

地球物理测井在安棚天然碱矿勘查中的应用

陈建立^{1,2}

(1. 河南省地质调查院, 郑州 451000; 2. 河南省地质矿产勘查局第一地质勘查院, 河南 南阳 473056)

摘要: 安棚碱矿位于泌阳凹陷东南部, 碱矿层主要赋存于古近系核桃园组核一段的上部和核二段中、下部, 碱矿层主要由重碳酸盐(NaHCO_3)和碳酸氢钠石($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{NaHCO}_3$)组成, 碱矿层顶、底板主为白云岩。碱矿层系由淡化湖泊逐渐浓缩咸化, 从碱性卤水中沉积而成。根据碱矿层在地球物理测井资料中有明显显示的特点, 利用多种地球物理测井资料建立岩性与电性关系、碱矿层与测井曲线的关系, 制定出判断岩性、碱层和划分碱层厚度的电性界限及夹层剔除的电性界限, 进而确定了碱矿层位置和厚度, 弥补了钻探取心较少的缺陷; 根据测井数据确定的矿层厚度与取心的见矿厚度基本吻合, 误差很小; 通过钻探取心和测井资料综合分析, 在安棚碱矿共发现天然碱矿层 17 层, 矿床具大型规模。

关键词: 安棚天然碱矿; 泌阳凹陷; 核桃园组; 地球物理测井; 河南省

中图分类号: P631.811; P619.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2010)03-0252-08

0 引言

碱是基础化工重要原料之一, 广泛应用于化工、轻工、冶金、建材、石油、医药、食品等行业。目前世界上有 20 多个国家发现天然碱矿, 绝大多数为第四系现代盐湖型碱矿, 这类碱矿的总储量约为 10 亿 t。我国已发现了 152 个碱矿, 其中, 现代碱矿 148 个, 古代碱矿 4 个; 古代碱矿有 2 个位于河南省桐柏县, 占全国保有储量的 86.90%。第四系现代盐湖型碱矿规模小, 品位低, 成分杂, 较难利用, 而古代天然碱矿规模大, 质量佳, 是当今纯碱工业的主力矿源。

1 概述

天然碱矿多赋存于中新生代盆地或凹陷中, 沉积盖层厚度大、埋藏深, 一般在 2 000 m 至数千米, 在勘查中钻探取心难度大、成本高, 一般采取在预测的富矿段局部取心, 利用测井资料进行岩心对比判

断。安棚碱矿施工 23 口井, 有 12 口钻井间断取到岩心, 对碱层较系统的取心只有云 3-1 井(取出碱矿层总厚度为 8.4 m), 其余 11 口井都程度不同地取出碱矿层矿心(取出最厚的是泌 101-2 井, 总厚 3.62 m; 最薄的为云 6-1 井, 总厚 0.10 m)。若把 > 0.20 m 的夹石层作为碱层自然分段界限, 在 12 口井中, 共取出 67 个碱矿层自然段, 累计碱矿层厚度为 27.77 m, 如果按取心井的碱矿层厚度来估算资源储量, 远不能反映安棚碱矿的真实情况(无系统取心, 且采取率高低不一)。为此, 根据碱矿层在测井资料反映敏感的特点, 对碱层厚度确定的方法是以岩心资料为依据, 以各种测井资料为手段, 建立岩性与电性关系、碱矿层与测井曲线的关系, 制定出判断岩性、碱层和划分碱层厚度的电性界限及夹层剔除的电性界限, 进而确定碱矿层位置和厚度。

2 安棚碱矿地质特征

2.1 泌阳凹陷的地质背景

泌阳凹陷位于南襄盆地东南侧, 凹陷东、南部为

收稿日期: 2009-05-26

作者简介: 陈建立(1966-), 男, 河南长葛人, 高级工程师, 1989年毕业于西安地质学院, 从事地质矿产勘查和科研工作。通信地址: 河南省南阳市文化路 1096 号, 河南省地质矿产勘查局第一地质勘查院; 邮政编码: 473056; E-mail: chenjianli85114@sina.com

桐柏山脉,北部为社旗凸起,西部为唐河低凸起与南阳凹陷毗邻,面积约为 1 000 km²。

安棚碱矿位于泌阳凹陷的东南部桐柏县安棚一带,是泌阳凹陷的一个次级凹陷。由于泌阳凹陷东及南缘从晚白垩世到古近纪长期受 NW 向内乡—桐柏断裂及 NNE 向栗园—泌阳断裂控制,形成典型的断陷型凹陷。凹陷为东南深、西北浅的箕形凹

陷(图 1)。

泌阳凹陷的周缘地层主要有中元古界大河群(混合片麻岩及大理岩类)、上元古界信阳群(片岩、变粒岩类岩石)、下古生界二郎坪群(变细碧岩—变角斑岩、云英片岩、变粒岩)、新生界新近系上—中新统(砂岩、砂砾岩)、第四系更新统—全新统(亚黏土、砂砾层)。

