种次生孔隙:溶蚀孔洞、溶蚀扩大缝、大型溶蚀洞穴和构造缝等。镜下观察岩心,原生基质孔隙欠发育,次生储集空间相当发育,主要为后期构造裂缝、溶蚀孔洞缝,甚至大型岩溶洞穴等,属典型的碳酸盐岩岩溶缝洞型储层^[2]。

(1) 宏观储集空间类型

包括岩心描述统计的孔、洞、缝;钻井放空、井喷、井漏、大型溶蚀暗河及溶洞,也包括测井资料解释的大型溶洞,是油气聚集成藏的有利场所。①大型溶洞:轮古西奥陶系鹰山组碳酸盐岩中分布普遍,常表现为钻井过程中的泥浆漏失、放空、溢流等,取心可见溶洞内充填物。②据岩心观察统计,本地区主要发育构造缝,其中立缝占 48.9%,其次为低斜缝,占 25.8%,其余为高斜缝和水平缝。缝宽 1~20 mm,一般为方解石半充填或无充填,面缝率范围 0.06%~4.15%,平均 1.18%。裂缝既是储集空间,又是渗滤通道^[2],当多组裂缝相互沟通或者裂缝与发育的溶蚀孔、洞储集空间相互沟通时可成为好的有效储层。③缝合线:包括沉积压溶缝和构造压溶缝。通常被铁泥质充填,普遍认为是无效的储渗空间,但本区常见沿缝合线溶蚀现象,白云石沿缝合线分布,常被油质沥青浸染。

(2) 微观储集空间类型

微观储集空间类型为直径小于 2 mm 的孔洞和缝宽小于 1 mm 的微裂缝。

据观察,本地区的微观孔洞包括晶间孔、晶间溶孔、粒内孔三类;微裂缝包括构造缝、压溶缝、溶蚀缝三类。资料统计,轮古西地区奥陶系鹰山组储集层微观储集空间以微裂缝为主,并且十分发育,而微观孔洞相对较差。

3. 储集层类型

依据上述储集空间的优势类型及其组合方式,

轮古西奥陶系碳酸盐岩储层主要包括孔洞型、裂缝型、裂缝—孔洞型及洞穴型 4 种类型。①裂缝型储集层:轮古西地区裂缝型储层平均裂缝孔隙度为 0.17%,平均孔洞孔隙度只有 1.13%,平均渗透率为 $51.88 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。②孔洞型储层:轮古西地区孔洞型储层平均孔洞孔隙度达 3.09%,是本区较为发育的一种储层类型。③裂缝—孔洞型储层:轮古西地区裂缝—孔洞型储层平均孔洞孔隙度 2.89%,平均裂缝孔隙度 0.19%,渗透率为 $40.35 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,具有较高开发价值的一种储层类型。④洞穴型储层:轮古西地区洞穴型储层平均洞穴孔隙度为 25.66%,裂缝平均孔隙度 0.48%,渗透率高达 $3630.23 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,因此该类储集体为该区最具价值的储层。

4. 孔隙结构特征研究

据轮古 9、40、41、42 井 59 个样品压汞获得的排驱压力(p_d)、中值压力(p_{50})、最大连通孔喉半径(R_d)、孔喉中值半径(R_{50})、孔喉半径均质系数(R_m)、孔喉分选系数(S_{F0})、孔喉歪度(S_{KP})等特征参数分析,轮古西碳酸盐岩储层的孔隙结构非均质性较强,连通孔隙的吼道大小和形态具有多样性。

图 1 为轮古西地区奥陶系鹰山组碳酸盐岩储层典型的毛细管压力曲线特征。该典型毛细管压力曲线的第 1、2 段代表裂缝—孔洞型储层的孔喉结构;第 3 段代表微裂缝—孔隙型储层的孔喉结构。

