

# The Synthetic Technologic Study on Field Identification While Drilling on the Buried Hill Interface of Bohai Oilfield

Hongru Li, Mingyu Guo, Yongguo Chen, Renguo Yuan, Wenlun Wang

The Technology Company, CNOOC Energy Co., Ltd., Tianjin

Email: lihr2@cnooc.com.cn

Received: Aug. 6<sup>th</sup>, 2017; accepted: Spet. 8<sup>th</sup>, 2017; published: Oct. 15<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

In recent years, under the guidance of 3D exploration idea in Bohai Oilfield, great breakthrough was obtained in buried hill exploration. The precision of its field identification would directly affect the formation protection, operation safety and operation effectiveness. Through the statistics of lithologic property and the structural characters of 183 exploration wells in different areas of Bohai Oilfield, the commonly seen and buried hill drape combination was found out, and the difficulty of its field identification was analyzed. At the same time, the technologies of recently introduced work index, field slice identification, X-ray element logging, X-ray whole rock diffraction logging are analytically studied, a set of new technical systems are established for the identification of buried hill interface, and good effect is obtained in practical application, it ensures the smooth implementation of exploration of the buried hill reservoirs.

## Keywords

Buried Hill Interface, Work Index, Field Slice Identification, X-Ray Element Logging, X-Ray Whole Rock Diffraction Logging

---

# 渤海油田潜山界面井场随钻识别综合技术研究及应用

李鸿儒, 郭明宇, 陈勇国, 苑仁国, 王文伦

中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津

作者简介: 李鸿儒(1985-), 男, 工程师, 主要从事海上油气勘探作业与研究。

Email: lihr2@cnooc.com.cn

收稿日期: 2017年8月6日; 录用日期: 2017年9月8日; 发布日期: 2017年10月15日

## 摘要

近年来, 在渤海油田立体勘探思路的指导下, 潜山勘探取得了重大突破。井场潜山界面识别的准确性直接影响到潜山储层保护、工程施工安全和作业时效。通过对渤海油田不同区带183口潜山探井岩性和结构特征进行统计分析, 找到了渤海油田常见潜山披覆组合类型, 并分析其井场识别难度。同时, 对近年来新引进的功指数、井场薄片鉴定、X射线元素录井和X射线全岩衍射录井等技术进行分析研究, 形成了一套新的潜山界面识别的技术体系, 在实际应用中取得了良好的效果, 保证了渤海油田潜山勘探的顺利进行。

## 关键词

潜山界面识别, 功指数, 井场薄片鉴定, X射线元素录井技术, X射线全岩衍射录井技术

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

一般认为, 渤海湾盆地潜山是指新生代地层不整合覆盖的下伏基岩隆起构造。在基岩地层岩性的变化和多期次构造及改造作用的影响下, 导致潜山在形成年代、构造作用方式和构造发育部位等方面存在重大差异, 从而在岩性、结构及成因类型上呈现出多样性特征[1]。近几年来, 随着潜山成藏认识的成熟和钻井、测试技术的进步, 渤海油田潜山勘探也进入了一个新的阶段[2]。

井场潜山界面的准确识别意义重大: 一方面, 潜山风化壳、风化淋滤带裂缝和溶洞发育[3], 揭开过多, 容易造成严重井漏等钻井复杂问题; 另一方面, 高密度钻井液容易对潜山储层造成污染, 直接影响到潜山油气藏的勘探发现。

通过对渤海油田潜山界面上下岩性的叠加关系进行分类分析, 对近年来新引进的录井技术进行分析研究, 总结了多种潜山界面识别方法和模板, 形成了一套新的潜山界面识别技术体系, 为潜山界面井场随钻识别提供有效的技术支持, 保证了渤海油田潜山油气藏勘探的顺利进行。

## 2. 潜山的分类

潜山的分类方案有很多,笔者通过对渤海海域不同区带[4] 183口潜山探井进行潜山界面统计分析,归纳出4大类(11小类)潜山界面类型(表1)。研究表明,渤海油田潜山界面最主要类型为Ia类、Ib类、Ic类以及IIc类。

**Table 1.** The fine classification of buried hill interface in Bohai oilfield

**表 1.** 渤海油田潜山界面类型细分表

界面类型	上覆地层岩性	潜山地层岩性	界面举例	井数/口	代表井	识别难度
Ia类		中生界火山碎屑岩或喷出岩类	泥岩-玄武岩	55	XX10-1N-1 XX9-2-1	较易
Ib类	细粒碎屑岩类 (泥岩、粉细砂岩)	古生界碳酸盐类	泥岩-石灰岩	22	XX21-2-1 XX35-2-1	
Ic类		元古-太古界侵入或变质岩类	细砂岩-花岗岩	54	XX25-1S-3 XX18-1-1	
IIa类		中生界火山碎屑岩或喷出岩类	含砾细砂岩-安山岩	4	XX9-3-1	较难
IIb类	粗粒碎屑岩类 (含砾砂岩、砂砾岩)	古生界碳酸盐类	含砾细砂岩-石灰岩	2	XX3-1-1	
IIc类		元古-太古界侵入或变质岩类	砂砾岩-花岗岩	27	XX9-1-2 XX18-1-2DS	
IIIa类		中生界火山碎屑岩或喷出岩类	泥质灰岩-安山岩岩	8	XX29-2-3	较难
IIIb类	含灰质碎屑岩 或碳酸盐岩	古生界碳酸盐类	灰质泥岩-白云岩	5	XX36-1-6	
IIIc类		元古-太古界侵入或变质岩类	白云质粗砂岩-花岗岩	3	XX20-2-5	
IVa类	火山碎屑岩类 (凝灰质砂砾岩)	中生界火山碎屑岩或喷出岩类	凝灰质砾岩-凝灰岩	2	XX16-1-6	较难
IVb类		古生界碳酸盐类	凝灰质砾岩-白云岩	1	XX29-2E-4	

