

引用格式:任宏,李伟奇,魏中春,等.雅克拉区块潜山储集体类型动态量化表征及自动识别[J].油气藏评价与开发,2023,13(6):789-800.  
REN Hong, LI Weiqi, GUO Zhongchun, et al. Dynamic quantitative characterization and automatic identification of the buried hill  
reservoir types in Yakela block[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2023, 13(6): 789-800.  
DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2023.06.010

# 雅克拉区块潜山储集体类型动态量化表征及自动识别

任宏<sup>1</sup>,李伟奇<sup>1</sup>,魏中春<sup>1</sup>,杨小腾<sup>1</sup>,徐健<sup>2,3</sup>,王婧<sup>2</sup>

(1. 中国石化西北油田分公司雅克拉采气厂,新疆库车 842017;2. 中国地质大学(武汉)石油工程系,湖北武汉 430074;  
3. 中国石油大港油田分公司,天津 300280)

**摘要:**塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏原油储量丰富,受构造及岩溶作用控制,储集体类型多样,非均质性强,不同类型储集体具有各自的开发特征,准确识别储集体类型是后续生产措施制定和油藏有效开发的基本前提。针对塔河油田雅克拉区块潜山碳酸盐岩油气藏储集体类型判别的实际需求提出一套储集体类型动态识别方法,基于塔河油田生产井动态数据分析,在单井开发阶段划分的基础上,提取与储集体类型相关性强的弹性驱初期产油量、弹性驱时间、弹性驱累计产油量、弹性驱产量月递减率4项动态参数作为判别指标,通过聚类分析形成动态参数量化标准,最终结合人工神经网络技术实现基于动态资料的储集体类型自动批量识别,获得的储集体识别结果与钻录井和地球物理资料确定的储集体类型吻合度达80%以上。该自动识别方法具有参数明确、识别结果准确性高、可操作性强的特点,可辅助地质资料对储集体进行更准确的判定,更可应用于地质资料较少地区的碳酸盐岩油藏储集体研究,为油藏有效开发提供科学依据。

**关键词:**塔河油田;雅克拉潜山;储集体类型动态识别;生产阶段划分;神经网络;缝洞型储集体

中图分类号:TE249

文献标识码:A

## Dynamic quantitative characterization and automatic identification of the buried hill reservoir types in Yakela block

REN Hong<sup>1</sup>, LI Weiqi<sup>1</sup>, GUO Zhongchun<sup>1</sup>, YANG Xiaoteng<sup>1</sup>, XU Jian<sup>2,3</sup>, WANG Xiao<sup>2</sup>

(1. Sinopec Northwest Oilfield Company Yakela gasfield, Kuqa, Xinjiang 842017, China; 2. China University of Geosciences (Wuhan), Department of Petroleum Engineering, Wuhan, Hubei 430074, China; 3. PetroChina Dagang Oilfield company, Tianjin 300280, China)

**Abstract:** Tahe Oilfield, known for its substantial crude oil reserves, features fracture-vuggy carbonate reservoirs with diverse and heterogeneous characteristics shaped by structural and karstic influences. Each reservoir type within this field exhibits distinct development traits, making the precise identification of these reservoir types crucial for devising effective production strategies and optimizing oil reservoir development. However, the identification of reservoirs through drilling and geophysical data is challenging and costly, hence, this paper focuses on the dynamic identification of the vuggy, fractured-vuggy, and fractured reservoirs in the buried hill carbonate reservoirs in the Yakela block of Tahe Oilfield. The research initially involved analyzing the dynamic data of the production wells in this area and dividing the development stages of each well. Subsequently, the discriminant indicators, such as the initial oil production in the elastic stage, elastic time, cumulative oil production, and production decline rate were extracted. These indicators are generally available in each well and have less human interference. They form the basis of a dynamic quantitative characterization method for determining reservoir types. Through the utilization of mathematical statistics and artificial neural network technology, an automatic identification system for carbonate reservoir types based on dynamic data was established. Remarkably, the results obtained from this method align with over 80% of the reservoir types determined through drilling logging and geophysical data. This automated identification method proves to be highly operable and complements geological data.

收稿日期:2022-12-20。

第一作者简介:任宏(1987—),女,本科,高级工程师,从事油气藏地质研究与开发管理工作。地址:新疆库车市雅克拉采气厂,邮政编码:842017。E-mail:renhong2023@163.com

effectively, enabling more precise reservoir determination, especially in areas where geological information is scarce. Its applicability extends to carbonate reservoir research in regions with limited data, offering reliable reservoir-type results that are essential for informed development planning.

**Keywords:** Tahe Oilfield; Yakela buried hill; dynamic identification of reservoir type; production stage division; neural network; fractured-vuggy reservoir

碳酸盐岩油藏是重要的油藏类型,其提供了全球油气产量的60%<sup>[1]</sup>。随着碳酸盐岩油气勘探开发的不断深入,碳酸盐岩储集层的类型、性质及特征研究在储层评价、预测及油气田的合理开发中越来越重要<sup>[2]</sup>。

碳酸盐岩油藏主要包括古风化壳型、白云岩型、礁滩或细粒碳酸盐岩微孔隙型、深埋溶解型等类型<sup>[3-4]</sup>,以及近年来中国取得极大成果的塔河油田的缝洞型。塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏与传统的裂缝-孔隙型碳酸盐岩油藏以及典型的国内外喀斯特油藏相比,具有埋藏深、储层非均质性强、流体性质差异大等特点<sup>[5-6]</sup>。李阳等<sup>[7]</sup>研究认为海西早期裸露风化壳岩溶作用主要影响塔河储集体发育;徐微等<sup>[8]</sup>通过为主体区11口井进行样本分析认为岩溶以大气淡水岩溶作用为主,存在后期的淡水-海水混合岩溶作用和热水岩溶(溶蚀)作用;鲁新便等<sup>[9]</sup>和韩长城等<sup>[10]</sup>通过对斜坡区内幕岩储集层的研究发现断控岩溶的成藏机制,提出了“断溶体”的概念,丰富了碳酸盐岩油藏的成因,确定了深层碳酸盐岩油气勘探开发的新目标。由于岩溶作用演化及发育期次,塔河油田垂向上具有明显的分带性,溶洞储集体发育有落水洞、浅流洞和小溶洞等<sup>[11-12]</sup>,通过野外和缝洞发育特征研究,缝洞系统可分为地下河系统、岩溶洞穴型和溶洞孔缝型3大类,储集体类型在平面上具有“南北分带、东西分异”的特征<sup>[13]</sup>。

通过生产实践总结,碳酸盐岩油藏不同的储集体类型在开表现上有明显的差异,如溶洞型储集体无水采油期长、累产高、递减较慢,而裂缝型储集体递减快等,这些动态表现决定着后续的措施和开发调整方案,最终影响着油田的采收率和生产效益,因此,储集体类型研究在碳酸盐岩油藏中具有重要的实际意义。随着对碳酸盐岩缝洞型油藏成因及分布特征研究的不断深入,关于缝洞型油藏储集体的识别与预测问题也相应取得诸多进展。目前主要通过岩心观察、钻井录井分析、测井储集层分析和地震剖面资料来识别储层类型。通过岩心、铸体薄片、荧

