

多层砂岩老油田储层参数测井解释

叶惠民¹, 付维署², 吴洁²

1. 中国石化国际石油勘探开发有限公司, 北京 100083
2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要 哥伦比亚达莱纳盆地 V 油田砂泥岩频繁交互、含油井段长、层系多、油水关系复杂, 主要含油层系 T 组、G 组地层测井资料不全, 解释难度大。为了对 V 油田建立储层参数模型、进行系统的油藏数值模拟、对油田的进一步开发潜力做准确预测, 采用分测井系列细分层系的储层参数测井解释方法, 以取心井资料为基础, 建立了分测井系列细分层系的储层精细解释模型; 研究了岩心孔隙度与密度、自然电位幅度差、自然伽玛之间的关系; 建立了各层系孔隙度、渗透率优选模型; 根据建立的孔隙度、渗透率模型, 对测井资料进行处理解释, 求取了该油田储层孔隙度、渗透率值。

关键词 储层参数; 孔隙度; 自然电位幅度差; 多层砂岩; 老油田

中图分类号 P631.8

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)09-0052-07

Reservoir Parameter Interpretation Model Study of Mature Oilfield with Multi-target Stratum

YE Huimin¹, FU Weishu², WU Jie²

1. Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 100083, China
2. Sinopec Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China

Abstract The V field is a mature oilfield with multi-target stratum and sandstone-mudstone interbedding. The lack of porosity logging data in most wells is its typical feature. Because sedimentary environment, lithology and petrophysical property are different in different formation, the method of establishing reservoir parameter interpretation models for different logging suit and different formation is viable. According to core analysis data, the relationship of core porosity with density, spontaneous potential amplitude difference and gamma are studied respectively on the basis of logging data preprocess, and the relationship of core porosity with core permeability for each zone are also studied. Based on porosity and permeability interpretation model of each zone, the reservoir parameters of each zone are calculated accurately for every well in the V field. It lays the foundation for quantitative researches on reservoir geology and reservoir adjustment plan.

Keywords reservoir parameter; porosity; spontaneous potential amplitude difference; multi-layer sandstone; mature field

0 引言

V 油田位于哥伦比亚马格达莱纳盆地中部, 是近年来中国石油化工股份有限公司走向海外市场合作开发的一个高含水老油田, 面积 32km²。1947 年 1 月开始投产, 目前油田开发已处于中后期。该油田自下而上主要发育白垩系、古近系、新近系—第四系地层, 其中古近系始新统 G 组、渐新统 T 组为主要含油层系。T 组、G 组地层分为 12 个砂层组(T₁、T_A、T_B、T_C、T_D、T_E、T_F、G_I、G_{II}、G_{III}、G_{IV}、G_V), 厚约 1097m, 成岩作用较弱, 砂泥岩频繁交互, 含油井段长、层系多、油水关系复杂。

V 油田开发历史很长, 但油田研究基础薄弱, 未对其进行系统的开发地质研究, 测井系列不匹配、测井曲线不全, 仅对 20 世纪 60 年代前完钻的井进行了自然电位 (SP) 及电位测井, 对 2004 年后完钻的井进行了自然伽玛 (GR)、常规感应测井和孔隙度测井, 对期间完钻的井仅进行了自然伽玛、常规感应测井, 测井解释难度大。为了对 V 油田建立储层参数模型、进行系统地油藏数值模拟、准确预测油田开发潜力, 细分岩性、层系, 对不同测井系列建立测井解释模型是解决复杂储层、复杂测井系列的储层参数解释的有效途径^[1-10]。

收稿日期: 2009-12-30

作者简介: 叶惠民, 高级工程师, 研究方向为开发地质学与油气田开发, 电子信箱: hmye@sipe.cn; 付维署 (通信作者), 高级工程师, 研究方向为测井, 电子信箱: fws_jh@pepris.com

本研究以取心井为基础,建立了分测井系列细分层系的储集层精细解释模型,研究岩心孔隙度与密度、自然电位幅度差、自然伽玛之间的关系,并建立了各层位孔隙度模型和渗透率模型,为 V 油田的定量研究奠定了基础。

1 测井资料预处理与标准化

测井资料预处理及标准化,即消除非地质因素对测井数据的影响,是保证测井解释结果可靠的前提。该油田由于各类钻井年代跨度逾 60 年,各口井测井资料质量差异悬殊。测井资料预处理与标准化主要分两步进行:① 重点对早年的测井资料进行各种预处理,达到质量控制目的;② 对不同时期的测井资料进行标准化处理,达到统一刻度的目的。

该地区早期测井资料受野外测井作业和环境的影响,同一井的测井曲线很难实现深度的一致性,测井曲线幅度受到许多非地层的测量因素的影响。测井资料预处理首先对测井曲线进行质量控制,并进行曲线编辑、深度校正(包括曲线深度校正及岩心深度归位)、环境校正、自然电位(SP)基线偏移校正及归一化等预处理(图 1)。由图 1(a)可见,校深前 GR 与 SP 曲线间深度明显错位,校深后 GR 与 SP 曲线深度一致性很好。由图 1(b)可见,SP 基线偏移校正前,上部、下部曲线基线明显偏差,校正后,上下部基线基本一致。

