

文章编号: 0253-9985(2001)04-0322-04

大民屯凹陷静安堡西侧低潜山 变质岩储层裂缝发育特征

吴智勇, 郭建华, 吴东胜

(江汉石油学院, 湖北荆州 434102)

摘要: 大民屯凹陷静安堡西侧低潜山储层裂缝以高角度缝为主, 次为倾斜缝。裂缝的发育经历了中生代晚期-早第三纪早、中期和早第三纪晚期两次大的形成期。物性分析表明, 潜山变质岩储层基质孔隙度很低, 一般只有1%~5%, 渗透率大多低于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 因此这些基质孔隙对油气储集作用非常有限, 构造裂缝是变质岩储层的主要储集空间和运移通道。裂缝的形成与发育程度受岩性、断层、埋深及古风化作用的影响, 随着岩石中浅色矿物的增加, 岩石脆性成分变多, 岩石的宏观裂缝就越发育; 越靠近断层和构造活动区, 裂缝发育程度就越高; 裂缝的有效性随着埋深的增加而变差, 甚至成为无效裂缝; 一般来说, 潜山风化带顶面的裂缝较发育, 但这些裂缝容易受到泥质的充填, 极易成为无效裂缝。因此, 潜山风化带的储集物性并不一定好。

关键词: 潜山; 变质岩; 裂缝; 物性特征; 影响因素

第一作者简介: 吴智勇, 男, 37岁, 副教授(硕士), 地层学与沉积地质学

中图分类号: P618.130.2⁺1

文献标识码: A

1 地质概况

大民屯凹陷位于辽河盆地的北部, 面积约800 km², 是一个周边为断层切割的三角形地堑式凹陷。中新世代的构造运动控制了凹陷的形态和基本构造格局。不同时期和不同性质的断裂相互交织成网格状, 并成为不同级别构造单元的界线。凹陷内的二级构造单元呈NE走向, 凹陷相间, 雁形排列, 具体可分为前进断裂背斜构造带、静安堡断裂鼻状构造带、边台-法哈牛构造带和网户屯斜坡带。研究区即位于静安堡断裂鼻状构造带西侧的低潜山带。

区域资料及钻井岩芯分析表明, 该区潜山主要由太古界变质岩组成, 包括区域变质岩、混合花岗岩及其受构造作用改造形成的碎裂变质岩。其储集空间类型与碳酸盐岩储层相似, 也包括溶蚀孔隙和裂缝两种类型。但由于矿物组成上的差异, 该区变质岩的溶蚀孔隙无论在数量上还是规模上都远不如碳酸盐岩, 除部分动力变质作用强烈、碎裂岩发育的层段, 沿碎裂带晶间孔、晶内溶孔等较发育, 其储层具有一定的双重介质特征外, 大部分区域及层段作为变质岩油气储集空间及运移通道的主要是构造裂缝。

2 裂缝特征

2.1 类型

在现场岩芯观察中, 几乎每块岩芯上均可见到裂缝, 裂缝多为平直延伸, 但弯曲缝也很常见; 裂缝密度不等, 每十厘米多为6~8条, 最多可达18~20条; 张开度多在0.1~1 mm之间, 最大可见2 mm, 充填、半充填及未充填缝均有, 充填物多为方解石和伊利石, 也可见泥质充填。从裂缝与岩芯轴垂直面的夹角来看, 大多为高角度缝, 次为夹角大于20°的倾斜缝, 很少见到夹角<20°的水平缝。

常规薄片、铸体薄片以及扫描电镜观察发现, 该区变质岩储层中显微和超显微裂缝以及溶蚀微孔较发育, 大多为未充填或半充填, 充填物多为方解石和粘土矿物, 其充填程度要低于宏观裂缝。这些微裂缝和溶蚀微孔在地下高压条件下, 可以作为油气的良好储集空间。

2.2 形成期次

根据区域构造演化特征, 结合钻井岩芯观察, 我们认为该区变质岩储层裂缝经历了两次大的形成时期。在辽河盆地形成之前的中生代晚期至早第三纪早、中期, 辽河地区以拉张为主, 形成了一系列的张性断层。与此相伴生, 在作为盆地基底的太古界变质岩中形成了众多张性裂缝。岩芯观察表明, 该区裂缝以高角度张性裂缝为主, 占77%以

上, 反映出该区裂缝主要是在拉张构造应力体制下形成的^[1]。这一时期形成的张性缝, 尤其是在盆地深陷期形成的裂缝在时间上与生油岩的生烃时间配合较好, 是该区变质岩储层的主要储集空间。

