

Study on Monitoring Abnormal Pressure in Narrow Window While Drilling in Dabei-Keshen Area

Wei Feng

Research Institute of Logging Technology and Engineering, Yangtze University, Jingzhou Hubei
Email: fengwei@yangtzeu.edu.cn

Received: Jun. 28th, 2017; accepted: Aug. 28th, 2017; published: Oct. 15th, 2017

Abstract

This paper introduced the related concepts of narrow window drilling and the distribution characteristics and causes of abnormal high pressure in Dabei-Keshen area based on current stratigraphic pressure prediction method, and systematically analyzed the main prediction methods of abnormal pressure at home and abroad, and it also classified the pressure prediction methods while drilling. A pressure monitoring while drilling model is developed based on multi-parameters and fixed horizons according to the characteristics and causes of anomalous high pressure distribution in Dabai-Keshen area. The research provides a practical reference for other ultra-high pressure monitoring in narrow windows.

Keywords

Dabei-Keshen Area, Narrow Window, Abnormal Pressure, Monitoring While Drilling

大北 - 克深地区窄窗口异常压力随钻预测监测技术研究

冯 伟

长江大学录井技术与工程研究院, 湖北 荆州

作者简介: 冯伟(1978-), 男, 硕士, 讲师, 主要从事录井专业本科教育和软件设计与开发。

Email: fengwei@yangtzeu.edu.cn

收稿日期: 2017年6月28日; 录用日期: 2017年8月28日; 发布日期: 2017年10月15日

摘 要

从现有的地层压力预测方法出发, 介绍了窄窗口钻井的相关概念和大北 - 克深地区的异常高压的分布特征及成因, 系统分析了国内外解决异常压力问题的主要预测方法, 并对不同压力成因的随钻压力预测方法做了归类划分。针对大北 - 克深地区的异常高压分布特征和成因, 提出了基于多参数、定层位的随钻压力监测模型, 并统计了该方法在多口井的实验结果, 为其他窄窗口超高压监测提供了实用参考。

关键词

大北 - 克深地区, 窄窗口, 异常压力, 随钻监测

Copyright © 2017 by author, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

塔里木盆地库车坳陷属南天山构造带的前陆盆地, 北临南天山褶皱带, 南抵塔北隆起, 克拉苏构造带位于其中部, 演化受大北 - 克拉苏断裂带控制。大北 - 克深地区位于克拉苏构造带克拉苏断裂下盘克深区。

大北 - 克深地区古近系复合盐膏层平均厚 1232 m, 最厚达 5177 m。该复合盐膏层间既存在膏盐岩等异常高压层, 也存在白云岩等较低压力层, 地层压力情况极为复杂。尤其是普遍存在超高压盐水层(最高达 2.46 g/cm^3), 压力系统复杂, 钻井复杂事故频发。据统计, 仅近年的 13 口井在该层段累计发生复杂事故 83 次, 累计漏失泥浆 6923 m^3 , 累计损失时间 778 d, 而且由此造成的成本增加非常高, 极大地影响到了油田生产的顺利进行。

在膏泥岩地段, 钻井易缩径、易污染钻井液, 压力系统复杂, 易溢流、井漏、卡钻。高温、高压, 易井漏, 钻井液性能维护困难等一系列难题往往与地层压力有关[1]。因此, 在异常压力极为发育的大北 - 克深地区, 更加准确地预知待钻地层的异常压力, 对于工程的顺利进行至关重要。同时, 该区也是国内压力最为复杂的地区之一, 研究成果对于其他复杂压力地区的施工安全保障也具有重要的借鉴及推广意义。

现有的地层压力预测方法已经使用了几十年,对安全快速钻井做出了重要贡献。但随着钻井技术的不断发展,其局限性也逐渐暴露出来,其主要缺陷或难点如下:

