

Reservoir Classification and Evaluation Method of the Granite Buried Hill in the A Oil Field

Tao Niu, Guangyi Hu, Ting'en Fan, Laiming Song, Xu Liang, Jing Tang

CNOOC Research Institute, Beijing
Email: niutao@cnooc.com.cn

Received: Apr. 7th, 2019; accepted: Apr. 22nd, 2019; published: Apr. 29th, 2019

Abstract

A oilfield is a buried hill reservoir and the main lithology is the Mesozoic granite intrusion. The reservoir space types include pore, fracture and have the characteristics of dual porosity media. Influenced by tectonic movement and weathering, the vertical reservoir has obvious zoning features. From top to bottom in turn for highly weathered zone, strong weathered zone, weathered zone and weak weathered zone, and on the top of the buried hill is the diluvial sand. Studies prove that reservoir space types of the reservoir development are largely controlled by buried hill zone, from top to bottom in turn for pore type, fracture-pore type, pore type and fracture type, the transverse distribution of the weathered zone is relative stability, and presents the characteristic of "layer" model of reservoir distribution. The reservoir space types of strongly weathered zone are fracture-pore type; pore-fracture type is the main reservoir section. On the basis of petrophysical analysis data and comprehensive logging interpretation and FMI, mercury injection experiment and data, the buried hill reservoir is divided into Class I, II, III, IV, optimizing deep and shallow lateral resistivity curve, neutron and density curve which can reflect the different types of reservoir sensitivity difference curve, establishing the neutron-resistance and neutron-density intersection chart. Based on the buried hill layered model, combining with the SEC chart, the reservoir is classified and evaluated, good results have been achieved.

Keywords

Granite, Reservoir Space, Reservoir Classification, SEC Chart

A油田花岗岩潜山裂缝型储层分类评价方法

牛涛, 胡光义, 范廷恩, 宋来明, 梁旭, 汤婧

中海油研究总院, 北京
Email: niutao@cnooc.com.cn

摘要

A油田是以中生界花岗岩侵入体为主要岩性的潜山油气藏，储集空间类型包括裂缝和孔隙，具有双重孔隙介质特征。受构造运动和风化作用的双重影响，潜山纵向上具有明显分带性，自上而下依次为极强风化带、强风化带、次风化带和弱风化带，顶部局部发育坡积砂。研究证明储层储集空间类型的发育很大程度上受潜山分带的控制，自上而下依次为孔隙型、裂缝-孔隙型、孔隙-裂缝型和裂缝型，各风化带横向分布相对稳定，呈现“似层状”的储层分布模式。其中，强风化带储集空间类型为裂缝-孔隙型、孔隙-裂缝型，是主要的产层段。以物性分析数据为基础，综合测井解释、FMI、压汞实验等资料将潜山储层分为I、II、III、IV类，优选深、浅侧向电阻率曲线、中子曲线以及密度曲线等能敏感反映不同类别储层差异的曲线，建立了中子-电阻、中子-密度交会图版，基于潜山分层模式，结合交会图版，对潜山储层进行划分和识别，取得了较好的效果。

关键词

花岗岩，储集空间，储层分类，交会图版

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 区域地质背景

A油田位于渤海中东部的庙西北凸起上，为依附于庙西北凸起东界大断层发育的大型半背斜构造，紧邻富生烃的渤东凹陷和庙西北洼，具有双凹供烃、凸起聚烃的优越成藏背景[1] [2] [3]。A油田为长期遭受风化剥蚀的古地貌潜山，潜山发育南、北两个高点，中间为宽缓的鞍部，地层北西倾，整体构造形态呈现为“簸箕圈”特点，岩性为中生界花岗岩。

2. 潜山分带性

花岗岩体风化壳具有垂向分带的结构，一个成熟的完整的风化壳垂向结构，由上往下依次为风化粘土层、半风化岩石和未风化基岩，其成分和厚度与岩性、气候、地形和风化时间等因素有关[4] [5] [6] [7]。根据研究区内15口井的录井、测井以及岩心等资料综合分析，认为该油田潜山垂向上具五层地质结构，分别是坡积砂、极强风化带、强风化带、次风化带和弱风化带。

坡积砂为潜山风化产物在水流、风、重力等作用下由构造高部位近距离搬运至构造低部位形成，但其分布不稳定，只在个别井钻遇。

极强风化带呈披覆状覆盖于花岗岩潜山顶部，风化强烈，部分呈粉砂质泥状结构，岩性疏松，局部见少量破碎的花岗岩岩块，偶见少量微裂缝，难以形成有效储层。

强风化带受构造和后期表生风化作用的双重影响，构造裂缝发育，铸体薄片可见大量的颗粒溶蚀孔和部分粒间孔，网状缝发育，沟通溶孔，形成很好的储集空间。综合解释证实，该带储层发育，厚度17 m~157 m，平均厚度100 m，横向分布稳定，连通性较好，是花岗岩潜山的主要储层段。