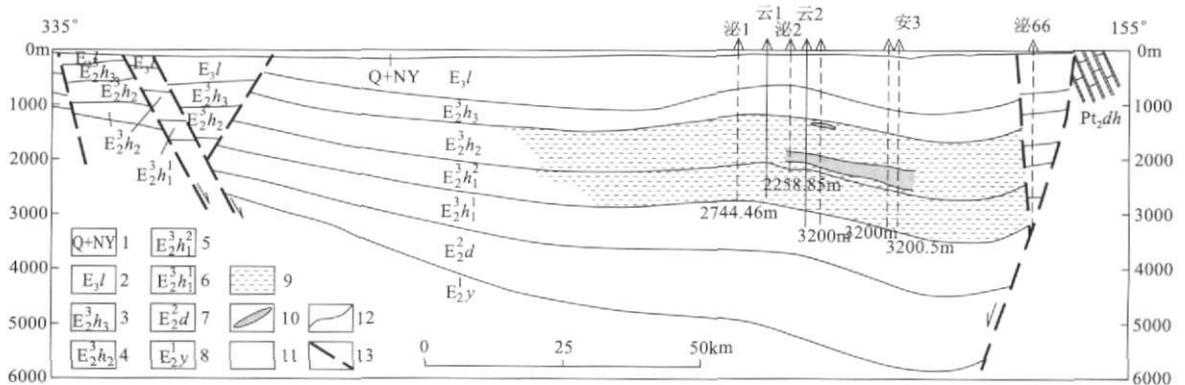


图 1 泌阳凹陷综合剖面图

Fig. 1 Integrate section of Biyang depression

1. 第四系+ 新近系尹庄组 2. 古近系廖庄组 3. 古近系核桃园组三段 4. 古近系核桃园组二段
5. 古近系核桃园组一段上部 6. 古近系核桃园组一段下部 7. 古近系大仓房组 8. 古近系玉皇顶组
9. 浅湖白云岩砂泥岩组 10. 含碱层位 11. 钻井编号及终井深度(m) 12. 地层界线 13. 实测及推测断层

2.2 泌阳凹陷地层层序

凹陷内各时期沉积中心基本叠合,始终变化在两组断裂交汇处的有限范围内(安棚附近)。沉积了以古近系为主的一套新生代地层,沉积最大厚度达 8 000 m。自下而上的地层为古近系大仓房组、核桃园组、廖庄组,是凹陷的沉积主体;新近系凤凰镇组和第四系平原组,地层厚度在 200 m 以内。其中核桃园组是泌阳凹陷油、碱主要赋存层位,自下而上将核桃园组分为 3 段(即核一段、核二段和核三段),其中核一段、核二段是石油、天然气和碱矿的主要赋存层位(图 1,图 2)。

2.2.1 上白垩统胡岗组(K₂h)

在凹陷东北边缘有零星出露,主要岩性为浅红色厚层砾岩、紫红色含砾砂岩夹灰白色砂砾岩、薄层砾岩透镜体,沉积厚度可达 2 000 m。

2.2.2 古近系(E)

(1) 玉皇顶组(E₂y):棕红色砾岩与砂砾岩互层,夹钙泥质粉砂岩,砂质泥岩。厚度在 1 600 m 左右,与下伏白垩系呈整合接触。

(2) 大仓房组(E₂d):为一套厚层棕红色砂砾

岩、粉细砂岩与棕红色夹紫红色泥岩、薄层石膏呈不等厚互层,泥岩质不纯,含砂及少量石膏团块。属湖盆全面下沉初期干旱气候氧化环境下以浅湖—半咸湖相为主的沉积,厚度为 800~ 2 000 m。

(3) 核桃园组(E₂h):是油页岩赋存的主要层位,也是天然碱矿、生油储油的主要层位。由于早期湖水不断加深扩大,后期缓慢抬升,湖盆逐渐萎缩变浅,沉积剖面显示粗—细—粗的特点。主要岩性为深灰、灰、灰绿色砂岩、泥岩互层。在湖盆边缘地带发育了多种类型三角洲,沉积了很厚的砂岩、砾岩,构成粗粒碎屑沉积。但在凹陷中心安棚一带,沉积物明显变细,中、下段多为白云质泥岩和泥质白云岩,在白云岩层系中夹薄层碱岩,本组最大沉积厚度在 3 000 m 以上,与下伏大仓房组为连续沉积,自下而上分为 3 个岩性段。

核一段(E₂h₁):主要岩性为深灰色泥岩,白云质泥岩、泥质白云岩、页岩及薄层粉细砂岩。是在大仓房组上部盐湖沉积的基础上,湖盆不断扩大(分布面积 400~ 500 km²),水体不断加深,在凹陷中心的较深湖区沉积了厚达 1500 m 以上的深灰色泥岩、白

