

钻井地层厚度分析在油田开发中的应用

张振杰, 苏进昌, 刘玉娟, 刘洪洲, 瞿朝朝

(中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459)

摘要:随着渤海油田开发程度的不断深入,油田的井型越来越多样化。受地层倾角及井斜角的影响,分析不同井型之间钻井地层厚度差异,不仅有助于储层精细研究,同时对后续的储量估算以及随钻调整都有重要意义。在综合考虑地层倾角、井斜角和井轨迹在地层钻进方向因素的情况下,建立了5种井型与地层组合模式。以顺地层方向钻进且储层分布相对稳定的层状构造油藏为例,定量分析了在不同的地层倾角、井斜角以及井轨迹水平投影与地层倾向夹角条件下地层视垂直厚度与铅直厚度间的差异。结果表明,在相同的井轨迹水平投影与地层倾向夹角下,当地层倾角较小时,井斜角越小,地层视垂直厚度与铅直厚度差值越小;当地层倾角较大时,井斜角越大,两者差值也越大,且井轨迹与岩层倾向夹角为 0° 时两者差值最大。通过分析两者间的差异,为J油田储量估算、调整井研究及井网部署提供了有益的参考。

关键词:地层真厚度;地层视垂厚;铅直厚度;储量估算;调整井

中图分类号:TE327 **文献标志码:**A

Application of drilling formation thickness analysis in oilfield development

ZHANG Zhenjie, SU Jinchang, LIU Yujuan, LIU Hongzhou, QU Zhaozhao

(CNOOC Tianjin Branch, Tianjin 300459, China)

Abstract: With the deepening of the Bohai Oilfield's development, the well types of the oilfield are becoming more and more diversified. Due to the influence of the formation dip angle and the well deviation angle, the analysis of the difference in the thickness of the drilling formation between different well types are not only helpful for the fine research of reservoir, but also have great significance for subsequent reserves estimation and adjustment while drilling. Based on the comprehensive consideration of the formation dip angle, well deviation angle, and well trajectory in the formation drilling direction, five well types, and formation combination models were established. Taking a stratified structure reservoir drilled along the formation direction with relatively stable reservoir distribution as an example, the difference between the apparent vertical depth and the vertical thickness of the formation was analyzed quantitatively under different formation dip angles, well deviation angles, and angles between the horizontal projection of well trajectory and formation dip. The results show that under the same angle between the horizontal projection of well trajectory and formation dip when the formation dip angle is smaller, the smaller the well deviation angle, the smaller difference between apparent vertical depth and the vertical thickness. When the formation dip angle is larger, the larger the well deviation angle, the larger difference between the two, and the difference between the two is the largest when the angle between the well track and the strata dip is 0° . By analyzing the differences between them, it provides a useful reference for the reserve estimation, adjustment well research, and well pattern deployment of J Oilfield.

Key words: true stratigraphic thickness; formation apparent vertical depth; vertical thickness; reserve estimation; adjustment well

随着渤海油田开发程度的不断深入,多数油田逐步进入高含水采油阶段^[1-3],近年来逐步形成了以层系划分、注采井网加密以及井型优化为手段的开发调整技术^[4-7]。同时,前期受海上平台条件、工程可实施性以及地下地质条件等多因素限制的开发井随着钻完井等技术的提升已逐步可以实施^[8-9],使得油田范围内的井型呈现出越来越多样