光薄片及扫描电镜等观察及分析资料,塔河油田奥陶系储层的储集空间多样,主要类型有裂缝型、孔洞-裂缝型、裂缝-孔洞型和生物礁(滩)相孔隙型<sup>[14]</sup>。李功强等<sup>[15]</sup>和宋传真等<sup>[16]</sup>通过提取测井参数判别储层类型,并用成像测井资料验证了常规测井研究储层类型的可行性,对于碳酸盐岩的储层充填程度常规测井同样可以进行表征<sup>[17]</sup>。在钻井过程中,放空漏失现象表明孔洞发育,裂缝连通性好<sup>[18]</sup>。在地球物理上,可基于不同储集体在地震剖面上相应的反射特征,从而实现缝洞体的识别<sup>[19-20]</sup>。蔡明金等<sup>[21]</sup>、韩长城等<sup>[22]</sup>、胡文革<sup>[23]</sup>、程晓军<sup>[24]</sup>主要通过试井、酸压、试采等动态资料实现了储集类型的综合判断并应用于数值模拟,但是资料都比较局限,方法有待改进。

在前期油藏特征认识的基础上,结合塔河油田丰富的生产井动态分析认识,通过对塔河油田雅克拉潜山生产井的生产动态分析,提取出弹性驱初期产油量、弹性驱时间、弹性驱累计产油量、弹性驱产量月递减率4个敏感指标来确定储集体的类型和规模,并结合静态资料解释成果对动态分类结果进行验证,确定其可信度及可行性,最终形成一套基于动态分析的碳酸盐岩储集体类型自动识别方法。

## 1 储集体类型及表现形式

### 1.1 构造背景和地层发育情况

塔河油田雅克拉区块位于新疆维吾尔自治区库车市和轮台县境内,构造位置位于沙雅隆起北部的雅克拉断凸上,雅克拉断凸西部是与沙西凸起邻接的(图1)。研究区经历了加里东期、海西期、印支-燕山期及喜马拉雅期等多次构造运动的改造,其中以加里东中期和海西早期2次构造运动最为重要。加里东中期构造运动使塔里木盆地的性质改变,结束了塔河油田早古生代碳酸盐岩台地的发育。海西早期因构造抬升,深大断裂活动极强,对奥陶系碳酸盐岩的岩溶作用影响巨大<sup>[22]</sup>。研究区潜山自下而上

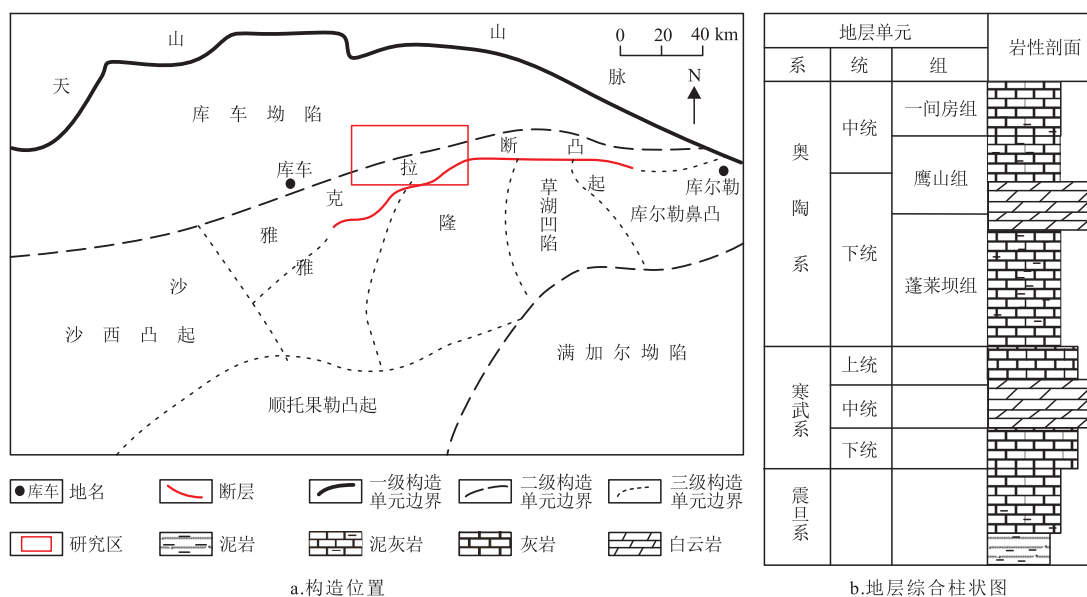


图1 塔河油田雅克拉区块构造位置和地层综合柱状图(据参考文献[23]修改)

Fig. 1 Structural position and bottom comprehensive histogram of Yakela block in Tahe Oilfield(modified according to reference[23])

发育震旦系、寒武系、奥陶系等地层。震旦系主要岩性包括泥岩、灰岩和泥灰岩,寒武系主要含有灰岩和白云岩,奥陶系可分为下奥陶统蓬莱坝组、中一下奥陶统鹰山组、中奥陶统一间房组。鹰山组主要岩性为褐灰色泥微晶灰岩、泥灰岩和白云岩;一间房组主要岩性为灰色灰岩、泥灰岩等<sup>[25]</sup>。

### 1.2 潜山储集体基本类型

基于储集体规模对油井开发特征的决定性作用,雅克拉潜山碳酸盐岩油藏可划分出3种基本储集体类型:溶洞型、缝洞型和裂缝型(图2)。

溶洞型储集体是塔河主体区和雅克拉潜山缝洞型油藏中最重要的储集体类型。储层的孔、洞、缝发育,储集空间主要为次生的溶蚀洞穴,由大型洞穴或大-中型溶洞群的组合为特征,是油气储集的良好空间,储集规模体大,与周围储集体沟通,横向连通较好(图2a)。

缝洞型储集体为缝洞型油藏中较为重要的储集体类型。储集空间既有孔洞,又有裂缝,两者对储集性能均有相当贡献,但孔洞的作用更重要。其中孔洞主要由孔和小-中洞组成,此类储层储集性能较好,储集体规模介于溶洞型储集体与裂缝储集体之间(图2b)。

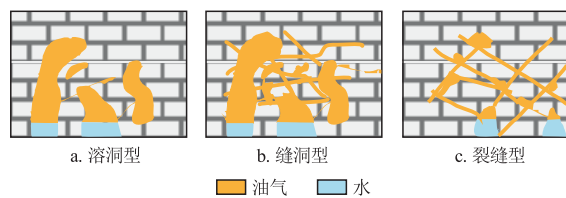


图2 碳酸盐岩油藏储集体概念模型

Fig. 2 Conceptual model of different types of storage space in carbonate reservoir

裂缝型储集体裂缝网络发育,其特征是基质孔隙度及渗透率均极低。而裂缝发育,裂缝既是主要的渗滤通道,又是次要储集空间,同时发育较少的溶蚀孔洞,起主要作用的是裂缝和溶蚀孔洞,因此,其分布与裂缝及古岩溶发育带密切相关,储集体规模在3种类型中是最小的(图2c)。

### 1.3 不同储集体类型基本识别特征和开发表现形式

溶洞型储集体对应的基本生产特征为:钻井过程中钻遇该类型地层常出现钻具放空,并伴有泥浆漏失等现象。该类型储层具有良好的油气生产能力,一般为自然投产,油气单井产量高,具有较长自喷期。油层能量在下降过程中,能及时得到充足的补给,能量补给较充足。由于储集体规模大,在纯弹

性能释放阶段,表现为单井的日产油量高,压力波传导到边界的时间长,产量递减较慢,对应的在该阶段的累计产油量大。见水特征以含水缓慢上升为主,生产初期均不产水,有较长的无水和低含水采油期。随着油层压力的降低,地层水进入井筒,往往出现暴性水淹。其典型生产特征如图3所示。

缝洞型储集体对应的基本生产特征为:钻井时会出现放空漏失现象,但漏失量较溶洞型储集体小,投产初期产量较高,无水采油期较长,有较长的稳产

时间,此类储层储集体性能较好。在弹性能释放阶段表现为日产能力较强,压力波传导时间长,产量递减速度较快,通过弹性能采出的原油量较大。含水上升速度较快,后期以底水驱动为主,不同储集空间组合形式不同,导致含水上升规律不一,波动型、快速上升型、台阶型等含水上升类型均有涉及。其典型生产特征见图4。

