

桐柏安棚碱矿扩边的理论与方法

王胜利¹, 齐铁新¹, 刘建中², 李山岭¹,
董峰¹, 李守刚¹, 张绍宇¹, 王上行¹

(1. 桐柏安棚碱矿有限责任公司, 河南南阳 474775; 2. 北京科若思技术开发有限公司, 北京 100083)

[摘要] 介绍桐柏安棚碱矿扩边勘探过程, 提出碱矿探边的一些基本原则, 及探边使用的理论、技术、方法。经检验, 这套理论、技术、方法是实用的, 扩边结果与开发实践基本吻合, 为碱矿生产、继续发展提供了依据, 减少了不必要的浪费与开支。

[关键词] 深静水环境; 碱矿探边; 重力二次导数; 白云岩

[中图分类号] TQ114.13 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)02-0052-05

1 前言

桐柏安棚天然碱矿床在地理位置上位于河南省桐柏县安棚乡, 西南侧是平氏镇, 东南侧是栗园, 北临唐河。平氏、栗园是桐柏安棚天然碱矿床主要物源方向, 另一个物源可能来自程店方向。

在地质构造上安棚天然碱矿床位于泌阳凹陷内。泌阳凹陷为南襄盆地四个凹陷南阳、襄阳、枣阳、泌阳之一, 是一个箕状盆地。桐柏安棚碱矿区即位于中部凹陷区东南部, 东南缘延入南部断阶区, 大体发育在箕底位置^[1]。

桐柏安棚碱矿自 2000 年开始投入开采, 至今已开采 10 年, 碱产量也从设计的年产 30×10^4 t, 达到目前的年产 80×10^4 t。寻找碱矿边缘, 扩大资源量已成当务之急。寻找到碱矿边缘, 对以后的工作安排也颇有意义, 可以减少不必要的开支和浪费。

2 碱矿探边的基本依据

任何一种矿藏的地球物理勘探, 均需要找到其最明显的地球物理标志。碱矿没有磁性, 不具备磁法勘探的标志。碱溶液电导率较高, 但与其他地下溶液相比, 并不突出; 且碱层埋藏大于 2 000 m, 大于电法勘探

的极限深度。碱矿的密度近于围岩的密度, 密度标志也不明显。碱矿藏是一类勘探难度较大的矿藏。研究发现, 有碱层的位置必然有白云岩层, 白云岩的密度远大于围岩的密度(见图 1)。

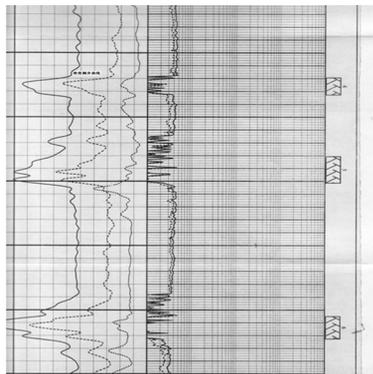


图1 C2井2 410~2 460 m层段测井曲线

Fig.1 Log curves of well C2 at depth of 2 410 ~ 2 460 m

由图 1 可看出, C2 井 2 410 ~ 2 460 m 层段有三层碱, 碱层上、下均表现为高补偿密度。从沉积性质可以判断, 这些高密度层段应该是白云岩。

白云岩与碱是相伴沉积的, 二者有相同的物源物质, 随水流入湖盆, 与二氧化碳相遇, 形成沉积。但沉

[收稿日期] 2009-09-01

[作者简介] 王胜利(1963-), 男, 内蒙古东胜市人, 桐柏安棚碱矿有限责任公司教授级高级工程师, 主要从事天然碱的生产开发和研究工作;
E-mail: wsl@zyhx.cc

积过程也有差别,白云岩不溶于水,形成后随时沉积。碱在水中有高的溶解度,需要在静水环境下才可以沉积^[2]。因此,在与物源相连的边坡上不易形成碱层,相对的边坡才会形成碱沉积(见图2)。

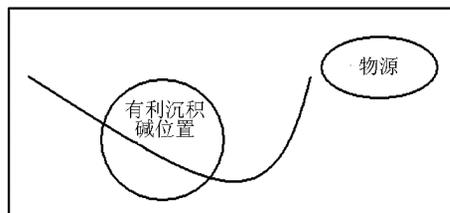


图2 有利于沉积碱的位置
Fig.2 Locations conducive to the deposition of bicarbonate

由于碱矿藏总与白云岩相伴而生,白云岩密度远大于砂岩、砾岩,重力探边具有明显的优越性,从碱矿形成特点,碱矿探边应依据以下原则:

1) 碱矿区应该是成片分布的中等重力值地区。

因为碱层总是与白云岩相伴而生,白云岩密度较砂岩、砾岩、砂砾岩大得多,因此低重力区应该是砂岩、砾岩、砂砾岩沉积区。边界上,由于老地层翘起,成为条带状高重力区。那些等深线值较大,明显的低洼区,理论上应该是重力低值区,但实际重力值不低的区应该是白云岩沉积区,是有希望找到碱层的位置,如皮冲凹陷。

2) 碱沉积不同于石油的形成与储藏,应该在低凹处、静水环境下形成碱矿。

石油是在低点成油,高点储存。碱融入水中,在水进期随水流入湖盆区。碱溶液密度大于纯水,应该由相对浅的部位,向相对深的部位移动,富存在深静水环境底部。在碱含量大于溶解度后,碱开始析出,形成固态碱矿藏。固态碱矿藏首先应该出现在深静水环境底部,不再有二次运移。所谓静水环境是指水流入后,不再流出,不存在过水冲刷的位置、环境。深静水环境是指在湖盆的相对低点形成的静水环境。安棚碱矿碱沉积应该以最深的皮冲凹陷为中心,向西、西南、西北方向扩展。最深的碱层应该在皮冲凹陷最深位置及西侧,随着深度减小,向西南、西北方向展布。南部凹陷是一个次要的碱沉积中心,沉积的碱层向北扩展^[3]。

3) 邻近物源,直接面对物源流入方向的低凹区斜

坡,应该沉积砂岩、砾岩、砂砾岩,也可能沉积白云岩;由于这类区在水进期会被反复冲刷,不会形成丰富的水溶物质沉积。邻近物源,背向物源流入方向的低凹区斜坡,由于随水流入的固体颗粒经过底部再爬上另一侧斜坡的难度较大,易形成静水环境,成为白云岩及碱矿沉积的位置。那些离物源较远,含碱水溶液可以达到的相对低凹区也会形成静水环境,成为白云岩及碱矿沉积的位置。在物源流入方向侧面的相对低凹区也会形成静水环境,成为白云岩及碱矿沉积的位置。

4) 规模巨大,有足够深的凹陷,可以汇聚大量的流入水,在单位面积上,可以流入、蒸发足够的液体,才会形成足够丰富的碱沉积。持续的凹陷运动是保证汇聚大量的流入水的重要条件,只有地质上的持续凹陷区,才具备形成碱矿藏的基本条件。

3 重力测试

3.1 重力测试方法

为了给探边工作提供一个基本依据,进行了约 60 km²,近 6 000 点的重力测试,点距、线距,100 m。重力测试使用两台拉科斯特隆贝格重力器,型号分别为 LCR - G 型 1149 和 LCR - G 型 1150,50 d 完成测试任务。测试时选择一个标准点,每次出队、收队时,均在标准点测试一次,以修正时间影响。同时测试测点的重力、高程,为重力测试数据改造做好准备。

首先将仪器上的读数换算成重力值:

$$g = F_1 + (R - R_1) \times F_2 \quad (1)$$

式中: g 为相应仪器读数的重力值; F_1 为仪器读数每 100 个分划间隔的整数所对应的重力值; R 为仪器读数; R_1 为仪器读数以 100 为间隔的最大整数; F_2 为仪器格值间隔因子。

例: G1149 观测读数为 2 977.508, 仪器格值表见表 1。

$$g = 2\,964.810 + (2\,977.508 - 2\,900) \times 1.023\,32 = 3\,044.125 \quad (2)$$

3.2 重力数据改正

为使重力实测数据能正确反映来自地下的密度不均匀体,首先必须要排除地形及其他因素引起的重力干扰,通常是对它们作数值计算,并对观测值予以改正,其中主要包括下列几种改正。

表 1 重力仪格值表

Table 1 Table of gravimeter grid value

	仪器读数	重力值	内插因子
G1149 重力仪	2 800.00	2 862.489	1.02321
	2 900.00	2 964.810	1.02332
	3 000.00	3 067.142	1.02344
	2 800.00	2 862.240	1.02284
G1150 重力仪	2 900.00	2 964.520	1.02291
	3 000.00	3 066.810	1.02298