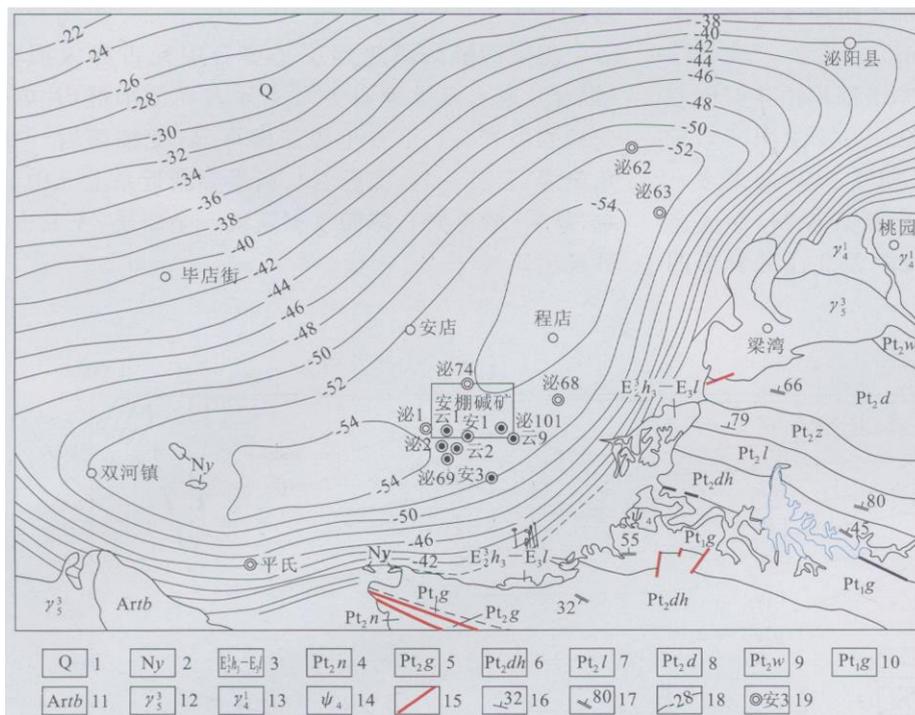


图2 安棚碱矿区域地质图

Fig. 2 Regional geological map of Anpeng trona deposit

1. 第四系
2. 新近系尹庄组
3. 古近系核桃园组三段- 廖庄组砂岩、沙质泥岩
4. 中元古界信阳群南海组变粒岩、浅粒岩等
5. 中元古界龟山组角闪片岩、变粒岩
6. 中元古界大河组变粒岩、斜长角闪岩等
7. 中元古界刘山岩组变凝灰岩、变细碧岩、变角斑岩
8. 中元古界大栗树组细碧岩、夹角斑岩等
9. 中元古界歪头山组
10. 下元古界孤山头组斜长角闪片麻岩、斜长角闪岩
11. 太古界桐柏山群混合岩
12. 燕山晚期黑云花岗岩
13. 华力西早期黑云母花岗岩
14. 华力西期超基性岩
15. 断裂
16. 岩层片理片麻理产状
17. 倒转岩层内的片理、片麻理产状
18. 布格重力等值线
19. 施工钻井及编号

云质泥岩、泥质白云岩、页岩及薄层粉细砂岩，而湖盆边缘的各种类型三角洲砂岩体沉积构成砂岩与泥岩互层，该段是凹陷的主要生、储油层段。在该段上部，凹陷中心部位的白云岩地层中，发育多层碱岩；碱矿层厚薄不一，最厚的达 3.60 m (云 3 井)，最薄的 < 0.20 m，在个别井中见液体碱层，这些碱矿层的顶底板围岩为油页岩层。

核二段 (E_2h_2): 岩性主要为深灰、灰、褐灰色泥岩、白云质泥岩与泥质白云岩互层，夹浅灰色薄层粉砂岩。其沉积时湖盆由持续稳定下沉逐渐转为缓慢上升，湖水亦变浅，是湖盆蒸发浓缩咸化阶段。该段也是泌阳凹陷的主要生储油层段。在该段的下部和中部，由于湖水的不断咸化，使白云岩地层中夹薄层碱，单碱层最大厚度为 2.40 m (泌 100 井)，一般厚度均 < 1 m。除此之外，在云 1、泌 2、泌 69 等井中发现多层液体碱。核二段中部白云岩不甚发育，说明此时水质发生淡化。而在湖盆边缘核二段仍发育多种类型三角洲沉积的砂岩、砂砾岩，并进一步向湖盆

中心推进。

核三段 (E_2h_3): 主要岩性为灰、灰绿色泥岩、泥质粉砂岩夹泥质和粉砂质白云岩及灰绿色钙质页岩、劣质油页岩。为湖盆不断缓慢上升、湖水变浅、湖盆萎缩阶段，以滨湖相沉积为主。在凹陷沉积中心，沉积了灰、灰绿色泥岩、泥质粉砂岩夹泥质和粉砂质白云岩及灰绿色钙质页岩、劣质油页岩，在湖盆边缘则发育多种类型三角洲以及河流- 洪积相砂岩、砾岩。

(4) 廖庄组 (E_2l): 廖庄组与核桃园组为连续沉积，由于湖盆进一步上升、萎缩、湖水变浅，时而露出水面，系湖盆消亡期。沉积中心向 NE 向边缘断裂下降盘一侧偏移，最大厚度 (现今保存厚度) 在 720 m 以上。下段为棕红色含砾砂岩、砂岩与棕红、紫红、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩互层，属河

流- 洪积平原沉积；上段以灰绿色泥膏岩与紫红色泥膏岩和泥岩互层，其中石膏呈纤维层状和团块状，主要在凹陷中心的安棚-程店地区，属盐湖沉积。到廖庄组末期，凹陷回返上升，全面遭受剥蚀，凹陷残留面积为 346 km²。

2.2.3 新近系 (N)

尹庄组 (N_y): 与下伏地层呈角度不整合接触，厚度不超过 200 m，主要为棕黄色、灰绿色粉砂质泥岩、粉砂岩及砂砾岩。该组底部为块状砂砾岩层，但中上部成岩很差，多为松散状。

