

基于交会图决策树的缝洞体类型常规测井识别方法 ——以塔河油田奥陶系为例

王晓畅,张 军,李 军,胡 松,孔强夫

(中国石化 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:塔河油田奥陶系具有丰富的油气资源,受岩溶作用影响发育洞穴、孔洞和裂缝等多种储集空间,洞穴中充填不同物质。多种储集空间和充填物组合形成多种缝洞体类型,导致常规测井响应特征复杂,识别类型难度大。依据露头、岩心和井壁成像测井等信息,确定了6种缝洞体类型,分别为未充填洞穴型、砂泥充填洞穴型、角砾充填洞穴型、方解石充填洞穴型、缝洞型和裂缝型。结合不同类型缝洞体之间岩性和物性差异,对比分析不同类型缝洞体的双侧向、自然伽马、声波、中子、密度测井响应特征及分布规律。将测井响应两两组合建立交会图,优选出9个识别缝洞体类型敏感的测井响应交会图版,结合决策树方法,形成逐级识别缝洞体类型方法。应用该方法对塔河油田实际井资料进行处理解释,识别结果与岩心和录井对比,符合率均大于85%。该识别方法减少不同类型缝洞体常规测井响应之间相互混淆的影响,有助于发挥每个常规测井响应的作用,提高识别符合率。

关键词:交会图;决策树;常规测井;缝洞体;碳酸盐岩;奥陶系;塔里木盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Conventional logging identification of fracture-vug complex types data based on crossplots-decision tree: A case study from the Ordovician in Tahe oilfield, Tarim Basin

Wang Xiaochang, Zhang Jun, Li Jun, Hu Song, Kong Qiangfu

(Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: The Ordovician in Tahe oilfield are rich in oil and gas resources. It develops caves, vugs and fractures filled with different materials due to karstification. Different reservoir spaces and fillers form a variety of fracture-vug complex types. So the conventional logging responses are complex and it is very difficult to identify the fracture-vug complex types. Based on outcrops, cores, borehole image logging data, six fracture-vug complex types are determined. They are unfilled cave type, sand and shale-filled cave type, breccias-filled cave type, calcite-filled cave type, fractured-vuggy type and fractured type, respectively. In combination with the differences of lithologies and physical properties between different fracture-vug complex types, their characteristics of dual lateral, natural gamma, sonic, neutron and density logging and distribution patterns are analyzed. Nine crossplots sensitive to fracture-vug complexes are selected from the pairwise logging response cross plots and are integrated with decision tree to formulate a step by step fracture-vug complex type identification method. This method is applied to real well data processing and interpretation in Tahe oilfield. Compared with of cores and geologic logging, the coincidence rates of the identification results with core and geologic logging data are greater than 85%. The method can reduce the confusion among the conventional logging responses of different fracture-vug complex types, thus increase the accuracy of identification results.

Key words: crossplot, decision tree, conventional logging, fracture-vug complex, carbonate rock, Ordovician, Tarim Basin

塔河油田是中国已经发现的储量规模最大的碳酸盐岩缝洞型油藏^[1],主力含油层位为奥陶系。该油藏

主要受岩溶影响,发育洞穴和裂缝等储集空间,形成多种类型的缝洞体^[2-3]。准确有效地识别缝洞体及类型

收稿日期:2017-02-12;修订日期:2017-07-10。

第一作者简介:王晓畅(1981—),女,博士、高级工程师,测井。E-mail:wangxc_syky@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05014-002-001,2017ZX05005-005-005);中科院先导专项(XDA14010204)。

对于探索地下缝洞体发育规律、建立缝洞体地质模型等具有重要的意义。岩心和成像测井可以清晰直观地反映缝洞体及类型^[4-6],但两者资料相对较少,井壁成像测井又较为昂贵。常规测井应用广泛且成本低,如何应用常规测井曲线识别缝洞体类型是目前的研究重点。

由于洞穴和裂缝等储集空间尺度差异大,具有强烈的非均质性^[7-8],加之储集空间中又充填不同的物质,导致不同类型缝洞体常规测井响应特征重叠严重,识别困难。近年来测井研究人员在应用常规测井识别缝洞体类型研究方面取得了一些进展:苏俊磊^[9]等利用泥质含量和浅侧向电阻率建立交会图识别塔河地区洞穴充填物性质,利用无铀伽马对洞穴型储层充填程度进行了定量计算;赵永刚^[10]等选择声波时差比值、密度比值、中子孔隙度比值和深浅侧向电阻率比值等作为划分储层类型的参数,确定了大牛地气田下古生界碳酸盐岩储层类型的判别标准;田飞^[11]、金强^[12]等优选出5个洞穴敏感参数和3个裂缝敏感参数,建立了塔河油田小型缝洞归一化加权识别函数,并利用密度与泥质含量交会图和深电阻率与泥质含量交会图识别出洞穴充填物类型;康志宏^[13]等选用自然伽马、深电阻率、浅电阻率、深浅电阻率倒数差的绝对值、声波时差、密度和中子作为神经网络的输入学习样本,建立了储层划分的神经网络模型。周红涛^[14]等采用导电效率和裂缝密度来划分储层类型,判断裂缝和溶蚀孔洞。

