

# 塔河油田奥陶系溶洞充填测井识别研究

秦伟强, 孙兆辉

(中国石化西北油田分公司, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**中国石化西北油田分公司针对塔河奥陶系目的层部署的钻井约 1300 余口, 其中 1/3 左右的井为放空或者漏失。从实钻资料分析, 有相当一部分井直接钻遇了溶洞型储集体, 有的溶洞未被充填, 有的已受到一定程度的充填, 并且充填物的性质存在较大的差异。为了能够准确高效地识别出溶洞充填物的性质, 为完井方案的部署和完井井段的选择提供有力的测井技术支撑, 按照由“正演”到“反演”的思路, 通过溶洞体中的取心资料标定常规测井, 总结不同充填物的测井响应特征, 研究充填物测井交会图判别技术, 并针对塔河 6、10、12 区等地区的奥陶系古暗河开展充填规律研究分析。

**关键词:** 成像测井; 常规测井; 溶洞; 奥陶系; 塔里木盆地

中图分类号: TE353

文献标识码: A

## Logging identification of Ordovician karst cave filling in the Tahe Oil Field

Qin Weiqiang, Sun Zhaohui

(SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** The SINOPEC Northwest Company has deployed over 1 300 wells in the Ordovician in the Tahe Oil-field, among which about 1/3 of the wells turned out empty or leaking. Many wells drilled to karst caves. The caves were partially filled, and the filling materials had various physical properties. The accurate identification of the nature of cave fillings can help the deployment of completion program and select completion interval. We used core data to calibrate conventional logging, summarized the logging responses of different fillings, and identified fillings on seismic maps. The fillings of ancient underground rivers in blocks 6, 10, 12 in the Tahe Oil Field were studied.

**Key words:** imaging logging; conventional logging; karst cave; Ordovician; Tarim Basin

塔河油田位于塔里木盆地北部塔北隆起阿克库勒凸起的南部, 西邻哈拉哈塘凹陷, 东靠草湖凹陷, 南接满加尔凹陷, 经历了多期构造运动和古风化岩溶作用<sup>[1-2]</sup>。现今塔河油田北部隆起区的大部分地区奥陶系中、上统地层均已剥蚀殆尽, 仅在鼻凸外围的斜坡区残留部分中、上奥陶统地层, 钻井揭示塔河油田奥陶系中下统主要发育岩溶缝洞型储集体<sup>[3]</sup>, 并且在塔河的 6 区、10 区、12 区和于奇中部地区, 古暗河溶洞系统较发育, 部分地区溶洞被充填的概率较高, 充填物以砂岩、泥岩和垮塌的角砾岩为主<sup>[4]</sup>。多年的开发生产资料证实, 溶洞的充填物性质和充填的程度直接影响着溶洞型储集体的开发效果。本文从溶洞储集体的充填物性质识别入手, 通过岩心标定常规测井、成像测井的技术手段, 总结分析不同岩性充填物的测井响应特征和溶洞充填程度的测井评价技术, 并结合地震物探资料的相干技术和混频技术, 探索古暗河溶洞系统的充填规律。

## 1 塔河奥陶系溶洞充填物特征分析

### 1.1 典型井选取

本次研究采用岩心标定测井的方法, 因此对典型井的要求比较高, 基本要满足以下几个条件: (1) 首先选取钻井过程中直接钻遇了溶洞, 溶洞的规模在 3~5 m 以上; (2) 在溶洞的位置进行了地质取心; (3) 完井后进行了常规测井。

按照此标准, 对塔河地区钻遇奥陶系的 1 000 余口井进行了复查、筛选, 最终选取了 23 口有代表性的井(表 1)。取心与测井精细对比分析, 包括深度归位、测井响应特征分析和相关性对比等。

### 1.2 典型井分析

#### 1.2.1 放空未充填型溶洞

钻遇放空井并进行取心的井有 T624 井(表 1), 该井在 5 680.60~5 683.98 m 井段钻遇放空溶洞, 放空段长 3.38 m, 从该井取心资料分析, 该井溶洞底部有明显垮塌角砾岩的特征。另外, 塔河地区