次风化带较强风化带风化、淋滤作用变弱，溶蚀孔洞较少，以裂缝为主，物性较好。取心证实，本

带存在有效储层，但整体比较致密，以孔隙-裂缝型和裂缝型储层为主。综合分析认为该带夹层厚度以及发育频率较强风化带明显增加，储层发育变差，横向分布不稳定，连通性较差。

弱风化带钻遇井较少，该带几乎不受风化、淋滤等作用的影响，孔缝发育较差，储层致密，有效储层净毛比 30%，该带较上部储层发育最差，连通性也最差。

3. 岩石学特征

根据 15 口井的岩心、壁心、岩屑录井观察分析，结合薄片鉴定、全岩分析和元素分析等研究成果，该油田中生界侵入体是一套酸性花岗岩侵入体，岩性主要为花岗闪长岩和二长花岗岩，夹部分基性岩脉和变质岩，岩脉岩性主要为辉绿岩和煌斑岩，厚度在 1 m~8 m 之间，横向连通性差。两侧山头为变质岩，岩石类型主要为石英岩、云母石英片岩(图 1)。

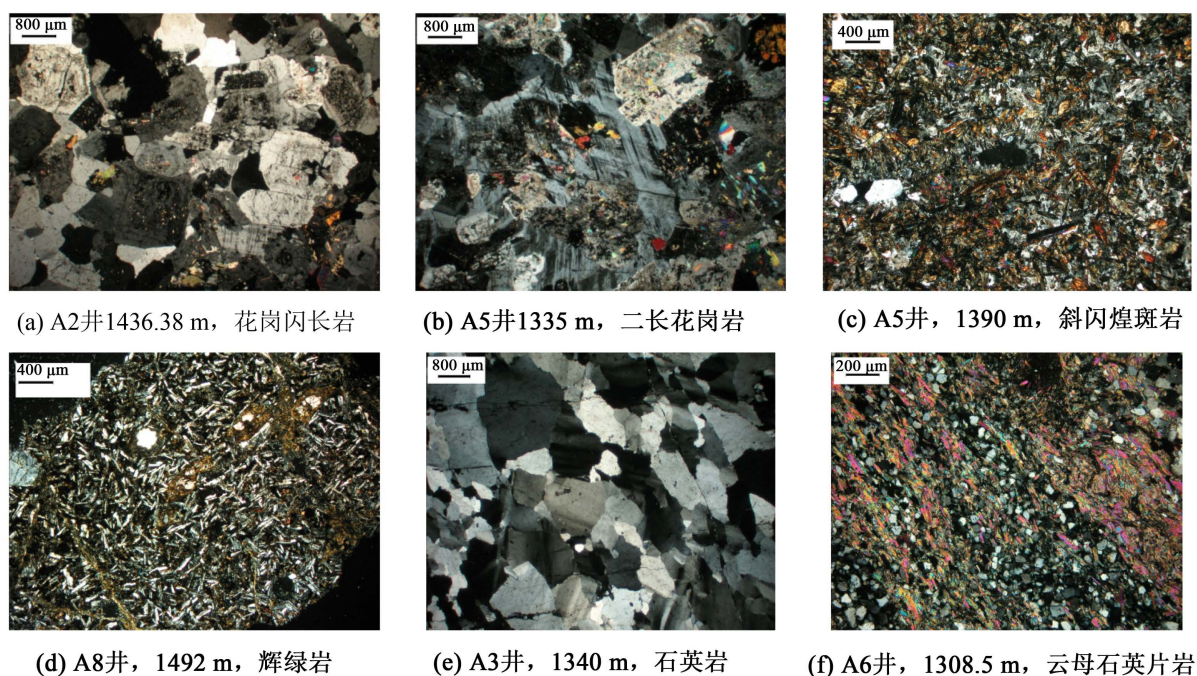


Figure 1. The rock type of A oil field

图 1. A 油田岩石类型

4. 储集空间类型及分布特征

4.1. 储集空间类型

A 油田花岗岩潜山的储集空间主要为孔隙和裂缝，具有双重孔隙介质特征，经过 400 余张薄片的统计分析，A 油田微裂缝和溶蚀孔的面孔率占总面孔率的 98%，其中在强风化带占到总面孔率的 99%。通过面孔率和面缝率对比发现，该油田微观孔缝储集空间中微缝和微孔是主要的储集空间类型，且两者所占比例相当(图 2)。

