

文章编号: 0253-9985(2009)02-0188-07

辽西低凸起变质岩潜山裂缝储层及成藏条件

刘 乐¹, 杨明慧^{1,2}, 李春霞³, 郑晓凤⁴

(1 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249 2 中国石油大学 油气资源与探测国家

重点实验室, 北京 102249 3 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安 710069

4 中国石油天然气股份有限公司, 冀东油田公司勘探开发研究院, 河北 唐山 063004)

摘要: 在岩心、薄片及 FM I 全井眼微电阻率成像测井和地震相干体切片分析基础上, 研究了辽西低凸起太古界变质岩潜山储层的岩石学特征、储集空间类型、垂向成像测井响应特征、含油层段物性特征及裂缝发育带平面分布情况。研究发现, 该区的变质岩储层岩性包括混合岩类、区域变质岩类和碎裂岩类等三种类型; 储集空间类型包括裂缝、溶蚀孔洞和微孔隙, 其中以构造裂缝为主。利用成像测井和双侧向等常规测井解释总结出五种测井响应类型并描述其识别特征, 结合孔隙度测井对含油层段孔隙度范围和测井响应特征对比研究, 并依据相干体切片分析了反映构造裂缝发育程度的断裂信息维数与油气藏数目之间的定量关系, 进而从垂向和横向上揭示有利储层分布, 为成藏综合分析提供依据。

关键词: 裂缝储层; 成像测井响应; 变质岩潜山; 辽西低凸起; 渤海湾盆地

中图分类号: TE112.2 文献标识码: A

Fractured reservoirs in metamorphic buried-hills in the Liaoxi low uplift and their hydrocarbon accumulation conditions

Liu Le¹, Yang Minghui^{1,2}, Li Chunxia³, Zheng Xiaofeng⁴

(1 Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249 China;

2 State key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249 China;

3 Research Institute of Yanchang Petroleum Group Co. Ltd., Xi'an, Shaanxi 710069 China;

4 Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei 063004 China)

Abstract Based on analysis of cores, thin-sections, FM I imaging log and seismic coherent slices, studies were performed on the petrological characteristics, reservoir types, response of vertical imaging logging, physical properties of oil-bearing strata and horizontal distribution of fracture zone in Archean metamorphic buried-hills of the Liaoxi low uplift. Three types of lithology were identified in the metamorphic reservoirs: migmatite, regional metamorphic rocks and cataclasite. Types of reservoir space include fractures, dissolution pore and micropore, among which structural fracture is the dominant type. Five types of logging responses were identified and described by interpretation of imaging logging and dual lateral logging. Combining porosity logging, a comparative study was performed on porosity range in oil-bearing layers and logging response characteristics. The quantitative relationship between the number of hydrocarbon reservoirs and information dimension that reflect development of structural fractures were defined based on the analysis of seismic coherent slice. The vertical and horizontal distribution of favorable reservoirs were revealed, laying the foundation for comprehensive analysis of hydrocarbon accumulation.

Key words metamorphic buried-hill; fractured reservoir; imaging logging response; Liaoxi low uplift; Bohai Bay Basin

变质岩储层是渤海湾盆地潜山储层类型之一, 其中的构造裂缝既是潜山油气藏的主要储集

收稿日期: 2008-09-27。

第一作者简介: 刘乐(1982—), 男, 硕士研究生, 矿产普查与勘探。

基金项目: 中海油天津分公司重大项目(SC06TJ-TQL-004)。

空间, 又是油气运移的重要通道^[1~4]。近年来, 针对构造裂缝的研究手段日益广泛, 包括露头区裂缝调查、岩心观察、CT 扫描与岩心测定^[5~9]及成像测井、地震相干体切片等^[10~14]; 研究内容则涵盖裂缝的力学性质、裂缝充填性与含油性等定性参数; 裂缝组系、方位、倾角; 裂缝密度、高度与延伸长度及裂缝的开度等定量参数; 裂缝的孔隙度、渗透率等物性参数; 以及影响裂缝发育的因素如构造、应力、岩性及结构、岩层及上覆地层厚度等; 目前通过统计法、分形几何等手段建立了裂缝参数之间的关系, 并由此推测出裂缝的延伸长度和密度等^[12~14]。

