

· 综合研究 ·

大庆油田葡南地区葡萄花油层裂缝定量预测

刘彦君*^① 刘大锰^① 王燕津^②

(①中国地质大学(北京);②吉林油田)

刘彦君,刘大锰,王燕津. 大庆油田葡南地区葡萄花油层裂缝定量预测. 石油地球物理勘探, 2008, 43(2): 196~200

摘要 应用单井交叉式多极子阵列声波测井、岩心的差应变和声发射地应力测试资料对葡南地区的构造应力场进行了定量研究,并应用3D Move软件对该区储层裂缝进行了定量研究。古应力场研究表明,该区燕山晚期的构造应力场为近E—W向水平挤压应力为主,平均最大主应力值为58.4MPa;喜马拉雅期的构造应力场为NNE—SSW方向水平挤压应力,平均最大主应力值为48.1MPa;葡萄花油层现今最大水平地应力的范围在24~37MPa之间,最小水平地应力的范围在21.1~28.7MPa之间,最大主应力方向分别为NEE—SWW向。3D Move的裂缝预测和开启性研究表明,研究区裂缝发育呈近南北向条带状分布,裂缝主要分布在Pu381井—Ao356-67—Ao402-61一带、Ao344-14井区、M701井区、M6井区、M403-M405井区,裂缝发育方向以NNE、NNW两组;NE方向发育的裂缝开启性好于其他方向的裂缝;Pu381井区、Ao402-61井区及M403-M405井区以南区域裂缝开启性最好。预测的结果与实钻结果吻合较好。

关键词 大庆油田 葡南地区 葡萄花油层 构造应力场 裂缝 定量预测

1 引言

作为大庆油田重要的含油层之一,姚家一段葡萄花油层的储层在大庆长垣南部的葡南地区为三角洲前缘亚相的席状砂沉积和湖相滨湖砂沉积。该储层多数以含泥长石岩屑粉砂细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂、粉砂质泥岩为主,储层厚度较薄,多在1~2m之间,储层的平均有效孔隙度为14%,平均空气渗透率仅为0.46mD,具有低渗储层的明显特征。近年来,在葡南地区发现控制储量近 8000×10^4 t,表明该区的潜力很大,是油藏评价的主要区块,也是近几年来产能建设的重要地区。因此,在该区进行构造应力场定量研究和储层裂缝的定量预测具有十分重要的意义。

2 构造应力场定量研究

构造应力场是储层构造裂缝形成的主要外部因素和动力^[1],因此开展储层裂缝的研究,首先必须进

行构造应力场的研究。定量研究构造应力场分布不仅可以提供构造应力场与储层构造裂缝数值模拟的边界条件,同时还对指导合理开发低渗透油田具有十分重要的作用。

2.1 应力背景

松辽盆地自姚家一段沉积以来共经历了三次挤压构造事件(构造活动期),即嫩江组沉积末期、明水组沉积末期和依安组沉积末期,分别造成了中浅层三个重要的不整合面。构造应力来自盆地东部,后两期构造运动活动强度大于嫩江组沉积末期的构造活动强度。在嫩江组沉积末期形成褶皱构造雏形,在明水组沉积末期褶皱基本定型,在依安组沉积末期最终形成现今形态。

2.2 构造应力场定量研究

大量研究表明,松辽盆地葡萄花油层储层中的裂缝主要是在地质历史时期中的古构造应力场作用下形成的,其中古构造应力场的主应力方向控制了裂缝的延伸方位,古构造应力场的差应力值($\sigma_1 - \sigma_3$)决定了裂缝的发育程度^[2,3]。新构造期的构造变形作用相对稳定,构造应力值相对较低,在大

*北京市朝阳区安慧北里逸园3-4-1301,100101

本文于2007年6月14日收到。

陆板块内部没有发生强烈的构造变形。因此,古构造应力场决定了储层构造裂缝的分布,而现代构造应力场主要是影响储层中裂缝的目前保存状态及其渗透性。古今构造应力场的定量研究,对预测储层裂缝的发育规律以及评价裂缝的渗流作用具有重要作用。

