

周正, 贺洪举, 李大华, 等. 川中地区震旦系灯影组储层类型与测井识别[J]. 中国岩溶, 2025, 44(2): 410-418.

DOI: 10.11932/karst2024y044

川中地区震旦系灯影组储层类型与测井识别

周正^{1,2,3}, 贺洪举⁴, 李大华^{1,3}, 张 烨^{1,3}, 陈洪凯⁵,
王兴志⁶, 于 涛⁷, 何 丽⁴, 苏 欢⁴

(1. 页岩气勘探开发国家地方联合工程研究中心(重庆地质矿产研究院), 重庆 401120; 2. 重庆交通大学水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074; 3. 自然资源部页岩气资源勘查重点实验室(重庆地质矿产研究院), 重庆 400042; 4. 中国石油集团测井有限公司西南分公司, 重庆 400021; 5. 西华师范大学地理科学学院, 四川 南充 637001; 6. 西南石油大学国家油气勘探开发重点实验室, 四川 成都 610500; 7. 中国地质科学院, 北京 100037)

摘 要: 川中地区震旦系灯影组是一套典型的以碳酸盐岩为主的地层, 储层结构异常复杂, 弄清储层的类型及测井识别, 从而进一步指导该区油气的勘探和开发。以岩心、薄片观察、钻井和录井资料为基础, 通过对不同类型储层的常规测井和成像测井响应特征进行综合分析。研究区震旦系灯影组的储集空间主要是以次生成岩作用形成的孔隙、孔洞、洞穴和裂缝为主, 根据不同储集空间的组合方式, 将储层类型划分为孔洞型(顺层状孔洞型、蜂窝状空洞型)储层、裂缝—孔洞型储层、孔隙型储层和洞穴型储层四大类型。不同的储层类型具有不同的测井响应特征, 利用研究区内已有的常规测井资料和成像测井资料建立了不同储层类型的测井识别标准, 为川中地区灯影组油气的勘探与开发提供了新的思路。

关键词: 川中地区; 灯影组; 储层类型; 测井识别; 成像测井

创新点: 川中地区震旦系灯影组碳酸盐岩地层储集空间结构复杂多样, 分为四大储层类型, 通过对常规测井与成像测井资料的综合分析, 建立不同储层类型的测井识别标准, 为深层—超深层碳酸盐岩储层评价提供了新的技术手段。

中图分类号: P618.13; TE122.2 文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2025)02-0410-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引 言

受龙门山及川西—川中基底隆起的控制, 古生代的多期构造运动, 特别是志留纪末的加里东运动的影响下, 在四川盆地境内形成了乐山—龙女寺古隆起, 而川中地区的高石梯—磨溪构造带是该古隆起轴部东翼的一个潜伏构造带^[1](图1), 其震旦系顶

界圈闭面积在1000 km²以上, 在长期构造演化过程中, 始终位于古隆起轴部东部的高点区域, 对油气的分布具有控制作用, 是四川盆地中油气资源的有利勘探区域^[2-6]。

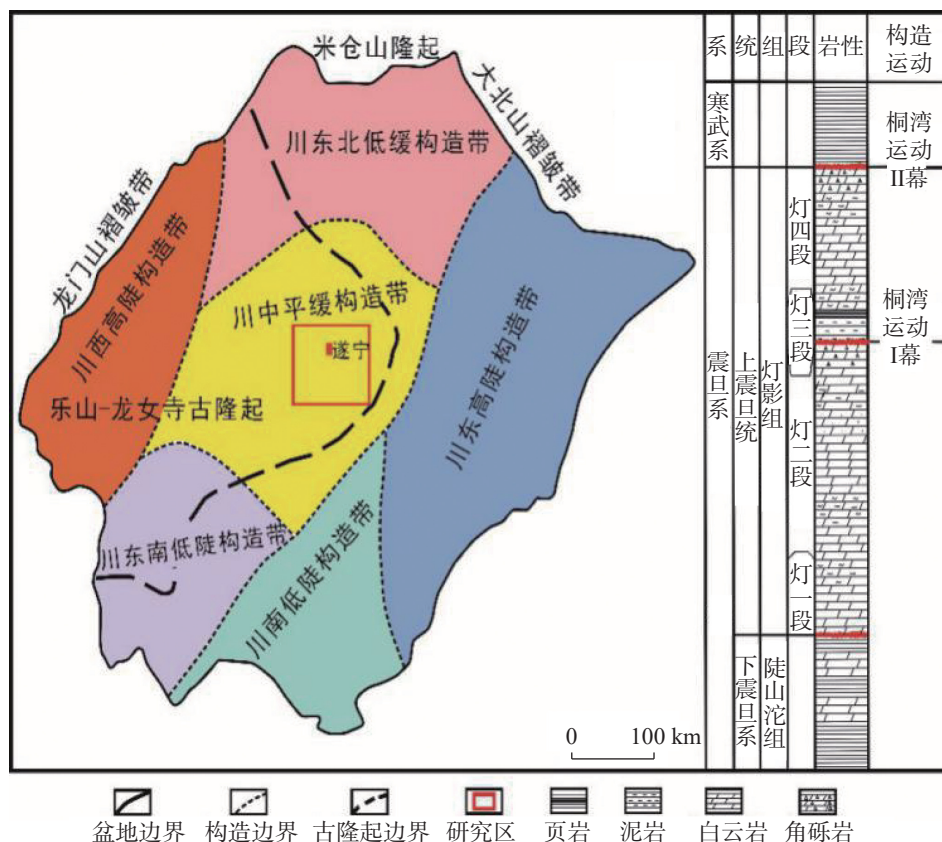
2011年6月中石油集团公司在该区部署了探井--GS1井, 获得了高产工业气流, 表明该区震旦系具有良好的勘探前景, 因此, 该区成了近年来我国油气勘