表 1 塔河奥陶系溶洞充填物取心典型井统计

Table 1 Typical karst cave coring wells in the Ordovician in the Tahe Oil Field

溶洞性质	井名	充填物类型	充填物性质
放空型	T624	放空	放空 3.38 m, 取心见角砾岩。
	S106-1		放空 32.81 m, 未取心。
	S106-4		放空 2.50 m, 未取心。
	S1067		放空 4 次累计 22.95 m, 未取心。
	TP11		放空 9.07 m, 未取心。
	TP24		放空 5.00 m, 未取心。
泥质充填	T502	泥岩充填	以绿灰色为主, 含粉砂。
	YQ11		以绿灰色为主。
	YQ16		以灰绿色为主, 含粉砂。
	S70		含灰质
角砾岩充填	YQ16	夹灰质团块	不规则, 呈棱角状。
	T207	角砾岩	以灰质砾为主, 含少量燧石砾。
	T403		以角砾岩为主, 形状不规则, 棱角状。
YQ4	砾石主要为方解石, 角砾状结构, 分选差。		
砂岩充填	T615	砂岩充填	含泥质和角砾岩。
	YQ3		见中低角度砂岩层理。
	YQ7		局部含灰质, 水平层理发育。
	S81		含砾
似溶洞特征	S77		基质严重溶蚀, 溶蚀缝充填灰绿色泥质。
	AD8		泥质充填缝
	TK456		坡积物, 粉砂质灰岩。
	YQ1		东河砂岩, 浅灰色中砂岩。
	S5		白云岩, 浅灰—灰白色中晶白云岩。

S106-1、S106-4、S1067、TP11 和 TP24 井等井均钻遇了放空溶洞, 虽然未在溶洞的位置进行取心, 但从几口井常规测井资料的响应特征分析, 放空溶洞的测井响应特征一般表现为: (1) 在钻遇放空前, 在溶洞上部一般会钻遇溢流、漏失等特征; (2) 放空的溶洞, 一般情况下, GR 曲线较平直, 表明溶洞基本未充填或被少量充填; (3) 电性曲线和物性曲线一般表现为泥浆环境下的响应特征<sup>[5]</sup>。

### 1.2.2 溶洞被泥质充填

塔河油田典型井主要有 T502、YQ11 等井(表 1), 从取心和常规测井资料分析, 泥岩充填的溶洞, GR 曲线存在明显的升高, 一般在 75~105 API 之间变化, 电阻率数值一般在  $1.0 \Omega \cdot \text{m}$  以下, 从三孔隙度曲线分析, 泥岩基本未受到压实, 表现为较疏松的泥岩特征, 声波测井数值在 90~100  $\mu\text{s}/\text{ft}$  之间, 密度测井数值在  $2.35 \sim 2.40 \text{ g}/\text{cm}^3$  之间变化(图 1)。

若泥岩含一定的灰质, 例如 S70 井, 其在 5 496.0~5 501.0 m 井段钻遇溶洞, 溶洞被含灰质的泥岩所充填, 从测井响应特征曲线分析, 含灰质情况下, 密度曲线一般响应较明显, 存在较明显的升高特征, 数值一般在  $2.45 \sim 2.55 \text{ g}/\text{cm}^3$  之间。

### 1.2.3 溶洞被砂岩充填

比较有代表性的井有 T615、YQ3 和 YQ7 等井, 从 YQ3 井取心及测井资料分析, 该井 5 816.0~5 820.5 m 之间钻遇溶洞, 溶洞被灰绿色灰质细粒长石石英砂岩充填, 岩性分析中, 石英占 90%, 长石占 7%, 岩屑占 3%, 且岩性分选好, 具有明显的斜层理特征, 砂岩层理之间有灰绿色泥质条带, 条纹显现。成像测井反映砂岩层理特征较明显, 常规测井曲线反映砂岩较疏松, GR 数值在 55~70 API 之间, 电阻率数值在  $1.0 \Omega \cdot \text{m}$  左右, DEN 曲线数值在  $2.40 \sim 2.45 \text{ g}/\text{cm}^3$  之间, 声波曲线数值在 85~90  $\mu\text{s}/\text{ft}$  之间<sup>[6]</sup>。

若溶洞中充填的砂岩中含有砾岩, 例如 S81 井, 该井在 5 708.5~5 713.0 m 之间钻遇溶洞, 从取心资料分析, 该溶洞被砾质粗砂岩充填, 砾石以石英砾、燧石砾为主, 并见少量灰质砾岩。结合常规测井曲线特征分析, 砂岩含砾情况下, GR 和电阻率曲线特征变化不明显, 主要在三孔隙度曲线上存在较明显的响应。

