

基于常规测井资料的裂缝预测分析与研究

郭 峰 (中国石油辽河油田分公司勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010)

摘 要: 本文主要对基于常规测井资料的裂缝预测进行了分析与研究, 首先简要阐述了该技术的基本原理, 对其中的关键环节进行了详细说明, 最后将其应用于实际资料中, 以期对相关研究人员提供一定的参考。

关键词: 裂缝预测; 常规测井; 声波曲线; 油气资源; 加权概率指数法; 裂缝指标

0 引言

随着社会经济的快速发展, 人们生产生活的方方面面
对能源的需求正急剧增加, 尤其是油气资源的短缺形势越
来越严峻^[1,2]。油气资源经过加工之后所形成的产品非常多,
应用范围也十分广泛, 与人们的“衣、食、住、行”关系
紧密, 已经成为人们日常生活中不可或缺的资源。目前,
全球的常规构造油气藏的产量和储量规模逐年递减, 世界
各国的石油企业勘探开发目标正逐渐转向复杂油气藏, 其
中裂缝型油气藏是其中非常重要的类型之一。据相关机构
研究表明, 裂缝型油气藏的储量非常巨大, 约占全球已经
探明储量的一半以上。因此, 对裂缝型油气藏的研究工作
意义重大。在裂缝型油气藏中, 裂缝是一种十分关键的地
质要素, 既能够为储层提供一定的储集空间, 又能够为油
气运移提供相应的通道。因此, 裂缝预测对裂缝型油气藏
的勘探开发具有极其重要的作用和意义。

1 基本原理

通常而言, 裂缝在常规测井上都有一定的特征响应,
但是这些响应都比较微弱。在裂缝发育层段, 常规测井曲
线通常有以下几种特征响应: ①声波时差曲线会异常增
大, 并且出现周波跳跃的现象; ②密度曲线会异常减小;
③深浅电阻率曲线差异明显且幅度差增大; ④井径曲线出
现激烈的震荡, 扩径或缩径; ⑤自然伽马能谱测井曲线的
U元素含量会增加等^[1,2]。

利用上述这些特征响应仅仅是对储层裂缝的发育情况
进行定性分析, 如果想要利用常规测井曲线对储层裂缝进
行定量识别与预测, 就必须采用定量指标对储层裂缝进行
定量表征。根据相关文献调研发现, 目前利用常规测井曲
线对裂缝进行定量表征主要有 3 种方法: ①小波变换法;
②分形维数法; ③加权概率指数法。

加权概率指数法是一种利用常规测井进行裂缝定量识
别与预测的典型方法, 具有比较好的应用效果, 该方法的
基本原理如下: 利用各种常规测井技术的机理与储层裂缝
之间的关系, 能够提取对储层裂缝比较敏感的特征参数,
进而计算出特征参数曲线, 然后根据特征参数曲线对储层
裂缝进行识别与预测。在实际应用过程中, 利用某一种测
井曲线获得的裂缝特征参数曲线的预测精度较低, 可靠性
较差。为解决此问题, 研究人员通常会利用不同的测井曲
线能够计算出多条特征参数曲线, 然后将这些特征参数进
行合理的加权, 最终形成一个精度较高的加权概率指数曲
线, 利用该曲线进行储层裂缝的识别与预测。加权概率指
数计算公式为:

$$CWP = \sum_{i=1}^m w_i \cdot x_i \quad (1)$$

式中, i 为某一种裂缝特征参数曲线; m 为裂缝特征参
数曲线的总条数; x 为裂缝概率指标函数; w 为加权系数。

2 关键环节

2.1 裂缝特征参数曲线选取

对裂缝敏感的特征参数曲线提取是该方法的关键, 裂
缝特征参数越多, 该方法识别裂缝的可靠性越高, 裂缝发
育层段的异常显示越明显, 识别也越容易。经过文献调研
发现, 目前的裂缝特征参数多达 24 种 (表 1), 而常用的
主要有 6 种: 曲线变化率指标、岩石孔隙结构指数、地层
因素比值、电阻率侵入校正差比值、饱和度比值、三孔隙
度比值^[1,2]。