辽西低凸起位于辽东湾坳陷的西部, 是渤海海域重要的油气勘探地区。研究区的变质岩潜山油气藏储量极为丰富, 潜山储层主要受控于前中新世代的古地貌及中新世的构造应力作用^[15~17]。构造裂缝可分 NE 向和 NNW 向两组, 受构造应力强度及活动方式、力学属性等因素制约而具有多期成因、多期改造和多期充填特点^[18]; 因此, 针对构造裂缝发育状况的研究难度较大, 并日益影响该区的潜山油气藏的勘探实施。本文综合钻井岩心、薄片、FM I(成像测井)解释和分形技术, 分析辽西低凸起变质岩潜山储层的特征, 并探讨变质岩潜山裂缝储层的测井响应类

型、孔隙度单因素评价及裂缝发育带平面分布状况。

1 地质概况

辽东湾坳陷位于华北板块的东北部, 其东西两侧分别为胶辽隆起、燕山褶皱带; 南邻渤中坳陷, 北与辽河坳陷相连, 合称辽东湾—辽河坳陷。辽东湾坳陷分为 5 个构造单元, 成三凹两凸的构造格局(图 1)。该区的前第三系基底岩系受控于区域大地构造和古地理环境, 其中结晶基底由区域分布太古宇至中元古界变质岩和变质花岗岩组成, 上覆新元古界和下寒武—中奥陶统碳酸盐岩及薄层泥页岩; 中奥陶—下石炭统普遍缺失; 上石炭统和二叠系主要为砂泥岩和煤系, 中生界充填陆相煤系和火山岩地层^[19]。

晚中生代, 太平洋板块向欧亚板块俯冲, 使得该区地壳上隆, 基底岩系剥蚀减薄^[20]; 同时, 拉张应力使刚性地壳伸展破裂, 并受郯庐断裂活动影响, 控制了中新世的发育^[21]。新生代, 分别发育古近纪裂陷和新近纪—第四纪后裂陷两个阶段^[22]。始新—渐新世早期, 辽西低凸起沿凸起断边界断裂向东南抬升, 形成不对称的翘倾单面山, 其地形南高北低, 展布南宽北窄^[23]。