基金项目: 重庆交通大学水利水运工程教育部重点实验室开放基金(SLK2023B10); 重庆市教委资助项目(KJQN202000748)

第一作者简介: 周正(1981—), 男, 博士, 主要从事石油、天然气储层地质学与岩溶地面塌陷研究。E-mail: Zhouzheng8951@163.com。

通信作者: 贺洪举(1966—)男, 高级工程师, 主要从事深层碳酸盐岩储层测井综合评价研究。E-mail: 502568043@qq.com。

收稿日期: 2024-03-04

图1 研究区构造位置及地层综合柱状图(据周正等^[4]修改)Fig. 1 Location of the study area and comprehensive stratigraphic histogram of the Dengying Formation (Modified according to ZHOU Zheng et al^[4])

探和开发的热点和重点区域。一些专家学者在该区做了大量的科研工作,取得了丰硕的成果^[3,7-9],均认为灯影组是一套在台坪环境中沉积的白云岩为主的储层,从下至上将其划分为四个岩性段(图1):灯一段(Z_2dn^1)、灯二段(Z_2dn^2)、灯三段(Z_2dn^3)和灯四段(Z_2dn^4)。且认为灯二段和灯四段是富藻的白云岩层段,而灯一段主要为晶粒云岩,灯三段主要为硅质岩和泥岩,但是对储层类型的划分的差异性较大,如张林认为灯影组的储层类型主要为孔洞-裂缝型和裂缝型储层^[10],刘树根认为灯影组的储层类型主要为裂缝-孔洞型储层^[11],而施泽进^[9]和莫静^[12]分别认为灯影组的储层类型主要为一套简单的裂缝-孔隙型储层。

事实上,四川盆地灯影组经历了七次大的构造运动,且成岩作用多变,形成的储集空间具有多样性^[5,7],组合方式较为复杂。在油气勘探与开发过程中,弄清储层类型以其测井识别是一个极其重要的环节,是直接影响油气勘探与开发成功与否的一个极为关键因素。目前,川中地区灯影组已经进入了油气开发初期,但是对该地层的总体认识程度依旧

还比较低,所以,本文在川中及邻区的30余口钻井、录井和测井资料进行分析的基础上,并结合相关的研究成果^[3,7],对该区震旦系灯影组储层的类型以及测井识别特征进行了深入研究,希望其成果能对川中地区及邻区下一步油气的勘探和开发部署提供一定的理论支持。

1 储层岩石学特征

通过对薄片和岩心的观察表明,灯影组是一套典型以碳酸盐岩为主的地层,主要由白云岩(砂屑白云岩、藻叠层白云岩、晶粒白云岩和颗粒粘连白云岩)和岩溶作用和风化作用形成的角砾岩(岩溶角砾岩、风化残积角砾岩、岩溶假角砾岩)组成,而泥岩和硅质岩仅分布在灯影组三段中,含量较少,储层主要分布在白云岩和角砾岩中。

2 储集空间

在震旦世灯影期,四川盆地主要位于浅水台坪

的沉积环境中^[7],因桐湾构造运动的影响,四川盆地多次抬升于大气淡水中。灯影组在沉积过程中和沉积完成后,不同程度的遭受了压实压溶作用、胶结作用、充填作用、硅化作用、重结晶作用、表生岩溶作用和埋藏溶蚀作用等多种成岩作用以及多期构造运动的影响,形成的储集空间类型较多,但是现今的储集空间主要是以次生成岩作用形成的,原生孔隙空间保留下来的极少^[2,3,7]。根据几何形态、大小和成因,可将其划分为孔隙、孔洞、洞穴和裂缝 4 类。

2.1 孔隙

是指储集空间的直径小于 2 mm 的储集体,主要包括粒间溶孔(图 2a)、晶间孔(图 2b)和晶间溶孔(图 2c),其中粒间溶孔主要是同生期的岩溶作用形成的^[3,7];晶间孔是白云岩形成后,进入埋藏期,随着

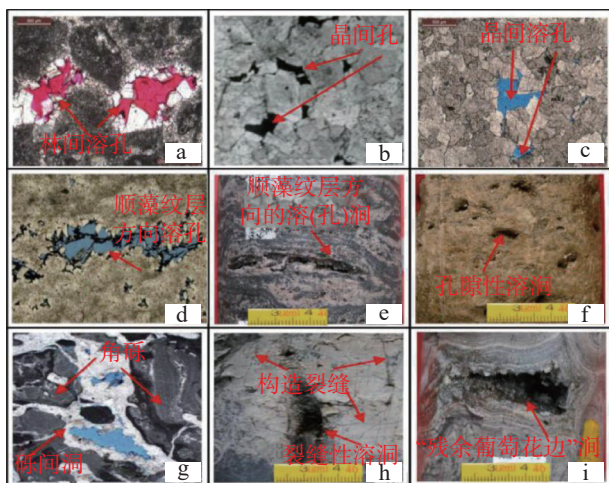


图 2 川中地区灯影组储集空间类型

a.粒间溶孔,GK1 井,5 443.33 m b.晶间孔,Z2 井,3706.20 m,×5 (-) c.晶间溶孔,灯四段,先锋剖面 d.藻叠层白云岩,分布有顺藻纹层的溶孔、溶洞,且被白云石和沥青半充填,MX8,5482.76 m,(-),×10 e.顺藻纹层方向的溶(孔)洞,Z6 井,5 149.98 m f.孔隙型溶洞,Z4 井,5 486.00 m g.砾间洞,洞内被白云石充填,GK1 井,5 296.00 m,(+),×1 h.构造裂缝与裂缝型溶洞,GK1 井,5 302.00 m i.残余“葡萄花边”洞,威 117 井,3 067.6 m