2.2.4 第四系 (Q)

主要岩性为亚粘土，砂砾石层，厚度一般 3~20 m。分布于盆地浅部，覆盖了盆地内的大部基岩。

1.3 泌阳凹陷构造特征

泌阳凹陷位于秦岭褶皱带基底之上，凹陷受 NW 向内乡-桐柏断裂和 NNE 向栗园-泌阳断裂的控制。两组断裂从晚白垩世开始活动，NW 向断裂为区域性深大断裂带，早期为压扭性，晚期为张

性, 断裂带构成了泌阳凹陷南部边界断裂; 而 NNE 向栗园—泌阳断裂是泌阳凹陷东南部的边界断裂。由左行扭动的 NW 向断裂和右行扭动的 NNE 向断裂所挟持的块体发生离散状平移并形成楔形断陷, 该断裂从晚白垩世开始, 随着断裂作用的加强, 发生大幅度沉降, 成为具有一定规模的断陷型凹陷(图 3)。

泌阳凹陷构造格局大体分为北部斜坡带、中部凹陷带和南部陡坡带。北部斜坡带有一系列面积较大的鼻状构造, 断层将鼻状构造切割成多个断鼻断块; 南部陡坡带则形成一些小型的断鼻构造和少数的逆牵引背斜; 中部深凹带构造简单, 断层稀少。凹陷内局部构造一般形成较早, 具有一定的继承性, 这些局部构造均向凹陷中心倾没。

2.4 矿床地质

安棚碱矿层赋存于古近系核桃园组, 在地质构造上位于泌阳凹陷东南部的深凹陷区(图 3), 长轴为 NE-SW 向展布, 面积 10.74 km^2 , 矿区内矿体埋深 $1\ 310.60 \sim 2\ 522.20 \text{ m}$, 含矿段长度为 $1\ 211.60 \text{ m}$ 。

2.4.1 含矿段的基本特征

(1) 含矿层位主要为古近系核桃园组核一段的上部和核二段中、下部(图 1)。

(2) 矿层的产状特征。安棚碱矿是固液并存矿床, 以固体碱为主, 液体碱主要分布在矿区的西部边缘。固体碱矿层呈层状、似层状、纹层状、条带状, 在矿层或矿层附近的岩层裂缝、溶孔、溶洞中呈团块状、透镜状或脉状出现, 矿层的底界与围岩界线比较清晰, 产状一致, 地层倾角一般 $7^\circ \sim 12^\circ$; 液体碱卤水一般赋存在白云岩、泥质白云岩的溶孔、溶洞或裂缝中。固体碱矿层自然单层厚度最小 0.05 m , 最大 1.60 m , 一般 $> 0.10 \text{ m}$ 。纵向上, 厚度 $< 0.60 \text{ m}$ 的矿层主要分布在核二段含矿段; 在平面上, 矿层在矿区的中心和东部较厚, 向北、南、西均有减薄趋势。如第 7 碱层在矿区中心的云 3 井和东部的泌 100 井的厚度分别达 3.60 m 和 2.80 m , 到南部的云 61 井和泌 96 井的厚度减薄至 1.50 m 和 0.40 m , 向北到泌 163 井变为 2.00 m , 而西部的泌 2 井和云 1 井矿层已尖灭。

(3) 含矿层岩性有白云岩类、油页岩、碱矿层、黏土岩及细—粉砂岩。

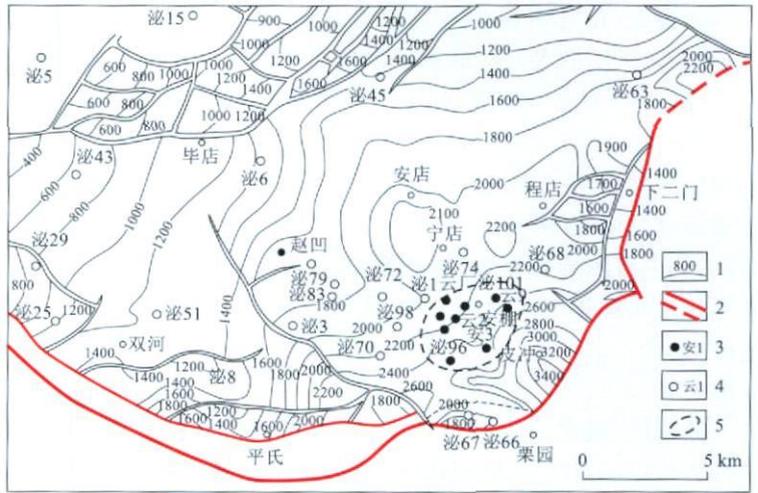


图 3 泌阳凹陷安棚地区核二段底面构造图

Fig. 3 Structural map of base surface of the second Member of Hetaoyuan formation in Anpeng trapna deposit, Biyang depression