## 3. 潜山地层界面识别技术

井场识别潜山界面方法主要从钻时录井、工程参数录井、岩屑录井、岩心录井、气测录井及工程现象共6个方面综合来进行判别。笔者主要分析近年来渤海油田引进的功指数以及井场薄片鉴定、X射线元素录井及X射线全岩衍射录井等技术。

### 3.1. 功指数井场识别潜山界面

钻头钻进过程实际是其做功的过程,通过引入经过变形简化后的计算模型计算钻头做功指数,即“功指数”。不同地层岩性,强度不同,其做功也不同,功指数随之发生变化。当钻遇潜山地层时,利用功指数生成曲线,通过识别曲线变化幅度,可以较好地识别潜山界面[5][6]。

笔者建立了功指数识别潜山界面的Ia型、Ib型、Ic型以及IIc型4种模式。

**Ia型:** 进入潜山后,功指数明显增大,曲线变化明显(图1)。

**Ib型:** 功指数曲线在古生界碳酸盐岩潜山界面4348m出现一定异常,在4355m时出现明显的增大异常,曲线变化特别明显(图2)。

**Ic型:** 钻穿上覆新地层进入太古界花岗岩潜山后,功指数呈突变式增大,响应特征明显(图3)。

**IIc型:** 钻穿上覆新地层进入潜山后,功指数曲线缓慢抬升,1805m以后达到明显的异常高值,且无回落的趋势。受到上覆坡积砂体储层复杂等多方面影响,变化趋势缓慢(图4)。

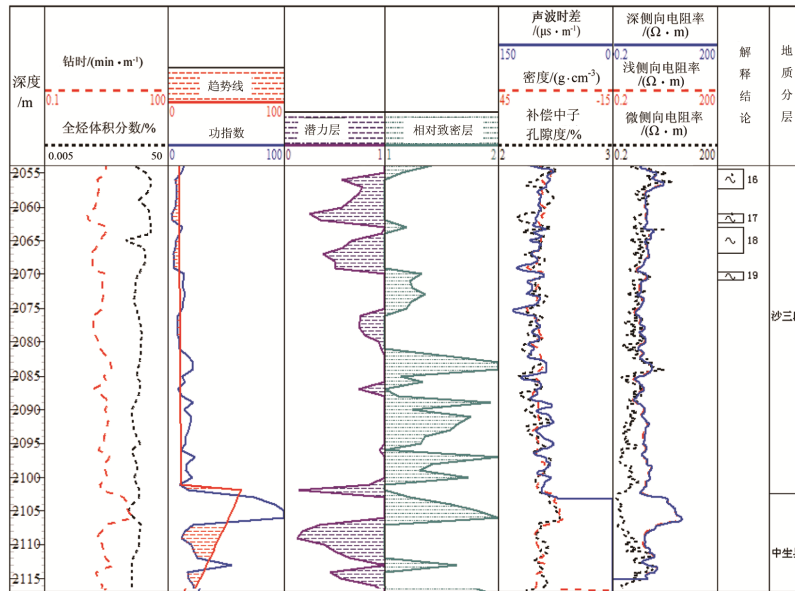


Figure 1. The analysis mode of Ia work index buried hill interface  
 图 1. Ia 型功指数潜山界面分析模式图

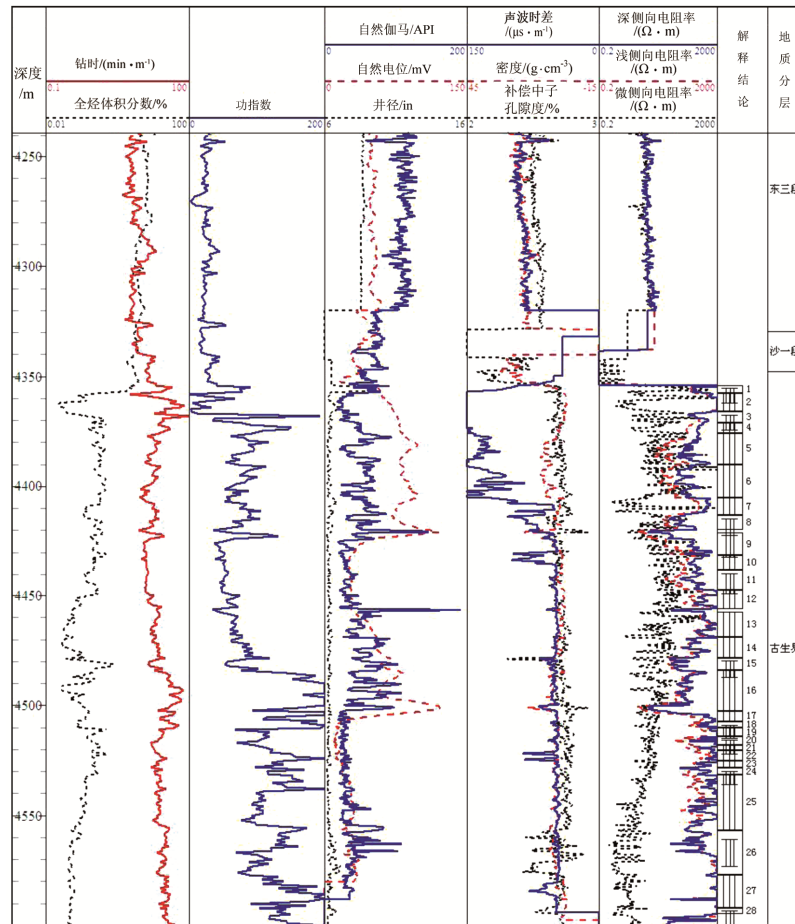


Figure 2. The analysis mode of Ib work index buried hill interface  
 图 2. Ib 型功指数潜山界面分析模式图

