

陕甘宁盆地油气产能预测方法探讨

王青 李国平 王树寅

(石油勘探开发科学研究院廊坊分院, 河北廊坊 102801)

以陕甘宁盆地地下古生界碳酸盐岩储层小孔、小溶洞特征为基点, 用测井资料建立综合指数法和盖层声波时差异常法进行产能预测。综合指数即电阻率与声波之积, 它是储集层含油体积的综合反映。根据综合指数的差异, 陕甘宁盆地碳酸盐岩储层产能可划分为5个产能区间, 符合率达75%以上。声波时差异常是下伏储层油气丰度的良好指示, 声波线偏离正常压实线愈大则产能愈高。据此可划分为4个不同产能区, 符合率均高于70%。

关键词 陕甘宁盆地 碳酸盐岩 产能 综合指数 欠压实异常 预测

第一作者简介 王青 女 28岁 工程师 测井数字处理和综合解释

1 综合指数产能预测法

1.1 综合指数的提出

储气层产能的大小主要与储集层含气饱和度和孔隙储集空间大小有关, 其含气饱和度和孔隙度越大, 则产能就越大; 反之, 则越小。陕甘宁盆地储层以溶蚀小孔和孔隙为主, 所以声波测井曲线可近似反映储层物性的好坏, 因此, 当把电阻率与声波同时考虑作为一个评价参数时, 它便是储层含气丰度的一种综合反映, 便可与产能建立较好的关系, 从而利用这个参数进行产能预测。为此, 定义电阻率与声波之积为评价参数, 称之为综合指数, 它是储集层含油气体积的反映。

1.2 测井曲线的标准化处理及综合指数的求取

由于测井资料标准化程度不高, 对同一储集层段, 不同队别、不同仪器的测量经常存在差异, 这种由于仪器和人为因素的影响所造成的误差, 对预测产能的影响非常大, 因此, 消除误差, 对不同井的测井曲线进行标准化处理就尤为重要。所谓标准化处理即将各井的测井曲线, 都以同一标准层的测井值为基准值, 对测井曲线进行差值或比值处理, 消除各井曲线间的不一致性, 使各井间能用同一解释模式和相同的解释标准进行有效的解释。

由于陕甘宁盆地奥陶系风化壳上覆盖层为本溪组底的铝土岩, 在全区范围内分布广泛、稳定, 表现为稳定的低电阻率值。因此, 在进行电阻率测井资料标准化处理时, 将本溪组底铝土岩做为基准值(R_0), 定义电阻率比值(R)为储层电阻率值与本溪组底铝土岩电阻率值之比, 若缺少本溪组资料, 则可选取马家沟组五段一亚段的凝灰质泥岩电阻率值为基准值, 这样得到的电阻率比值(R)则消除了测井系统误差对油、气识别带来的影响, 实现了各井间电阻率的标准化。

对于声波测井曲线则采用差值法来消除各井间的系统误差。陕甘宁盆地古生界马五段五亚段地层,为一套岩性纯的致密石灰岩地层,在整个区域上具有很好的连续性和稳定性,其声波时差近于灰岩骨架值,可作为很好的标准层,将声波时差值(AC)减去马五段五亚段致密灰岩声波时差值(AC_0),所得差值(ΔAC)就消除了各井间声波孔隙度测井的系统误差,实现了标准化处理。

根据综合指数的定义,在陕甘宁盆地,综合指数(I)则为 $R(AC-AC_0)$ 。此时的综合指数已消除了各井间的系统误差。

1.3 产能-综合指数交会图

1.3.1 产能非线性回归预测

陕甘宁盆地产能与综合指数为正相关关系(图1),产能随综合指数的增大而非线性的增大,其回归方程为:

$$Y = 2.738\ 57 \times 10^{-10} X^5 - 1.945\ 48 \times 10^{-7} X^4 + 4.531\ 32 \times 10^{-5} X^3 - 0.003\ 009\ 65 X^2 + 0.077\ 723\ 7 X - 0.252\ 771$$

其中自变量 X 为综合指数,函数 Y 代表产能。

$$Y_1 = 2.929\ 3 \times 10^{-10} X^5 - 1.712\ 63 \times 10^{-7} X^4 + 2.975\ 6 \times 10^{-5} X^3 - 0.004\ 712\ 7 X^2 + 0.004\ 657\ 91 X + 0.468\ 833$$

$$Y_2 = 1.349\ 94 \times 10^{-10} X^5 - 1.229\ 19 \times 10^{-7} X^4 + 3.648\ 7 \times 10^{-5} X^3 - 0.003\ 314\ 98 X^2 + 0.106\ 096 X - 0.652\ 805$$

