

Development and Distribution of Dissolution Pores in Carboniferous Volcanic Rocks in Chepaizi Bulge

Jun Cai, Zhizhang Wang*

College of Earth Sciences, China University of Petroleum, Beijing
Email: whx399@vip.sina.com

Received: Jun. 23th, 2017; accepted: Aug. 28th, 2017; published: Oct.15th, 2017

Abstract

The dissolution pores in Carboniferous volcanic rocks in the northeastern part of the Junggar Basin were the main oil and gas storage space. The dissolution pores were identified from the imaging logging and then calibrated to the conventional logging based on core description, thin slice observation and imaging logging. The development of dissolution pore was characterized by the apparent parameters of the imaging dissolution pores-vugs and sensitive parameters of conventional logging. On this basis, the classification criterion of three types of dissolution pore developed zones is established. The study shows that among different lithologies, the advantageous dissolution zones mainly occur in volcanic breccia, followed by andesite and tuff. In spatial distribution, the dominant dissolution zones mostly exist in the weathering crust surface on the top of the Carboniferous and around faults inside Carboniferous system.

Keywords

Dissolution Pore and Vug, Imaging Logging, Volcanic Rock, Chepaizi Bulge

*通信作者。

车排子地区石炭系火山岩溶蚀孔洞发育情况分类和分布规律

蔡君, 王志章*

中国石油大学地球科学学院, 北京

作者简介: 蔡君(1989-), 女, 硕士生, 主要从事油气藏测井地质解释及评价。

Email: whx399@vip.sina.com

收稿日期: 2017年6月23日; 录用日期: 2017年8月28日; 发布日期: 2017年10月15日

摘要

准噶尔盆地车排子地区东北部石炭系火山岩溶蚀孔洞发育, 是主要的油气储集空间。综合利用岩心描述、薄片观察、成像测井等资料, 在成像测井图上识别出溶蚀孔洞并标定到常规测井中, 利用成像溶蚀孔洞视参数和常规测井敏感参数表征溶蚀孔洞发育情况。在该基础上, 建立了3类溶蚀孔洞发育带的划分标准。研究发现: 在不同岩性中, 优势溶蚀带主要发育在火山角砾岩中, 其次发育在安山岩和凝灰岩中; 在空间分布上, 优势溶蚀带主要分布在石炭系顶部的风化壳表层以及石炭系内部断层周围。

关键词

溶蚀孔洞, 成像测井, 火山岩, 车排子凸起

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University 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. 引言

近年来, 火山岩油气储层已成为油气勘探的重要领域之一。与常规沉积储层相比, 火山岩由于受构造作用、溶蚀作用等多种因素的影响, 储层孔隙类型多样、结构特征复杂[1]。2010年以来, 胜利油田在准噶尔盆地车排子地区中发现了石炭系火山岩油藏, 相继钻探了多口探井, 并在石炭系火山岩中钻遇油层, 获得了一些储量, 证实石炭系火山岩是该油田又一重要的增储上产接替区。车排子地区石炭系火山岩经历了海西运动、印支运动、燕山运动, 形成了大量的构造裂缝, 同时受风化剥蚀、淋滤作用影响, 形成了大量溶蚀孔缝洞[2]。油气主要沿溶蚀裂缝及溶蚀孔洞富集, 溶蚀孔隙极其发育。因此, 正确识别和评价有效溶蚀孔洞, 弄清其发育规律, 对研究区的储层评价有着重要的参考价值。

2. 区域地质概况

车排子地区位于准噶尔盆地西北缘, 其西面和北面邻近扎伊尔山, 东以红车断裂带与昌吉凹陷相邻, 在区域构造上属于准噶尔盆地西部隆起车排子推覆构造前缘带, 且同时位于昌吉和四棵树2个生烃凹陷油气运移的有利指向区, 构造位置十分有利[3][4](图1)。车排子凸起总体上呈东南倾的单斜特征, 目的层

