

利用铝钒含量识别碎屑岩有利储层的 新技术及其应用

——以莺琼盆地 DX、BX 区为例

吕俏凤¹, 钟家良¹, 唐建¹, 吴士荣¹, 安东岭², 曹孟贤³,
高云龙¹, 何登连¹, 秦圆明¹, 王锋¹

1 中海石油能源发展工程技术分公司实验中心(湛江); 2 中海石油(中国)有限公司湛江分公司;
3 深圳市亿能杰石油设备有限公司

摘要 对南海西部4个盆地的跟踪研究发现:碎屑岩中铝钒含量越低,储层性质越好。在碎屑岩发育区,铝钒含量普遍具有正相关性,且不受放射性的影响,故可通过寻找低铝低钒含量区来识别泥质含量较低的有利储层。基于铝钒含量交会图,结合录井岩性可界定出有利储层带、过渡带、欠储层带,并定量标定出各带的下限值或上限值。通过铝钒含量平面分布图,可“由点推面”识别有利储层带、过渡带、欠储层带的分布区。应用该项技术识别储层时,首先需结合钙含量把含灰质的致密储层甄别出来。该技术推广应用于莺琼盆地 DX、BX 等区块,钻前预测的有利储层分布区,与实钻结果基本一致。这项技术是对利用沉积相解释碎屑岩有利储层和泥质岩盖层这一方法的较好补充,也是对受放射性影响的高伽马砂岩进行测井解释的有力手段,尤其是提供了一种新型实用的地球物理手段,即把铝钒含量随深度变化曲线和各储层带的下限值或上限值应用于分频反演,可以识别有利储层和泥质岩盖层或隔夹层。

关键词 铝含量; 钒含量; 碎屑岩; 储层预测; 莺歌海盆地; 琼东南盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

0 前言

化学元素广泛应用于地质研究的多个领域:元素应用于地球化学环境^[1-10]和沉积物源方面研究的实例^[11-15]较多;也有学者利用元素研究地层界面^[16]、储层含油气性和矿床特征^[17-20],利用元素测井资料确定储层黏土含量^[21],利用ECS元素测井技术对非常规储层进行评价^[22]、对岩性进行识别与划分。笔者也曾利用亲陆元素和陆源化合物对沉积物源和隐蔽储层进行了一些研究^[23],但尚未深入到碎屑岩有利储层识别这个层面。

南海西部的北部湾盆地、莺歌海盆地、琼东南盆地(莺歌海盆地和琼东南盆地合称莺琼盆地)、珠江口盆地西部分别位于海南岛的西北部、西南部、东南部和东北部(图1),各盆地主要沉积古近系—新近系湖相、海相地层。在南海西部4个盆地10个区

块(位置见图1)共67口井中选取了2 300多个样品,选择有代表性的碎屑岩进行储层预测、验证和应用。在北部湾盆地WX6-8油田选取古近系始新统湖相地层进行取样,样品沉积相带为三角洲相;在WX-8W油田选取新近系中中新统海相地层进行取样,样品沉积相为滨海相、三角洲相。在莺歌海盆地选取了LZ区块、LP区块、DX区块、LX区块、HX区块、LY区块等6个区块的新近系上新统、上中新统、中中新统海相地层进行取样,样品沉积相带为三角洲相、滨海相、浅海相。在琼东南盆地BX区块选取了新近系中新统海相地层进行取样,样品沉积相带为三角洲相、浅海相。在珠江口盆地西部WY油田区块古近系渐新统—新近系中新统海相地层进行元素取样,样品沉积相带为三角洲相和滨海相。

7年多的反复实验和验证表明:铝、钒元素的含量(简称铝钒含量)可以识别碎屑岩有利储层的规律

收稿日期: 2018-02-28; 改回日期: 2019-04-25; 网络出版日期: 2020-03-12

本文为中国海洋石油总公司技术发展项目“利用亲陆元素和陆源化合物研究碎屑岩隐蔽储层的新方法”(编号: C/KJF JDCJF001-2008)专利成果的主要内容。发明专利名称: “一种预测碎屑岩隐蔽储层的方法”; 授权专利号: 201210170548.1; 证书号: 第1447085号

第一作者: 吕俏凤,高级工程师,主要从事储层研究工作。通信地址: 524057 广东省湛江市坡头区南油二区南调路实验中心; E-mail: luqf@cnooc.com.cn

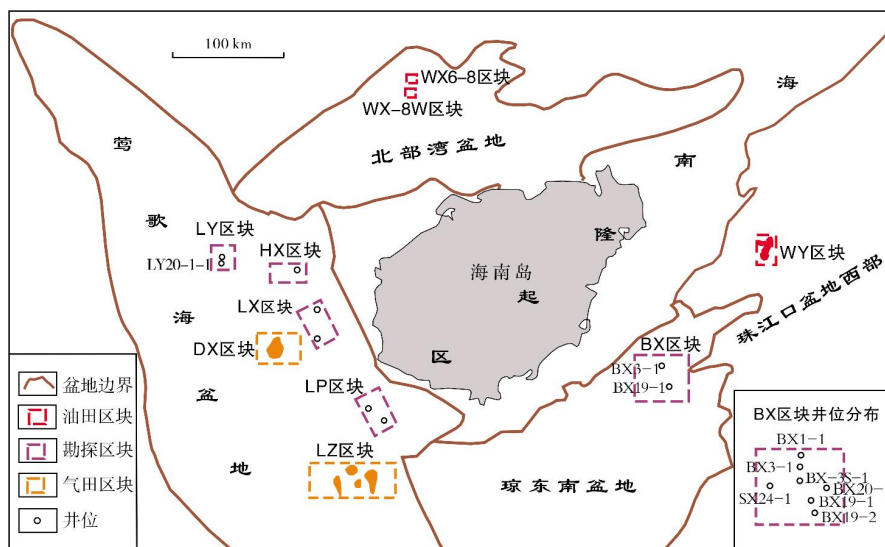


图1 南海西部主要盆地铝钒元素取样点分布

Fig. 1 Distribution of Al and V sampling points in main basins in the west of South China Sea

性变化,可优选为识别碎屑岩储层的参数,并据此建立适用于油气勘探开发的识别碎屑岩有利储层的新技术。限于篇幅,本文以莺歌海盆地 DX、BX区为例,对利用铝钒含量识别碎屑岩有利储层的原理、方法及实际应用进行系统介绍。

