文章编号:1001-6112(2017)S1-0013-04
doi:10.11781/sysydz2017S1013

塔河油田中深层高放射性地层成因及应用

马雪健[1],王晨光[2]
(1.中国石化 西北油田分公司 勘探开发研究院,乌鲁木齐 830011;2.中国地质大学,北京 100083)

摘要:塔河地区中深层是指中—下奥陶统内幕探明储量区计算油层底界附近的辅助层 T_7^{51} 面到鹰山组 T_7^8 面之间的层系,相当于地层划分的鹰上段下亚段和鹰下段。T_7^{51} 地震、测井追踪比较困难,通过大量统计发现,塔河中深层碳酸盐岩地层中普遍存在三套高放射性层段,而这些高放射性地层可能是很好的油气储层,因此在中深层储层评价中,自然伽马能谱测井是评价高放射性储层的一种有效技术手段,高放射性地层不仅可以作为区域地层对比的标志层,而且对于裂缝发育带和早期岩溶作用以及后期油气充注路径有很好的指示。

关键词:高放射性;鹰山组;储层评价;塔河油田
中图分类号:TE122.2 **文献标识码**:A

Formation of mid-deep strata with high radioactivity in the Tahe oil field and its application

Ma Xuejian[1], Wang Chenguang[2]
(1.*Research Institute of Exploration & Production*, *SINOPEC Northwest Company*, *Urumqi*, *Xinjiang* 830011, *China*;
2. *China University of Geosciences*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The mid-deep strata in the Tahe area cover the range from T_7^{51} to T_7^8, that is, from the lower part of the upper Yingshan Formation to the lower Yingshan Formation from stratigraphic aspect. It is relatively difficult to track T_7^{51} with seismic and logging methods. Through a large number of statistic findings, three highly radioactive intervals were commonly found in the mid-deep formation in the Tahe oil field, with possible good reservoirs. Thus during the evaluation of mid-deep reservoirs, Natural Gamma Ray Spectrometry Logs is an effective technique to evaluate highly radioactive reservoirs. Highly radioactive formations not only can be a key horizon for regional formation comparison, but also a good indicator for fault belt, karstification and the path of oil and gas charging.

Key words: high radioactivity; Yingshan Formation; reservoir evaluation; Tahe oil field

1 自然伽马能谱测井原理

因为地层岩石的自然伽马射线主要由铀系和钍系中的放射性核素及 K^{40} 产生的,自然伽马能谱测井是一种特殊测井方法[1-8],它不仅能测量出地层总自然伽马,还能测量出地层的无铀伽马(K,Th)及地层中铀(U)、钍(Th)、钾(K)的含量,而地层中含有的放射性元素铀、钍和钾与地质作用和岩石结构有明确的关系,所以,可以通过自然伽马能谱测井所测量的铀、钍和钾含量来研究地层的特性,为正确评价地层提供可靠的信息。

2 碳酸盐岩高 U 产生的机理

塔河地区中—下奥陶统的储集体主要经历加里东中晚期表生期溶蚀,并叠置了后期多期埋藏岩溶作用的改造[9]。由于沉积环境、岩性及地球化学性质上的差别,使得地层中的放射性元素铀、钍、钾的富集程度及相对含量发生变化,储层中铀含量的增高与地层水活动有着密切的关系,当四价的原生 U 矿物裸露于地表时,逐渐氧化,从四价变为六价的铀酰络离子 $(UO_2)^{2+}$,它极易溶于水,化学性质十分活跃。其中一部分与其他物质形成各种次生铀矿;但大部分被地下水带入盆地,有机质、黏土、磷酸盐对其具有较强的吸附作用,从而沉淀下来;还有一部分被地下岩溶水沿断裂和岩溶裂缝发育带或构造破碎带迁移到深部,在还原条件下还原成四价铀沉淀下来,在某些地层中富集(图 1)。放射性铀在一定程度上反映了生物富集及演化的特

收稿日期:2017-07-08;**修订日期**:2017-10-17。
作者简介:马雪健(1985—),男,工程师,从事测井资料处理与解释工作。E-mail:443700849@qq.com。

