

什邡气田蓬莱镇组气藏测井解释精细模型及老井二次解释应用

田文忠¹, 唐 勇¹, 李兴文¹, 罗紫薇²

¹中国石化西南油气分公司采气一厂, 四川 德阳

²中国石化经纬有限公司西南测控公司, 四川 成都

收稿日期: 2025年9月19日; 录用日期: 2025年11月26日; 发布日期: 2025年12月9日

摘 要

什邡气田蓬莱镇组以三角洲平原与前缘沉积控制, 小层间岩性、物性、电性及含气性(四性)差异显著, 导致气藏评价复杂度高。本研究基于岩心数据, 系统分析了蓬一、蓬二、蓬三气藏储层四性关系, 分小层构建了孔隙度和渗透率测井解释精细模型。通过模型对什邡气田部分生产数据与初期解释不符的单井进行了二次评价, 二次解释结论与实际测试情况一致。结果表明: 分小层建立的测井解释精细模型具有较高精度, 该模型为老井潜力层识别与开发方案优化提供了可靠依据, 对气藏稳产具有重要意义。

关键词

什邡气田, 蓬莱镇组, 四性特征, 测井精细模型, 老井挖潜

Refined Log Interpretation Model and Secondary Evaluation of Old Wells in the Penglaizhen Formation Gas Reservoir, Shifang Gas Field

Wenzhong Tian¹, Yong Tang¹, Xingwen Li¹, Ziwei Luo²

¹Gas Production Plant 1, Sinopec Southwest Oil & Gas Company, Deyang Sichuan

²Southwest Logging & Control Company, SINOPEC Matrix Corporation, Chengdu Sichuan

Received: September 19, 2025; accepted: November 26, 2025; published: December 9, 2025

Abstract

The Penglaizhen Formation in the Shifang Gas Field is dominated by delta plain and delta front

文章引用: 田文忠, 唐勇, 李兴文, 罗紫薇. 什邡气田蓬莱镇组气藏测井解释精细模型及老井二次解释应用[J]. 石油天然气学报, 2025, 47(4): 645-652. DOI: 10.12677/jogt.2025.474073

subfacies. However, due to rapid variations in the four-property characteristics across different sublayers, the gas-bearing behavior of the entire reservoir exhibits significant complexity. Based on core data, this study systematically investigates the relationships among lithology, physical properties, electrical properties, and gas-bearing potential for the Peng-1, Peng-2, and Peng-3 gas reservoirs. A refined log interpretation model for porosity and permeability was established for each sublayer in the target intervals. The model was applied to conduct secondary log interpretation for wells in the Shifang Gas Field where initial log interpretations conflicted with production results. The revised interpretations align closely with actual test data. The results demonstrate that the sublayer-specific refined log interpretation model achieves high accuracy, providing reliable geological parameters for re-evaluating legacy wells. This approach holds practical significance for sustaining stable production in the Penglaizhen Formation gas reservoirs of the Shifang Gas Field.

Keywords

Shifang Gas Field, Penglaizhen Formation, Four-Property Characteristics, Refined Log Interpretation Model, Legacy Well Potential Tapping

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

什邡气田处于四川盆地川西坳陷中段北斜坡带,断层整体不发育,属于典型的向斜构造,北陡南缓。什邡气田蓬莱镇组以三角洲平原及前缘沉积亚相为主,其中分流河道砂体是主要的储集砂体。该区块初步形成了“相带控砂、河道控储、断砂输导、差异聚集、岩性成藏、甜点控产”的地质认识。由于小层间储层四性差异显著,同一河道不同部位含气性和产能差异大,导致气藏评价面临较大挑战。在测井解释方面,传统方法多依赖于经验模型和区域性统计关系,难以适应强非均质性储层的精细刻画。近年来,随着核磁共振、电成像等高端测井技术的应用,以及机器学习算法在储层参数预测中的逐步推广,储层测井评价精度有所提升。然而,在蓬莱镇组这类多期叠置、岩性变化快的三角洲储层中,现有模型仍存在适用性差、分层能力不足等问题,尤其缺乏针对小层级单元的“四性”耦合关系系统分析。因此,急需针对典型井开展四性和储层参数等精细研究,明确蓬二、蓬三气藏主力层有效储层下限及储层评价标准,对目标井进行二次测井解释。开展什邡气田蓬莱镇组气藏储层测井精细评价攻关,构建高精度测井解释模型,对气藏稳产开发具有实际意义。