鉴于 V 油田 GR 曲线值范围差异很大,分别在 0~5、10~60、0~200、0~300 不等,井与井之间可对比性差,对 GR 进行归一化处理(图 1(c)),将曲线值范围归一化到 0~100。

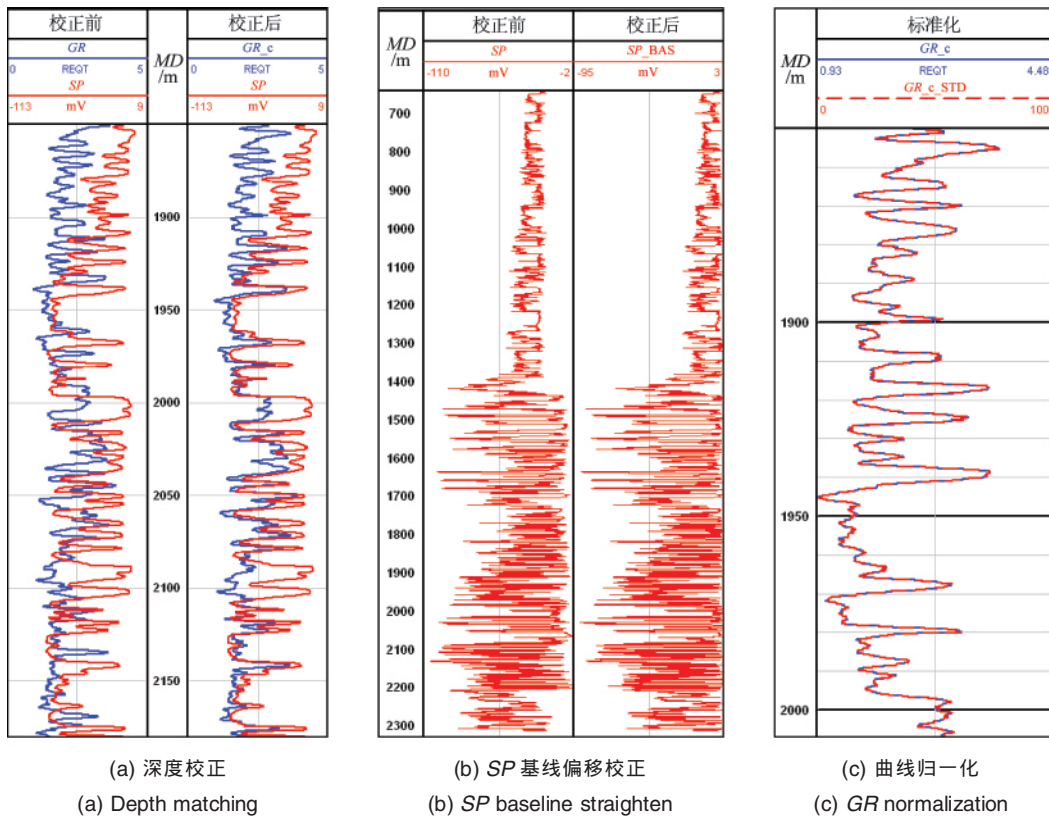


图 1 测井数据预处理与标准化示例
Fig. 1 Logging data pre-processing

2 储层参数解释模型

V 油田共有 23 口取心井,取心层位涉及 G_I 、 G_{II} 、 G_{III} 、 G_{IV} 、 G_V 、 T_I 、 T_A 、 T_B 、 T_C 、 T_D 、 T_E 、 T_F 。其中 G 组地层取心井 21 口,取样 1310 块;T 组地层取心井 7 口,取样 185 块。

根据 V 油田各层位岩心物性分析数据(表 1),从孔隙度中值、渗透率中值角度分析,层位 T_B 、 T_C 、 T_D 物性相对较好, G_I 、 G_{II} 、 G_{III} 次之, G_{IV} 、 G_V 物性相对较差。沉积相研究表明,T 组地层为前辫状河三角洲及辫状河三角洲前缘沉积; G_I 、 G_{II} 、 G_{III} 砂层组为辫状河三角洲平原沉积,以砂砾岩为主; G_{IV} 、 G_V 砂层组为

辫状河三角洲前缘沉积,以砂岩为主。各砂层组沉积环境、岩性及物性具有明显的差异性,需分层位建立储层参数解释模型。

该油田 299 口井的测井资料中,只有 3 口井有声波时差测井曲线,37 口井有密度和中子测井曲线。其余 262 口无孔隙度测井曲线井中,既有 SP 又有 GR 数据的有 161 口井,只有 SP 数据的有 62 口井,只有 GR 数据的有 72 口井。除利用常规的物性曲线外,还需利用 SP 或 GR 曲线对该区进行储层参数解释。

