基于VBA的储层评价数据处理方法

王高成[1],郭玲[2],陈兴炳[1],许磊[3],唐磊[1]
(1.中国石油浙江油田分公司,浙江 杭州 310023;2.四川石油管理局 物探公司,四川 成都 610213;3.中国石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘 要:针对储层评价工作中存在数据处理繁琐、易出错的问题,根据参数间的内在关系,利用Excel内嵌的VBA语言编写了储层评价数据处理程序。该程序以井斜数据、井数据、分层数据、砂体数据、测井解释成果表及夹层数据为基础,分析储层评价工作中数据间的关系,设计了相应的算法,实现了井斜校正、按层统计砂体厚度及计算砂地比、夹层统计、自动扣除夹层及有效厚度计算、储层特征参数和储量计算参数集总、坐标添加及常用绘图软件数据格式转化等功能。

关键词:井斜校正;参数集总;隔夹层统计;有效厚度计算;坐标选择;储层评价;Excel宏
中图分类号:P631.4 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8918(2009)06-0718-05

东部高含水油田存在储量动用程度高,水淹情况复杂,剩余油分布零散,平面、层间矛盾突出等问题,开展以非均质性研究为主的储层评价工作,可以为东部高含水油田合理部署注采井网、提高采收率提供科学依据。储层评价是油藏描述的核心内容,包括了沉积微相、隔夹层、储层物性参数、有效厚度以及层内、层间、平面非均质性等研究,通常采用砂体厚度、砂地比、孔隙度、渗透率、饱和度、隔层分布、夹层密度、夹层频数、有效厚度、砂体钻遇率、变异系数、突进系数、极差系数、均质系数等参数来表征。在统计各项储层表征参数时需要面对大量琐碎的地质资料,手工数据整理与分析造成了低效、繁重的重复工作,这与现代化信息资源无法充分利用相矛盾。Petrel、Gocad、Rms等一体化油藏描述软件,包括了从地震解释、储层建模到油藏模拟的所有领域,涉及到多种专业知识和复杂的操作,在需要快速进行储层评价时,显得过于臃肿、使用不便。商业软件大多数据库底层不透明,给后期数据快速修改、重新加载和软件二次开发带来了困难。为此,介绍了一种利用Excel内嵌的VBA语言编写求取储层评价各项数据的程序,以期达到快速进行储层评价的目的。

1 处理方法及实现

进行储层研究首先要对斜井进行校正,求取各层砂体厚度及砂地比,搞清砂体展布规律,为沉积微相研究做准备;在测井解释的基础上,对储层孔隙度、渗透率、饱和度参数进行集总,统计出各层变异系数、突进系数、级差等非均质参数;读取各井隔夹层数据,统计各层夹层厚度、密度和频数,研究各层平面、纵向非均质变化特点;按照夹层起扣厚度和有效厚度起算厚度,求取各井的有效厚度,搞清储量丰度平面分布规律,最后利用成图软件绘制成各种图件。按照储层研究思路,在收集井数据、分层数据、砂体数据、测井解释成果表及夹层数据的基础上,建立一个包含地质、测井、油藏数据在内的一体化数据库,按照数据间的关系,编写相关的算法,实现自动求取储层评价的各项参数,并整理成可供常用软件使用的数据格式,来绘制储层评价常用图件(图1)[1-4]。

VBA(visual basic for applications)是微软开发出

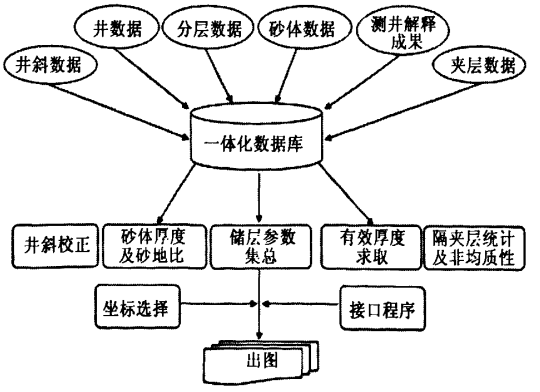

图1 储层评价数据处理软件流程

收稿日期:2009-05-16

万方数据

来在其桌面应用程序中执行通用的自动化(OLE)任务的编程语言,具有界面简洁、友好,数据输入和结果输出方便,运行简单,兼容性和可移植性强等特点[5-6]。利用 VBA 语言编写的储层评价数据处理程序,可作多井数据批量统计整理,使地质人员更专注于地质研究工作,同时宏程序直接面向 Excel,使得数据获得和处理更加方便快捷。它主要包括 7 个模块:井斜校正、按小层统计砂体厚度及计算砂地比、夹层统计、自动扣除夹层及有效厚度计算、小层规模及油藏规模参数统计模块、坐标添加及常用软件数据接口程序。

