

# 应用激电法勘查隐蔽型油砂矿

## ——以二连盆地包楞油砂矿为例

臧焕荣<sup>1</sup>, 拜文华<sup>1</sup>, 赵卫东<sup>2</sup>, 张琴<sup>1</sup>, 昌燕<sup>1</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007; 2. 河北省地矿局第一地质大队, 河北邯郸 056000)

**摘要:**巴音都兰凹陷包楞地区是二连盆地油砂资源主要分布的三大地区之一,油砂层厚度大、埋藏浅、含油率高,属于隐蔽型油砂矿,为古油藏破坏型成矿模式。为了进一步搞清油砂矿的分布范围和资源规模,对包楞油砂矿进行了激电法勘探,建立了电性参数与油砂矿分布之间的对应关系,圈定了油砂分布面积,预测了油砂地质资源,并选择激电法勘查的有利区进行了钻井验证。结果表明,激电法对包楞隐蔽油砂矿勘探是有效的勘查方法。

**关键词:** 二连盆地; 巴音都兰凹陷; 包楞构造; 油砂; 成矿模式; 激电法勘探

中图分类号: P631.3<sup>+</sup>24

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2013)02-0151-05

二连盆地油砂资源主要分布于巴音都兰凹陷包楞地区、吉尔嘎朗图凹陷和巴达拉湖地区。包楞地区是二连盆地油砂资源主要分布的三大地区之一(图1)。包楞构造位于巴音都兰凹陷北洼槽,是被断裂复杂化的反转背斜构造<sup>[1]</sup>,面积160 km<sup>2</sup>。多口钻井钻遇油砂,油砂层主要分布于白垩系腾格尔组腾一段地层中。1977年9月解放军水文普查ZK5钻孔取芯发现73.94 m的油砂,单层最大厚度25 m;1978

年10月6日,原地质部内蒙东部地区石油勘探指挥所所属的三普在ZK5附近相继钻探了锡1、锡2、锡3井,其中锡1、锡3井均见到良好油气显示,证实了包楞构造油砂具有一定的分布范围<sup>[2]</sup>。

### 1 油砂矿的成矿模式

巴音都兰凹陷构造演化经历了初始张裂期(阿尔善组沉积时期)、断陷期(腾格尔组沉积时期)和回

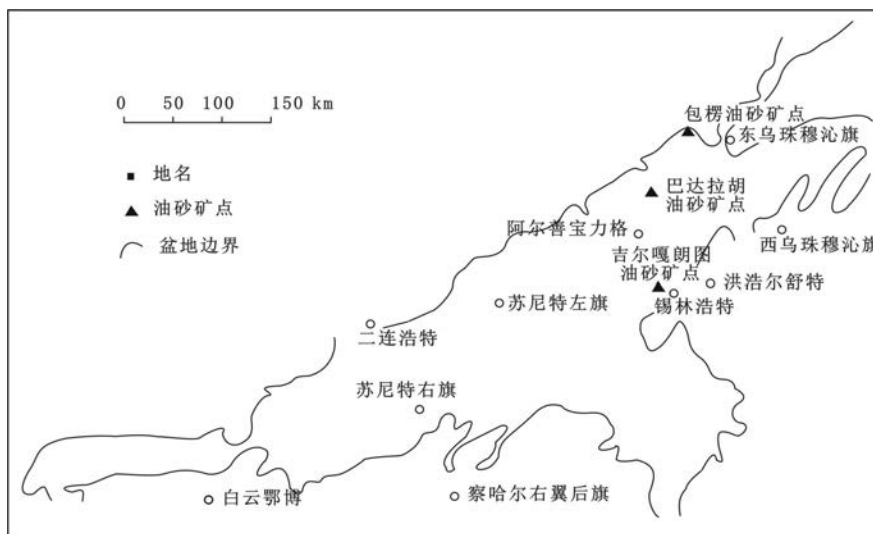


图1 二连盆地油砂分布图

Fig. 1 Oil sands distribution in the Erlian Basin

收稿日期: 2013-02-07

资助项目: 中国石油天然气股份公司十二五科技项目: 油砂矿资源勘查与分离技术研究(2011A4805)

作者简介: 臧焕荣(1965-), 女, 高级工程师, 1986年7月毕业于中国地质大学石油地质专业, 长期从事石油地质研究和非常规油气地质研究工作, mail: zanghr69@petrochina.com.cn.

