

文章编号: 1001-1749(2023)01-0068-06

基于波形分类分析的安岳气田 GS1 井区灯四段气藏开发“甜点区”预测研究

石新¹, 朱萌¹, 方石²

(1. 川庆钻探公司有限公司 地质勘探开发研究院, 成都 610051

2. 西南油气田分公司 勘探事业部, 成都 610095)

摘要: 四川盆地安岳气田 GS1 井区的灯四段气藏在开发过程中, 受台缘带丘滩体的强非均质性影响, 开发气井的测试产能和稳产能力均差异大, 且常规的振幅属性或地震反演分析均不能较好地识别开发“甜点区”。这里立足于灯四段地层的地震波形特征分析, 采用基于自组织神经网络的地震波形分类技术, 对研究区内灯四段地层进行了分层段(灯四上段和灯四下段)的波形分类分析, 建立了完钻井的产能与地震反射波形的内在联系, 准确地预测了灯四上段和灯四下段的开发“甜点区”, 与完钻井的预测符合率高于 80%。该项成果不仅有助于 GS1 井区气藏的高效开发, 而且对于安岳气田高石梯—磨溪区块灯四段地层的气藏开发具有积极的指导意义。

关键词: 灯四段气藏; GS1 井区; 波形分类; 甜点预测

中图分类号: P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.01.09

0 引言

四川盆地安岳气田震旦系灯影组气藏的勘探与开发是近十年来的研究热点, GS1 井区更是首当其冲, 是国内、外学者的研究焦点。GS1 井区自 2012 年取得勘探突破以来, 国内、外学者针对灯影组四段(灯四段)地层开始了一系列的地质认识研究(如沉积相、沉积模式、古地貌等分析研究)和储层地震精细刻画研究(缝洞储集体预测、油气检测等分析研究), 并取得了一系列的研究成果, 如建立了“岩溶有利古地貌+储层组合+地震响应模式”的有效井模式等, 较好地指导了研究区勘探井和开发井的井位部署^[1-3]。但是在 GS1 井区的气藏开发过程中, 发现灯四段地层的开发井不仅产能差异大, 而且开发井之间的稳产能力也差异大, 其主要原因是丘滩体

储层的强非均质性^[4]。前期针对丘滩体储层的预测, 集中在有利相带预测和孔隙度大于 2% 的储层预测, 形成了 GS1 井区台缘带储层普遍发育的认识, 而忽略了优质储层的研究, 没有重视开发“甜点区”的预测研究(测试日产气量大于 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的井为高产井)。此外, 前期研究成果也表明, 在安岳气田灯影组地层的钻井过程中, 常常出现井漏、放空等现象, 揭示了高石梯地区洞穴型优质储层的广泛存在, 且这些优质储层发育区的完钻井均能获得高产^[5]。因此, 开展 GS1 井的开发“甜点区”预测不仅有助于 GS1 井区气藏的高效开发, 而且对于安岳气田高石梯—磨溪区块灯四段地层的气藏开发具有积极的指导意义。

区别于前期的储层预测研究(消除强反射屏蔽技术、属性融合技术、OVT 域叠前裂缝检测技术、地震反演技术等), 笔者立足于灯四段地层的地震波形

收稿日期: 2021-11-26

基金项目: 中石油川庆钻探公司重点攻关项目(CQ2021B-33-Z1-3)

第一作者: 石新(1977-), 男, 博士, 高级工程师, 从事油气综合地质研究, E-mail: shix-sc@cnpc.com.cn。

特征分析,采用基于神经网络的波形分类技术,建立完钻井的产能与地震反射波形的内在联系,从而实现开发“甜点区”的平面预测,有效地指导研究区后续的开发井位部署^[6]。

1 地震波形分类的方法原理

地震波形分类技术目前主要应用于地震相分析,并取得了较好的实际应用效果。地震波波形反映的是地层沉积信息的综合,相同的地震波波形可能指示着相似的沉积环境。地震相则是沉积相在地震剖面上的综合响应。当地震相发生变化时,对应的地震波的波形特征也会发生变化。对于不同的岩性组合,地震波的波形具有“独特”的形态特征。通过波形分类,将地震波波形特征与地震相一一对应,以达到对储层横向岩性变化的分析^[7]。