4.2. 储集空间分布特征

受古地形、古构造和风化作用的影响，储集空间表现出横向或者纵向的不均一性，其分布规律受控于储层纵向各带的空间展布特征。

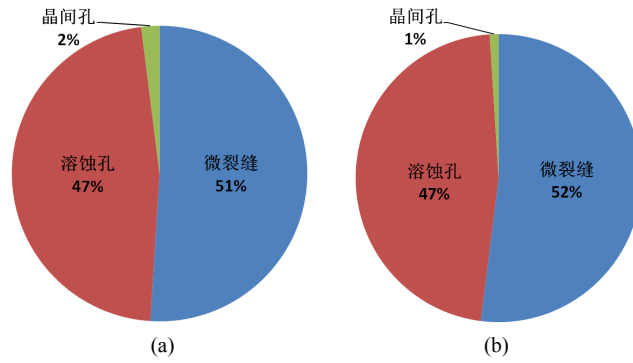


Figure 2. (a) The pore type of the buried hill; (b) The pore type of the intensely weathered zone
图 2. (a) 潜山孔隙类型统计; (b) 强风化带孔隙类型统计

坡积砂为花岗岩风化产物原地或近距离搬运而成，岩性为含砾砂岩、砂砾岩、泥质砂岩为主，夹不等粒砂岩、粉砂岩、泥岩，其储集空间主要为粒间孔。极强风化带黏土含量高或为黏土层，基本渗流性能。

强风化带的储集空间包括裂缝和孔隙，主要有三种成因类型：构造作用形成的裂缝、风化作用形成的裂缝、受风化淋滤作用进一步改造的裂缝以及溶蚀孔隙。该带靠近潜山顶面，储层受风化淋滤作用明显，溶蚀孔隙发育，同时溶蚀作用对各类裂缝的改造作用亦比较明显。裂缝仍然是该带最为主要的储集空间类型(图 3)，构造缝和风化缝都比较发育，宏观裂缝密度平均为 10.3 条/米，甚至部分储层段破碎成砂砾状，大量发育的裂缝形成网状相互切割链接并使得溶蚀孔隙之间相互连通，这对储层的改善作用超过了因靠近极强风化带引起的粘土矿物对裂缝充填造成的破坏，大大改善了花岗岩储层的储集及渗流能力，储集层类型主要为裂缝-孔隙性。与强风化带上部相比，强风化带下部所受风化作用影响程度较小，风化裂缝发育程度不及强风化带上部，溶蚀作用稍差，构造裂缝为主要的储集空间类型，同时粘土矿物含量减少，裂缝的粘土充填减少，方解石充填增多。多期构造裂缝的发育以及风化淋滤作用对储层的进一步改造，使强风化带下部成为仅次于强风化带上部重要的储层段之一。

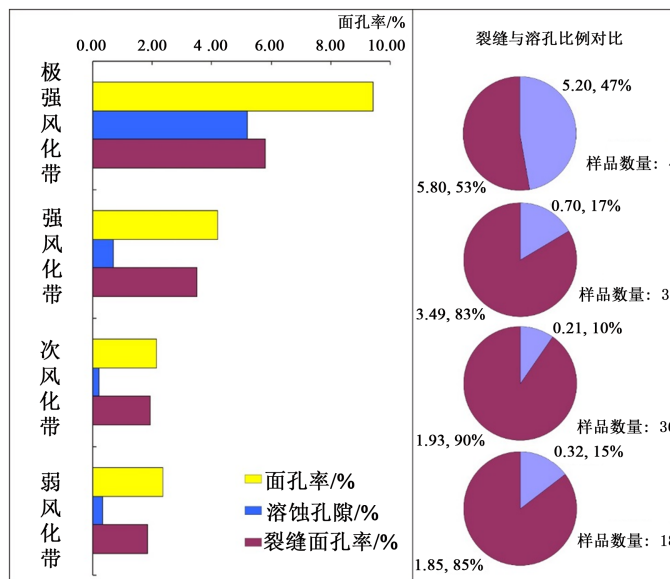


Figure 3. Longitudinal distribution characteristics of buried hill reservoir space types
图 3. 潜山储集空间类型纵向分布特征

次风化带基本不受风化淋滤作用的影响，溶蚀现象不发育，储集空间以构造裂缝为主，部分裂缝被方解石完全充填或部分充填，平均宏观裂缝密度 4.5 条/米，裂缝整体连通较差。