此次研究在分析不同类型缝洞体的常规测井响应时发现,应用同一系列图版或者同一方法一次性进行多种缝洞体类型常规测井识别时,某些常规测井响应会加重类型之间的混淆程度,影响识别的效果。本文在前人研究基础上,根据露头、岩心及井壁成像测井资料,确定了缝洞体类型,通过分析不同类型缝洞体常规测井响应,优选识别交会图版,结合决策树法,逐级进行缝洞体类型识别,形成了新的缝洞体类型常规测井识别方法。

1 缝洞体类型及特征

在应用常规测井进行缝洞体类型识别时,要综合考虑两方面因素:一是划分出的缝洞体类型在地质上有意义;二是划分出的缝洞体类型要控制在常规测井纵向分层能力范围内。本文将缝洞体分为洞穴型、缝洞型和裂缝型3大类型,其中洞穴依据充填情况不同,进一步分为未充填洞穴型、砂泥充填洞穴型、角砾充填

洞穴型和方解石充填洞穴型4种类型^[15-17],这些类型在露头、岩心及井壁成像测井上均有发育和显示^[18-20](表1)。

1.1 未充填洞穴型

未充填洞穴型指未被砂泥、角砾、方解石等充填的洞穴,通常会有钻具放空、泥浆大量漏失等情况显示。这类缝洞体的储集空间得到了很好的保存,具有良好的生产能力,物性非常好。未充填洞穴在露头上较为多见,不能获得岩心(岩心上可见的溶蚀孔洞,在此次研究中归入缝洞型),在井壁成像上为黑色团块。常规曲线普遍有明显的扩径,自然伽马曲线值较上下基岩略有增大或保持不变,三孔隙度曲线则变化剧烈;声波时差测井值表现为极高值,个别井段甚至大于150 $\mu\text{s}/\text{ft}$;中子测井值表现为极高值,部分井段高达50%;密度测井值为极低值,普遍小于1.8 g/cm^3 。深、浅双侧向电阻率测井值普遍较低,个别井段出现深侧向相对较高的情况。

1.2 砂泥充填洞穴型

砂泥充填洞穴型指在流水作用和重力作用下沉积形成的物质充填洞穴,具有流水冲刷和重力分异作用产生的层理以及分选性结构特征。充填物颗粒间的孔隙是油气储集的有效空间。岩性主要为砂泥岩,物性相对较好,岩心孔隙最大可达20%。砂泥充填洞穴在露头和岩心上均有发育,井壁成像上为暗色团块或条带。砂泥充填洞穴一般在泥质含量较高时出现的扩径现象;自然伽马曲线值较上下基岩增大,最高可达95 API;三孔隙度曲线也有明显变化:声波时差测井值表现为高时差,甚至大于120 $\mu\text{s}/\text{ft}$;中子测井值表现为高值,有的井段甚至高达40%;密度测井值为低值;深浅双侧向电阻率测井值一般较低,个别井段出现深侧向相对较高的情况。

1.3 角砾充填洞穴型

角砾充填洞穴型指在溶洞形成演化过程中,洞顶、洞侧基岩垮塌崩落后原地堆积的产物,角砾成分一般与碳酸盐岩基岩一致,角砾间的孔隙是油气储集的有效空间。岩性主要为灰岩,角砾间普遍充填泥质。角砾充填洞穴在露头和岩心上均有发育,井壁成像上颜色较亮,并呈棱角状。角砾充填洞穴自然伽马曲线值较上下基岩略有增大;声波时差和中子测井值与基岩相比有小幅增大;密度测井值为低值;深、浅双侧向电阻率测井值一般较低。