Fig. 2 Reservoir space types of the Sinian Dengying Formation in Central Sichuan

a. Intergranular dissolution pores, well GK1, 5 443.33.00 m, ×5 (-) b. Inter-crystalline pores, well Z2, 3 706.20 m c. Inter-crystalline dissolution pores, Z₂dn⁴, Pioneer Geological Profile d. Algal layered dolomite is distributed with dissolved pores and caves along the algal layer, and is semi-filled with dolomite and asphalt, MX8, 5482.76 m, ×5 (-) e. Dissolved (pore) holes along the direction of the algal layer, well Z6, 5 149.98 m f. pore-type karst caves, well Z4, 5 486.00 m g. inter-gravel caves, filled with dolomite, well GK1, 5296.00 m, (+), ×1 h. Structural fractures and fracture-type caves, well GK1, 5 302.00 m i. Residual caves bordered with grape shape, well W117, 3067.6 m

埋藏深度的增加和温度的升高,发生了重结晶作用后形成的^[3];在晶间孔形成后,有机质在成熟过程中、油气生成的过程中和石油的降解过程中,均会产生大量的有机酸,这些有机酸在流动过程中会对晶间孔进行溶蚀,从而形成大量晶间溶孔。这些孔隙空间是研究区内重要的储集空间类型^[3,10-11,13]。

2.2 孔洞

是指储集空间的直径大于 2 mm 且小于 100 mm 的储集体,主要包括顺藻纹层方向溶洞(孔)(图 2d,图 2e)、孔隙型溶洞(图 2f)、裂缝型溶洞(图 2h)、砾间洞(图 2g)和残余“葡萄花边”洞(图 2i)。其中顺藻纹层方向溶洞和孔隙型溶洞是在桐湾构造运动的作用下,灯影组被整体抬升至大气淡水中,大气淡水沿着早期形成的小的孔隙进行流动,从而发生强烈的表生岩溶,形成溶洞^[2]。裂缝型溶洞是大气淡水沿着构造运动形成的裂缝进行运移,在裂缝壁发生溶蚀作用,对裂缝进行溶蚀扩大而形成的;砾间洞是指表生岩溶作用下形成的砾石,这些砾石之间没有被充填,而保留下来的洞^[3];残余“葡萄花边”洞主要是指表生岩溶作用形成洞^[3],部分空间被白云石充填后而被保留下来的洞,这类孔洞主要分布在灯二段和灯四段的中上部,尽管部分储集空间被白云石、沥青以及上覆地层机械碎屑物所充填,剩余空间依旧是灯影组的主要储集空间。

2.3 洞穴

主要是指储集空间的直径大于 100 mm 的溶洞^[3],多是在桐湾运动影响下形成的。在震旦系灯影期,因桐湾构造运动的影响,震旦系灯影组被抬升于地表,发生了表生岩溶作用,且表生岩溶作用较为强烈,溶蚀范围较大,从而形成了空间体积较大的储集空间,在钻井的钻遇过程中会出现泥浆漏失、钻井放空等标志现象,如区内的 GS2 井 5 208.00~5 214.80 m,取心放空 6.80 m;泥浆漏失 123.2 m³,MX9 井 5 451.00~5 452.5 m,取心放空 1.5 m,泥浆漏失 65.2 m³。均为洞穴的标志。

2.4 裂缝

研究区灯影组经历了 7 次大的构造运动,导致在灯影组中产生了大量的构造裂缝(图 2h),这些裂缝的有效宽度较小,但是对改善灯影组储层的渗透性能具有重要作用^[7],为油气的运移提供重要

通道。

3 储层类型的划分及测井识别方法

通过对岩心观察表明,在川中地区灯影组中,储集空间具有多样性,各类储集空间并不是孤立的,而是相互组合在一起的。通常情况下,储层类型的划分都是以其基本的或占优势的储集空间为依据进行划分的^[7],因此,通过大量的岩心观察,并利用常规测井曲线与微电阻率扫描成像测井相结合的方法,将川中地区灯影组储层类型划分为:孔洞型、裂缝-孔洞型、孔隙型和洞穴型储层四大类(图 3),不同类型的储层,其测井响应特征不相同^[13-16](图 3)。

3.1 孔洞型储层的测井识别

该类储层发育主要分布在灯二段和灯四段的中上部的藻叠层白云岩和晶粒白云岩中,是在原先微孔的基础上,在大气淡水或有机酸运移过程中,发生岩溶作用,对这些孔隙进一步溶蚀扩大,形成的现今的孔洞^[7],在宏观上,孔洞具有层状或块状结构特征(图 3)。根据孔洞的排列组合方式,孔洞型储层又可进一步划分为蜂窝状孔洞型和顺层状孔洞型储层。