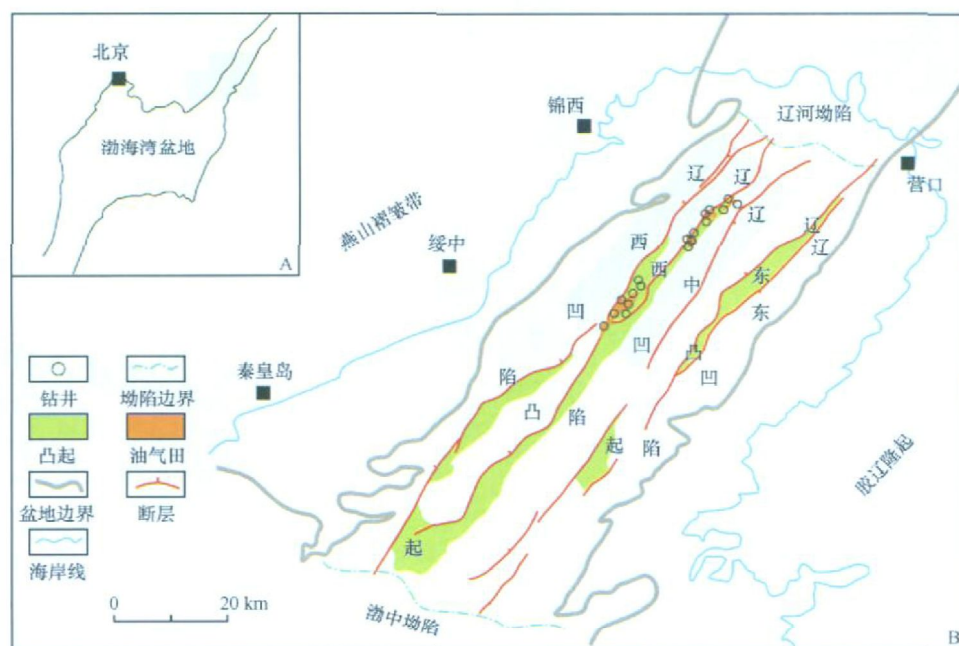


图 1 辽东湾坳陷构造单元划分

Fig. 1 Structural unit map of the Liaodong Bay Depression

2 变质岩石学和储集空间类型

2.1 变质岩石学

辽西低凸起变质岩潜山储层的岩石类型包括混合岩类、区域变质岩类和碎裂岩类等 3 种类型。

2.1.1 混合岩类

混合岩类主要分布在 JZ20-2 井区, 包括混合岩、混合片麻岩和混合花岗岩。矿物成分由半自形-它形的石英、长石和片状黑云母组成, 后者部分绿泥石化, 长条状; 长石、云母多被溶蚀, 见港湾状溶蚀边 (图 2a), 多孔状, 裂缝发育 (图 2b 部

分被方解石充填)。具缝合粒状变晶结构、细聚片双晶纹和黑云母穿孔结构 (图 2a), 另见片麻状构造 (图 2b) 及岩芯见眼球状构造等, 孔隙及裂缝内见沥青充填。

2.1.2 区域变质岩类

JZ25-1S 井区潜山储层区域变质岩以片麻岩类为主, 其中二长片麻岩、黑云二长片麻岩和黑云斜长片麻岩为主要类型, 基体中夹少量二长花岗岩、黑云母花岗岩、片麻状花岗岩岩脉。黑云斜长片麻岩的矿物成分以斜长石为主, 次要矿物有石英和微斜长石, 暗色矿物有黑云母和角闪石。斜长石呈粒状及半自形板状, 晶体中有灰色不规则团块状蚀变, 蚀变矿物以细小鳞片状绢云母为主,