返抬升期(塞汉塔拉组沉积时期)<sup>[2]</sup>。

在阿尔善和腾一段沉积时期,包楞地区是巴音都兰凹陷北洼槽的沉积沉降中心,发育了优质的烃源岩,厚度大,暗色泥岩累计厚度1006 m,有机质丰度高,有机碳2.3%~5.99%,处于成熟演化阶段<sup>[3]</sup>。区内发育扇三角洲前缘和水下扇中成因的多套砂体,储集相带有利,储层物性好。在腾二段沉积时期包楞地区逐渐抬升,构造发生反转,形成反转背斜构造。这些条件的有利匹配,在背斜核部及围斜部位形成多种类型的油藏<sup>[4]</sup>。赛汉塔拉组时期持续抬升,背斜核部遭受严重剥蚀,之前形成的油藏遭受破坏,油气发生重新调整运移,至包楞背斜高部位近地表处形成隐蔽油砂矿(图2)。表明包楞油砂矿的形成是因为构造强烈反转,使早期形成的原生油藏受到调整,油气再次运移至近地表形成,为古油藏破坏型的成矿模式。

## 2 包楞地区油砂矿的特征

### 2.1 油砂层纵向分布集中,单层厚度大

包楞地区多口钻井钻遇油砂,对于埋深小于200 m的油砂厚度统计,ZK5井,74 m油砂;巴地4井,86 m;巴32井,55 m;巴39井,75 m。该区油砂埋深70~200 m,厚度30~90 m(埋深大于200 m的油砂暂未作统计),显示包楞地区油砂层分布稳定,且纵向上连续、集中,单层厚度大,多井单层厚度大于10 m(图3)。

### 2.2 油砂层段岩性粗、含油率高

巴砂1井钻遇4层油砂,总厚度23 m,其中饱含油3层15 m,富含油1层8 m。岩性为含砾粗砂岩、砂砾岩、细-中砾岩,含油性从饱含油-富含油-含油-微含油。其中饱含油油砂岩性主要为含砾粗砂岩、砂质细砾岩等。实验分析结果,巴砂1井含油率较高,最高10.1%,最低1.85%,平均6.2%;其中饱

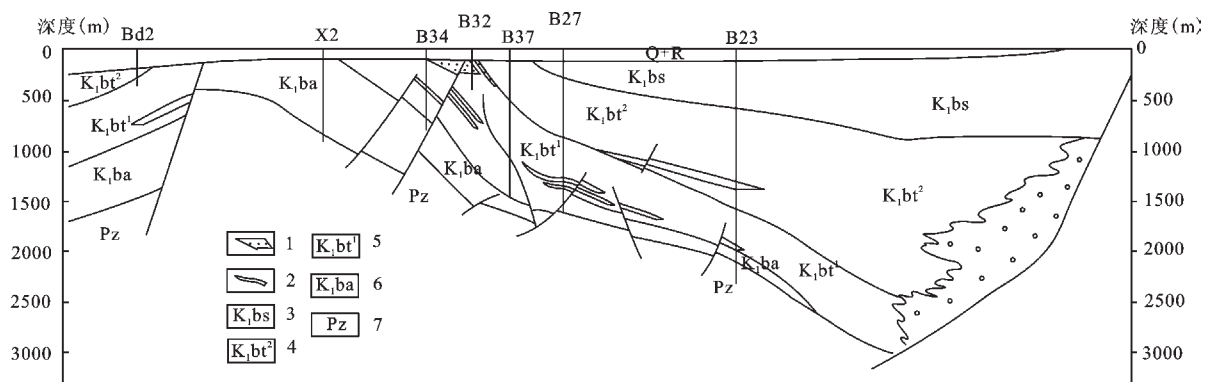


图2 包楞背斜构造油砂成矿模式图

Fig. 2 Metallogenic model of oil sand in the Baoleng anticline structure

- 1. 油砂; 2. 油藏; 3. 下白垩统赛汉塔拉组; 4. 下白垩统腾格尔组二段; 5. 下白垩统腾格尔组一段;
- 6. 下白垩统阿尔善组; 7. 古生界