3.1.1 蜂窝状孔洞型储层的测井识别

在微电阻率扫描图像上,呈明暗过渡色,但不均匀,有明显蜂窝斑点状暗色高导异常(图 3),XP101

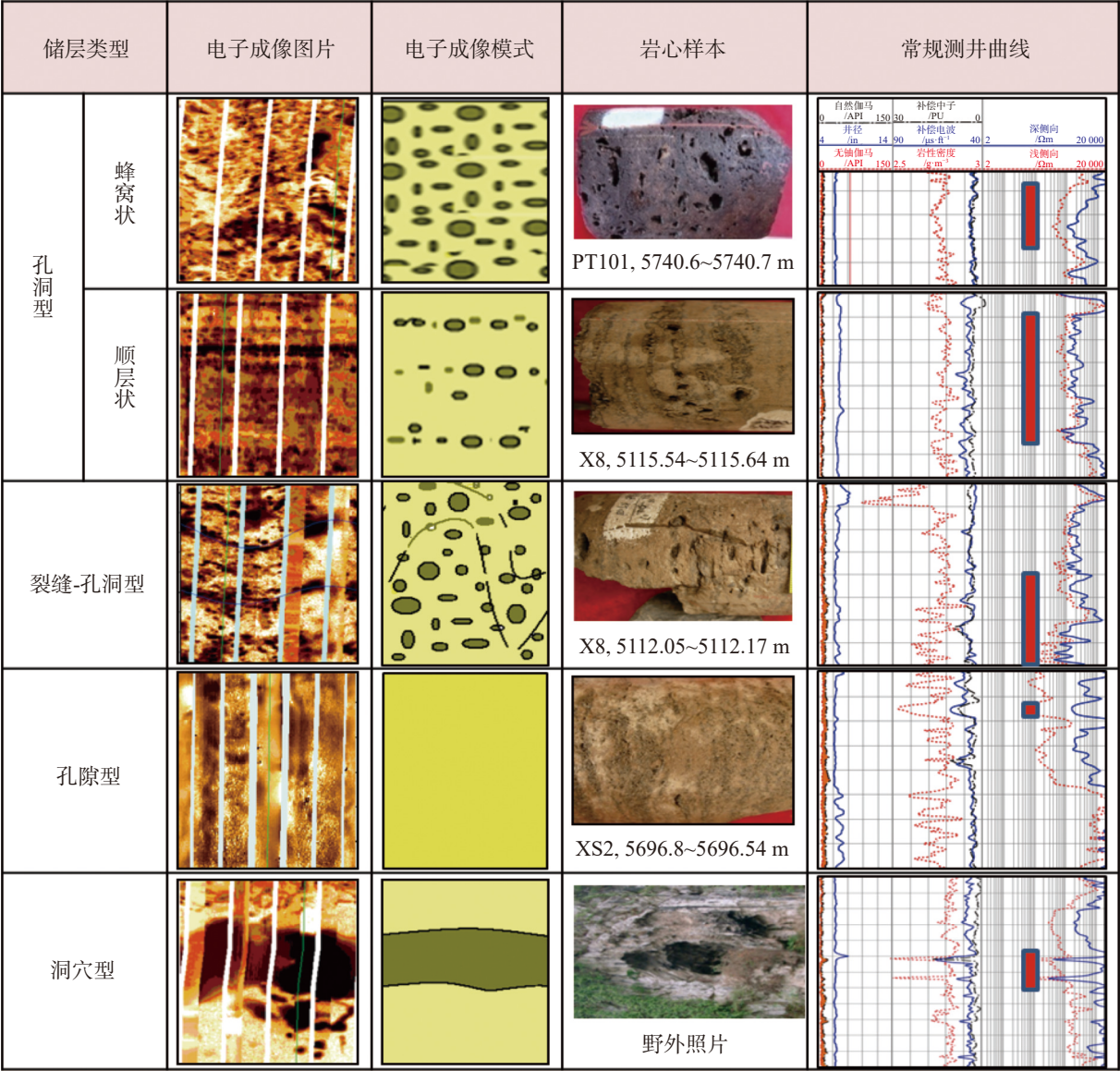


图 3 川中地区灯影组不同类型储层的测井响应特征图

Fig. 3 Logging response characteristics of different types of reservoirs in the Dengying Formation in Central Sichuan

井微电阻率扫描图像上识别的蜂窝状溶蚀孔洞与岩心上观察到的蜂窝状溶蚀孔洞一致(图4)。

在常规测井曲线中(图3), 井径曲线较为规则; 自然伽马曲线呈平直状或有随机微小波浪形状, 变化较小, 曲线值较低, 范围在 10~20 API; 三孔隙度(密度、声波、中子)密度曲线降低, 一般小于 $2.83 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 声波、中子有所增大, 声波时差一般大于 $46.5 \mu\text{s}\cdot\text{ft}^{-1}$; 中子一般大于 2PU。深浅侧向电阻率在高背景值($10\,000 \Omega\cdot\text{m}$)的情况下, 呈箱状降低。当含气性较好时, 侧向电阻率变化范围一般在 $300\sim 10\,000 \Omega\cdot\text{m}$, 深浅双侧向曲线一般呈“正差异”; 当含水时, 深侧向电阻率一般小于 $300 \Omega\cdot\text{m}$, 深浅双侧向曲线一般无差异或呈“负差异”(图5)。

3.1.2 顺层状孔洞型储层的测井识别

顺层状孔洞型储层主要是孔洞的排列具有层状特征, 在微电阻率扫描图像上, 具有顺层暗色斑点或

斑块状特征(图3)。在常规测井曲线中, 曲线值的变化范围与蜂窝状孔洞型储层的测井曲线的变化范围具有相似性, 只是深浅双侧向电阻率曲线在箱状降低基础上, 锯齿状更明显(图3)。

3.2 裂缝-孔洞型储层的测井识别

裂缝-孔洞型储层是蜂窝状孔洞型储层或顺层状孔洞型储层的基础上伴有裂缝。常规测井曲线变化特征与蜂窝状孔洞型储层或顺层状空洞型储层的常规测井曲线变化形状和范围具有相似性, 但是深浅双侧向电阻率曲线在变化形状上, 呈漏斗形。在微电阻率扫描图像上的表现与孔洞型储层的主要区别在于在蜂窝斑点状暗色高导异常基础上伴有正弦曲线状的高导异常(图3), 即有明显的裂缝特征。