地震波波形分类方法多采用自组织神经网络(Kohonen 神经网络^[8])。Kohonen 网络的结构由输入层和输出层构成,这两层的神经元间有一前馈连接。给定一个权值向量的初始值,对于每一个输入模式,与其具有最大欧式范数距离或两向量的夹角最小的神经元权值向量通过。实际应用中,对部分地震数据利用 Kohonen 神经网络技术从中抽取具有代表性的典型地震道,各典型地震道按顺序渐变(指波形)排列,每一道指定一个值或颜色,组成一组模型道;将地震数据集内的每一道与所有典型地震道进行相关,并将与实际地震道具有最大相关值的典型地震道的数值或颜色赋给该地震道,实现地震波形的分类。

近年来相继发展一些新的地震波形分类算法,如基于特征加权 K 近邻法、模糊 C 均值聚类法等。在应用领域方面,地震波形分类技术也被应用于缝洞型储层流体识别、地质异常体解释等^[9-10]。

2 地层地震波形分类分析

2.1 工区概况

安岳气田 GS1 井区紧邻绵竹—长宁裂陷槽,灯四段地层隶属于台缘带,研究区的灯影组顶界面的构造图见图 1。图 1 中共 9 口完钻井,仅 GS102 井邻近斜坡相带,其余 8 口井均位于台缘相带。由图 1 可,研究区灯四段地层仅发育 3 条小断层,GS1 井、GS9 井、GS12 井、GS6 井等位于构造高(海拔)部位。

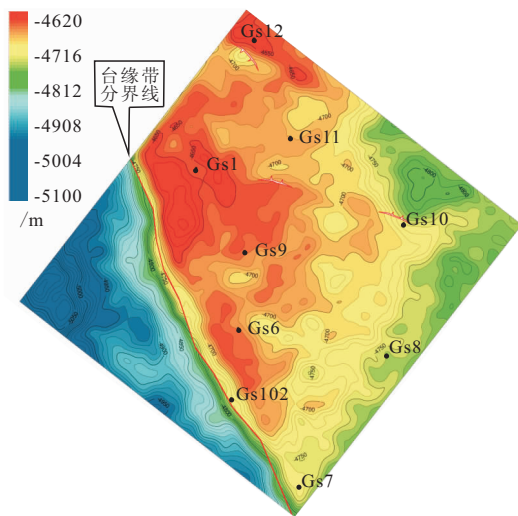


图 1 研究区(GS1 井区)灯影组顶界面构造图
Fig. 1 Structure diagram of the top interface of Dengying formation in the study area (GS1 well area)

前期的地质研究成果表明,研究区内广泛发育丘滩体储层,其地层岩性以藻砂屑白云岩、泥粉晶白云岩、藻叠层白云岩、核形石白云岩和泥质白云岩为主,储集空间以溶洞、溶孔和裂隙为主,是典型的低孔低渗储层(平均孔隙度为 3.78%、平均渗透率为 0.3 mD),且储层非均质性强。图 2 是研究区 9 口完钻井的灯四上段地层和灯四下段地层的储层厚度(基于测井解释成果)与测试日产气量的交汇图,可见,储层厚度与测试日产气量无正相关关系,给开发“甜点区”预测带来了挑战。

2.2 灯四段地层的地震响应特征分析

由图 3 可知,灯四上段地层总体表现为“两峰夹一谷”的特征(灯四顶界面波峰和灯四上段底界面波峰,灯四顶下的波谷),且在 GS1、GS11 和 GS12 井点处的灯四顶界面与灯四上段底界面直接存在弱波峰反射;灯四下段地层总体表现为三根~四根波峰反射(含灯四上段底界面波峰),其地层内部的波峰反射横向连续性较差;灯四下段地层厚度约为灯四上段地层的 2 倍。