2.2.1 古应力场的确定

为了进行古地应力的研究,在研究区内选取了两口井(Ao322-55 井和 Ao362-98 井)开展差应变和声发射地应力测试,以期获得地应力的方向、大小。

差应变法是一种通过室内岩心实验确定野外三维应力方向及应力值的方法。把已发生应力释放的岩心密封后,放置于高压容器中,在各向应力相同的条件下,进行恢复性的加载,在加载过程中,三个方向的应变变量出现差异。在原始应力最大的方向应变变量最大,在原始应力最小的方向应变变量最小。通过测试上述岩心各方向的应变之差,可知道这块岩心在地层中所受的应力状态。

声发射法(AE 法)的原理是基于声发射活动中的凯瑟(Kaiser)效应,它是指岩石或材料经历过一次或多次加载—卸载过程后,再对其加载时,只要未达到以前所承受的最大主压应力值,则没有或很少出现声发射,而一旦超过先存的最大主压应力值的位置,则声发射活动显著加强,出现显著声发射计数的转折点,这个点称为凯瑟点(K 点)。K 点与岩

石试样先存最大主压应力值相对应。因此可以用声发射(AE)法定量测量古今地应力场的最大主应力大小。

对两口井的 6 块岩心分别进行差应变和声发射地应力测试实验,获得的地应力测试结果见表 1。两种应力测量方法得出的应力方向一致性较好,对于实验井取心深度处的平均方向比较接近。实验结果表明,研究区的最大水平主应力方向为 NE 向,在 2000m 以上深度,垂向主应力可能是最大或中间主应力。在这 6 块岩心中,5 块的实验结果吻合较好,反映了实验结果的可信性。

研究中还在各时代地层内同时进行声发射应力测定。通过从新到老各地层特征应力值的确定,其剩余应力值就可能是最老地层所特有的^[4,5]。根据研究区岩石样品的声发射测定,剔除新构造运动的影响,研究区葡萄油层岩石还记忆了 2 次主要构造运动。根据该区构造演化史和区域应力场分布特征,岩石中所记忆的 2 次古构造运动分别为燕山晚期构造运动和喜马拉雅构造运动。测试结果反映研究区在燕山晚期的构造应力场主要表现为近 E—W 向水平挤压为特征,岩石记忆信息 AE 法测试的平均最大主应力值为 58.4MPa;喜马拉雅期的构造应力场主要表现为 NNE—SSW 方向水平挤压为特征,岩石记忆信息 AE 法测试的平均最大主应力值为 48.1 MPa。

表 1 葡南地区葡萄油层差应变和声发射地应力测量结果表

井号	岩心号	井深 m	测量方法	σ_v MPa	σ_H MPa	σ_h MPa	$\sigma_{H_{max}}$ 方向
Ao322-55	AD1	1280.7	差应变 声发射	29 27.1	32.4 31.34	22.6 21.47	N30.3°W N61.05°W
Ao322-55	AD2	1298.4	差应变 声发射	29.5 28.11	35.7 34.2	22.35 21.91	N55.5°W N71.05°E
Ao322-55	AD3	1298.1	差应变 声发射	29.47 27.98	36.3 34.3	22.25 20.96	N47.39°E N41.75°E
Ao322-55	AD4	1297.8	差应变 声发射	29.4 30.22	34.7 36.14	25.88 26.39	N62.39°E N80.55°E
Ao322-55	AD5	1293.8	差应变 声发射	29.08 28.07	39.0 36.29	25.23 23.12	N10.82°E N28.85°E
Ao362-98	AD6	1325.3	差应变 声发射	30 28.39	22 21.72	19.45 18.46	N61.96°E N59.15°E

2.2.2 现今地应力场的确定

研究中分别运用单井交叉式多极子阵列声波测井和岩心声发射地应力测试实验来确定研究区的现今应力场特征。

利用交叉式多极子阵列声波测井资料不仅可以分析岩石的力学特性,而且可以得到单井目的层段的各向异性特征,进而得出目的层的现今应力场分布。对 Ao336-72 和 Nan 222-352 两口井的交叉式