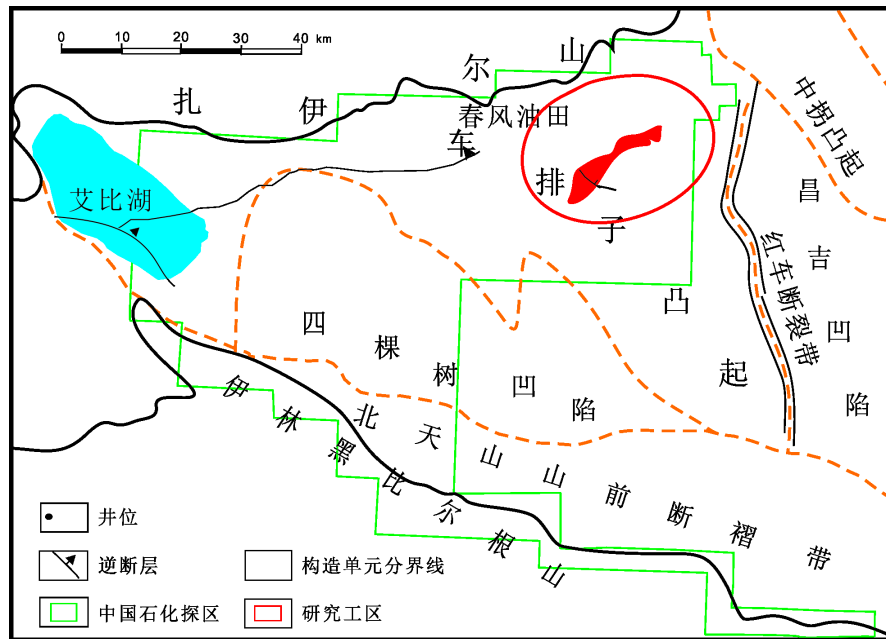


Figure 1. The structural location of Chepaizi area
图 1. 车排子地区构造位置图

为石炭系，埋深 623~2100 m，岩性主要为玄武岩、安山岩、玄武安山岩、火山角砾岩和凝灰岩，以中基性火山岩为主，岩石普遍风化溶蚀严重。

3. 溶蚀孔洞类型

车排子地区钻遇石炭系的取心井 17 余口，共取心 350.66 m。综合观察岩心、镜下薄片、扫描电镜中溶蚀现象(图 2)，将溶蚀孔洞按形态和大小分为 3 类：溶孔、溶洞和溶蚀缝。

按照岩溶地质学的划分，将直径小于 2 mm 的孔洞称为溶孔，直径大于 2 mm 的称为溶洞[5]。溶孔是在埋藏溶蚀过程中，基质中的网状孔隙整体溶蚀加大，增加的是基质孔隙度，孔隙度和渗透率均加大；溶洞主要发育在角砾岩中，流体沿着角砾间隙和裂缝进一步发生溶蚀，渗透率呈几个数量级增加，成像测井显示溶洞周围伴随着溶孔发育；溶蚀缝是流体沿着已发育的裂缝进一步侵蚀，使裂缝加宽，边缘不规则，延伸较远，渗透率呈几个数量级增加，成像测井显示顺着溶蚀缝常伴随溶蚀孔洞发育[6]。由于中基性熔岩质脆，裂缝较发育，所以溶蚀缝洞主要发育在安山岩和玄武岩中。

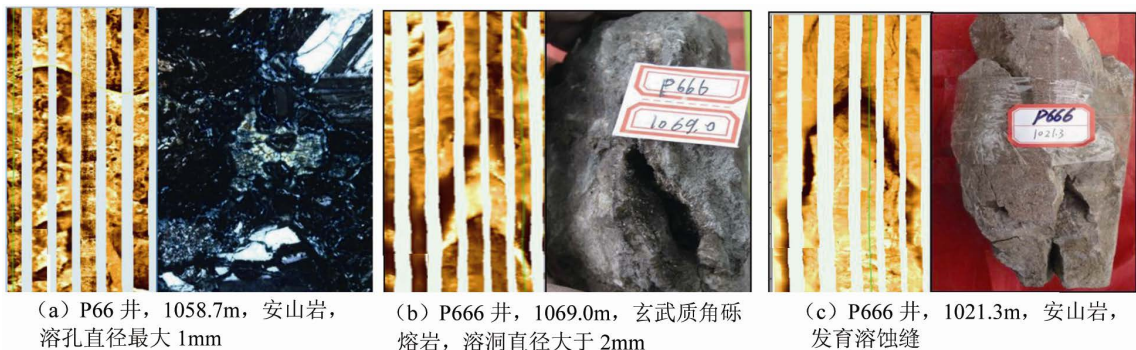
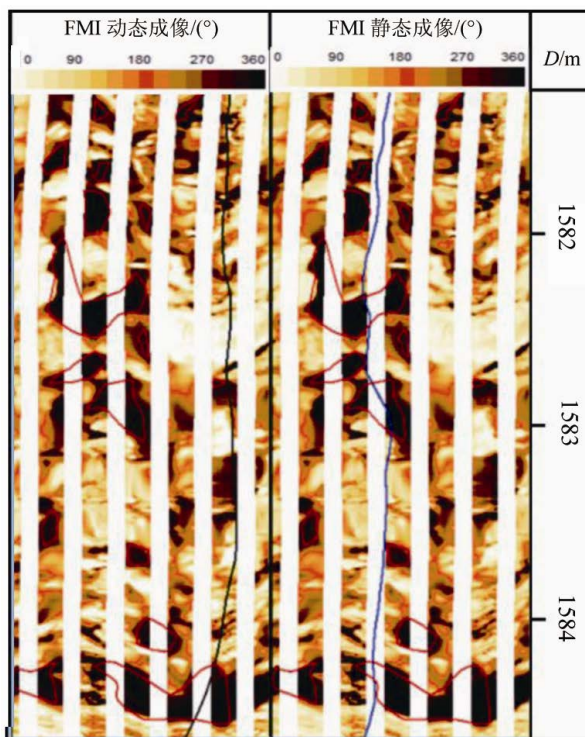


