

# 孔隙压力精确预测方法及其在九龙山地区的应用

赵忠文<sup>1</sup> 李黔<sup>1</sup> 黄桢<sup>2</sup> 米光勇<sup>2</sup>

1.西南石油大学石油工程学院 2.中国石油西南油气田公司川西北气矿

赵忠文等.孔隙压力精确预测方法及其在九龙山地区的应用.天然气工业,2012,32(6):65-68.

**摘 要** 四川盆地川西北地区九龙山构造具有多套产层,纵向上存在多套压力系统且含有异常高压。因地层孔隙压力预测不准确导致的井下复杂与事故(井漏、井涌、溢流、卡钻),给该区的安全、快速钻井施工带来了很大的困难。为此,基于九龙山地区已完钻井的测井资料,在常规孔隙压力预测模型的基础上,运用切比雪夫逼近原理建立最佳一致逼近的多项式模型对实际地层孔隙压力进行多次逼近,通过确定最佳值一致逼近多项式的关键系数,进而建立起了具备地质构造特点的地层孔隙压力精确预测模型。应用结果表明,这种全新的预测方法建立的地层孔隙压力剖面具有相当高的吻合率,成功实现了对九龙山构造异常地层压力的精确预测。

**关键词** 四川盆地 川西北地区 九龙山构造 孔隙压力 精确计算 切比雪夫最佳一致逼近

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2012.06.016

地层孔隙压力数据作为一项描述地质环境的关键数据,对于建立钻井液安全密度窗口有着非常重要的作用。实现对四川盆地川西北地区九龙山构造的孔隙压力精确预测对于改善钻井设计、指导安全钻进,从而为避免钻井复杂事故的发生,实现安全、快速、高效的钻井施工有着重要的意义<sup>[1]</sup>。

利用测井资料进行地层孔隙压力预测方法在现场有着广泛的应用<sup>[2-3]</sup>,然而由于测井数据的误差、非泥岩段数据的干扰、人为选定正常趋势线的主观性、经验性,以及计算模型自身的缺陷会导致预测的地层孔隙压力剖面与实际的地层孔隙压力出现偏差。基于此,本文在研究传统等效深度模型与伊顿模型的基础上,充分结合目前已有的钻井成果数据,运用切比雪夫最佳一致逼近原理<sup>[4]</sup>,建立了具有九龙山异常孔隙压力构造的孔隙压力精确计算模型。通过对九龙山的龙 A 井测井解释与实际地层压力的逼近确定了预测模型的系数,再用该模型系数对龙 B 井、龙 C 井进行了地层压力预测,建立的地层孔隙剖面与实际地层测试获取的地层压力数据吻合度较好。

## 1 切比雪夫最佳一致逼近原理

在数学的理论研究和实际应用中经常遇到下类问

题:在选定的一类函数中寻找某个函数  $g$ ,使它是已知函数  $f$  在一定意义下的近似表示,并求出用  $g$  近似表示  $f$  而产生的误差,这就是函数逼近问题<sup>[5]</sup>。切比雪夫研究了逼近函数类是  $n$  次多项式时最佳逼近元的性质,建立了能够据以判断多项式为最佳逼近元的特征定理。切比雪夫认为,给定函数  $f(x)$ ,用来逼近  $f(x)$  的函数叫做逼近函数。逼近函数可以有多种选择。 $n$  次代数多项式是在函数逼近问题中应用最为广泛的一种,数学表达式为  $\sum_{i=1}^n a_i X^i$ 。1885 年德国数学家 K.(T.W.)外尔斯特拉斯在研究用多项式来一致逼近连续函数的问题时证明了一条定理——连续函数都可以用多项式以任何预先指定的精确度在函数的定义区间上一致地近似表示。