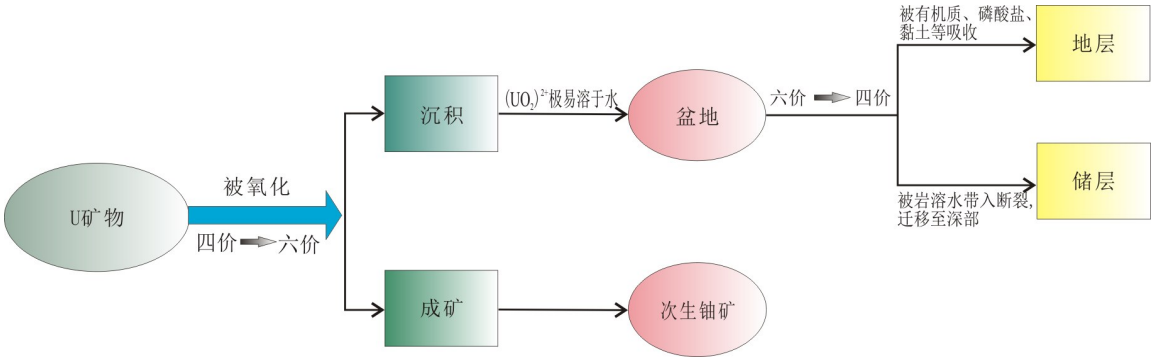

图 1　高 U 成因示意

Fig.1　Causes for high U content

征,而钾、钍含量在很大程度上反映了泥质的性质。有些渗透性地层因地层水活动使其放射性矿物增多, 成为高放射性地层。当裂缝发育时,碳酸盐岩渗透性增大,受地下水活动影响铀的含量可能增高。

3　应用实例分析

3.1　高 U 在鹰山组内幕地层划分中的应用

塔河油田奥陶系中深层鹰山组内幕地层组段的划分一直存在争议。目前对中深部储集体的认识主要是通过大量统计工作得出的,对于奥陶系油藏中深部内幕层位的划分界定也处于摸索研究阶段,特别是针对中深部重点评价层段鹰山组上段下亚段 T_7^{51} 界面的划分。

鹰上段下亚段($O_{1-2}y^{2-1}$):前人将其称为鹰上段下亚段,顶、底面为 T_7^{51}、T_7^6 波组反射界面,地层厚度变化范围较大,约 220~280 m,目前将其界定为中深部重点评价层段。通过井震结合对塔河油田中深层进行了地层及储层分析,总结出塔河油田奥陶系鹰山组顶面之下共发育 3 套高 GR 段(U 高)。第一套高 GR(U 高)段地层界限明显,区域稳定,主要储集类型为裂缝型及溶洞型储层,是中深层井主要的产出段,与地震时间剖面 T_7^{51} 之下“串珠状”异常体有很好的对应关系。从测井曲线上看第一套高 GR 的顶明显是一个界限,且在全区较为稳定,溶洞均发育在第一套高 GR 顶部之下,初步怀疑第一套高 GR 顶部可能为 T_7^{51},但是沉积旋回在常规测井曲线上不明显,测井层序识别难度较大。针对鹰山组内幕高放射性层段,利用基于小波分析及 INPEFA 测井旋回分析技术对鹰山组层序及内部四级旋回进行了划分(图 2)。INPEFA 测井旋回分析技术是荷兰沉积学家 Nio 研发的一种以最大熵分析方法为基础的测井曲线频谱分析方法,该方法以旋回地层学为理论依据,通过一系列的数学运算把测井曲线转换成 INPEFA 曲线形式,使隐藏在测井曲线中的地层旋回特征更加显现化。

剥蚀区、过渡区及覆盖区 T_7^6 面测井识别特征为一套自然伽马快速升高段的顶部,该段的底部发育一套自然伽玛相对高值段,向上自然伽马表现为低值。由下至上,双侧向有较为明显的 3 期由高向低呈钟形的变化旋回,深浅侧向幅差不大,三孔隙度增大,一致性较好。在每期旋回的顶部显示有一套层控状的裂缝—孔洞型储集体,T_7^6 之下云质增多且 GR 变大,推测为控制岩溶作用的底板,局部井区在最下面的一期旋回中发育大型洞穴型储集体,多口井分别在相应深度范围内钻遇放空、漏失,表明发育溶洞型储集体发育(图 3)。