Figure 2. The imaging data of slice and core calibration
图 2. 薄片、岩心标定成像资料

4. 成像测井溶蚀孔洞识别及参数计算

1) 成像测井溶蚀孔洞识别。溶蚀孔洞发育段, 在成像测井图上呈云雾状暗色或黑色团块, 表现为类圆状、斑点状、不规则块状、延伸较短的片状和条状分布[7], 或沿张开缝发育, 呈浸染状, 延伸较远, 边界不规则且模糊不清, 并且在溶洞发育井段井径扩径明显, 导致图像特征较为模糊。为便于计算孔洞参数, 需要根据溶蚀孔洞特征, 在成像图像上正确识别并标定全井段的溶蚀孔洞(图 3)。



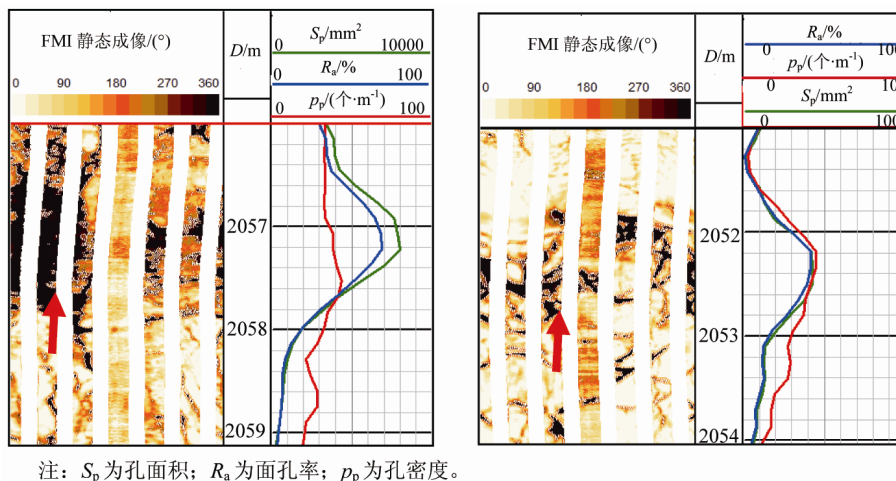
注: D 为井深。

Figure 3. The calibration of dissolution pores
图 3. 标定溶蚀孔洞图

2) 溶蚀孔洞视参数自动计算。对标定后的溶蚀孔洞信息进行提取, 选择合适的孔洞电阻率异常值(研究区比例在 5.0~5.8 之间), 自动全井段拾取孔洞, 可以直接得到孔洞视参数——面孔率、孔密度、孔面积[7]。

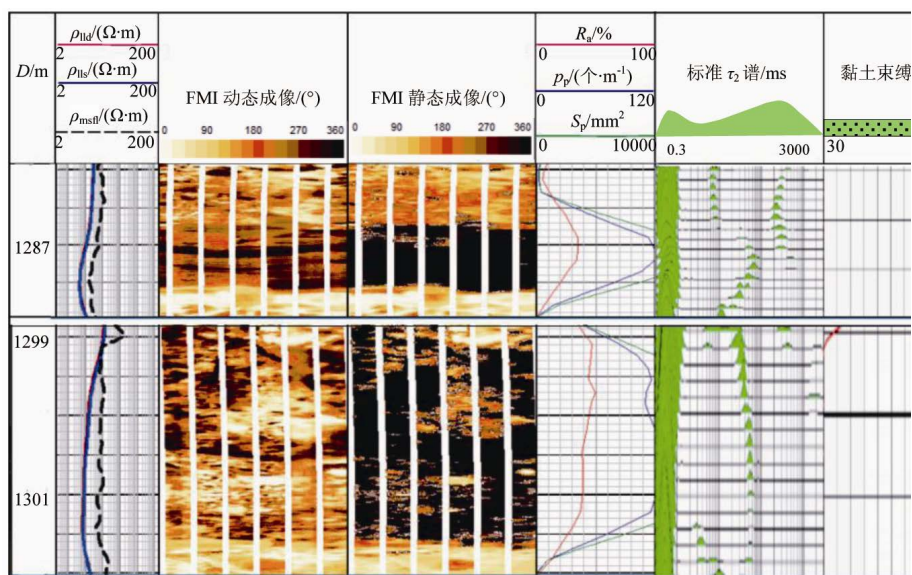
3) 检查并修改视参数。自动全井段拾取孔洞后, 首先要检查选取的比例是否合适, 判断计算后所圈定的孔洞缝麻点图是否合理(图 4), 若由低电阻率组成的孔洞特征基本上被准确圈闭, 说明选值是合理的, 计算结果也是合适的。