切比雪夫逼近理论在解决工程问题上已经有了非常多的应用,例如应用切比雪夫多项式来解决岩土力学参数概率的分布、黑体辐射以及雷达散射截面上的问题<sup>[6-8]</sup>;切比雪夫最佳一致逼近理论隶属于函数逼近论的范畴,从根本上理解就是研究数据与数据之间的近似表达问题,而传统模型进行地层孔隙压力预测的研究思路是真实地层压力数据与原始测井数据之间的近似表达,因此这一目的与切比雪夫最佳一致逼近理

**基金项目:** 国家科技重大专项课题“大型油气田及煤层气开发”(编号:2011ZX05021-006)。

**作者简介:** 赵忠文,1986 年生,硕士研究生;主要从事地质力学模型计算以及复杂井钻完井工艺方面的研究工作。地址:(610500)四川省成都市新都区新都大道 8 号西南石油大学硕 2009 级三班。电话:18615781312。E-mail:zzwoo7@163.com

论是相符合的。

## 2 孔隙压力精确计算模型

### 2.1 精确计算模型原理

按照切比雪夫提出的最佳一致逼近思想,利用  $n$  次多项式模型总是可以对任意的函数进行逼近,虽然最佳一致逼近的方法切比雪夫并未提及。对实际地层孔隙压力的研究应用中,我们知道对某一固定的地质特征构造而言,测井响应与实际的地层孔隙压力有直接函数关系,目前的研究来看,这种函数关系就是我们现有的计算模型。但是由于模型自身的缺陷,对于孔隙压力的预测会出偏差。因此,利用切比雪夫的逼近思想,建立最佳一致逼近的多项式模型对实际地层孔隙压力进行多次逼近,逼近多项式的自变量为传统模型计算出的地层孔隙压力,通过确定最佳值一致逼近多项式的关键系数,最终建立具备地质构造特点的地层孔隙压力精确预测模型。

这套模型是对实际地层孔隙压力的最佳逼近,因此这套模型具有了地质构造特点,如果某一区块没有地质构造上没有发生突变,那么这套精确计算模型就可以应用于其他相近的邻井的地层孔隙压力预测。地层孔隙压力的精确预测原理如图 1 所示。

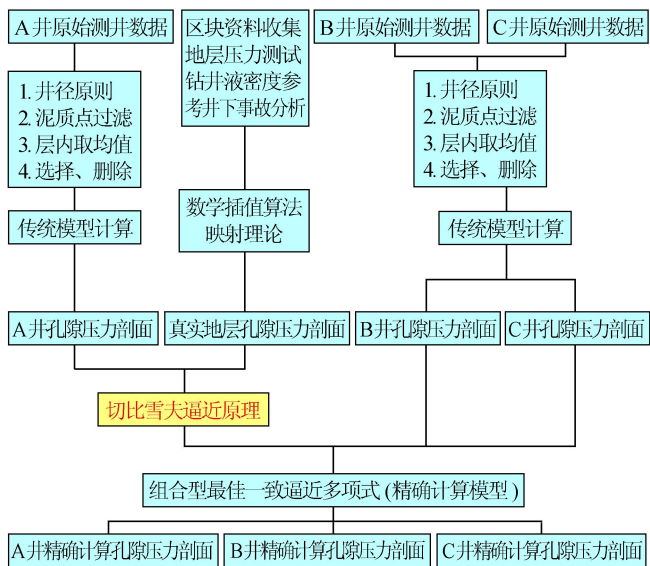


图 1 孔隙压力精确计算原理图

### 2.2 精确计算模型建立方法

对于地层孔隙压力的最佳一致逼近多项式即精确计算模型的数学表达形式为  $\sum_{i=1}^n a_p p^i$ , 模型的确定方

法是,首先固定模型的次数,即确定出  $i$  的取值范围,再通过最小二乘法计算出对应次数  $i$  下的模型关键系数  $a_i$ ,完成第一次逼近多项式的建立并分析与真实孔隙压力的累积偏差。通常进行只一次切比雪夫逼近累积偏差是很大的,因此需要进行多次的切比雪夫逼近。最终优选出累积偏差最小的多项式次数与逼近次数,完成精确计算模型的求取。