1.4 方解石充填洞穴型

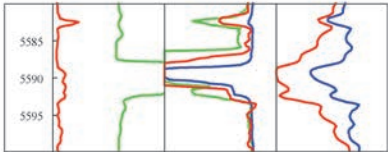
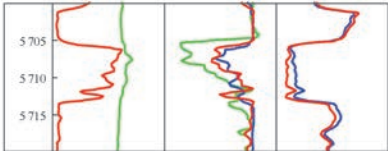
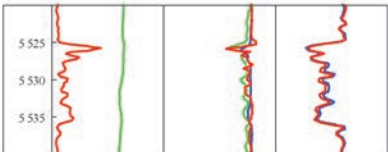
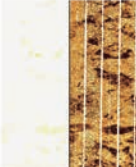
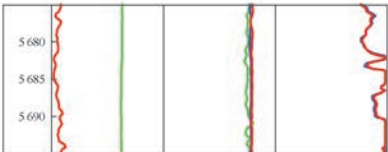
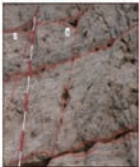
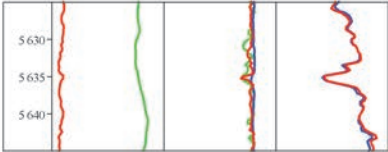
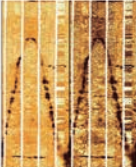
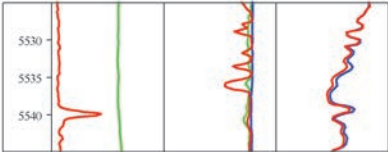
方解石充填洞穴型指以化学沉淀方式沿溶洞壁向溶洞中心生长而形成的各种溶洞充填物质,包括白色粗晶或巨晶方解石、流石类灰岩和钙结岩,多见于潜流岩溶带,其成分主要为方解石。化学沉积充填物的储集空间以晶间孔为主,基本不具有储渗性能,难以构成

有效的储集空间。方解石充填洞穴与基岩测井响应相似,只是岩性更纯,自然伽马值更低;深浅双侧向电阻率测井值更高。

1.5 缝洞型

缝洞型指相对较小的洞穴与裂缝的组合体,过井垂深小于 0.5 m 的洞穴归于此种类型。较小洞

表 1 塔河油田奥陶系不同类型缝洞体露头、岩心、井壁成像测井和常规测井响应对比
Table 1 Correlation among outcrop, core, borehole image logging and conventional logging responses for different types of fracture-vug complexes of the Ordovician in Tahe oilfield

缝洞体类型	露头特征	岩心特征	井壁成像 静态+动态	常规测井响应			
				深度/m	GR/API	AC/($\mu\text{s}\cdot\text{ft}^{-1}$)	RS/($\Omega\cdot\text{m}$)
					150	102	34
				0	40	CNL/%	RS/($\Omega\cdot\text{m}$)
					~10	1	30000
					CAL/m	DEN/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	RD/($\Omega\cdot\text{m}$)
				0	10	2.03	2.88
							30000
未充填 洞穴型		无取心					
砂泥充填 洞穴型							
角砾充填 洞穴型							
方解石 充填 洞穴型							
缝洞型							
裂缝型							

穴中的有效空间为储集空间,酸化压裂后具有一定的生产能力。常规测井响应表现为自然伽马曲线值与基岩近似;声波时差和中子测井值与基岩相比略有增大;密度测井值略有降低;深、浅双侧向电阻率测井值较低。

1.6 裂缝型

裂缝型指以裂缝为主的缝洞体类型,洞穴发育很少或没有。在洞穴的发展中,裂缝作为水流通道非常重要,因此有可能预示井旁附近有洞穴发育。其常规测井响应与缝洞型相似,但响应幅度更小:自然伽马曲线值与基岩近似;声波时差和中子测井值与基岩相比略有增大;密度测井值略有降低;深浅双侧向电阻率测

井值较低。

2 交会图决策树法识别缝洞体类型

2.1 不同类型缝洞体常规测井响应对比

在单独分析了每种类型缝洞体的常规测井响应后,结合不同类型缝洞体岩性和物性之间的差异,对比分析不同类型缝洞体之间常规测井响应特征和分布规律,图1显示了上述6种缝洞体类型以及基岩的常规测井响应的范围和平均值分布情况(常规测井响应包括深侧向、浅侧向、中子、声波时差、密度和自然伽马测井)。通过分析可得到如下结果。