化的特点。受地层倾角、井斜角、井轨迹在地层钻进方向(顺层或逆层)等因素的影响,不同井型钻遇

收稿日期:2021-02-18;改回日期:2021-05-16。

第一作者简介:张振杰(1986—),硕士,工程师,主要从事油气田开发地质方面的研究工作。E-mail:zhangzhj200608278@126.com。

基金项目:国家科技重大专项课题“渤海油田加密调整及提高采收率油藏工程技术示范”(2016ZX05058-001)。

的地层视垂直厚度在小范围内出现了较大的变化,不仅影响了小层划分与对比的准确性,同时也制约了后期的储量计算以及随钻调整等工作的实施。虽然前人在研究中也有考虑地层倾角和井斜角的影响,如李振鹏等^[10]针对渤海典型油田的小层对比建立了不同地层倾角及井斜角情况下视垂直厚度差的7种模型,并在油田开发中取得较好的效果;苗春欣^[11]针对小断块油藏储量计算中三种条件下的有效厚度计算方法进行了研究,表明大倾角地层斜井储量计算中必须考虑地层倾角对储量的影响;甘丽琴等^[12]通过分析地层倾角与钻井方向的关系对目的层储层深度进行了研究,为水平井的成功着陆提供了理论指导。然而上述情况均是假设定向井水平投影与岩层真倾向一致,并未考虑与岩层真倾向的夹角关系。

本文在综合考虑地层倾角、井斜角和井轨迹在地层钻进方向因素的情况下,建立了5种井型与地层组合模式,以顺地层方向钻进且储层分布相对稳定的层状构造油藏为例,定量分析了在不同地层倾角、井斜角以及井轨迹水平投影与地层倾向夹角条件下地层视垂直厚度与铅直厚度间的差异,并以J油田东二段V油组新增储量计算来说明它们对储量以及后期调整方案的影响,以期为大倾角地层斜井小层划分与对比、不同钻进方向下水平井随钻着陆等问题提供一定的参考。

1 钻井地层厚度概念

受地层倾角及井斜角的影响,钻井地层厚度一般包括地层真厚度、地层视垂直厚度、铅直厚度以及测量厚度4种类型。其中,地层真厚度为地层的实际厚度,即地层顶底面间的垂直距离,能真实表示地层沉积时的厚度,通常指在地层顶面任意位置作垂直于顶面的垂线,该垂线与底面交点之间的线段长度^[13],一般用 TST 表示;地层视垂直厚度为井轨迹在地层中钻进时与地层顶底面交点的海拔深度差值,一般用 $SSTVD$ 表示;铅直厚度为过地层顶面任意位置其铅垂线与地层顶底面交点间的距离,储量计算中的有效厚度即铅直厚度,一般用 TVT 表示;测量厚度为沿井轨迹方向井眼与地层顶底面交点间的长度,一般用 MD 表示(见图1)。

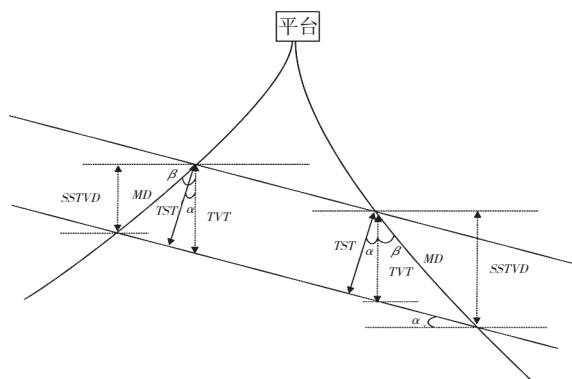


图1 钻井地层厚度概念示意

2 不同井型与地层组合模式

根据井斜角大小可将井型划分为2类:直井,井斜角小于 5° ;定向井,井斜角大于 5° ,其中定向井又可分为常规定向井(井斜角小于 55°)和大斜度井(井斜角大于 55°)^[14]。根据岩层的产状可将地层划分为2类:水平地层,指同一层面上各点海拔高度都基本相同;倾斜地层,指岩层面与水平面有一定的交角或者同一个岩层面上具有不同的海拔高度^[15]。

在综合考虑地层倾角、井斜角和井轨迹在地层钻进方向因素的情况下,建立了5种井型与地层组合模式(见图2)。从图2中可知,对于层状构造油藏,当地层水平时,无论是直井还是定向井地层视垂直厚度、铅直厚度及地层真厚度三者相等(见图2a、2b);当地层倾斜时,根据组合模式可以分为3类:直井与倾斜地层模式,地层视垂直厚度与铅直厚度相等,两者均大于地层真厚度(见图2c);顺地层定向井与倾斜地层模式,地层视垂直厚度大于铅直厚度,铅直厚度大于地层真厚度(见图2d);逆地层定向井与倾斜地层模式,地层视垂直厚度小于地层真厚度,地层真厚度小于铅直厚度(见图2e)。