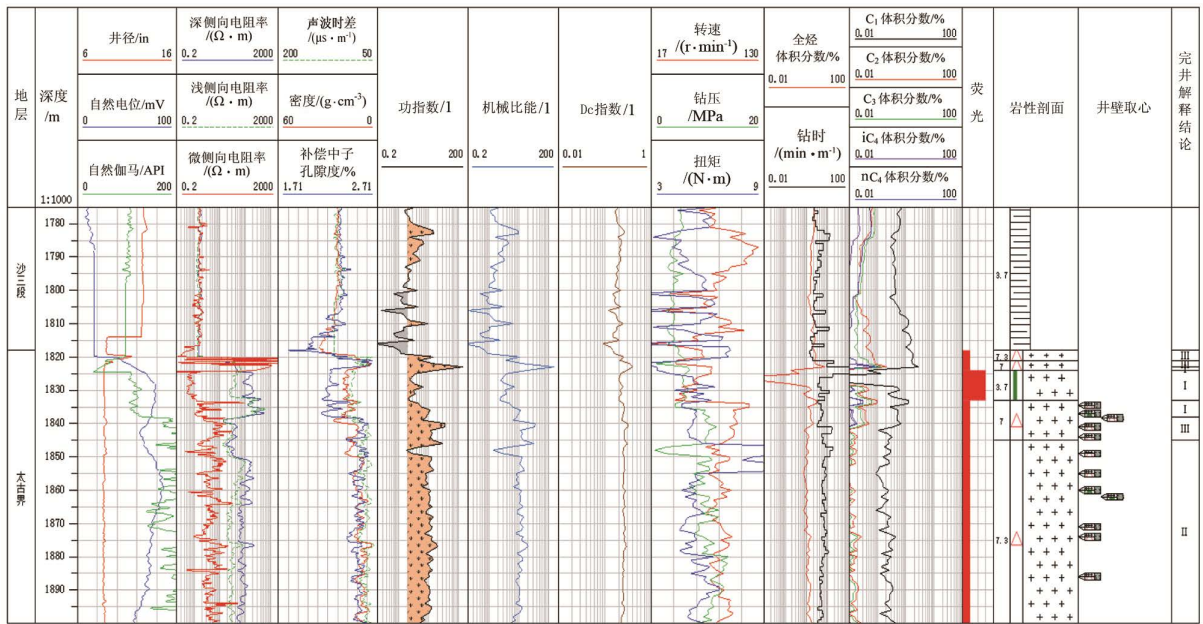


Figure 3. The analysis mode of Ic work index buried hill interface

图 3. Ic 型功指数潜山界面分析模式图

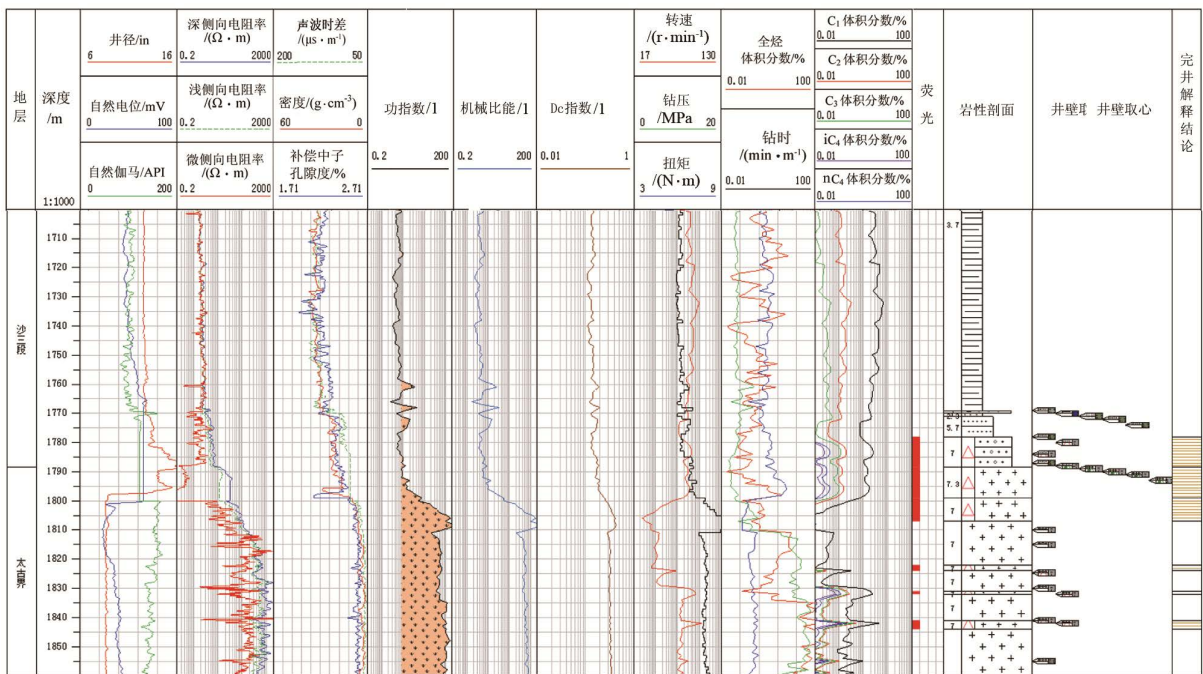


Figure 4. The analysis mode of IIc work index buried hill interface

图 4. IIc 型功指数潜山界面分析模式图

### 3.2. X 射线元素录井技术(XRF)井场识别潜山界面

近年来, X 射线元素录井技术的推广, 为 PDC 钻头及其他钻井工艺条件下的岩性识别增添了新的手段, 使井场潜山界面识别走上了定量的发展道路[7] [8]。渤海油田从 2012 年开始引进该技术, 实践证实, X 射线元素录井技术对潜山岩性及潜山界面的识别有较大帮助[8]。