## 3 川西北九龙山井区实例应用

### 3.1 九龙山构造概况介绍

九龙山构造属四川盆地川北低平褶皱带,龙门山—米仓山山前断褶构造亚带九龙山—张家碛构造群南部的一个局部构造。川北低平褶皱带位于四川盆地西北部,其西北部和北部紧邻龙门山推覆构造带和米仓山台缘隆起带,东南与川中隆起带相邻,龙门山—米仓山山前断褶构造亚带位于该构造带的西北部。

九龙山构造具有多产层、多压力系统、异常高压等特点,钻井中复杂事故多和钻井速度低的问题十分突出,如井涌、溢流、井漏、卡钻、遇阻等复杂情况甚至钻井事故,给川西高压区块的钻井工程带来了诸多困难,阻碍了该区块油气勘探开发的进程和经济效益的提高。

### 3.2 精确计算模型建立

为了试验精确计算模型的准确性,分别选取已经具备测井资料的 3 口相邻的龙 B 井、龙 C 井、龙 A 井进行计算。龙 A、龙 B、龙 C 井的井口坐标位置很接近,井位所处的地质构造特点也相似,因此可以很好的验证试验的结果。由于龙 A 井的测井数据较为齐全,因此选取龙 A 井和收集的真实地层孔隙压力进行切比雪夫多次逼近,生成组合形式的最佳一致逼近多项式。再将生成的最佳一致逼近多项式模型分别对龙 B 井与龙 C 井进行精确计算,分别对比传统模型<sup>[2-3]</sup>和精确计算模型对真实孔隙压力的累积偏差。

对比研究发现,将传统模型计算的龙 A 井孔隙压力剖面与收集的真实孔隙压力剖面进行多次逼近可以获得以组合形式存在的最佳一致逼近多项式,即孔隙压力精确计算模型  $\sum_{i=1}^n a_p p^i$ ,如表 1 所示。

将利用传统模型(等效深度模型)建立的地层孔隙压力剖面带入到上面的组合型逼近多项式进行连续 3 次的逼近计算,可获得精确计算后的压力系数剖面,如表 2 所示。

传统模型预测孔隙压力和精确模型预测孔隙压力以及真实地层孔隙压力 3 条剖面对比曲线如图 2 所

表 1 龙 A 井建立的精确计算模型系数表

逼近次数	常数项系数 $\alpha$	一次项系数 $\alpha$	二次项系数 $\alpha$	三次项系数 $\alpha$	逼近后累积偏差
第一次逼近	1.93	-1.64	1.51	-0.40	46.38
第二次逼近	-1 087.58	2 245.37	-1 543.07	353.46	34.71
第三次逼近	339.22	700.78	483.37	-100.84	14.19

表 2 龙 A 井按地质分层计算孔隙压力系数数据表

层位	底界深度 / m	传统计算模型	精确计算模型	真实孔隙压力系数	传统模型计算偏差	精确模型计算偏差
自流井组	3 083.00	1.07	1.34	1.39	0.32	0.05
珍珠冲组	3 166.00	1.17	1.46	1.47	0.30	0.01
须三段	34 490.00	1.17	1.61	1.63	0.46	0.02
须二段	3 543.00	1.21	1.64	1.68	0.47	0.04