3 地层视垂直厚度与铅直厚度差值分析

对于储层分布相对稳定的层状构造油藏,井眼钻遇的视垂直厚度、铅直厚度以及地层真厚度可根据沿井轨迹方向的地层测量厚度 MD 结合井斜角及地层倾角计算得到,根据定向井井轨迹水平投影与岩层真倾向的关系,可分为2种情况:

3.1 当定向井井轨迹垂直于岩层走向,其水平投影与岩层真倾向一致

(1) 定向井钻进方向与岩层倾向相同(见图2d)

$$TVT = MD(\cos\beta - (\sin\beta \tan\alpha)) \quad (1)$$

(2) 定向井钻进方向与岩层倾向相反(见图2e)

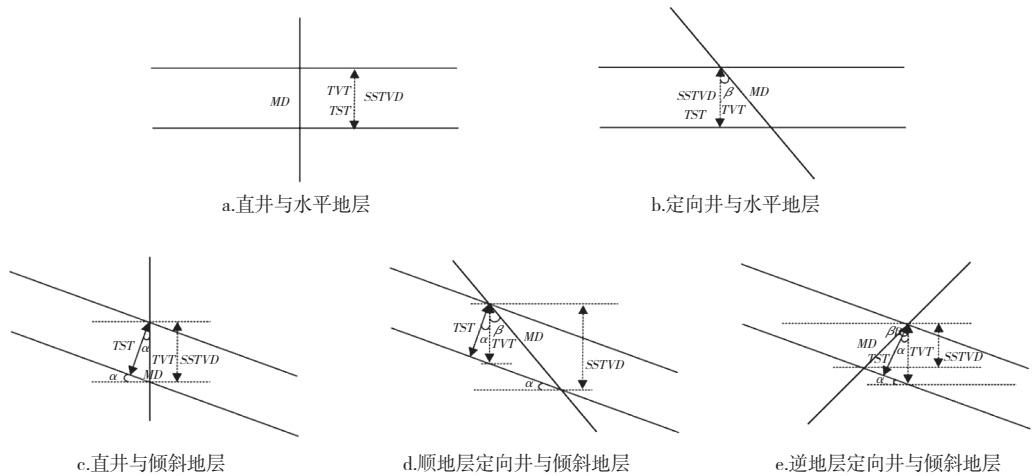


图 2 不同井型与地层组合模式

$$TVT=MD(\cos\beta+(\sin\beta\tan\alpha)) \tag{2}$$

(3)无论定向井钻进方向与岩层倾向相同还是相反,地层真厚度为:

$$TST=TVT\cos\alpha \tag{3}$$

以上公式中, α 为井轨迹方向地层的视倾角; β 为井斜角。

3.2 当定向井井轨迹不垂直于岩层走向,其水平投影与岩层真倾向斜交

设EF为岩层的走向,AC为垂直于岩层走向的倾斜线,其在水平面上的投影AO与AC间的夹角 $\angle OAC$ 为岩层的真倾角(θ);CB为斜交于岩层走向的井轨迹,其在水平面上的投影OB与BC间的夹角

$\angle OBC$ 为井轨迹方向岩层的视倾角(α),真倾向OA与视倾向OB间的夹角 $\angle AOB$ 为 ω (见图3a)。根据地层真倾角、井轨迹视倾角及真倾向与视倾向之间的关系,简化为三角模型图(见图3b),则有

$$\tan\theta=OC/OA, \tan\alpha=OC/OB, \cos\omega=OA/OB, \tan\alpha=\tan\theta\cos\omega \tag{4}$$