3.3 孔隙型储层的测井识别

孔隙型储层指储集空间主要由细小的孔隙组成。在常规测井曲线中, 井径曲线较为规则, 自然伽马曲

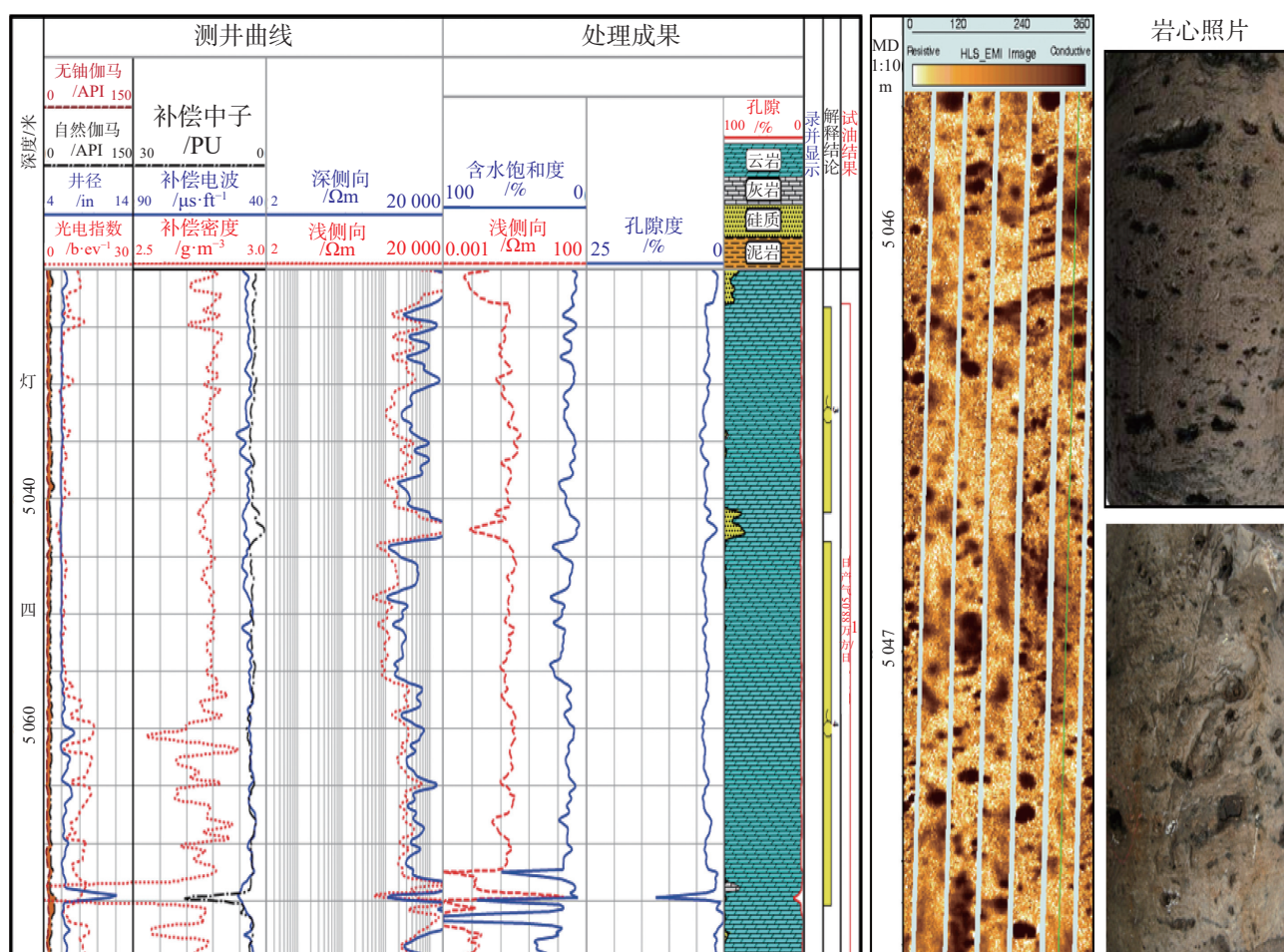


图4 XP101 井蜂窝状孔洞型储层的测井响应特征

Fig. 4 Logging response characteristics of the reservoir characterized by the type of honeycomb vuggy hole in Well XP101

线较低,变化较小,范围在 10~20 API;三孔隙度(密度、声波、中子)测井曲线中,密度曲线降低,一般小于 $2.81\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$;声波时差增高,一般大于 $48\text{ }\mu\text{s}\cdot\text{ft}^{-1}$;中子升高,一般大于 4 PU。深浅侧向电阻率在高背景值($10000\text{ }\Omega\cdot\text{m}$)下,大幅度降低,呈小 U 型;当含气性较好时,变化范围在 $300\sim5000\text{ }\Omega\cdot\text{m}$,一般呈“正差异”;当含水时,深侧向电阻率值小于 $300\text{ }\Omega\cdot\text{m}$,深浅双侧向曲线一般无差异或呈“负差异”。在微电阻率扫描图像上,与孔隙型储层主要区别在于孔隙型储层无蜂窝斑点状暗色高导异常,表现为相对较淡且具有过渡颜色、较均匀的针孔状特征(图 3)。