多极子阵列声波测井资料分析结果表明, Ao336-72 井在 1250.0~1350.0m 段地层破裂压力梯度多在 0.0195~0.0239MPa/m 之间, 闭合压力梯度多在 0.0165~0.0210MPa/m 之间; Nan 222-352 井在 1255.0~1330.0m 段地层破裂压力梯度多在 0.02~

0.026MPa/m 之间, 闭合压力梯度多在 0.017~0.023MPa/m 之间。应用交叉式多极子阵列声波测井的各向异性分析成果图(图 1), 可得到 Nan 222-352 井各向异性分析层段数据, 在 1270~1300m 井段的各向异性为 1.5%~2.5%, 多数为地应力的影响。

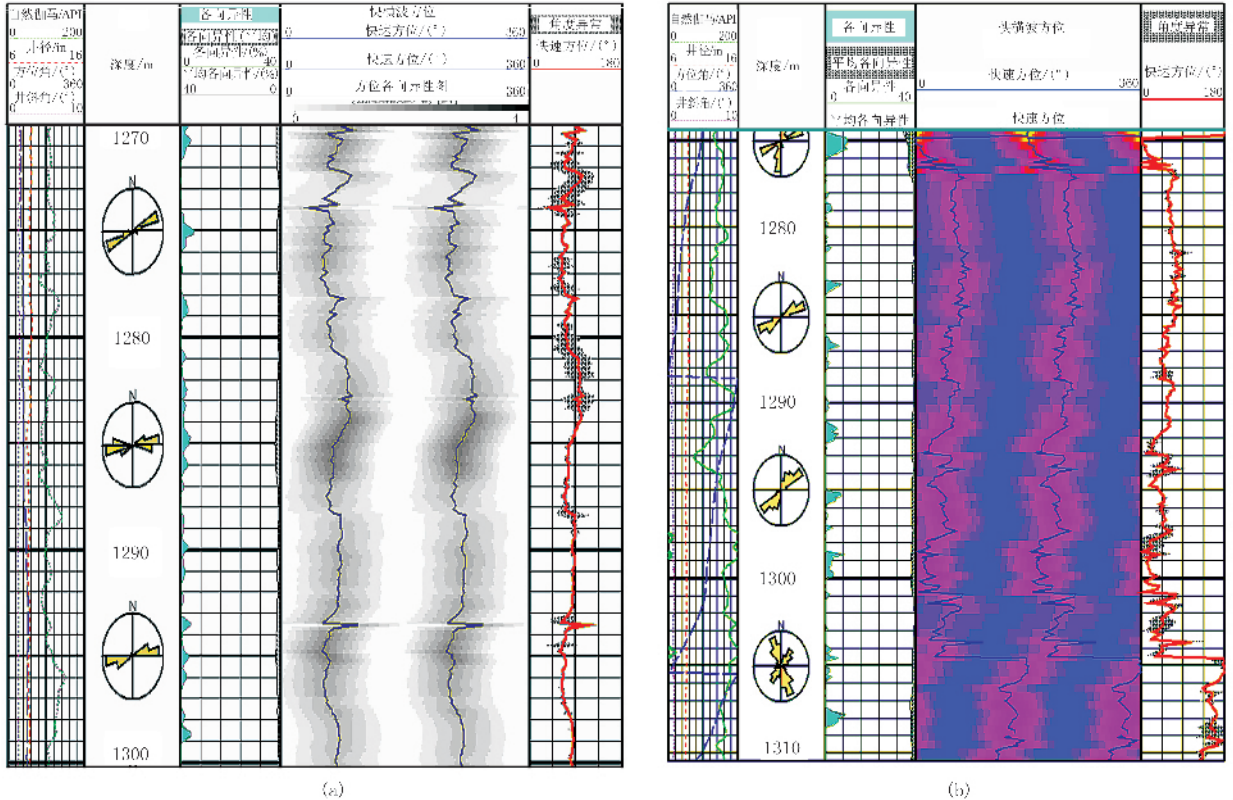


图 1 单井目的层段的各向异性成果图

(a) Nan 222-352 井; (b) Ao336-72

目的层最大水平地应力方位多在 90° 左右, 井段内的最小水平地应力的范围在 14.5~30.3MPa 之间。而 Ao336-72 井目的层最大水平地应力方位在 $50^\circ\sim 70^\circ$ 之间, 说明本区最大水平地应力方向主要为 NEE 向。研究区目的层最大水平地应力的范围在 24~37MPa 之间, 最小水平地应力的范围在 21.1~28.7MPa 之间。

钻孔深处的岩心能够记忆古今应力数值, 声发射法既可测量现今应力值又可测量古应力值。现今地应力值确定一般是依据在初压(第一次加载)声发射累积数与外加应力响应曲线上的斜率陡增点比较明显。研究区内 Ao322-55 井和 Ao362-98 井岩心样品的声发射 AE 测量值和松辽盆地现今地应力场的变化规律(现今地应力场的最大主应力分别为 33.93MPa 和 28.39MPa)表明, 各个岩心所

测得的地应力的数值与方向较为接近, 具有较好的一致性, 反映了该区地层地应力的大致分布情况。由差应变地应力测试分析得到研究区地应力的最大主应力方向分别为 $N65^\circ E$ 和 $N59.15^\circ E$, 反映葡南地区现今地应力场的最大主应力方向为 NEE—SWW 方向。