1 数据的获取

铝钒含量数据的获取主要有2种途径:一种是通过铝元素测井(ECS)^[24],如DX-1S-1井、WY-3-2井进行了铝元素测井,这就省去了取样的过程,可直接利用铝元素测井数据;但现在进行铝元素测井的井比较少,大部分仍依赖钻后对岩心、岩屑进行取样再送实验室测试元素含量^[25-26]。本次测试的每个样品约为10g,均由电感耦合等离子体原子发射光谱法

(ICP-AES)测试以获取铝钒含量数据。

取样数量根据单井层段和目的层厚度设计而定:勘探井取样间隔5~20 m,主要目的层段间隔2~5 m,单层一般取样15~25个;开发井油气组取样间隔2~5 m,单层油气组取样15个左右。地层较厚的一口井取样可达100多个。

取样点的质量和代表性是非常关键的。首先是选取样点,应避免在岩性界线处选样。还要重点解决取样中岩屑的污染问题,经过核查、比对,采用3步校正:①取样时应用目筛剔选、磁铁吸杂等去伪存真挑样;②对于同一物源区的样品,如果偏离铝钒含量交会图的趋势,且呈无序发散形状,则视为混样、伪样予以剔除(图2,红色圈所示);③根据岩心标样和铝钒含量交会图判断样品真伪。

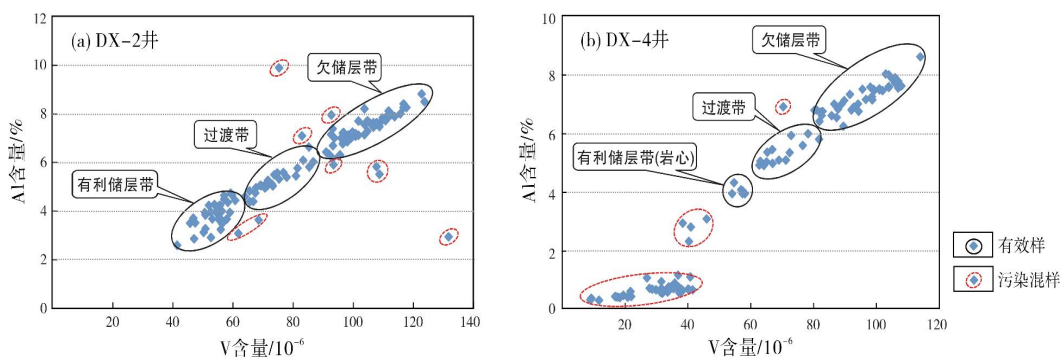


图2 莺歌海盆地DX区块单井铝钒含量交会图及岩屑中的混样辨识

Fig. 2 Cross plot of Al and V content of single well in DX block of Yinggehai Basin and discrimination of mixed samples

常温常压井岩屑污染相对较小,一般采用第①步措施可基本达到取样要求,如琼东南盆地BX区梅山组的取样就属这种情况。利用铝钒含量普遍具有正相关性的特点,同一物源的样品在铝钒含量交会图上应在同一趋势上(图2),如果表现为有序的、以不同趋势呈现的点群,则属于不同物源。对于伪样、混样,由于污染的发生,其铝钒元素含量的比率常发生无序偏离,反映出这样的样品不合格,可采用第②步措施予以剔除,如图2a所示,红圈内点群为污染混样。

高温高压复杂气田中,会面临钻井中添加重晶石等泥浆材料而严重污染样品的情况,这就需要增加第③步校正。如莺歌海盆地DX-4井黄流组一段Ⅱ气组(简记为H₁Ⅱ)2 862~2 868 m岩心段实测铝含量为3.96%~4.09%(图2b),而相应的岩屑样品检测的铝含量为0.32%~3.1%,对比岩心分析数据则大大偏低,且偏离岩心样品点群的趋势。结合岩屑样品中Ba含量超过6 000×10⁻⁶,并且密度较砂岩大的特征,经分析认为造成这种现象的原因是,在本段的钻进过程中添加了重晶石,对相应的岩屑样品污染严重,故视为污染混样予以剔除(图2b,红圈内点群)。

2 基本原理

2.1 铝钒含量与泥质(黏土矿物)含量相关,具有识别有利储层的意义

沉积岩中铝钒元素的丰度^[27](表1)表明:富含黏土矿物的泥岩和页岩中铝钒含量较高,砂岩、石灰岩中则较低。铝含量与黏土矿物含量密切相关^[21,28],黏土矿物中的高岭石、伊利石、蒙脱石及绿泥石,均含有丰富的铝元素。

表1 主要类型沉积岩中铝、钒元素的丰度
Table 1 Abundance of Al and V in main types of sedimentary rocks

岩 性	铝含量/%	钒含量/10 ⁻⁶
页岩和泥岩	11	120~130
砂 岩	2.5	20
石灰岩	0.4~0.9	20

南海西部4个盆地典型井的岩心测试资料表明:砂岩具有相对低的铝钒含量,泥岩具有相对高的铝钒含量;铝钒含量较低,对应的砂岩孔隙度、

渗透率相对较好。在碎屑岩发育区,低铝低钒含量区对应的储层相对较好,反之则储层较差或为泥质岩分布区。

2.2 利用铝钒含量识别碎屑岩储层,具有不受放射性影响的优势

在较少受放射性影响的地层,铝含量曲线具有与自然伽马曲线类似的变化趋势,如图3a所示,莺歌海盆地DX-1S-1井低伽马、低铝含量段对应砂岩储层段,高伽马、高铝含量段对应泥岩段。莺琼盆地岩屑样品测试获得的铝钒含量,与伽马曲线具有相似的变化趋势(图4a):低铝低钒含量段对应砂岩储层段,高铝高钒含量段对应泥岩段。注意到,LY20-1-1井2 770~2 845 m井段岩屑取样检测的铝钒含量(图4a,半圆形段),较直观地显示砂岩具有低铝低钒含量、泥岩具有高铝高钒含量的特征,而对应的自然伽马曲线则较平直,这反映出利用铝钒含量识别碎屑岩有利储层或泥质岩层相比自然伽马更突出更稳定。

在受放射性影响的地层,如图3b的WY-3-2井1 232 m井段对应的高伽马段,曾解释为泥岩(图3b,岩性解释剖面),但录井显示这段是细砂岩段,经查实1 232~1 248 m井段的钾长石含量较高(10%~12%),故判断1 232 m井段对应的高伽马为受放射性影响的结果。该段砂岩对应的铝含量曲线则不受放射性影响(图3b),显示为低铝含量,解释为砂岩,这与录井结果一致。这种现象在WY-3-2井的其他井段(包括1 242~1 250 m、1 262 m、1 270 m、1 282 m)也存在。