3.4 洞穴型储层的测井识别

与孔隙型储层相比,洞穴型储层的洞穴直径较大,在常规测井曲线中,常规测井曲线的变化特征与孔隙储层和孔隙型储层具有完全不同的异常现象,

自然伽马呈平直状或随机微小波浪型,双井径曲线均出现异常增大,深侧向电阻率值会剧烈下降,三孔隙度(密度、声波、中子)和电阻率曲线的形状呈大幅 V 或 U 型,在微电阻率扫描图像上显示为块状模糊暗色高导异常现象(图 3)。

在研究区内,最为典型的 XG2 井(图 5),自然伽马曲线较低,变化较小,范围在 10~15 API;深侧向电阻率在高背景值($10000\text{ }\Omega\cdot\text{m}$)下大幅度降低, $300\sim1000\text{ }\Omega\cdot\text{m}$,深浅双侧向曲线一般呈“正差异”或重合;三孔隙度发生异常增大现象,密度曲线大幅降低,一般小于 $2.6\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,声波时差增高,一般大于 $55\mu\text{s}\cdot\text{ft}^{-1}$;中子升高,一般大于 10~20 PU;微电阻率扫描图像上显示为模糊暗色高导异常现象,基本不反映井壁真实信息,在钻井过程中,双井径曲线异常增大,钻时显示等变化也极为异常,常常出现放空、井漏合气测异常或气侵等现象。

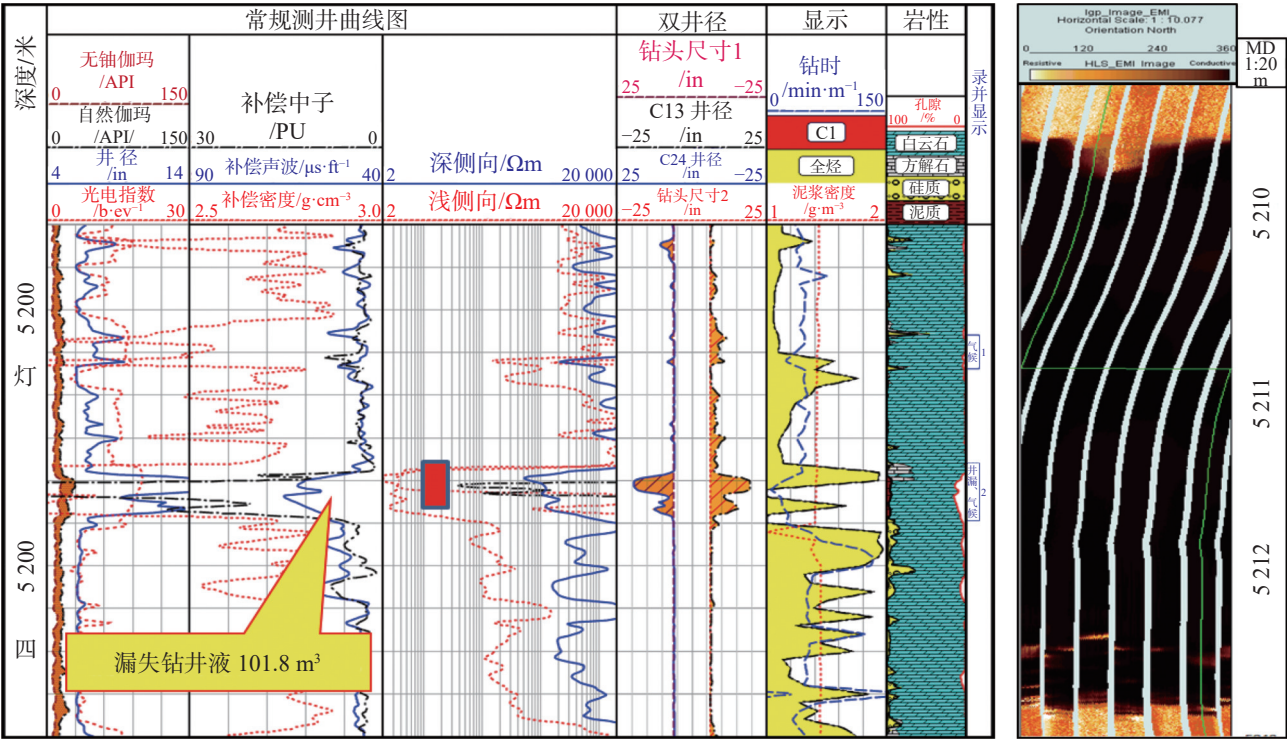


图 5 XG2 井洞穴型储层的测井响应特征

Fig. 5 Logging response characteristics of cave type reservoir in Well XG2

4 结论与认识

(1)川中地区震旦系灯影组存在四类次生成岩作用形成的储集空间类型,分别为孔隙、孔洞、裂缝和洞穴。四者组合形成四类储层组合类型,分别为

孔洞型、裂缝—孔洞型、孔隙型和洞穴型。

(2)不同的储层类型具有不同的测井响应特征,从总体上看,在常规测井曲线中,密度减小,中子孔隙度、声波时差会增大,深浅侧向电阻率大幅或同步缩小,但是微电阻率扫描图像特征差异尤为明显。

蜂窝状孔洞型储层具有明显蜂窝斑点状暗色高导异常;顺层状孔洞型储层具有顺层暗色斑点或斑块状特征;裂缝-孔洞型储层在蜂窝斑点状暗色高导异常基础上伴有正弦曲线状的高导异常,即有明显的裂缝特征;孔隙型储层表现为相对较淡且具有过渡颜色、较均匀的针孔状特征,无蜂窝斑点状暗色高导异常;洞穴型储层的深浅侧向电阻率曲线的形状呈大幅 V 或 U 型,成像测井图像呈现为块状模糊暗色高导异常。