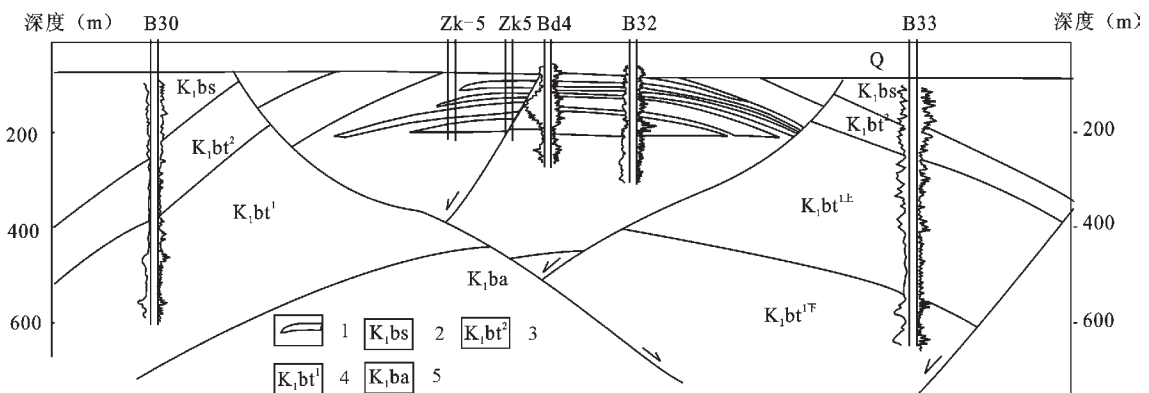


图3 包楞地区油砂矿剖面图

Fig.3 Oil sand profile of the Baoleng area

- 1. 油砂; 2. 下白垩统赛汉塔拉组; 3. 下白垩统腾格尔组二段; 4. 下白垩统腾格尔组一段;
- 5. 下白垩统阿尔善组; 6. 古生界

含油层段,含油率平均为8.3%;富含油层段,含油率平均为4.2%,显示该区油砂具有较高的含油率。

通过初步地质分析和前期钻探结果显示,巴音都兰凹陷包楞油砂矿具有一定的勘探价值,但是油砂层分布范围及资源规模尚不清楚,为了搞清油砂矿的赋存状态及资源潜力,运用激电法勘探对包楞油砂矿进行探索。

### 3 激电法勘探原理

电法勘探,是根据地壳中各类岩石或矿体的电磁学性质(如导电性、导磁性、介电性)和电化特性的差异,通过对人工或天然电场、电磁场或电化特性的空间分布规律和时间特性的观测和研究,寻找不同类型有用矿床和查明地质构造及解决地质问题的地球物理勘探方法<sup>[5]</sup>。常见岩石、矿物的电阻率,金属矿物的电阻率低,石油及造岩矿物的电阻率高,其中疏松砂岩电阻率为2~50 Ω·m,含油砂岩电阻率为2~10<sup>3</sup> Ω·m,电阻率差异大(表1)。

目前,地面电法主要分为主动源勘探方法、被动源勘探方法、和其他电法勘探方法三类<sup>[6]</sup>,其中激电法属于主动源勘探方法,油气自电法属于被动源电法勘探<sup>[7]</sup>。

激电法(全称激发极化法),是向地下输入电流,利用岩石或矿石受到激发极化作用后产生的电流场,进行找矿和解决其他地质问题的方法。是以地壳中不同矿石、岩石间极化特性差异为前提,观测和研究激电异常场空间分布规律和激电场随时间变化

表1 常见岩石、矿物的电阻率<sup>[5]</sup>

Table 1 The resistivity of common rocks and minerals

岩石名称	电阻率 (Ω·m)	矿物名称	电阻率 (Ω·m)
粘土	1~10	石英	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>10</sup>
泥岩	5~60	白云母	4×10 <sup>11</sup>
页岩	10~10 <sup>2</sup>	长石	4×10 <sup>11</sup>
泥质页岩	5~10 <sup>3</sup>	方解石	(5×10 <sup>3</sup> )~(5×10 <sup>12</sup> )
疏松砂岩	2~50	硬石膏	10 <sup>4</sup> ~10 <sup>6</sup>
致密砂岩	20~10 <sup>3</sup>	无水石膏	10 <sup>9</sup>
含油砂岩	2~10 <sup>3</sup>	岩盐	10 <sup>4</sup> ~10 <sup>6</sup>
贝壳石灰岩	20~(2×10 <sup>2</sup> )	石墨	10 <sup>-6</sup> ~(3×10 <sup>-4</sup> )
泥灰岩	5~(5×10 <sup>2</sup> )	磁铁矿	10 <sup>-4</sup> ~(6×10 <sup>-3</sup> )
石灰岩	60~(6×10 <sup>3</sup> )	黄铁矿	10 <sup>4</sup>
白云岩	50~(6×10 <sup>3</sup> )	黄铜矿	10 <sup>3</sup>
玄武岩	6×(10 <sup>2</sup> ~10 <sup>5</sup> )	石油	10 <sup>9</sup> ~10 <sup>16</sup>
花岗岩	6×(10 <sup>2</sup> ~10 <sup>5</sup> )	无烟煤	10 <sup>-3</sup> ~(3×10)

特性。通过观测和研究激电场的空间分布特征,便可实现找矿的目的或解决其他地质问题<sup>[3]</sup>。

激电法适用于评价构造的含油性、指示油气聚集中心和油气藏的大致范围、发现新油气藏。埋藏过深(大于4500m)或盖层较厚,含油砂体小者可能没有明显异常反应。

激电法根据探测目标不同可分为直接找矿法和间接找矿法。

直接法:是直接探测油气藏与地层不同矿石、岩石间极化特性差异,观测和研究油气藏激电异常场空间分布规律和激电场随时间变化特性,落实油气藏的空间分布特征。

间接法:探测油气藏上部较浅处(100~800m)地层中形成的次生黄铁矿浸染晕,间接探测油气藏<sup>[9]</sup>。油气藏中的烃类物质不同程度地向外逸散或渗流,被其途经的岩层吸附或滞留,并改变上覆地层的物理化学环境,当遇到地层中的硫酸盐溶液(层间矿化水),形成黄铁矿,在多孔地层孔隙空间,形成次生黄铁矿晕。激电法对这种黄铁矿晕(包括其他金属硫化物、碳酸盐)十分敏感,具有较强的激电效应,与非油气地层上方形成显著的电性差异,间接探测油气藏<sup>[10]</sup>。