表 1 V 油田物性分析统计
Table 1 Statistics of core data in V field

地层	孔隙度 中值/%	渗透率中值 / $10^{-3}\mu\text{m}^2$	样品数
T _A	21.1	11.8	34
T _B	25.4	618	81
T _C	26.3	518	9
T _D	23.4	425	30
T _E	20.7	147	6
T _F	19.7	176.2	25
G _I	21.9	359	280
G _{II}	21	266.5	245
G _{III}	21.5	377	163
G _{IV}	18.2	83	240
G _V	19.2	123	382

利用 23 口取心井资料, 分 T 组、G_I、G_{II}、G_{III}、G_{IV}、G_V 砂层组, 分别统计岩心实测孔隙度与密度 (RHOB)、自然电位幅度差 (ΔSP) 及归一化自然伽玛 (GR_{SD}) 等值之间的关系, 分测井系列细分层系建立储层参数解释模型。

2.1 孔隙度解释模

1) 密度法。取心井中只有 V_0297 井有密度测井, 用该井

的岩心分析孔隙度与密度测井数据, 分别建立 T 及 G 组地层孔隙度计算模型 (图 2)。

图 2(a): $\Phi_{\text{core}} = -60.985RHOB + 162, R=0.84$ 。

图 2(b): $\Phi_{\text{core}} = -65.957RHOB + 175, R=0.8$ 。

其中, Φ_{core} 为岩心分析孔隙度, %; RHOB 为密度测井值, g/cm^3 ; R 为相关系数。

2) 自然电位幅度差法。取心井中 19 口井有 SP 曲线。根据岩心分析孔隙度, 研究其与 ΔSP 之间的关系, 分别建立 T 及 G 组地层孔隙度计算模型 (图 3)。

图 3(a): $\Phi_{\text{core}} = 0.128 \Delta SP + 20.709, R=0.72$ 。

图 3(b): $\Phi_{\text{core}} = 0.2176 \Delta SP + 11.863, R=0.85$ 。

图 3(c): $\Phi_{\text{core}} = 0.2971 \Delta SP + 6.7528, R=0.72$ 。

图 3(d): $\Phi_{\text{core}} = 0.2416 \Delta SP + 15.032, R=0.85$ 。

图 3(e): $\Phi_{\text{core}} = 0.15 \Delta SP + 13.755, R=0.84$ 。

其中, ΔSP 为自然电位幅度差, $\Delta SP = |SP - SP_{\text{基线}}|, \text{mV}$ 。

3) 自然伽玛法。取心井中 10 口井有 GR 曲线。根据岩心分析孔隙度, 研究其与归一化后的自然伽玛 (GR_{SD}) 之间的关系, 分别建立 T 组及 G 组地层孔隙度计算模型 (图 4)。

图 4(a): $\Phi_{\text{core}} = -0.2217GR_{SD} + 27.598, R=0.71$ 。

图 4(b): $\Phi_{\text{core}} = -0.239GR_{SD} + 26.498, R=0.72$ 。

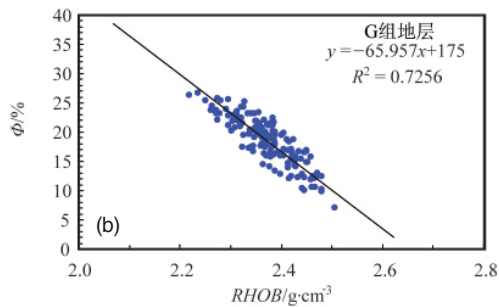
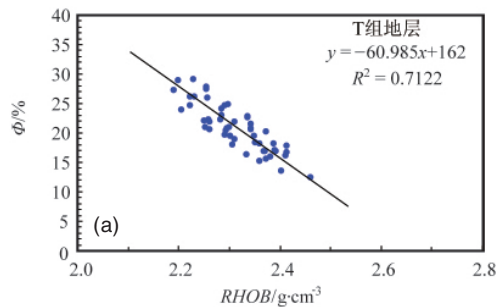


图 2 岩心孔隙度与测井密度交汇

Fig. 2 Cross-plot of core porosity and density

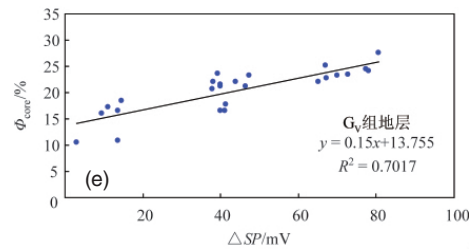
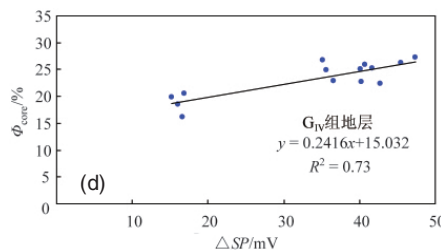
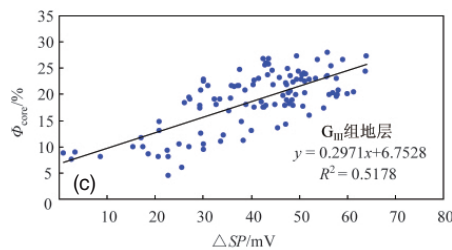
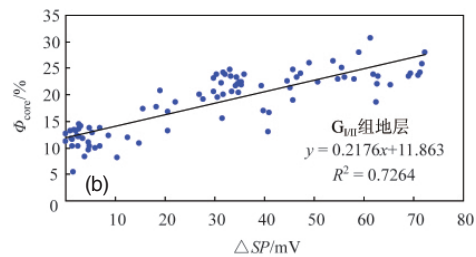
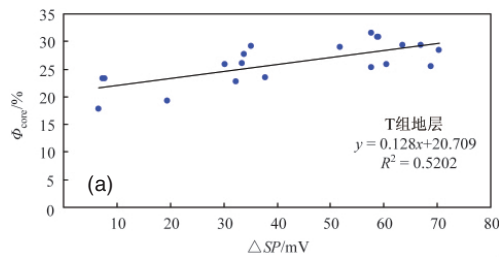