3.2　高 U 现象在储层评价中的应用

碳酸盐岩具有易溶、易裂的物理性质,伴随构造运动都会产生大量的构造裂缝。断裂、裂缝既是流体的储集空间,又属于流体的运移通道。因此,断裂、裂缝是碳酸盐岩岩溶储集体发育的重要影响因素之一。地表水系沿裂隙在碳酸盐岩内幕进行溶蚀形成溶隙及洞穴,在碳酸盐岩沉积地层中,某些特定的层面对洞穴的形成起到非常重要的作用,这些层面被称为初始层。初始层相对于其他层面更容易被溶蚀,与围岩又有明显的如化学或矿物构成上的差异。T_7^{51} 界面属于岩性地层界面,该界面相当于鹰上段上亚段的颗粒灰岩和泥晶灰岩与鹰上段下亚段泥晶灰岩之间的岩性界面。从地震剖面来看,中深层缝洞体大多发育在 T_7^{51} 界面之下,很可能是中深层的岩溶初始层。在岩溶作用过程中,岩溶水携带的六价的铀酰络离子$(UO_2)^{2+}$沿断裂和裂缝进入相对封闭的还原环境中,还原成四价铀沉淀下来,形成高放射性地层。因此,高 U 现象能够指示裂缝、溶洞发育,高铀富集带能够指示大的缝洞发育区域,是缝洞早期岩溶沟通的指示。XX井裂缝发育段表现为高U特征(图4),从成像测