裂缝型储集体对应的基本生产特征为:钻井过程中一般不出现放空漏失,需要酸压见产。生产特

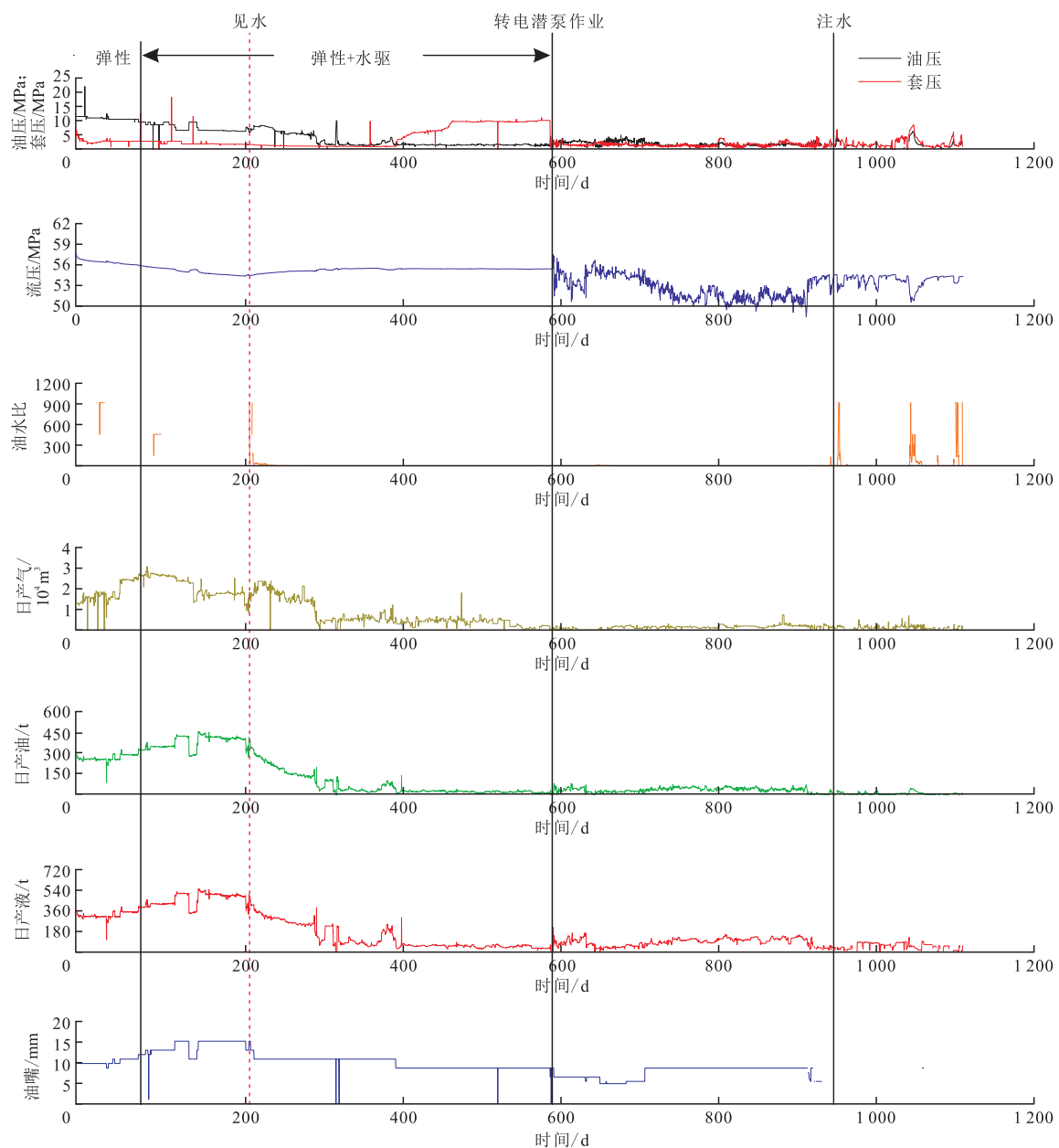


图3 溶洞型储集体生产特征

Fig. 3 Production characteristics of karst reservoirs

征与裂缝发育情况密切相关。垂直裂缝较不发育的情况下,产能低或无自然产能,压力低,自喷期短或间歇停喷。随着含水上升,产能递减较快。天然能量弱,无明显水体能量补充。一般开井即见水,水体不活跃,生产中产液表现为快速衰竭式变化,间歇式含水。高角度垂直裂缝发育的情况下,初期以产油气为主,不产地层水。无水和低含水采油期很短,甚至没有低含水期。油井见水后由于油水粘度比大,地层水迅速占据了原油的流动通道,含水在短时间内快速上升,部分油井表现出暴性水淹特征。该类