图 3 岩心孔隙度与自然电位幅度差交汇

Fig. 3 Cross-plot of core porosity and ΔSP

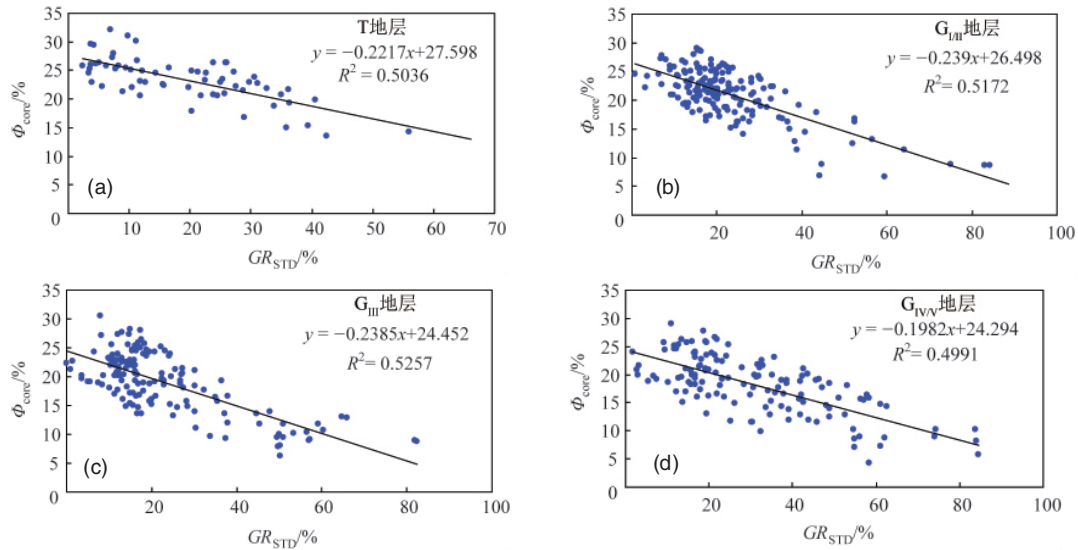


图 4 岩心孔隙度与归一化自然伽玛交汇

Fig. 4 Cross-plot of core porosity and GR_{STD}

图 4(c): $\Phi_{core} = -0.2385GR_{STD} + 24.452, R = 0.73$ 。

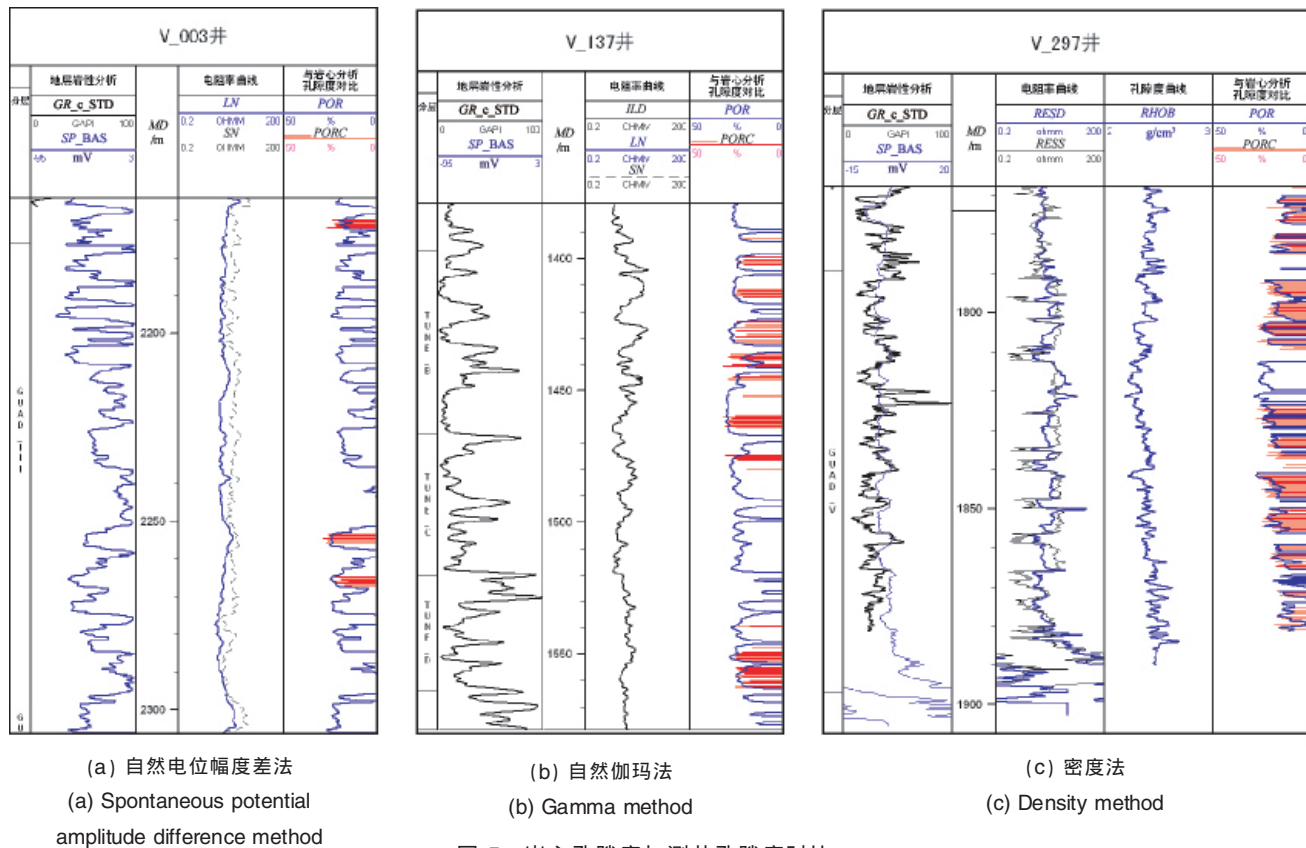
图 4(d): $\Phi_{core} = -0.1982GR_{STD} + 24.294, R = 0.71$ 。

其中, GR_{STD} 为归一化后的自然伽玛, %。

4) 孔隙度模型。优选与岩心实测孔隙度的对比表明 (图 5), 用密度、自然电位和自然伽玛曲线计算的孔隙度都非常接近岩心孔隙度, 说明用这 3 种测井曲线计算的孔隙度可信。

进一步研究当同一口井都具备这 3 种测井曲线时孔隙

度计算模型的优选问题。图 6(a) 为新井 VEL_0297 井用密度法、自然电位幅度差法、自然伽玛法计算孔隙度对比图, 密度模型计算的孔隙度与岩心孔隙度最接近, 其次是自然伽玛模型。由于 2000 年后新钻井的 SP 曲线与老井的 SP 曲线差距较大, 用自然电位幅度差法计算的孔隙度误差最大。图 6(b) 为完钻年头较早的老井 VEL_0006 井自然电位幅度差法、自然伽玛法计算孔隙度对比图。对于老井, 在渗透层处, 自然电



