

轮古西奥陶系潜山洞穴型岩溶储层发育特征与充填规律

李世银¹, 罗春树¹, 邓兴梁¹, 李保华¹, 常少英², 王 轩¹, 裴广平¹

(1 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院; 2 中国石油杭州地质研究院)

摘 要 洞穴型岩溶储层是塔里木盆地轮古油田缝洞型碳酸盐岩油藏的主要储集空间类型,多数高效井均钻遇大型洞穴型岩溶储层。依据轮古西奥陶系潜山大量单井资料分析,洞穴型岩溶储层可分为充填洞穴、半充填洞穴和未充填洞穴三种类型。结合古地貌精细刻画与岩溶垂向分带成果,认为古地貌位置由岩溶台地向岩溶缓坡和岩溶盆地逐渐降低,而洞穴发育和充填程度在逐渐增高。未充填与半充填洞穴主要发育在岩溶台地和岩溶缓坡的溶峰边坡、溶丘边坡及沟槽谷洼地边坡等地貌单元。表层岩溶带、径流溶蚀带洞穴型岩溶储层发育频率最高,其次为垂直渗滤带和潜流溶蚀带。未充填与半充填洞穴型岩溶储层主要发育在表层岩溶带。

关键词 塔里木盆地; 轮古油田; 奥陶系; 古潜山油气藏; 岩溶型油气藏; 储层特征

中图分类号: TE112.23 **文献标识码**: A

洞穴型岩溶储层是缝洞型碳酸盐岩油藏的主要储集空间类型之一,在塔里木盆地轮古地区奥陶系,多数高效井均钻遇有大型洞穴型岩溶储层。据露头与实钻资料可知,碳酸盐岩洞穴型岩溶储层发育的尺度可以从厘米级到数十米,但通过钻井、录井资料只能判断米级以上的洞穴,而测井资料既能判断米级以上的大尺度洞穴,又能解释出厘米级洞穴。长期以来,因为岩溶洞穴的判别在宏观和微观两个层次上存在较大差别,其分类原则与方法一直难以确定,缺乏能够将多种资料结合起来的分类评价方法。另外,利用地球物理资料已经基本能实现大型洞穴型岩溶储层的预测,但对洞穴的充填性问题仍缺乏有效的解决手段。

本文旨在通过对轮古油田大量实钻井资料的统计分析来建立一套适合矿场应用的洞穴型岩溶储层的分类评价方法,并在此基础上,总结出洞穴型岩溶储层的发育与充填规律,为碳酸盐岩洞穴型岩溶储层的勘探开发提供参考。

1 概 况

轮古奥陶系潜山位于塔里木盆地塔北隆起轮南

低凸起中西部。晚加里东期区域不均衡的构造抬升作用使轮南地区形成了一个大型南倾斜坡,早海西期受 NW—SE 向挤压作用,在大斜坡的背景上形成了一个 NE—SW 走向的大型背斜,高部位发育轮南西断裂^[1-2]。轮古西潜山即位于断裂西侧,勘探面积近 200 km²,其东部与轮南油田接壤,南与塔河油田相邻。

轮古西地区奥陶系储层孔隙类型多样,在成因上包括原生基质孔隙和多种次生孔隙,如溶蚀孔洞、溶蚀扩大缝、大型溶蚀洞穴和构造缝等^[3]。镜下观察岩心,原生基质孔隙欠发育,而次生储集空间相当发育^[4]。与岩溶作用有关的洞穴、溶孔和裂缝是最主要的油气储集空间,其中尤以大型洞穴最为重要,多数高效井均钻遇大型洞穴型岩溶储层。

2 古岩溶地貌特征与分类

岩溶地貌是具有溶解性能的水流对可溶岩长期以溶蚀作用为主、以机械作用为辅所造成的各种地貌现象。

由于海西早期大幅度抬升,轮南地区奥陶系潜山剥蚀厚度较大,经历长期的岩溶作用,形成了各种

收稿日期: 2011-11-14; 改回日期: 2012-02-29

李世银: 1980 年生, 2007 年中国科学院广州地球化学研究所硕士毕业。主要从事碳酸盐岩油气藏勘探开发研究工作。通讯地址: 841000 新疆库尔勒市。联系电话: (0996)2172083