但是, 由于溶蚀孔洞的电阻异常值是相对全井段而言, 因此存在某些局部位置拾取过多或遗漏的现象, 需要进行修正或补充。通常, 沉火山碎屑岩电阻率相比火山岩要低很多, 造成低阻异常, 被系统自动拾取为孔洞, 需要剔除并修改参数。例如研究区 P661 井 1287~1288 m 处, 发育沉火山碎屑岩, 电阻率低值, 被自动拾取为孔洞, 而核磁测井数据显示该段主要为黏土束缚孔隙(图 5), 因此判断为错误拾取段。相反, 某些层段电阻率极高, 如较致密玄武岩, 造成该层段的孔洞电阻异常值高于全井段的电阻率异常值, 需要在该层段单独选取孔洞异常值并单独拾取孔洞。通过检查和修正计算结果, 提高了溶蚀孔洞视参数的准确度。



注: S_p 为孔面积; R_a 为面孔率; p_p 为孔密度。

Figure 4. The apparent parameter of pores and pit diagram in Well P66
图 4. P66 井孔洞缝视参数及麻点图



注: ρ_{ld} 为深侧向电阻率; ρ_{lls} 为浅侧向电阻率; ρ_{msfl} 为微球聚焦电阻率。

Figure 5. The excessive pick pores induced lower lithologic resistivity in well P661
图 5. P661 井岩性电阻率低值造成的拾取孔洞过多现象

孔洞缝计算值的统计结果往往与储层物性有密切关系。因此, 正确识别有效孔洞缝, 并计算其参数对储层评价有着重要的参考价值。

5. 溶蚀孔洞发育情况分类

5.1. 溶蚀孔洞成像测井参数特征

统计溶蚀孔洞视参数, 面孔率数值分布范围为 0~100, 其中小于 5 约占 51%, 5~35 之间占 40%, 35~100 之间约占 9%; 孔密度数值分布范围为 0~120, 其中小于 10 约占 29%, 10~60 之间约占 60%, 大于 60 约占 11%; 孔面积数值分布范围为 0~15,000 之间, 其中小于 500 约占 52%, 500~4000 之间约占 39%, 大于 4000 约占 9% (图 6)。