分别为回归方程的误差区间方程,绝大部分资料点均落在误差区间范围之内。

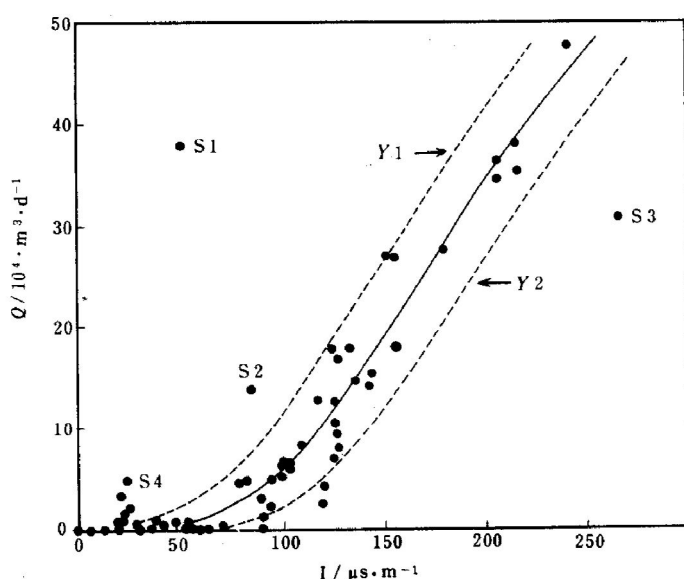


图1 陕甘宁盆地产能(Q)-综合指数(I)交会图

此图版的相关性较好,单相关系数达0.842,但也存在个别井点偏离曲线误差允许范围。其原因主要有如下3点:

(1) 由于岩层的孔洞和裂缝都非常发育,导致泥浆滤液侵入很深,或是由于钻井周期长,泥浆浸泡,导致电阻率偏低,从而使得综合指数偏低,资料点向左偏离正常趋势线。

(2) 在高阻岩性而裂缝又比较发育层段,电阻率和声波时差的读值都偏高,从而计算出的综合指数偏高,资料点向右偏离正常趋势线。

(3) 由于缺少本溪组底部泥岩的资料,而其下马五段一亚段的凝灰质泥岩又不纯,使得电阻的基值偏高,从而引起综合

指数偏低,导致资料点向左偏离趋势线。

1.3.2 产能区间预测

陕甘宁盆地产能(图1)可分为如下5个区间:

1.3.2.1 $0 \sim 1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 产能区间

当综合指数小于75时,则储层产能均小于 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,在该区内共有资料点33个,不

符层点5个,综合符合率为84.8%。

1.3.2.2 $1 \times 10^4 \sim 7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 产能区

当综合指数在75~105之间时,产能区间为 $1 \times 10^4 \sim 7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 之间变化,在该区内共有资料点15个,其中不符层点3个,统计符合率为80%。

1.3.2.3 $7 \times 10^4 \sim 18 \times 10^4 \text{ m}^3$ 产能区

当综合指数在105~150之间时,产能区间为 $7 \times 10^4 \sim 18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,在该区内共有资料点16个,其中不符层点2个,统计符合率为87.5%。

1.3.2.4 $18 \times 10^4 \sim 30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 产能区

当综合指数介于150~200之间时,产能区间为 $18 \times 10^4 \sim 30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,该区共有资料点4个,不符层点1个,统计符合率为75%。

1.3.2.5 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上产能区

当综合指数大于200时,预测产能大于 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,在该区共有层点6个,统计符合率为100%。

图版产能区间预测的总符合率为85.1%。若按区间预测产能,各区吻合率均高于75%,可以收到较好的预测效果。

由于本产能预测方法是针对陕甘宁盆地碳酸盐岩储层以孔隙和小的溶蚀孔洞为特征,声波测井可以较好反映其物性这一基础而建立的,因此,本方法的应用也只限于具有孔隙和小溶洞的集储层,对于裂隙发育层段,该方法则受限制。

2 盖层声波时差异常产能预测

2.1 欠压实异常的形成机理及其对下伏储层的影响

陕甘宁盆地石炭系的太原本溪组泥岩存在声波时差异常现象原因如下:

2.1.1 浓度扩散

泥页岩层的下伏储层,若物性较好,含油气丰度较高,则储层中的天然气将向上覆泥岩层扩散使泥岩中含气浓度增高,形成欠压实异常带而导致声波时差异常。

2.1.2 沉积作用

在沉积过程中,由于沉积速率的突然增快,源岩中的液体无法正常排出,形成欠压实异常带,引起声波时差增大。

由沉积作用所形成的欠压实异常带,必然伴随有高排替压力的层位,因此,泥岩盖层中的欠压实异常高压带,是有效盖层的可靠标志。由浓度扩散作用引起的欠压实异常,则更是下伏储层油气聚集丰度的间接反映,因此,无论哪种原因形成的欠压实异常,都是下伏储层油气富集的良好指示。