参考文献

- [1] 洪海涛,包强,张光荣.对四川盆地天然气资源的潜在接替层系—震旦、寒武系有利目标区块的评价[J].成都理工学院学报,2000,27(14):143-146.
HONG Haitao, BAO Qiang, ZHANG Guangrong. Evaluation of the favorable target areas for natural gas exploration in the sinian and cambrian systems in sichuan basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27(14): 143-146.
- [2] 周正,大华,张烨,陈洪凯,王兴志,廖云平,祁永爱,王宝亮.中地区震旦系灯影组优质储层的形成条件研究[J].中国岩溶,2023,42(4):851-862.
ZHOU Zheng, LI Dahua, ZHANG Ye, CHENG Hongkai, WANG Xingzhi, LIAO Yunping, Qi Yong ai, Wang Baoliang. Study on formation conditions of high-quality reservoir of Sinian Dengying Formation in central Sichuan[J]. Casologica Sinica, 2023, 42(4): 851-862.
- [3] ZHOU Zheng, WANG Xingzhi, YIN Ge, YUAN Shuseng, ZEN Shejiao. Characteristics and genesis of the (Sinian) Dengying Formation reservoir in Central Sichuan, China[J], Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016, 29: 311-321.
- [4] 张声瑜,唐创墓.四川盆地灯影组区域地质条件及含气远景[J].天然气工业,1986,6(1):3-9.
ZHANG Shengyu, TANG Chuangmu. Regional geology conditions of dengying formation (sinian) in sichuan basin and its gas prospects[J]. Natural Gas Industry, 1986, 6(1): 3-9.
- [5] 周正,李大华,张烨,陈洪凯,王兴志,廖云平,祁永爱,王宝亮,川中地区震旦系灯影组优质储层的形成条件研究[J].中国岩溶,2023,42(4):853-862.
ZHOU Zheng, LI Dahua, ZHANG Ye, CHEN Hongkai, WANG Xingzhi, LIAO Yunping, QI Yongai, WANG Baoliang. Study on formation conditions of high-quality reservoir of Sinian Dengying Formation in central Sichuan[J], CARSOLOGICA SINICA, 2023, 42(4): 853-862.
- [6] 魏国齐,杨威,谢武仁,金惠,苏楠,孙爱,沈珏红,郝翠果.四川盆地震旦系—寒武系天然气成藏模式与勘探领域[J].石油学报,2018,39(12):1317-1327.
WEI Guoqi, YANG Wei, XIE Wuren, JING Hui, SU Nan, Sun Ai, Shen Juehong, HaoCuiguo. Accumulation modes and exploration modes and exploration domains of Sinian-Cambrian natural gas in Sichuan Basin[J]. ACTA PETROLEI SINICA, 2018, 39(12): 1317-1327.
- [7] 周正.川中地区震旦系灯影组储层特征[D].成都:西南石油大学,2016.
ZHOU Zheng, Characteristics of the (Sinian) Dengying Formation reservoir in Central Sichuan, China[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2016.
- [8] 天工.四川盆地乐山—龙女寺古隆起高石梯构造震旦系勘探获重大发现[J].天然气工业,2001,13(8):51.
TIAN Gong. Important discoveries of Sinian system of Leshan-Long nvis ancient uplift in Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2001, 13(8): 51.
- [9] 施泽进,彭俊,王勇.川东南地区灯影组储层特征及其控制因素研究[J],成都理工大学学报(自然科学版),2010,37(1):1-8.
SHI Zejing, PENG Jun, WANG Yong. Reservoir features and controlling factors of Dengying Formation in Southeast Sichuan, China[J]. Journal of chengdu university of technology (science & Technology Edition), 2010, 37(1): 1-8.
- [10] 张林,魏国齐,汪泽成,吴世祥,沈珏红.四川盆地高石梯—磨溪构造带震旦系灯影组的成藏模式[J].天然气地球科学,2004,15(6):584-589.
ZHANG Lin, WEI Guoqi, WANG Zecheng, WU Shixiang, SHEN Juehong. Analsis of formation mechanism of sinian-dengying formation in Gaoshiti-Moxi structure belt in sichuan-basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(6): 584-589.
- [11] 刘树根,马永生,黄文明,蔡勋育,张长俊,王国芝,徐国盛,雍自权,盘昌林.四川盆地上震旦统灯影组储集层致密化过程研究[J].天然气地球学,2007,18(4):485-496.
LIU Shugen, MA Yongsheng, HUANG Wenming, CAI Xunyu, ZHANG Changjun, WANG Guozhi, XU Guosheng, YONG Ziquan, PAN Changling. Densification process of upper sinian-dengying formation, Sichuan basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(4): 485-496.
- [12] 莫静,王兴志,冷胜远,林刚,熊剑文,谢林,周正,川中地区震旦系灯影组储层特征及其主控因素[J],中国地质,2013,40(5):1505-1513.
MO Jing, WANG Xingzhi, LENG Shengyuan, LIN Gang, XIONG jianwen, XIELin, ZHOU Zheng. Reservoir characteristics and control Factors of SinianDengying Formation in central Sichuan [J], Geology in China, 2013, 40(5): 1505-1513.
- [13] 海涛,姚俊波,李柏颀,丁磊,张世亮,刘洪光,塔河油田12区中下奥陶统储层特征及发育控制因素[J],石油实验地质.2015,37(1):16-19.
HAI Tao, YAO Junbo, LI Bojie, DING Lei, ZHANG Shiliang, LIU Hongguang. Characteristics and controlling factors of the Middle and Lower Ordovician carbonates in the 12th district of the Tahe Oil Field, PETROLEUM GEOLOGY & EXPERIMENT, 2015, 37(1): 16-19.
- [14] 屈红军,蒲仁海,冯杨伟,塔河油田南部奥陶系储层类型及测井识别特征[J],西北大学学报(自然科学版),2011,41(1):90-94.
QU Hongjun, PU Renhai, FENG Yangwei, Reservoir types and