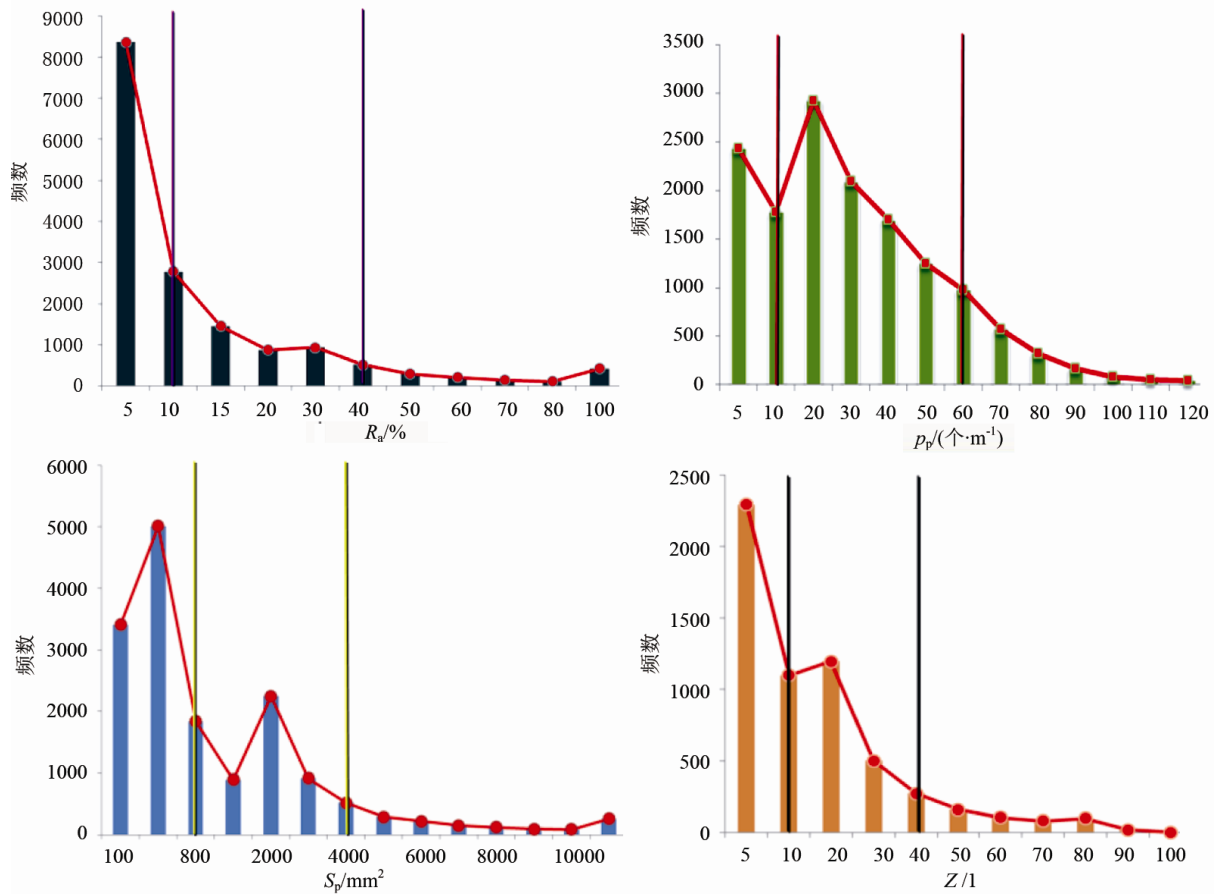


Figure 6. The histogram of the dissolution pore imaging logging parameters
 图 6. 溶蚀孔洞成像测井参数直方图

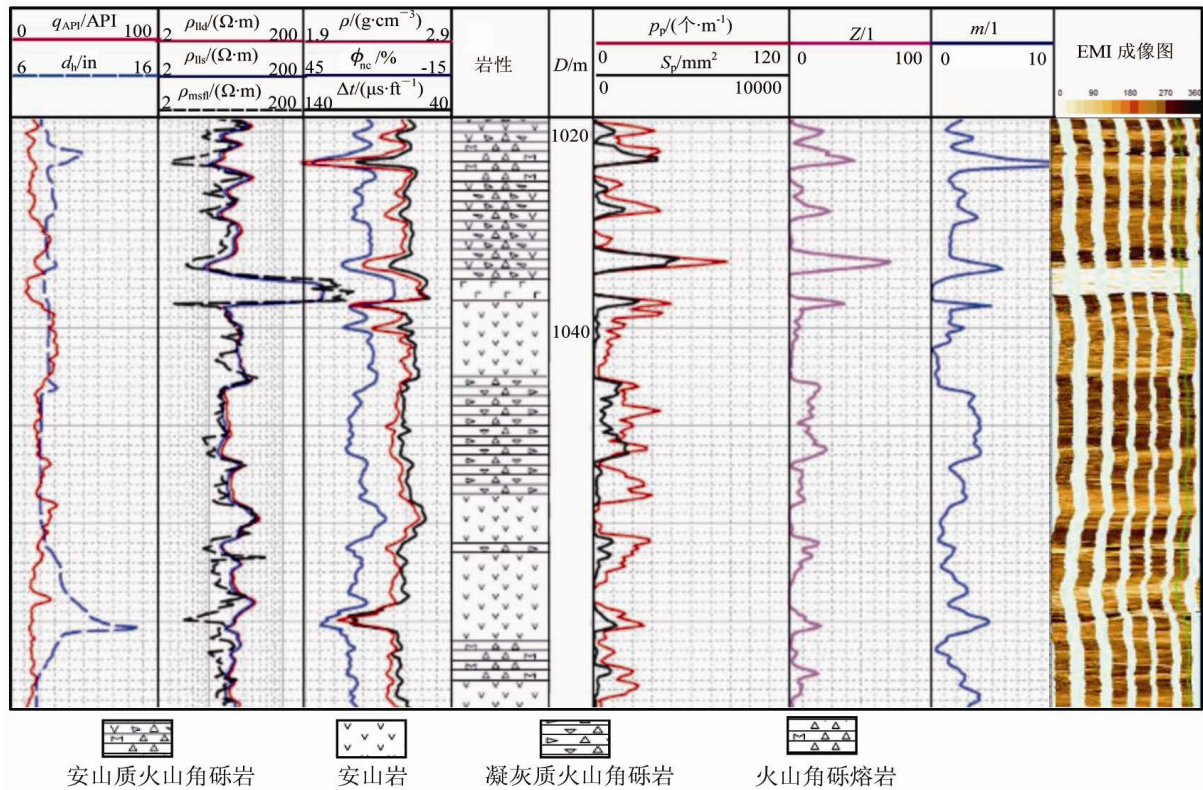
通过研究溶蚀孔洞视参数发现, 有的溶蚀段, 孔密度很小, 但孔面积很大, 造成孔隙度很大; 有的溶蚀段, 孔面积很小, 但孔密度或面孔率很高, 也会造成孔隙度很大, 可见这 3 个参数共同影响着溶蚀孔洞孔隙度及储集能力。因此, 采用溶蚀孔洞综合参数 Z , 将每个参数的影响综合起来, 更能代表溶蚀发育情况。 Z 小于 10 的约占 55%, 分布在 10~40 之间约占 37%, 大于 40 的约占 8%。 Z 的归一化公式为:

$$Z = \sqrt[3]{R_a \times p_p \times S_p}$$

5.2. 溶蚀孔洞常规测井敏感参数特征

将成像上溶蚀孔洞标定到常规测井曲线上后发现, 在常规测井曲线上溶蚀孔洞的测井响应特征表现为: 电阻率降低, ρ_{ld} 、 ρ_{lls} 与 ρ_{msfl} 呈正差异, ρ_{lls} 明显小于 ρ_{ld} ; 声波时差(Δt)明显增大甚至跳跃, 补偿密度(ρ_c)显著减小, 补偿中子孔隙度(ϕ_{nc})增大; 在较大的溶洞缝处, 井径出现扩径现象。因此, 选取 ρ_{ld} 、 Δt 、 ϕ_{nc} 、 ρ_c 等对溶蚀孔洞敏感的参数, 建立溶蚀孔洞发育指数 m (图 7), 其变化规律与 Z 的变化规律基本一致, 可以作为指示溶蚀孔洞的参数。 m 的归一化公式为:

$$m = \frac{\rho_{\text{ld}} - \rho_{\text{lls}} \times \Delta t \times \phi_{\text{nc}}}{\rho_{\text{ld}} \times \lg \rho_{\text{ld}} \times \rho_c} \times 0.01$$



注： q_{API} 为自然伽马； d_h 为井径。

Figure 7. The feature of conventional curves for dissolution pore logging

图 7. 溶蚀孔洞常规测井曲线特征

5.3. 溶蚀孔洞发育程度分类

在溶蚀孔洞识别和参数评价的基础上，通过参数敏感性分析，综合利用 R_a 、 p_p 、 S_p 、 Z 等参数，同时考虑研究区属于开发初期，优势溶蚀发育带标准不易太高，建立了火山岩溶蚀孔洞发育带划分标准(表 1)，将火山岩储层溶蚀孔洞发育情况划分成 I 类溶蚀带(优)、II 类溶蚀带(中)、III 类溶蚀带(差)共 3 种等级。

Table 1. The criterion for division of volcanic dissolution zones in Chepaizi area

表 1. 车排子火山岩溶蚀带划分标准

分类	$R_a/\%$	$p_p/(\text{个}\cdot\text{m}^{-1})$	S_p/mm^2	$Z/1$
I 类溶蚀带	>35	>55	>4000	>40
II 类溶蚀带	5~35	10~55	500~4000	10~40
III 类溶蚀带	<5	<10	<500	<10

6. 溶蚀孔洞分布特征

6.1. 岩性对溶蚀孔洞分布的影响

以成像测井和常规测井解释结果为基础，对不同岩性的溶蚀孔洞进行研究发现：I 类溶蚀带厚度约占 14%，主要发育在火山角砾岩；II 类溶蚀带厚度约占 25%，主要发育在安山岩、火山角砾岩，其次发育在凝灰岩；III 类溶蚀带厚度约占 61%，在凝灰岩和安山岩中均发育，在火山角砾岩中也较为发育(图 8、图 9)。由此可见，溶蚀孔洞发育程度以火山角砾岩最高，安山岩和凝灰岩次之。