1.1　井斜校正模块

在油藏描述工作中常常遇到斜井,斜井导致了井底发生位移,此外,斜井测深都大于实际的铅直深度,在绘制剖面图、构造等值线图乃至等厚度图时如直接采用大角度造斜的斜井数据或采用的井斜校正方法不合适,势必会造成地下构造形态的严重歪曲[7]。为改进在大斜度井及井斜方位角变化大的情况下采用目前地质研究中常用的直线法进行测斜计算所造成的计算结果误差较大、地下构造形态严重歪曲的情况,以我国钻井行业标准规定的校正平均法为原理,并在考虑了两相邻测点间的方位角的变化绝对值大于 180°及统一第 0 测点的情况下,实现了自动计算多井的井斜数据[8]。该模块先按照井深、井斜角、方位角计算出井轨迹参数,然后调用外部测井曲线文件,采用对深度列线性内插的方法,对深度列井斜垂深校正,最后对分层数据进行校正,计算出各斜深对应的垂深及井底坐标方位。需要输入的数据包括井斜数据表、测井曲线文件和分层数据表井名列、测点序号、斜深、井斜角和方位角,根据输入的数据自动计算出斜井轨迹表中的垂深、横偏移距和纵偏移距,及经校正后的测井曲线文件和分层数据表。

1.2 砂体厚度及砂地比统计模块

该模块主要功能为分层位统计出砂体厚度并计算出该层的砂地比值。需要输入的数据包括分层数据表(包括井号、顶深、底深)和砂体数据表(包括井号、砂体序号、顶深、底深)。编程实现时,首先根据分层的顶底深度判断各砂体所在的层位,对于砂体的顶底深跨越地质分层的分界点时,自动对砂体进行辟分(如图 2 中 1-07 井 25 小层顶深为 1 797.6 m,因此 8 号砂体被辟分到 24 与 25 小层),然后对同一层内的砂体进行相加,得到砂体厚度(总厚度列),最后在分层表中查找出该层地层厚度的基础

井号	序号	Hdtop	Hdbot	层名		厚度	总厚度	砂地比	小层厚度
1-07	7	1783.6	1791.6		23	8	8	0.8	10
1-07	8	1794.9	1797.6		24	2.7	2.7	0.48	5.6
1-07		1797.6	1802		25	4.4	4.4	0.51	8.6
1-07	9	1815.4	1817.1		27	1.7	1.7	0.34	5
1-07	10	1818.2	1819.9		28	1.7	3.9	0.59	6.6
1-07	11	1822.4	1824.6		28	2.2			
1-07	12	1833.3	1835.3		29	2	2	0.19	10.7
1-07	13	1840.5	1843.7		31	3.2	3.2	0.58	5.5
1-09	8	1796.6	1798.4			1.8			
1-09	9	1804	1806.4		23	2.4	3.7	0.36	10.2
1-09	10	1808.7	1810		23	1.3			
1-09		1810	1815.2		24	5.2	5.2	1	5.2
1-09		1815.2	1820		25	4.8	4.8	0.52	9.2
1-09	11	1836.9	1839.6		28	2.7	2.7	0.54	5
1-09	12	1850	1852		29	2	2	0.18	11
1-09	13	1855.2	1856.7		30	1.5	1.5	0.29	5.2
1-09	14	1871.3	1873.2		32	1.9	1.9	0.17	11.2
1-09	15	1879	1880.5		34	1.5	1.5	0.17	8.6
1-1	9	1756	1759.4		24	3.4	3.4	0.65	5.2
1-1	10	1760.4	1763.4		25	3	3	0.34	8.8
1-1	11	1776	1780.1		27	4.1	4.1	0.76	5.4
1-1	12	1783.8	1786.6		28	2.8	2.8	0.54	5.2
1-1		1786.6	1789		29	2.4	5.8	0.56	10.4
1-1	13	1793.6	1797		29	3.4			
1-1	14	1800	1802.6		30	2.6	2.6	0.46	5.6
1-1		1802.6	1803.9		31	1.3	1.3	0.24	5.4
1-1	15	1814.1	1817.2		32	3.1	3.1	0.34	9.2