- 1) 不适用于非泥岩地层,对于较复杂的地层无法获得真正连续的地层孔隙压力剖面。
- 2) 传统方法只考虑了由欠压实引起的异常压力。大量研究发现,异常压力是由多种因素综合引起的,如欠压实、烃类生成、构造和断裂、水热增压、蒙脱石脱水、地层升降变化、永久冻土等[2] [3]。
- 3) 正常趋势线的确定往往带有主观性,需要在大量的检测实践中修改完善,检测实践经验的多少和正确与否对检测地层压力结果影响很大。
- 4) 对于非连续沉积地层而言,需要建立多条趋势线,有时在某些层段甚至还无法建立趋势线,增加了趋势线建立的难度。
- 5) 检测参数受多种因素的影响,其变化不一定是地层压力变化引起的。
- 6) 严格来说,在半对数坐标系中泥岩正常压实趋势线为直线的结论并不完全正确,因为随压实程度的提高,声波速度增加的程度将逐渐变慢,达到一定的深度后声波速度将几乎不再随深度变化,而不是沿传统的正常趋势线无限延伸下去。

对异常地层压力的时空演化和分布规律研究,不仅对指导勘探目标的确定、评价有利的储层区段分布具有一定的战略意义,而且在为目标钻探、科学钻井提供压力预测剖面,指导钻井液设计,保护油层等方面都具有重要的实际意义。

2. 窄窗口的概念及库车凹陷异常压力分布特征

2.1. 窄窗口的概念

窄窗口(钻井安全窗口小),即在钻某一地层过程中,钻井液可以选择的密度范围很小。窄窗口易发生钻井复杂情况,钻井液密度超出此范围造成井漏,低于此范围造成井壁坍塌掉块。

窄窗口产生的主要原因是钻遇地层的压力系数和坍塌压力较高,漏失压力和破裂压力较低。窄窗口容易造成井涌、井漏、坍塌及卡钻等钻井事故。

窄窗口钻井安全的一项重要技术就是压力预测技术,如果能够很好地解决压力预测问题,就可以很好地确定窄窗口甚至扩大窄窗口的安全作业区间,提高钻井安全[4]。

2.2. 库车前陆盆地异常压力分布特征

2.2.1. 渗透性岩层内异常压力平面分布特征

渗透性地层内的压力可根据钻杆测压及重复地层测试获得,库车前陆盆地的异常压力主要发育于三叠系至新近系,总体上各个地层异常高压分布特征基本一致,即前陆冲断带为异常高压,以克拉苏构造带异常压力最高,秋里塔格构造带东部迪那、东秋地区也具有较高的异常压力,而南部平缓背斜带基本为正常压力系统。

库车前陆盆地下白垩统异常压力的总体特征为北部超压、强超压,向南有变低的趋势,南部平缓构造带基本为正常压力,表现为近似开放的流体系统。克拉苏构造带北部地区为强超压,压力系数在 1.85 以上,多在 1.95~2.10 之间,其中 TB2 井、KL2 井、DQ8 井下白垩统达到 2.0 以上,过剩压力差别大,KL1 井、KL2 井等过剩压力在 23~37 MPa, TBZ 井、DQS 井过剩压力在 46~51 MPa; 大北地区、迪那地区下白垩统表现为超压,压力系数多在 1.55~1.65 之间,过剩压力变化相对较小,多在 26~33 MPa; 南部的 QL1 井、YT1 井、YD2 井、T1 井、T2 井下白垩统基本为常压系统,压力系数在 1.0 左右,过剩压力多在 0~1 MPa。

库车前陆盆地古近系异常压力的总体特征与下白垩统较为相似,表现为北部超压、强超压,向南超压程度有变低的趋势,南部平缓构造带基本为正常压力,克拉苏构造带北部、秋里塔格构造带的东秋、迪那地区为强超压,压力系数多在 1.90~2.20 之间,过剩压力差别大,KL3 井过剩压力在 25~32 MPa, TB2 井、KL2 井过剩压力在 36~43 MPa, DQ8 井、DN3 井、DN11 井过剩压力在 52~56 MPa。南部的却勒、羊塔克、英买力、牙哈、提尔根等地区基本为常压系统,压力系数大都在 1.0 左右,却勒地区局部地层压力系数达到 1.4 左右,表现为异常高压特征。