弱风化带不受风化淋滤作用的影响，构造裂缝发育程度差，有效储层基本不发育。

5. 储层分类

物性特征是花岗岩潜山储集层研究的重要内容，根据物性的好坏对储层进行进一步的分类，优选出好的储层段，是裂缝性储层表征的重点和难点，同时对潜山地质模式的认识以及开发方案的制定都有重要意义。

5.1. 孔渗关系重构及储层分类

潜山在形成过程中受构造运动、风化淋滤、后期成岩等多种地质作用的影响，形成了裂缝、溶蚀孔、粒间孔、晶间孔等多种储集空间类型，潜山的不同部位受构造等因素的影响其储集空间组合特征存在差异，各向异性强[8] [9] [10] [11]。以岩心分析数据为基础，深入剖析孔渗关系，根据孔渗关系特征以及大小对潜山储层进行细化分类。

通过对岩心分析得出的孔渗数据进行交会，不同类别的储层呈现不同的孔渗分布特点，其中位于极强风化带的样品点物性好且在对数坐标中呈现直线关系，将其它样品点分为 I、II、III、IV 四类，分别对应不同的储层特点(图 4)。

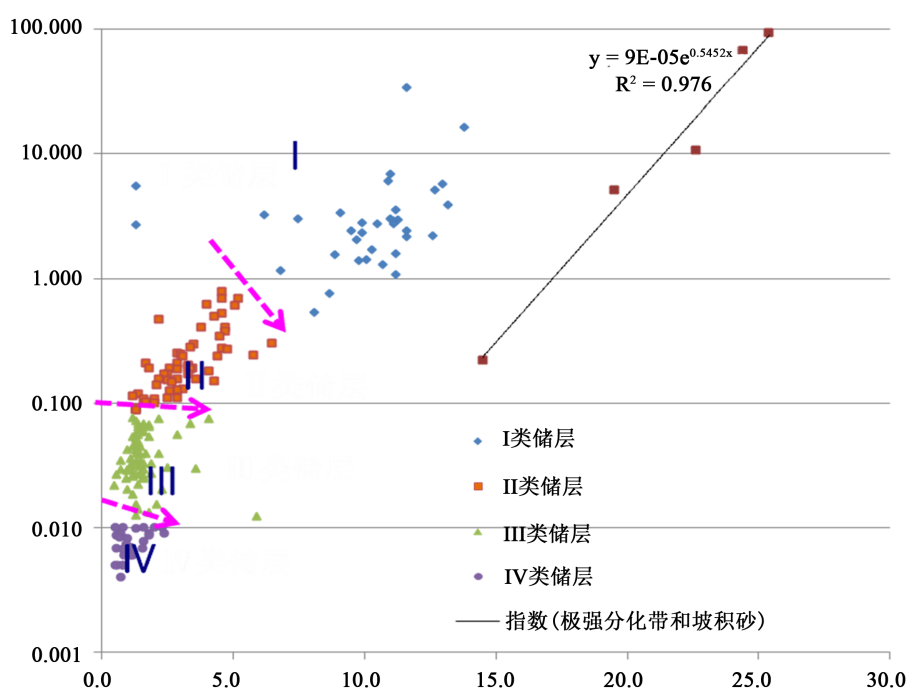


Figure 4. Reservoir classification based on core analysis pore-permeability data
图 4. 基于岩心分析孔渗数据的储层类别划分

1) I 类储层特征

I 类储层样品点主要分布在强风化带的顶部，受地表地质营力的影响作用强，岩石破碎程度高，部分层段甚至砂砾化，薄片表现为碎裂花岗结构，粒间孔隙发育(图 5)。风化淋滤作用对储层进行进一步改造，储层物性最好，孔隙度大于 6.7%，渗透率大于 1.15 mD。