图 2　砂体厚度及砂地比计算模块运行结果界面

上,计算出砂地比。

1.3　参数集总模块

该模块主要对储层特征参数和储量计算参数进行集总,集总结果用于绘制物性平面分布图与储量计算。在储层物性参数集总中,主要对小层内单砂体的测井解释参数进行集总。储量计算参数与储层特征参数的集总主要差别是储量计算参数集总只限于应用油层有效厚度范围内的单砂体,而储层特征参数是在砂体尖灭线内部的单砂体进行集总[9]。以储量计算参数集总为例进行说明,储层特征参数的集总操作和储量计算参数集总一样,只是选择集总的数据来源不同。

万方数据

在计算油藏有效厚度范围内的孔隙度、饱和度等储量计算参数时需要分两步进行，首先按层位统计单井平均参数，在此基础上按层位对区块内多井参数进行平均。在计算单井平均参数时，用厚度权重法计算孔隙度，用孔隙体积权重法计算含油饱和度，其他特征参数如渗透率、次生孔隙度、深侧向电阻率、补偿中子、密度、自然伽马、声波时差、泥质含量等可以厚度权重计算；在计算区块的平均储量参数时，孔隙度可采用岩石体积权衡法，而含油饱和度采用孔隙度体积权衡的方法[4]。

基础数据为分层数据表（即储量计算单元层位的起始深度）、测井解释结论表。算法实现过程分为3步，首先判别测井解释砂体所属的地质分层（储量计算单元层位），对解释砂体的顶底深度跨越了地质分层分界点的，自动将测井解释砂体辟分到上下2个地质分层中去，其次按层位统计单井平均参数（图3所示，对1-07井发育2个单砂体的28小层进行平均），在此基础上对区块内多井参数进行平均，求取储层计算参数（图4）。

	A	B	C	D	E	F	G
1	井名	层名	砂体个数	累积厚度	Perm集总	Por集总	So集总
2	1-05	23	1	4.9	0.2	10.7	55.1
3	1-05	24	1	1.6	0.1	8.6	50.4
4	1-05	25	1	4.4	3.5	17.2	45.5
5	1-05	28	1	2.7	0.3	11.6	49.6
6	1-05	29	1	1.5	0.1	8.2	61.6
7	1-05	30	1	3.4	0.2	10.5	39.8
8	1-05	32	1	3.8	0.8	11.1	39.9
9	1-05	34	1	2.2	3.0	9.2	66.2
10	1-07	23	1	8.0	35.8	21.8	55.7
11	1-07	24	1	3.7	23.5	20.7	44.8
12	1-07	25	1	3.4	25.8	20.3	44.8
13	1-07	28	2	3.8	0.1	8.7	42.0
14	1-07	29	1	2.0	0.2	10.7	69.2
15	1-07	31	1	3.2	0.6	13.3	67.8
16	1-09	23	2	4.2	0.0	7.8	52.1
17	1-09	24	2	5.0	6.2	17.9	36.6
18	1-09	25	1	4.8	4.5	17.2	53.6
19	1-09	28	1	2.7	0.2	9.5	57.3

测井解释成果 / 小层集总 / 储量参数

图3 分层位单井统计表

	A	B	C
1	层位	Por	So
2	23	13.97	46.22
3	24	14.67	49.81
4	25	15.61	48.17
5	26	12.06	50.13
6	27	11.45	47.33
7	28	11.70	43.21
8	29	11.82	45.41
9	30	11.58	47.52
10	31	11.49	46.92
11	32	12.26	47.58
12	33	11.01	46.73
13	34	9.54	53.11
14	35	10.95	56.04
15	36	8.74	45.19
16	37	10.78	47.43
17	38	10.51	34.37
18	39	9.57	53.91
19			