2.3 铝钒含量呈正相关

如图4所示,低铝低钒含量共同指示砂岩储层,高铝高钒含量共同指示泥岩,两者呈现正相关。对南海西部4个盆地67口井多种元素含量的分析表明,铝钒含量的相关性较好。

2.4 定量识别有利储层带及其上下限值

基于前述,把铝钒含量作为识别砂岩储层的参数,并且以钒含量为横坐标、铝含量为纵坐标建立储层识别图版,即铝钒含量交会图。如图5、图6所示,基于图版,结合录井岩性可以进行有利储层带、次要储层带、过渡带、欠储层带及其上、下限值的界定。

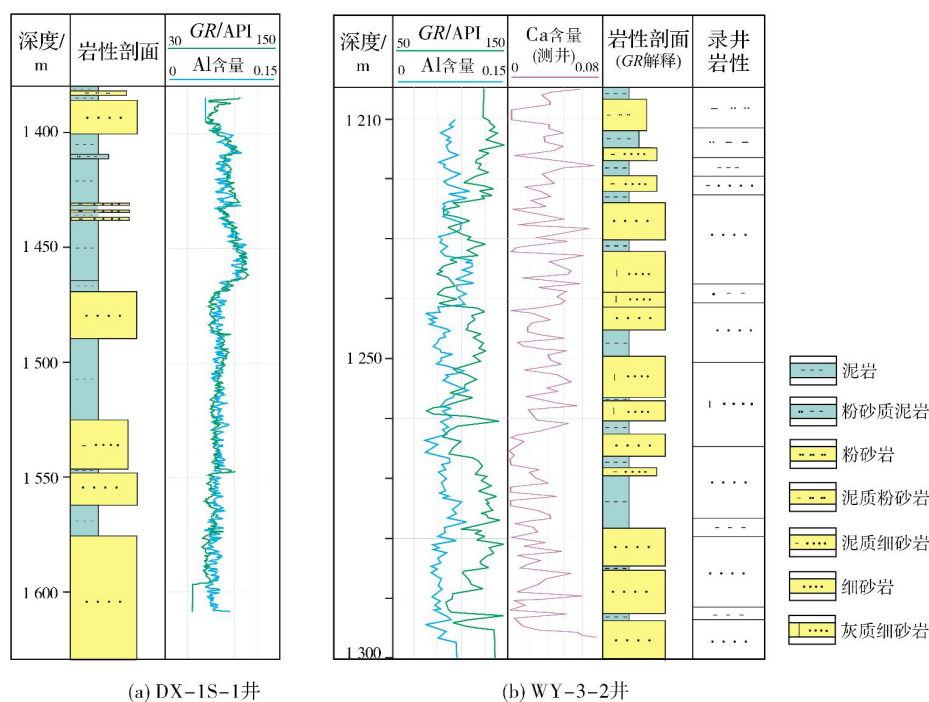


图3 铝元素测井(ECS)与自然伽马测井对比

Fig. 3 Comparison between ECS and natural gamma logging

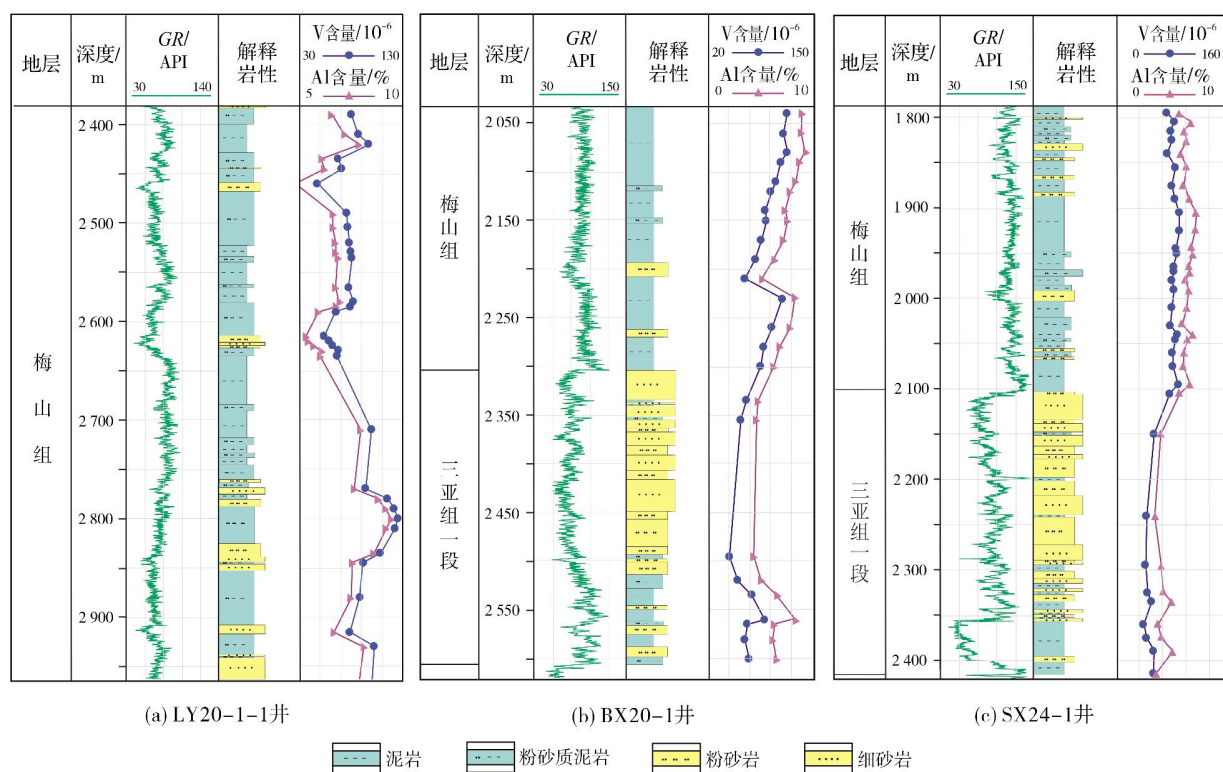


图4 铝钒含量(岩屑取样检测)与自然伽马对比

Fig. 4 Comparison of Al and V content (rock debris sampling and testing) with natural gamma