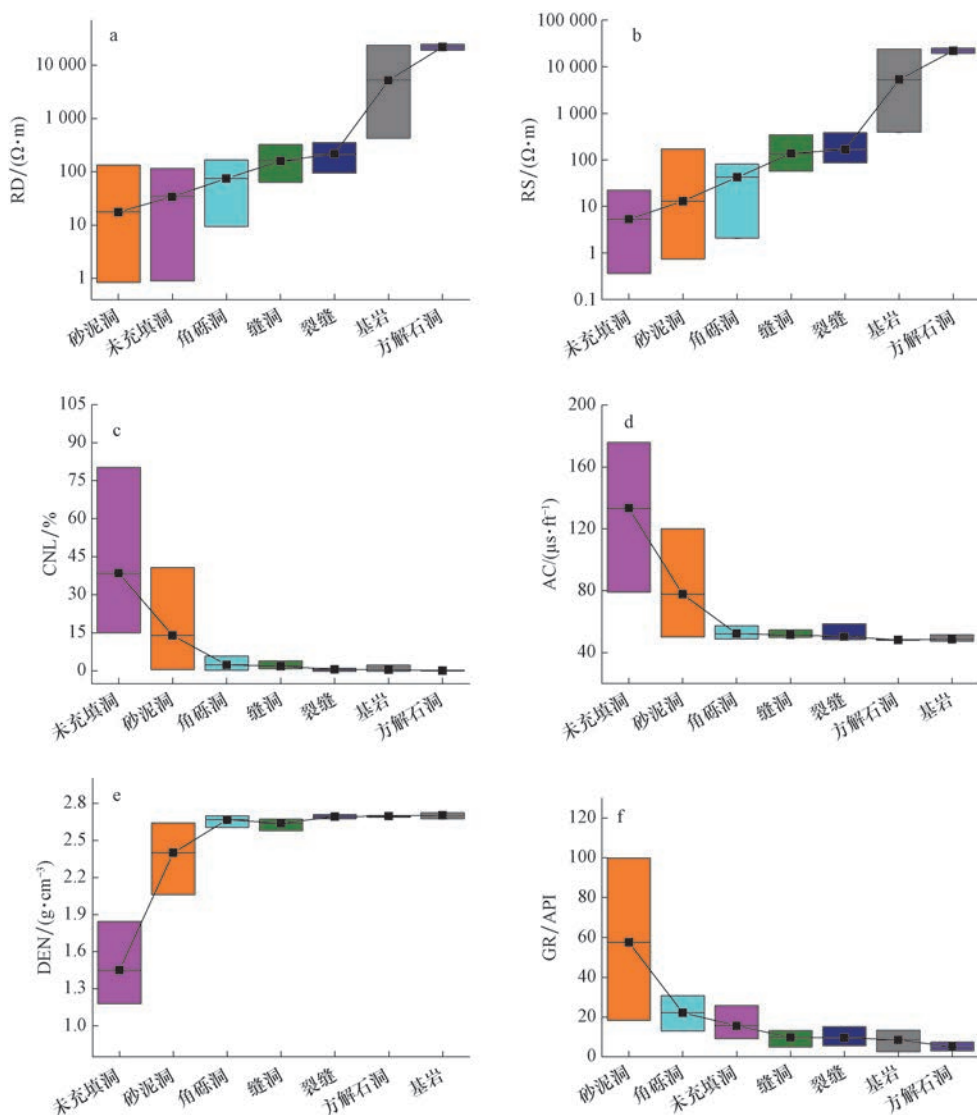


图1 塔河油田奥陶系不同类型缝洞体常规测井响应分布范围及平均值对比

Fig. 1 Comparison of distribution and average values of deep lateral logging, shallow lateral logging, density, acoustic, neutron and gamma ray logging responses of different types of fracture-vug complexes of the Ordovician in Tahe oilfield

a. 深侧向; b. 浅侧向; c. 中子; d. 声波时差; e. 密度; f. 自然伽马

1) 7 种类型地层的 6 种常规测井响应分布范围之间总体上表现为重叠情况严重。

2) 常规测井响应平均值具有一定的规律,具体表现为:①按照砂泥充填洞穴、未充填洞穴、角砾充填洞穴、缝洞型、裂缝型、基岩和方解石充填洞穴的顺序,深侧向递增;②按照未充填洞穴、砂泥充填洞穴、角砾充填洞穴、缝洞型、裂缝型、基岩和方解石充填洞穴的顺序,浅侧向递增,中子递减;③按照未充填洞穴、砂泥充填洞穴、角砾充填洞穴、缝洞型、裂缝型、方解石充填洞穴和基岩的顺序,声波递减,密度递增;④按照砂泥充填洞穴、角砾充填洞穴、未充填洞穴、缝洞型、裂缝型、基岩和方解石充填洞穴的顺序,自然伽马递减

3) 不同类型地层在某种常规测井响应上有比较明显的特征,或者是两种类型缝洞体之间在某种常规测井响应上有差异,具体表现为:①对于方解石充填洞穴和基岩,物性很差,岩性为灰岩,裂缝基本不发育,测井响应特征为电阻率高值,三孔隙度曲线表现为孔隙度极低值;②对于未充填洞穴,由于其物性非常发育,孔隙度很大,三孔隙度曲线表现为孔隙度异常高值;③对于砂泥充填洞穴,一方面其岩性为砂泥岩,岩性骨架值与灰岩不同,三孔隙度曲线与灰岩的三孔隙度曲线有一定差异,另一方面,其具有相对高的泥质含量,自然伽马相对较

高;④对于缝洞和裂缝,岩性为灰岩,孔隙度相对较低,但好于基岩,三孔隙度曲线数值在洞穴(除方解石充填洞穴)与基岩之间;由于裂缝影响,电阻率相对较低;⑤方解石充填洞穴与基岩相比,岩性更为纯净致密,自然伽马更低,电阻率更高;⑥缝洞与裂缝相比,物性相对发育,孔隙度相对较高,导电性更好,电阻率和密度相对较低。