分层数据 / 测井解释成果

图4 多井平均储量参数表

1.4 隔夹层统计模块

隔夹层在储层研究中具有重要的作用，隔层直接影响到砂层间垂向连通性、压力系统及油水分布，夹层是造成层内非均质性的主要原因，通常采用隔层厚度、夹层频数、密度等参数来表示[10-11]。该模块根据砂体及分层数据表，统计隔层的顶底深度以及所在层位，对手工识别出来的夹层，计算夹层数量、夹层厚度、夹层频数和夹层密度等参数。对于隔层根据其定义，即隔层为单砂体之间的低渗层，岩性为泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和砂泥岩薄互层，编程统计出上相邻层的砂体底深和下相邻层砂体的顶深即为隔层的顶底深度，顶底深之差即为隔层厚度（图5，根据砂层顶底深度自动计算出隔层的厚度）。对于夹层，编程时，首先根据分层的顶底深度判断各夹层所在的层位，然后统计出同一层内的夹层数量和累积厚度，再除以该层的砂体厚度就得到了夹层频数和夹层密度。

井名	层名	Idtop	Idbot	隔层	厚度
1-01	25	1767.7	1770.4	25	6.1
1-01	26	1775.1	1777.4	26	4.7
1-01	27	1782.5	1786	27	5.1
1-01	28	1789.2	1792.7	28	3.2
1-01	33	1822.6	1825.1	33	10
1-01	40	1876.2	1879.7	40	5
1-05	23	1774	1778.9		
1-05	24	1782	1783.6	24	3.1
1-05	25	1783.6	1788	25	0
1-05	28	1808.8	1811.5	28	8.2
1-05	29	1818	1819.5	29	6.5
1-05	30	1822.5	1825.9	30	3
1-05	32	1830.4	1834.2	32	4.4
1-05	34	1848	1850.2	34	8
1-07	23	1783.6	1791.6		
1-07	24	1794.9	1798.6	24	3.3

图5 隔层运行结果界面

1.5 有效厚度求取模块

根据测井解释成果表、分层数据表及夹层数据表，自动扣除解释砂体中的夹层，并根据油水层解释结论，实现自动求取有效厚度。首先查找出砂体内部夹层的厚度，将砂体厚度减去夹层厚度得到扣除夹层的砂体厚度，当测井解释结论为油层时，有效厚度就等于扣除了夹层的砂体厚度；当测井解释结论为油水同层时，有效厚度就等于扣除了夹层的砂体厚度的一半；当结论为水层或者干层时，有效厚度为0，并在小层平面图上相应地标识为水层或干层；当解释结论为水淹层时，有效厚度记为0，但是不参与图件绘制或者计算。这样的标识结果有利于分析小层平面图中的油水关系与油气的分布情况（图6）。

万方数据

Well	Surface	Tdtop	Tdbot	砂体厚度	夹层厚度	扣除夹层	有效厚度	标识有效	总有效厚	标识总有	解释结论
1-01	25	1757.44	1760.12	2.68	0.44	2.24	0	水淹层	0	水淹层	水淹层
1-01	26	1764.79	1767.08	2.29	0.44	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	油层
1-01	27	1772.14	1775.62	3.48	0.7	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	油层
1-01	28	1778.8	1782.28	3.48	0.62	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	油层
1-01	33	1812.01	1814.49	2.48	0.38	2.1	0	干层	0	干层	干层
1-01	40	1865.33	1868.82	3.49	0.38	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	油层
1-05	23	1774	1778.9	4.9	0.3	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	油层
1-05	24	1782	1783.6	1.6	0.32	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	油层
1-05	25	1783.6	1788	4.4		4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	油层
1-05	28	1808.8	1811.5	2.7	0.38	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	油层
1-05	29	1818	1819.5	1.5		1.5	0	干层	0	干层	干层
1-05	30	1822.5	1825.9	3.4	0.82	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	油层
1-05	32	1830.4	1834.2	3.8	0.44	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36	油层
1-05	34	1848	1850.2	2.2		2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	油层
1-07	23	1783.6	1791.6	8	0.38	7.62	0	水淹层	0	水淹层	水淹层
1-07	24	1794.9	1798.2	3.3	0.3	3	0	水淹层	0	水淹层	水淹层
1-07	25	1799	1803.32	4.32		4.32	0	水淹层	0	水淹层	水淹层
1-07	27	1816	1817.1	1.1	0.3	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	油层
1-07	28	1818.2	1819.9	1.7		1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	油层
1-07	28	1822.5	1824.6	2.1	0.36	1.74	0	干层			干层
1-07	29	1833.3	1835.3	2	0.32	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	油层
1-07	31	1840.5	1843.7	3.2	0.56	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	油层
1-09	23	1796.6	1798.4	1.8	0.38	1.42	0	干层	0	干层	干层
1-09	23	1804	1806.4	2.4	0.3	2.1	0	干层			干层
1-09	24	1808.7	1813.7	5	0.56	4.44	0	水淹层	0	水淹层	水淹层
1-09	25	1813.7	1820	6.3	0.82	5.48	0	水淹层	0	水淹层	水淹层