表 1 裂缝特征参数曲线

声波时 差差比	地层因 素比值	DR 参数	三孔隙 度比值	骨架 指数	等效弹 性模量 差比
声波密 度裂缝 孔隙度	曲线变 化率指 标	深浅电 阻率差 比值	井径相 对异常	相对体 积密度	双侧向 裂缝孔 隙度
微电极 电阻率 差比	孔隙结 构指数	相对声 波时差	自然电 位异常	相对中 子测井 值	双侧向 异常分 维数
电阻率 侵入校 正差比	岩石孔 隙结构 指数	龟裂 系数	饱和 度比值	DP 参数	双井 径差值

2.2 正态分布处理

由于影响裂缝发育的因素有很多, 而且这些因素对裂
缝的作用及影响都因条件的变化而变化, 所以我们可以近
似认为裂缝的诸多控制因素导致裂缝发育程度总体也应该
服从正态分布特征^[1,2]。如果计算出的裂缝特征参数的数据
不是正态分布的, 就应该利用相应的数学方法进行调整,
使其近似于正态分布。一般采用以下 2 种数学方法:

如果裂缝指标数据中低值较多, 而高值较少, 可以使
用以下公式:

$$U' = \ln(U + \lambda) \quad (2)$$

式中, U' 为处理之后的数据; λ 为调节参数; U 为原
始数据。

如果裂缝指标数据中低值较少, 而高值较多, 可以使
用以下公式:

$$U' = AU + B \quad (3)$$

式中, A 和 B 为调节参数。

2.3 裂缝指标概率函数构造

由于不同的裂缝特征参数曲线是利用不同测井曲线计

算的,使得裂缝特征参数曲线的量纲以及数量级存在一定的差异^[1,2]。为了对这些不同的裂缝特征参数曲线进行比较,必须构造出合理的裂缝指标概率函数,该函数应该具有以下4种特征:①函数是连续的;②函数是单调递增的(在值域范围之内);③函数的值域位于0到1之间;④不同的函数没有相关性。一般选用指数函数作为裂缝指标概率函数,公式如下:

$$P(U') = \begin{cases} 1 - e^{-kU'}, & U' \geq 0 \\ 0, & U' < 0 \end{cases} \quad (4)$$

3 实际应用

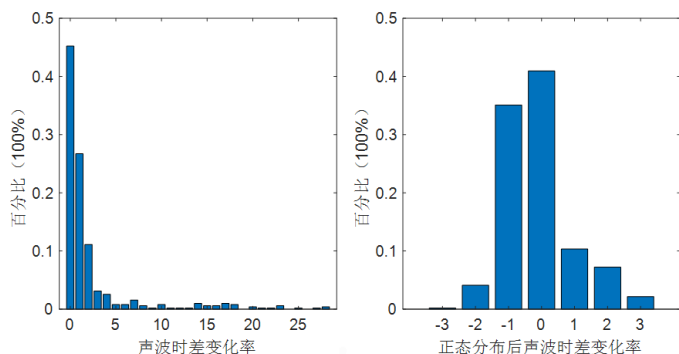


图1 裂缝指标正态变换过程

本文选用东部某油田C工区的实际常规测井资料进行储层目的层段的裂缝识别与预测,选用了曲线变化率的方

法来提取裂缝特征参数曲线,以声波时差为例。图1为裂缝特征参数曲线在正态变换处理前后的数据分布情况,从图中可以看出明显看出,处理之前的声波时差的变化率具有低值较多,而中高值较少的特点,然后利用式(2)并且优选合适的参数,处理之后的声波时差变化率呈正态分布,从而为后续计算裂缝指标概率函数做好了准备工作。(由于本文篇幅有限,仅展示关键部分)。

4 结论

加权概率指数法是对多种常规测井的裂缝指标参数进行综合考虑,相对于单一的常规测井曲线,该方法提高了裂缝识别与预测的精度和准确度。但是,任何裂缝预测方法都会受到人为因素的影响,因此,在实际应用过程中,研究人员应该充分考虑研究区的地质特征、测井资料等信息,从而达到有效识别研究区裂缝的目的。

参考文献:

- [1] 龚佳,秦迎春,王宁,等.综合概率法在白云岩储层裂缝识别中的应用[J].内蒙古石油化工,2011,37(14):148-151.
- [2] 董双波,柯式镇,张红静,等.利用常规测井资料识别裂缝方法研究[J].测井技术,2013,37(04):380-384+388.