包楞油砂矿属于非构造型隐蔽油砂矿,无露头,钻井揭示包楞地区油砂埋藏浅,一般不超过500m,巴32井测井解释油砂层电阻率最高达1000 Ω·m以上,一般为500 Ω·m。而不含油砂的砂岩储层电阻率最高为200 Ω·m,一般为50 Ω·m。油砂矿层电阻率远高于围岩的电阻率。因此,从油砂层的埋藏深度和电性特征看,包楞地区隐蔽型油砂矿具备激电法勘探的地球物理条件。因此,选择激电直接找矿法对包楞油砂矿进行勘探。

## 4 现场激电法勘探及成果分析

### 4.1 激电法勘探部署及电性参数指标测定

根据包楞地区地质条件研究,在推测油砂富集的区域,部署施工了电法勘探5条线,1线2.7 km、2线3.1 km、3线3.2 km、4线2.8 km、5线2.7 m,共14.5 km(图4)。

包楞地区地表为第四系覆盖,无法取得油砂标本进行电性测试。工作中采用在已知钻孔ZK111井旁进行电法实验,以获取该区相应地层的视电阻率与视极化率数值。通过在钻孔ZK111井旁进行激电

测深,在ZK111井80 m至160 m见到油砂矿层的位置,视电阻率与视极化率均具有相对高值的特点。其视电阻率大约在50~73 Ωm,视极化率大约在1.0%~1.2%之间(图5、图6a、b),以此作为预测包楞地区油砂层赋存的基本参数指标。

#### 4.2 激电法勘探结果分析

5条线的视电阻率剖面有一个共同的特点,即在约30 m以浅的部位均存在异常高值区,这是第四系

砾石层引起,不是真实的含油反应。因此,在以下的分析中均不予考虑。

从1线视电阻率断面图(图6a)看,在50~73 Ωm的等值线圈定的范围,油砂矿呈层状分布,深度在80~200 m之间,与ZK111井油砂矿的赋存位置相吻合。同样从1线视极化率断面图(图6b)看,视极化率1.2%等值线圈定的范围,也与ZK111井油砂矿的赋存位置相吻合。综合1线视电阻率、视极化率断面特征,预测80~200 m为油砂矿赋存位置。

从2线视电阻率断面图(图7a)也可以看出,它和1线视电阻率断面图基本相似,电阻率50~73 Ωm圈定的范围深度50 m到400 m之间有一相对高阻带,呈层状分布,预测为油砂矿赋存位置。从2线视极化率断面图(图7b)可以看出,视极化率为1.2%的等值线圈定的范围,深度在100~400 m之间。综合2线视电阻率、视极化率断面特征,推测在深度100~400 m之间存在断续的带状油砂层。

同1、2线相似,工区内3线视电阻率、视极化率等值线,显示深度在100~400 m之间,为相对高阻与相对高极化区,推测可能赋存油砂矿层。4线视电阻率、视极化率等值线,显示深度在50~150 m之间,为相对高阻与相对高极化区,推测可能赋存油砂矿层。5线视电阻率、视极化率等值线,显示深度在50~400 m之间,为相对高阻与相对高极化区,推测可能赋存油砂矿层。

通过以上分析可知,工区范围内普遍存在视电阻率和视极化率相对高值区,具有三个特点:第一,油砂矿呈层状分布,埋深在100~400 m之间;第二,油砂层分布稳定,具有一定的分布范围;第三,推

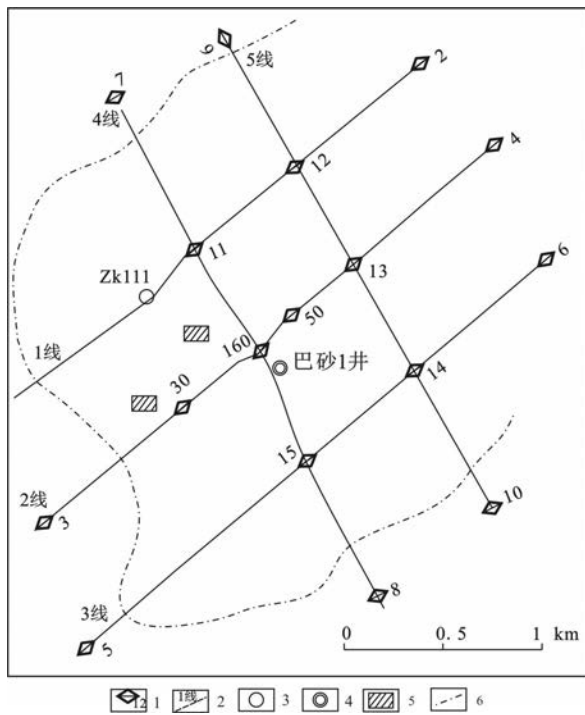


图4 包楞工区电法施工测线位置图

Fig. 4 Survey line location map of electrical prospecting method in the Baoleng area