3.2.1 零漂改正

$$\Delta g_i = \frac{\Delta G}{T_1 - T_0}(T_i - T_1) \quad (3)$$

式中： Δg_i 为第 i 个测点的零漂改正值； ΔG 为测量日的基点闭合差； T_0, T_1 分别为早晩的基点读数时刻； T_i 为第 i 个点的读数时刻。

3.2.2 固体潮改正

月球引起的固体潮计算公式：

$$\Delta g_M = \frac{4}{3} \cdot \frac{G_M}{12} \left(\frac{C_M}{r_m}\right)^3 (1 - 3\cos^2\theta_M) + 2 \cdot \frac{G_M}{12} \left(\frac{C_M}{r_m}\right)^4 (3\cos\theta_M - 5\cos^3\theta_M) \quad (4)$$

太阳引起的固体潮：

$$\Delta g_s = \frac{4}{3} \cdot \frac{G_s}{12} \left(\frac{C_s}{r_s}\right)^3 (1 - 3\cos^2\theta_s) \quad (5)$$

天顶距：

$$\cos\theta = \sin\Phi\sin\delta\cos\Phi\cos\delta\cos\tau \quad (6)$$

Φ, δ, τ 皆可由天体的黄经黄纬求得。

3.2.3 自由空气改正

重力值随测点高程的增加而变小,各点高程不同就会引起重力差异,这与地下密度分布无关,必须加以改正。测点与基准点(面)高程的差异,相当测点较之基准点(面)与地心的距离有所差异,这就将引起该点正常重力值的变化。所以此项改正实际上就是把各测点的正常重力值同化到同一基准面上,通常同化到海平面上,这里不考虑测点与基准面之间存在的物质及其引力,因此称为自由空气改正。一般常用的自由空气改正计算公式为：

$$g_h = 0.3086h \quad (7)$$

式中 h 为测点与基准面之高差,以 m 为单位,重力单位为 $mGal$ 。

3.2.4 中间层改正

这是考虑了测点与基准面(参考高程)之间物质的引力而作的改正。具体计算时假定其间存在的是厚度为 h 的无限广阔的规则平板,具有均匀的密度(常假定中间层密度 $\alpha = 2.67 \text{ g/cm}^3$),因此其引

力可用相应公式计算,结果为：

$$g_\alpha = -0.0419\alpha h \quad (8)$$

测点在基准面以上,改正值为减号,在以下的则为加号。

3.2.5 布格改正

自由空气与中间层改正正常可合并起来表达,成为布格改正。即

$$g_b = (0.3086 - 0.0419\alpha)h \quad (9)$$

探边分析使用的就是经过上述改正后的重力数据。

4 扩边研究结果

4.1 归一化重力测试结果

重力测试结果会受到地质界面起伏的影响,下面地层的密度通常大于上面地层的密度,下面地层隆起也会使测试重力值升高,混淆白云岩区的分布。突出浅层高密度介质充填,清晰地显现出白云岩区分布是重力探边的需要。

图 3 是重力测试值的归一化结果分布图,压低了老地质界面隆起的影响,突出了白云岩区分布,给出碱矿床的沉积范围。归一化重力测试值考虑了核桃园组二段底部深度对重力测试值的影响。

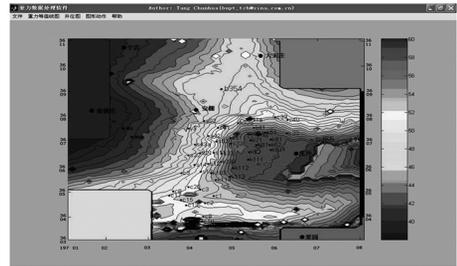


图 3 重力测试值的归一化结果分布图

Fig. 3 Distribution of normalized results of gravity value

使用下面的计算过程：

$$G_{ij} = g_{ij} \times h_{ij}/h_0 \quad (10)$$

g_{ij} 是坐标为 (i, j) 一点的实际重力测试值, h_{ij} 是核桃园组二段底面坐标为 (i, j) 一点的深度, h_0 是测区核桃园组二段的最大深度, G_{ij} 是坐标为 (i, j) 一点的归一化重力测试值。 i, j 分别是行数、点数。 G_{ij} 的大小与重力测值和界面埋深有关。构造边界上,重力测值很大,界面埋深中等,应该是 G_{ij} 的最高值区;反映边界地层翘起的影响,其余的高 G_{ij} 区应该是白云岩沉积的有利区。