1. 地震等深线(m)
2. 断层
3. 碱矿钻井及编号
4. 油田钻井及编号
5. 碱矿范围

白云岩类: 是含矿段的主要岩性, 颜色为灰—灰褐色。主要为砂质泥晶白云岩、含泥质泥晶白云岩、泥质白云岩、砂质白云岩及含沸石白云岩, 晶粒结构和粒屑结构, 厚度 $3 \sim 6 \text{ m}$, 具水平层理, 交错及递变纹层, 显微揉皱构造与纹层断错, 局部见到鸟眼、溶孔、溶洞和泥裂构造以及缝合线构造。白云岩中有零星呈菊花状排列的碳钠钙石, 含量约 5% , 靠近碱层的白云岩中沸石含量增加, 局部高达 30% , 构成含沸石白云岩, 常见微细层, 不连续, 最厚可达 0.1 mm 。白云岩的溶孔、溶洞中含有石油、黄铁矿、有机质、次生方解石及少量石膏, 沿裂隙充填有石油、沥青及盐类矿物。

细—粉砂岩: 浅灰色, 粒度自上而下变细, 单层厚 $0.01 \sim 1.00 \text{ m}$, 最厚达 2.00 m , 层状构造。成分多为斜长石、钾长石, 次为石英、白云母, 并含有碳酸盐岩屑及少量有机质。磨圆较差, 多呈次棱角—次圆状, 粒度 $0.02 \sim 0.10 \text{ mm}$ 。胶结物多为黏土矿物、白云石及方解石, 少量石膏、硬石膏及碳钠钙石。在泥质粉砂岩及白云质粉砂岩中常含沸石类矿物, 但含量较微。另外, 砂岩中常见泥质撕裂片, 其成分为泥质白云岩、泥岩或页岩等。

泥岩: 主要为灰—褐灰色泥岩、砂质泥岩和白云质泥岩, 单层厚 $3 \sim 10 \text{ m}$, 块状构造。普遍含沸石矿物及钙质页岩。沸石呈层状、条斑状、星点状散布, 钙质页岩为深褐、灰褐色, 页理发育, 厚度约 1 mm , 钙质页岩也含微量陆源粉砂、黄铁矿及沸石等。

油页岩:在含矿段中较为发育,与矿层关系密切,常为碱矿层的夹层或底板。多呈棕褐色,泥晶泥质结构,主要为水平层理,还可见小型波状层理,单层厚度一般2.00 m,少数可达10.00 m以上,见有鱼和植物化石,并常夹有碳钠钙石亮晶胶结的粉砂岩透镜体。碳钠钙石含量一般 $> 5\%$,局部高达25%,其中有围岩残留物,有被碳酸盐交代现象;石膏多分布在富黏土矿物细层中,多呈溶蚀港湾形的板状,或产于裂隙中,呈半自形,也可包含于碳钠钙石中。

碱矿层:碱矿层主要由重碳酸盐(NaHCO_3)和碳酸氢钠石($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{NaHCO}_3$)组成,含少量碳钠钙石。可分为重碳酸盐碱矿和碳酸氢钠石碱矿两种矿石类型,两种矿石可单独形成碱矿层,也可共生形成碱矿层,碱矿层颜色为灰、灰褐、深褐色,结晶粒状结构,块状构造,呈团块状、星散状分布。碱矿层的顶、底板大多为白云岩,少数为油页岩或泥岩。常与含碱白云岩和含沸石白云岩共生,分布于盐湖蒸发沉积序列的上部。它是由淡化湖泊逐渐浓缩咸化,从碱性卤水中沉积而成。

(4) 沉积韵律。泌阳凹陷核一段和核二段为淡化期和咸化期相互交替的常年性盐湖沉积,自下而上表现出水体逐渐变浅、咸化程度不断增强的特点,局部有暂时露出水面的迹象。在岩性上主要为灰-灰褐色的泥质白云岩、白云岩、天然碱层与深灰、绿灰、灰黑色的白云质泥岩不等厚互层,自下而上泥岩和白云岩的颜色由深变浅,泥岩和白云质泥岩由多变少,而白云岩和碱矿层则由少变多。在纵向上具有明显的旋回性和韵律性,核一段和核二段可划分为2个沉积旋回,第一旋回包括核一段和核二段下部,约厚1100 m,第二旋回包括核二段中、下部,约厚600 m;各个沉积旋回又可分为数个次级旋回,而每个次级旋回又包括多个沉积韵律,其岩性韵律为:细-粉砂岩-砂质泥岩-白云质泥岩-泥岩(或油页岩)-白云岩-碱矿层,呈周期性的变化;由于沉积时地质环境的复杂性造成韵律发展阶段的不平衡性和差异性,表现在韵律的厚度和岩性特征上:韵律的厚度由几米、十几米到几十米不等,岩性组合在沉积序列上具有不完全性。

沉积的韵律性表现出一个由水进到水退蒸发浓缩的过程,代表较高浓缩阶段的碱矿层大多赋存于白云岩中,剖面上与碱层或含碱白云岩互层。反韵律的存在,可能是碱矿层沉积阶段,湖水缓慢补给的结果,使易溶的碱矿层免受下一韵律开始时规模较