### 1.2.4 溶洞被角砾岩充填

比较有代表性的井有 T207、T403 和 YQ4 等井, 从 T403 井取心资料分析, 其溶洞充填物以角

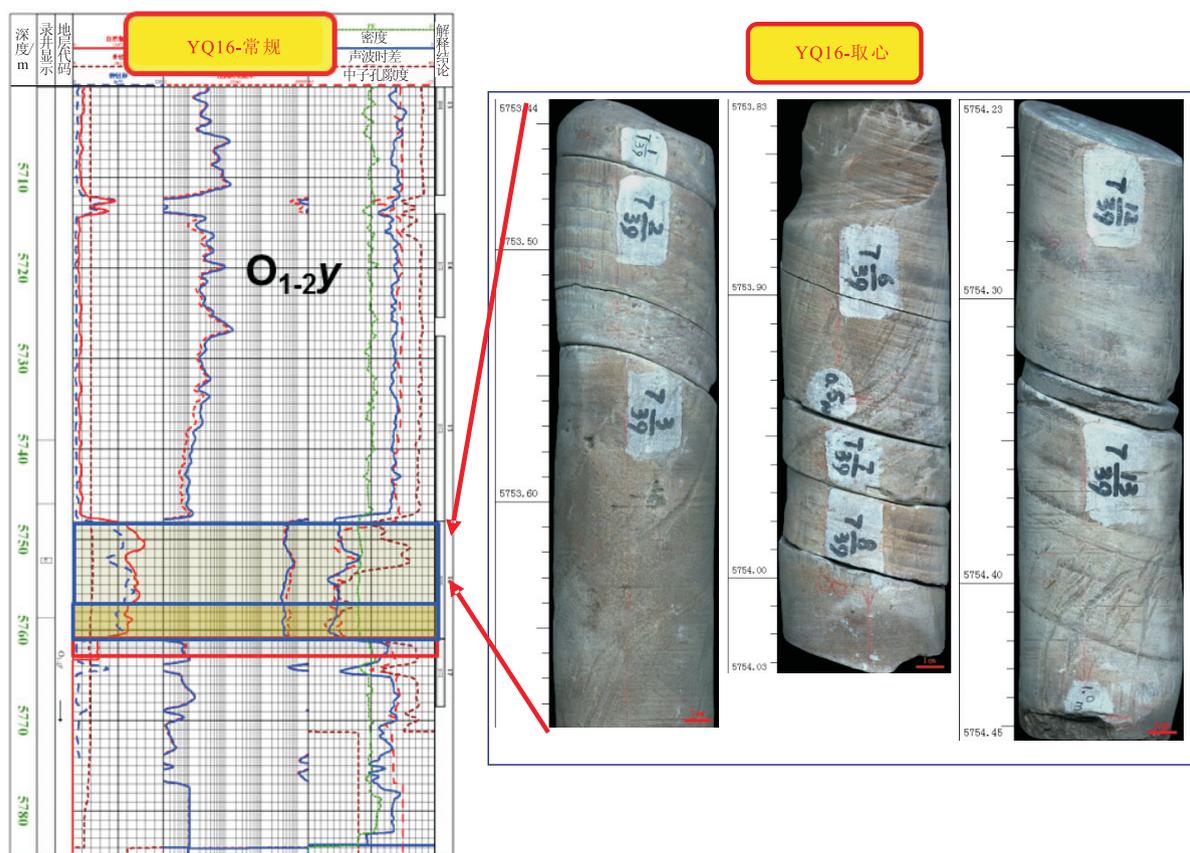


图 1 溶洞被泥岩充填条件下的测井及岩心特征

Fig.1 Logging and coring features of mudstone filled caves

砾岩为主,角砾大小不一,并且形状不规则,以次棱角状—棱角状为主。从测井曲线响应特征分析,GR曲线相对上下围岩有一定的台阶状升高,数值一般在 15~30 API 之间变化,电阻率曲线表现为尖峰状升高的特征,三孔隙度曲线数值接近于围岩特征。

## 2 测井交会图识别分析

根据充填物的复杂程度,按照由简单到复杂的过程,逐步深入分析。根据前面不同溶洞充填物的取心及常规测井响应特征,提取岩性、电性和物性测井曲线数值,制作了各种测井响应关系的交会图版,对于泥岩、角砾岩和砂岩充填条件下的识别分析,通过对比,认为 GR—RT、GR—AC 和 GR—CNL 以及 RT—AC 之间的交会图识别效果较好,三者 在图版上基本能被有效地区分开(图 2)。DEN 曲线由于易受井径扩径的影响,因此在 DEN 交会图上不易判别。

同时,随着识别难度的进一步增加,溶洞充填物的判别需结合井所处的地质背景、构造环境和区块的岩溶发育规律等因素综合判别,通过对比,认为 GR 与 CNL 曲线交会图识别效果相对较好。