类型的岩溶形态和岩溶地貌。其顶面为一被轮南和桑塔木断垒所分割的北东向巨型背斜，可分为西部斜坡带、北部斜坡带、中部斜坡带、南部斜坡带、东部斜坡带、轮南断垒带和桑塔木断垒带等 7 个一级地貌构造单元。轮古西潜山处于一级地貌单元西部斜坡带上。

结合轮南地区古地理环境和古水动力学分析，研究区自东向西可划分为 3 类二级地貌类型，即岩溶台地、岩溶缓坡及岩溶盆地。结合现代岩溶理论及轮古西潜山岩溶发育现状，认识到轮古西发育多种古岩溶的微地貌形态：溶峰、溶丘、洼地、谷地、斜坡、垄脊、平原、槽谷、沟谷、岩溶湖等。根据不同的微地貌组合形态，又可分为若干种组合类型（即三级地貌单元）（表 1）。

3 古岩溶垂向发育与分带特征

根据现代岩溶理论，地下水的运动是岩溶发育的重要条件。地下水由地表向地下深部的运动，速度逐渐减缓，相应地，岩溶发育的强度从地表向地下也逐渐减弱，但岩溶发育强度在垂向上具有明显的差异，即具有垂向分带的特点^[5-6]。以岩溶系统发育的强弱及地下水运动方式为基础，可将轮古西潜山岩溶系统在垂向上划分为表层岩溶带、垂向渗滤（渗流）带、径流溶蚀带、潜流溶蚀带等四个带（图1）。

表层岩溶带 位于奥陶系顶面以下0~35 m范围内，是土—岩界面处的一种岩溶形态。具有高CO₂分

地 貌 单 元			微地貌形态
一级	二级	三级	
西部斜坡带	岩溶台地	溶丘洼地	溶丘、洼地、谷地
		丘丛谷地	溶丘、谷地
	岩溶缓坡	峰丛洼地	溶峰、洼地
		峰丘洼地	溶峰、溶丘、洼地
		溶丘洼地	溶丘、洼地、谷地
		丘丛谷地	溶丘、谷地
		丘丛垄脊沟谷	溶丘、垄脊、沟谷、槽谷
		峰丘垄脊沟谷	溶峰、垄脊、沟谷、槽谷
		岩溶谷地	谷地
		岩溶湖	岩溶湖
	岩溶盆地	溶丘平原	溶丘、平原

注：本表内容依据中国地质科学院岩溶地质研究所资料(2007)。

压的土壤渗流强烈溶蚀基底界面处的碳酸盐岩，节理、裂隙和层面被溶蚀扩大，增加了岩层的孔隙率和渗透率。岩溶含水层中这些不规则的、具有较大次生孔隙率的区域在暴雨过程中或降雨后可成为水流的储存空间，形成岩溶地下水系统浅层循环带。

垂向渗滤（渗流）带 位于奥陶系顶面下30~150m的地下水渗滤（渗流）带。地下水沿断层或裂隙向下渗滤，对碳酸盐岩进行淋滤和溶蚀。此带的特点是形成一系列垂直或高角度的溶缝或溶洞间，但连通相对较弱，岩溶洞穴中也形成相当多的机械或化学充填、半充填物质。