2.2 交会图决策树法建立

基于上述对不同类型缝洞体和基岩的常规测井响应分析,通过将相关常规测井响应两两组合建立交会图,优选出 9 个对缝洞体类型识别敏感的组合图版,分别为 DEN - RD (使用两次), CNL - RD, GR - AC, GR - DEN (使用两次), GR - CNL, GR - RS (使用两次), GR - RD, CNL - DEN 和 DEN - RS 交会图,与决策树方法相结合,形成了一套逐级识别缝洞体类型的常规测井识别方法。识别流程及判别方法如图 2 所示,图 3 为交会图版及界限,具体内容如下。

1) 应用深侧向与密度和中子建立的交会图,将地层分为两部分:一部分(A 部分)为方解石充填洞穴型和基岩;一部分为其余 5 种类型缝洞体(B 部分,包括裂缝型、缝洞型、未充填洞穴型、砂泥充填洞穴型、角砾充填洞穴型)。

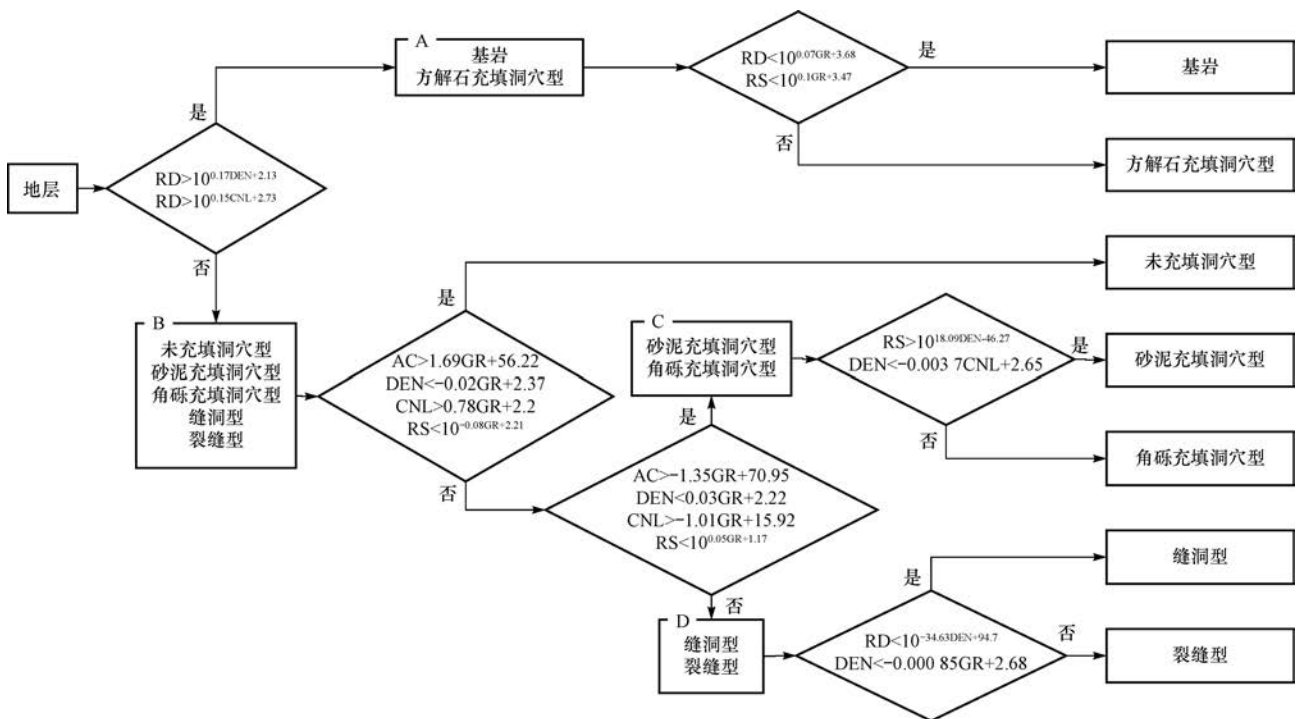


图2 交会图决策树法识别缝洞体类型及基岩流程

Fig. 2 Flowchart of identifying fracture-vug complex types with crossplot-decision tree