2.2 陕甘宁盆地上古生界声波时差特征

54口井声波时差与埋深关系图显示,凡是本溪、太原组存在欠压实异常的井,马家沟组都有一定的产能,声波偏离正常压实线越大则产能越高(图2)。S₁井和S₂井的本溪、太原组声波曲线均偏离正常压实线,偏离值分别为115 $\mu\text{s}/\text{m}$ 和120 $\mu\text{s}/\text{m}$,其下伏储层均取得了较高气产能,无阻流量分别达328 086 m^3/d 和653 572 m^3/d 。而S₃井和S₄井(图2)声波偏离正常压实曲线幅度均很小,S₃井仅为15 $\mu\text{s}/\text{m}$,S₄井几乎无明显声波偏离正常压实线的现象,其下伏产能均较低,S₃井仅产酸化气154.8 m^3/d 。S₄井酸化后仅产水2.6 m^3/d ,无气。说明上

古生界欠压异常对下古生界产能影响明显。

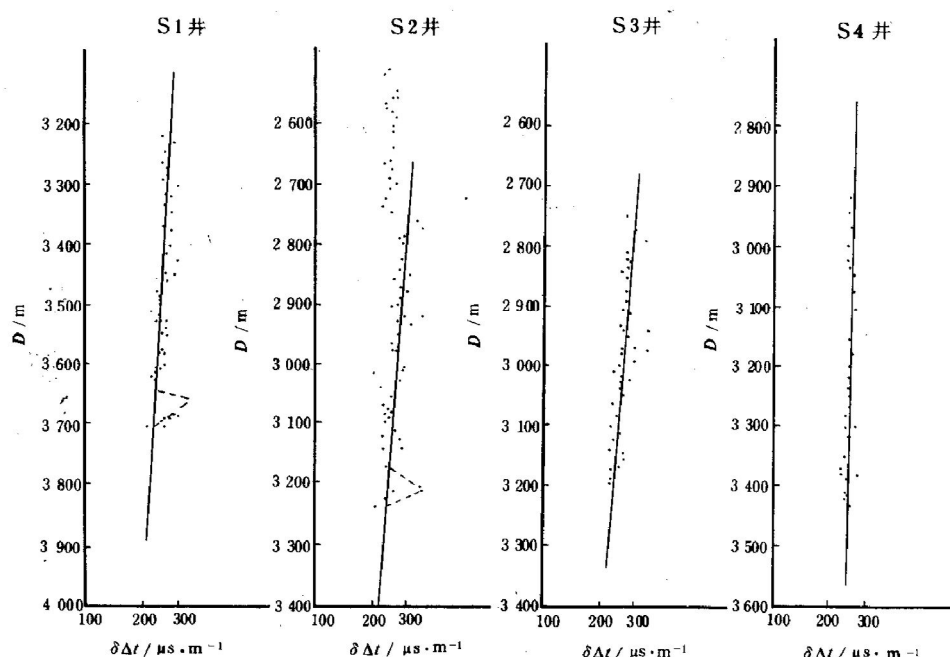


图2 上古生界泥岩声波时差 $\delta\Delta t$ 与埋深(D)关系图

在统计的54口井中,都有类似的现象,规律性极强。为了更清楚的说明声波时异常与下伏储层产能的关系,将22口下伏储层具有较高产能的泥岩声波时差与埋深关系图,按井深做一剖面图(图3),可见每口井在相同层位上的变化趋势(斜率)基本一致。说明在一定区域内,同一层位上的沉积压实条件基本相同,在石炭系太原、本溪组声波时差值突然增大,偏离正常变化趋势,充分说明声波时异常是下伏气藏含气丰度的一个有效指示,同时也充分说明可以用欠压实异常进行产能预测。