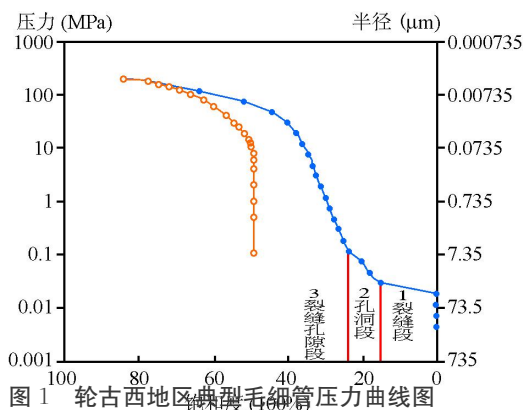


图 1 轮古西地区奥陶系鹰山组碳酸盐岩储层典型的毛细管压力曲线图

5. 储层物性特征

根据 345 个样品的常规物性分析资料统计,孔隙度范围值 0.2%~8.0%,平均孔隙度 1.20%,渗透率范围值 $(0.00006 \sim 9.7) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率 $0.2425 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。说明奥陶系碳酸盐岩为特低孔、特低渗,反映基质孔隙很不发育。孔隙度与渗透率的关系分析结果表明:鹰山组碳酸盐岩储层孔、渗基本不相关,也就是说,储层的渗透率大小不受孔隙度大小控制。通过分析岩心垂向渗透率和水平渗透率

比、岩心渗透率极差、渗透率突进系数,说明储层的非均质性很强^[4]。

由于常规方法采样主要是在岩石致密部位,而对本地区岩溶发育的储层来说,不能代表储层真实的储集性能,而由于溶蚀缝洞、洞穴、大型构造裂缝、微裂缝的普遍发育,形成了相互连通的裂缝—孔洞网络,大大优化了奥陶系碳酸盐岩的储层物性。

三、主要控制因素

1. 储层原生孔隙的发育是基础条件

该区奥陶纪沉积环境属于台地边缘和台地内斜坡,大部分属于这种环境的沉积,其基质原生孔隙相对较为发育,虽然其孔隙度较小,平均只有1.20%,但它却是形成岩溶作用的前提,是内在的因素。地表的大气降水,沿着裂缝和孔隙在横向上和纵向上渗滤,在原生孔隙发育的岩性和沉积相带,造成强烈的溶蚀作用^[3],才能够形成大量的溶蚀孔、洞、缝,从而形成优质的岩溶性储集体。

2. 构造运动产生的裂缝是促进岩溶发育、控制储集体发育的关键因素

影响较大的区域构造运动主要有3期。①晚加里东期区域不均衡的构造抬升,使轮南地区形成一个大型南倾斜坡。②早海西期受区域上北西—南东向的挤压应力作用,在大型斜坡的背景上形成了一个北东—南西走向的大型背斜,高部位发育了轮南西断裂,同时也产生了大量的剪性和张性裂缝。由于抬升,奥陶系碳酸盐岩上覆的泥盆系、志留系、中上奥陶统均被剥蚀,形成奥陶系潜山。潜山长期裸露地表,遭受强烈的风化剥蚀和大气淋滤,形成复杂的古岩溶地貌。③中晚海西期—印支期受区域挤压应力影响,主要发育大型东西向断裂,石炭系在大型背斜的背景上形成地层超覆并逐渐将潜山埋藏。

由于经过长期强烈的构造运动,使轮古西地区奥陶系地层裂缝纵横交错,十分发育,裂缝走向主要为北东—南西和北西—南东两组走向,裂缝主要受轮古西Ⅰ号大断裂(北东—南西向)及其伴生的次级断裂控制,裂缝的发育对后期岩溶的形成十分有利。

早海西期构造缝以垂直缝为主,次为斜缝,少许水平缝,缝壁平直,较规则,裂缝宽度相对较大,一般1~3 mm,多被泥质充填。

晚海西期至印支期构造缝宽度较小,一般为0.1~1.0 mm,且为方解石半充填,但这期构造缝常以高角度共轭剪切缝和斜交共轭剪切缝发育为主,是该区碳酸盐岩储层最重要的储渗空间和渗滤通道。