2. 储层四性特征研究

“四性”是指储层的岩性、物性、电性及含油气性,储层四性特征的研究是建立储层参数测井解释模型和识别油气水层的基础[1]-[3]。

2.1. 岩性特征

岩性是储层四性特征的基础。研究区岩性主要由泥岩、粉砂质泥岩、细粒岩屑砂岩、粉砂岩互层组成。纵向分布上,JP1至JP4石英含量降低,长石含量增加,其中JP2、JP3下部以及JP4上部长石富集而岩屑较少,JP4下部岩屑含量较高(图1)。岩屑组成显示,蓬一~蓬三段含沉积岩岩屑及少量变质岩岩屑,蓬四段变质岩岩屑罕见。

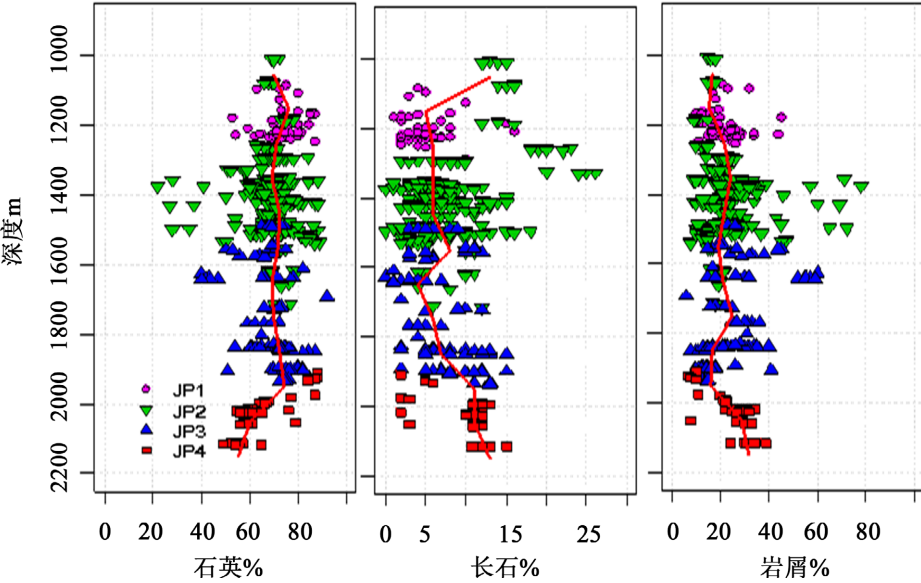


Figure 1. Vertical distribution of quartz, feldspar and rock cuttings in different sand groups of Penglaizhen Formation in Shifang gas field
图 1. 什邡气田蓬莱镇组不同砂组石英、长石、岩屑含量纵向分布图

2.2. 物性特征

岩心分析表明，蓬一至蓬三气藏储层孔隙度 9.0%~15.0% (均值 9.5%)，渗透率 0.1~0.8 mD (均值 0.61 mD)，属于低 - 近致密储层。主力层物性差异显著：JP₂³ 物性最好，孔隙度以 10%~16% 为主，渗透率 1~2 mD 为主；JP₂² 物性次之，具双峰分布特征；JP₂⁵、JP₃⁸ 较差，孔隙度以 8%~12% 为主，渗透率 0.1~0.4 mD 为主(见图 2、图 3)。