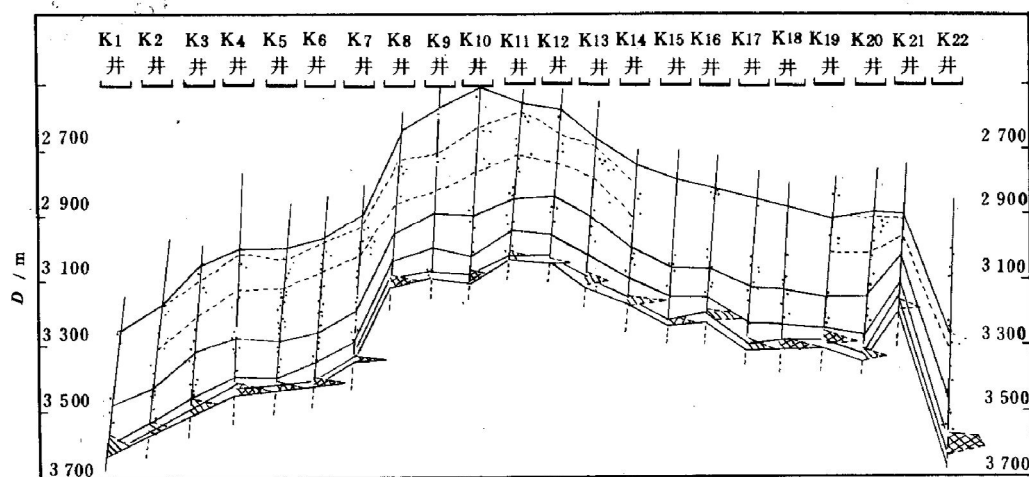


图3 上古生界泥岩压实趋势图

2.3 声波时差异常产能预测图版

陕甘宁盆地中部气田酸化产能与上覆盖层欠压实异常关系(图4)表明,产能与欠压实异

常幅度存在显著的正相关关系,可根据该函数关系进行单井产能的预测。但是,也应该看到,本图资料点比较分散,特别是声波时差异常幅度低于40的产能点规律性明显变差。声波时差异常幅度高于40的资料点,从现象上看规律性较好,但是,由于产能是以对数为刻度,相对误差也较大,所以此图版用于产能定量级的解释精度尚且不够,只能用于定性的区间产能预测。此图版划可分为4个产能区:

2.3.1 $0 \sim 1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 产能区

当声波时差异常幅度低于24时,预测产能低于 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,统计符合率达95%。

2.3.2 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 产能区

当声波时差异常幅度区间值为24~56时,预测产能为 $1 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,统计符合率达76.9%。

2.3.3 $5 \times 10^4 \sim 15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 产能区

当声波时差异常幅度区间值为56~80时,预测产能为 $5 \times 10^4 \sim 15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,统计符合率可达77.8%。

2.3.4 $15 \times 10^4 \sim 40 \times 10^4 \text{ m}^3$ 产能区

当声波时差异常幅度区间值为80~120时,预测产能为 $15 \times 10^4 \sim 40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,统计符合率可达85.7%。

由以上分析可知,如按产能区间段预测产能,本图版统计符合率均高于70%,可以收到较好的效果。

在应用此图版进行区间产能预测时,首先须作泥岩声波时差与埋深关系图,以求得声波时差异常幅度差值,然后即可应用该图版。泥岩声波时差值应尽量选取泥质纯(泥质含量大于80%),泥岩厚度大于0.5 m的正常井段。

产能是一个受多因素制约的物理量,钻井工艺、完井工艺、酸压工艺、试采工艺等,对储气层产能均有影响,因此,产能预测工作是一个系统工程,哪一个环节做得不好都会影响气藏的产能。文中方法是在假定上述工艺完全得当的情况下,单纯根据测井信息反映的含气丰度来进行产能预测的。

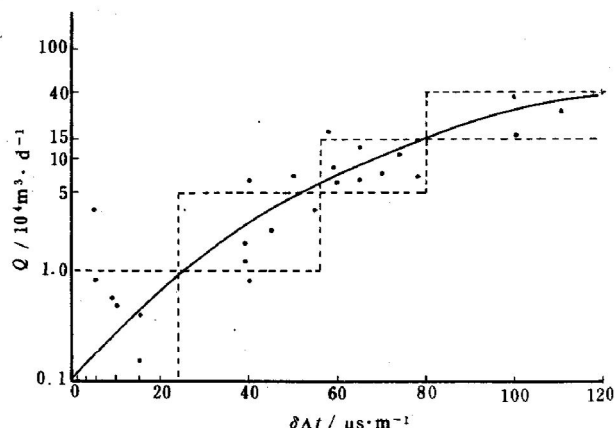


图4 气田产能与上覆盖层声波时差异常关系图

RESEARCH INTO FORECASTING METHODS OF OIL AND GAS PRODUCTIVITY IN SHAAN-GAN-NING BASIN

Wang Qing Li Guoping Wang Shuyin

(Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, CNPC, Langfang, Hebei)

Abstract

Based on small holes and caves developed in Lower Paleozoic carbonate reservoirs in Shaan-Gan-Ning Basin, two methods such as synthetic index method and acoustic time difference anomaly method were established using well log data so as to forecast oil and gas productivity. The synthetic index method is the product of resistivity and acoustical wave, which could be the synthetic reflection of oil volum in the reservoirs. According to the differences of synthetic indices, the productivity of the reservoirs in the basin could be divided into five productivity areas, and the coincidence rate is more than 75%. The acoustic time difference anomaly could be fine indicator of hydrocarbon abundance of underlying reservoirs. The more the acoustic wave curve deviates from compaction curve, the higher the productivity would be. The study area thus could be divided into four productivity zones, and the coincidence rate is greater than 70%.