1. 侧身点及编号; 2. 测线及测号; 3. 已钻井; 4. 设计井;
5. 示意性房屋; 6. 油砂分布范围

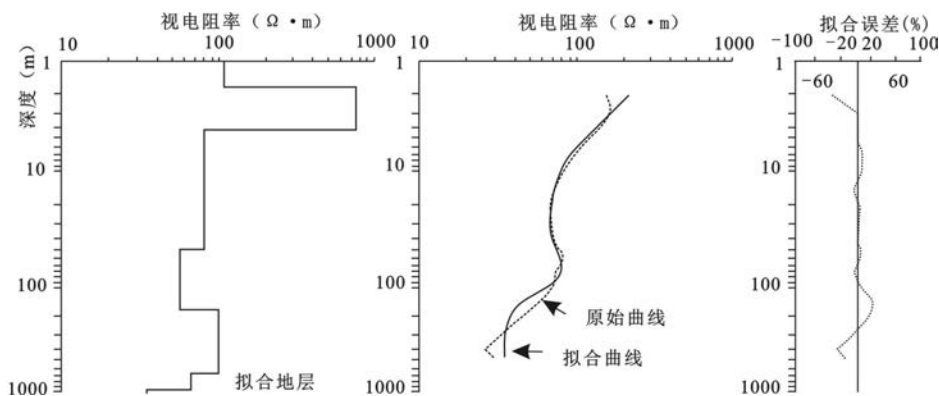


图5 钻孔ZK111井旁测深曲线拟合图

Fig.5 Sounding curve fitting graph of the ZK111 well

测向东北方向存在埋深更大(大于400 m)的油砂层。根据激电法勘查成果,圈定了包楞区块油砂矿的分布范围(图4),明确了该区块油砂地质资源。

### 4.3 钻井验证

为了验证油砂矿激电法勘探成效,在视电阻率和视极化率显示较好的2线剖面中部附近部署钻探巴砂1井(图7a、b),进行钻井验证。完钻井深160 m,实钻于井深105 m见到油砂。共钻遇4层油砂,厚度23 m;岩性为含砾粗砂岩、砂砾岩、细-中砾岩(表2、图8)。

根据1线 ZK111 井油砂层对应的视电阻率和视极化率值,推测2线设计井(巴砂1井)见油砂矿深度为120 m,深度范围约在120~300 m之间。

实钻巴砂1井于105 m见到油砂(图8),与推测深度120 m误差15 m,证明采用激电法对该区油砂进行探测是有效可行的。

## 5 结论

(1)包楞隐蔽油砂矿属于古油藏破坏型成矿模式,具有埋藏浅、分布集中、含油率高的特点。测井

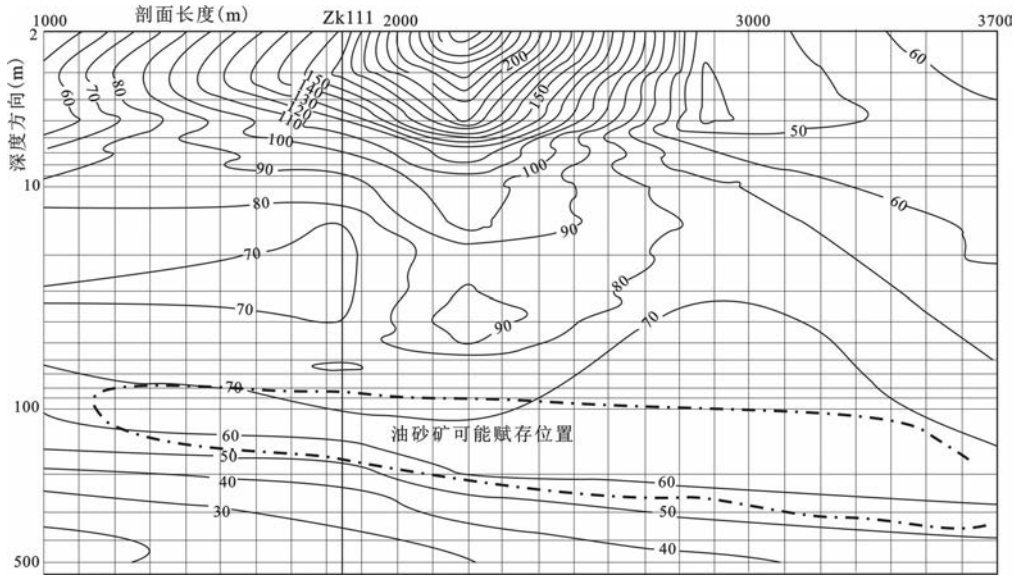


图6a 包楞1线视电阻率  $\rho_s$  断面图

Fig. 6a Apparent resistivity ( $\rho_s$ ) profile of line one in the Baoleng area