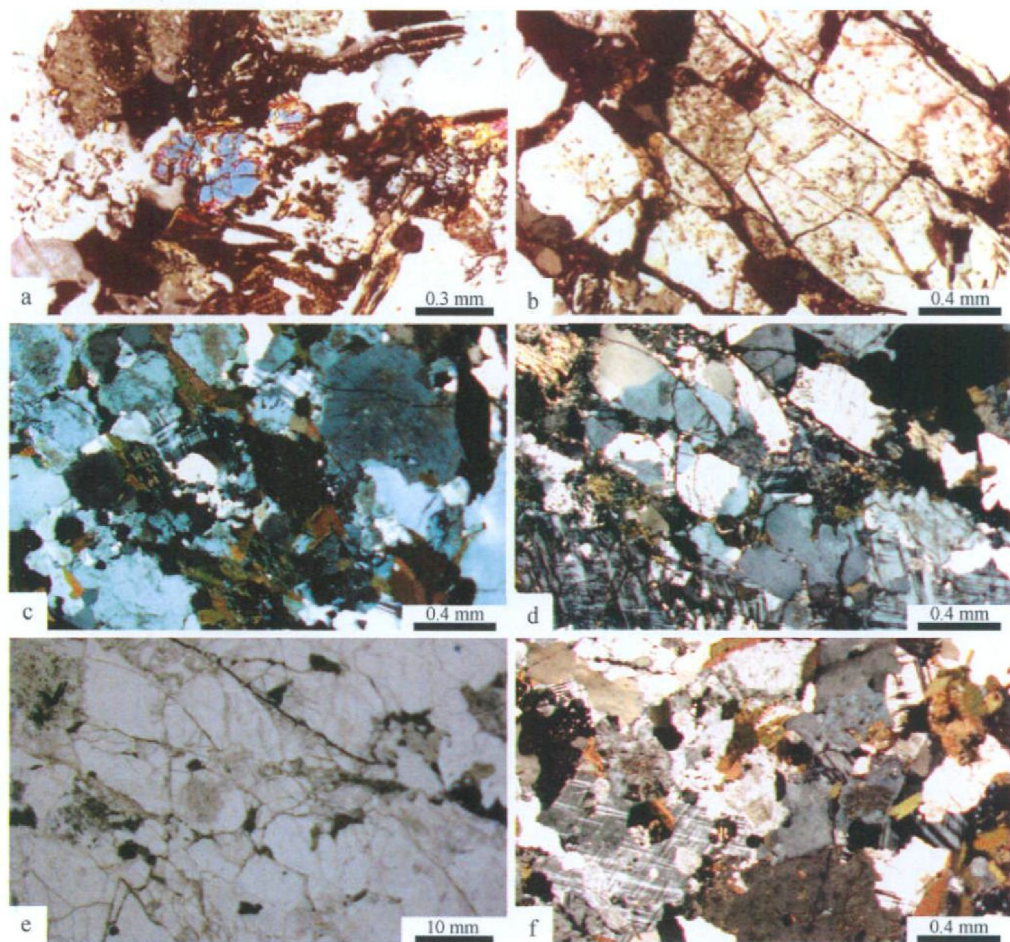


图 2 辽西低凸起变质岩潜山储层镜下岩石学特征及储层空间类型

Fig. 2 Microscopic observation of petrological characteristics and reservoir space types of the metamorphic buried-hill reservoirs in the Liaoxi low uplift

a. JZ20-2-4 井 2 731.79~2 732.02 m 井段混合花岗岩中的黑云母穿孔结构; b. JZ20-2-4 井 2 670.02~2 670.12 m 井段眼球状混合岩, 裂缝发育但部分被方解石充填; c. JZ25-1S-3 井 1 751.44 m 井段中粗粒角闪黑云斜长片麻岩; d. JZ25-1S-2 井 2 020.60 m 井段黑云二长片麻质碎裂岩; e. JZ25-1S-2 井 2 020.60 m 井段碎裂岩的岩貌特征, 原岩为黑云二长片麻岩经碎裂作用, 岩石裂缝发育, 但矿物位移不明显; f. JZ25-1S-2 井 1 759.92 m 井段中细粒黑云二长片麻岩, 黑云母部分定向分布, 裂缝发育

尚有少量粒状的方解石和绿帘石。具中粗粒片状、粒状变晶结构, 弱片麻状构造 (图 2c)。中粗粒二长片麻岩岩石成分主要为浅色矿物石英 (约含 20%)、斜长石 (约含 35%)、钾长石 (约含 40%), 其次为暗色矿物黑云母 (约含 5%)。斜长石表面多见绢云母化, 局部见白云母; 长石及石英呈它形粒状或港湾状镶嵌, 个别长石呈半自形板状; 常见有斜长石、钾长石及石英彼此包含及发生交代作用; 黑云母零星分布于颗粒间。具中粗粒片状、粒状变晶结构、块状构造 (图 2f)。

2.1.3 碎裂岩类

该区碎裂岩类由岩浆岩受构造作用改造而成, 包括片麻质碎裂岩、碎裂花岗岩和碎斑岩等。其中, 片麻质碎裂岩矿物成分主要由钾长石、石英、斜长石及黑云母组成; 碎裂严重, 岩石裂缝发育 (图 2e, 但矿物位移不明显), 局部达碎斑结构, 碎基为细小的长英质颗粒组成 (图 2d)。

2.2 储集空间类型

辽西低凸起中北段的变质岩潜山储集空间包括孔洞和裂缝两类, 并以后者为主。溶蚀孔洞常呈串珠状分布, 常见于斜长石、黑云母等, 如黑云母呈溶蚀蜂窝状, 连通性好, 孔径一般 1~2 mm, 最大 3 mm, 未充填; 杂乱分布, 局部呈条带富集 (图 3)。

裂缝可分两种类型, 一种是溶蚀缝, 另一种是

构造缝。溶蚀缝较为少见, 多在变质岩潜山的顶部, 遭受强烈的风化淋滤作用, 表现为网状。构造缝较为发育, 多为高导缝, 是该区较好的储集空间之一。截面直径为 9.5 cm 的观测范围测得张开缝单条长度介于 2~17 mm, 以 0.44 m 分别统计各段岩芯裂缝平均宽度为 0.1~2.0 mm; 柱面裂缝平均长度介于 0.1~0.39 m, 平均宽度介于 0.1~1.2 mm (图 2h, 2c, 2d, 2f, 图 3)。