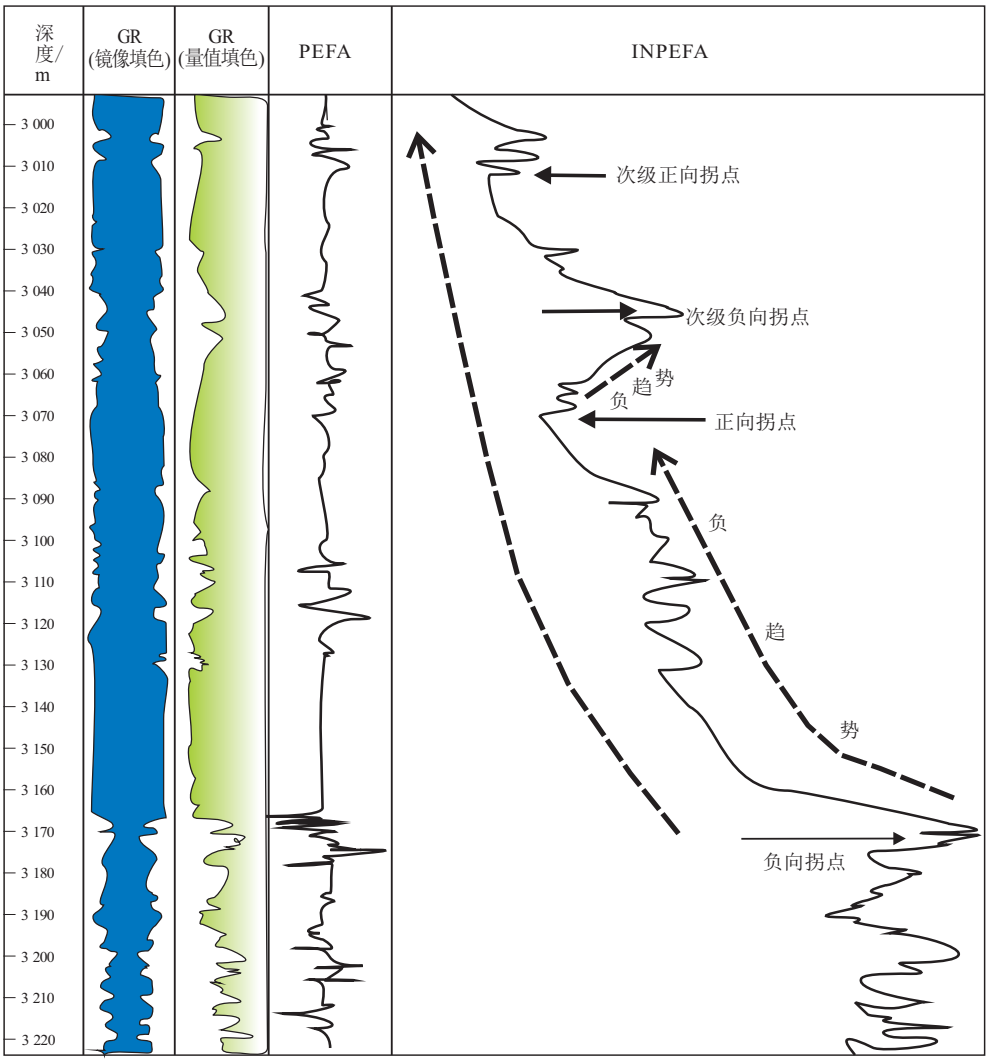

图 2　INPEFA 特征意义示意

Fig.2　Characteristics of INPEFA

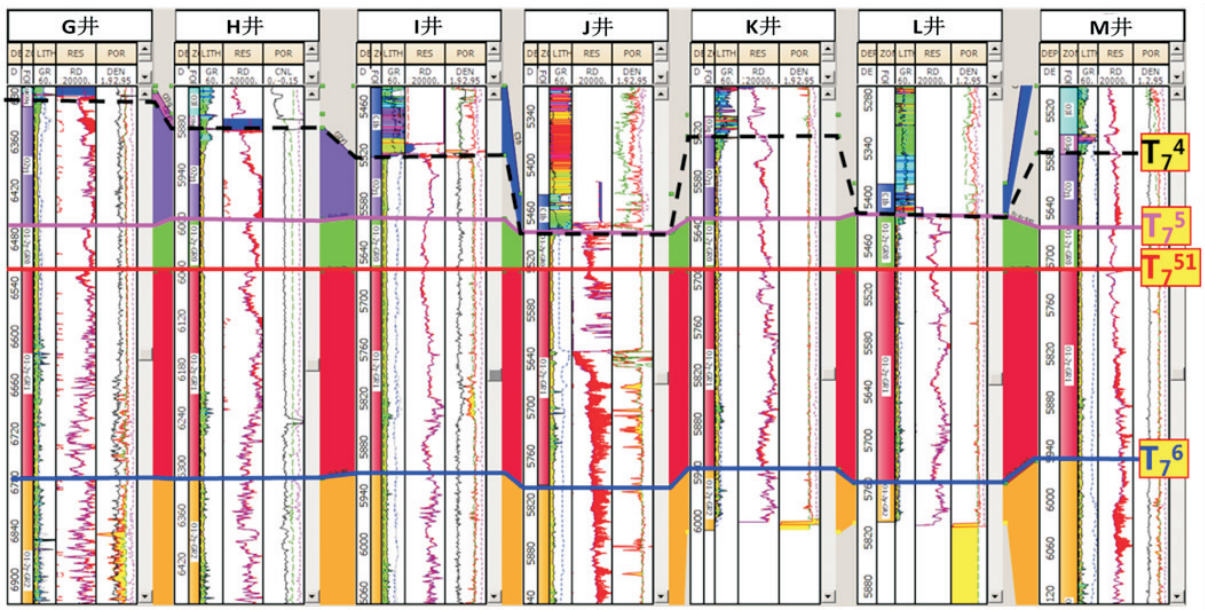

图 3　塔河油田 G-H-I-J-K-L-M 井中深部连井剖面对比

Fig.3　Mid-deep formation profiles crossing wells G-H-I-J-K-L-M in the Tahe oil field