常规的灯四上段的储层预测往往采用振幅属性分析或速度(波阻抗)反演分析(图 4 和图 5)。由图 4 可知,GS1、GS11、GS9 和 GS6 井均位于深蓝色区域,而这 4 口井的测试日产气量差异较大;即采用振幅属性不能有效地识别高产气井。由图 5 可知,GS11 井和 GS1 井的速度平均值接近(GS1 与 GS11 井测试日产气量差异大),且低于 GS7 井(GS7 井测试日产气量高于 GS1 和 GS11 井),即采用速度平均值难以区分高产气井与低产气井。

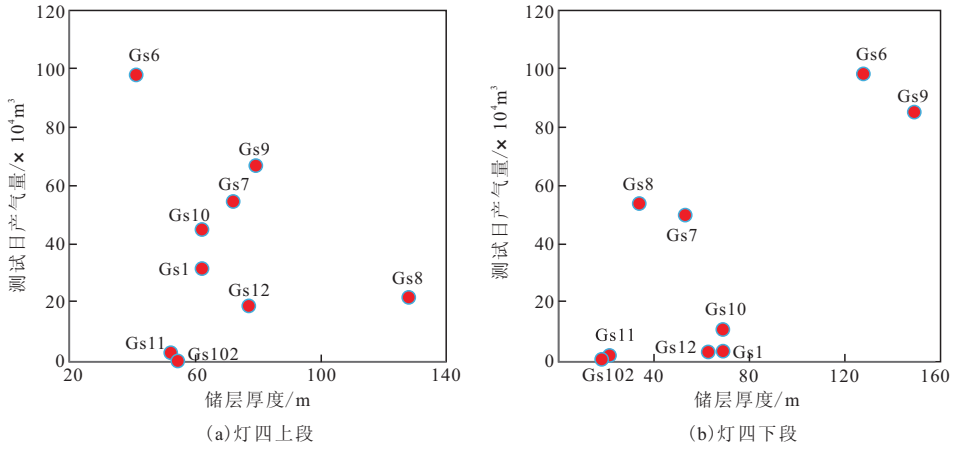


图 2 灯四段储层厚度与测试日产气量交汇图
 Fig. 2 Intersection diagram of reservoir thickness and measured daily gas volume in Deng4 member

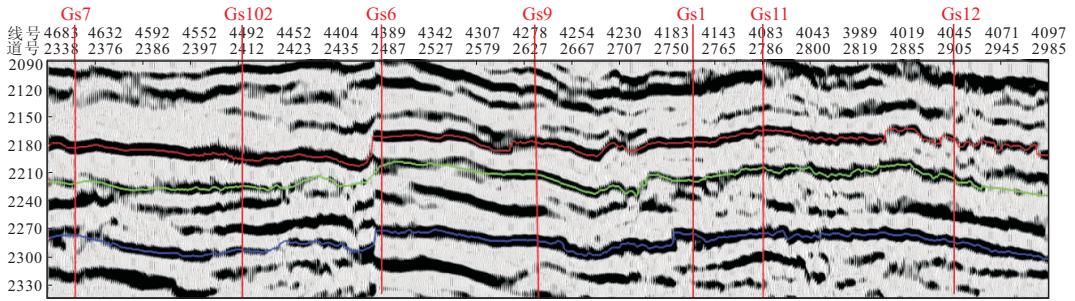


图 3 过研究区 7 口完钻井的连井叠前时间偏移(振幅)剖面图
 Fig. 3 Prestack time migration (amplitude) profiles of 7 wells in the study area

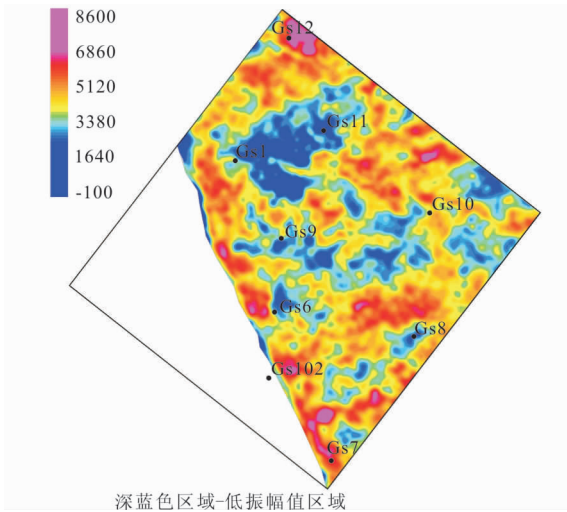


图 4 灯四顶界面波峰振幅平面图
 Fig. 4 Planar graph of peak amplitude at the four top interface of the deng