储集体规模在弹性能开发阶段表现为日产较小,弹性波及时间较短,产量递减快,纯弹性释放阶段累计采油量小,其典型生产特征如图5所示。

## 2 储集体类型的动态数据量化表征及自动识别

### 2.1 储集体类型动态量化方法思路与流程

在前期不同储集体生产特征定性认识的基础上,以雅克拉潜山储层为对象,进一步细化量化各类

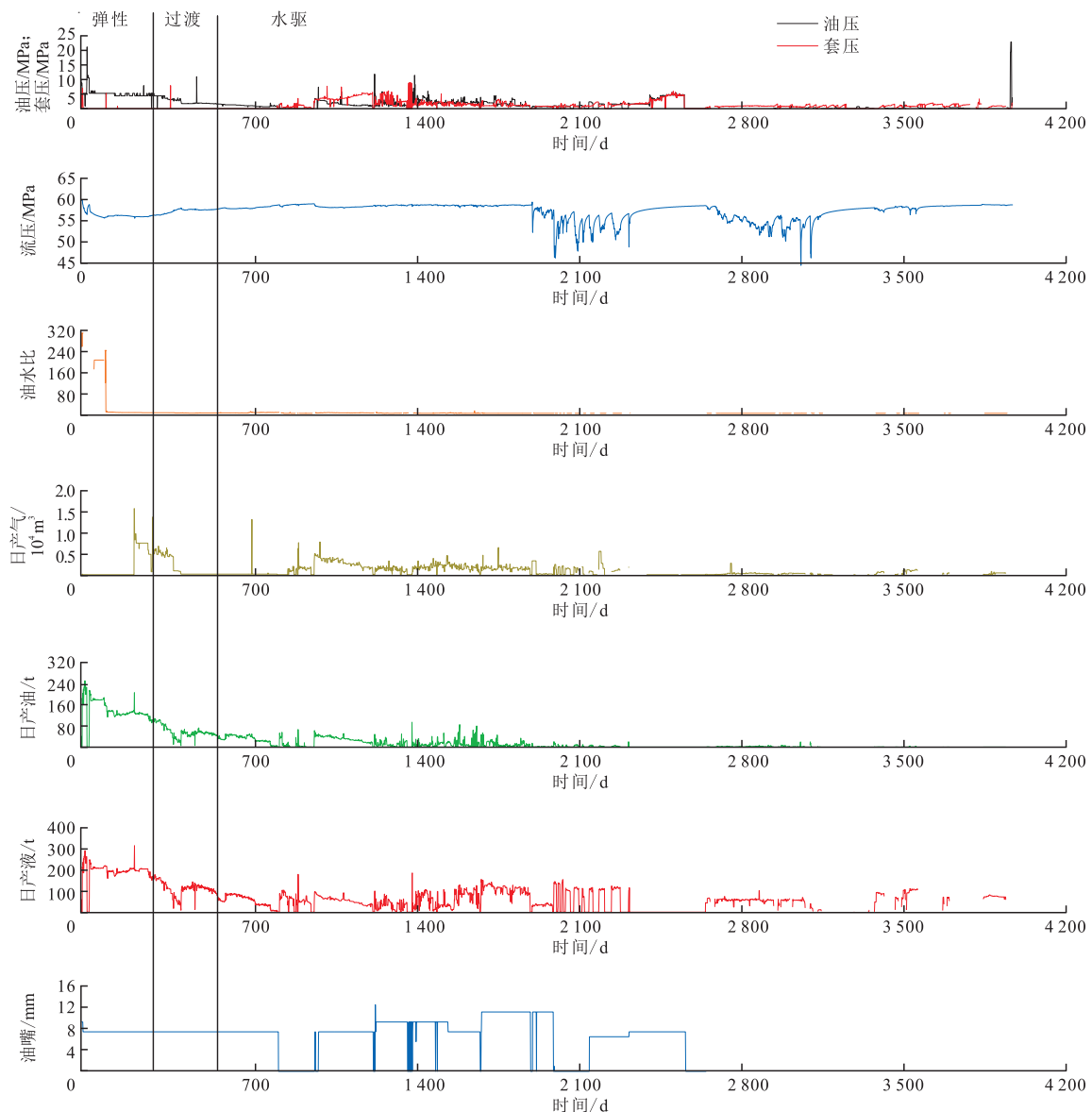


图4 缝洞型储集体生产特征

Fig. 4 Production characteristics of fracture-cavity reservoirs

储集体动态特征, 目的在于采用动态数据建立一套高效准确识别储集体类型的方法。由于各井投产年限、开发措施不同, 选取各井稳定可对比的参数至关重要。因此, 研究首先开展单井的生产阶段划分, 将各井的动态参数细化到不同阶段, 再将各阶段的各类参数与储集体类型进行相关分析, 提取出各井普遍具有的、与储集体类型相关性强的特征参数, 对这些参数进行聚类分析, 明确不同储集体类型各参数的分布范围, 通过参数组合特征确定储集体类型, 最终结合神经网络手段实现储集体类型的自动识别。

### 2.2 单井生产阶段划分

油田实践表明: 多数生产井油压和累计产油量关系曲线呈现较好的分段性, 其中AB段为弹性波传播到油体边界时生产井井口压力变化, 该段长短表示油体大小, 对应生产上的纯弹性驱动阶段; BC段为边底水开始补充, 纯弹性驱动向水驱过渡阶段时井口压力变化, 该段长短表示边底水补充速度, 斜率便是弹性能衰竭速度, 对应生产上的混合驱阶段; CD段为边底水能量充分补充时井口压力变化, 该段长短表示边底水能量的大小, 对应生产上的水驱阶段。

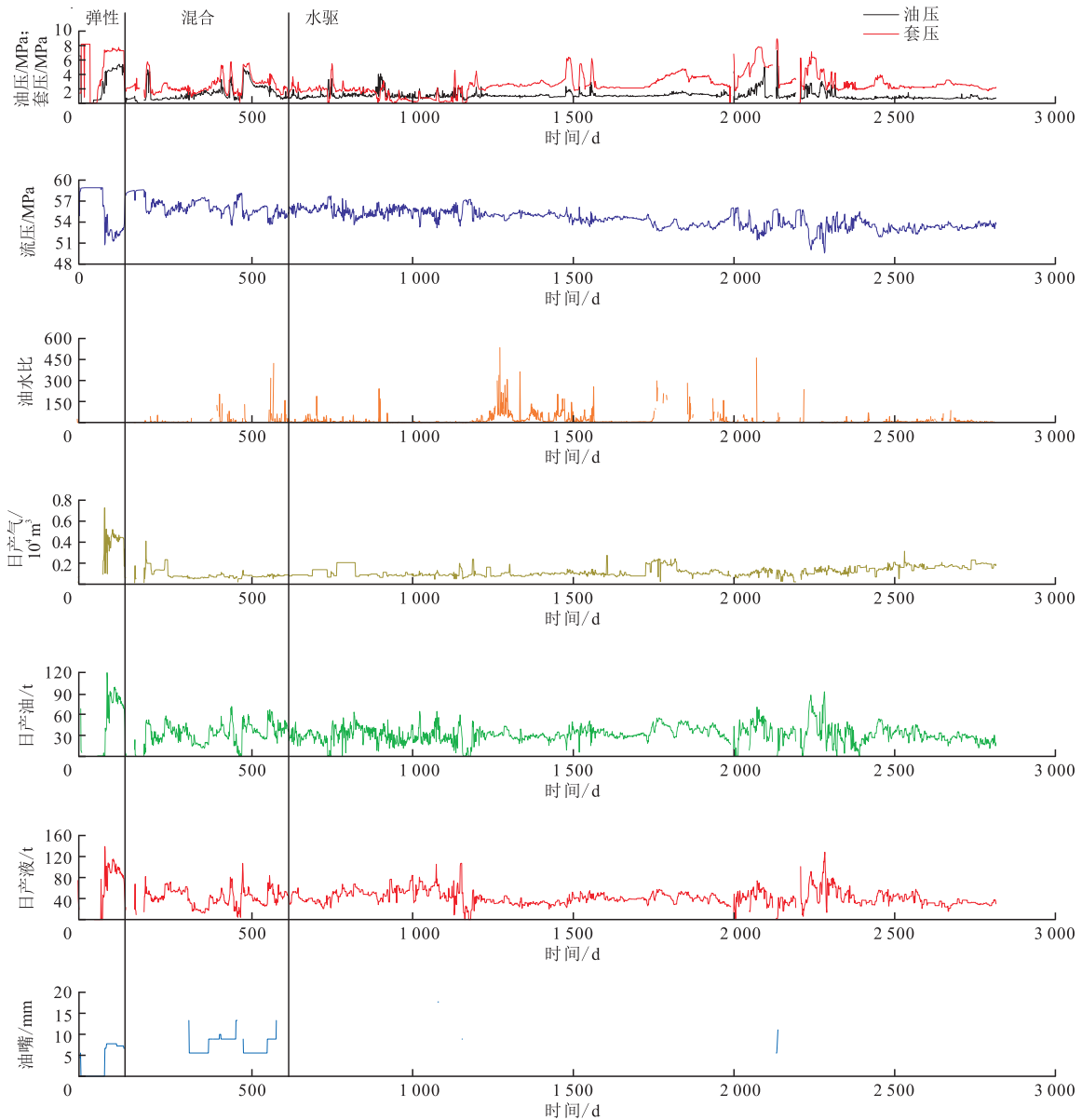


图5 裂缝型储集体生产特征

Fig. 5 Production characteristics of fractured reservoirs

E点反映的是底水突破井底附近时油压的波动,见水前出现明显的异常,但一般油压变化幅度很小,部分井见水前没有这段异常,此阶段生产井由不含水到零星含水,或者由零星含水到连续相含水(图6)。

### 2.3 动态参数提取

在研究区单井生产阶段划分的基础上,将各类动态参数如阶段时长、平均日产、阶段累产、压力变化率、产量递减率等12个动态参数与储集体类型进行相关性分析,提取出对储集体类型敏感的主要参数。经多次相关分析,最终提取出弹性驱初期产油量、弹性驱时间、弹性驱累计产油量、弹性驱产量月递减率4个参数,该4个参数与储集体类型相关系数均大于0.7,远优于混合驱和水驱的各项参数(表1)。