## 3 应用效果分析

塔河 6 区、10 区、12 区和于奇中部等区块碳酸盐岩地层发育比较典型的“古暗河”,从实钻资料分析,每条古暗河均存在一定程度的充填特征。从河道走向分析,有北西向、北东向和东西向;从主次关系分析,有主河道,有次级支河道;从钻遇河道的井分析,有放空漏失型、有充填型(砂岩充填、泥岩充填、垮塌角砾岩充填等)。本次研究,则以研究的充填物交会图判别技术对古暗河充填特征进行分析,并对充填规律进行总结,为油田的高效开发提供测井技术支撑。

以 TH12154 古暗河充填识别分析为例。TH12154 古暗河基本为南北走向,从地震反射资料分析,该条古暗河规模较大,河道较宽,并且延伸较长。从实钻资料分析,该河道钻遇放空漏失较多(图 3),TH12154、TH12123 和 TH12122 井钻遇放空,TH12168H、TH12128、TH12127、TH12185、TH12186 等井钻遇了井漏,其中 TH12127 和 TH12123 井进行了测井,从交会图识别技术分析,古河道局部受到一定程度的充填,主要以角砾岩或含砾砂岩充填为主(图 4)。

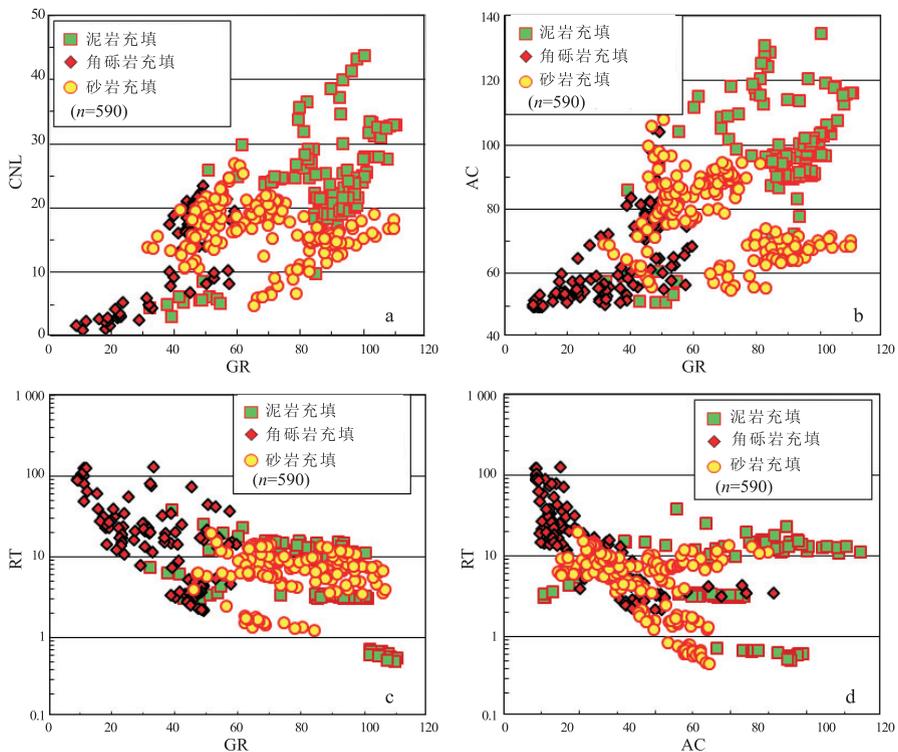


图 2 塔河奥陶系溶洞充填物测井识别交会图

a.GR-CNL 测井交会;b.GR-AC 测井交会;c.GR-RT 测井交会;d.AC-RT 测井交会

Fig.2 Logging identification cross plots of cave fillings in the Ordovician in the Tahe Oil Field

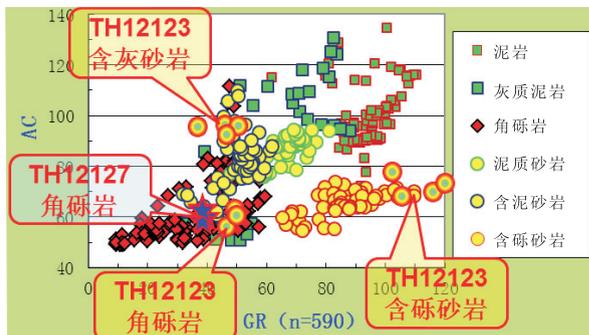


图 3 塔河奥陶系溶洞充填识别交会图

Fig.3 Logging identification cross plots of cave fillings in the Ordovician in the Tahe Oil Field