潜山界面上、下地层在元素录井曲线上有明显的识别特征：① 曲线组合异常特征，不同沉积环境，岩性组合也会存在明显的变化，其元素含量组合也会存在明显的变化；② 特征元素异常，某种元素在关键地层界面处反应比较敏感，可以依据某种特征元素界定地层界面。通过渤海油田不同区带 183 口潜山探井元素录井技术解释检验结果表明，岩性平均符合率为 78.8%，应用效果较好。

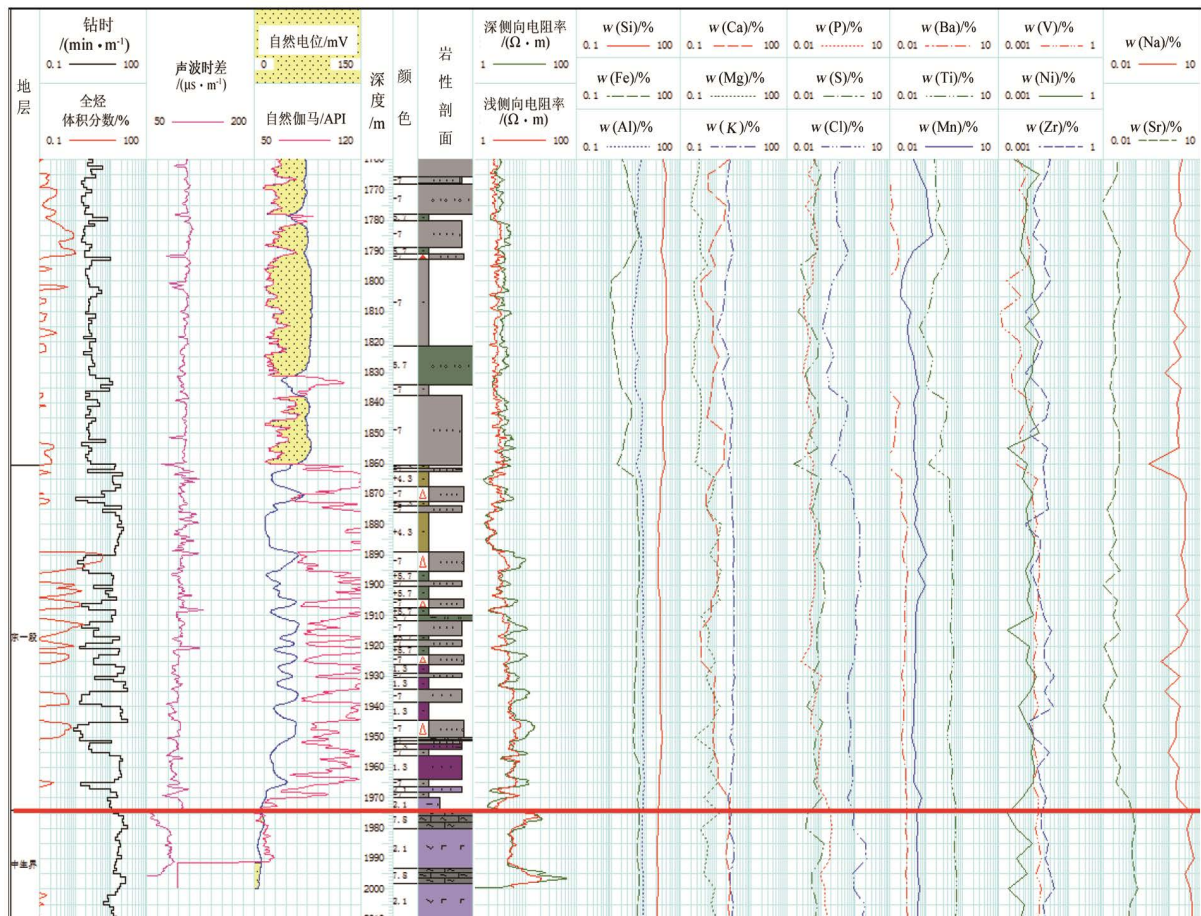
笔者建立了 X 射线元素录井技术识别潜山界面的 Ia 型、Ib 型、Ic 型以及 IIc 型 4 种模式。

**Ia 型：**东营组一段披覆在中生界之上，潜山岩性主要为凝灰岩和安山玄武岩，S、Ni 元素呈“挖掘式”降低，Cl、P、Sr、Na 呈台阶式上升，曲线组合特征发生明显变化，表明进入了潜山地层(图 5)。

**Ib 型：**东营组三段披覆在古生界之上，潜山岩性以灰岩为主，Fe、Ti、Mn、Mg、K、S、Cl、Ba、V、Ni、Sr、Zr 元素组合“挖掘式”突变减小，Ca 元素整体急剧上升，曲线组合特征明显变化，特征元素 Ca 元素异常明显，表明进入了潜山地层(图 6)。

**Ic 型：**沙河街组三段披覆在元古界之上，潜山岩性为花岗岩，Fe、Mn、Ti、Ca、P、S、Cl、V、Ni、Sr 元素组合“跳崖式”下降，Na 元素大幅“挖掘式”下降，曲线组合特征明显变化(图 7)。

**IIc 型：**东营组三段披覆在太古界之上，潜山岩性为酸性花岗岩，P、S、Cl、Ca、Ba、V 元素阶梯整体下降，Na 元素挖掘效应突变减小，曲线组合特征变化明显，表明进入了潜山地层(图 8)。



注：w(Si)、w(Fe)、w(Al)、w(Ca)、w(Mg)、w(K)、w(P)、w(S)、w(Cl)、w(Ba)、w(Ti)、w(Mn)、w(V)、w(Vi)、w(Zr)、w(Na)、w(Sr)为对应元素的质量分数。下同。