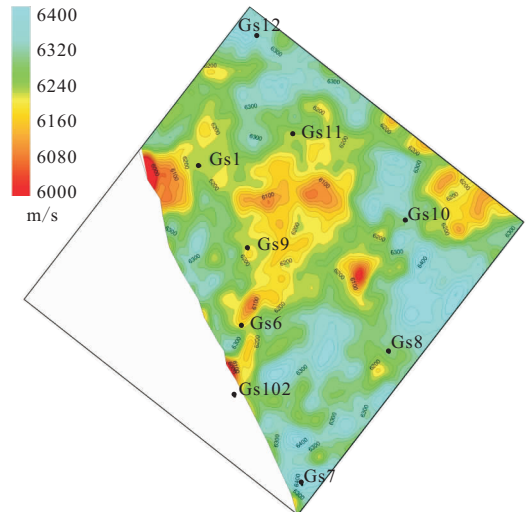


图 5 灯四上段地层速度平均值平面图
 Fig. 5 Average plane plan of stratum velocity in deng4 upper section

2.3 灯四段地层的地震波形分类分析

项目组采用基于自组织神经网络的地震波形分类技术对研究区灯四上段地层(图 3 中的灯四顶界

面至灯四上底界面)和灯四下段地层(图 3 中的灯四上底至灯三底向上 5 ms)进行 12 类地震波形的分类分析,得到了 2 个层段的波形分类平面图,见图 6

表 1 灯四上段波形与测试日产量的分析表

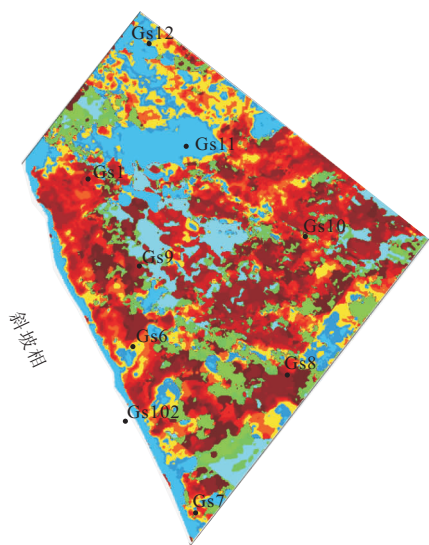
Tab. 1 Analysis of lamp 4 upper waveform and daily output

	GS1	GS6	GS7	GS8	GS9	GS10	GS11	GS12
测试日产气量/ $\times 10^4 \text{m}^3$	32	98	55	22	67	45	3	20
波形类别(图 6(b))	10	7	7	10	11	7	3	6

表 2 灯四下段波形与测试日产量的分析表

Tab. 2 Analysis of the waveform of the fourth lower section of the lamp and the daily output of the test

	GS1	GS6	GS7	GS8	GS9	GS10	GS11	GS12
测试日产气量/ $\times 10^4 \text{m}^3$	3.7	98	50	54	85	11	2	3
波形类别(图 7(b))	4	12	12	8	11	5	3	3