### 4 结论

(1) 利用测井资料分辨识别溶洞充填物的性质具有较好的效果,但由于不同区块的充填类型和特征差别较大,需要在后续的工作中不断丰富完善。

(2) 溶洞的充填,少见单一岩性的充填,一般表现为砂岩、泥岩、角砾岩等重叠混杂沉积的特征,并且充填特征与井所处的构造位置有关。

(3) 砂岩充填情况下,溶洞为有利的储层,泥岩充填下,溶洞顶部一般发育有利的储层,在下步的开发方案中可考虑侧钻部署。



图 4 TH12154 古暗河井位分布

Fig.4 Well location for ancient underground river of TH12154

(下转第 22 页)

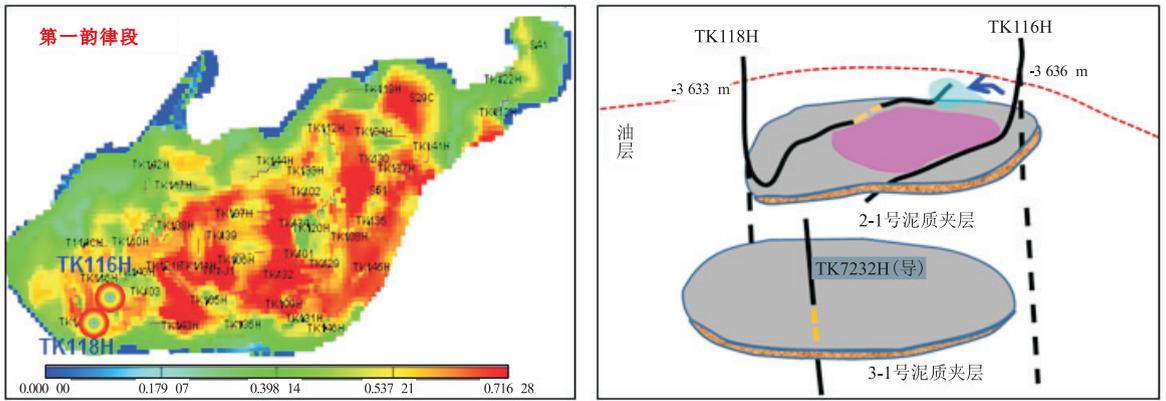


图 1 TK116H-TK118H 井组地质特征

Fig.1 Geologic features of wells TK116H-TK118H

径改变,改变夹层上压力场的分布,从而使井周剩余油重新分布,放大压差后动用井周剩余油。

利用有效封挡夹层对井周剩余油进行挖潜在塔河一区展开后,陆续在 TK104H、TK121H 等井实施。TK121H 井注入地层水 160 m<sup>3</sup>,关井 72 h 后开井生产,含水由 97% 下降到 80%,日产油由 2 t 上升至 8 t,稳定生产,累计增油 995 t。通过对夹层遮挡性的研究,对部分有夹层发育的低产水平井进行注入介质激动,共实施 7 口井,累增油 4 164 t。

### 5 结论

(1)在“相控砂体”理论指导下分析油井剩余

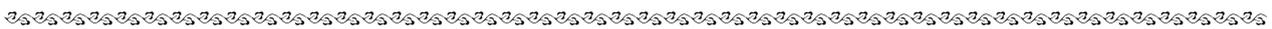
油分布,根据剩余油分布指引挖潜方向,制定挖潜措施。

(2)通过数值模拟手段和生产实例,验证“相控砂体”指导剩余油挖潜正确可行,将在塔河油田作为开发研究重点。

#### 参考文献:

[1] 刘钰铭,侯加根,王连敏,等.辫状河储层构型分析[J].中国石油大学学报,2009,33(1):7-11.

(编辑 叶德燎)



(上接第 4 页)

#### 参考文献:

[1] 张卫峰,柳建华,樊政军,等.塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层测井评价技术[J].中南大学学报:自然科学版,2006,37(1):188-192.

[2] 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.

[3] 张海娜,杜玉山,王善江,等.塔河油田奥陶系潜山碳酸盐岩

储层特征及测井评价技术[J].测井技术,2003,27(4):313-316.

[4] 牛玉静,康志宏,龙旭,等.塔河油田奥陶系岩溶油藏溶洞储集体成因及演化[J].现代地质,2011,25(4):650-659.

[5] 徐薇,蔡忠贤,贾振远,等.塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏溶洞充填物特征[J].现代地质,2010,24(2):288-294.

[6] 徐薇,陈冬梅,赵文光,等.塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏溶洞发育规律[J].海相油气地质,2011,16(2):34-41.

(编辑 叶德燎)