库车前陆盆地新近系克拉苏-依奇克里克构造带主要表现为正常压力特征,仅个别构造表现为异常高压特征,压力系数最高在 1.2~1.5 之间,如 KL1 井、MN1 井等处。秋里塔格构造带东部的 DN2 井、DN11 井构造压力系数在 2.1 左右,表现为强超压,过剩压力在 50~56 MPa 之间,是新近系超压程度最大的地区。

2.2.2. 渗透性岩层内异常压力纵向分布

库车前陆盆地渗透性岩层异常压力在三叠系、侏罗系、白垩系、古近系和新近系均有发育,在深度分布上普遍具有从上向下由常压到超压的变化,该变化在克拉苏-依奇克里克构造带尤为突出,秋里塔格构造带东部表现为超高压的特征。

克拉苏构造带中,各构造地层的超压特征总体上随深度变化而变化:从浅部到 3000 m 左右,是超压不断增强的阶段,压力系数由 1.0 增加至 2.0 左右;3000~4200 m,压力系数在 2.0 左右,为强超压,过剩压力较大,在 25~45 MPa 之间,KL2 井、KL3 井气藏都位于该深度段;4200 m 以下,超压程度降低,压力系数在 1.6 左右,但过剩压力仍然较大,在 30~45 MPa 之间,主要分布在克拉苏深部区带,个别表现为接近常压,如 KC1 井。在纵向上,个别井压力随深度沿静水压力梯度增加,反映了流体在该层段内基本连通,构成一个统一的压力系统,如 DB2 井;个别井压力随深度变化复杂,过剩压力相差较大,未构成一个统一的压力系统,另外,各构造之间过剩压力变化较大,明显不是一个压力系统。

依奇克里克构造带中,异常高压随埋深变化总体上有以下规律:浅部 2000 m 以上表现为异常高压较低,压力系数在 1.3~1.5 之间,过剩压力较小,5 MPa 左右;深部异常高压有所增大,YN2 井、TZ2 井等处较为明显,过剩压力较大,在 25~35 MPa 左右,YN4 井、YS4 井等异常高压仍较低,压力系数在 1.3~1.5 之间,过剩压力在 5~15 MPa 左右。各构造过剩压力变化复杂,各构造之间未构成一个统一的流体压力系统。

3. 库车前陆盆地异常地层压力成因类型

库车前陆冲断带喜马拉雅晚期经历了强烈构造挤压,TB2 井、KL2 井、KL3 井、DQ8 井、DQ5 井、DN3 井、DN2 井及克拉苏深部区带 DB2 井、KS2 井、DB3 井等构造盐下储层压力系数达到了 1.6 以上,最大达到 2.2 左右,为异常高压或超高压。目前,对盐下储层内异常高压或超高压成因仍有争议,可归纳为以下几点:构造挤压和充气增压;构造挤压和构造抬升;构造挤压与欠压实;欠压实、天然气充注与构造挤压;构造挤压和他源超压。

构造挤压已被确认是库车前陆盆地超压形成的一个重要因素;构造抬升倾向于形成异常低压而非异常高压。实测资料表明,TB2 井、DQ8 井等构造的盐下超高压储层为含气水层或水层,所以天然气充注作用引起的超压机制针对气藏可能是有效的。

综合库车前陆盆地实际地质条件和前人对该盆地异常压力形成因素的研究,认为库车前陆盆地异常压力形成主要受控于压实、构造挤压、超压传递和生烃等作用,其中生烃增压作用针对侏罗系、三叠系烃源岩是有效的;对于现今气藏,天然气柱的浮力对异常压力也有一定贡献;另外,膏盐岩盖层的封盖作用为异常高压形成后的保存提供了强有力的保证。

4. 异常地层压力的随钻预测方法

随钻地层孔隙压力监测是利用钻井过程中实时测量得到的钻井地质数据来评估地层孔隙压力的技术。在目前国内钻井作业中,普遍使用随钻地层孔隙压力监测技术。这是因为钻前的地震预测结果精度比较低,层位误差比较大,很难反映实际的地层压力变化。所以,必须在钻井施工过程中开展随钻地层压力监测,来实时监测地层孔隙压力的变化,以便能及时发现井下复杂情况,调整钻井液密度和修改井身结构设计。