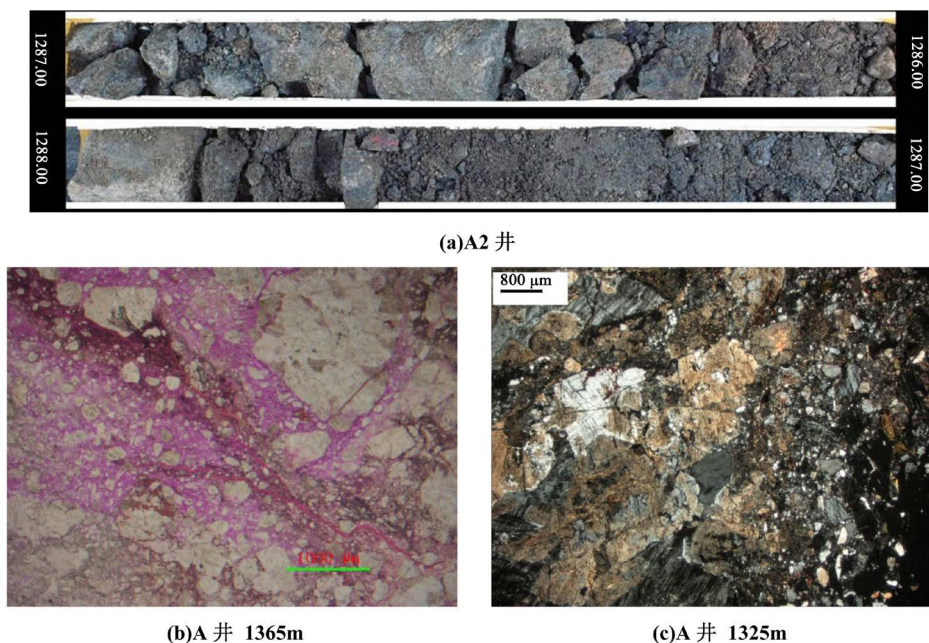


Figure 5. Reservoir characteristics of I reservoir type. (a) Highly weathered core; (b) Dissolved pore; (c) Cataclastic texture
图 5. I类储层特征。(a) 强风化带岩心；(b) 破碎、溶蚀孔隙；(c) 碎裂结构

2) II、III类储层

二类储层大都分布在强风带中上部，二类储层受构造影响作用强烈，微裂缝发育，同时受风化淋滤作用影响较小，溶蚀作用不明显(图 6)。孔隙度分布在 2%~6.7%，渗透率 0.1 mD~1.15 mD。三类储层主要分布在强风化带下部及中上部的局部层段，几乎不受风化淋滤作用的影响，储集空间类型以微裂缝为主，孔隙度分布在 1%~2%之间，渗透率分布在 0.013~0.1 mD 之间。

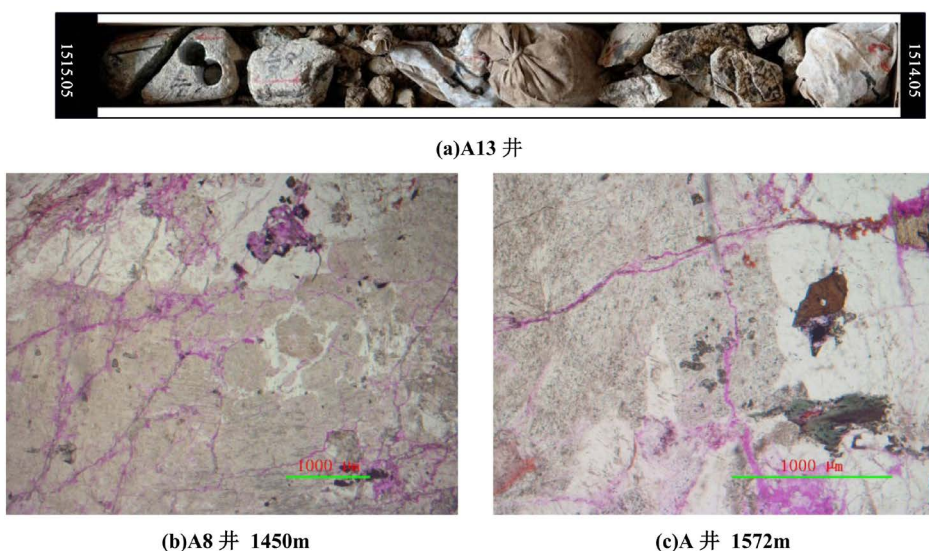
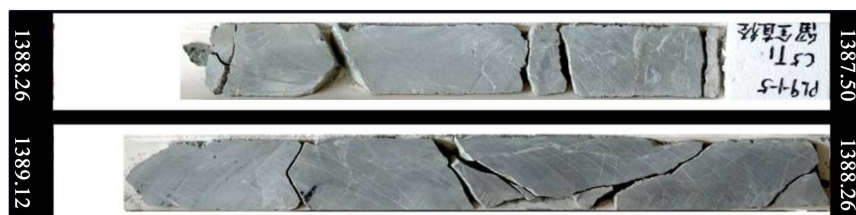


Figure 6. Reservoir characteristics of I/II reservoir type. (a) Core characteristics of the middle and lower part of the strongly weathered zone; (b) Feldspathic dissolution porosity and intercrystalline dissolution porosity; (c) Developmental microfracture, Corrosion is not obvious