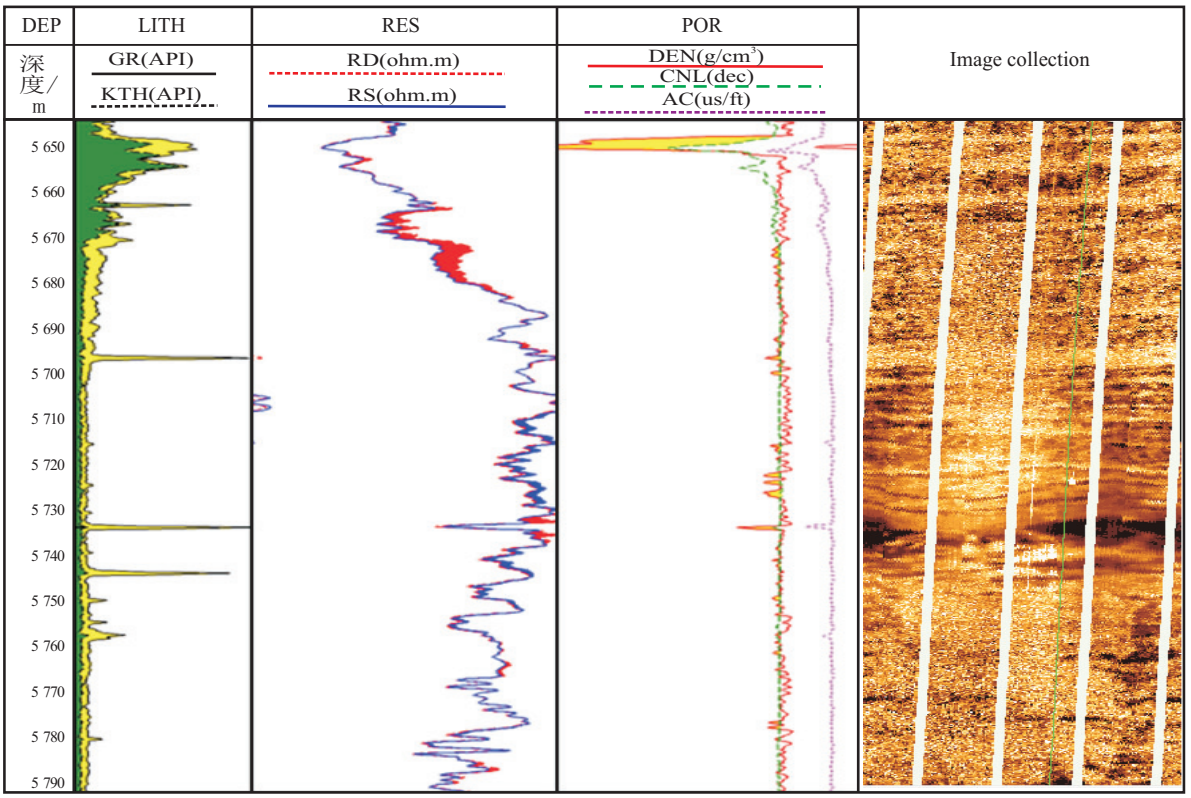

图 4　塔河油田 XX 井高 U 储层发育特征

Fig.4　Characteristics of high U content reservoir in well XX, the Tahe oil field

井来看见高角度裂缝,且沿裂缝有非常明显的溶蚀扩大现象,对该井 5 720~5 802 m 井段进行裸眼射孔酸压,用 5 mm 油嘴试油,折算产油 216.59 m^3/d,产气 19 500 m^3/d,评价为高产油气层。充分说明高 U 特征对于裂缝发育带和早期岩溶作用以及后期油气充注路径有非常好的表征。

在中深层储层评价方面,测井针对 T_7^{51}-T_7^6 之间的地层,选取了 27 口钻遇鹰山组第一套高伽马(高 U)段的中深层井开展分析研究,通过放空漏失井统计,在第一套高 GR(高 U)之下放空、漏失的井有 11 口,占到了总井数的 40%,中深层溶洞型储层基本上都是分布在进山 280~340 m 左右,呈层状分布,与第一套高伽马的深度一致, XXX 井虽然没有放空漏失,但酸压井段 6 360~6 445 m,正好是第一套高 GR 的位置,酸压后日产油 63.9 t。初步认为溶洞型储层是第一套高铀地层主要的储层类型之一,同时对于后期储层预测和地层对比工作具有非常重要的指导意义。

4　结论

(1)鹰山组第一套高 U 地层界限明显,区域稳定,在鹰山组内幕地层划分中可以作为很好的标志层。

(2)高 U 现象能够指示裂缝、溶洞发育,高铀富集带能够指示大的缝洞发育区域,是缝洞早期岩溶沟通的指示。塔河中深层碳酸盐岩地层中普遍存在 3 套高 U 层段,综合地震和测井分析以及根据实钻井放空漏失情况,认为第一套高 U 层段可能是很好的油气储层。

参考文献:

[1]　王洁冰.CPLD 技术在自然伽马能谱测井仪中的应用[J].舰船防化,2007(4):21-26.

[2]　吴三省.自然伽马测井译文选[M].北京:石油工业出版社,1988.

[3]　马正.油气测井地质学[M].武汉:中国地质大学出版社,1994.

[4]　白云台,陈汗林,杜淑艳.高放射性碳酸盐岩储层评价技术及其应用[J].断块油气田,2002,9(5):80-82.

[5]　黄隆基,首祥云,王端平.自然伽马能谱测井原理及应用[M].北京:石油工业出版社,1995.

[6]　潘和平,马火林,蔡柏林,等.地球物理测井与井中物探[M].北京:科学出版社,2009.

[7]　王谦.自然伽马能谱测井在塔河奥陶系地层划分中的应用[J].石油物探,2004,43(5):504-507.

[8]　钱峥,吕成远,吕优良,等.自然伽马能谱测井在沉积环境及层序地层学中的应用[J].石油物探,1995,34(测井专刊第 4 辑):7-11.

[9]　林忠民,李正芬,罗传容.塔河油田奥陶系岩溶发育特征及控制因素[C]//蒋炳南, 张希明, 陈惠超, 等.塔里木盆地北部油气勘探与开发论文集.北京:地质出版社,2000:24-26.

(编辑　叶德燎)