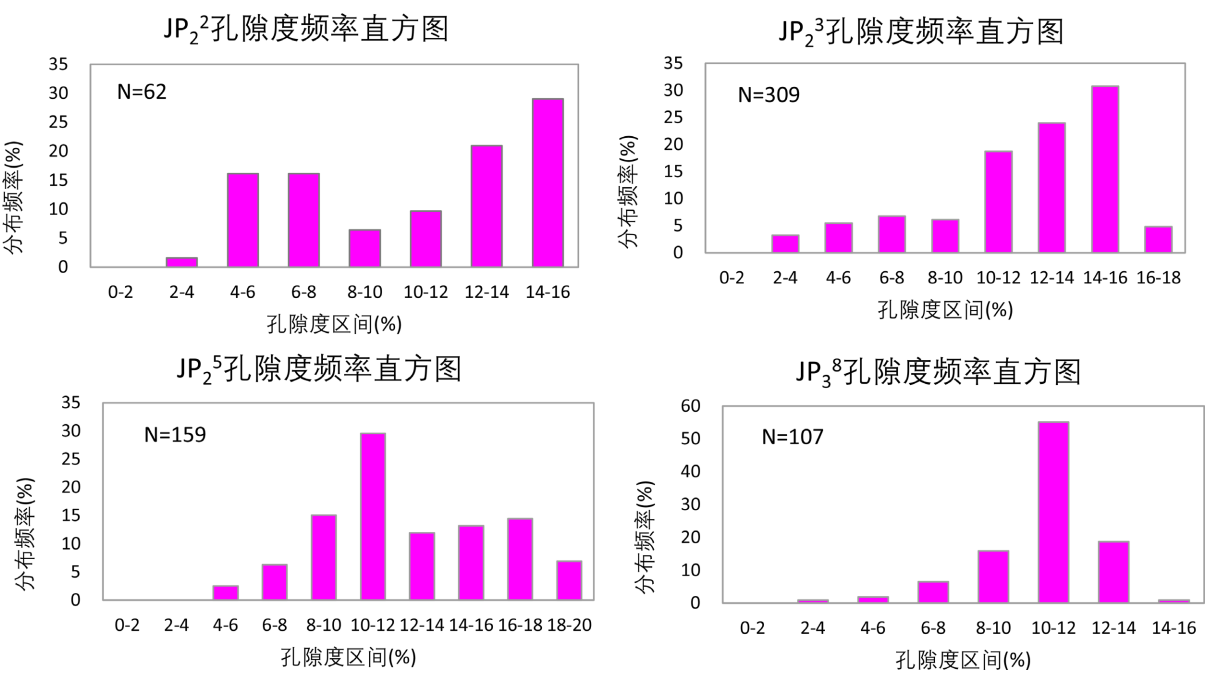


Figure 2. Pore histogram of JP₂², JP₂³, JP₂⁵ and JP₃⁸ gas reservoirs in Shifang Block
图 2. 什邡区块 JP₂²、JP₂³、JP₂⁵、JP₃⁸ 气藏孔隙度直方图