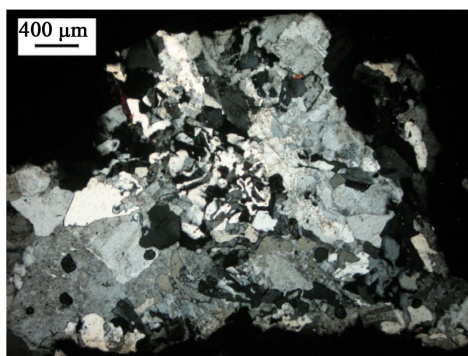
图 6. 二、三类储层特征。(a) 1514~1515 m, 强风化带中下部岩心特征；(b) 微裂缝发育，局部可见长石溶蚀孔隙和晶间溶蚀孔隙；(c) 发育微裂缝，溶蚀现象不明显

3) IV 类储层

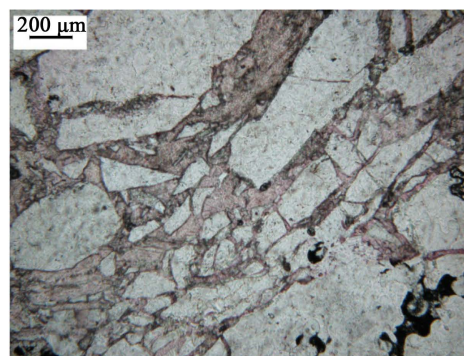
四类储层基本无有效孔隙空间，岩石致密，裂缝、溶蚀孔隙基本不发育(图 7)，为非储层，渗透率小于 0.01 mD。



(a) A5 井



(b) A4 井 1470-1475m



(c) A2 井 1460m

Figure 7. Reservoir characteristics of I/II reservoir type. (a) Mafic dikes, the degree of fracture development is poor, no corrosion; (b) Holocrystalline texture, no fracture, no corrosion; (c) Invalid fractures, filled with calcite

图 7. (a) 基性岩脉，裂缝发育程度差，无溶蚀作用；(b) 全晶质结构，无裂缝，无溶蚀；(c) 无效裂缝，被方解石充填

综合物性特征，裂缝、溶蚀发育程度将潜山分为了四类(表 1)。极强风化带破碎程度高，甚至长石、云母等矿物已已经蚀变为粘土，其储层特征类似于碎屑岩。强风化带上部发育有一类储层，但只分布在部分井，比较局限。强风化带的中下部主要为二、三类储层。四类储层主要发育在次风化带、弱风化带以及呈“隔夹层”形式存在于强风化带。

Table 1. Reservoir classification criteria of the A oil field

表 1. A 油田储层分类标准

	一类储层	二类储层	三类储层	四类储层
孔隙度(%)	>6.7	$2 < \text{Por} < 6.7$	$1 < \text{Por} < 2$	$\text{Por} < 1$
渗透率(md)	>1.15	$0.1 < \text{Perm} < 1.15$	$0.013 < \text{Perm} < 0.1$	$\text{Perm} < 0.013$

5.2. 潜山储层分类定量识别

不同类别的储层有着不同的储集空间类型、物性特征、矿物成分组合特征，表现在测井曲线上也会有不同的响应特征。总结了不同储层的声波曲线、密度曲线、中子曲线、电阻率以及成像测井的特点，实现了潜山储层的测井识别[12][13][14]。

1) 一类储层

一类储层发育段，岩心分析孔渗性好，中子 - 密度曲线幅度差较大，中子曲线数值较高，电阻率较低，成像测井显示裂缝密度、裂缝孔隙度以及裂缝开度均较大。

2) 二、三类储层

二、三类储层三孔隙有一定的幅度差，中子曲线具有一定的值，电阻率曲线值高于一类储层低于四类储层，表现为高阻中的低阻，裂缝较发育。

3) 四类储层

四类储层三孔隙度曲线没有幅度差，中子曲线值几乎为零，电阻率曲线值高，裂缝基本发育。

在岩性识别、储层识别、储层分类以及测井相建立的基础之上，以岩心分析化验资料为基础，分析不同类储层的电性特征值，去伪存真，最终得出不同类别储层的划分阈值(图 8~10)。