3 储层裂缝分布预测

用 3D Move 软件方法对葡南地区葡萄花油层的裂缝进行了预测。3D Move 裂缝预测方法是一种基于地震解释建立三维构造模型的地质成因法, 它通过各种构造恢复算法对地层的构造发育历史进行反演和正演来计算地层的应变值。以应变值作为主控参数, 同时考虑地层厚度、岩性、裂缝发育方向

等参数对裂缝发育的相对富集带及主要发育方向进行预测,并可以对裂缝的开启性和裂缝的富集带及发育方向进行预测,即从构造成因的角度对裂缝进行预测,并对裂缝开启性进行分析^[12]。该软件进行储层预测时基本不受地震资料的分辨率和已钻井数的限制和应力场边界条件的限制,因此在裂缝预测中具有独特优势,是裂缝性油气藏勘探开发过程中的新手段。

应用 3D Move 对葡南地区葡萄花油层的裂缝预测时,首先运用解释的目的层葡萄花油层构造数数据体进行三维平衡恢复,在此基础上建立三维构造模型;再通过构造恢复技术模拟多期构造运动的综合结果,计算出地层的应变量,获得目的层的应变图;然后以应变量为控制裂缝生长的参数,同时考虑地层厚度、岩性以及从岩心和测井资料分析得到的裂缝形态及发育方向等参数,采用随机模拟算法预测裂缝发育密度和方位,并提取出裂缝的开启性发育图。

从预测得到的葡南地区葡萄花油层的裂缝预测平面图(图 2)可以看出,研究区主要发育与主断裂

方向正交的两组裂缝,且储层裂缝的分布也很不均匀。从整体上看,研究区西部裂缝比东部裂缝发育。从平面上看,裂缝发育呈近南北向条带状分布,裂缝主要在 1 号区 Pu381 井—Ao356-67—Ao402-61 井区一带、2 号区 Ao344-14 井区、3 号区 M701 井区、4 号区 M6 井区、5 号区 M403-M405 井区,裂缝发育方向有 NNE、NWW 两组,与应变量分布区接近。这种裂缝发育与该区近 NE 向断层的分布有关,反映了该区储层裂缝的发育除了受构造应力场和储层岩石控制外,还受断层分布的控制,与地质分析结果完全吻合。在裂缝分布图上,测井解释的有利储层与裂缝发育区吻合较好,位于几组裂缝相交地区,且开启性较好。