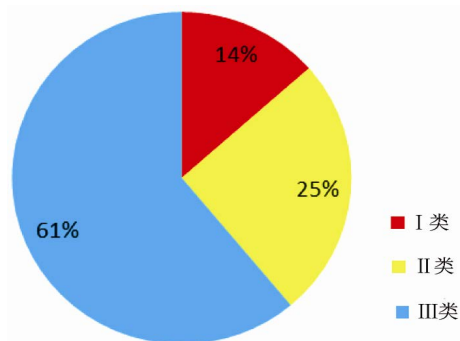


Figure 8. The proportional map of dissolution zone thickness
图 8. 溶蚀带厚度比例图

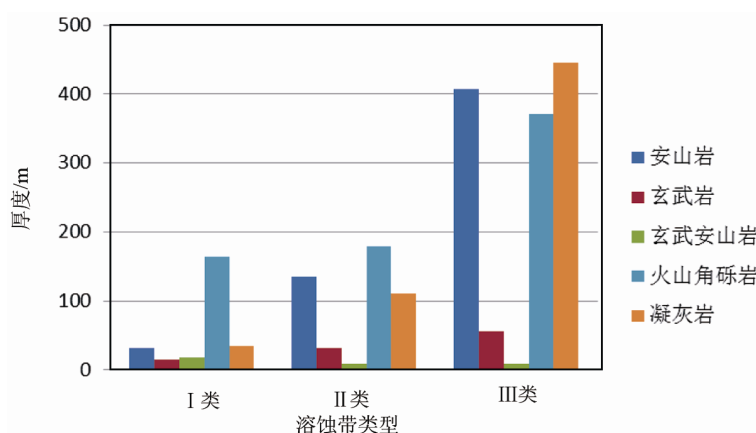


Figure 9. The contrast of distribution thickness of dissolution zone in different lithologies
图 9. 在不同岩性中溶蚀带分布厚度对比图

6.2. 构造对溶蚀孔洞分布的影响

研究优势溶蚀带(I类溶蚀带)在纵向上的分布规律,发现优势溶蚀带从石炭系的顶部到井底均有分布,但分别聚集在不同的深度段内(图 10)。参考过井的断层构造剖面图,可见优势溶蚀带主要分布在表层风化带和断裂周围,再结合岩溶理论,将溶蚀孔洞发育带按成因分为 2 类:风化壳表层层状溶蚀孔洞带、断层周围溶蚀孔洞带[8]。

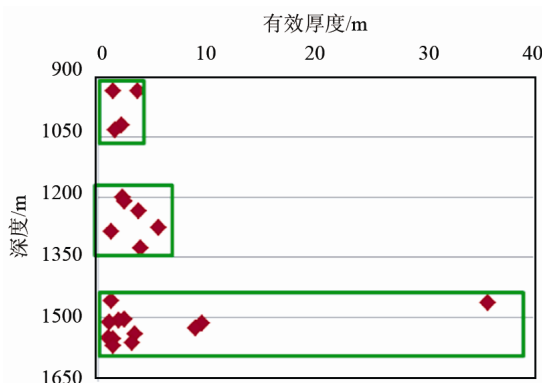


Figure 10. The vertical distribution map of advanced dissolution zone in Well P666
图 10. P666 井优势溶蚀带纵向分布图

6.2.1. 风化壳表层层状溶蚀孔洞

由于石炭系顶部遭受过严重的风化和剥蚀作用，大气淡水的淋虑和侵蚀，在风化壳形成呈层状分布的溶蚀孔洞。风化壳层状溶蚀孔洞在测井上表现为溶蚀孔洞普遍发育，测井解释具有横向连续分布特征(图 11)。