这三期构造运动所产生的大量裂缝是岩溶发育的初始条件,是大气降水和地表水向不同方向渗滤的高速通道,因此这些裂缝均受到强烈的溶蚀作用所改造,特别是在潜山顶部,裂缝的优势方向受风化和溶蚀作用的改造而变得较为杂乱。

本区后期裂缝主要受早印支期区域上的南北向挤压应力所控制。后期裂缝切割早期形成的裂缝,且未被充填,可以将岩溶储集体相互沟通,改善其储集性能,形成高产富集区。

3. 岩溶作用是控制储层发育的主要因素

由于本区奥陶系主要为易溶蚀的亮晶砂屑灰岩、泥晶云质灰岩等类型,经历了长期剧烈的构造运动,产生大量的构造裂缝,且奥陶系潜山长期裸露地表,遭受强烈的风化剥蚀和大气淋滤,故溶蚀作用十分强烈。

通过对井下实钻地质剖面岩溶缝洞系统的分析,本区的溶蚀作用主要分为两期。①早期岩溶:海西早期受南北向区域性挤压应力的作用,轮古西地区大面积抬升暴露,遭受风化剥蚀,大部分地区缺失志留—泥盆系及中—上奥陶统,部分地区的下奥陶统也遭到不同程度的剥蚀。长期的暴露风化使本区奥陶系潜山岩溶十分发育。②后期岩溶:海西末期轮古西地区再次抬升—暴露—风化—剥蚀,早期形成的表层岩溶带^[4]被风化剥蚀,上部渗流岩溶带部分充当新的表层岩溶带,岩溶向纵深发展,在上部潜流岩溶带之下,形成新的渗流岩溶带、潜流岩溶带^[5],使得潜山风化壳储层厚度进一步加大,从而使本区岩溶的发育具有多期叠加特征。

四、结 论

(1)尽管本区奥陶系碳酸盐岩为特低孔、特低渗,基质孔隙很不发育,但由于溶蚀缝洞、洞穴、大型构造裂缝、微裂缝的普遍发育,形成了相互连通的裂缝—孔洞网络储集体,大大改善了储集性能。

(2)储集层发育的主要控制因素为原生孔隙、构造裂缝和岩溶的发育岩性和沉积相带。早期构造裂缝的发育为溶蚀作用创造了有利的条件,后期构造裂缝将岩溶储集体相互沟通,改善了储集性能。长期强烈的溶蚀作用产生了大规模的岩溶储集体,而多期的构造运动使本区的岩溶系统具有多期相互叠加的特点,大大增加了风化壳储层的厚度。

致谢:中国石油勘探开发研究院西北分院塔里木研究中心的同志们为本研究做了大量工作,在此表示诚挚感谢!

参 考 文 献

[1] 顾家裕,周兴熙,等.塔里木盆地轮南潜山岩溶及油气分布规律[M].北京:石油工业出版社,2001.

- [2] 陈广坡,陶云光,潘建国.碳酸盐岩岩溶型储层的地球物理特征——以塔里木盆地轮南地区为例[J].西北油气勘探,2004,16(1).
- [3] 蒋炳南等.塔里木盆地北部油气田勘探与开发论文集[M].北京:地质出版社,2000.
- [4] 蒋炳南等.塔里木盆地北部油气田勘探与开发论文集[M].北京:地质出版社,2000.
- [5] 韩宝平,张井.碳酸盐岩风化过程中空隙结构的变化[J].中国岩溶,1994,13(4).
- [6] 胡恒,陈景山.塔北地区下奥陶统碳酸盐岩成岩作用及孔隙演化[J].成都理工学院学报,1996,23(S1).
- [7] 蒋忠诚,袁道先.表层岩溶带的岩溶动力学特征及其环境和资源意义[J].地球学报,1999,20(3).
- [8] 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[J].1996,11(4).
- (修改回稿日期 2006-12-10 编辑 黄君权)