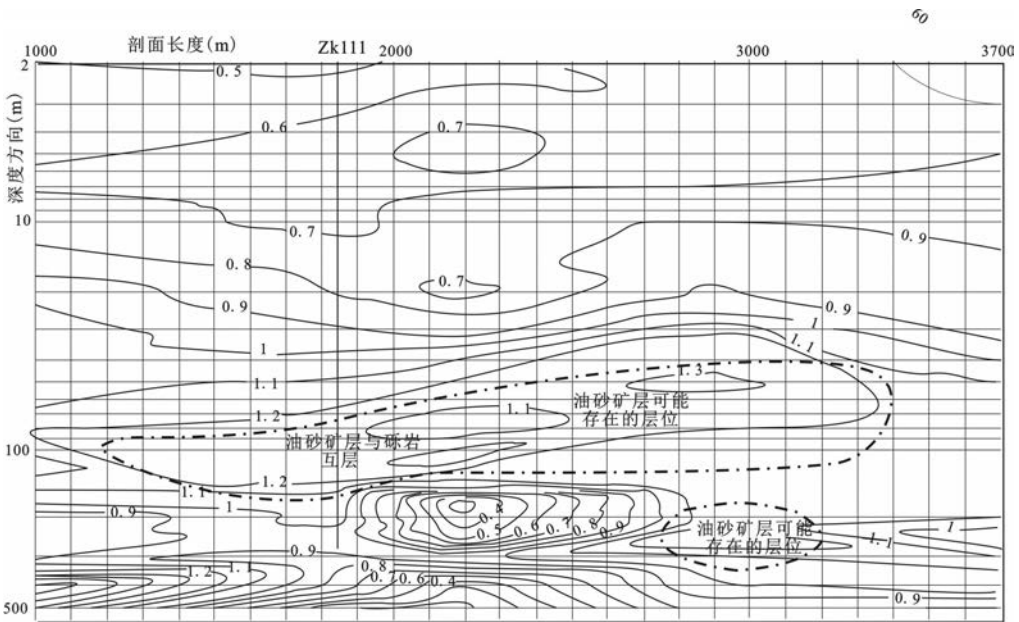


图6b 包楞1线视极化率  $\eta_s$  断面图

Fig. 6b Apparent polarizability ( $\eta_s$ ) profile of line one in the Baoleng area

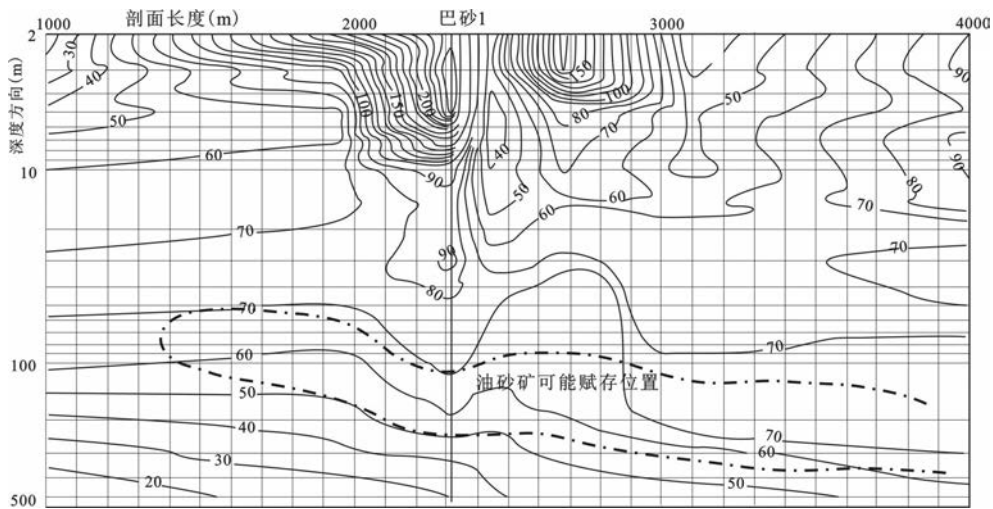


图7a 包楞2线视电阻率  $\rho s$  断面图

Fig. 7a Apparent resistivity ( $\rho s$ ) profile of line two in the Baoleng area