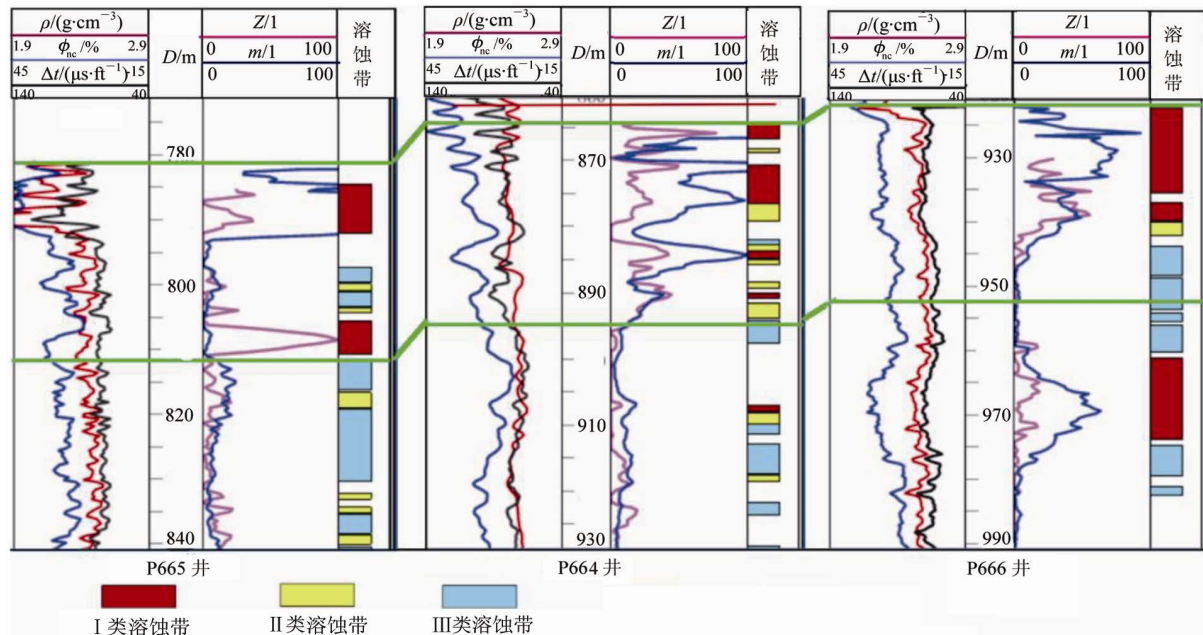


Figure 11. The profile of connected wells of dissolution pores at 70m from the top of Carboniferous system
图 11. 距石炭系顶部 70m 溶蚀孔洞连井剖面图

6.2.2. 断层周围溶蚀孔洞带

断裂带及其周围裂缝裂隙发育，流体沿着裂缝侵蚀火山岩，在断层周围形成溶蚀孔洞。按照岩溶理论，溶蚀孔洞发育一方面需要地表水或地层水，另一方面还需要提供为地表水或地下水流动的裂缝。在地表水或地层水沿裂缝流动过程中，裂缝周围形成溶蚀孔洞。该类溶蚀孔洞在野外露头中表现为断层周围有明显的溶蚀孔洞；在地震剖面上显示为断层周围有地震异常体出现，且分布具有方向性，主要沿断层分布[8]。

7. 结论

- 1) 溶蚀孔洞按形态和大小分为 3 类：溶孔、溶洞和溶蚀缝洞。溶孔和溶洞是最重要的储集空间，溶蚀缝既是储集空间，也是主要的渗流通道。
- 2) 通过参数敏感性分析，综合利用面孔率、孔密度、孔面积、溶蚀孔洞综合参数和溶蚀孔洞发育指数，建立了火山岩溶蚀孔洞发育带划分标准，将火山岩储层溶蚀孔洞发育情况划分成 I 类溶蚀带(优)、II 类溶蚀带(中)、III 类溶蚀带(差)共 3 种等级。
- 3) 溶蚀孔洞在岩性上主要分布在火山角砾岩，其次发育在安山岩和凝灰岩；溶蚀孔洞在空间分布上主要发育在石炭系顶部风化壳表层和石炭系火山岩体内断层周围。

参考文献 (References)

- [1] 石好果, 孟凡超, 林会喜. 准噶尔盆地车排子凸起石炭系火山岩活动期次及期次约束下的岩相分布规律[J]. 西

安石油大学学报(自然科学版), 2017, 32(2): 1-8.

- [2] 刘磊. 车排子地区东北部火山岩岩性 - 测井相特征及识别[J]. 河南科学, 2016, 34(6): 936-942.
- [3] 王振奇, 郑勇, 支东明, 等. 车排子地区石炭系油气成藏模式[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2010, 32(2): 21-25.
- [4] 贾春明, 支东明, 邢成智, 等. 准噶尔盆地车排子凸起火山岩储集层特征及控制因素[J]. 地质学报, 2009, 29(1): 33-36.
- [5] 钟大康, 朱筱敏, 王贵文, 等. 南襄盆地泌阳凹陷溶孔溶洞型白云岩储层特征与分布规律[J]. 地质论评, 2004, 50(2): 162-169.
- [6] 余敏. 海相碳酸盐岩埋藏溶孔规模与分布规律初探[C]//孟宪来. 中国地质学会 2015 学术年会论文摘要汇编. 北京: 中国地质学会出版社, 2015: 417-420.
- [7] 李志虎, 张翔, 罗利, 等. 碳酸盐岩复杂背景孔洞自动识别及参数计算[J]. 断块油气田, 2016, 23(3): 314-319.
- [8] 李红凯, 康志江. 碳酸盐岩缝洞型油藏溶蚀孔洞分类建模[J]. 特种油气藏, 2015, 22(5): 50-54.

[编辑] 龚丹

Hans 汉斯

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: 2471-7185, 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: jogt@hanspub.org