Figure 5. The identification mode of buried hill interface of Ia X-ray element logging

图 5. Ia 型 X 射线元素录井技术潜山界面识别模式图

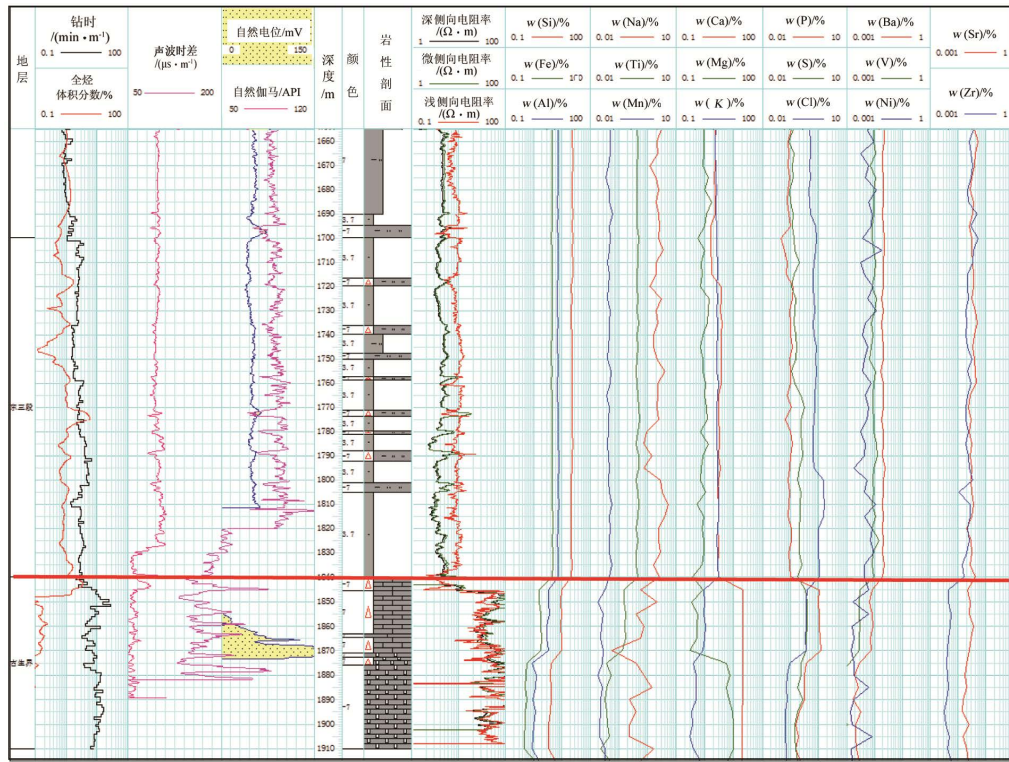


Figure 6. The identification mode of buried hill interface of Ib X-ray element logging  
 图 6. Ib 型 X 射线元素录井技术潜山界面识别模式图

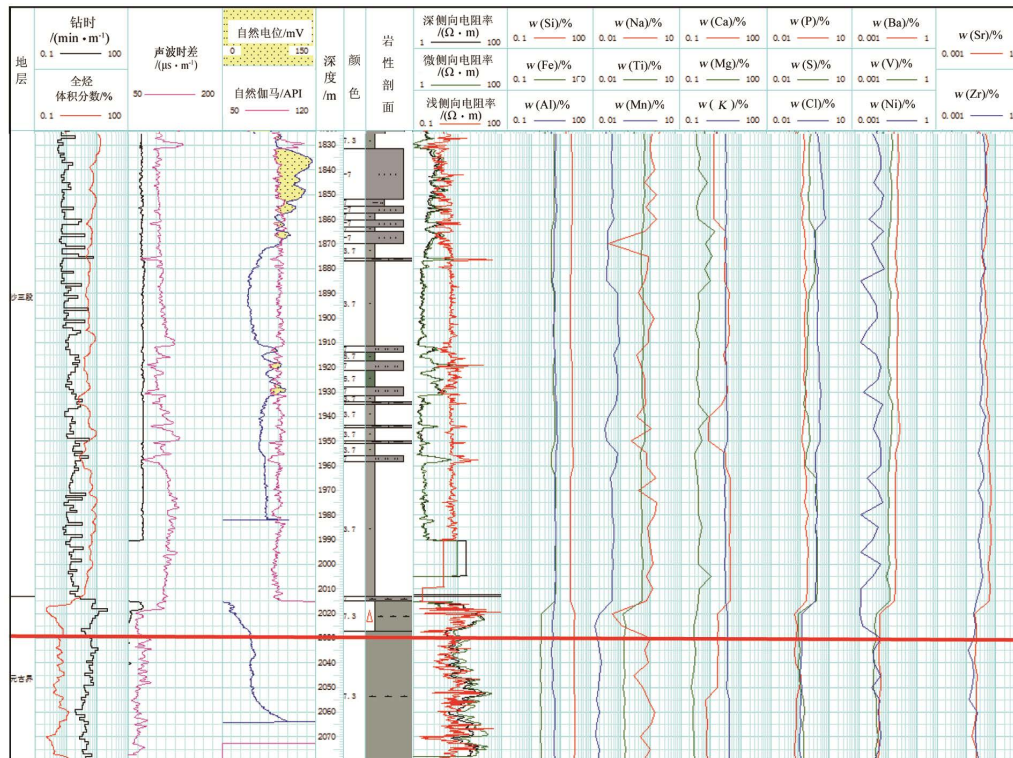


Figure 7. The identification mode of buried hill interface of Ic X-ray element logging  
 图 7. Ic 型 X 射线元素录井技术潜山界面识别模式图