- its log interpretation characteristics of Ordovician reservoirs in the south area of Tahe Oilfield[J], Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2011, 41(1): 90-94.
- [15] 智慧文, 肖慈珣, 李国蓉, 黄科, 汪华. 塔河油田下奥陶统碳酸盐岩储层测井分类识别研究[J]. 物探化探计算技术, 2006, 28(2): 101-105, 83.
- ZHI Huiwen, XIAO Cixun, LI Guorong, HUANG Ke, WANG Hua. Research on Logging Classification and Identification of Lower Ordovician Carbonate Reservoir in Tahe Oilfield[J], Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration. 2006, 28(2): 101-105, 83.
- [16] 智慧文, 杨志彬, 肖兹, 李国蓉, 赵正果. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层孔隙度测井解释方法研究[J]. 新疆石油天然气, 2007, 3(4): 5-9
- ZHI Huiwen, YANG Zhibin, XIAO Zi, LI Guorong, ZHAO Zhengguo. Research on porosity logging interpretation method for Ordovician carbonate reservoirs in Tahe Oilfield, xinjiang Oli&Gas, 2007, 3(4): 5-9

Reservoir types and well logging identification of the Sinian Dengying Formation in the Central Sichuan region

ZHOU Zheng^{1,2,3}, HE Hongju⁴, LI Dahua^{1,3}, ZHANG Ye^{1,3}, CHEN Hongkai⁵,
WANG Xingzhi⁶, YU Tao⁷, HE Li⁴, SU Huan⁴

(1. National and Local Joint Engineering Research Center of Shale Gas Exploration and Development (Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources), Chongqing 401120, China; 2. Key Laboratory of Hydraulic and Waterway Engineering of the Ministry of Education, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074; 3. Key Laboratory of Shale Gas Exploration, Ministry of Natural Resources (Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources), Chongqing 400042, China; 4. Southwest Branch of China Petroleum Logging Co., Ltd., Chongqing 400021, China; 5. School of Geographical Sciences, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637001, China; 6. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China; 7. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China)

Abstract The Sinian Dengying Formation, situated in the Central Sichuan region, lies at the eastern high point of the Longnvsi ancient uplift axis in Leshan. This formation possesses both oil source and preservation conditions, making it a promising site for exploration. It is an important target and successor layer for oil and gas exploration in the Sichuan Basin. In 2011, the China National Petroleum Corporation (CNPC) initiated the exploration of oil and gas resources at Well Gaoshi-1 in the Dengying Formation. This endeavor resulted in the successful discovery of oil and gas reservoirs within the Dengying Formation. Therefore, many scholars have conducted a lot of relevant research. However, they have only reached a consensus on the lithology and stratigraphic classification of the strata. There is still great controversy over the results of classifying reservoir types. In the process of oil and gas exploration, understanding the type of reservoir is an important step and a key factor that will directly affect the success of oil and gas exploration and development.

The Dengying Formation in the Sichuan Basin has undergone seven major tectonic movements over a geological history of about 600 million years. These movements have led to significant changes in burial depths and a range of diagenetic processes, resulting in a variety of reservoir space types. As a result, the combination of reservoir spaces is also very complex, leading to significant controversy in the classification of reservoir types. Understanding the type of reservoir is an important link in oil and gas exploration and development, as it directly affects the success of these endeavors. Therefore, this article utilizes rock cores and drilling logs from more than 30 wells in Central Sichuan and its surrounding areas as first-hand data. It conducts in-depth analysis of the reservoir types and logging identification characteristics of the Dengying Formation.

In the research process, the existing drilling cores, field profiles, and thin sections of rocks in Central Sichuan and its surrounding areas were used as the main research subjects to study the rock types and storage spaces that constitute the reservoir. The results show that in the Dengying Formation, the lithology is predominantly dolomite, with a small amount of mudstone and siliceous rock. The rock types that form the reservoir are diverse, mainly including grain

dolomite, sandstone dolomite, algal laminated dolomite, and karst breccia. The observation of thin sections and rock cores indicates that the current reservoir space is mainly composed of pores, holes, caves, and fractures formed by secondary processes. The pore-type space refers to that with a pore diameter less than 2 mm, mainly including intercrystalline dissolution pores, intergranular pores, and intergranular dissolution pores. The hole-type space refers to that with a pore diameter greater than 2 mm and less than 100 mm, mainly including karst holes along the direction of algal layers, porous karst holes, fractured karst holes, intergranular holes, and residual holes bordered with the shape of grape. The caves-type space refers to that with a pore diameter greater than 100 mm. The fracture-type space refers to a fracture formed by tectonic action, which significantly enhances the storage capacity and permeability of reservoirs in the Dengying Formation.

In Central Sichuan, the storage spaces of the Dengying Formation are interconnected and distributed in a combined manner. Based on the primary or dominant reservoir spaces, reservoir types are classified into four categories, pore-holes type, fracture-pore-holes type, pore type, and cave type reservoirs. Each reservoir type exhibits distinct logging response characteristics. With the use of existing conventional logging data and micro-resistivity scanning imaging logging data in the study area, logging identification standards for different reservoir types have been established. This provides new insights for the exploration and development of oil and gas in the Dengying Formation in Central Sichuan.

Key words Central Sichuan, the Dengying Formation, reservoir types, logging identification, imaging logging

(编辑 张玲)