将公式(4)分别代入公式(1)和(2),有

(1)定向井钻进方向与岩层倾向相同
$$TVT=MD(\cos\beta-(\sin\beta\tan\theta\cos\omega)) \tag{5}$$

(2)定向井钻进方向与岩层倾向相反
$$TVT=MD(\cos\beta+(\sin\beta\tan\theta\cos\omega)) \tag{6}$$

根据求出的TVT,代入公式(3)即可求出TST。

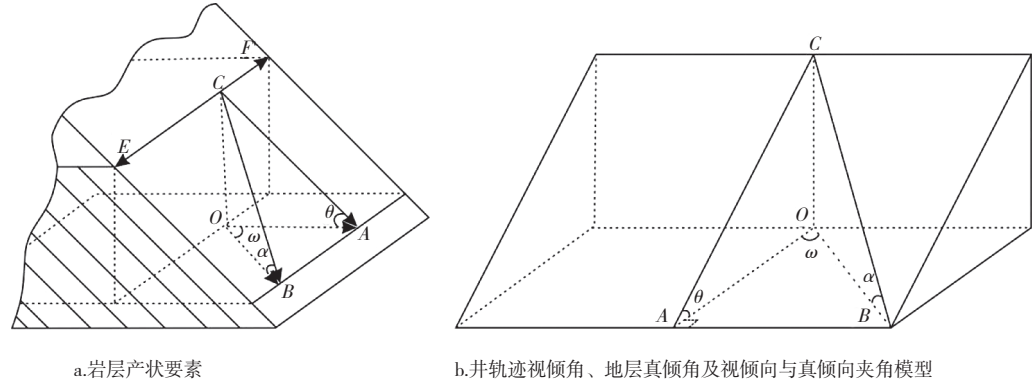


图 3 岩层产状要素和井轨迹视倾角、地层真倾角和视倾向与真倾向夹角模型

以顺地层方向钻进且储层分布相对稳定的层状构造油藏为例,当测量厚度MD为10 m时,分别计算不同的地层倾角及井斜角下地层视垂直厚度与铅直厚度的差值(见图4)。

从图4可以看出,在相同的井轨迹水平投影与

岩层倾向夹角下,当地层倾角较小时,井斜角越小,地层视垂直厚度与铅直厚度间的差值也越小;当地层倾角较大时,井斜角越大,两者之间的差值也越大,且井轨迹水平投影与岩层倾向夹角为0°时两者间的差值最大。