(a) 自然电位幅度差法
(a) Spontaneous potential amplitude difference method
(b) 自然伽玛法
(b) Gamma method
(c) 密度法
(c) Density method

图 5 岩心孔隙度与测井孔隙度对比

Fig. 5 Comparison between core porosity and logging porosity

位幅度差法、自然伽玛法计算地孔隙度较接近;在非渗透层处,SP比GR曲线能更好地反映储层物性,鉴于此,应优先选用SP计算孔隙度。

2.2 渗透率解释模型

根据23口井岩心分析数据,对T组及G组岩心孔隙度与渗透率数据进行回归,建立各层位渗透率解释模型(图7)。

图7(a): $K=9 \times 10^{-6} \Phi^{5.6283}$, $R=0.75$ 。

图7(b): $K=3 \times 10^{-5} \Phi^{5.3138}$, $R=0.75$ 。

图7(c): $K=5 \times 10^{-5} \Phi^{5.116}$, $R=0.77$ 。

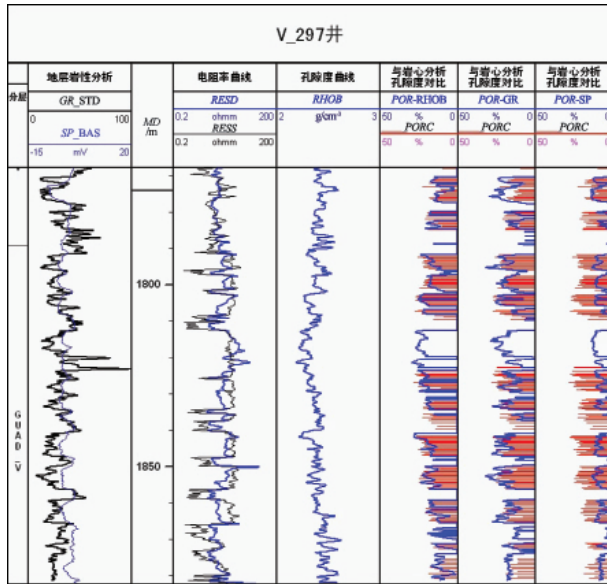
图7(d): $K=6 \times 10^{-4} \Phi^{4.2931}$, $R=0.71$ 。