大的淡化(水进)所破坏而保存下来,强烈的蒸发使有些韵律顶部的白云岩被暴露,可见泥裂构造。

3 地球物理测井

3.1 地球物理测井的方法

(1) 1: 500 标准测井系列:由2.5 m 视电阻率测井、自然电位测井和井径测井,作为地层划分、对比的电性依据。

(2) 1: 200 组合测井系列:由6条曲线组成(微电极、密度、声波时差、井壁中子、自然伽玛和井径曲线),作为识别、划分矿层及单矿层对比的依据。

(3) 1: 100 放大测井曲线系列:由微电极、密度、双侧向3条曲线组成,主要用于取心井段,研究岩性-电性、碱层-电性关系,确定矿层。

(4) 1: 200 固井质量检查测井:主要是声波幅度测井,用于检查固井段水泥封固情况。

3.2 碱矿层的电性标准

为了用测井资料定量划分碱矿层厚度,在研究碱-电特征的基础上,依据取心井段的岩心和测井资料,选用密度、井壁中子、井径、声波时差、微电极曲线之间的交汇关系,研制了碱层与非碱层的电性界限。取心井段的岩性剖面与测井曲线对应关系十分清楚。利用上述关系,定量划分碱层厚度的电性标准如下:

(1) 应用密度及井壁中子增大幅度进行交汇。碱层密度 $< 2.0 \text{ g/cm}^3$,非碱层密度 $> 2.0 \text{ g/cm}^3$,碱层的井壁中子增大幅度 $> 50\%$,非碱层 $< 50\%$ (增大幅度($\%$) = (碱层值-围岩值)/围岩值)。

(2) 应用声波时差增大幅度与井径增大幅度交汇。碱层井径增大幅度 $> 9\%$,非碱层在正常情况下,井径一般无增大现象;碱层声波时差增大幅度 $> 9\%$,非碱层 $< 9\%$ 。

(3) 应用微电位和微梯度曲线的回返幅度进行交汇。碱层微电位和微梯度曲线的回返幅度均 $> 86\%$,而非碱层基本都 $< 86\%$ 。

(4) 应用微电位和微梯度值进行交汇。碱层的微电位和微梯度的电阻率基本 $< 1 \Omega \cdot \text{m}$,且大多数碱层的电阻率基本为0;同时微电位和微梯度曲线在碱层部位基本重合或重合。而非碱层与碱层明显不同,一则电阻率值基本 $> 1 \Omega \cdot \text{m}$;二则微电位和微梯度曲线基本都具有幅度差,且微电位电阻率值 $>$ 微梯度电阻率值。

根据 12 口取心井段中碱-电关系对比结果,在碱层部位,测井曲线均有显示(个别特薄碱层例外)。碱层与非碱层的电性标准综合于表 1。

表 1 碱层与非碱层电性标准一览表

Table 1 Electric property standard for trona layer

电性标准	碱层	非碱层
密度(g/cm^3)	< 2	> 2
井壁中子增大幅度(%)	> 50	< 50
井径增大幅度(%)	> 9	< 9
声波时差增大幅度(%)	> 9	< 9
微电极回返幅度(%)	> 86	< 86

3.3 碱矿层的电性特征

碱矿层赋存于泥质白云岩和白云质泥岩之中,矿层与其围岩之间,由于岩性的差别,在测井曲线上有着明显的差别,这种差别可作为区分矿层与围岩的一个重要标志。碱矿层的电性特征可归纳为“一大、二高、二低”,即大井径、高井壁中子、高声波时差,低微电极、低密度(图 4)。

(1) 井径测井:主要是测量不同深度井眼的大小。在钻井过程中,由于钻井液的浸泡和溶解,不同岩性的地层形成的井眼大小不尽相同,因此,井径测井在一定程度上反映了地层的岩石性质。碱矿层的上下围岩主要是白云岩类岩石,在钻井过程中不会形成扩径,井眼较为规则;而在矿层部位,由于矿石被泥浆水溶解而使井眼扩大,从而形成了井径测井曲线在矿层部位比围岩有明显的增大。

(2) 井壁中子测井:由于碱层易形成扩径,在充满泥浆的井筒中,扩径使中子源周围介质的含氢量大大增加,另外,碱矿石中矿物多为碳氢钠石($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{NaHCO}_3$),也富含 H 元素,而白云岩 $\text{E}(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)$ 中不含 H 元素,从而使得碱层部位氢的含量增加。氢是岩石对中子减速的决定因素,所以在井壁中子测井时,碱层与围岩形成明显差别,碱层的井壁中子测井曲线值明显高于围岩。

(3) 声波时差测井:主要反映地层的岩性、岩石结构及致密程度。由于碱矿层的岩石结构和致密程度与围岩(白云岩)明显不同,从而声波传播的速度也有不同,碱层的声波时差值一般高于白云岩地层。