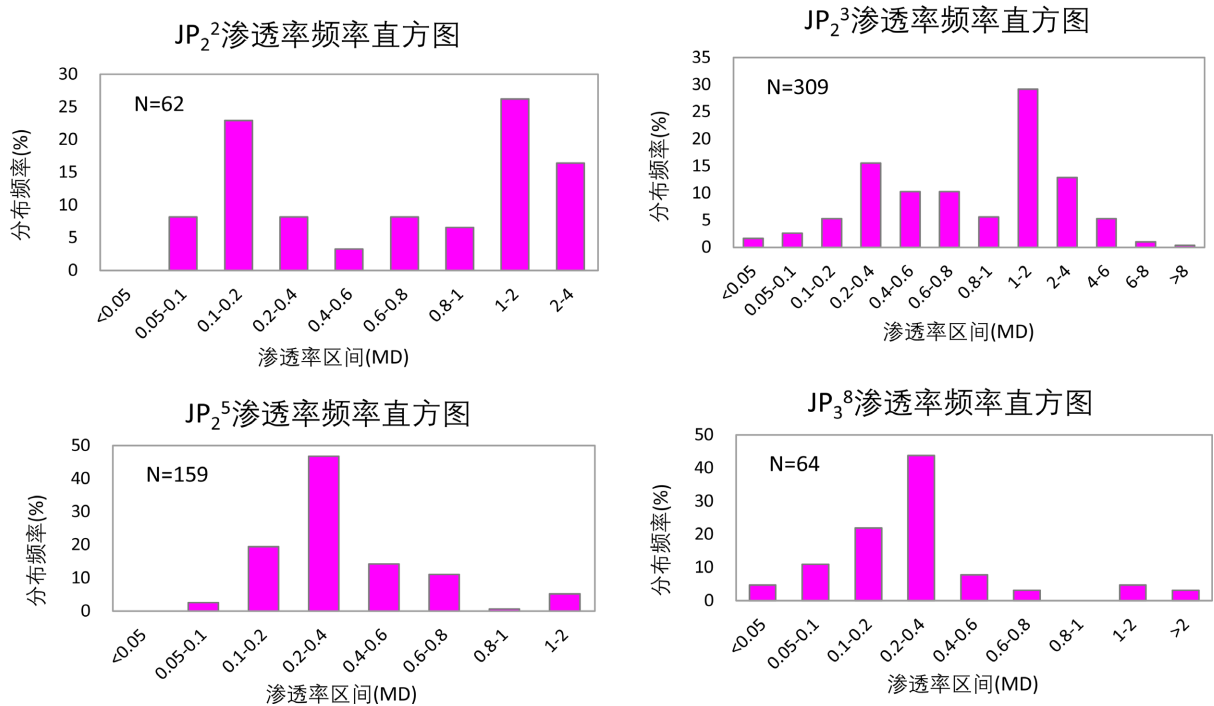


Figure 3. Permeability histogram of JP₂², JP₂³, JP₂⁵ and JP₃⁸ gas reservoirs in Shifang Block
图 3. 什邡区块 JP₂²、JP₂³、JP₂⁵、JP₃⁸ 气藏渗透率直方图

2.3. 电性特征

电性特征是岩性、物性、含油气性的综合反映[4]。研究区蓬莱镇组含气储层测井响应特征为“三低两高一正一负”。储层段表现为自然伽马低值(55~80 API)，声波时差为中高值(66~90 μs/ft)，中子为中低值(6%~16%)，密度曲线为中低值(2.23~2.52 g/cm³)，自然电位负异常明显，双侧向曲线常呈正幅度差，深侧向值一般为 10~45 Ω·m。

2.4. 含气性特征

什邡蓬莱镇组共有生产井 137 口，累产气约 $26.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ；其中蓬一气藏累产气约 $0.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，蓬二气藏累产气约 $12.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，蓬三气藏累产气约 $12.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，蓬四气藏累产气约 $0.25 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

3. 储层测井解释精细模型

准确评价储层含气性的关键是构建储层参数解释模型。基于岩心资料，通过深度校正实现岩心 - 测井数据精确配准。再结合储层四性特征分析，采用岩心 - 测井标定技术，建立了分小层的储层测井精细模型。

3.1. 泥质含量解释模型

测井解释中，泥质含量可通过自然伽马值表征，基于 X 衍射和扫描电镜分析的粘土矿物含量，利用自然伽马相对值法[5]建立计算模型。

$$SH = (GR - GR_{\min}) / (GR_{\max} - GR_{\min}); V_{sh} = (2^{GCUR \cdot SH} - 1) / (2^{GCUR} - 1)$$

式中：GR、GR_{min}、GR_{max} 分别为解释层、纯砂岩、纯泥页岩自然伽马测井值，API 单位；GCUR 为经验指数，新地层 3.7，老地层 2.0。

3.2. 孔隙度解释模型

岩心数据表明孔隙度与声波时差显著相关，故基于声波曲线建立分小层的孔隙度模型(表 1)。针对气侵导致声波高跳的异常井段，采用声波 - 中子交会求取孔隙度(图 4)。

Table 1. Different pore degree models of Shifang gas field
表 1. 什邡气田不同小层孔隙度模型

砂组	孔隙度模型	相关系数
JP ₂ ²	POR = 0.6937 * AC - 42.958	0.743
JP ₂ ³	POR = 0.5236 * AC - 30.44	0.806
JP ₂ ⁵	POR = 0.5167 * AC - 30.63	0.882
JP ₃ ⁸	POR = 0.4710 * AC - 25.903	0.667