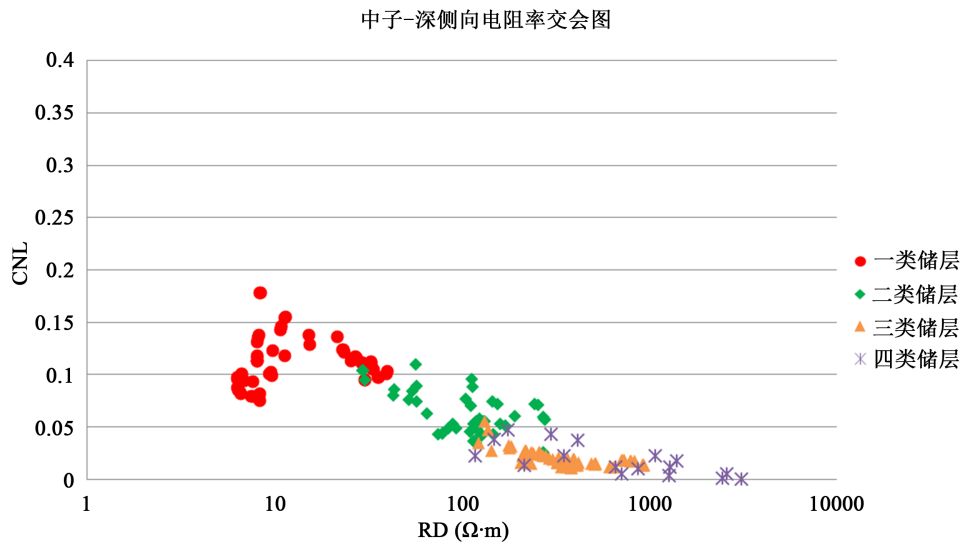


Figure 8. Neutron-deep lateral resistivity crossplot
图 8. 中子 - 深侧向电阻率交会图

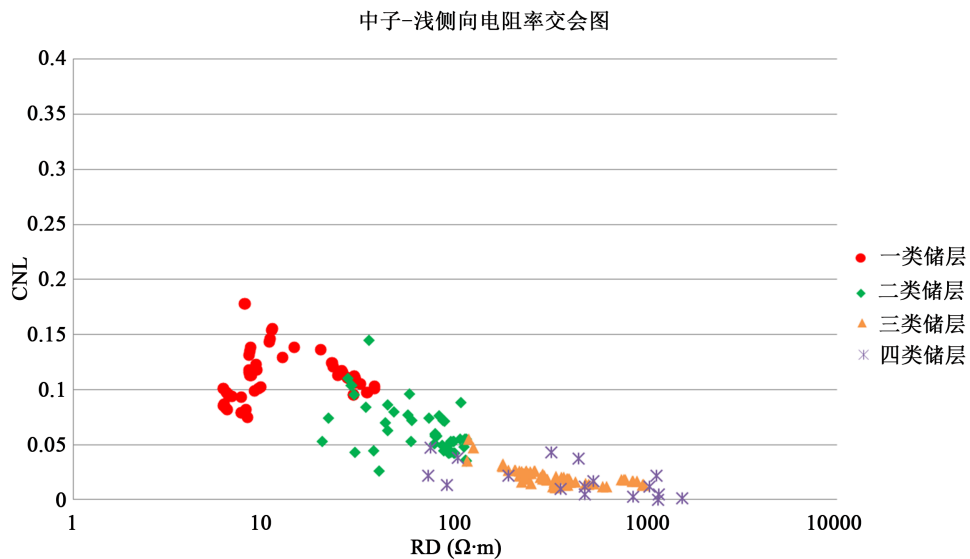


Figure 9. Neutron-shallow lateral resistivity crossplot
图 9. 中子 - 浅侧向电阻率交会图

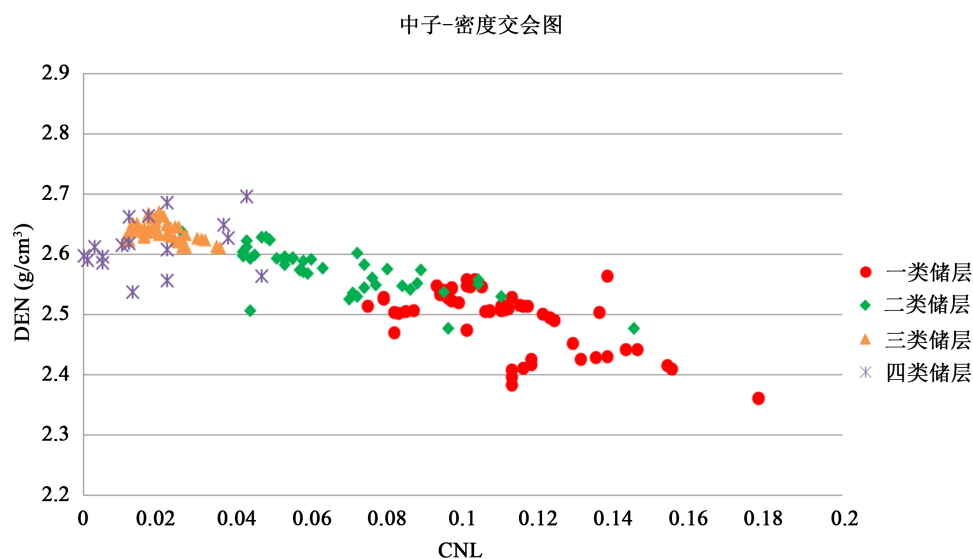


Figure 10. Neutron-density crossplot

图 10. 中子 - 密度交会图

经过四性关系分析, 优选出对储层类别敏感的深浅侧向电阻率、中子曲线、密度曲线以及声波曲线来综合识别储层类别。

6. 结语

A 油田中生界侵入体是一套酸性花岗岩侵入体, 岩性主要为花岗闪长岩和二长花岗岩, 夹部分基性岩脉和变质岩, 岩脉岩性主要为辉绿岩和煌斑岩, 变质岩为石英岩和石英片岩, 岩脉和变质岩均为无效储层。受构造和风化的双重影响, 潜山储层纵向上具有分带特征, 从上往下依次发育坡积砂 - 极强风化带 - 强风化带 - 次风化带 - 弱风化带。花岗岩潜山储集空间类型包括裂缝和孔隙, 具有双重孔隙介质特征。裂缝主要为中高角度缝, 孔隙主要是岩石破碎和溶蚀形成的粒间孔和溶蚀孔。储集空间类型的分布受潜山储层分带控制, 从上往下由孔隙型、裂缝 - 孔隙型逐渐过渡为孔隙 - 裂缝型、裂缝型, 各带在横向上分布比较稳定, 呈现“似层状”的储层分布模式, 其中裂缝 - 孔隙型和孔隙 - 裂缝型储层为主要的产层段。以物性分析数据为基础, 综合测井、FMI、压汞实验等资料将储层分为了 I、II、III、IV 类。I、II 类储层的储集空间类型主要为孔隙型和裂缝 - 孔隙型, IV 类储层基本无渗流能力, 为无效储层。

参考文献

- [1] 夏庆龙, 周心怀, 王昕, 等. 渤海蓬莱 9-1 大型复合油田地质特征与发现意义[J]. 石油学报, 2013, 34(2): 15-23.
- [2] 夏庆龙, 田立新, 周心怀, 等. 渤海海域构造形成演化与变形机制[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
- [3] 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 1-10.