### 2.4 聚类分析与参数标准化

对所提取的4个参数进行系统聚类分析,系统聚类法基本思想是:先将输入样本各自看成一类,然后

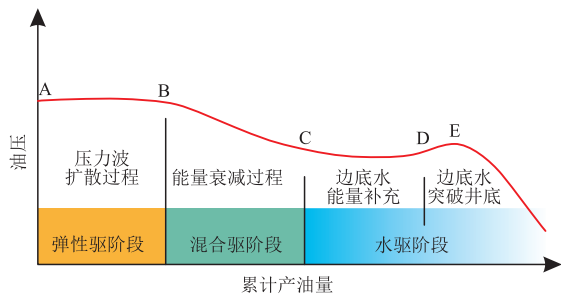


图6 单井生产阶段划分(据参考文献[26]修改)  
Fig. 6 Single well production stage division  
(modified according to reference[26])

规定样本之间的距离和类与类之间的距离,选择距离最小的1对合并成1个新类,计算新类和其他类的距离,再将距离最小的2类合并,逐渐减少类的个数,直至所有样本聚合至规定的类别数<sup>[27]</sup>。划分结果优先推荐的划分方案是划分为3类,结合数据来源,系统聚类分析所得的3类即对应溶洞型、缝洞型、裂缝型3种储集体类型(图7),证明该4个参数可很好地用于区分储集体类型。

通过聚类分析结果统计,各储集体类型在各项参数上具有较为明显的差异,据此建立了岩溶型碳酸盐岩储集体类型的动态参数量化划分标准,参数在各类型区间的分布位置同时指示着储集体规模(表2)。

溶洞型储集体弹性驱初期产油量一般大于275 t/d,弹性驱产量月递减率小于0.09,弹性驱累计产油量大于 $5.0 \times 10^4$  t,弹性驱时间大于270 d;裂缝型储集体弹性驱初期产油量一般小于159 t/d,弹性驱产量月递减率大于0.22,弹性驱累计产油量小于 $1.5 \times 10^4$  t,弹性驱时间小于182 d;缝洞型储集体各参数介于两者之间。

### 2.5 储集体类型自动识别的神经网络实现

聚类分析获得的储集体类型识别结果具有较好的准确性,但其工作流程复杂,仍需要人工进行逐井的阶段划分、参数前处理和聚类调试,工作效率较低。鉴于此,根据以上建立的动态参数标准,研究采用系统聚类分析结合人工神经网络技术建立动态参数对储集体类型的自动识别模型,已在缺乏地质资料地区高效准确地实现储集体类型的定量识别。以聚类分析的结果作为学习样本,将现有已知储集体

表1 动态参数相关性分析结果

Table 1 Correlation analysis results of dynamic parameters

储集体类型	弹性驱初期产油量	弹性驱时间	弹性驱累计产油量	弹性驱产量月递减率	混合驱时间	混合驱产油量
溶洞型	0.849	0.763	0.886	0.899	0.451	0.588
缝洞型	0.809	0.772	0.903	0.833	0.565	0.429
裂缝型	0.723	0.844	0.790	0.855	0.333	0.068
储集体类型	混合驱产量月递减率	水驱时间	水驱累计产油量	水驱产量月递减率	油压	油压变化率
溶洞型	0.307	0.206	0.624	0.268	0.544	0.471
缝洞型	0.622	0.191	0.651	0.587	0.465	0.495
裂缝型	0.335	0.163	0.449	0.257	0.179	0.676

类型的生产井分为样本井和验证井(比例为7:3),建立神经网络并对网络进行训练,神经网络的输入层为各井的弹性驱初期产油量、弹性驱时间、弹性驱累计产油量、弹性驱产量月递减率这4个参数,输出层为3类,即对应储集体类型溶洞型、缝洞型以及裂缝型,神经网络运算隐藏层函数  $M(1)\sim M(6)$ (图8),训

练完成后利用神经网络识别新的数据样本,将新的数据样本合并到原有数据中,通过聚类分析,对识别的准确性进行验证,该流程可批量输入多井参数,实现高效、自动的储集体类型判别。应用该神经网络对塔河4区的65口井进行储集体类型识别,训练样本正确率为93.9%(表3)。

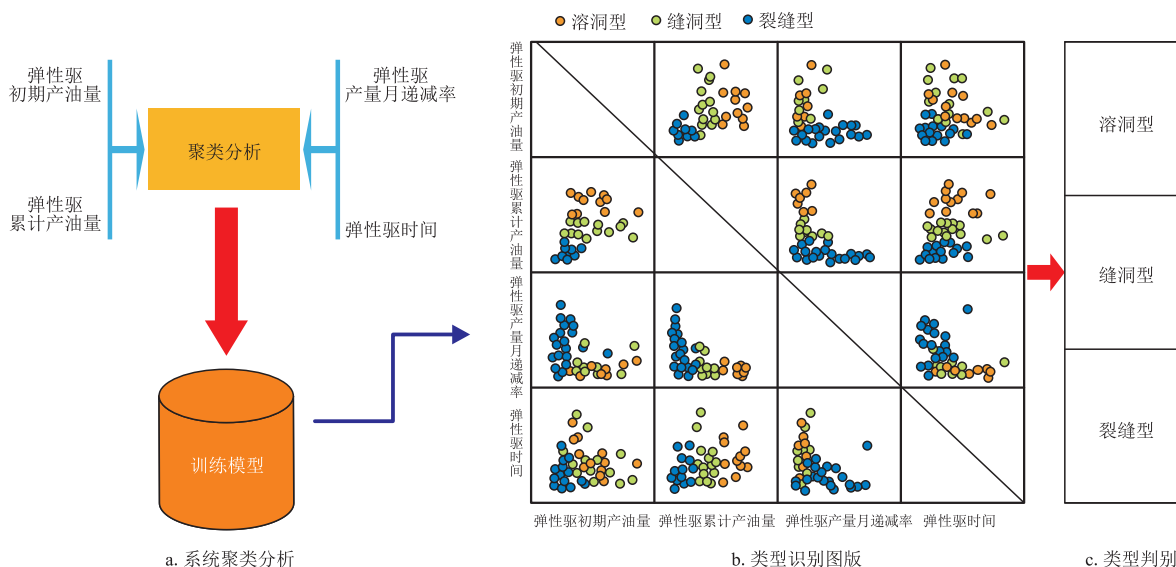


图7 雅克拉区块潜山储集体类型判别流程

Fig. 7 Discrimination process of buried hill reservoir type in Yakela block

表2 雅克拉区块潜山不同储集体参数统计及判别标准

Table 2 Statistics and discriminant criteria of different reservoir parameters in buried hill of Yakela block

储集体类型	动态统计数据(均值)				判别标准			
	弹性驱初期产油量/(t/d)	弹性驱产量月递减率	弹性驱累计产油量/ $10^4$ t	弹性驱时间/d	弹性驱初期产油量/(t/d)	弹性驱产量月递减率	弹性驱累计产油量/ $10^4$ t	弹性驱时间/d
溶洞型	344.79	0.07	7.507	321.0	> 275	< 0.09	> 5.0	> 270
缝洞型	205.49	0.10	2.339	227.0	159~275	0.09~0.22	1.5~5.0	182~270
裂缝型	113.00	0.35	0.781	138.1	< 159	> 0.22	< 1.5	< 182

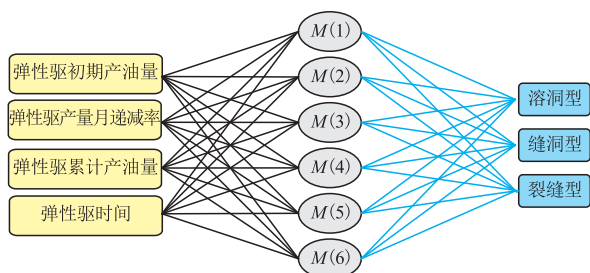


图8 神经网络示意图

Fig. 8 Schematic diagram of the neural network

表3 神经网络训练成果

Table 3 Training results of neural network

样本类型	地质资料识别类型	基于动态资料的神经网络识别数量			正确率/%
		溶洞型	缝洞型	裂缝型	
训练样本	溶洞型	24	23	1	95.8
	缝洞型	25	1	23	92.0
	裂缝型	16	0	15	93.8
测试样本	溶洞型	8	7	1	87.5
	缝洞型	10	0	10	100.0
	裂缝型	12	0	12	100.0