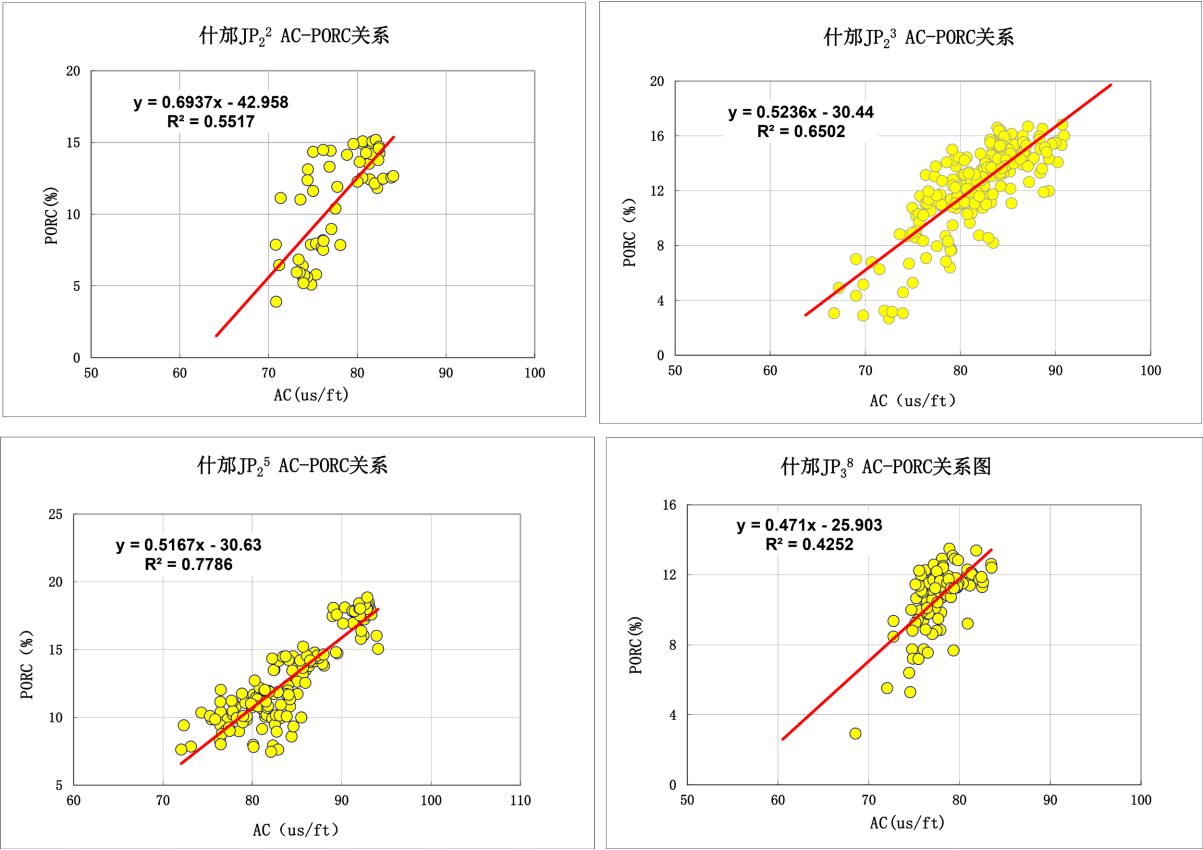


Figure 4. Sound wave and core analysis porosity regression relationship of JP₂², JP₂³, JP₂⁵ and JP₃⁸ gas reservoirs in Shifang gas field
图 4. 什邡气田 JP₂²、JP₂³、JP₂⁵、JP₃⁸ 气藏声波与岩心分析孔隙度回归关系图

3.3. 渗透率解释模型

研究区主要为孔隙性储层，岩心孔隙度和渗透率存在显著相关性，通过拟合岩心孔隙度与渗透率，分小层建立了渗透率模型(表 2、图 5)。

Table 2. Different small layer permeability models of Shifang gas field
表 2. 什邡气田不同小层渗透率模型