图 3 为葡南地区葡萄花油层的裂缝开启性发育平面图。该图表明 NE 方向发育的裂缝开启性好于其他方向的裂缝;从平面上看,Pu381 井区、Ao402-61 井区及 M403-M405 井区以南区域裂缝开启性最好,Ao344-14 井区裂缝开启较差。根据裂缝预测结果,区内葡萄花油层发育一些构造裂缝,但分布很不均匀。已见油流的 Pu381、Ao402-61 等井区都位于开启性较好的裂缝发育区。

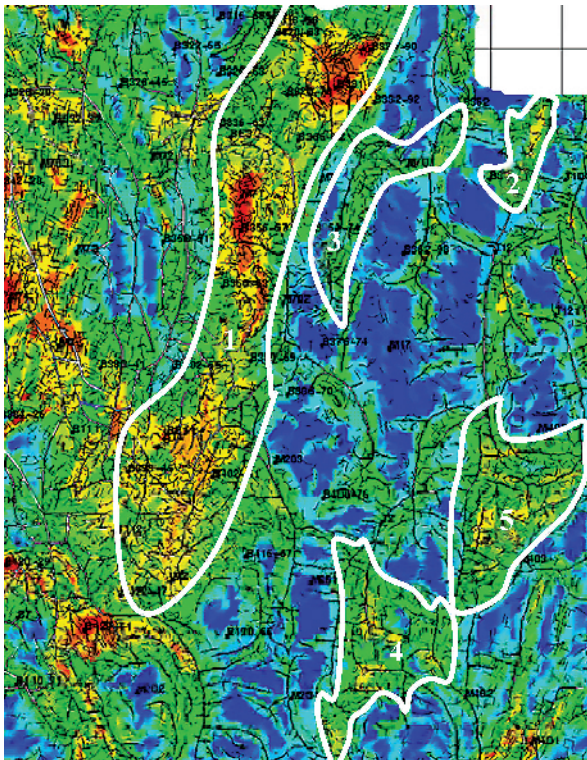


图 2 葡南地区葡萄花油层裂缝预测图

图中细小的黑线代表裂缝发育的方向和长度;细线的密度表征裂缝的发育程度

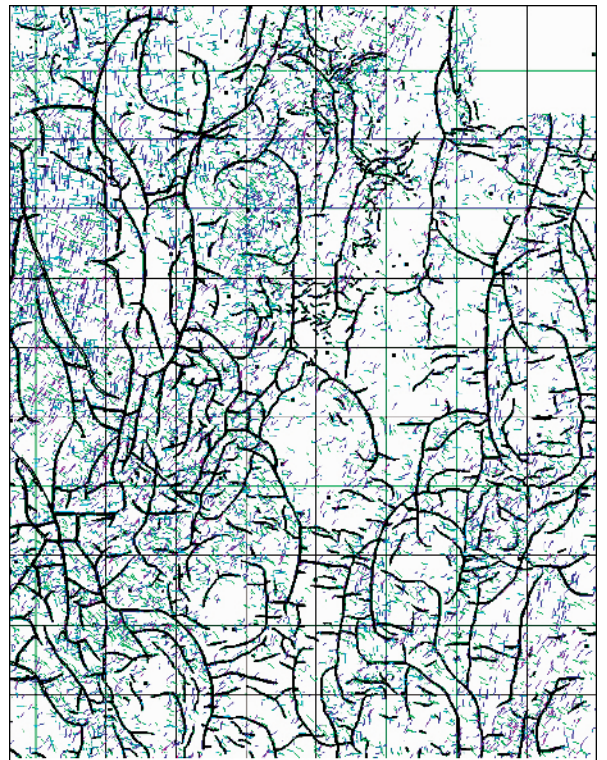


图 3 葡南地区葡萄花油层裂缝开启性发育图

图中细线是裂缝发育的分布,细线的颜色代表着裂缝开启性的好坏,粉色的是开启性最好的

4 结论

(1)古应力场研究表明,研究区两次主要构造运动期的应力特征分别为:燕山晚期的构造应力场主要表现以近 E—W 向水平挤压为特征,AE 法测试的平均最大主应力值为 58.4MPa;喜马拉雅期的构造应力场主要表现以 NNE—SSW 方向水平挤压为特征,AE 法测试的平均最大主应力值为 48.1 MPa。