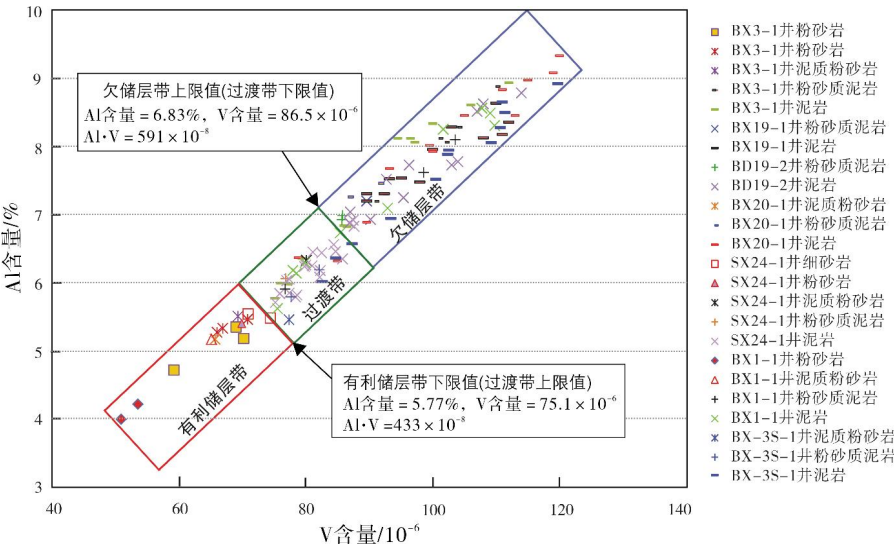


图5 琼东南盆地 BX 区梅山组铝钒含量储层识别图版

Fig. 5 Reservoir identification chart with Al and V content of Meishan Formation in BX block of Qiongdongnan Basin

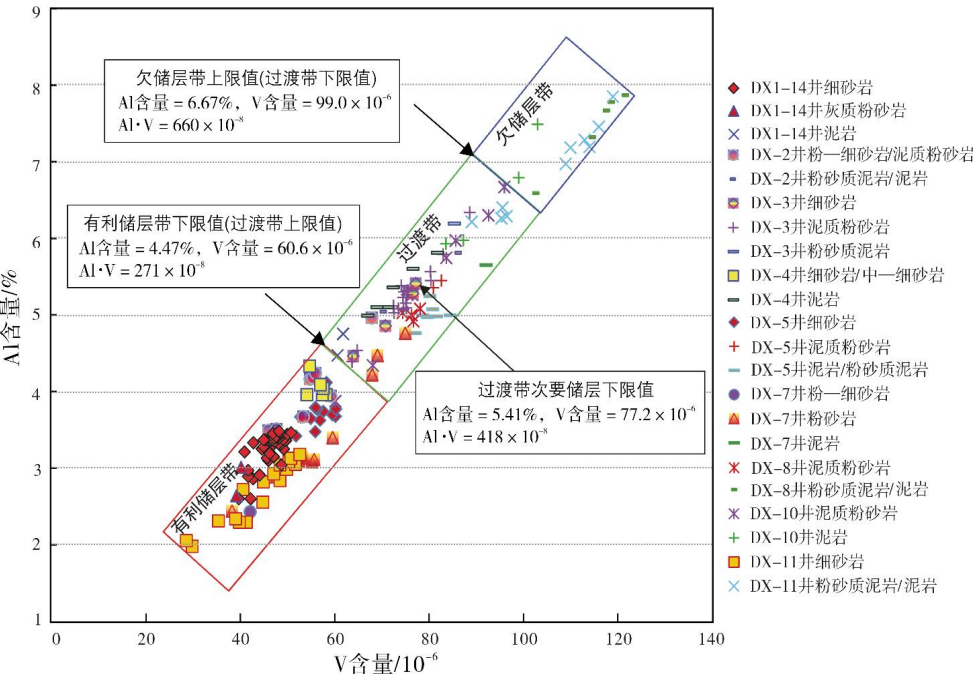


图6 莺歌海盆地 DX 气田黄流组一段 II 气组铝钒含量储层识别图版

Fig. 6 Reservoir identification chart with Al and V content of gas reservoir II of Huangliu Formation Member 1 in DX gas field, Yinggehai Basin

如图 6 所示, 莺歌海盆地 DX 气田区 9 口井的铝钒含量数据集中在具有相似斜率的一个带上, 铝钒含量具有正相关性。其中, 低铝、低钒含量 (Al 含量 $< 4.47\%$, V 含量 $< 60.6 \times 10^{-6}$), 对应录井岩性为砂岩 (中—细砂岩和细砂岩为主) 的层段, 界定为有利储

层段, 相应地划分出有利储层带 (图 6), 有利储层带下限值 (过渡带上限值) 为 Al 含量 $= 4.47\%$ 、V 含量 $= 60.6 \times 10^{-6}$; 高铝高钒含量 (Al 含量 $> 6.67\%$, V 含量 $> 99.0 \times 10^{-6}$), 对应录井岩性为泥质岩 (粉砂质泥岩/泥岩) 的层段, 则界定为欠储层段, 相应地划分出欠

储层带,欠储层带上限值(过渡带下限值)为Al含量=6.67%、V含量=99.0 $\times 10^{-6}$;两种元素含量介于这两者之间(4.47%<Al含量<6.67%,60.6 $\times 10^{-6}$ <V含量<99.0 $\times 10^{-6}$),既有砂岩又有泥岩出现的,界定为砂泥岩过渡带。过渡带可进一步筛选出相对较好的砂岩作为次要储层。DX气田区砂岩和泥岩过渡带中,出现细砂岩的下限值为Al含量=5.41%、V含量=77.2 $\times 10^{-6}$,则可把分布于该下限值与有利储层带下限值之间(4.47%<Al含量<5.41%,60.6 $\times 10^{-6}$ <V含量<77.2 $\times 10^{-6}$)的界定为次要储层带。

需要说明的是,根据资料情况,可以利用单独的铝或钒含量编制多井的铝或钒含量叠合图,结合录井岩性界定砂岩有利储层带、砂泥岩过渡带(包括次要储层)、泥质岩欠储层带及其上下限值。

3 “由点推面”识别有利储层带

在碎屑岩发育区,依据铝钒含量交会图,获取井点(控制点)优势数据点群所在储层带的铝钒含量平均值,以单独的铝钒含量或铝与钒含量的乘积(记为Al·V)编制平面图,则铝钒含量较低的区域,对应有利储层发育区。