3 裂缝特征及垂向测井识别

3.1 裂缝特征

JZ25-1S 井区尤其是 JZ25-1S-2 井裂缝的平均总线密度、平均宽度、平均间距、平均倾角等统计分析表明, 宏观裂缝的非均质性较强 (表 1)。如 JZ25-1S-2 井的有效面孔率按岩性统计为中粗粒黑云角闪斜长片麻岩为 1.283%, 中细粒角闪片麻岩为 0.670%, 中粗粒黑云二长片麻岩 0.780%, 中细粒黑云二长片麻岩为 0.240%, 片麻质碎裂岩为 1.495%; 裂缝总线密度分别为 22.7 条/m、43 条/m、120 条/m、77.4 条/m、78.5 条/m; 裂缝倾角以 45°~60°斜交缝为主 (约占整体裂缝的 57.2%)。统计结果说明碎裂岩类孔隙度和裂缝线密度较高, 而片麻岩类孔隙度和裂缝线密度较低。统计含油层段岩性也显示变质花岗岩和碎裂岩含油性较好, 片麻岩较差。

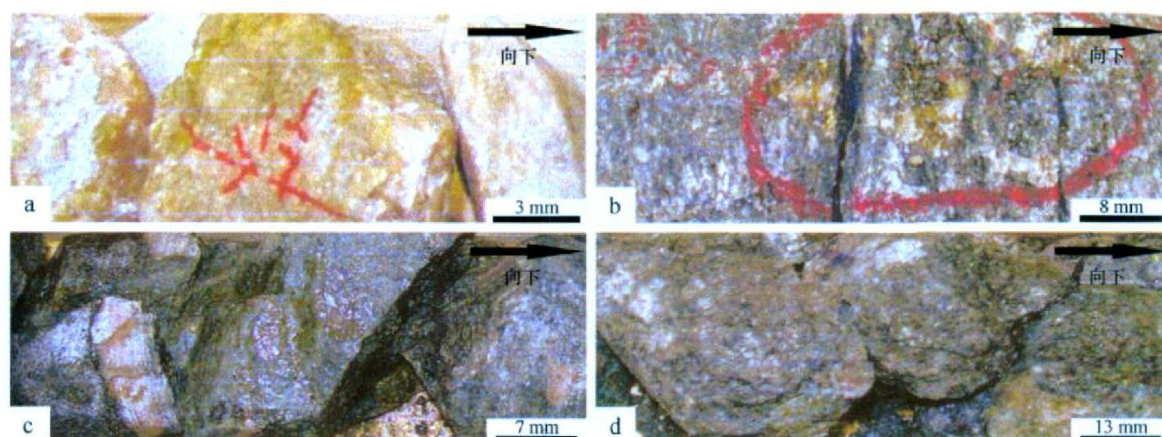


图 3 辽西低凸起变质岩潜山储层岩心岩石学特征及储层空间类型

Fig. 3 Core observation of petrological characteristics and reservoir space types of the metamorphic buried-hill reservoirs in the Liaoxi low uplift

- a. JZ25-1S-2 井 1 750.00~1 750.17 m 井段, 裂缝及溶洞含油, 溶洞直径 1~2 mm; b. JZ25-1S-2 井 1 750.17~1 750.64 m 井段, 裂缝及溶洞含油, 溶洞直径 1~2 mm; c. JZ25-1S-2 井 1 759.50~1 759.90 m 井段, 混合岩化花岗岩中的斜交裂缝, 未充填, 含油; d. JZ25-1S-2 井, 花岗岩, 裂缝发育, 含油

表 1 JZ25- 1S井区裂缝特征综合统计^[15]

Table 1 Statistical chart of fracture characteristics in the JZ25- 1S well block^[15]