作者简介:

郭峰(1988-),男,汉族,辽宁盘锦人,研究生,工程师,主要从事地质综合研究方面的工作。

(上接第227页)用,同时还对溶出矿浆形成冲淡引起沉降系统洗水添加量少而指标变差。

管道化改造后溶出加热方式改为间接加热,两组溶出机组用汽量为279.72t/h,产生的冷凝水经收集后再次进行闪蒸产生10%的低压蒸汽(0.6MPa,158℃)并入全厂的低压蒸汽管网供氧化铝厂蒸发器或其他用汽点使用,然后剩下的高品质的蒸汽冷凝水再返回电厂重新利用。因此:

按高压蒸汽冷凝水10%闪蒸生成的低压蒸汽量为:

$$279 \times 10\% = 27.9 \text{ t/h.}$$

年95%运转率产生的低压蒸汽量为:

$$27.9 \times 365 \times 24 \times 0.95 = 232183.8 \text{ t/a.}$$

按低压蒸汽(热焓2.749GJ/t,供热气耗率29.91Nm³/GJ,0.282美元/Nm³)23.18美元/t-汽计算,年节约低压蒸汽费用为:

$$232183.8 \times 23.18 = 5382020 \text{ 美元/a.}$$

同时,返回电厂的新蒸汽冷凝水为:

$$279 - 27.9 = 251.1 \text{ t/h.}$$

按除盐水的销售价格为4.29美元/m³计,电厂减少除盐水制水费用为:

$$251.1 \times 365 \times 24 \times 0.95 \times 4.29 = 8964616 \text{ 美元/a.}$$

因此,溶出系统改造可节省生产成本费用:

$$24334320 + 5382020 + 8964616 = 38680956 \text{ 美元/a.}$$

2.5.3 沉降系统及赤泥压滤改造后外排量减少效益分析
改造前外排赤泥附碱量19.5kgNa₂O/t-干赤泥,改造后

外排5kg-Na₂O/t-干赤泥,每吨干赤泥减少排量:

$$19.5 \text{ kgNa}_2\text{O/t} - 5 \text{ kgNa}_2\text{O/t} = 14.5 \text{ kgNa}_2\text{O/t.}$$

原系统吨铝产生干赤泥外排量:

$$0.99 \text{ t/t-Al}_2\text{O}_3.$$

吨铝赤泥附碱减排:

$$14.5 \text{ kgNa}_2\text{O/t} \times 0.99 = 14.355 \text{ kg/t-Al}_2\text{O}_3.$$

按150万t/a产量计算减排碱:

$$1500000 \times 0.01435 \text{ t/t-Al}_2\text{O}_3 = 21525 \text{ t-Na}_2\text{O/a.}$$

按牙买加2010年-2020年10年的液碱平均价格为357.95美元/t计,年节约费用为:

$$21525 \times 357.95 = 7704873.75 \text{ 美元/a.}$$

以上改造前后的经济效益对比得出,在经济效益方面效果明显,同时在赤泥外排量液碱降低的情况下,对赤泥湖周边环境的保护起到积极的作用。

3 结论总结

经过溶出系统改造前后的全方位对比分析,项目选取的溶出系统工艺成熟可靠、装备先进、技术路线清晰、工艺流程和设备选型合理,实施后工厂技术装备与自动化控制水平显著提高,工艺技术参数优化改善,工厂技术装备与自动化控制水平显著提高,工艺技术参数优化改善,节能效果明显,经济效益显著。

参考文献:

- [1] 毕诗文.氧化铝生产工艺[M].北京:化学工业出版社,2006.