(4) 微电极测井:微电极探测深度很浅(微电位测深约 8 cm,微梯度测深约 5 cm),当微电极的极板沿井壁测量时,由于碱层井径扩大和泥浆矿化度升

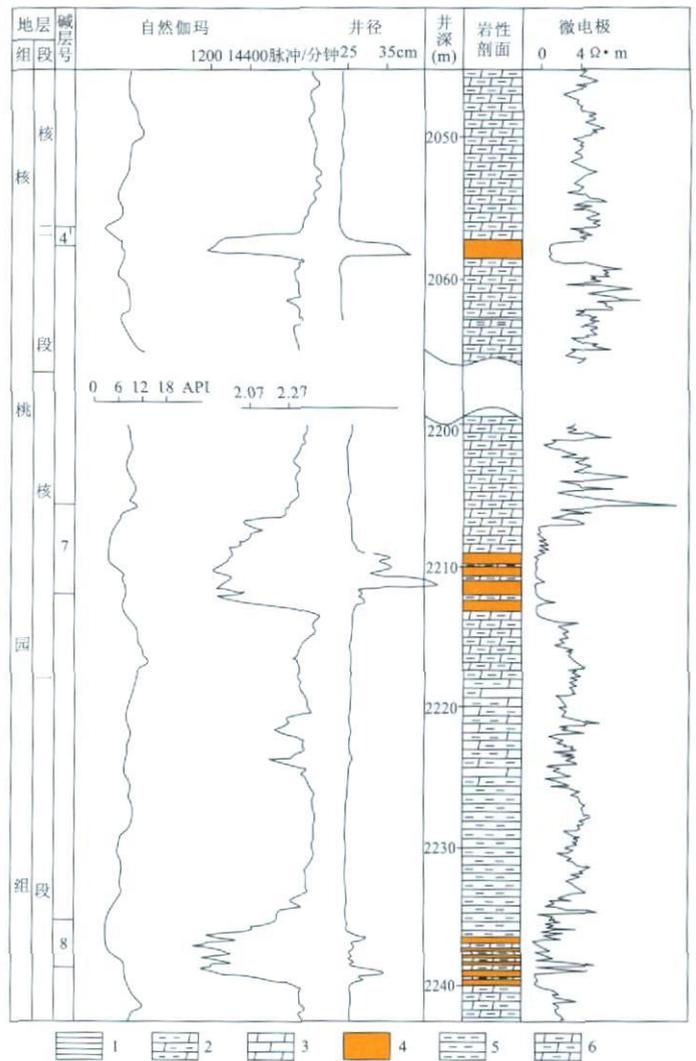


图 4 安棚碱矿云 3 井含矿段柱状示意图

Fig. 4 Columnar of trona-bearing rock from well Yun 3

1. 中砂岩 2. 页岩 3. 白云质泥岩 4. 砂质白云岩
5. 白云岩 6. 碱矿层 7. 泥岩 8. 泥质白云岩

高等原因,使微电极测到的电阻率值并非泥饼和浸入带的电阻率,而是碱矿石被泥浆溶解空间中所充填的泥浆电阻率值。因此,在碱层部位,微电位和微梯度的电阻率值完全一致或相差甚微。另外,在碱层被水溶解后的空间内,充满着高矿化度的泥浆,导电性能明显变好,使微电极在碱层部位所测到的电阻率值非常小,几乎为 0。碱层与围岩的微电极曲线形态形成“U”字型。

(5) 密度测井:主要是利用岩层对伽玛射线的吸收性质,研究钻井剖面的岩层密度变化。由于碱矿石的密度比白云岩的密度明显偏低,再加上碱层部位溶腔内被泥浆充填,也使得密度变低,在测井时,

碱层的密度值明显低于白云岩地层。

在上述5种测井曲线中,以井径、井壁中子、微电极、密度曲线在碱矿层部位的变化最明显。

3.4 矿层的标志层

研究岩性与测井曲线关系,进行标志层选择,以标志层作为宏观控制,结合电测曲线特征及沉积厚度的变化规律,在矿区内划分出5个较明显的对比标志层。

第一标志层:位于核三段顶部,厚50~60 m,岩性为灰、深灰色泥岩夹薄层粉砂质泥岩和泥膏岩。是划分廖庄组与核三段地层分界依据,在整个碱矿区均可对比。其电性特征为:井径曲线平直,自然电位呈锯齿状,2.5 m视电阻率曲线为低阻段,仅在中上部具一高阻尖峰,与廖庄组底部的砂岩高阻反映有明显的区别。

第二标志层:位于核二段顶部,厚12~20 m,为灰-褐灰色白云质泥岩,是划分核一段与核二段地层分界的依据。电性特征为井径曲线平直,自然电位曲线呈小锯齿状,2.5 m视电阻率曲线呈低值。由于该段岩性上下均有高阻层存在,在整个矿区可基本进行对比。

第三标志层:位于核二段一亚段的底部,厚15 m左右,岩性为灰-浅棕色白云质泥岩,是核二段一亚段和二亚段的地层分界标志,最突出的电性特征是2.5 m视电阻率值很低,几乎为0,且中部电阻率值升高,呈一小尖峰,使电阻率曲线似“山”字形态。该层沉积厚度稳定,从东部到西部,厚度皆为15 m左右,曲线形态极其相似,是明显、可靠的对比标志层。

第四标志层:位于核二段三亚段的顶部,厚50 m左右,岩性为灰、褐灰色白云质泥岩和泥质白云岩,是核二段二亚段和三亚段的地层分界标志。电性特征为井径曲线平直,2.5 m视电阻率曲线为凸凹状,呈现出三低二高的形态,高阻带的岩性为泥质白云岩。该标志层在矿区沉积厚度稳定,各井的电

性特征十分相似。

第五标志层:位于核一段的顶部,厚50 m左右,岩性为白云质泥岩,是核二段与核一段地层分界的依据。电性特征为井径曲线平直,2.5 m视电阻率曲线为低阻段,该段顶部约5~7 m电阻率值特低,几乎为0,然后电阻率值逐渐升高,到中下部有一高阻层,岩性为白云岩或砂岩。