图7(e): $K=3 \times 10^{-6} \Phi^{6.0844}$, $R=0.79$ 。

图7(f): $K=2 \times 10^{-4} \Phi^{4.6436}$, $R=0.78$ 。

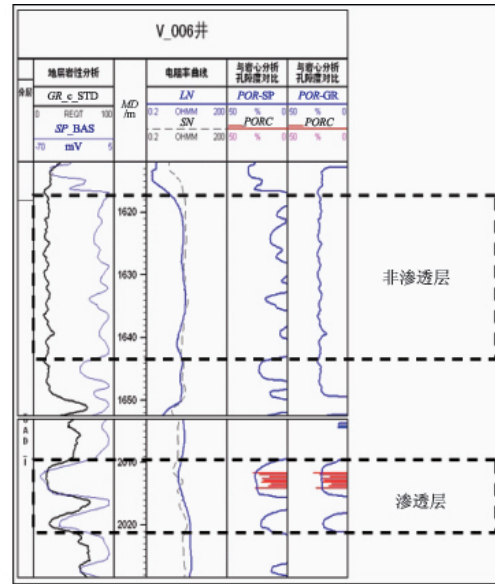
其中, K 为岩心渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$; Φ 为岩心孔隙度, %。

图8为岩心渗透率与测井渗透率对比图,求取的测井渗透率与岩心渗透率的误差均在一个数量级内,可满足地质评价的要求。



(a) 密度法与自然电位幅度差法、自然伽玛法计算孔隙度对比

(a) Comparison of porosity calculated by density, spontaneous potential amplitude difference and Gamma methods



(b) 自然电位幅度差法与自然伽玛法计算孔隙度对比

(b) Comparison of porosity calculated by spontaneous potential amplitude difference and Gamma methods

图6 密度、自然电位幅度差及自然伽玛孔隙度模型计算孔隙度对比

Fig. 6 Comparison of porosity calculated by density, spontaneous potential amplitude difference and Gamma porosity models