目前,国内比较有效的随钻地层孔隙压力监测方法有dc指数法、岩石强度法和泥页岩密度法。由于地层孔隙压力评估受到各大石油公司的普遍重视,近几十年来,地层孔隙压力评估技术得到了很大的发展。但是,由于受到传统思路的束缚,各种地层孔隙压力评估技术并没有得到实质性的突破,仅仅对以前各种评估技术进行修正和完善。如:在地层压力检测中采用对数式正常趋势线;用声波时差预测地层孔隙压力的方法;根据页岩电阻率精确测定地层孔隙压力的再校正技术;dc指数正常趋势线分析;压差校正可提高dc指数地层压力检测精度;地层压力的地震预测等。

随着三维地震的发展,利用地震资料进行地层孔隙压力预测的技术也逐渐向三维方向发展。在国外已取得一定成就。

在测井资料方面,由于国外测试技术及各种井下配套工具的先进性,随钻测井已成为现实可行的技术[3]。该技术为地层孔隙压力随钻预测提供了更可靠的数据,在一定程度上促进了地层孔隙压力预测技术的发展。但是,随钻测井的费用很高,在我国难以普及应用。

在钻井工程中,找到地震层速度、录井资料、测井资料和地层孔隙压力之间关系式是非常重要的。由于上述数据很复杂,分析它们很困难,不能精确建立反映数据间相互关系的物理关系式,并限制了理解和使用信息的能力。而且,即使利用如常规最小二乘法,部分最小二乘法和非线性二次部分最小二乘法等强有力的统计计算工具,也只能从上述数据中抽取线性和简单非线性信息。如果要使非线性输入、输出变换得到的先验信息有效,灰色理论方法不失为一种有效的手段。

在现有钻井技术的限制下,除极少数特殊情况外,钻井过程中所钻遇的岩石均是沉积岩。沉积岩的成岩过程是一个缓慢而漫长的过程。因此,可把沉积岩的成岩过程看成是一个连续的过程,所有的沉积岩层都是连续的,除非沉积岩成岩以后发生地壳运动。另一方面,传统的异常高压地层的形成机理认为,压实作用、水热增压、蒙脱石的脱水作用是异常高压地层形成的主要原因。不管是哪种原因,传统方法均认为是某局部地层存在过多的液体无法及时向邻近地层排泄完,从而形成的局部异常高压。这样,在微观上孔隙相互连通的沉积岩中,异常高压地层和正常压实地层之间必然存在过渡带。综上所述,地层孔隙压力曲线的变化趋势线必然是连续、缓慢变化的,不存在跳跃点。当用连续函数模拟地层孔隙压力曲线时,可用该函数预测钻头下部未钻开地层的地层孔隙压力。

压力预测计算的方法很多,都具有各自相应的适用范围,根据不同的压力成因,可将各预测方法的适用性进行归纳总结(见表1)。

5. 大北-克深地区的随钻预监测方法

由于大北-克深地区压力成因极为复杂,因此,除采用各方法对压力进行计算预测之外,还要对各压力预测方法的结果进行对比,经过筛选之后选定了几种比较适合于研究区的方法,主要包括反算dc指数法和多参数动态监测法。

随钻监测前要建立监测模型,分别采用反算dc指数法和多参数动态监测法建立不同的监测模型[5]。多参数动态监测法监测模型的建立工作流程如图1所示。在欠压实层位采用反算dc指数法的模型监测,在高压层则采用多参数动态监测法建立的模型计算压力。图2是大北-克深地区XXX井的实测压力系数与预测压力系数对比图,可以看出,符合率较高。

Table 1. The applicable methods for abnormal pressure (with different origins) prediction while drilling
表 1. 不同成因异常压力适用的随钻预测方法