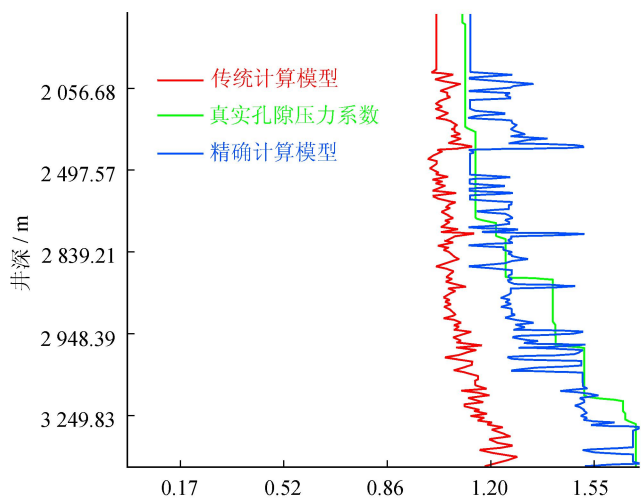


图 2 龙 A 井 3 个方法获取的孔隙压力剖面对比图

示。观察发现,龙 A 井由传统模型计算的孔隙压力系数地质误差为 0.03~0.47,而经过多次切比雪夫逼近后的精确计算模型所建立的孔隙压力系数剖面与真实地层孔隙压力系数地质误差仅为 0.01~0.05,小于天然气钻井井控要求钻井液密度附加值 0.07~0.15 g/cm<sup>3</sup>,满足了平衡钻井对地层压力预测精度的要求。

### 3.3 利用精确计算模型对其他邻井进行计算

为了进一步验证精确计算模型的适用性,分别选取将龙 B 井、龙 C 井进行精确地层孔隙压力预测。首先将利用传统模型(等效深度模型)分别建立的龙 B 井、龙 C 井的孔隙压力系数剖面(表 3、4),再将孔隙压力剖面分别带入到表 1 建立的精确计算模型,得到精确计算后的地层压力系数剖面(图 3、4)。

观察发现,龙 B 井由传统模型计算的孔隙压力系数地质误差为 0.21~0.50,而经过精确计算模型所建立的孔隙压力系数剖面与真实地层孔隙压力系数地质误差仅为 0.02~0.06;龙 C 井由传统模型计算的孔隙压力系数地质误差为 0.32~0.50,而经过精确计算模型所建立的孔隙压力系数剖面与真实地层孔隙压力系数地质误差仅为 0.01~0.02,小于天然气钻井井控要求钻井液密度附加值 0.07~0.15 g/cm<sup>3</sup>,满足了平衡钻井对地层压力预测精度的要求。

## 4 结论

1) 直接利用传统模型对某一区块进行地层孔隙压力预测精度不高,特别是对于具有复杂地层压力系统

表 3 龙 B 井按地质分层计算孔隙压力系数数据表

层位	底界深度 / m	传统计算模型	精确计算模型	真实孔隙压力系数	传统模型计算偏差	精确模型计算偏差
沙一段	2 630.00	1.05	1.34	1.36	0.31	0.02
自流井组	3 075.00	1.05	1.34	1.39	0.34	0.05
珍珠冲组	3 229.00	1.12	1.44	1.48	0.36	0.04
须三段	3 478.00	1.16	1.63	1.66	0.50	0.03
须二段	3 543.00	1.23	1.61	1.67	0.44	0.06

表 4 龙 C 井按地质分层计算孔隙压力系数数据表

层位	底界深度 / m	传统计算模型	精确计算模型	真实孔隙压力系数	传统模型计算偏差	精确模型计算偏差
沙一段	2 544 .00	1.02	1.34	1.35	0.33	0.02
自流井组	2 993 .00	1.05	1.38	1.37	0.32	0.01
珍珠冲组	3 258 .00	1.14	1.46	1.47	0.33	0.01
须三段	3 317 .00	1.17	1.64	1.65	0.48	0.01
须二段	3 543 .00	1.18	1.66	1.68	0.50	0.02