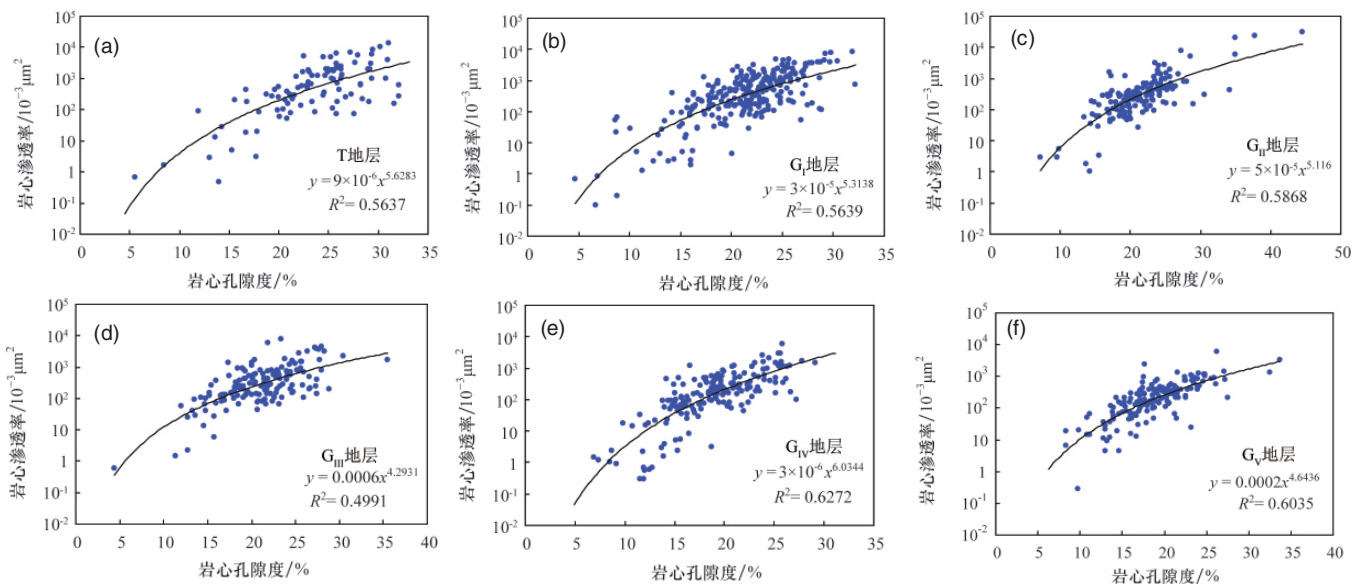


图7 渗透率解释模型

Fig. 7 Permeability models

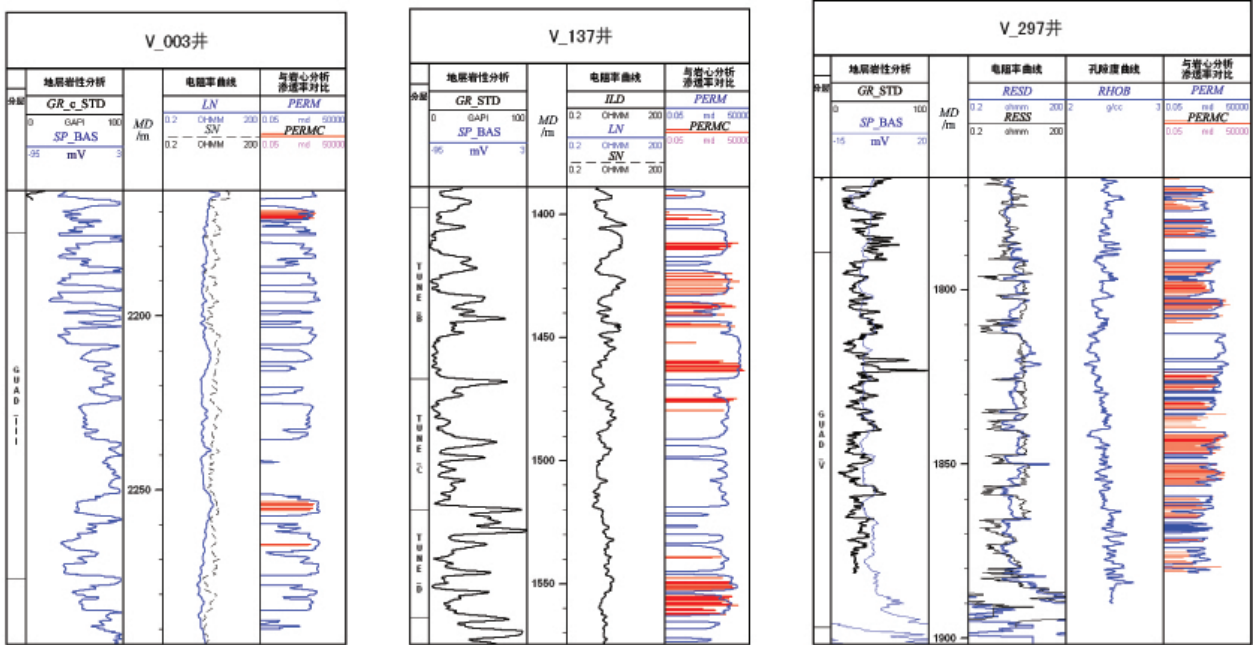


图 8 岩心渗透率与测井渗透率对比

Fig. 8 Comparison of core permeability and logging permeability

3 储层参数解释效果分析

根据建立的孔隙度、渗透率模型,对测井资料进行处理解释,求取储层孔隙度、渗透率值。图 9 显示了测井孔隙度与岩心孔隙度关系,图 10 显示了测井渗透率与岩心渗透率关

系。测井孔隙度与岩心孔隙度吻合度很高,测井渗透率与岩心渗透率符合度较好,证明建立的孔隙度、渗透率模型精度较高,通过该模型可有效解决该地区优质储层评价和孔隙度三维建模,实现油藏数值模拟和综合调整方案的编制。