图 6　有效厚度计算结果界面

1.6　坐标选择模块

在求取了上述的各项参数之后,添加上坐标,就可以绘制储层评价的各种图件。首先将工区内的井口数据整理成坐标库,再按照井号自动查找坐标库中相应井的坐标。利用该模块也可以查找补芯海拔和井别等,只需在坐标库中将 x、y 坐标列替换为补芯海拔和井别即可。

1.7　数据接口程序

在完成上述工作的基础上,就可以利用绘图软件进行绘图,但是绘图软件一般都有特定的数据格式,因此利用 VB 编写数据接口程序,将数据批量整理成 Carbon、Geomap、Doublefox、Discovery 等成图软件所需的数据格式。此外该模块还包括了不同格式的测井曲线文件间转化、重命名以及常用成图软件间数据相互转化的功能。

2　效果分析

应用井斜校正模块、直线法(假设测段是一条直线,该直线的方向是上测点处井眼的方向)和 Petrel 软件对大斜度井(最大的井斜角大于 350°)进行计算(表 1),计算结果表明井斜校正模块和 Petrel 软件之间误差很小,在井深 2 000 m 的情况下,垂深误差控制在 0.5 m 之内,横、纵向偏移距也在 1 m 之内,计算精度满足要求;在井斜角较小、井斜方位变化不大的情况下直线法计算结果和 Petrel 软件计算结果之间误差不大,但当井斜角较大或井斜方位变化较大的情况下,直线法计算结果和 Petrel 软件计算结果之间误差较大,垂深误差能达 5 m,横、纵向偏移距也达到 10 m 以上。分析上述 3 种方法的计算结果可以得出:直线法把斜井段近视为一直线段,

表 1　CHEN3-60 井测斜数据及计算结果分析

序号	测深/m	井斜角/°	方位角/°	Devprocess 宏程序计算结果			直线法计算结果			Petrel 计算结果		
				垂深/m	ΔE/m	ΔN/m	垂深/m	ΔE/m	ΔN/m	垂深/m	ΔE/m	ΔN/m
0	0	0	229.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	278.6	0.22	229.20	278.56	−0.40	−0.35	278.56	0	0	278.56	−0.40	−0.35
2	307.5	0.45	216.10	307.45	−0.52	−0.47	307.45	−0.08	−0.07	307.45	−0.51	−0.48
(略去 3 ~ 33 号数据)												
34	1232.8	4.63	99.20	1232.41	18.52	−4.48	1232.48	17.35	−4.01	1232.42	18.15	−4.51
35	1242.5	5.68	98.80	1242.08	19.39	−4.62	1242.16	18.12	−4.14	1242.09	19.01	−4.64
36	1268.7	5.67	101.53	1268.17	21.94	−5.07	1268.24	20.68	−4.54	1268.17	21.56	−5.10
(略去 37 ~ 71 号数据)												
72	2312.8	46.07	355.01	2116.41	−18.81	530.98	2120.86	−18.13	520.76	2116.45	−19.52	530.93
73	2341.8	46.03	354.57	2136.51	−20.70	551.74	2140.94	−19.94	541.53	2136.54	−21.42	551.68
74	2361.1	45.88	354.35	2149.92	−22.04	565.55	2154.34	−21.25	555.36	2149.96	−22.75	565.49
75	2378.0	45.88	354.35	2161.72	−23.24	577.65	2166.14	−22.45	567.47	2161.76	−23.95	577.60