(2)现今地应力场研究表明,研究区葡萄花油层最大水平地应力的范围在 24~37MPa 之间,最小水平地应力的范围在 21.1~28.7MPa 之间。差应变地应力测试表明,研究区地应力的最大主应力方向分别为 N65°E 和 N59.15°E,为 NEE—SWW 方向。

(3)3D Move 法裂缝预测表明,研究区主要发育与主断裂方向正交的两组裂缝,且储层裂缝的分布也很不均匀,研究区西部裂缝相对比东部裂缝发育。从平面上看,裂缝发育呈近 SN 向条带状分布,裂缝主要在 Pu381 井—Ao356-67—Ao402-61 井区一带、Ao344-14 井区、M701 井区、M6 井区、M403-M405 井区,裂缝发育方向为 NNE、NWW 两组,与应变分布区接近。这种裂缝发育与该区近 NE 向断层的分布有关,反映了该区储层裂缝的发育除了受构造应力场和储层岩石控制外,还受断层分布的控制。

(4)3D Move 法裂缝开启性研究表明,研究区 NE 方向发育的裂缝开启性好于其他方向的裂缝;平面上 Pu381 井区、Ao402-61 井区及 M403-M405 井区以南区域裂缝开启性最好,Ao344-14 井区裂缝

开启较差。钻探证实 Pu381 井区、Ao402-61 井区及 M403-M405 井区储层裂缝发育程度高,是葡南地区葡萄花油层的主要产区。

构造应力场的定量研究和储层裂缝的定量预测在该区的研究结果与该区实际地质情况和实际钻探结果较为吻合,研究结果可以为该区的低渗储层的高效开发提供依据。

参考文献

- [1] 苏培东等. 储层裂缝预测研究现状与展望. 西南石油学院学报, 2005, 17(5): 14~17
- [2] 陈子光. 岩石力学性质与构造应力场. 北京: 地质出版社, 1986
- [3] 黄继钧. 油气田构造地质力学分析. 成都: 成都科技大学出版社, 1996
- [4] 李志明, 张金株. 地应力与油气勘探开发. 北京: 石油工业出版社, 1997
- [5] 宋惠珍, 黄立人. 地应力场综合研究. 北京: 石油工业出版社, 1990
- [6] 周新桂, 张利容, 张明利等. 辽河欢喜岭油田中潜山带成藏期应力场及裂缝分布规律研究. 新疆石油地质, 2003, 24(1): 50~54
- [7] 周新桂, 孙宝珊. 辽河张强凹陷科尔康油田储层裂隙预测研究. 地质力学学报, 1998, 4(3): 70~75
- [8] 张帆, 贺振华. 预测裂缝发育带的构造应力场数值模拟技术. 石油地球物理勘探, 2002, 35(2): 154~163
- [9] 陈波, 田崇鲁. 储层构造裂缝数值模拟技术的应用实例. 石油学报, 1998, 19(4): 50~54
- [10] 王志章. 裂缝性油藏描述及预测. 北京: 石油工业出版社, 1999
- [11] 周新桂, 操成杰, 袁嘉音. 储层构造裂缝定量预测与油气渗流规律研究现状和进展. 地球科学进展, 2003, 18(3): 398~404
- [12] 吴时国, 王秀玲, 季玉新. 3D Move 构造裂缝预测技术在古潜山的应用研究. 中国科学 D 辑——地球科学, 2004, 34(9): 818~824

(本文编辑:冯小球)

欢迎订阅

2008年《石油地球物理勘探》期刊

全年定价: 294.00 元; 合订本价: 315.00 元

联系电话: 0312-3739320; 传真: 0312-3822804

联系人: 苏丽霞