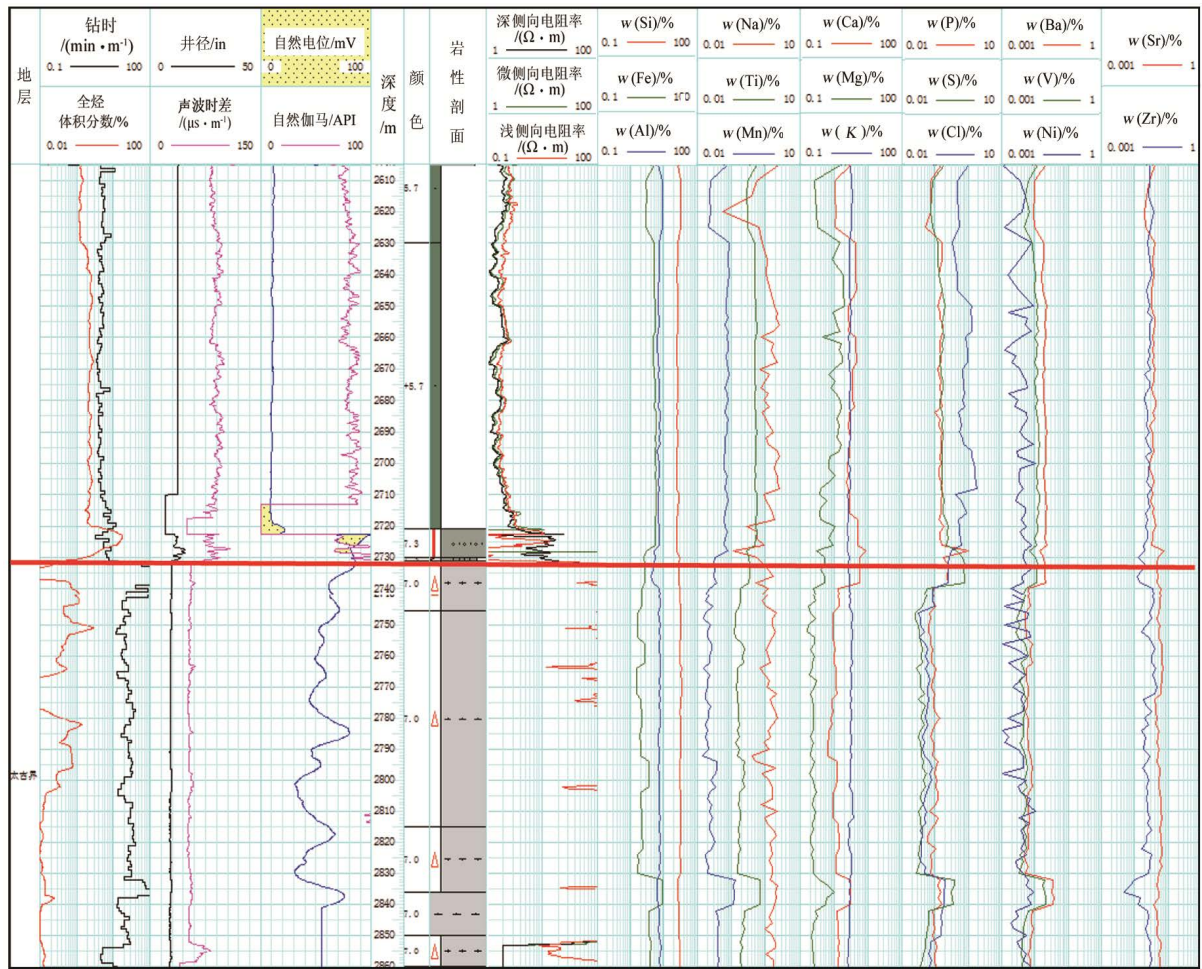


Figure 8. The identification mode of buried hill interface of Ilc X-ray element logging

图 8. Ilc 型 X 射线元素录井技术潜山界面识别模式图

### 3.3. X 射线全岩衍射录井技术(XRD)井场识别潜山界面

2011 年便携式随钻 X 射线全岩衍射录井技术(XRD)成功应用于录井作业中,能直接分析出岩石的矿物组成和相对质量分数,有助于潜山界面识别[9] [10]。2016 年初,渤海引入井场 XRD 技术,目前已经在 11 口井的深层潜山识别中应用。

1) 典型矿物法:将长石、石英及黏土矿物作为典型矿物,利用其含量变化指示岩性变化,识别潜山界面。XX10-1N-1 井上覆为沙三段泥岩,潜山为中生界凝灰岩及安山玄武岩(Ia 型),2490 m 附近石英含量减少,长石含量增加,黏土矿物基值下降,典型矿物响应特征明显(表 2)。

Table 2. The data of typical mineral content of XRD whole rock diffraction logging in Well XX10-1N-1

表 2. XX10-1N-1 井 XRD 全岩衍射录井典型矿物含量数据表

层位	典型矿物平均体积分数/%		
	石英	长石	黏土矿物
沙三段	31.80	20.78	28.36
中生界	21.58	36.78	11.91



2) 特征矿物法: 挖掘出火成岩类特征矿物——微斜长石, 是最稳定的一类钾长石, 广泛分布于岩浆岩及深变质岩中。XX16-1-8 井上覆为沙河街组四段砂砾岩, 潜山为中生界安山岩 - 火山角砾岩(IIa)。1445 m 开始微斜长石开始连续出现, 反映地层岩性变化, 特征矿物响应特征明显。