### 3 储集体类型动态识别效果评价

#### 3.1 储集体动态识别应用与验证

雅克拉 X15 井完钻井深 5 580 m, 完钻层位下奥陶统, 无漏失放空井段, 常规完井, 测录井资料显示生产层上部裂缝发育, 油气界面大致介于 5 410.5 ~ 5 429.5 m, 水层在 5 580 m 以下, 可判断 X15 井打到裂缝并且沟通孔洞, 总体表现为缝洞型储集体特征。

该井用 8 mm 油嘴放喷求产, 日产液 293 t, 天然气 16 700 m<sup>3</sup>/d。该井投产初期, 日产油保持在 200 t,

改变工作制度(增大或减小油嘴大小)后, 日产油总体呈现上升趋势, 日产油最大达到 300 t。见水时累产油 26.688×10<sup>4</sup>t。见水后, 日产油下降至 50 t, 含水率上升至 40%, 最后日产油下降至 8.5 t 后停喷开始采取转抽, 转抽后日产液 160 t 左右, 日产油 97 t 左右, 含水 37.5% 左右。截至生产末期, 该井累产液 65.37×10<sup>4</sup>t, 累产油 48.47×10<sup>4</sup>t, 累产水 16.9×10<sup>4</sup>t, 可以看出能量较充足, 产量递减主要由含水上升引起的。月均含水上升速度 25%, 为台阶式上升, 含水到达 37.9% 时保持稳定。其生产动态曲线和生产阶段划分曲线如图 9 和图 10 所示。

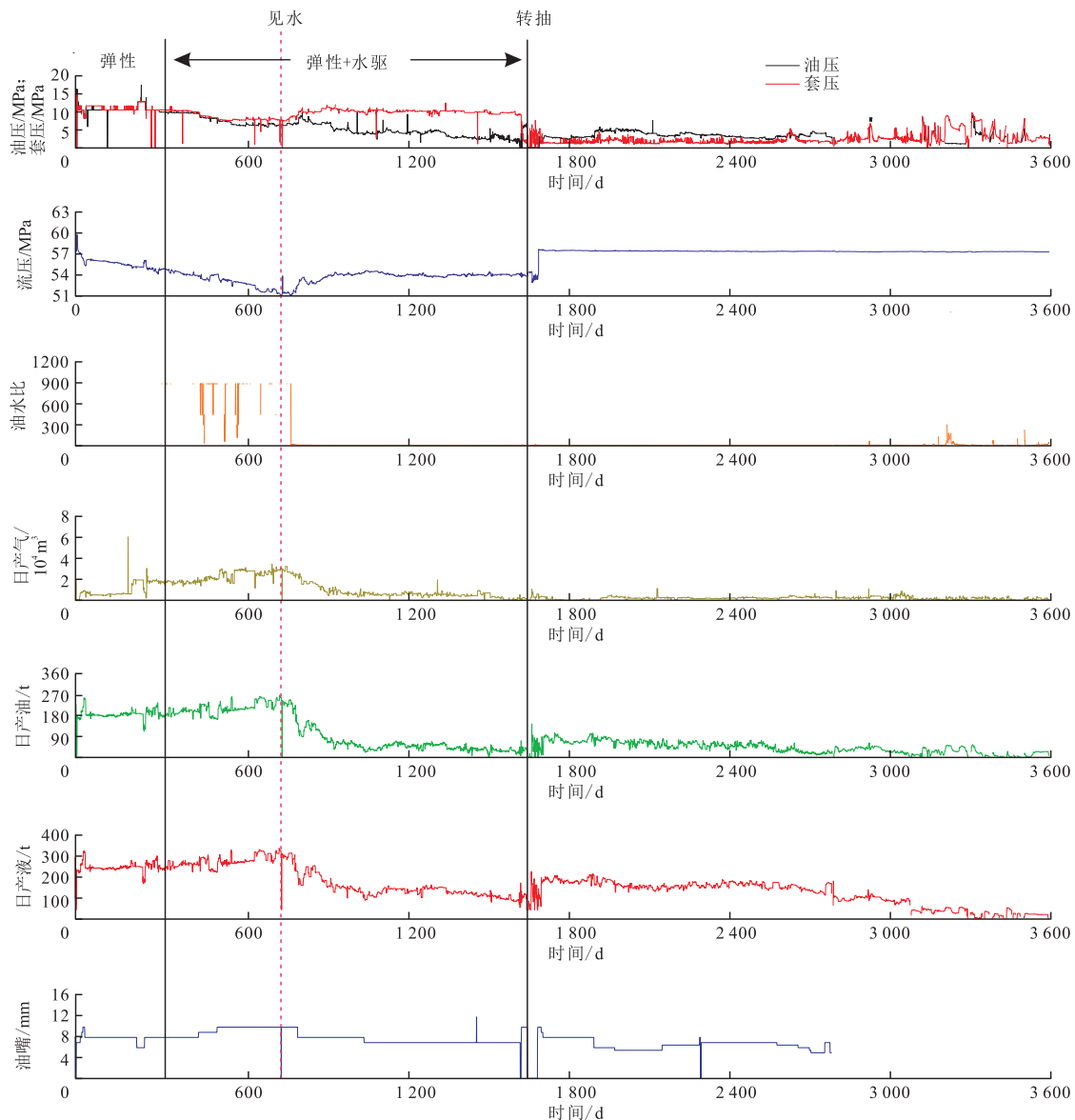


图9 雅克拉区块潜山 X15 井生产动态曲线

Fig. 9 Production dynamic curve of well X15 in buried hill of Yakela block

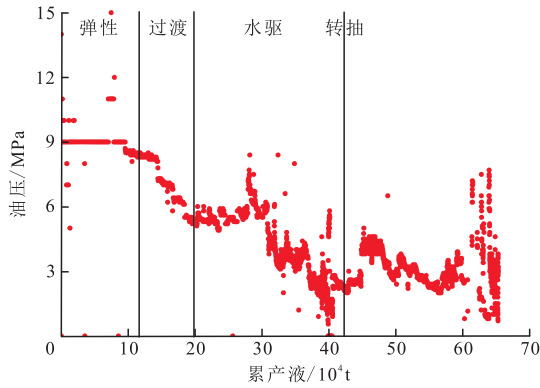


图10 雅克拉区块潜山X15井生产阶段划分

Fig. 10 Production stage division of Well-X15 in buried hill of Yakela block

通过对该井划分弹性驱阶段并对参数取值,求得其弹性驱初期产油量为275 t/d,弹性驱产量月递减率为0.03,弹性驱累计产油量为 $2.899 \times 10^4$  t,弹性驱时间为261 d,将该井这4项动态参数输入储层类型自动识别神经网络,输出结果为较大规模的缝洞型储集体,该判别结果与测、录井地质认识一致,说明该井采用动态参数的储集体类型自动识别结果准确。