碱矿床应该在沉积时的低部位,现今表现为高重力值的区成藏。采用归一化处理后,综合考虑了上述

成碱条件,归一化重力分布更易判断碱矿床分布。

图3中右侧的色标表示归一化重力值的大小,向上归一化重力值增大。由图3可以看出:测区西部、北部是低重力区,是砂岩、砾岩沉积区,不利于形成碱沉积。南部边界、东部边界是高重力区,是边界断层上升盘升起的反映,很少形成沉积。皮冲凹陷深凹区是归一化高重力值区,是白云岩沉积区;向西归一化重力值渐次减小,是皮冲凹陷的西部边坡区,是背离物源区的边坡,是有利于形成碱沉积的位置。皮冲凹陷深凹区向东也表现为归一化重力值渐次降低,是皮冲凹陷的东部边坡区,东部边坡重力值变化快,边坡较陡,利于水快速流入。由于受到流入液体的反复冲刷,不会形成显著的碱沉积。南部临近边界也有一个规模很小的凹陷,向北重力值降低,是背离物源区的边坡,是有利于形成碱沉积的位置。两个凹陷间有一个低重力值区,也不易形成碱沉积。皮冲凹陷的西部边坡区的归一化重力值向东呈波纹状分布,反映了白云岩的厚度及碱层数的减少,波纹西部前缘呈北东走向。由此可以大体圈定碱矿区范围。

4.2 重力二次导数

重力二次导数是指重力值 g 沿铅垂方向 z (向下为正)的二次导数,即 $\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}$ 。当推断重力异常时,可将重力场用二次导数来表示,其优点在于能突出小而浅的密度体所引起的异常,使重力异常图象更清晰地显示出来。计算方法可按如下所述的程序来导出^[4]。因为重力值的坐标函数 $g(x,y,z)$ 是调和函数,具有连续的二次导数,则必定满足 Laplace 方程:

$$\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = 0 \quad (11)$$

在 $(0,0,0)$ 点附近求垂向二次导数 $\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}$,并假定在 $z=0$ 的水平面内 $g(x,y)$ 是已知的,即观测的重力值。若定义 $\vec{g}(r,z)$ 为:

$$\vec{g}(r,z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} g(r\cos\theta, r\sin\theta, z) d\theta \quad (12)$$

则在 $z=0$ 平面内有

$$\vec{g}(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} g(r\cos\theta, r\sin\theta, 0) d\theta \quad (13)$$

$\vec{g}(r)$ 就是以 $(0,0,0)$ 点为圆心, r 为半径的圆上 $g(x,y,z)$ 函数的平均值。因 $g(x,y,z)$ 是调和函数,在 $(0,0,0)$ 附近可展开为 (x,y,z) 的幂级数,即在 $r=0$ 点周围有

$$\vec{g}(r) = c_0 + c_2 r^2 + c_4 r^4 + \dots \quad (14)$$

可以计算出,重力二次导数表示为^[4]

$$\left[\frac{\partial^2 g(x,y,z)}{\partial z^2} \right]_{x=y=z=0} = -4c_2 \quad (15)$$

式(14)中, $\vec{g}(r)$ 是指定范围的重力测试平均值,这个平均值可以由幂级数表示。依据测试结果,这个指定范围可以由4个彼此相连的4个框格组成。计算重力二次导数的数据位置、取值如图4所示: a_0 是四个框格的连接点,表示计算出重力二次导数位置的原有重力测试值; a_1, a_2, a_3, a_4 是计算重力二次导数位置的边点位置,表示边点的重力测试值; b_1, b_2, b_3, b_4 是计算重力二次导数角点位置,表示角点重力测试值。

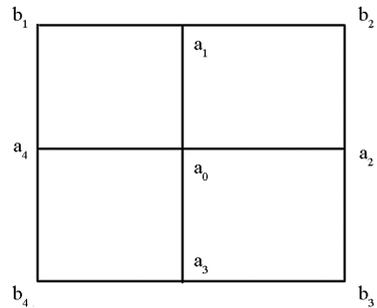


图4 计算重力二次导数时采用的数据示意图

Fig. 4 Diagram of gravity data used in second derivative

依据测试结果,边点距离 r_1 为:

$$r_1 = 100 \text{ m}$$

依据测试结果,角点距离 r_2 为:

$$r_2 = 100 \sqrt{2} \text{ m}$$

依据重力二次导数的理论,由式(14),可以采用下面的计算过程计算出各点的重力二次导数:

$$G(0) = a_0 = c_0$$

$$G(r_1) = (a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4) / 5 = c_0 + 10 c_2 \quad (16)$$

$$G(r_2) = (a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + b_1 + b_2 + b_3 + b_4) / 9 = c_0 + 10^2 c_2 + 4 \times 10^4 c_4$$