径流溶蚀带 位于奥陶系顶面下50~175 m范围内的地下水径流带。地下水流速相对较快，地下水沿

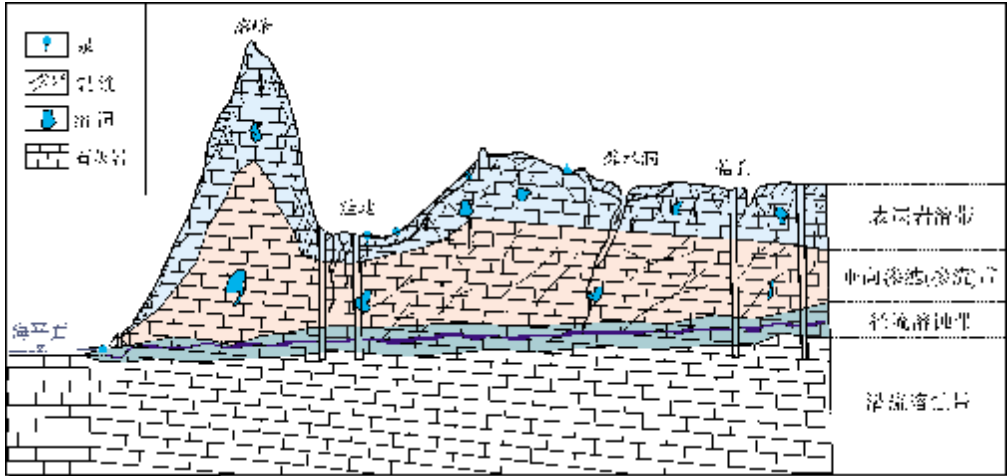


图 1 轮古西潜山岩溶垂向分带特征图

断层或裂隙近水平方向径流,对碳酸盐岩进行溶蚀,形成一系列近水平溶缝、溶洞或岩溶管道系统,也形成相当多的机械或化学充填、半充填物质。此带的特点是溶蚀空间规模相对较大,同系统岩溶空间连通性较强,岩溶发育极不均一。

潜流溶蚀带 位于奥陶系顶面下 50~175 m 以下,即地下水径流带之下。地下水流速相对较慢,地下水沿断层或裂隙对碳酸盐岩进行溶蚀,溶蚀空间规模相对较小,岩溶发育极不均匀,后期机械充填相对较弱,化学沉积作用相对较强,整体岩溶相对不发育。

4 岩溶储层洞穴发育特征与分类

依据轮古潜山油田的钻井、录井和测井资料,把洞穴型岩溶储层分为未充填洞穴、半充填洞穴和全

充填洞穴三类。

未充填洞穴 指钻井过程中出现放空现象而被证实的洞穴。这类洞穴往往伴随有严重的泥浆漏失和井径扩大现象。

半充填洞穴 指钻井过程中未出现放空现象,但测井解释为洞穴型储层且测井储层评价为 I、II 类的储层,有一定程度的扩径现象。

全充填洞穴 指钻井过程未见放空现象,但测井解释为洞穴型储层,且测井储层评价为 III 类的储层或者测井解释为充填洞的储层。这类洞穴多是被砂泥质充填,以自然伽马值高异常为显著特点,扩径现象不明显。

轮古潜山油田在钻井中,在不同古岩溶地貌分布区带,钻遇了不同充填类型的岩溶洞穴(表 2,图 2)。

表 2 轮古西潜山在不同类别岩溶储层中钻遇洞穴情况统计表

古岩溶类别		统计井数(口)	未充填洞穴		半充填洞穴	全充填洞穴
			钻遇(放空)厚度(m) 钻遇井次	泥浆漏失量(m³) 钻遇井次	钻遇厚度(m) 钻遇井次	钻遇厚度(m) 钻遇井次
岩溶地貌	岩溶台地	14	10.01 2	686.60 1	39.86 7	26.50 4
	岩溶缓坡	49	12.66 5	6324.37 13	82.42 16	201.30 19
	岩溶盆地	2	0 0	0 0	11.12 1	2.50 1
垂向分带	表层岩溶带	65	5.16 2	2714.50 5	70.97 13	55.65 11
	垂直渗滤带	48	0 0	150.30 1	9.04 6	19.90 3
	径流溶蚀带	32	16.13 4	3845.60 7	53.39 5	143.93 8
	潜流溶蚀带	15	1.38 1	300.57 1	0 0	10.77 2