根据上述流程,应用所建立的神经网络模型对研究区钻井、录井等静态资料丰富即已知储集体类型的11口井的36个层段进行阶段划分,提取弹性驱初期产油量、弹性驱时间、弹性驱累计产油量、弹性驱产量月递减率参数,再将参数批量输入神经网络模型,完成储集体类型自动识别(表4),自动识别结果与地质资料判别的结果层段30个,整体吻合度达83.3%。详细到各类型,溶洞型层段共8个,动态识别7个,识别准确度87.5%;缝洞型层段共15个,识别12个,识别准确度80.0%;裂缝型层段共13个,识别11个,识别准确度84.6%。与测、录井地质认识相比,自动识别方法在判断准确的同时,不依赖于地质工作人员的经验 and 能力,无须再对时间跨度长达40余年的生产井测、录井资料进行标准化处理,根据生产动态记录计算出4项动态参数并输入模型,即可获得储集体判别结果,具有客观、高效的优势。

### 3.2 应用效果评价

研究区单井的详细分析与其他地区的自动识别验证均证明了储集体类型动态识别方法的准确性和

表4 雅克拉区块潜山储集体类型自动识别检验结果  
Table 4 Automatic identification test results of buried hill reservoir types in Yakela block

井名	层段	储集体类型		
		地质认识	动态参数自动识别	准确性(符合为1,不符为0)
X2	1	缝洞型	缝洞型	1
	2	缝洞型	缝洞型	1
	3	裂缝型	裂缝型	1
X12	1	缝洞型	缝洞型	1
	2	裂缝型	裂缝型	1
	3	裂缝型	裂缝型	1
	4	缝洞型	裂缝型	0
X30	1	缝洞型	缝洞型	1
	2	溶洞型	缝洞型	0
	3	溶洞型	溶洞型	1
X1	1	溶洞型	溶洞型	1
	2	溶洞型	溶洞型	1
X7	1	裂缝型	缝洞型	0
	2	缝洞型	缝洞型	1
XS7	1	溶洞型	溶洞型	1
	2	溶洞型	溶洞型	1
	3	裂缝型	裂缝型	1
	4	裂缝型	裂缝型	1
X13	1	溶洞型	溶洞型	1
	2	裂缝型	裂缝型	1
	3	缝洞型	缝洞型	1
X17	1	裂缝型	裂缝型	1
	2	裂缝型	缝洞型	0
	3	裂缝型	裂缝型	1
	4	缝洞型	裂缝型	0
X11	1	缝洞型	缝洞型	1
	2	缝洞型	缝洞型	1
	3	裂缝型	裂缝型	1
	4	缝洞型	缝洞型	1
X16	1	溶洞型	溶洞型	1
	2	缝洞型	溶洞型	0
	3	裂缝型	裂缝型	1
X21	1	裂缝型	裂缝型	1
	2	缝洞型	缝洞型	1
	3	缝洞型	缝洞型	1
	4	缝洞型	缝洞型	1
共计	36			30

便利性。由于研究采用的4个参数为每口生产井都具有的参数,且易于获取、识别准确率高、可操作性强,预期该动态参数神经网络自动识别模型可在地

质资料缺少的地区为储集体类型研究提供更多依据,为后续生产措施的制定提供支撑。

该方法解决了缝洞型碳酸盐岩储集体类型研究的一部分实际问题,但由于生产阶段划分是基于动态资料进行的定性划分,部分井由于生产制度调整等因素导致生产特征复杂化使得弹性时间的截止存在偏差,导致后续参数提取出现偶然误差,影响到该井储集体类型的判别。因此,在应用于频繁调整生产措施、生产特征不规则的井时应结合其他资料进行判别。此外,在应用中,溶洞型储层误识别为缝洞型,缝洞型主要误识别为裂缝型,裂缝型误识别为缝洞型,这些误差指示在现有的溶洞、缝洞、裂缝的大类划分的基础上,对缝洞型储集体仍需进一步开展类型细分,便于更好地把握不同类型储集体的开发规律,及时调整生产对策。未来随着开发不断精细化,在后续工作中将持续完善动态识别参数和方法,为油藏的高效开发提供更多的支持。

## 4 结论

1) 弹性驱初期产油量、弹性驱时间、弹性驱累计产油量、弹性驱产量月递减率4项动态参数与储集体类型具有较强的相关性,可作为储集体类型判别的主要动态参数。

2) 将提取的4项动态参数进行聚类分析,量化了溶洞型、缝洞型、裂缝型储集体对应的参数范围:溶洞型储集体弹性驱初期产油量一般大于275 t/d,弹性驱产量月递减率小于0.09,弹性驱累计产油量大于 $5.0 \times 10^4$  t,弹性驱时间大于270 d;裂缝型储集体弹性驱初期产油量一般小于159 t/d,弹性驱产量月递减率大于0.22,弹性驱累计产油量小于 $1.5 \times 10^4$  t,弹性驱时间小于182 d;缝洞型储集体各参数介于两者之间。

3) 根据储集体动态参数量化特征建立的储集体类型神经网络自动识别模型,识别准确度达80%以上。该自动识别方法参数明确且易于获取,工作流程清晰,可操作性强,结果准确度高,可实现多井批量判别,更可应用于缺乏地质资料的地区,实现储集体类型的准确识别和预测,为后续生产措施的制定提供依据。

### 参考文献

[1] 李阳,康志江,薛兆杰,等.中国碳酸盐岩油气藏开发理论与

实践[J].石油勘探与开发,2018,45(4):669-678.

LI Yang, KANG Zhijiang, XUE Zhaojie, et al. Theories and practices of carbonate reservoirs development in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2018, 45(4): 669-678.

[2] 康玉柱.中国古生代碳酸盐岩古岩溶储集特征与油气分布[J].天然气工业,2008,28(6):1-12.

KANG Yuzhu. Characteristics and distribution laws of paleokarst hydrocarbon reservoirs in Paleozoic carbonate formations in China[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(6): 1-12.

[3] 庞雄奇,林会喜,郑定业,等.中国深层和超深层碳酸盐岩油气藏形成分布的基本特征与动力机制及发展方向[J].地质力学学报,2020,26(5):673-695.

PANG Xiongqi, LIN Huixi, ZHENG Dingye, et al. Basic characteristics, dynamic mechanism and development direction of the formation and distribution of deep and ultra-deep carbonate reservoirs in China[J]. Journal of Geomechanics, 2020, 26(5): 673-695.

[4] 毛敏,袁胜斌,张立刚,等.蚀变闪长岩潜山储层矿物组分特征与孔隙度的关系[J].非常规油气,2022,9(6):14-19.

MAO Min, YUAN Shengbin, ZHANG Ligang, et al. The relationship between mineral composition characteristics and porosity of altered diorite buried hill reservoir[J]. Unconventional Oil & Gas, 2022, 9(6): 14-19.

[5] 鲁新便,杨敏,汪彦,等.塔里木盆地北部“层控”与“断控”型油藏特征[J].石油实验地质,2018,40(4):461-469.

LU Xinbian, YANG Min, WANG Yan, et al. Geological characteristics of ‘strata-bound’ and ‘fault-controlled’ reservoirs in the northern Tarim Basin: taking the Ordovician reservoirs in the Tahe Oil Field as an example[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2018, 40(4): 461-469.

[6] 卜旭强,王来源,朱莲花,等.塔里木盆地顺北油气田奥陶系断控缝洞型储层特征及成藏模式[J].岩性油气藏,2023,35(3):152-160.

BU Xuqiang, WANG Laiyuan, ZHU Lianhua, et al. Characteristics and reservoir-forming models of Ordovician fault-controlled fracture-vuggy reservoirs in Shunbei oil and gas field, Tarim Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2023, 35(3): 152-160.

[7] 李阳,范智慧.塔河奥陶系碳酸盐岩油藏缝洞系统发育模式与分布规律[J].石油学报,2011,32(1):101-106.

LI Yang, FAN Zhihui. Developmental pattern and distribution rule of the fracture-cavity system of Ordovician carbonate reservoirs in the Tahe Oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(1): 101-106.