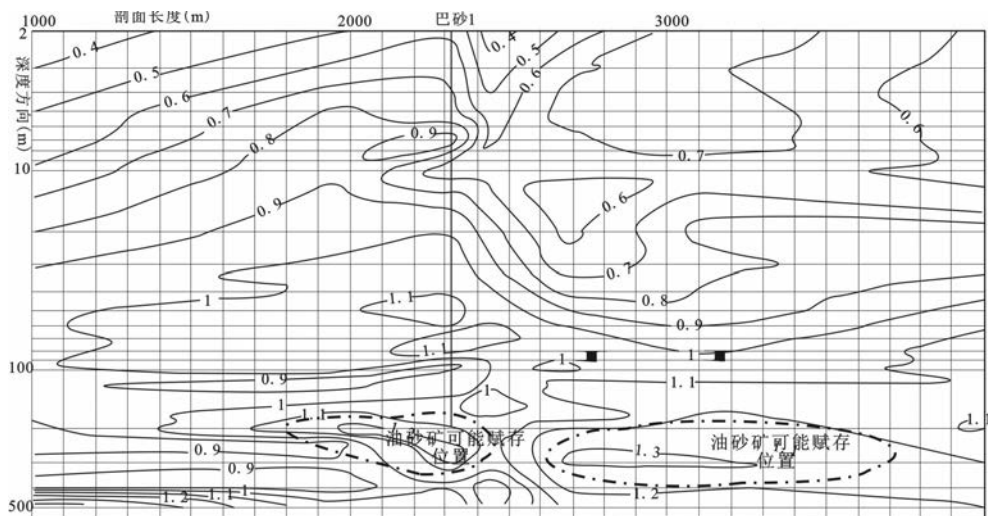


图7b 包楞2线视极化率  $\eta s$  断面图

Fig. 7b Apparent polarizability ( $\eta s$ ) profile of line two in the Baoleng area

表2 巴砂1井岩心含油率统计表

Table 2 Statistics of oil content in cores of the Basha 1 well

编号	深度	岩性	含油率	粒度分析
41275	88.0	灰绿色油页岩	0.22	
41276	104.0	黑色饱含油砂砾岩	10.10	不等粒砂岩
41277	105.5	黑色饱含油含砾粗砂岩	9.78	粗砂中砂岩
41278	110.0	黑色饱含油含油砂砾岩	6.08	
41279	112.0	黑色饱含油粗砂砾岩	7.05	含粉砂不等粒砂岩
41280	115.0	灰绿色油页岩	0.25	
41281	118.4	灰绿色油页岩	0.45	
41282	132.0	黑色富含油砂质砾岩	1.85	粉砂质不等粒砂岩
41283	133.0	黑色富含油砂质砾岩	6.67	
41284	160.0	灰褐色含油砂质砾岩	3.22	
41285	160.5	灰褐色含油砂质砾岩	4.58	