上面的公式是一个未知数为 C_2, C_4 的二元一次方程组,可以计算出 C_1, C_2 ,依据式(15),负的4倍的 C_2 就是要得到的重力二次导数。

图5是用重力二次导数绘制的分布图,重力二次导数是重力沿深度方向的二次导数,反映重力测值在深度方向的变化速度,这个变化反映了地下密

度的起伏,起伏大的位置是介质密度突变位置,其结果可以给出有用的地质边界。

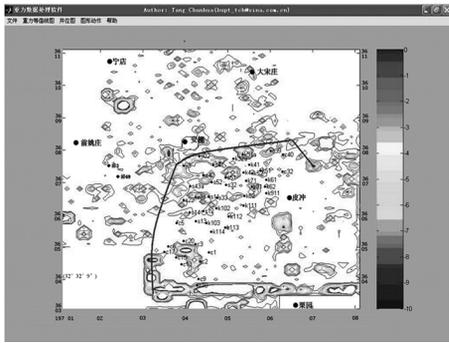


图5 重力二次导数分布
Fig. 5 Distribution of gravity of second derivative

由图5可看出,碱矿区西部、北部、西南部存在明显的高二次导数条带,给出西部、北部、西南部边界;西部边界呈弧形,大体北北东走向,西北部边界北东东走向,东北部边界北西西走向,南部边界东西走向。重力测试区内,存在两个规模不等的凹陷;东部是皮冲凹陷,凹陷的规模较大,是白云岩、碱矿藏的主要分布区;南部的凹陷规模较小,称其为南部凹陷,是白云岩、碱矿藏的次要分布区。两个凹陷间存在明显的地质隔断。在凹陷内没有明显的、可以圈定碱矿藏边界的构造,而表现为由不同组物质沉积形成的过渡性分布。参考归一化重力测试值分布图(见图3),可以以凹陷中线作为东部,东部边界为北东走向。

5 碱矿扩边结果

依据重力测试及分析结果,可以给出碱矿区分布(见图6)。图6中,深灰色充填区是碱矿区扩边结果。图6中,西部、北部、南部边界依据重力二次导数分析结果给出;东部边界依据归一化重力测试值分布给出,大体沿凹陷中线。浅灰色充填区是两个凹陷区间的低重力条带,是不易于形成碱层分布的位置。

图6给出的碱矿藏边界与已有碱矿藏区相比,向东、向南均有明显扩大。向西北方向扩大,不会有明显的收益。

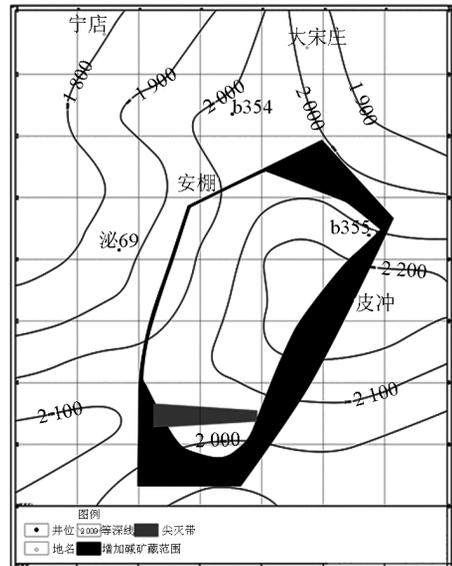


图6 桐柏安棚碱矿增加碱矿藏范围图
Fig. 6 Area expansion of mineral ore of Tongbai Anpeng Bicarbonate mine

6 结语

由于找到碱矿藏的地球物理标志,扩边勘探取得良好的效果,地球物理勘探结果与后来钻井结果得到的碱矿边界分布一致。这一成果为碱矿藏地球物理勘探提供了有益的经验。

参考文献

- [1] 刘兴华,孟宪松.河南省安棚碱矿地质简况及成矿远景[M].北京:学术期刊电子出版社,1994:7-11
- [2] 王吉平,周建民.河南安棚碱矿沉积环境初步分析[M].化工部化学矿产地质研究院.北京:学术期刊电子出版社,1994:94-102
- [3] 王觉民.安棚碱矿的沉积特征及成矿条件初探[J].石油勘探与开发,2007,(5):93-99
- [4] 顾功叙.地球物理勘探基础[M].北京:地质出版社,1990:51-52

(下转 69 页)