上述标志层的选择和对比,基本控制了矿层尤其是主矿层的纵、横向分布。

3.5 碱矿层厚度的划分

(1) 碱矿层厚度的确定。安棚碱矿对碱矿层较系统的取心只有云3-1井,其余钻井取出的碱矿层矿心有限。如果按取心井的碱矿层厚度来估算资源储量,远不能反映安棚碱矿的真实情况。为此,我们根据碱矿层在测井资料中有显著反映的特点,对碱矿层厚度确定的方法是以岩心资料为基本依据,以测井资料为重要辅助手段,协同建立碱矿层与测井曲线的关系,制定出判断碱层和划分碱层厚度的电性界限及夹层剔除的电性界限,进而应用测井资料来确定碱矿层厚度。

(2) 碱层界面确定。根据上述电性标准判断出碱层之后,在微梯度曲线回返的最大拐点处来划分碱层的顶底界面。用微梯度曲线划分的碱层厚度与取心井的碱矿岩心长度对比见表2。

从表2看出,当岩心采取率很高时,取心井段的碱矿岩心长度与微梯度曲线划分的碱矿层厚度相当吻合的。根据7个单层的统计,累计碱矿岩心长度为3.90 m,而划分的碱层厚度为3.80 m,误差为0.1 m,相对误差为2.6%。

(3) 夹石层剔除。碱层中的夹石层是指白云岩地层,在测井曲线上一般都有反映,特别是微电极曲线反映最为明显。因此,应用微电极曲线来剔除夹石层是可行的。当微梯度比值和微电位比值 > 1.4 时,即作为夹石层剔除。

表2 微梯度划分碱层厚度与岩心长度对比表

Table 2 Correlation of micro-gradient-classified trona layer to the core length

井号	井段(m)	岩心长度(m)	划分厚度(m)	误差(m)	采取率(%)
泌 104-3	2305.60~2305.70	0.08	0.10	-0.02	100
	2306.20~2306.90	0.77	0.70	0.70	100
	2307.20~2307.40	0.15	0.20	-0.05	98.7
泌 100	2423.30~2423.50	0.22	0.20	0.02	100
	2424.40~2424.60	0.15	0.20	-0.05	100
	2424.80~2426.40	1.69	1.60	0.09	100
云 3-1	1419.88~1421.07	0.84	0.80	0.04	97.3

3.5 地球物理测井的应用效果

(1) 通过各项测井手段的应用, 辅助解决了岩矿层的分辨、矿层厚度的确定, 弥补了矿心较少的缺陷。

(2) 通过矿层的取心资料与测井的结果进行对比, 根据测井数据确定的矿层厚度与取心的实际见矿厚度基本吻合, 误差很小, 证明解释结果是可信的。

(3) 通过钻探取心和测井解释, 在泌阳凹陷东南部的深凹陷区安棚碱矿共发现天然碱矿层 17 层, 矿床具大型规模。

参考文献:

- [1] 河南省地质十二队. 河南省桐柏县吴城天然碱矿地质勘探报告[R]. 郑州: 河南省地质矿产勘查局, 1975.
- [2] 袁见齐, 霍承禹, 蔡克勤. 高山深盆的成盐环境——一种新的成盐模式的剖析[J]. 地质论评, 1983, 29(2): 159-165.
- [3] 袁见齐, 高建华. 中国中新世盐盆地的构造控制[J]. 地球科学——武汉地质学院学报, 1987, 12(4): 337-347.
- [4] 河南省地调四队. 河南省桐柏县安棚碱矿初步普查地质报告[R]. 郑州: 河南省地质矿产勘查局, 1986.
- [5] 河南省地调四队. 河南省泌阳凹陷安棚碱矿物质组分、沉积环境及钾盐成矿条件分析(研究报告)[R]. 郑州: 河南省地质矿产勘查局, 1988.

APPLICATION OF GEOPHYSICAL WELL-LOGGING TO THE EXPLORATION OF ANPENG TRONA

CHEN Jian-li^{1,2}

(1. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 45100, China;

2. No. 1 Institute of Geological Exploration, Henan Provincial Bureau of Geo-Exploration and Mineral Development, Nanyang 473056, Henan, China)

Abstract: Anpeng trona deposit is located in the southeast of Biyang depression with the ore layers occurring at upper part of the 1st member and middle and lower parts of the 2nd member of Hetaoyuan formation of Palaeogene System. The ore is mainly composed of sodium bicarbonate (NaHCO_3) and wegscheiderite ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{NaHCO}_3$). The foot and top wall rocks are mainly dolomite. The trona layer is formed by its precipitation from alkaline saline of the freshened lake due to salinization and gradual concentration of the alkaline materials. According to sharp display of the trona layer during the geophysical well logging relation between the lithology and electric property and between the trona layer and logging curve is determined on basis of various geophysical well logging data, Then the electric property limits for demarking lithology, trona layer and the thickness and the waste interlayer for rejecting is drawn up so as to locate position of trona and determine the thickness and remedy the lower core recovery of drilling. The trona layer thickness determined by geophysical well logging data is coincided roughly with that of drill core and the error is rather small. Comprehensive data analysis of drill core and geophysical well logging data show that there are in all 17 trona layers in Anpeng trona deposit and the deposit is a large trona deposit.

Key Words: Anpeng trona deposit; Biyang depression; Hetaoyuan formation; ; geophysical well logging, Henan province