异常高压成因机制		异常高压随钻预测方法		
		基于压力过渡带	基于压力盖层	基于压力分布
岩石孔隙 体积变化	欠压实	dc 指数/反算 dc 指数法 泥页岩密度法	X 射线荧光录井法	地质统计分析法 测录井资料联用动态预测法 (多参数动态监测法)
	盐丘底辟	核磁共振录井法	离子色谱录井法	
	盐类渗透		离子色谱录井法	地质统计分析法
孔隙流体 体积变化	烃类生成或裂解	气测录井法 烃源岩录井法 dc 指数/反算 dc 指数法 泥页岩密度法 核磁共振录井法	X 射线荧光录井法	地质统计分析法 测录井资料联用动态预测法 (多参数动态监测法)
	气体运移	气测录井法	X 射线荧光录井法	
	欠压实+盐丘底辟	离子色谱录井法	X 射线荧光录井法 离子色谱录井法	地质统计分析法
复合成因	欠压实+烃类生成	气测录井法 烃源岩录井法 dc 指数/反算 dc 指数法 泥页岩密度法 核磁共振录井法	X 射线荧光录井法	地质统计分析法 测录井资料联用动态预测法 (多参数动态监测法)
	欠压实 + 盐丘底辟 + 烃类生成	气测录井法 烃源岩录井法	X 射线荧光录井法 离子色谱录井法	地质统计分析法

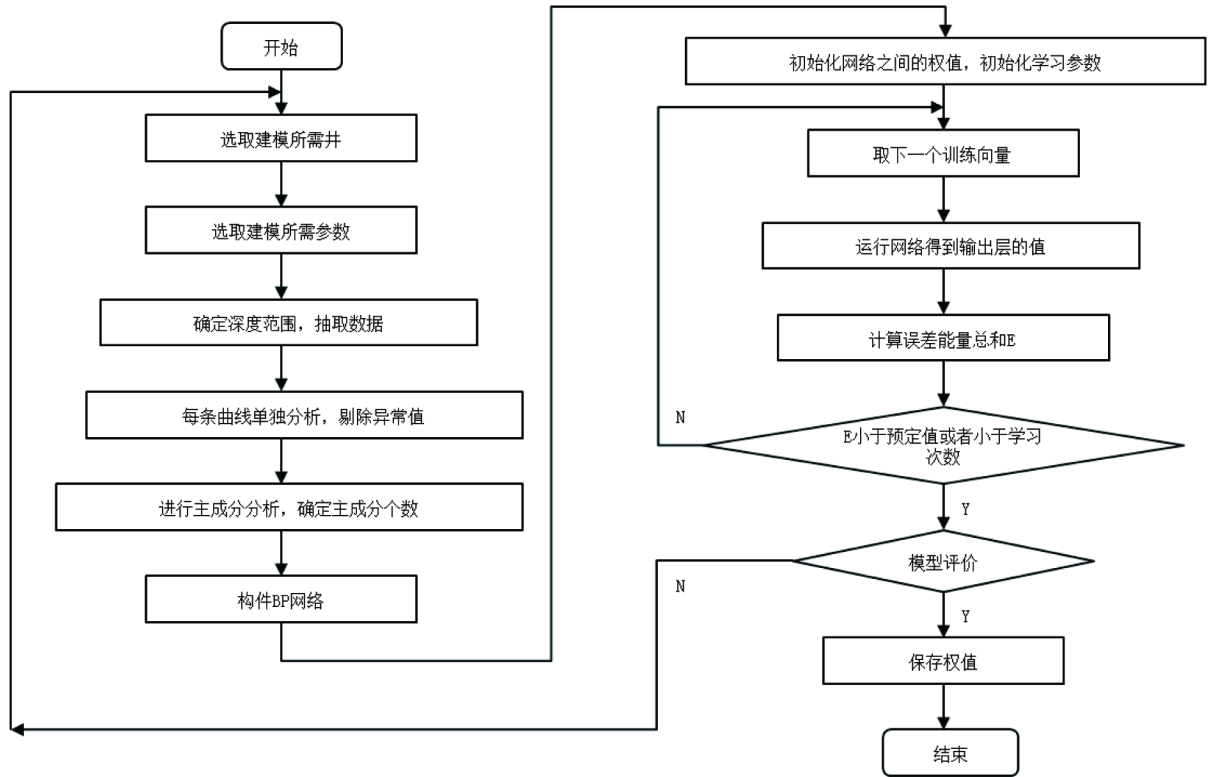
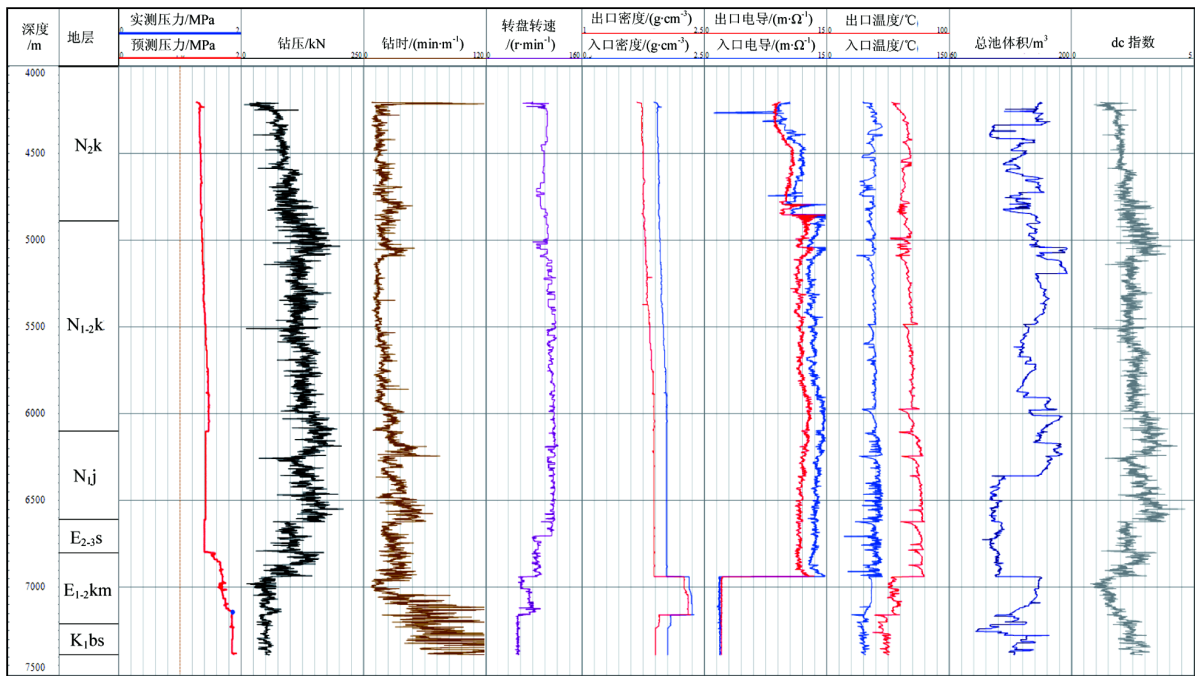