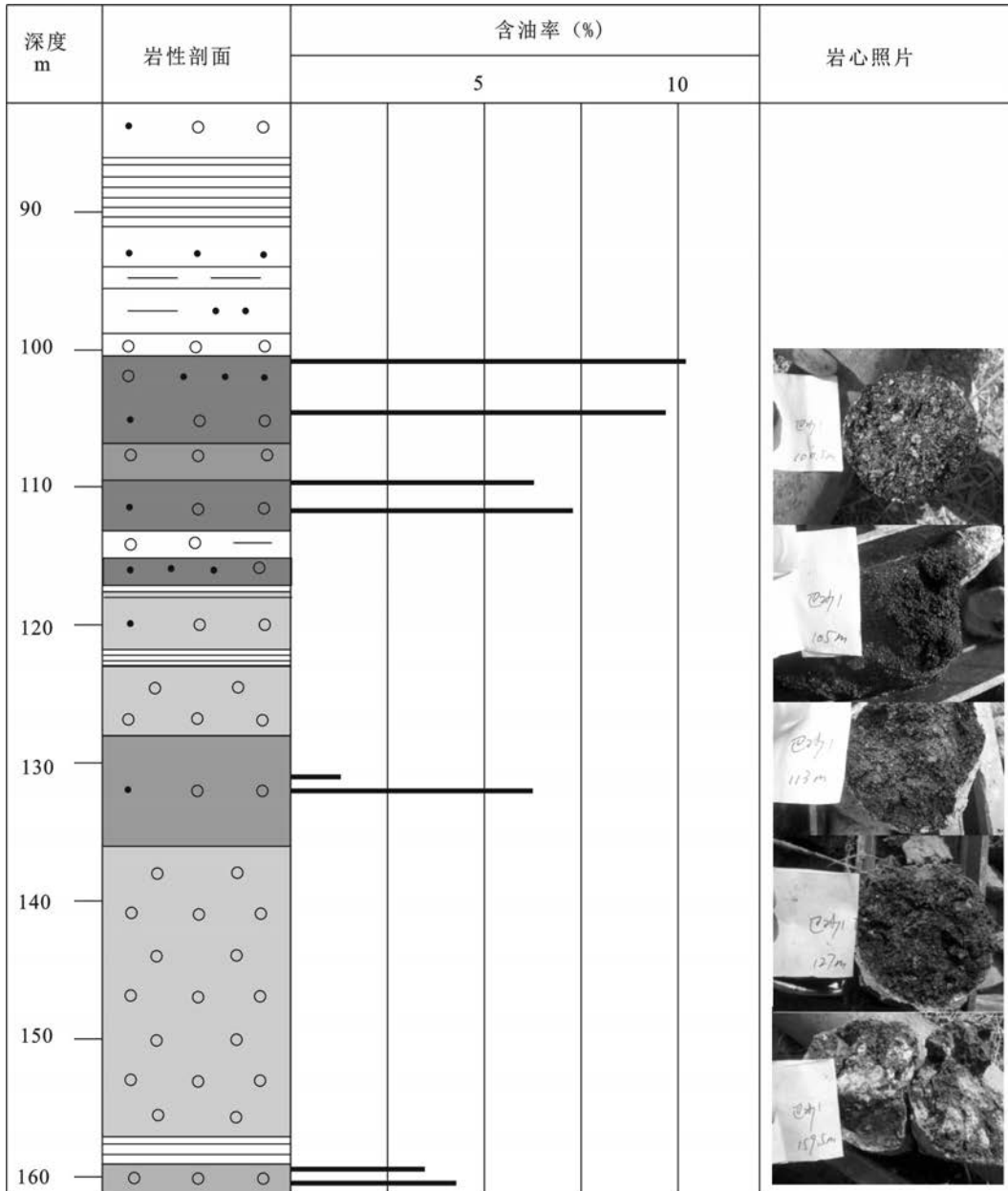


图8 巴砂1井钻井剖面

Fig.8 Drilling profile of Basha 1 well

解释油砂层电阻率高,与不含油砂的岩层差异大,具备激电法勘探的地球物理条件。

(2)通过激电法勘探结果分析,在已知电性或在区内已知地电结构的条件下,可利用主动源激电法,对油砂矿进行勘探,钻井结果验证了激电法对包楞地区隐蔽油砂矿勘查的有效性。

(3)包楞油砂矿电性表现出相对的高电阻率、相对高极化率特点。

(4)激电法勘探及钻井结果表明,包楞地区油砂矿具有一定资源规模,为有利的目标区。

参考文献:

[1] 杜金虎,易士威,王权.华北油田隐蔽油藏勘探实践与认识[J].中国石油勘探,2003,3(1):1-10.  
 [2] 李正文,殷宏平,常亮等.二连盆地巴音都兰凹陷隐蔽油藏勘探[J].中国石油勘探,2002.7(2):14~31.  
 [3] 易士威,焦贵浩,李正文.二连盆地凹陷结构与成藏模式[J].石油勘探与开发,1998,25(2):8-12.  
 [4] 李启波.二连盆地巴音都兰凹陷油气成藏条件研究[J].石油天然气学报,2009.06(3):51-56.  
 [5] 易士威,陈亚青.二连盆地坡折带的控相与控藏[J].岩性油气藏,2010.12(4):31-36  
 [6] 郑秀芬,李金铭.油气电法勘探综述 [J].地球物理学进展,

- 1997.12(2):89-94.
- [7] 傅良魁. 电法勘探教程[M]. 北京,地质出版社,1983.
- [8] 拜文华,杜庆丰,肖渊甫,等.油气自电法在东胜地区隐藏油砂矿勘探中的应用[J].地质调查与研究,2008.31(2):154-159.
- [9] 蔡运胜,尹洪岩,张进国等,激发极化法工作原理方法及应用效果探讨[J].矿产勘查,2012.03(2):212-218.
- 10] 高军强,李书忠,李油建.激电法找油的原理及应用[J].断块油气田.2003.10(1):28-30
- [[11]张兆芳,伍校军,李婧.利用重力电法联合勘探预测油砂分布[J].物探装备.2010,20(6):398-400.

## Application of Electrical Prospecting for Subtle Oil Sands: an Exploration Case in the Baoleng Oil Sands, Erlian Basin

ZANG Huan-rong, BAI Wen-hua, ZHAO Wei-dong, ZHANG Qin, CHANG Yan

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development-Langfang,065007, Chian;  
2. Geological group, Hebei Geology and Minerals Bureau,056000, China)

**Abstract:** Baoleng structure in Bayindulan depression is one of the three major areas abundant in oil sand resource in the Erlian Basin. The oil sand in the study area is featured by large thickness, shallow depth, high oil content which is a subtle oil sand and was formed because of the paleo-reservoir destruction. In order to figure out the distribution and resource extent of the oil sand, electrical prospecting method has been adopted in Baoleng structure. After that, the corresponding relationship between electrical parameters and oil sand distribution is established, the area of oil sand was determined and finally the geological oil sand resource is forecasted. The favorable area determined by electrical prospecting was tested by drilling and the result indicated the electrical prospecting is an effective method.

**Key words:** Erlian Basin; Bayindulan depression; Baoleng structure; oil sand; mineralization model; induced polarization prospecting