早第三纪晚期(东营组沉积时期), 随着太平洋板块向欧亚板块的俯冲, 辽河盆地由早期的拉张裂陷为主转变为以走滑为主, 形成了一系列走滑断层, 部分盆地演化早期形成的张性断层和张性裂缝呈现出先张后剪的特点。这一时期形成的裂缝以平直的剪切缝为主, 由于形成时间相对较晚, 这些剪切缝大多为张开缝, 对串连储油空间及油气运移较为有利。

由于缺少各井的地层倾角测井资料, 我们无法对该区变质岩储层的裂缝发育方位作准确评价。但曾联波等^[1]曾对该区东部静 52 块变质岩潜山 6 口取芯井 7 个井段共 31 块样品, 同时用热退磁方法和交变退磁方法进行了分析。热退磁处理采用的温度为 100~ 600 ℃, 交变退磁处理采用的磁场强度为 7 958~ 79 577 A/m。测试结果表明, 该区主要发育有 NNE- NE 向、NW 向和近 EW 向 3 组裂缝, 其中以 NNE- NE 向裂缝最为发育, 这与张学汝等^[2]对该区南部东胜堡潜山、东部边台潜山和西部凹陷牛心坨潜山以及吴智勇等^[3]对西部凹陷曙 103 块潜山研究后得出的裂缝发育方位相一致, 也与该区区域构造的发育方位一致, 表明这些裂缝是在一个共同的应力场背景下形成的。

2.3 电性

该区变质岩储层由于原岩、变质程度及后期热液改造过程的不同, 各井区及各井段的岩性类型极为复杂, 裂缝发育段的电性特征也极为复杂, 用单一种测井曲线或统一的标准来判别裂缝发育程度几乎不可能。这也是困扰变质岩区油气勘探进程的难点之一。目前, 研究者大多采用多条曲线综合使用的办法^[4~ 6], 对不同的区块均收到了一定的效果。

揭克常^[4]在对研究区邻区(东胜堡) 的变质岩油藏的研究中, 用声波时差及深浅侧向曲线综合判断裂缝储层, 指出当 $A_c \cdot Rt / R_s > 187$, 且 $Rt \leq 10\,000\ \Omega \cdot m$ 时为裂缝储层, 反之则为非储层。通过岩芯观察、测井曲线及试油结果的综合对比, 我们认为这一标准较为符合研究区的裂缝发育段的特征, 故在研究区的裂缝段判别中主要采用了这一标准。

3 储层物性

变质岩是一种超低孔隙储层, 一般不存在或很少存在原生的粒间孔或晶间孔, 根据常规岩芯分析得到的孔隙是由细小的裂缝构成。岩石薄片和电镜分析表明, 这部分“孔隙”主要包括: 长石矿物的解理缝, 长石、石英的裂纹缝, 层理、片麻理缝, 晶间缝, 粒内、粒间溶孔等几种形式, 这些“孔隙”具有类似基质孔隙的特征。

目前, 常规物性分析所取的样品较小, 而且岩样在钻取过程中遇到大裂缝就要破碎。所以岩芯分析孔隙度可以看作“基质”孔隙度。在本次研究中, 对研究区及东胜堡潜山的 10 口井共 30 块样品的变质岩储层物性进行分析, 其中部分样品在作渗透率测试中裂开而无数据。测试结果见表 1。

表 1 大民屯凹陷变质岩储层岩芯物性分析

Table 1 Physical properties of metamorphic reservoir cores in Damintun Depression				
样品序号	井号	深度/m	孔隙度 / %	渗透率 / 10 ⁻³ μm ²
3	胜 10	3 669.35~ 3 670.35	1.7	0.070
4	胜 10	3 669.35~ 3 670.35	1.4	-
7	胜 21	3 014	3.1	0.885
9	胜 21	3 017	6.5	0.438
11	胜 21	3 052~ 3 052.5	5.2	0.071
14	胜 21	3 140.3~ 3 142.3	0.85	0.023
16	胜 21	3 200~ 3 200.8	1.3	0.011
17	胜 21	3 230~ 3 231	1.9	1.130
18	胜 21	3 281~ 3 282	1.3	0.560
20	安 1	2 732.25	2.4	-
21	安 1	2 732.79	5.4	0.073
25	安 83	2 482.1	2.2	0.210
26	安 83	2 482.5	5.3	0.067
28	安 83	2 796.67~ 2 797	1.1	0.102
32	安 113	2 999~ 3 000	4.2	-
33	安 131	2 808.5	1.4	0.017
34	安 131	2 809	1.9	0.022
35	安 131	2 850.5	4.0	-
36	安 131	2 900.5	2.5	0.929
37	安 131	2 949.2	2.3	0.286
38	沈 136	3 554.66~ 3 555.75	1.5	0.167
39	沈 136	3 554.66~ 3 555.75	1.3	0.007
*	沈 616	3 341	3.8	-
*	沈 616	3 345	20.6	-
*	沈 616	3 400	0.7	-