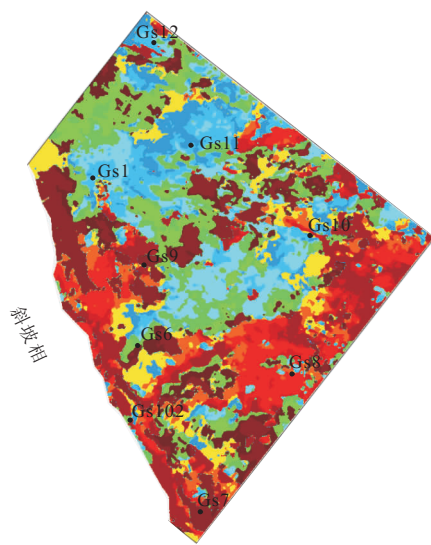
(a) 波形分类平面图



(b) 对应(a)图的波形

图 6 灯四上段波形分类平面图

Fig. 6 Waveform classification plan of deng 4 upper section



(a) 波形分类平面图



(b) 对应(a)图的波形

图 7 灯四下段波形分类平面图

Fig. 7 Waveform classification plan of the fourth lower section of deng

和图 7(根据地质研究认识,斜坡相带的储层不发育或欠发育,重点研究台缘带的波形分类特征)。此外,为了便于分析波形与测试产量的关系,在图 6(b)和图 7(b)中对波形进行了编号。

综合图 6 和表 1 可知,灯四上段地层的测试日产气量小于 $20 \times 10^4 \text{m}^3$ 的完钻井位于第 3 类、4 类、5 类地震波形区域;综合图 7 和表 2 可知,灯四下段地层的测试日产气量小于 $20 \times 10^4 \text{m}^3$ 的完钻井也位于第 3、4、5 类地震波形区域。由此可见,图 6 和图 7 中的天蓝色区域(第 3、4、5 类波形区域)准确地预测了非开发“甜点区”(测试日产气量小于 $20 \times$

10^4m^3),5 个样本点均符合(1 个样本点指 1 口完钻井钻遇的地层,即灯四上段地层和灯四下段地层各 8 个样本点,表 1 和表 2 中共 16 个样本点);红黄色区域(第 7 类至 12 类波形区域)较准确地预测了开发“甜点区”(测试日产气量大于 $50 \times 10^4 \text{m}^3$),11 个样本点的符合率是 81%。

3 结论

1)安岳气田 GS1 井区的台缘带丘滩体储层具有强非均质性特征,其完钻井的测试日产气量差异

大,且研究区广泛发育洞穴型优质储层,开展研究区的开发“甜点区”预测对于灯四段气藏的高效开发至关重要。

2)研究区内完钻井的基于测井解释的储层厚度与测试日产气量无正相关关系,采用常规的振幅属性分析或地震反演方法难以准确地区分高产气井与低产气井。

3)采用基于自组织神经网络的地震波形分类技术,准确地预测了灯四上段和灯四下段的开发“甜点区”,与完钻井的预测符合率高于 80%。该项成果不仅有助于 GS1 井区气藏的高效开发,而且对于安岳气田高石梯一磨溪区块灯四段地层的气藏开发具有积极的指导意义。

参考文献:

- [1] 谷一凡,周路,蒋裕强,等. 四川盆地高石梯区块震旦系灯影组四段储层类型及气井产能模式[J]. 石油学报,2020,41(5):574—583.
GU Y F, ZHOU L, JIANG Y Q, et al. Reservoirs types and gas well productivity models for member 4 of Sinian Dengying formation in Gaoshiti block, Sichuan basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(5): 574—583. (In Chinese)
- [2] 林煜,李春梅,顾雯,等. 深层碳酸盐岩小尺度缝洞储集体地震精细刻画——以四川盆地安岳气田震旦系灯四段为例[J]. 天然气地球科学,2020,31(12):1792—1801.
LIN Y, LI C M, GU W, et al. Seismic fine characterization of deep carbonate fractured—vuggy reservoir: Case study of the 4th member of Sinian Denying formation in Anyue gas Field, Sichuan basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2020, 31(12): 1792—1801. (In Chinese)
- [3] 余果,李海涛,方一竹,等. 安岳气田高石 1 井区上震旦统灯四段气藏开发效果[J]. 天然气技术与经济,2021,15(3):21—28.
YU G, LI H T, FANG Y Z, et al. Development effect of the upper Sinian Dengying 4 gas reservoirs, Gaoshi 1wellblock, Anyue gasfield, Sichuan basin[J]. Natural Gas Technology and Economy, 2021, 15(3): 21—28. (In Chinese)
- [4] 闫海军,邓惠,万玉金,等. 四川盆地磨溪区块灯影组四段强非均质性碳酸盐岩气藏气井产能分布特征及其对开发的指导意义[J]. 天然气地球科学,2020,31(8): 1152—1160.
YAN H J, DENG H, WAN Y J, et al. The gas well productivity distribution characteristics in strong heterogeneitycarbonate gas reservoir in the fourth member of Dengying Formation in Moxi area, Sichuan basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2020, 31(8): 1152—1160. (In Chinese)
- [5] 张明,戴晓峰,庞春晓,等. 川中地区震旦系灯影组台内带优质储层识别及应用[J]. 天然气地球科学,2021,32(5):764—771.
ZHANG M, DAI X F, PANG C X, et al. Identification and application of the gas reservoirs in the intra—platform of the Sinian Dengying formation in central Sichuan basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2021, 32(5): 764—771. (In Chinese)
- [6] 姚爽,阎建国,李雪峰,等. 波形分类分析技术在复杂岩性储层预测中的应用研究——以准噶尔盆地风南地区为例[J]. 物探化探计算技术,2011,33(5):486—490.
YAO S, YAN J G, LI X F, et al. The research and application of dolomitic reservoir prediction by waveform classification technology—A case study of the application in Fengnan area of Junggar basin[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2011, 33(5): 486—490. (In Chinese)
- [7] 闫安菊,阎建国,全紫荆,等. 地震相不同分类方式的作用及在储层预测中的应用[J]. 物探化探计算技术,2013,35(3):258—265.
YAN A J, YAN J G, QUAN Z J, et al. The role of different seismic facies classifications and its application in reservoir prediction[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2013, 35(3): 258—265. (In Chinese)
- [8] 赵明,陈石,Dave Yuen. 基于深度学习卷积神经网络的地震波形自动分类与识别[J]. 地球物理学报,2019,62(1):374—382.
ZHAO M, CHEN S, DAVE YUEN. Waveform classification and seismic recognition by convolution neural network[J]. Chinese J. Geophys, 2019, 62(1): 374—382. (In Chinese)
- [9] 张阳,邱隆伟,李际,等. 基于模糊 C 均值地震属性聚类的沉积相分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2015,39(4):53—61.
ZHANG Y, QIU L W, LI J, et al. Sedimentary facies analysis based on cluster of seismic attributes by fuzzy C—means algorithm[J]. Journal of China Uni-

versity of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39(4): 53-61. (In Chinese)

- [10] 逯宇佳,曹俊兴,刘哲芻,等. 波形分类技术在缝洞型储层流体识别中的应用[J]. 石油学报,2019,40(2): 182-189.

LU Y J, CAO J X, LIU Z G, et al. Application of waveform classification technology for fluid identification in fractured-vuggy reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(2): 182-189. (In Chinese)

Prediction of "sweet spot area" of gas reservoir development in Deng4 member of well GS1 area of Anyue gas field based on waveform classification analysis

SHI Xin¹, ZHU Meng¹, FANG Shi²

(1. Research Institute of Geological Exploration and Development, Chuanqing Drilling Co., LTD., Chengdu 610051, China;

2. Exploration Division, Southwest Oil & Gas Field Company, Chengdu 610095, China)

Abstract: During the development of the deng4 gas reservoir in the GS1 well area of Anyue gas Field, Sichuan basin, influenced by the strong heterogeneity of hill-beach body in platform margin, the tested productivity and stable productivity of development gas wells differ significantly, and neither conventional amplitude attribute nor seismic inversion analysis can identify the development "sweet spot" well. In this paper, based on the analysis of seismic waveform characteristics of deng4 formation, seismic waveform classification technology based on a self-organizing neural network is used to classify stratified strata (deng4 upper section and Deng4 lower section) of deng4 formation in the research area, and the internal relationship between drilling completion productivity and seismic reflection waveform is established. As a result, the development "sweet spot" of the upper and lower sections of lamp 4 is predicted accurately, and the coincidence rate with the prediction of drilling completion is more than 80%. This achievement contributes to the efficient development of gas reservoirs in GS1 well area and has positive guiding significance for the development of gas reservoirs in the Deng4 formation of Gaoshiti-Moxi block in the Anyue gas field.

Keywords: Deng4 gas reservoir ;GS1 well area; waveform classification ;sweet spot prediction