[8] 徐微,蔡忠贤,林忠民,等.塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏岩溶成因类型[J].海相油气地质,2012,17(1):66-72.

XU Wei, CAI Zhongxian, LIN Zhongmin, et al. Karst genesis classification of Ordovician carbonate reservoir in Tahe Oilfield, Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2012, 17(1): 66-72.

[9] 鲁新便,胡文革,汪彦,等.塔河地区碳酸盐岩断溶体油藏特征与开发实践[J].石油与天然气地质,2015,36(3):347-355.

LU Xinbian, HU Wenge, WANG Yan, et al. Characteristics and development practice of fault-karst carbonate reservoirs in

- Take area, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(3): 347-355.
- [10] 韩长城, 林承焰, 鲁新便, 等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩溶斜坡断控岩溶储层特征及形成机制[J]. *石油与天然气地质*, 2016, 37(5): 644-652.
- HAN Changcheng, LIN Chengyan, LU Xinbian, et al. Characterization and genesis of fault-controlled karst reservoirs in Ordovician carbonate karst slope of Tahe oilfield, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2016, 37(5): 644-652.
- [11] 陈琳, 康志宏, 李鹏, 等. 塔河油田奥陶系岩溶型碳酸盐岩油藏储集空间发育特征及地质模式探讨[J]. *现代地质*, 2013, 27(2): 356-365.
- CHEN Lin, KANG Zhihong, LI Peng, et al. Development characteristics and geological model of Ordovician karst carbonate reservoir space in Tahe Oilfield[J]. *Geoscience*, 2013, 27(2): 356-365.
- [12] 金强, 田飞. 塔河油田岩溶型碳酸盐岩缝洞结构研究[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2013, 37(5): 15-21.
- JIN Qiang, TIAN Fei. Investigation of fracture-cave constructions of karsted carbonate reservoirs of Ordovician in Tahe Oilfield, Tarim Basin[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Sciences)*, 2013, 37(5): 15-21.
- [13] 段艳秋. 塔河油田托甫台区奥陶系碳酸盐岩储集体地质特征研究[J]. *石油地质与工程*, 2011, 25(5): 13-17.
- DUAN Yanqiu. Study on geological features of Tuoputai area Ordovician carbonate rock reservoir body in Tahe oilfield[J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2011, 25(5): 13-17.
- [14] 宁超众, 孙龙德, 胡素云, 等. 塔里木盆地哈拉哈塘油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩储层岩溶类型及特征[J]. *石油学报*, 2021, 42(1): 15-32.
- NING Chaozhong, SUN Longde, HU Suyun, et al. Karst types and characteristics of the Ordovician fracture-cavity type carbonate reservoirs in Halahatang oilfield, Tarim Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2021, 42(1): 15-32.
- [15] 李功强, 赵永刚, 江子凤, 等. 塔河油田托甫台区碳酸盐岩储层类型判别方法及应用[J]. *工程地球物理学报*, 2013, 10(3): 338-343.
- LI Gongqiang, ZHAO Yonggang, JIANG Zifeng, et al. Identification method and application carbonate rock reservoirs in Tuoputai Oilfield District[J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 2013, 10(3): 338-343.
- [16] 宋传真, 马翠玉. 塔河油田奥陶系缝洞型油藏油水流动规律[J]. *岩性油气藏*, 2022, 34(4): 150-158.
- SONG Chuazhen, MA Cuiyu. Oil-water flow law of Ordovician fractured-vuggy reservoirs in Tahe Oilfield[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2022, 34(4): 150-158.
- [17] 苏俊磊, 张松扬, 王晓畅, 等. 塔河油田碳酸盐岩洞穴型储层充填性质常规测井表征[J]. *地球物理学进展*, 2015, 30(3): 1264-1269.
- SU Junlei, ZHANG Songyang, WANG Xiaochang, et al. Conventional logging characterization on fillings characteristic of cavernous carbonate reservoirs in Tahe oilfield[J]. *Progress in Geophysics*, 2015, 30(3): 1264-1269.
- [18] 杨敏, 龙喜彬, 潘欢欢, 等. 塔河缝洞型油藏试井曲线特征及储集体识别[J]. *油气井测试*, 2020, 29(3): 64-70.
- YANG Min, LONG Xibin, QIAN Huanhuan, et al. Well test curves and identification of fractured vuggy reservoirs in Tahe Oilfield[J]. *Well Testing*, 2020, 29(3): 64-70.
- [19] 梁健, 王栋, 张鑫, 等. 塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏远井储集体量化表征及动用技术[J]. *地质学刊*, 2021, 45(1): 29-36.
- LIANG Jian, WANG Dong, ZHANG Xin, et al. The Tahe oilfield carbonate fractured cave reservoir far-well quantitatively assessment and exploitation technology[J]. *Journal of Geology*, 2021, 45(1): 29-36.
- [20] 邓光校, 胡文革, 王震. 碳酸盐岩缝洞储集体分尺度量化表征[J]. *新疆石油地质*, 2021, 42(2): 232-237.
- DENG Guangxiao, HU Wenge, WANG Zhen. Quantitative characterization of fractured-vuggy carbonate reservoirs[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2021, 42(2): 232-237.
- [21] 蔡明金, 王守峰, 尹国君, 等. 缝洞型碳酸盐岩储层储集体类型判别方法[J]. *油气井测试*, 2018, 27(4): 7-14.
- CAI Mingjin, WANG Shoufeng, YIN Guojun, et al. Reservoir type identification method for fractured-vuggy carbonate reservoirs[J]. *Well Testing*, 2018, 27(4): 7-14.
- [22] 韩长城, 林承焰, 任丽华, 等. 基于地震波形指示的碳酸盐岩储集体反演方法——以塔河油田中-下奥陶统为例[J]. *石油与天然气地质*, 2017, 38(4): 822-830.
- HAN Changcheng, LIN Chengyan, REN Lihua, et al. Waveform-indication-based seismic inversion of carbonate reservoirs: A case study of the Lower-Middle Ordovician in Tahe oilfield, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2017, 38(4): 822-830.
- [23] 胡文革. 塔河碳酸盐岩缝洞型油藏开发技术及攻关方向[J]. *油气藏评价与开发*, 2020, 10(2): 1-10.
- HU Wenge. Development technology and research direction of fractured-vuggy carbonate reservoirs in Tahe Oilfield[J]. *Reservoir Evaluation and Development*, 2020, 10(2): 1-10.
- [24] 程晓军. 缝洞型油藏注气提高采收率参数优化数值模拟研究[J]. *油气藏评价与开发*, 2022, 12(6): 902-909.
- CHENG Xiaojun. Enhanced oil recovery and parameter optimization of hydrocarbon injection in fractured-cavity reservoirs[J]. *Petroleum Reservoir Evaluation and Development*, 2022, 12(6): 902-909.
- [25] 毛毳, 钟建华, 李阳, 等. 沉积环境对塔河油田六区奥陶系碳酸盐岩储集空间的影响[J]. *海相油气地质*, 2013, 18(4): 15-22.
- MAO Cui, ZHONG Jianhua, LI Yang, et al. Effect of sedimentary environment on Ordovician carbonate reservoir space in block-6 of Tahe Oil Field, Tarim Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2013, 18(4): 15-22.
- [26] 窦之林. 塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏开发技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
- DOU Zhilin. Development technology of carbonate fractured cave reservoir in Tahe Oilfield[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012.
- [27] 陈欢庆, 唐海洋, 吴桐, 等. 精细油藏描述中的大数据技术及其应用[J]. *油气地质与采收率*, 2022, 29(1): 11-20.
- CHEN Huanqing, TANG Haiyang, WU Tong, et al. Big data technology and its application in fine reservoir description[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2022, 29(1): 11-20.

(编辑 李青)