3) 图版法: 选取长石和石英作为典型矿物以 XX 区块数据建立 XRD 潜山界面识别图版(图 9)。研究区上覆为沙河街组四段砂岩及砂砾岩, 潜山为中生界凝灰岩及火山角砾岩(Ia、IIa 型), 砂岩中石英含量高, 潜山岩性长石含量高, 该图版对于 Ia 型潜山界面识别效果好。选取长石和黏土矿物作为典型矿物, 以 XX 区块数据建立 XRD 潜山界面识别图版(图 10)。泥岩中黏土矿物含量高, 潜山岩性长石含量高, 该图版对于 Ia 型潜山界面(尤其泥岩进潜山)识别效果好。

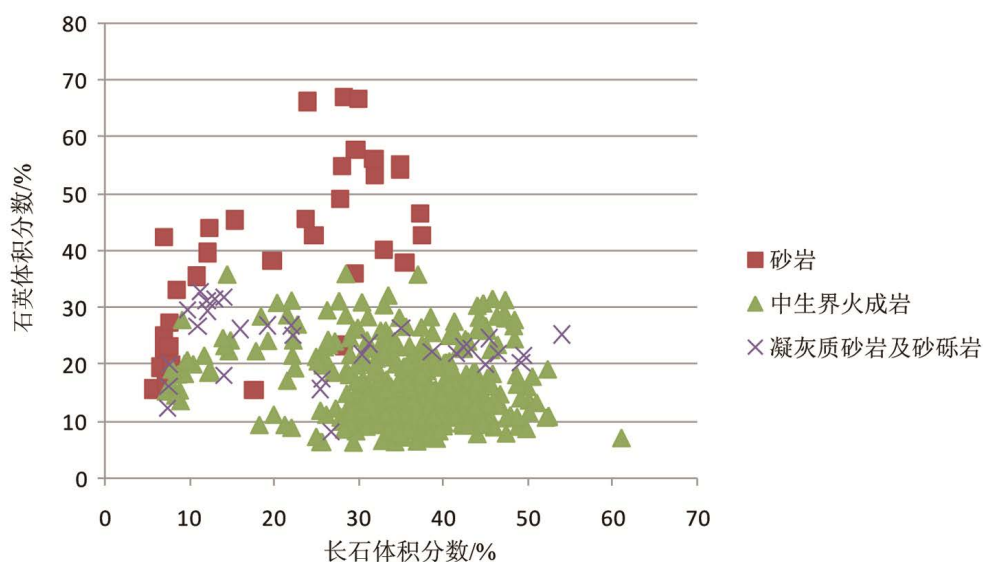


Figure 9. The quartz-feldspar XRD buried hill boundary recognition plate  
图 9. 石英 - 长石 XRD 潜山界面识别图版

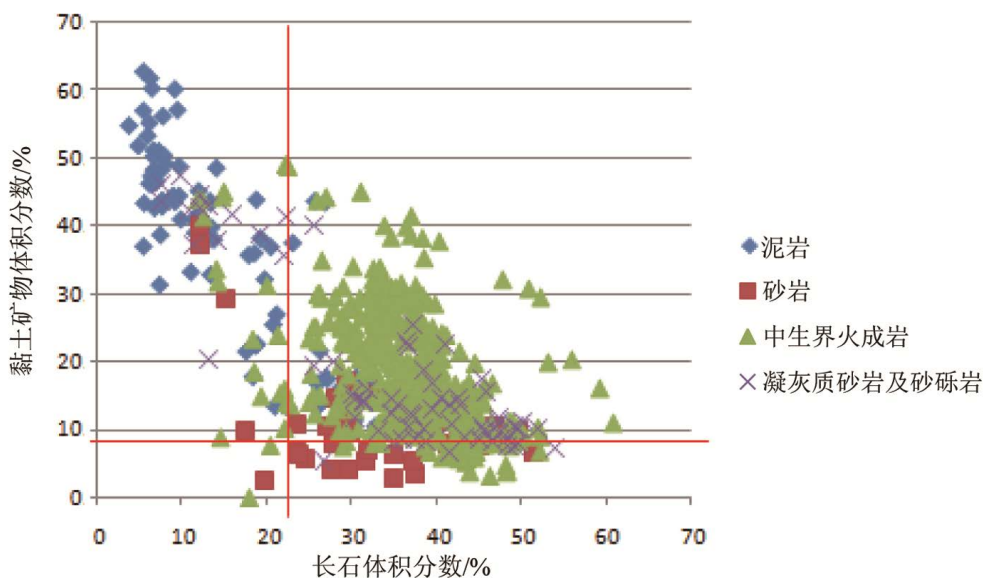


Figure 10. The clay mineral-feldspar XRD buried hill boundary recognition plate  
图 10. 黏土矿物 - 长石 XRD 潜山界面识别图版

### 3.4. 薄片鉴定识别潜山岩性

渤海油田近几年引进井场薄片岩性鉴定技术。该技术是把实验室薄片鉴定设备体积缩小,并把鉴定内容及流程简化,以达到简便易行、快速准确地对录井岩性进行鉴定和分析的目的[9]。

从渤海油田典型潜山井(XX22-1-2井、XX22-2-1井、XX5-5-3D井、XX12-6-1井、XX16-1-1井、XX29-1-1井、XX16-1-8井等)的薄片鉴定效果统计看,符合率高,能在微观下识别不易发现的化石碎屑、微裂缝、孔洞等现象及不易识别的一些玻璃质、隐晶质岩石矿物等,能很好地指导井场潜山界面识别。

以XX21-2-1井为例,上覆地层为沙河街组砂泥岩,潜山地层为古生界碳酸盐岩,为典型Ib型。4831~4833 m岩屑与冷盐酸反应剧烈。薄片鉴定含腹足类生物碎屑,为沙河街组特有生物化石。4863~4866 m岩屑与冷稀盐酸反应剧烈,部分与冷稀盐酸反应微弱,加热后反应剧烈;薄片鉴定定名为粉泥晶灰岩、砂屑泥晶白云岩。镜下观察有重结晶现象,可见溶蚀孔隙和裂缝,表明岩石经历风化岩溶作用,未见到生物碎屑,证明进入古生界地层。与潜山界面4861.5 m符合。