砂组	渗透率模型	相关系数
JP ₂ ²	PERM = 0.0159e * (0.3335 * POR)	0.981
JP ₂ ³	PERM = 0.0283e * (0.2768 * POR)	0.844
JP ₂ ⁵	PERM = 0.0520e * (0.1456 * POR)	0.814
JP ₃ ⁸	PERM = 0.0086e * (0.3022 * POR)	0.644

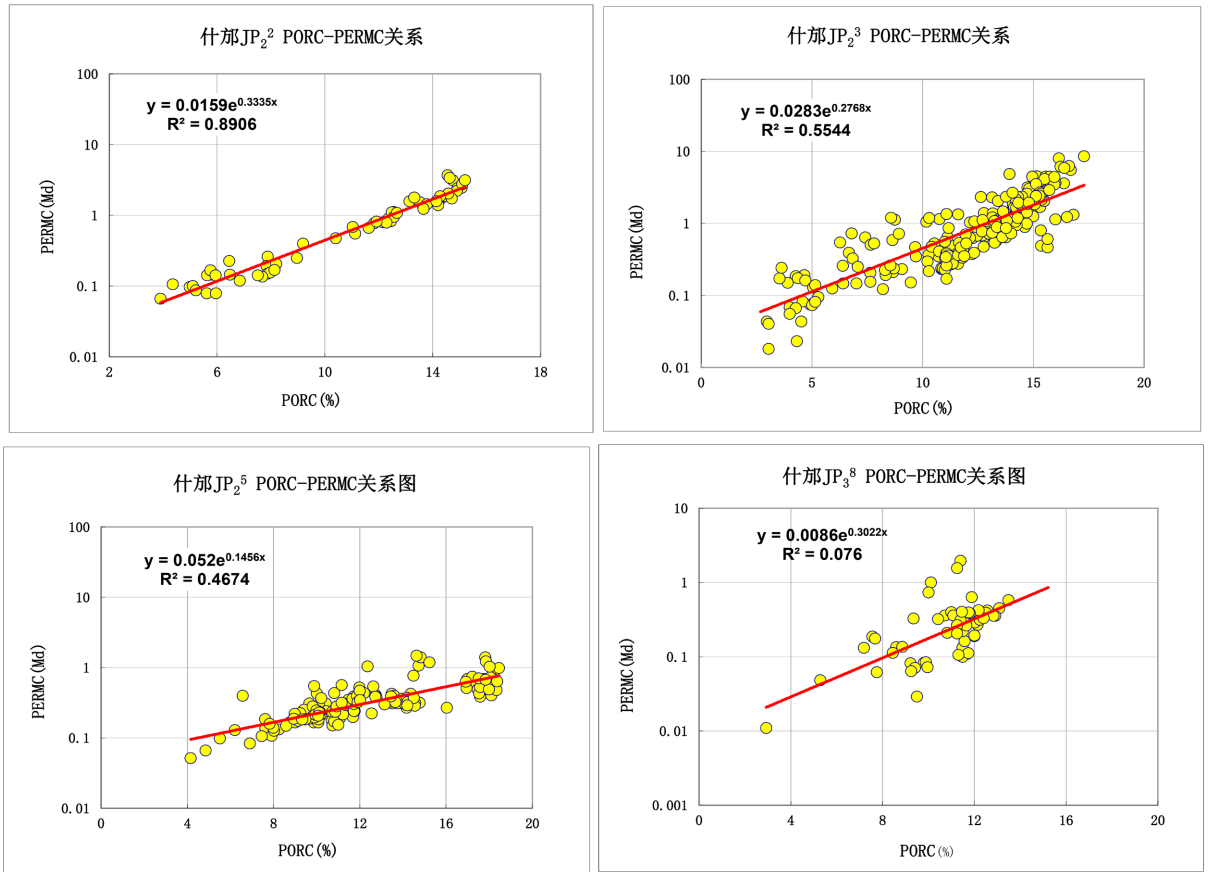


Figure 5. Correlation between permeability and porosity of core in JP₂², JP₂³, JP₂⁵ and JP₃⁸ reservoirs in Shifang gas field
图 5. 什邡气田 JP₂²、JP₂³、JP₂⁵、JP₃⁸ 气藏岩心渗透率与岩心孔隙度相关关系图