3.1 点数据的计算方法

绘制铝钒含量平面图,至少需要确定3口井的数据(控制点)。应用铝钒含量交会图所确定的储层带及其上下限,把单井同一层段的岩心、岩屑样品铝钒含量数据按照铝含量由低到高排列(表2,以BX3-1井为例),可定量划分出各个储层带。

表 2 琼东南盆地 BX3-1 井梅山组铝钒含量、储层分带及其点数据(部分)

Table 2 Content of Al and V, reservoir zoning and point data of Meishan Formation of well BX3-1 in Qiongdongnan Basin (part)

井深/m	录井岩性	Al 含量/%	V 含量/ 10^{-6}	Al·V/ 10^{-8}	储层分带	定量依据	平均值(点数据)
1 736	细砂岩	4.72	59.20	279.42	有利储层带	Al含量<5.77%, V含量<75.1 $\times 10^{-6}$, Al·V<433 $\times 10^{-8}$	Al含量=5.26%, V含量=67.34 $\times 10^{-6}$, Al·V=355.0 $\times 10^{-8}$
1 692	细砂岩	5.18	70.20	363.64			
1 724	粉砂岩	5.27	66.00	347.82			
1 806	粉砂岩	5.33	66.90	356.58			
1 744	细砂岩	5.35	69.00	369.15			
1 760	粉砂岩	5.46	70.80	386.57			
1 704	泥质粉砂岩	5.51	69.30	381.84	过渡带	5.77%<Al含量<6.83%, 75.1 $\times 10^{-6}$ <V含量<86.5 $\times 10^{-6}$, 433 $\times 10^{-8}$ <Al·V<591 $\times 10^{-8}$	
1 814	泥岩	5.77	75.10	433.33			
1 820	泥岩	5.98	77.20	461.66			
1 710	泥岩	6.00	76.00	456.00			
1 782	泥岩	6.83	86.50	590.80			

由于各单井的铝钒含量可能对应有利储层带、过渡带、欠储层带三者中的不同部分,因此为了突出储层信息,按照突出优势点群、突出优势储层的原则进行数据处理:①对于有利储层带、过渡带、欠储层带3类数据点群均有分布的井段,统计时仅选择有利储层带点群并统计其铝钒含量的平均值,例如,BX3-1井3个储层带均存在(图5),则对有利储层带点群进行统计(表2),铝钒含量平均值分别为5.26%、67.34 $\times 10^{-6}$,Al·V平均值为355.0 $\times 10^{-8}$ 。②对于过渡带和欠储层带点群占优势的,则选择过渡带点群并统计其相关数

据,如BX-3S-1井;如果过渡带和欠储层带中还伴有少量有利储层带数据,例如,SX24-1井主要点群对应过渡带(图5),只有2个点处于有利储层带,这种情况可优选过渡带点群和这2个处于储层带的点一起作为统计数据,Al·V平均值为478.8 $\times 10^{-8}$ 。③对于欠储层带点群占优势的,如BX20-1井仅有1个样点处于有利储层带,2个样点处于过渡带,大部分样点处于欠储层带(图5),则统计欠储层优势带时可把储层带与过渡带样点一并统计,Al·V平均值为574.9 $\times 10^{-8}$;如BX19-1井、BX19-2井这2口井只存在欠储层带,则选择欠储

层带点群统计,得到 $Al \cdot V$ 平均值分别为 787.5×10^{-8} 、 739.5×10^{-8} 。需要说明的是,对于水平井,元素分析数据可直接在平面上采用,不必统计其平均含量。

3.2 “由点推面”预测有利储层的应用与效果

3.2.1 琼东南盆地 BX 区块勘探案例

笔者采用铝钒含量平面图对 BX 区块梅山组储层发育情况进行了预测。首先,把求得的 BX3-1 井、

SX24-1 井、BX20-1 井、BX19-1 井和 BX19-2 井等 5 口井的梅山组 $Al \cdot V$ 平均值作为点数据,通过内插绘制出平面图(图 7a)。然后,依据同一层段的铝钒含量交会图(图 5)识别出有利储层带下限值、过渡带下限值,在铝钒含量平面图中绘出储层分带界线,即可圈出有利储层带、过渡带、欠储层带(图 7a)。由图可见,部署井 BX1-1 井与已钻的 BX3-1 井均位于低铝低钒含量区,对应有利储层分布区;BX-3S-1 井处于过渡带。

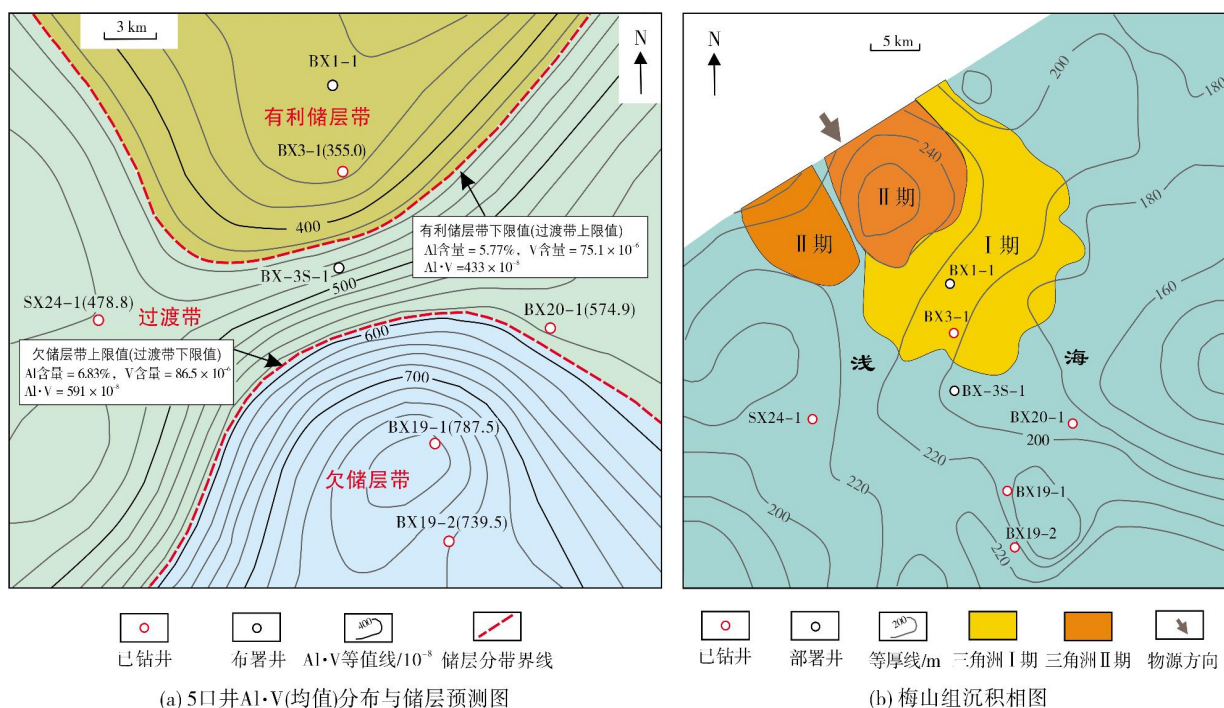


图 7 琼东南盆地 BX 区梅山组铝钒含量(均值)分布与储层预测及沉积相图(沉积相据文献[29])