注: 表中注“*”的数据来自辽河油田研究院测试报告

另外, 曾联波等^[1]对该区 15 口井岩芯和 110 块薄片的统计, 该区裂缝总平均孔隙度为 2.92%, 其中宏观裂缝系统的平均孔隙度为 0.2%, 微裂缝

系统的平均孔隙度为 2.72%。

从表 1 可以看出, 该区潜山变质岩储层的岩芯测试的基质孔隙度很低, 一般只有 1%~5%, 这一数值对于致密的基岩潜山储层而言并不算低, 但由于衡量孔隙连通性的渗透率大多低于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 因此这些“基质”孔隙对该区的油气储集的作用非常有限。曾联波等^[1]统计的结果也表明, 该区微裂缝系统的渗透率为 $0.107 \times 10^{-3} \sim 1.17 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均为 $0.704 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。另外, 从铸体薄片分析结果来看, 有一半以上的样品在铸体分析中未见到孔隙, 分析结果有意义的样品大多是碎裂岩或是微裂缝发育, 这表明该区决定储层物性的主要因素是裂缝, 尤其是裂缝的开度, 而缺少裂缝串连的溶蚀微孔和微缝对于该区的变质岩储层的物性影响较小。

4 影响因素

4.1 岩性

大量的岩芯及薄片资料统计表明, 储集层构造裂缝发育程度与岩性密切相关。岩性对储集层裂缝的影响主要表现在岩石含脆性组分的高低、岩石结构、构造的差异及岩石力学参数的不同对构造裂缝的控制作用。一般构造裂缝在含高脆性成分的岩石中比在含低脆性成分的岩石中更发育。在变质岩中, 其脆性成分一般是各类石英、长石等矿物。显然, 变质岩储集层中混合花岗岩所含脆性成分最高, 长石、石英含量达 90%~95%; 其次是黑云斜长片麻岩, 其石英、长石含量为 70%~85%; 而辉绿岩中含脆性组分最低, 因而混合花岗岩中构造裂缝比黑云斜长片麻岩中发育, 而辉绿岩中构造裂缝发育程度最差。在黑云斜长片麻岩中, 由于片麻状构造中含脆性矿物少而浅色矿物中含脆性成分多, 因而在相同构造应力作用下, 在浅色矿物中易形成构造裂缝。陈元春等^[7]对不同变质岩进行的分维研究, 结果表明, 碎裂岩、混合花岗岩、片麻岩及辉绿岩的分维数分别为 1.605 84, 1.401 76, 1.208 15, 1.115 43, 呈现出依次减小的规律, 反映出从碎裂岩至混合花岗岩至片麻岩至辉绿岩, 裂缝发育程度也依次降低。

4.2 断裂

辽河盆地储集层构造裂缝是在伸展构造背景下形成, 如同伸展主断层控制次一级正断层一样, 伸展断层控制了该区储集层构造裂缝的分布。

在伸展体制下的伸展断层附近, 构造应力及构

造裂缝分布具有分带性。在伸展断层附近, 主要为伸展作用下断层活动所产生的应力扰动带, 其宽度大致为断层断距的一半。在应力扰动带内, 形成与断层活动有关的局部构造裂缝, 包括一组近垂直的张裂缝和两组斜交的剪裂缝。在距伸展断层一定距离的部位为应力集中带, 该带距伸展断层的距离大致为其高度的三分之一至二分之一, 远离断层方向止于岩石变形较弱部位。应力集中带主要分布于伸展断层上盘, 平面上呈带状, 而剖面上是正扇形分布^[2]。对于研究区而言, 该应力集中带内主要形成与伸展断层平行的张裂缝, 以及与断层斜交或横交的张裂缝(共 3 组), 其中以与伸展断层平行的一组张裂缝(NE-NNE 向)最发育, 而其他两组(NW 向和近 EW 向)发育相对较差。在应力扰动带和应力集中带之间, 常为应力低值区。

应力及构造裂缝的这种分带性决定了储集层构造裂缝的分布特征。在应力扰动带中, 为分布宽度有限的、与断层活动有关的局部构造裂缝; 而在应力集中带, 为构造裂缝的主要分布区。因而伸展构造所形成的构造裂缝是以区域缝为主, 在整体上具分散透入性特征。构造裂缝在断层上盘更发育, 剖面上呈正扇形分布, 通常与伸展断层平行的一组构造裂缝比其他两组更发育。