## 4. 潜山地层界面识别技术体系

对渤海油田常用潜山界面识别方法进行适应性研究,得出成果,见表3。

**Table 3.** The analysis table for adaptability of commonly seen buried hill identifying methods in Bohai Oilfield  
**表 3.** 渤海油田常用潜山界面识别方法适用性分析表

技术方法	用途	测量方式	技术特点	经济性	局限性
功指数		直接	技术方法简单,直观	/	不适用于所有潜山界面类型
XRD	地层界面识别	间接	应用时间短,缺乏解释方法	价格低	适用于所有潜山界面类型
XRF		间接	应用时间长,解释评价手段丰富	价格高	适用于所有潜山界面类型
薄片鉴定		直接	直接测量岩屑岩性,准确性高	价格低	仅能确定一个点
XRD	潜山岩性识别	间接	应用时间短,缺乏解释方法	价格低	仅能区分岩石大类
XRF		间接	应用时间长,解释评价手段丰富	价格高	仅能区分岩石大类

并初步确定了渤海油田常见潜山界面录井项目优化原则,见表4。

**Table 4.** The optimization principle of logging operations of the commonly seen buried hill interfaces in Bohai Oilfield  
**表 4.** 渤海油田常见潜山界面录井项目优化原则表

序号	潜山界面 地层界面是否清楚	工程风险 岩性清楚是否清楚	井别	推荐录井项目	序号
1	否	否	高	预探井	XRF + XRD + 井场薄片鉴定
2	否	否	低	预探井	XRF + 井场薄片鉴定
3	否	是	高	评价井	XRD + 井场薄片鉴定
4	否	是	低	评价井	XRD
5	是	是	高	评价井	XRF
6	是	是	低	评价井	/

## 5. 应用实例验证

以XX16-1-6井为典型案例,该井设计中生界潜山界面1516.0 m,现场确定潜山界面为1577.0 m,实

际较设计深 61.0 m, 潜山地层为中生界火山角砾岩, 上覆地层为沙河街组四段砂砾岩(IIa 型), 潜山界面识别难度较大, 现场准确识别, 显示出该项研究成果的技术优势。

XX16-1-6 井钻进至 1577 m 时功指数曲线缓慢抬升, 1605 m 以后达到明显的异常高值, 无回落。

XX16-1-6 井钻进至 1577 m 附近, X 射线元素录井 Fe、Ti、K、Sr、Zr 元素整体呈台阶式上升, S、Cl 元素呈突变时挖掘效应降低, 呈现明显的变化趋势。

XX16-1-6 井潜山界面 1577 m 上下 X 射线全岩衍射录井典型矿物响应特征明显。577.0 m 附近石英含量明显减少, 黏土矿物基值下降, 以及特征矿物榍石以及透辉石出现都说明火成岩的出现。

综合上述技术, 确定中生界潜山界面为 1577 m。

## 6. 结论

1) 作业现场对潜山界面的判断, 不论潜山的类型、潜山界面上下岩性叠加关系、地质作业人员专业工作经验等, 都可以在岩屑录井的基础上, 结合功指数技术、X 射线元素录井技术、X 射线全岩衍射录井技术和井场薄片鉴定技术, 对潜山界面进行准确的识别判断。

2) 该项综合技术的研究拓宽了潜山界面智能化识别研究方向。不同于地质作业人员的肉眼识别岩性, X 射线元素录井技术和 X 射线全岩衍射录井技术的使用, 能够对地层岩性的元素和矿物组成进行分析, 将地层岩性数据化。

3) 由于渤海油田潜山岩性和结构的多样性, 及 X 射线元素录井、X 射线全岩衍射等录井技术的局限性, 该技术在实际应用过程中应该与岩屑录井相结合才能达到更好的效果。

## 参考文献 (References)

- [1] 杨明慧. 渤海湾盆地潜山多样性及其成藏要素比较分析[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(5): 623-631.
- [2] 李欣, 闫伟鹏, 崔周旗, 等. 渤海湾盆地潜山油气藏勘探潜力与方向[J]. 石油实验地质, 2012, 34(2): 140-144.
- [3] 范白涛, 刘小刚, 何瑞兵, 等. 可循环泡沫钻井液在渤海油田的应用[J]. 钻井液与完井液, 2010, 27(4): 44-46.
- [4] 周心怀, 余一欣, 汤良杰, 等. 渤海海域新生代盆地结构与构造单元划分[J]. 中国海上油气田, 2010, 22(5): 285-289.
- [5] 张志虎, 王俊瑞, 邓强, 等. 功指数模型在地质和工程录井中的应用[J]. 录井工程, 2016, 27(2): 1-6.
- [6] 李春山. X 射线荧光岩屑识别技术研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 西北大学, 2012.
- [7] 尚锁贵, 谭忠健, 阚留杰, 等. 元素录井岩性识别技术及其在渤海油田的应用[J]. 中国海上油气田, 2016, 28(4): 30-34.
- [8] 钱其锁. 便携式 XRD 分析在石油录井中的应用[J]. 资源导刊(地球科技版), 2013, 2(3): 28-32.
- [9] 占蓉, 邹筱春, 李芳. 随钻 X 射线衍射分析录井技术应用研究[J]. 录井工程, 2012, 23(4): 1-5.
- [10] 阚留杰. 井场薄片岩性鉴定技术在岩性及地层识别中的应用[J]. 录井工程, 2014, 25(3): 27-29.

[编辑] 邓磊

**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](mailto:jogt@hanspub.org)