Fig. 7 Distribution of Al and V content (mean value), reservoir prediction and sedimentary facies map of Meishan Formation in BX block of Qiongdongnan Basin (sedimentary facies data cited from literature[29])

后经钻井证实,BX1-1 井梅山组发育较好的砂岩储层(34.8 m 厚的粉砂岩/3 层),井深 1 694.3 m 处的粉砂岩,孔隙度为 25.32%,渗透率为 $17.05 \times 10^{-3} \mu m^2$;BX-3S-1 井梅山组仅有 3.8 m 厚的泥质粉砂岩,储层渗透性较差,井深 1 964 m 处的粉砂岩,孔隙度为 21.56%,渗透率为 $1.27 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。基于铝钒含量交会图、铝钒含量平面图所预测的有利储层,与实钻情况相符,这验证了该项技术的可靠性。

对 BX1-1 井和 BX-3S-1 井分别选取梅山组样品作铝钒含量分析,并添加在铝钒含量交会图上(图 5),可以看到,BX1-1 井点群有部分处于有利储层带,BX-3S-1 井点群主要处于过渡带和欠储层

带。需要说明的是,在图 5 的有利储层带内,BX1-1 井比 BX3-1 井铝钒含量更低,反映存在更好的有利储层。这与根据地震解释的沉积相认识相一致:BX1-1 井区相对 BX3-1 井更靠近物源(图 7b),梅山组发育更好的三角洲砂岩储层。一定程度上,把铝钒含量平面图和沉积相图结合起来,更有助于刻画有利储层的平面分布。