4.3 深度

随深度的增加、地层压力升高, 储集层裂缝开度减小, 孔隙度降低。

岩石处于地下深处, 承受周围岩体及上覆岩体对它的静岩压力。岩石所处深度越大, 围压越高, 其效应是岩石的塑性增大。对某些花岗岩进行的试验证明, 当围压增大至 23.8 MPa 时, 岩石开始表现为塑性。这就是说, 在地表附近, 大多数结晶岩石表现为脆性; 但当处于地壳深处, 结晶岩石就会变为有高度塑性的物质, 乃至呈现粘性流动-蠕变。其结果会使岩石裂缝开度逐渐随着深度的增加而变小以至趋于闭合, 也就是说, 裂缝的有效性随着深度的增加而变差乃至最后失去其有效性。

4.4 古风化作用

古风化作用是指地质历史时期各种外来地质营力曾经对古地貌山施加的一系列物理、化学作用。其中的淋滤溶蚀作用会使岩石裂缝开度加大, 增加了裂缝的有效性。这种作用仅发生在重力渗流带和水平溶蚀带, 因此影响程度有限, 并受当时地貌山相对高差及潜水面深度的控制。由于水的

不断流动, 这两个带中相对易溶解于水的矿物质不断地从裂缝中被带走, 并在水平溶蚀带以下的滞流带的裂缝中结晶沉淀。所以在滞流带及其以下的裂缝易被矿物质所填充, 从而减小裂缝的有效性。

在该区太古界变质岩潜山顶面, 由古风化作用形成的表层风化带普遍发育, 该带表现为高孔隙、低渗透, 孔隙度高达 10% 左右; 电性特征表现为低电阻特征。根据低电阻特征可以确定该区太古界变质岩潜山表层风化带一般为 10~ 50 m 不等。从该区各井试油情况来看, 各井出油井段并不规则, 总体上上部比下部好, 但风化带并不一定是好的储集层, 在试油时, 如果不与上部合试的话, 风化带的出油量很小, 甚至是干层, 胜 20 井就是一个典型的例子。这种对出油无贡献的表层风化带在下辽河拗陷基底普遍存在。这是由于该带经长期暴露地表遭受风化而裂缝发育, 但由于直接与下第三系接触, 裂缝极易被上覆第三系泥质及其它填隙物充填成为无效裂缝, 因此其储集性能并不一定好。

总体而言, 研究区变质岩潜山储层中构造裂缝的发育程度, 受到变质岩岩性、构造作用、埋深等因

素的影响, 储集空间的发育表现出极大的不均一性。岩石中浅色矿物的含量越高, 岩石的宏观裂缝越发育; 平面上, 越靠近断层和构造活动区, 裂缝发育程度越高; 垂向上, 靠近潜山顶面, 岩石的物性要好一些, 但潜山风化带由于更容易受到泥质的充填, 其储集物性并不一定好。

参 考 文 献

- 1 曾联波, 任德生. 大民屯凹陷静 52 断块油藏裂缝参数研究[J]. 断块油气田, 1998, 5(4): 29~ 32
- 2 张学汝, 尹万泉, 张吉昌, 等. 变质岩储集层构造裂缝研究技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999
- 3 吴智勇, 郭建华, 吴东胜, 等. 辽河西部凹陷曙 103 块潜山油藏储层特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2001, 25(1): 42~ 45
- 4 揭克常. 东胜堡变质岩油藏[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 5 景永奇, 秦瑞宝. 利用裂缝指示曲线判别花岗岩潜山纵向裂缝发育带[J]. 测井技术, 1999, 23(1): 38~ 42
- 6 罗利, 任兴国, 姚声贤. 花岗岩储层裂缝评价及其横向预测[J]. 测井技术, 1998, 22(3): 204~ 207
- 7 陈元春, 王桂珍, 陈和平. 辽河边台潜山裂缝性储集层特征[J]. 新疆石油地质, 1998, 19(3): 228~ 230

FRACTURED CHARACTERISTICS OF METAMORPHIC RESERVOIRS IN LOW BURIED-HILL IN WEST OF JING' ANPU, DAMINTUN DEPRESSION

Wu Zhiyong Guo Jianhua Wu Dongsheng
(Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou, Hubei)

Abstract: Metamorphic reservoir fractures in low buried hill in the west part of Jing' anpu, Damintun Depression are primarily high angle fractures. The evolution of the fractures underwent Late Mesozoic - early and middle Early Tertiary forming stage and the late Early Tertiary forming stage. Since matrix porosity of the reservoirs is only 1% ~ 5%, and the permeability is $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, tectonic fractures are the main reservoir spaces and migration paths of the metamorphic reservoirs. The formation of the fractures was affected by lithologic features, faults, burial depth and paleo-aeculation. In general, the reservoir property of weathered zones in the buried hill may be not so good.

Key words: buried hill; metamorphic rock; fracture; physical property; influence factor