Figure 1. The working process of establishment of monitoring model by using multi-parameter dynamic monitoring method
图 1. 多参数动态监测法监测模型建立的工作流程图



注：N₂k 为新近系库车组；N₁₋₂k 为新近系康村组；N_j 为新近系吉迪克组；E₂₋₃s 为古近系苏维依组；E₁₋₂km 为古近系库姆格列木群；K₁bs 为下白垩统巴什基奇克组。

Figure 2. The contrast between the actually measured pressure coefficient and predicted pressure coefficient

图 2. 大北 - 克深地区 XXX 井的实测压力系数与预测压力系数对比图

为了验证上述方法的可靠程度，选取了克深地区 10 口井进行建模，计算出来的压力系数与实际压力系数对比结果见表 2，可以看出，克深地区 10 口井采用多参数动态监测法和反算 dc 指数法的结果准确度都在 90% 以上，多参数动态监测法符合率均值为 97.29%，反算 dc 指数法符合率均值为 90.23%。大北地区 6 口井建模计算出来的压力系数与实际压力系数对比结果见表 3，可以看出，多参数动态监测法符合率均值为 95.93%，反算 dc 指数法符合率均值为 85.19%，反映出结合了人工智能的多参数动态监测法准确性更高。总体看来，上述方法在大北 - 克深地区的压力预测结果都较为可靠。