4. 模型应用

本研究构建的测井精细模型显著提升了储层物性参数的解释精度。应用该模型对 14 口生产成果与初期测井解释结论不符合的井进行了测井二次解释。

什邡 305 井 JP₃¹⁰ 砂组测井二次解释的孔隙度和渗透率与前期解释成果相比变化较大。孔隙度由 12.1% 降至 10.1%，渗透率由 0.67 mD 降低至 0.21 mD，含气饱和度 49% 降低至 42%。前期解释结论为气层，测井二次解释结论为气水同层。该层测试产气 0.0628 万方/天，产水 2.55 方/天，二次解释结论与实际测试情况一致(图 6)。

马蓬 74 井 JP₂⁵ 砂组射孔井段 1734.0~1740.0 m 的孔隙度由 11.0% 降至 8.0%，渗透率由 0.10 mD 升高

至 0.14 mD, 含气饱和度明显降低(图 7)。前期解释结论为差气层 + 含气层, 二次解释结论为含气层。该层测试未获产, 与二次解释结论更加相符。

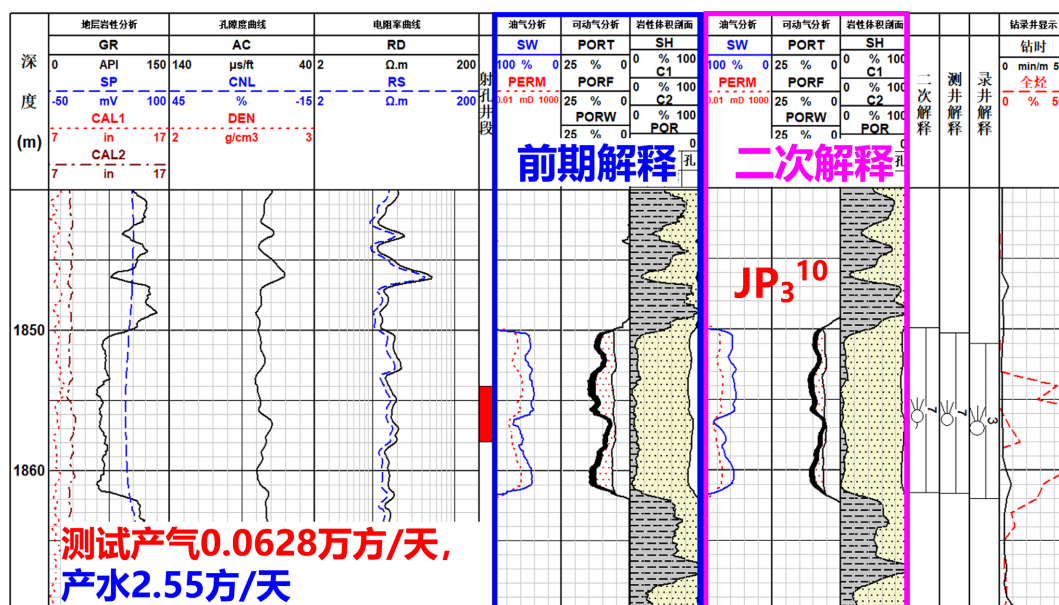


Figure 6. Results of secondary interpretation of well logging in Shifang 305

图 6. 什邡 305 井测井二次解释成果图

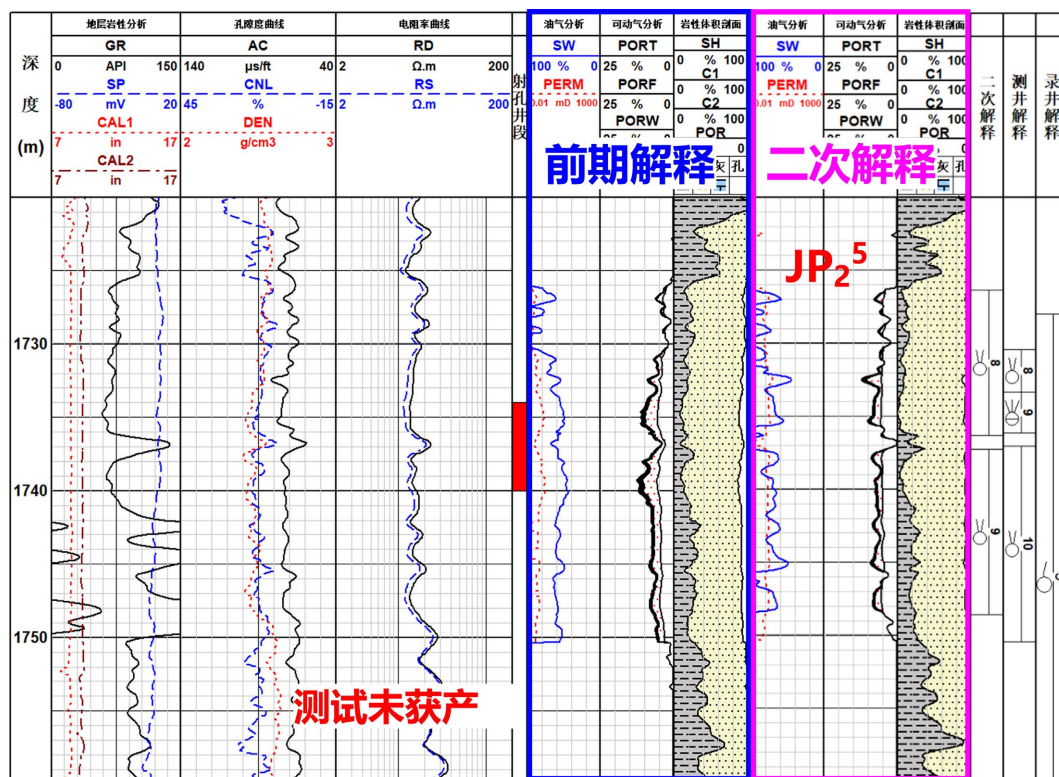


Figure 7. Results of secondary interpretation of well logging in Mapeng 74

图 7. 马蓬 74 井测井二次解释成果图