注: 表中数据来源于塔里木油田勘探开发研究院轮古项目组。

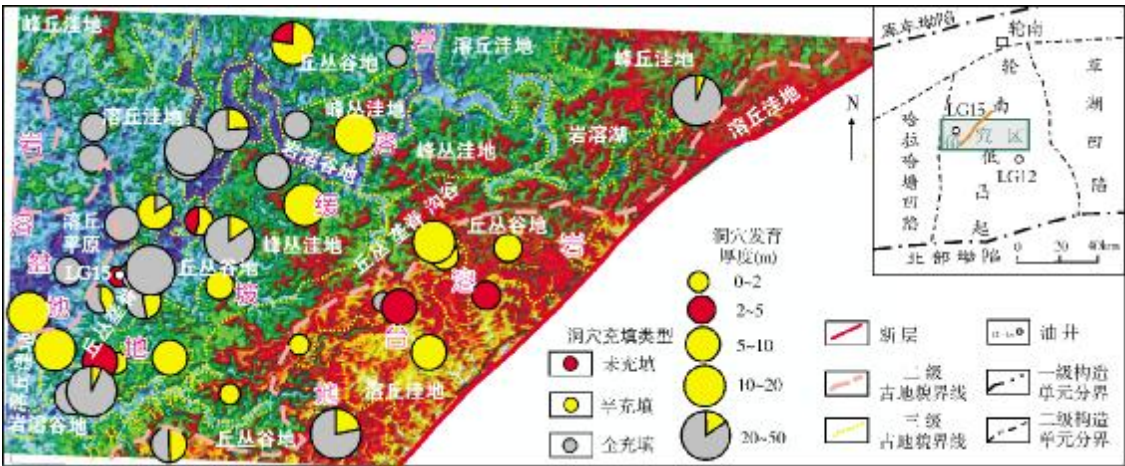


图 2 轮古西潜山洞穴发育厚度及充填特征平面图

5 岩溶储层充填与展布规律

5.1 在古地貌上的发育及充填规律

考虑到微地貌单元的相似程度和钻遇井数,为了方便储层充填规律的总结,本次研究中把轮古西地区微地貌单元(表 1)作了适当的合并,共分为 6 类三级地貌:沟槽谷洼地、沟槽谷洼地边坡、溶峰、溶峰边坡、溶丘、溶丘边坡(图 3)。

对比发现,洞穴型岩溶储层在古地貌上具有以下发育特征及充填规律:

(1)岩溶缓坡上的洞穴型储层发育频率高、厚度

- 大,且充填程度高(图 2);
 - (2)地貌位置由岩溶台地→岩溶缓坡→岩溶盆地递次降低,而洞穴充填程度呈增加趋势(图 2);
 - (3)岩溶台地上,洞穴相对不发育,储层厚度小,且充填程度较低(图 2);
 - (4)溶峰边坡和溶丘边坡洞穴型储层最发育,但洞穴充填程度较高(图 3);
 - (5)沟槽谷洼地边坡未充填和半充填洞穴发育频率最高(图 3)。
- 综合分析认为,平面上有效洞穴型岩溶储层主要发育在岩溶台地和岩溶缓坡的溶峰边坡、溶丘边坡及沟槽谷洼地边坡等地貌单元。

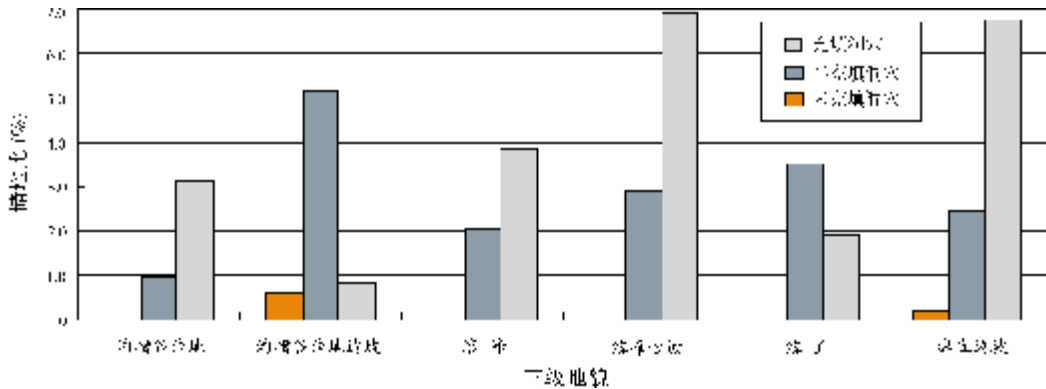


图 3 轮古西地区三级地貌单元洞穴型储层储地比直方图

5.2 垂向分带上的发育及展布规律

在轮古西单井古岩溶剖析的基础上,通过对不同岩溶相带钻遇的洞穴型岩溶储层进行统计,发现洞穴型岩溶储层在垂向分带上存在以下展布规律:

(1)表层岩溶带、径流溶蚀带洞穴型岩溶储层

- 发育频率最高,其次为垂直渗滤带和潜流溶蚀带(图 4a);
- (2)径流带洞穴充填程度远远高于表层岩溶带和垂向渗滤带(图 4b)。
- 综合分析认为,垂向上,有效洞穴型储层发育的相带为表层岩溶带。