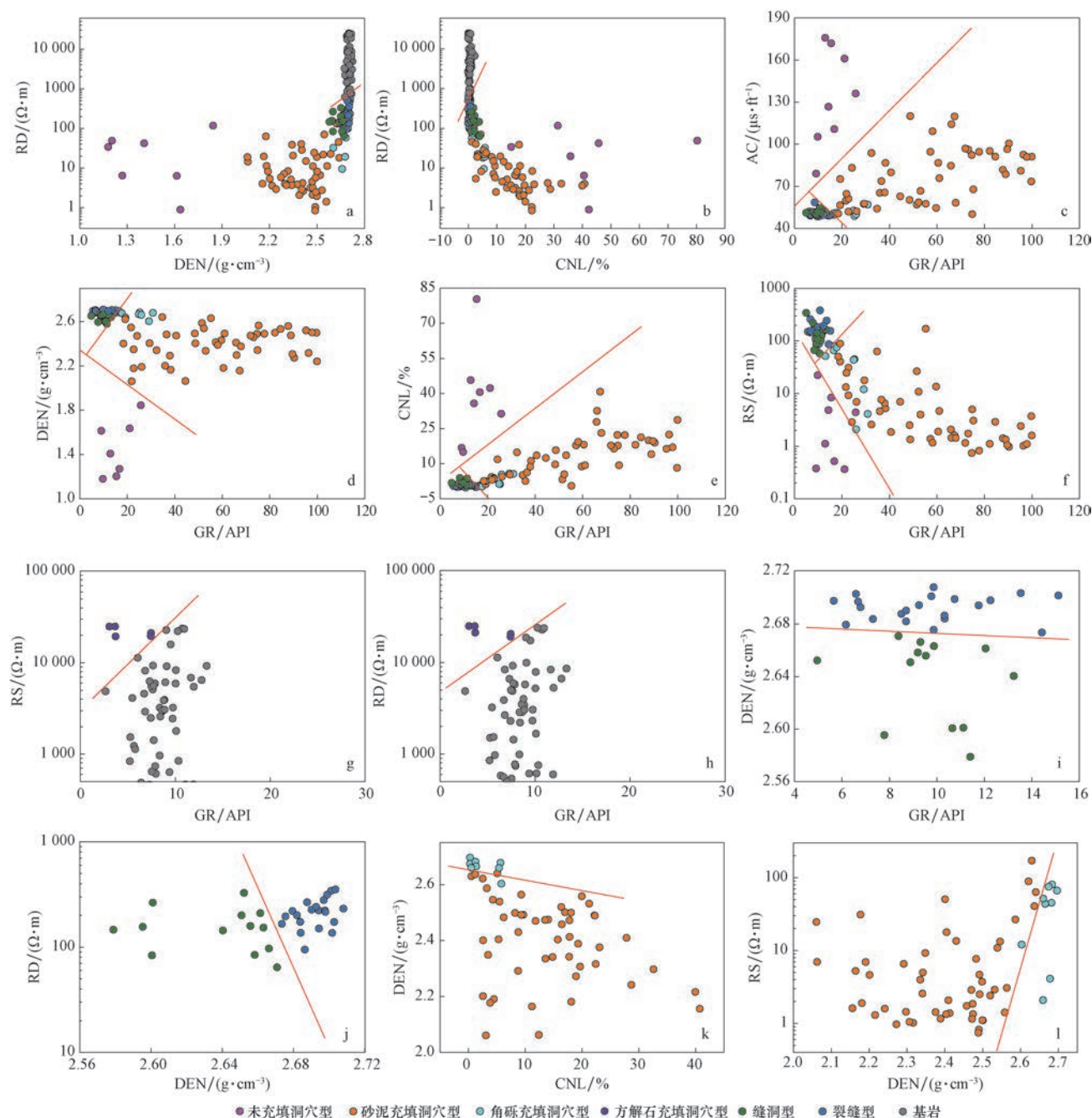


图3 塔河油田奥陶系缝洞体类型测井识别交会图

Fig. 3 Well logging identification crossplots of fracture-vug complex types of the Ordovician in Tahe oilfield

a. RD - DEN 交会图; b. RD - CNL 交会图; c. AC - GR 交会图; d. DEN - GR 交会图; e. CNL - GR 交会图; f. RS - GR 交会图; g. RS - GR 交会图; h. RD - GR 交会图; i. DEN - GR 交会图; j. RD - DEN 交会图; k. DEN - CNL 交会图; l. RS - DEN 交会图

2) 应用自然伽马与深侧向和浅侧向建立的交会图,将 A 部分进一步划分为基岩和方解石充填洞穴型。

3) 应用自然伽马与浅侧向、密度、中子和声波建立的交会图,将 B 部分再进一步分为 3 部分,一部分为砂泥岩充填洞穴型和角砾充填洞穴型(C 部分)、一部分为裂缝型和缝洞型(D 部分)。

4) 应用密度与浅侧向和中子建立交会图,将 C 部分进一步划分为砂泥充填洞穴型和角砾充填洞穴型。

5) 应用密度与自然伽马和深侧向分别建立的交会图,将 D 部分进一步划分为裂缝型和缝洞型。

3 应用效果

将本方法应用于塔河油田主体区,常规测井识别结果与岩心对比:共有 11 口井 14 段指示洞穴发育的岩心,共 112.223 m,测井识别与岩心符合 12 段,符合

表 2 塔河油田奥陶系测井识别结果与岩心对比

Table 2 Comparison of logging identified fracture-vug complex types with cores of the Ordovician in Tahe oilfield