3.2.2 莺歌海盆地 DX 区块开发案例

利用 9 口探井的点数据通过内插绘制 DX 气田铝钒含量等值线图(图 8),依据铝钒含量交会图(图 6)所识别的黄流组一段 II 气组各储层带的上限、下

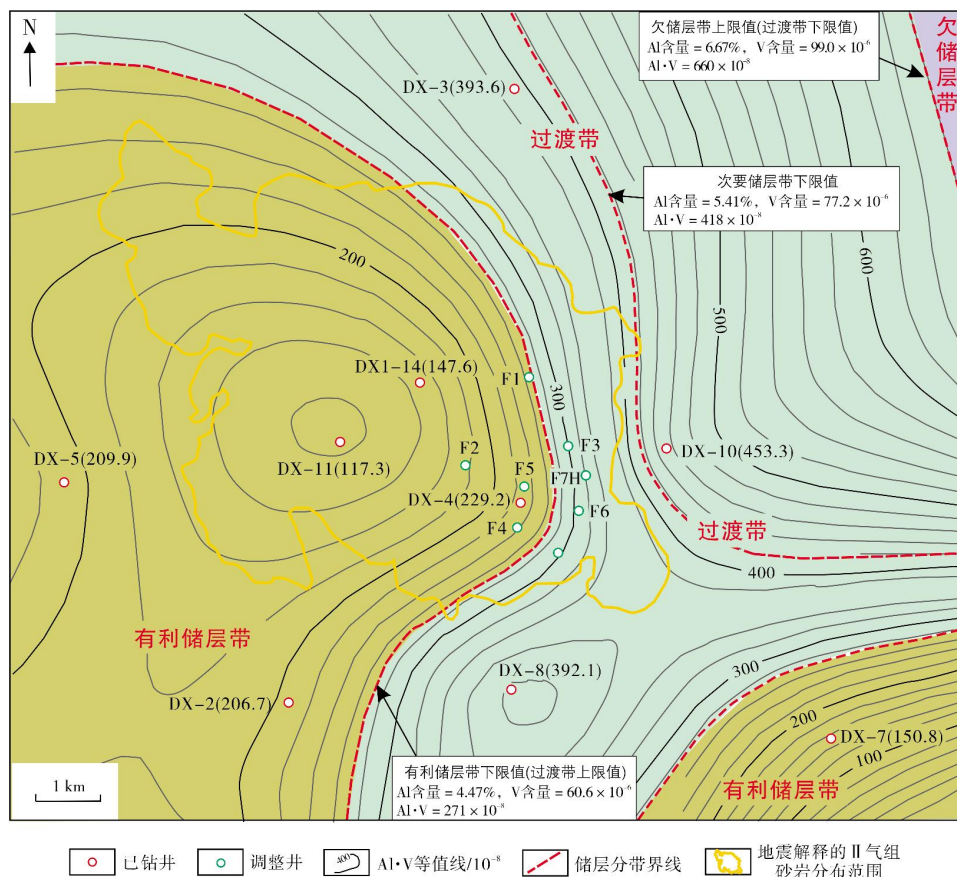


图 8 莺歌海盆地 DX 气田黄流组一段 II 气组铝钒含量(均值)分布与储层预测图

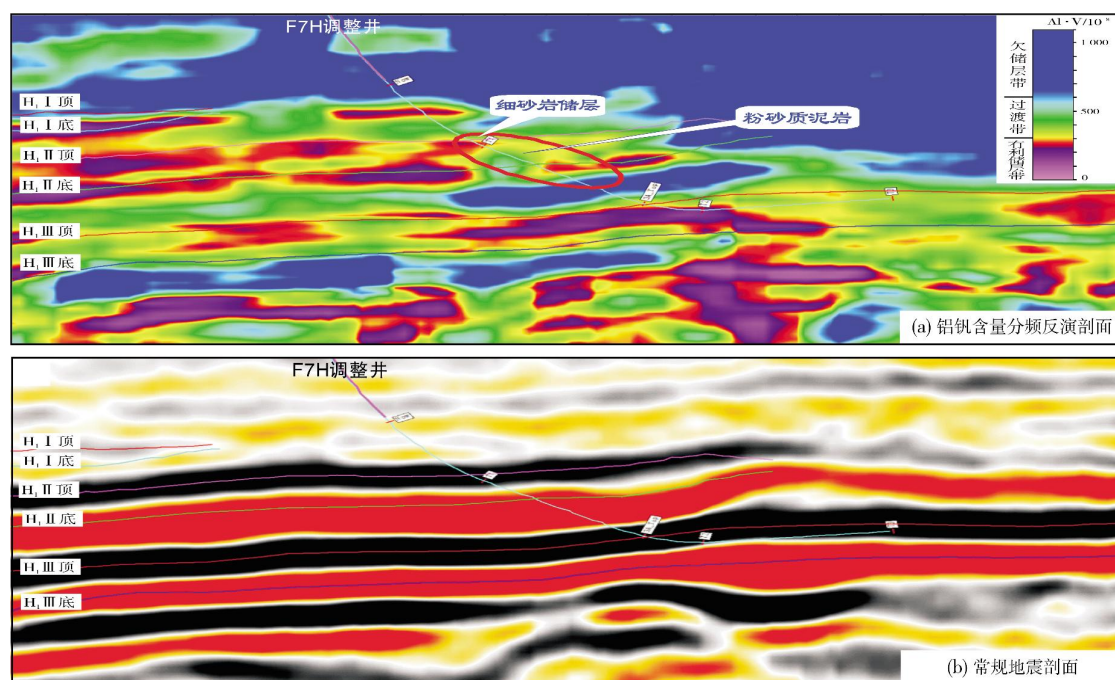
Fig. 8 Distribution of Al and V content (mean value) and reservoir prediction of gas reservoir II of the Huangliu Formation Member 1 in DX gas field, Yinggehai Basin

限值,即可划分出有利储层带、过渡带、欠储层带分布范围。如图8所示,F1井、F2井、F4井、F5井等调整井均处于有利储层带内,F6井、F7H井等调整井处于过渡带内。实钻结果与预测相符:F1井钻遇细砂岩18.8 m、泥岩5.2 m;F4井钻遇细砂岩17.3 m、泥岩3.1 m;F5井钻遇细砂岩17.3 m、泥岩7.8 m;F6井钻遇细砂岩7.6 m、泥岩0.9 m;F7H调整井钻进中,除在II气组顶部钻遇垂厚5.1 m的细砂岩外,中下部为泥岩、粉砂质泥岩。

对铝钒含量平面图和地震属性解释的储层进行综合对比分析,能够提高有利储层识别的精度。图8中,黄色实线是根据地震属性解释的II气组砂岩分布范围,调整井F6井、F7H井处于其内;根据铝钒含量平面图,F6井、F7H井处于过渡带,可能钻遇砂岩(次要储层)与泥岩互层,这个认识在钻后得到证实。

3.2.3 地球物理方面的扩展应用

利用铝钒含量变化进行地震分频反演,可以识别有利储层。铝钒含量具有不受放射性影响的稳定性优势。铝钒含量随钻井深度变化曲线(图3,图4),可以作为基础反演数据。基于莺歌海盆地DX区的铝钒含量交会图(图6),确定黄流组一段I、II、III气组的有利储层带下限值分别为 309×10^{-8} 、 271×10^{-8} 、 290×10^{-8} ,据此建立综合的反演图(图9a,右上角),3个气组的有利储层对应于黄色—红色—紫色,过渡带为绿色—浅蓝色,欠储层带为深蓝色。钻前针对F7H调整井,利用铝钒含量反演进行井轨迹储层预测:II气组的顶部见低铝低钒含量储层带,预示存在较好的储层(实际钻遇细砂岩);II气组中下部为绿色过渡带,预示储层较差(实际钻遇粉砂质泥岩)。这项反演的结果,在常规地震剖面上难以得出(图9b)。



H₁I 黄流组一段 I 气组; H₁II 黄流组一段 II 气组; H₁III 黄流组一段 III 气组

图 9 莺歌海盆地 DX 气田过 F7H 调整井铝钒含量分频反演剖面与地震剖面对比

Fig. 9 Comparison between frequency division seismic inversion profile of Al and V content (a) and seismic profile (b) through the F7H adjustment well in DX gas field, Yinggehai Basin

4 结 论

(1)在碎屑岩发育区,依据铝钒含量交会图可以界定有利储层带、过渡带、欠储层带及其下限值或上限值,通过铝钒含量平面图的绘制,可以“由点推面”预测储盖层分布;处于有利储层带的低铝低钒含量区指示砂岩储层发育区,处于过渡带的指示砂泥岩互层分布区,处于欠储层带的高铝高钒含量区指示泥岩盖层或泥岩隔夹层发育区。

(2)利用铝钒含量随深度变化曲线和铝钒含量交会图界定的有利储层带、过渡带、欠储层带的下限值或上限值,开展地震分频反演,可以识别有利储层和泥质岩隔夹层,该方法克服了利用自然伽马反演可能受到放射性影响的不足,适用于开发油气田的挖潜。

(3)利用铝钒含量识别碎屑岩有利储层这项技术,已在南海西部4个盆地10个区块中得到验证,预测结果在勘探区块和开发区块均与实钻结果较吻合(符合率达85%)。存在误差主要是由于受取样密度不够的影响。

(4)采用铝钒含量识别有利储层和泥质岩层时,需考虑钙含量的影响,把含钙、含灰质高的差储层

(致密、低孔低渗储层)加以剔除。该项技术不适用于碳酸盐岩有利储层的识别,煤层的铝含量较低,在应用时亦需加以甄别。

致谢:这项技术经过近8年的持续研究、验证和应用,在这一过程中得到中国石油勘探开发研究院顾家裕教授、赵杏媛专家的指导,得到中海油研究总院吕明项目经理,中海油湛江分公司勘探开发部马勇新经理,湛江分公司研究院张迎朝、裴健翔、成涛、尤丽、钟泽红、张道军等领导和专家的指导,尤其是得到中海油实验中心麦文、苏文辉、吴土荣、陈金定、税蕾蕾、高弘毅和张贺举等专家的大力支持与鼓励,在此一并表示感谢!