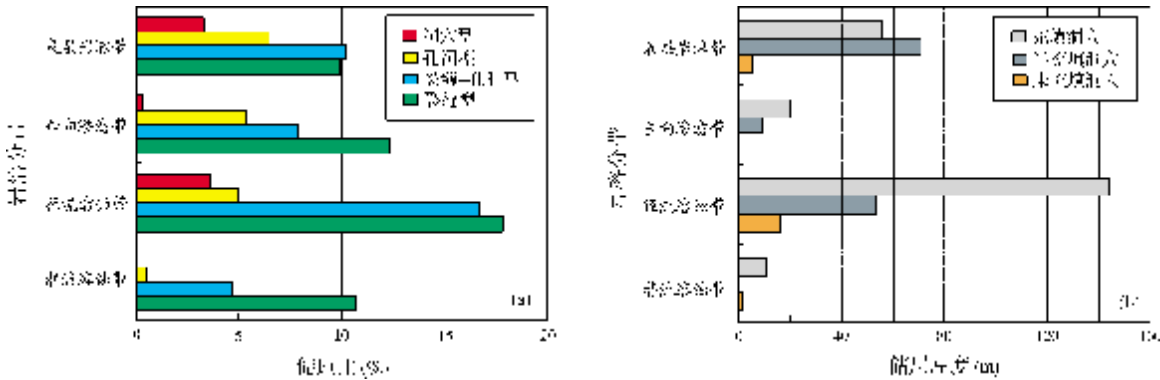


图 4 轮古西地区各岩溶带的洞穴储层发育程度(a)与洞穴充填程度(b)直方图

6 结 论

轮古西地区奥陶系潜山洞穴型岩溶储层可分为未充填洞穴、半充填洞穴和全充填洞穴三类。古地貌中,在平面上,随着地貌位置由岩溶台地向岩溶缓坡和岩溶盆地的降低,洞穴发育程度增高,同时充填程度也呈增加趋势;未充填与半充填洞穴型岩溶储层主要发育在岩溶台地和岩溶缓坡的溶峰边坡、溶丘边坡及沟槽谷洼地边坡等地貌单元。在垂向分带上,洞穴型岩溶储层在表层岩溶带、径流溶蚀带的发育频率最高,其次是在垂直渗滤带和潜流溶蚀带;未充填与半充填洞穴型岩溶储层主要发育在表层岩溶带。

参 考 文 献

[1] 顾家裕,周兴熙. 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,张耀堂,等. 轮古西地区奥陶系潜山古水系分布与岩溶特征[J]. 江汉石油学院学报,2004,26(4):36-38.

[3] 沈安江,潘文庆,郑兴平,等. 塔里木盆地地下古生界岩溶型储层类型及特征[J]. 海相油气地质,2010,14(2):20-29.

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

[5] 徐微,陈冬梅,赵文光,等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏溶洞发育规律[J]. 海相油气地质,2011,16(2):34-41.

[6] 杨景春,李有利. 地貌学原理[M]. 北京:北京大学出版社,2001.

编辑:赵国宪

Development Characteristics and Filling Rule of Ordovician Buried-hill Karst Caved Reservoirs in the West Part of Lungu Oilfield, Tarim Basin

Li Shiyin, Luo Chunshu, Deng Xingliang, Li Baohua, Chang Shaoying, Wang Xuan, Pei Guangping

Abstract: Karst caved reservoir is a main types of reservoir space in fractured/vuggy reservoirs in Lungu Oilfield, in which most efficient wells met large karst caved reservoirs in drills. Based on analysis of a large number of data of drilled wells in the western part of Lungu Oilfield, it is shown that the karst caves in Ordovician buried-hill reservoirs can be divided into filled, partly filled and unfilled ones in type. Combined with fine depiction of paleogeomorphology and the cognition of vertical karst zoning, it is accounted that the positions of paleolandforms decrease lower with transition from karst platforms to karst gentle slopes and karst basins, and meanwhile development and fillings of caves tend to increase in extent. The unfilled and partly filled karst caves are mainly distributed in (1) karst platforms, (2) the side slopes of karst hills in karst gentle slopes, and (3) the slopes in ravines and depressions. The karst cave reservoirs develop most in frequence in epigenic karst zones and runoff dissolved zones, and next common in vertical percolation dissolved zones and groundwater flow zones. The unfilled and partly filled karst caves develop mainly in epigenic karst zones.

Key words: Ordovician; Buried hill Reservoir; Karst reservoir; Hydrocarbon accumulation; Reservoir characteristics; Lungu Oilfield; Tarim Basin

Li Shiyin: male, Master, Engineer. Add: Exploration and Development Research Institute, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang, 841000, China