井名	顶深/m	底深/m	厚度/m	岩性	测井识别	是否符合
A1	5 456.846	5 461.106	4.260	角砾岩	角砾充填洞穴	是
A1	5 490.986	5 494.816	3.830	砂岩	砂泥充填洞穴	是
A2	5 494.520	5 495.73	1.210	角砾岩	角砾充填洞穴	是
A3	5 462.145	5 466.215	4.070	角砾岩	角砾充填洞穴	是
A3	5 522.504	5 522.705	0.201	砂岩	裂缝	否
A4	5 525.690	5 526.330	0.640	砂岩	砂岩	是
A5	5 705.831	5 707.731	1.900	砂岩	砂泥充填洞穴	是
A6	5 416.790	5 417.770	0.980	角砾岩	角砾充填洞穴	是
A7	5 427.086	5 431.668	4.582	角砾岩	角砾充填洞穴	是
A8	5 513.910	5 525.260	11.350	角砾岩	角砾充填洞穴	是
A9	5 534.400	5 547.720	13.320	砂岩	砂泥充填洞穴	是
A9	5 557.680	5 558.250	0.570	砂岩	缝洞	否
A10	5 437.260	5 444.870	7.610	角砾岩	角砾充填洞穴	是
A11	5 484.940	5 542.640	57.700	砂岩和角砾岩	砂泥和角砾充填洞穴	是
岩心厚度总数/m			112.223	岩心数量/段		14
测井识别与岩心符合厚度/m			111.452	测井识别与岩心符合数量/段		12
测井识别与岩心对比符合率(层厚)			99.3%	测井识别与岩心对比符合率(层数)		85.7%

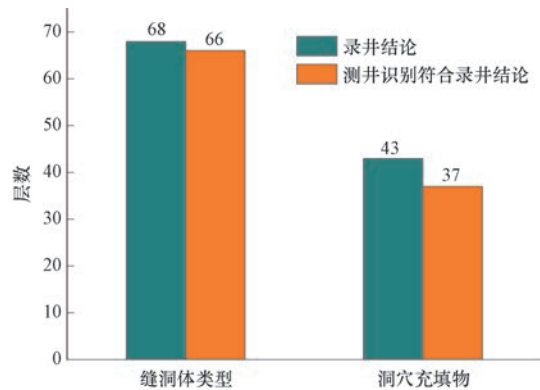


图 4 塔河油田奥陶系测井识别结果与录井结论对比统计

Fig. 4 Comparison of logging identification results with geologic logging results of the Ordovician in Tahe oilfield

厚度为 111.452 m,识别厚度符合率为 99.3%,识别段数符合率为 85.7%(表 2)。常规测井识别结果与录井结论对比:录井结论中共有 68 层指示洞穴发育,测井识别与录井结论符合 66 层,符合率为 97%;录井中有洞穴充填物类型结论的 43 层,测井识别与录井符合 37 层,符合率为 86%(图 4)。

4 结论

1) 基于露头、岩心和井壁成像测井资料,结合常

规测井识别能力,将塔河油田缝洞体分为未充填洞穴型、砂泥充填洞穴型、角砾充填洞穴型、方解石洞穴型、缝洞型和裂缝型六种缝洞体类型。

2) 通过分析各类型缝洞体的岩性、物性等特征及相互之间的差异以及由此形成的常规测井响应特征,优选对识别类型较为敏感的交会图,与决策树相结合,形成了一种缝洞体类型常规测井识别方法。

3) 针对类似的识别类型多,测井响应特征复杂的情况,可借鉴本研究中“逐级识别”的思路,减少类型之间测井响应混淆影响,提高识别的准确性。

参 考 文 献

[1] 李阳. 塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏开发理论及方法[J]. 石油学报,2013,34(1):115-121.
Li Yang. The theory and method for development of carbonate fractured-cavity reservoirs in Tahe oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013,34(1):115-121.

[2] 康志江,赵艳艳,张允,等. 缝洞型碳酸盐岩油藏数值模拟技术与应用[J]. 石油与天然气地质,2014,35(6):944-949.
Kang Zhijiang,Zhao Yanyan,Zhang Yun,et al. Numerical simulation technology and its application to fractured-vuggy carbonate reservoirs[J]. Oil & Gas Geology,2014,35(6):944-949.

[3] 鲁新便,胡文革,汪彦,等. 塔河地区碳酸盐岩断溶体油藏特征与开发实践[J]. 石油与天然气地质,2015,36(3):347-355.
Lu Xinbian,Hu Wenge,Wang Yan,et al. Characteristics and deve-