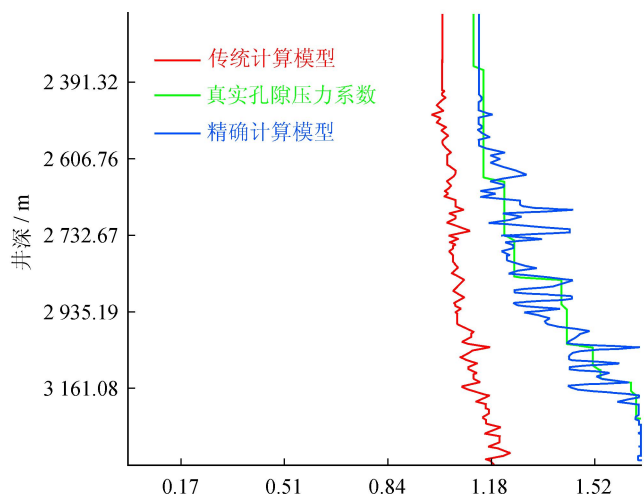


图 3 龙 B 井 3 个方法获取的孔隙压力剖面对比图

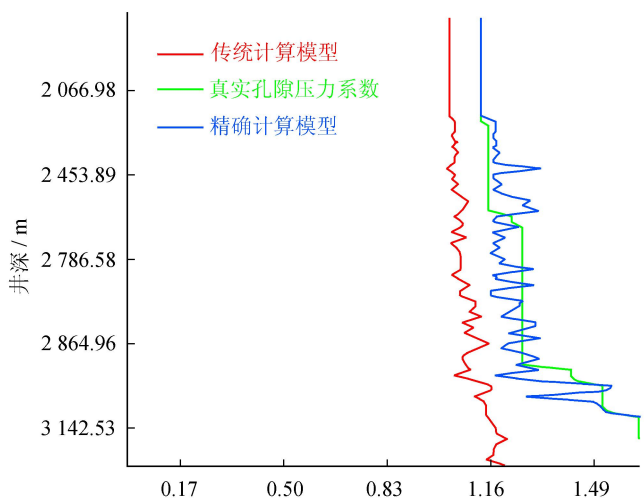


图 4 龙 C 井 3 个方法获取的孔隙压力剖面对比图

的区块传统模型预测结果误差很大,应该充分利用已有的钻井成果数据或实测地层压力数据作为参考,对传统模型计算出的结果数据进行修正。

2)利用切比雪夫逼近原理建立的九龙山构造孔隙压力的精确计算模型,通过对邻井的试验发现精确计算模型的计算结果与实际地层孔隙压力吻合度极高。

3)精确计算模型生成的压力剖面具备区块地质特性,能精确地预测相同构造内的地层孔隙压力,对于出现地质构造突变的情况,精确计算模型的精度会受到影响。

参 考 文 献

- [1] 唐兴波,李黔,蒋祖军,等.低渗气藏溢流关井孔隙压力计算方法探讨[J].天然气工业,2007,27(3):77-79.
- [2] 李忠慧,楼一珊,王兆峰,等.地层压力预测技术在准噶尔盆地钻井中的应用[J].天然气工业,2009,29(8):66-68.
- [3] 张辉,高德利.钻头下部未钻开地层的孔隙压力随钻预测[J].天然气工业,2005,25(3):79-80.
- [4] 刘学鹏,徐传胜.圣彼得堡数学学派的学术风格探析[J].西北大学学报:自然科学版,2009,39(6):955-959.
- [5] 于亚萍,李沂岸.Besov 函数类的宽度问题[J].中国科技信息,2008,20(20):47-49.
- [6] 陈钰杰,罗玛.多项式数值逼近法在黑体辐射问题反演中的应用[J].中山大学研究生学刊:自然科学版,2007,28(2):37-43.
- [7] 官凤强,李夕兵,邓建.岩土力学参数概率分布的切比雪夫多项式推断[J].计算力学学报,2006,23(6):722-727.
- [8] 陈明生,孙玉发.应用切比雪夫逼近快速求解目标宽带雷达散射截面[J].电波科学学报,2006,21(4):536-540.

(修改回稿日期 2012-04-16 编辑 凌 忠)