什邡气田蓬莱镇组通过测井精细解释模型的建立与应用,实现了老井潜力层的精准识别与高效开发。什邡气田未动用层的二次测井精细解释对挖潜工作具有重要指导作用,能够精准识别潜力层、优化挖潜目标、指导增产措施、降低开发风险、延长气田生命周期,并推动技术进步,从而提升气田开发效益。

5. 结论

(1) 对什邡气田蓬莱镇组气藏单井的“四性”关系展开了精细研究,分小层分别建立了蓬一、蓬二、蓬三气藏的“四性”关系,为建立测井解释精细模型奠定基础。

(2) 建立了目的层段 JP_2^2 、 JP_2^3 、 JP_2^5 、 JP_3^8 气藏的孔隙度、渗透率测井解释精细模型,模型精度较高,实际应用效果较好。

(3) 应用模型对什邡气田部分生产成果与初期测井解释结论不符合的单井进行了测井二次解释,二次解释结论与实际测试情况一致,为该区块老井挖潜工作提供了精确地质参数。

参考文献

- [1] 陶佳丽,秦启荣,林军,等. 克拉玛依油田 J1b5 储层测井精细解释模型[J]. 断块油气田, 2013(20): 598-601.
- [2] 李延丽. 柴达木盆地游园沟油田中浅层油藏四性关系研究[J]. 天然气地球科学, 2006(3): 402-406.
- [3] 赵为永,陈宏民,李松东,等. 乌南油田 N₂₁ 油藏储层“四性”关系研究[J]. 断块油气田, 2008(4): 56-59.
- [4] 张彬彬,胡望水,王玮. 梁家构造带万昌组储层测井精细解释模型[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(24): 156-162.
- [5] 洪有密. 测井原理与综合解释[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 209-215.