- lopment practice of fault-karst carbonate reservoirs in Tahe area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(3): 347–355.
- [4] Skalinski M, Kenter J, Jenkins S. Rock type definition and pore type classification of a carbonate platform, Tengiz field, Republic of Kazakhstan[C]//SPWLA 50th Annual logging symposium. Woodlands: SPWLA, 2009: 1–16.
- [5] Knacksstedt M A, Sok R M, Sheppard A P, et al. Porbing pore systems in carbonates; correlation to petrophysical properties[C]//SPWLA 49th Annual logging symposium. Scotland: SPWLA, 2008: 1–16.
- [6] Newberry B M, Grace L M. Analysis of carbonate dual porosity systems from borehole electrical images[C]. Midland: Society of Petroleum Engineers, 1996: 123–129.
- [7] 何治亮, 彭守涛, 张涛. 塔里木盆地塔河地区奥陶系储层形成的控制因素与复合-联合成因机制[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 743–752.
He Zhiliang, Peng Shoutao, Zhang Tao. Controlling factors and genetic pattern of the Ordovician reservoirs in the Tahe area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 743–752.
- [8] 翟晓先, 云露. 塔里木盆地塔河大型油田地质特征及勘探思路回顾[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 565–573.
Zhai Xiaoxian, Yun Lu. Geology of giant Tahe oilfield and a review of exploration thinking in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(5): 565–573.
- [9] 苏俊磊, 张松扬, 王晓畅, 等. 塔河油田碳酸盐岩洞穴型储层充填性质常规测井表征[J]. 地球物理学进展, 2015, 30(3): 1264–1269.
Su Junlei, Zhang Songyang, Wang Xiaochang, et al. Conventional logging characterization on fillings characteristic of cavernous carbonate reservoirs in Tahe oilfield[J]. Progress in Geophysics, 2015, 30(3): 1264–1269.
- [10] 赵永刚, 李功强, 宋立志, 等. 大牛地气田碳酸盐岩储层类型测井判别及应用[J]. 天然气工业, 2008, 28(12): 44–47.
Zhao Yonggang, Li Gongqiang, Song Lizhi, et al. Application of logging data in identifying carbonate reservoir types in the Daniudi Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(12): 44–47.
- [11] 田飞, 金强, 李阳, 等. 塔河油田奥陶系缝洞型储层小型缝洞及其充填物测井识别[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(6): 900–908.
Tian Fei, Jin Qiang, Li Yang, et al. Identification of small fracture-vugs and their fillings through log interpretation in fractured-vuggy Ordovician reservoirs in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(6): 900–908.
- [12] 金强, 康迅, 荣元帅, 等. 塔河油田奥陶系古岩溶地表河和地下河沉积和地球化学特征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2015, 39(6): 1–10.
Jin Qiang, Kang Xun, Rong Yuanshuai, et al. Sedimentary and geochemical characteristics of sandstones and mudstones deposited in surface rivers and subsurface rivers in Ordovician karsted carbonates, Tahe Oilfield[J]. Journal of China University of Petroleum, 2015, 39(6): 1–10.
- [13] 康志宏, 戎意民, 魏历灵, 等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶储集体类型及划分方法研究[J]. 现代地质, 2014, 28(5): 986–994.
Kang Zhihong, Rong Yimin, Wei Liling, et al. Approach to karst reservoir types and classification of Ordovician Carbonate in Tahe Oilfield[J]. Geoscience, 2014, 28(5): 986–994.
- [14] 周红涛, 高楚桥. 塔河油田碳酸盐岩储层类型划分[J]. 石油物探, 2015, 44(1): 37–38.
Zhou Hongtao, Gao Chuqiao. The types of carbonate reservoir in Tahe oilfield[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2015, 44(1): 37–38.
- [15] 樊政军, 柳建华, 张卫峰. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层测井识别与评价[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 61–65.
Fan Zhenjun, Liu Jianhua, Zhang Weifeng. Log interpretation and evaluation of the Ordovician carbonate rock reservoirs in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1): 61–65.
- [16] 金强, 田飞, 鲁新便, 等. 塔河油田奥陶系古径流岩溶带垮塌充填特征[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(5): 729–735.
Jin Qiang, Tian Fei, Lu Xinbian, et al. Characteristics of collapse breccias filling in caves of runoff zone in the Ordovician karst in Tahe oilfield, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(5): 729–735.
- [17] 杨宇. 溶洞型储层测井评价方法研究——塔中地区[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
Yang Yu. Well logging interpretation of carbonate reservoir—in Tazhong area[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2013.
- [18] 柳建华, 蔺学旻, 张卫峰, 等. 塔河油田碳酸盐岩储层有效性测井评价实践与思考[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 951–958.
Liu Jianhua, Lin Xuemin, Zhang Weifeng, et al. Logging evaluation of carbonate reservoir effectiveness in Tahe oilfield, Tarim Basin[J]. 2014, 35(6): 951–958.
- [19] 李宁. 中国海相碳酸盐岩测井解释概论[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 5–10.
Li Ning. Introduction to logging interpretation of China marine carbonate rocks[M]. Beijing: Science Press, 2013: 5–10.
- [20] 陈鑫. 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩储集体井下和露头对比研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2010.
Chen Xin. Underground and outcrops comparative research about the reservoir in carbonate rocks, Tarim basin[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2010.

(编辑 张亚雄)