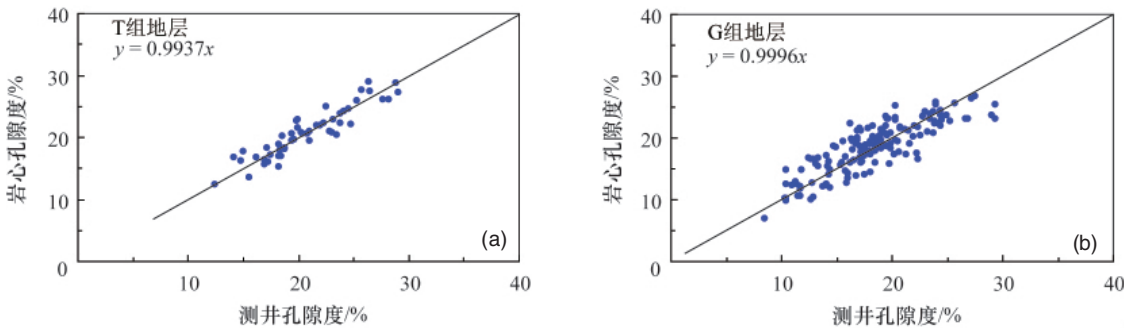


图 9 测井孔隙度与岩心孔隙度关系

Fig. 9 Cross-plot of core porosity and logging porosity

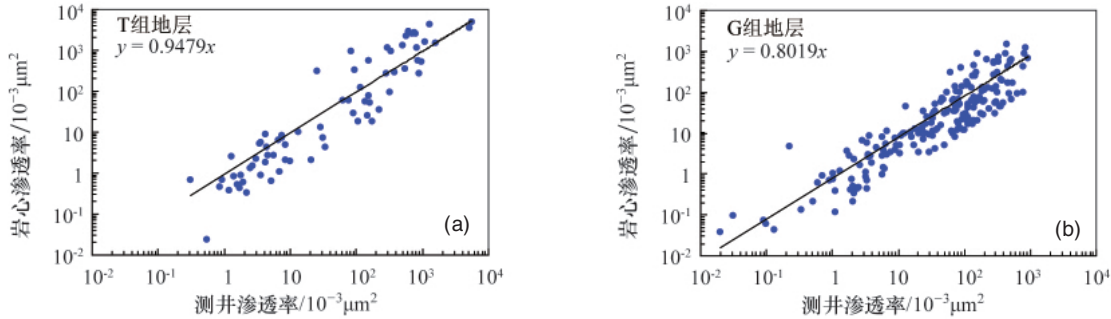


图 10 测井渗透率与岩心渗透率关系

Fig. 10 Cross-plot of core permeability and logging permeability

4 结论

提出的分测井系列、细分层系开展测井精细解释方法具有较高的解释精度,为测井资料品质差的老油田开展精细储集层研究提供了新的思路。

对含油井段长的地区,由于储层沉积成因差异或成岩作用影响,不同层系储层物性差异明显时,细分层系建立孔隙度计算模型是必要的。

对因历史原因、同一油田测井系列差异大时,区分不同测井系列的计算精度很有必要。有密度曲线的井,首选密度法计算孔隙度;无物性曲线的井,优先自然电位曲线法计算孔隙度,其次选择自然伽玛曲线法。

参考文献(References)

- [1] Amon J C, Cross T A. Characterization and prediction of reservoir architecture and petrophysical properties in fluvial channel sandstones, Middle Magdalena Basin, Colombia[J]. *Ciencia, Technology Future*, 1997, 1(3): 19-46.
- [2] 颜泽江,唐伏平,姚颖,等. 洪积扇砂砾岩储集层测井精细解释研究——以克拉玛依油田为例[J]. *新疆石油地质*, 2008, 29(5): 557-560.
Yan Zejiang, Tang Fuping, Yao Ying, et al. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2008, 29(5): 557-560.
- [3] 张喜,胡纪兰,张利,等. 吐哈盆地特低孔低渗油气层测井解释方法研究[J]. *石油天然气学*, 2007, 29(3): 97-100.
Zhang Xi, Hu Jilan, Zhang Li, et al. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2007, 29(3): 97-100.
- [4] 刘行军,张吉,尤世梅. 苏里格中部地区盒8段储层沉积相控制测井解

- 释分析[J]. *测井技术*, 2008, 32(3): 228-232.
Liu Xingjun, Zhang Ji, You Shimei. *Well Logging Technology*, 2008, 32(3): 228-232.
- [5] 林承焰,薛玖火,王友净. 乐安油田草4块Es4稠油油藏测井解释模型研究[J]. *西南石油大学学报:自然科学版*, 2008, 30(4): 1-5.
Lin Chenyan, Xue Jiuhuo, Wang Youjing. *Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition*, 2008, 30(4): 1-5.
- [6] 罗少成,宗会风,张爱华,等. 砂泥岩储集层孔隙度模型建立的几种方法[J]. *内蒙古石油化工*, 2006, 32(10): 118-120.
Luo Shaocheng, Zong Huifeng, Zhang Aihua, et al. *Inner Mongolian Petrochemical Industry*, 2006, 32(10): 118-120.
- [7] 郭振华,陈淑慧,张勇刚. 临南油田夏70块泥质砂岩储层测井解释模型的建立与油藏评价[J]. *重庆科技学院学报:自然科学版*, 2005: 7(1): 25-27.
Guo Zhenhua, Chen Shuhui, Zhang Yonggang. *Journal of Chongqing University of Science*, 2005: 7(1): 25-27.
- [8] 顾伟欣,周红,耿锋. 多元统计方法在储层孔隙度模型建立中的应用[J]. *断块油气田*, 2008, 15(3): 58-61.
Gu Weixin, Zhou Hong, Geng Feng. *Fault-block Oil & Gas Field*, 2008, 15(3): 58-61.
- [9] 罗水亮,林承焰,袁学强,等. 沉积微相约束下的砂砾岩储层测井精细解释模型及应用——以滨南油田滨三区为例 [J]. *石油天然气学报*, 2008, 30(5): 85-88.
Luo Shuiliang, Lin Chengyan, Yuan Xueqiang, et al. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2008, 30(5): 85-88.
- [10] 张建荣. 复杂砂岩储层测井解释方法研究[J]. *石油天然气学报*, 2006: 28(6): 91-93.
Zhang Jianrong. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2006, 28(6): 91-93.

(责任编辑 刘志远)



中国宇航学会、国际宇航联合会联合主办

2010年世界月球会议 Global Lunar Conference

时间: 2010年5月31日—6月3日
地点: 北京

联系电话: 010-68193081
传 真: 010-68768624
电子信箱: csa_gluc2010@yahoo.cn
会议网站: <http://www.gluc2010.org/>