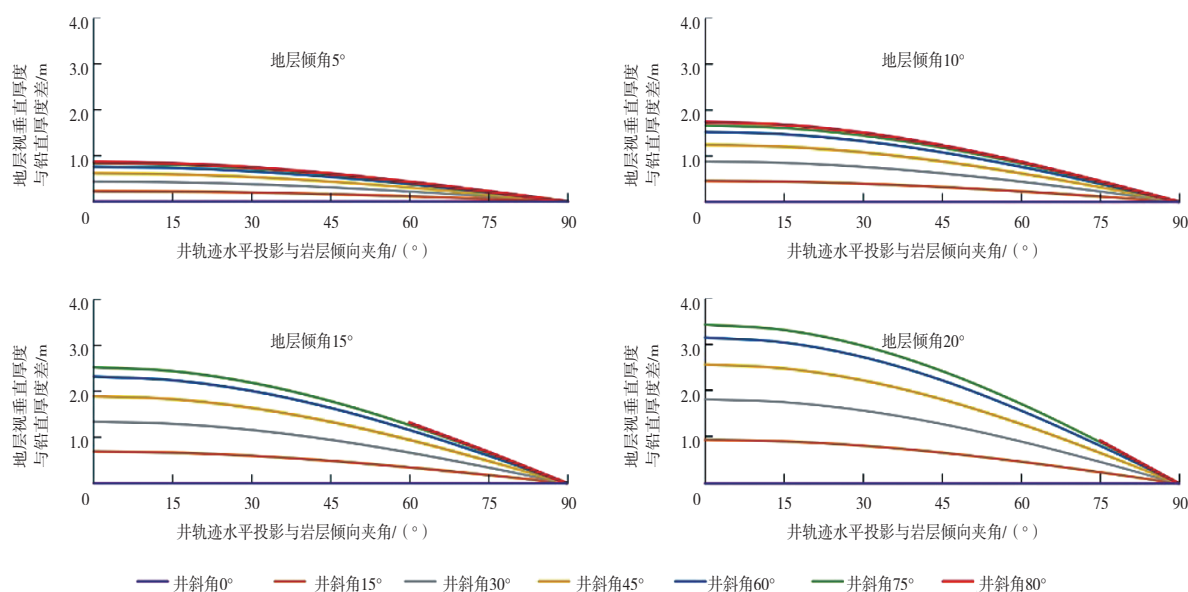


图4 不同地层倾角和井斜角下地层视垂厚与铅直厚度差值

4 应用实例

J油田位于渤海辽东湾海域,处于辽中凹陷中段的反转带上,被辽中1号大断层分为东、西两块,构造整体较陡且具有继承性。油田主要含油气层系为古近系东营组和沙河街组,其中,东营组为三角洲及辫状河三角洲前缘沉积,沙河街组为扇三角洲前缘沉积。以油田西块实施的B3和B39两口定向井为例,受海上平台钻井防碰影响,B3和B39井分别为逆地层倾向和顺地层倾向两种钻井方式,两口井在东二段V油组钻遇的油层测量厚度分别为14.6 m和42.6 m,井斜角分别为63.2°和74.7°,地层真倾角为8.7°,井轨迹水平投影与地层真倾向夹角分别为80°和44°,根据前述公式分别计算出目的层视垂直厚度为6.6 m和11.1 m,铅直厚度为6.9 m和6.7 m(见表1)。在其他参数不变的情况下,采用容积法在忽略地层倾角以及考虑地层倾角对有效厚度影响的条件下,计算出的石油地质储量分别为 35.37×10^4 t和 25.58×10^4 t,储量变化了28%,储量的变化对于调整井的研究以及井网部署产生了重要影响,校正前该区计划一注一采两口定向井生产,预计累增油 10.6×10^4 t;校正后计划一口采油井衰竭生产,预计累增油 5.1×10^4 t,因此对于地层倾角较大的地层,储量的计算以及调整井的研究必须考虑地层倾角的影响。

表1 B3井和B39井校正厚度数据

井号	B3	B39
钻井方式	逆地层倾向	顺地层倾向
测量厚度 MD/m	14.6	42.6
井斜角 $\beta/(\circ)$	63.2	74.7
地层真倾角 $\theta/(\circ)$	8.7	
井轨迹水平投影与地层真倾向夹角 $\omega/(\circ)$	80	44
目的层视垂直厚度 $SSTVD/m$	6.6	11.1
目的层铅直厚度 TVT/m	6.9	6.7

5 结论

(1)在综合考虑地层倾角、井斜角、井轨迹在地层钻进方向因素的情况下,以顺地层方向钻进为例,分析了在不同的地层倾角、井斜角、井轨迹水平投影与地层倾向夹角条件下地层视垂直厚度与铅直厚度间的差异,结果表明:在相同的井轨迹水平投影与岩层倾向夹角下,当地层倾角较小时,井斜角越小,地层视垂直厚度与铅直厚度差值越小;当地层倾角较大时,井斜角越大,两者差值也越大,且井轨迹水平投影与岩层倾向夹角为0°时差值最大。

(2)随着油田开发程度的不断深入,钻井方式越来越多样化,对于地层倾角较大的地层,储量的计算、斜井小层划分与对比、不同钻进方向下水平井随钻着陆等应充分考虑钻井方式及地层倾角等因素的影响。

参考文献:

- [1] 张运来,廖新武,胡勇,等.海上稠油油田高含水期开发模式研究[J].岩性油气藏,2018,30(4):120-126.
- [2] 李廷礼,刘彦成,于登飞,等.海上大型河流相稠油油田高含水期开发模式研究与实践[J].地质科技情报,2019,38(3):141-146.
- [3] 金宝强,舒晓,邓猛.渤海特高含水期油田剩余油分布规律及挖潜策略[J].科学技术与工程,2020,20(15):6033-6040.
- [4] 苏彦春,李廷礼.海上砂岩油田高含水期开发调整实践[J].中国海上油气,2016,28(3):83-90.
- [5] 申春生,胡治华,李林,等.中高含水期河流相砂体剩余油定量预测新方法[J].地质科技情报,2018,37(5):49-53.
- [6] 汪巍,郭敬民,李博,等.馆陶组砾岩夹层研究及水平井分层系开发实践[J].油气藏评价与开发,2016,6(1):5-8.
- [7] 邓景夫,李云鹏,贾晓飞,等.海上高含水期油田细分层系技术界限研究[J].特种油气藏,2018,25(2):116-119.
- [8] 姜伟.中国海上油田开发中的钻完井技术现状和展望[J].中国工程科学,2011,13(5):58-65.
- [9] 范白涛.渤海油田钻完井技术及发展现状[J].中国海上油气,2017,29(4):109-117.
- [10] 李振鹏,马存飞,刘春艳,等.地层视垂厚度分析在油田小层对比中的应用[J].断块油气田,2018,25(5):626-630,634.
- [11] 苗春欣.小断块油藏有效厚度校正方法研究[J].石油工业计算机应用,2015(3):35-37.
- [12] 甘丽琴,谢岳,胡勇,等.储层深度预测误差分析及规避方法[J].科学技术与工程,2018,18(6):87-92.
- [13] 刘传奇.储层真厚度求取新方法[J].海洋石油,2012,32(4):33-37.
- [14] 陈平.钻井与完井工程[M].北京:石油工业出版社,2011:196-201.
- [15] 戴俊生.构造地质学及大地构造[M].北京:石油工业出版社,2006:4-11.

(编辑 谢 葵)

(上接第64页)

- [2] 马世忠,吕桂友,闫百泉,等.河道单砂体“建筑结构控三维非均质模式”研究[J].地学前缘,2008,15(1):57-64.
- [3] 吴胜和,翟瑞,李宇鹏.地下储层构型表征:现状与展望[J].地学前缘,2012,19(2):15-23.
- [4] 张昌民,尹太举,喻辰,等.基于过程的分流平原高弯河道砂体储层内部建筑结构分析——以大庆油田萨北地区为例[J].沉积学报,2013,31(4):653-662.
- [5] 白玉华.对浅水三角洲的一点认识[J].油气藏评价与开发,2014,4(5):11-17,23.
- [6] 刘金连,张建宁.济阳探区单一河道砂体边界地质建模及其地震正演响应特征分析[J].石油物探,2010,49(4):344-350.
- [7] 张显文,胡光义,范廷恩,等.河流相储层结构地震响应分析与预测[J].中国海上油气,2018,30(1):110-117.
- [8] 赵翰卿,付志国,吕晓光,等.大型河流—三角洲沉积储层精细描述方法[J].石油学报,2000,21(4):109-113.
- [9] 陈飞,胡光义,范廷恩,等.渤海海域W油田新近系明化镇组河流相砂体结构特征[J].地学前缘,2015,22(2):207-213.
- [10] 范廷恩,王海峰,胡光义,等.海上油田复合砂体构型解剖方法及其应用[J].中国海上油气,2018,30(4):102-112.
- [11] 肖大坤,胡光义,范廷恩,等.现代曲流河沉积原型建模及构型级次特征探讨——以海拉尔河、潮白河为例[J].中国海上油气,2018,30(1):118-126.
- [12] 汪巍,侯东梅,马佳国,等.海上油田高弯度曲流河储层构型表征——以渤海曹妃甸11-1油田主力砂体Lm943为例[J].中国海上油气,2016,28(4):55-62.
- [13] 吴胜和,岳大力,刘建民,等.地下古河道储层构型的层次建模研究[J].中国科学(D辑:地球科学),2008,38(S1):111-121.
- [14] 张岚,黄凯,张建民,等.BZ油田浅水三角洲储层地质建模研究[J].海洋石油,2012,32(3):33-38.
- [15] 张存才,付志国,黄述旺,曲流河点坝砂体内部建筑结构三维地质建模[J].海洋石油,2007,27(4):19-24.
- [16] 霍春亮,叶小明,高振南,等.储层内部小尺度构型单元界面等效表征方法[J].中国海上油气,2016,28(1):54-59.

(编辑 谢 葵)