参 考 文 献

- [1] 王淑芳,董大忠,王玉满,等. 四川盆地南部志留系龙马溪组富有机质页岩沉积环境的元素地球化学判别指标[J]. 海相油气地质, 2014, 19(3): 27-34.
- [2] 向春晓,章雄. 川东北气田储层微量元素及沉积环境分析[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(32): 129-132.
- [3] 袁胜元,李长安,邵磊. 江汉盆地 ZL 钻孔微量元素含量的粒度效应与环境意义[J]. 沉积学报, 2012, 30(2): 366-372.
- [4] 王扬,刘星星,李再军,等. 兰州盆地第三纪沉积物常量元素变化及其古环境意义[J]. 地球环境学报, 2016, 7(4): 393-404.
- [5] 曾辰,杨守业,王磊,等. 长江干流悬浮物中元素相态组成与环境指示[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(1): 19-25.
- [6] 袁祖贵. 用地层元素测井(ECS)资料研究沉积环境[J]. 核电子学与探测技术, 2005, 25(4): 347-357.

- [7] 王东营, 许浩, 李婧婧, 等. 博格达山北麓大黄山地区芦草沟组油页岩地球化学特征与沉积环境分析[J]. 内蒙古石油化工, 2008(3): 62-65.
- [8] 蒋富清, 李安春. 冲绳海槽南部表层沉积物地球化学特征及其物源和环境指示意义[J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 1-7.
- [9] 江纳言. 下扬子区二叠纪古地理和地球化学环境[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [10] 苗建宇, 赵建设, 刘池洋, 等. 鄂尔多斯盆地二叠系烃源岩地球化学特征与沉积环境的关系[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 430-435.
- [11] 孟祥梅. 在江家店地区利用特征元素分析物源[J]. 内蒙古石油化工, 2005(8): 146-148.
- [12] 蓝木盛, 于培松, 韩正兵, 等. 南极普里兹湾表层沉积物的元素组合特征及物源分析[J]. 极地研究, 2015, 27(1): 9-16.
- [13] 闫义, 林柯, 王岳军, 等. 盆地陆源碎屑沉积物对源区构造背景的指示意义[J]. 地球科学进展, 2002, 17(1): 17-18.
- [14] 潘爱芳, 赫英. 鄂尔多斯盆地石油的稀土元素地球化学特征[J]. 中国稀土学报, 2008, 26(3): 374-380.
- [15] 王峰, 田景春, 张锦泉, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬-胡尖山地区长 6 油层组的物源和优质储层分布[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(6): 783-787.
- [16] 柳建华, 刘瑞林, 吴兴能, 等. 化学元素测井资料在地层界面处的响应特征研究[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2007, 29(1): 87-88.
- [17] 汤玉平, 李鼎民, 陈银节, 等. 微量元素在油气化探中的应用[J]. 物探与化探, 2008, 32(4): 350-353.
- [18] 李广之, 胡斌, 邓天龙, 等. 微量元素 V 和 Ni 的油气地质意义[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(1): 13-17.
- [19] 柏静儒, 王擎, 陈艳, 等. 油页岩中几种微量元素的赋存形态[J]. 环境科学学报, 2008, 28(10): 2156-2160.
- [20] 杨晓勇, 罗贤冬, 凌明星, 等. 鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿床地球化学特征及其地质意义[J]. 地质论评, 2008, 54(4): 539-548.
- [21] 程华国, 袁祖贵, 刘宁. 用地层元素测井资料确定储层黏土含量[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(2): 28-30.
- [22] 龚劲松, 杨鸣宇, 王静, 等. ECS 元素测井技术在非常规储层评价中的应用[J]. 油气藏评价与开发, 2014, 4(2): 76-80.
- [23] 吕俏凤. 利用亲陆元素和陆源化合物研究物源与隐蔽储层的新方法[J]. 中国海上油气, 2007, 19(6): 367-371.
- [24] 袁祖贵, 成晓宁, 孙娟. 地层元素测井(ECS): 一种全面评价储层的测井新技术[J]. 原子能科学技术, 2004, 38(增刊1): 209-213.
- [25] 魏海军, 关德林, 孙培廷, 等. 等离子体发射光谱测定燃油中钠、钒和铝的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(2): 340-343.
- [26] 毛庆云, 杨迎花, 柳明春. 地质样品中 23 个常量元素和微量元素 X 射线荧光光谱仪测定[J]. 齐齐哈尔大学学报, 2002, 18(3): 30-32.
- [27] 刘俊英, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [28] 韩吟文, 马振东. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [29] 钟泽红. BX 区块沉积相研究[R]. 湛江: 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 2009.

编辑:董庸

Identification of favorable reservoir by using the element contents of Al and V in clastic rocks : taking DX and BX blocks of Yinggehai Basin and Qiongdongnan Basin as examples

LÜ Qiaofeng, ZHONG Jialiang, TANG Jian, WU Turong, AN Dongling, CAO Mengxian, GAO Yunlong, HE Denglian, QIN Yuanming, WANG Feng

Abstract: In the four basins of the western South China Sea, there is a general relationship between reservoir quality and the contents of Al and V in clastic rock, that is the lower the contents of Al and V, the better of the reservoir quality. Further study shows that the contents of Al and V is not affected by radioactivity, and there is a positive correlation between them. Thus we can identify favorable reservoirs with lower mud content through looking for areas of the lower contents of Al and V. Based on the content crossplot of Al and V and logging lithology, the favorable reservoir zone, transition zone and undeveloped reservoir zone can be defined, and the lower or upper limit values of each zone can be demarcated quantitatively. The distribution areas of favorable reservoir zone, transitional zone and undeveloped reservoir zone can be identified by the plane distribution of the contents of Al and V. When using this technology to identify the favorable reservoir, the first step is to identify the dense reservoir by using the content of calcium element. This technology is widely used in DX, BX and other blocks of Yinggehai Basin and Qiongdongnan Basin. The favorable reservoir distribution area predicted before drilling is basically consistent with the actual drilling results. This technology is a good supplement to the method of using sedimentary facies to interpret favorable clastic reservoir and argillaceous rock cap, and also a powerful means of logging interpretation for high gamma sandstone affected by radioactivity. The technology also offer a new practical geophysical means to predict favorable reservoir and shale cover or interlayer, which applies the content curve of Al and V changing with depth and the lower or upper limit value of each reservoir zone to perform frequency division seismic inversion.

Key words: the content of Al; the content of V; clastic rock; reservoir prediction; Yinggehai Basin; Qiongdongnan Basin
LÜ Qiaofeng, First author: Senior Engineer, mainly engaged in reservoir geology. Add: Experimental Center, Nandiao Rd., Potou District, Zhanjiang, Guangdong 524057, China