Table 2. The effect of validated 10 wells in Keshen area

表 2. 克深地区 10 口井的验证效果

井号	测试点(井深)/m	压力系数/1	多参数动态监测法 预测压力系数/1	反算 dc 指数法 预测压力系数/1	误差 (多参数动态监测法)	误差 (反算 dc 指数法)
克深 XX3	6957.10	1.61	1.6578	1.6973	0.0478	0.0873
克深 XX5	6822.43	1.64	1.6837	1.7345	0.0437	0.0945
克深 XX9	7447.57	1.75	1.7213	1.8335	-0.0287	0.0835
克深 XX2	7737.08	1.66	1.6940	1.7604	0.03403	0.1004
克深 X2	7139.56	1.86	1.8516	1.9087	-0.0084	0.0487
克深 XX8	6848.09	1.82	1.8107	1.9328	-0.0093	0.1128
	6502.05	1.89	1.9170	1.9573	0.027	0.0673
克深 X9	6656.18	1.65	1.6704	1.7683	0.0204	0.1183
克深 1X5	7321.88	1.49	1.5213	1.6023	0.0313	0.1123
克深 XX3	6626.24	1.79	1.7684	1.8973	-0.0215	0.1073
克深 2X5	5331.16	1.60	1.5749	1.7423	-0.0250	0.1423

Table 3. The effect of validated 6 wells in Dabei area
表 3. 大北地区 6 口井的验证结果

井号	测试点(井深)/m	压力系数/1	多参数动态监测法 预测压力系数/1	反算 dc 指数法 预测压力系数/1	误差 (多参数动态监测法)	误差 (反算 dc 指数法)
大北 XX7	7216.23	1.68	1.6502	1.7527	-0.0298	0.0727
大北 XX5	7398.61	1.65	1.6712	1.7426	0.0212	0.0926
大北 X4	6868.44	1.71	1.7408	1.8385	0.0308	0.1285
	7079.50	1.67	1.7205	1.7905	0.0505	0.1205
大北 XX2	7342.80	1.71	1.7284	1.9043	0.0184	0.1943
大北 XX3	6075.20	1.54	1.6072	1.7403	0.0672	0.2003
	6352.66	1.55	1.5987	1.7512	0.0487	0.2012
大北 XX4	5941.30	1.50	1.5595	1.6748	0.0595	0.1748

6. 结论

- 1) 通过对大北 - 克深地区地层压力特征的分析, 认为库车地区超压分布广, 成因类型复杂多样, 以构造挤压、生烃增压和压力传导影响最大, 大北 - 克深地区在古近系底部和白垩系均普遍存在超压。
- 2) 对不同压力成因的随钻压力预测方法做了归类划分。由于大北 - 克深地区压力成因极为复杂, 除采用各方法对压力进行计算预测之外, 还对各压力预测结果进行了对比。经实测压力验证, 反算 dc 指数法和多参数动态监测法在大北 - 克深地区的压力预测结果较为可靠。
- 3) 采用基于多参数、定层位建模的监测方法要比单一的建模方法符合率更高。

参考文献 (References)

- [1] 艾池, 冯福平, 李洪伟. 地层压力预测技术现状及发展趋势[J]. 石油地质与工程, 2007, 21(6): 71-73, 76.
- [2] 卞从胜, 柳广弟. 异常地层压力的综合预测方法及其在营尔凹陷的应用[J]. 地质科技情报, 2009, 28(4): 1-6.
- [3] 蔡军. 基于三维地质建模的地层压力预测方法及应用研究[D]: [硕士学位论文]. 东营: 中国石油大学, 2011.
- [4] 周英操, 杨雄文, 方世良, 等. 窄窗口钻井难点分析与技术对策[J]. 石油机械, 2010, 38(4): 2-7.
- [5] 王志站, 慈兴华. 东营凹陷异常压力随钻预测与监测[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011.

[编辑] 龚丹

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: jogt@hanspub.org