- [4] 侯连华, 王京红, 邹才能, 等. 火山岩风化体储集层控制因素研究: 以三塘湖盆地石炭系卡拉岗组为例[J]. 地质学报, 2011, 85(4): 557-568.
- [5] 邹才能, 侯连华, 陶士振, 等. 新疆北部石炭系大型火山岩风化体结构与地层油气成藏机制[J]. 中国科学:D 辑: 地球科学, 2011, 41(11): 1613-1626.
- [6] 侯连华, 邹才能, 刘磊, 等. 新疆北部石炭系火山岩风化壳油气地质条件[J]. 石油学报, 2012, 33(4): 533-540.
- [7] 王京红, 靳久强, 朱如凯, 等. 新疆北部石炭系火山岩风化壳有效储集层特征及分布规律[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 757-766.
- [8] 高世臣, 郑丽辉, 邢玉忠. 辽河盆地太古界变质岩油气储层特征[J]. 石油天然气学报, 2008, 30(2): 1-4.

- [9] 王永诗. 桩西 - 埕岛地区下古生界潜山储集层特征及形成机制[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(1): 11-14.
- [10] 冀国盛, 戴俊生, 马欣本, 等. 苏北盆地闵北地区阜宁组一、二段火山岩的储集特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 289-291.
- [11] 朱如凯, 毛治国, 郭宏莉, 等. 火山岩油气储层地质学——思考与建议[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(2): 7-13.
- [12] 闫伟林, 崔宝文, 殷树军. 苏德尔特油田布达特潜山油藏裂缝储层测井评价[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(5): 26-30.
- [13] 景永奇, 秦瑞宝. 利用裂缝指示曲线判别花岗岩潜山纵向裂缝发育带[J]. 测井技术, 1999, 23(1): 38-42.
- [14] 岳海玲. 兴隆台地区太古界变质岩测井综合评价研究[J]. 石油地质与工程, 2008, 22(2): 44-46.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ag@hanspub.org