注:ΔN、ΔE 为各测斜段在正北、正东方向投影的长度。

万方数据

而实际井斜段为一曲线段,这将产生一个近似误差,这在大角度井斜的情况下两者之间的差别会更大,并经逐段向下累积误差进一步扩大,所以在井斜角较大(大于)且井斜方位变化大的情况下不能利用直线法进行测点计算;基于校正平均法原理的宏程序和 Petrel 等商业软件计算结果之间差别较小,能满足研究需要,而产生差别的主要原因是国外多用最小曲率法来进行井斜校正,此外,对第 0 测点的处理方法也并不一样。

3 结论

储层评价数据处理程序按照储层研究思路和数据处理方法采用方便、灵活的 VBA 编程技术编写而成,使用方便,实用性强,特别适用于对小规模储层进行快速描述,在储层评价工作中具有一定的参考价值。按照上述 7 个步骤,程序实现了井斜校正、按层统计砂体厚度及计算砂地比、夹层统计、自动扣除夹层及有效厚度计算、储层特征参数和储量计算参数集总、坐标添加及常用绘图软件数据格式转化等。这些在平常工作中实现起来相当繁琐、费时,并且容易出错,如选择坐标的工作,当井数多于 500 口时,手工操作需要 2 ~ 3 h,甚至更长,而该程序只需 1 ~ 2 min,成型的商业化软件要实现同样的功能往往操作繁琐,使用不便。值得注意的是,要用好该程序,需要理解各类数据间的内在关系,并按要求整理成所需的格式。

参考文献:

[1] 张豆娟,陈存元. Excel 宏语句在测井解释夹层处理中的应用[J]. 石油天然气学报,2006,28(4):72 - 74.

[2] 张豆娟,陈存元. Excel 宏在统计储量参数中的应用[J]. 测井技术,2006,30(6):541 - 543.

[3] 许磊,刘明新,王高成,等. 用 VBA 辅助油藏分析[J]. 石油工业计算机应用,2007,15(4):18 - 22.

[4] 裘怿楠,薛叔浩. 油气储层评价技术[M]. 北京:石油工业出版社,1994:25 - 257.

[5] John Walkenbach. Excel 2002 公式与函数应用宝典[M]. 路晓村,徐小青,李双庆,等译. 北京:电子工业出版社,2002.

[6] 张立科,张宏林. Visual Basic 6.0 程序设计与开发技术大全[M]. 北京:人民邮电出版社,2004.

[7] 陈碧珏. 油矿地质学[M]. 北京:石油工业出版社,1995:240 - 251.

[8] 王高成,林承焰,郭玲,等. Execl 宏在井斜数据计算中的应用[J]. 物探化探计算技术,2008,30(6) :495 - 500.

[9] 杨通佑,范尚炯,陈元千,等. 石油及天然气储量计算方法[M]. 北京:石油工业出版社,1990:108 - 116.

[10] 陈程,孙义梅. 厚油层内部夹层分布模式及对开发效果的影响[J]. 大庆石油地质与开发,2003,22(2):24 - 27.

[11] 汪彦,彭军. 七东区下侏罗统八道湾组储层特征及评价[J]. 断块油气田,2008,15(3):1 - 3.

THE METHOD AND IMPLEMENTATION OF DATA PROCESSING IN RESERVOIR EVALUATION BASED ON VBA

WANG Gao-cheng[1], GUO Ling[2], CHEN Xing-Bing[1], XU Lei[3], Tang Lei[1]

(1. *Zhejiang Oilfield Company, PetroChina, Hangzhou, Zhejiang* 310013, *China*; 2. *Sichuan Geophysical Company, CNPC, Chengdu* 610213, *China*; 3. *PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, CNPC, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: Aimed at the existing fussiness and blunders in data processing of reservoir evaluation, the authors designed a software package in VBA language based on the intrinsic relationship between the parameters. Using deviation data, well data, layering data, sand body data, well logging interpretation data and interbed data, its function includes deviation correction, statistics of sand body thickness and sand-shale ratios, interbed data computation, interbed deduction and net computation, zoning statistics of reserve parameters, coordinate selection, and data format translation between common softwares.

Key words: deviation correction; zoning statistics of reserve parameters; interbed data computation; net computation; coordinate selection; reservoir evaluation; excel subroutine

作者简介: 王高成(1982 -),男,硕士研究生,2005 年毕业于中国石油大学(华东)资源勘查工程,主要从事油气田开发地质研究,公开发表学术论文数篇。

万方数据