线密度区间 / (条·m ⁻¹)	张开裂缝总线 密度频率, %	半充填裂缝线 密度频率, %	全充填裂缝线 密度频率, %	裂缝平均 宽 /mm	频率, %	裂缝平均 间距 /cm	频率, %	裂缝平均 角度 (°)	频率, %
< 10	40.0	46.7	33.3	< 0.5	33	≤1	27.3	≤45	21.4
10~ 50	46.7	33.3	33.3	0.5~ 1.0	60	1~ 2	27.3	45~ 60	57.2
50~ 100	13.3	20.0	26.7	> 10	7	2~ 4	45.4	> 60	21.4

3.2 裂缝成像测井识别与含油气性分析

利用 FMI 全井眼微电阻率成像测井并发挥双侧向测井探测深度较深、有利于判断裂缝有效性的特点,结合中子、密度、声波时差等常规测井手段^[24~ 26],把裂缝的成像测井响应分为 5 类:构造裂缝型、溶蚀裂缝型、网状裂缝型、角砾状破碎带型和微裂缝致密型(图 4)。孔隙度测井解释揭示 JZ25- 1S 井区各井含油层段的测井解释最小孔隙度在 3.3% ~ 6.0% 之间;测井解释最小裂缝孔隙度在 0.24% ~ 0.73% 之间;当测井解释孔隙度大于 3% 时,可能是含油层段。但理论上讲,临界物性对油气成藏的控制作用是相对的;还与该油藏所处的构造位置、油水界面、油气充注时的动力系统、油源等其他因素有关,临界物性大小仅是为油

气成藏提供的最小储集空间^[27]。以 JZ25- 1S- 1 井为例,以 FMI 成像测井为核心结合双侧向测井资料和孔隙度测井资料对储层进行对比分析,结果表明孔隙度测井解释最小孔隙度介于 3.3% ~ 6.0% 之间的含油层段的主要测井响应类型为网状裂缝型、构造裂缝带、角砾状破碎带型,溶蚀裂缝型在储层顶部风化壳也大量分布。因此这种综合对比特征是本区储层具潜在商业含油气性的重要参考要素之一。

3.3 裂缝横向发育程度预测

用裂缝密度(即单位长度上的裂缝条数、层厚度或总长度)评价裂缝发育程度存在一些问题:如裂缝发育段的取心率一般较低,岩心归位和裂缝

类型	构造裂缝型	网状裂缝型	角砾状破碎带型	溶蚀裂缝型	微裂缝致密型
井段/m	1 832~1 834	1 858~1 860	1 895~1 897	1 824~1 826	1 945~1 947
FMI 测井图像					
识别特征	发育高角度缝或斜交裂缝,测井密度低,高中子和声波时差,双侧向电阻率低且正差异明显	裂缝呈不规则状,双侧向正差异明显,孔隙度测井表现为“两高一低”,即高声波时差,高中子和低密度	FMI 图像上呈破碎角砾状,常规测井上表现为高声波时差、高中子、低密度;双侧向电阻率低,且正差异大	FMI 图像上发育高角度缝或斜交裂缝,沿裂缝溶蚀现象明显,造成裂缝呈不规则宽窄变化,测井密度较低,中子、声波时差较高,双向电阻率低,正差异明显	FMI 图像发育小量微裂缝或斜交缝。密度测井值降低不明显,中子、声波时差也较低

图 4 JZ25- 1S- 1 井裂缝 FMI 成像测井响应类型及综合识别特征

Fig. 4 Comprehensive characteristics and types of imaging logging responses of fractures in the JZ25- 1S- 1 well

统计十分困难; 由于岩心直径有限, 难以统计高角度、大间距的裂缝密度等。本文采用分形技术, 尝试准确反映研究区的储层裂缝平面展布现状。

断裂和裂缝作为含油气盆地中的一种重要的地质现象, 其破碎过程具有随机自相似性, 断裂和裂缝的分布和几何形态具有明显的分形结构^[28]。断裂、裂缝等的分维与其密度存在一定的相关性, 并与油气藏之间存在密切关系^[29]。在辽西低凸起中北段 2 000 m s 的三维地震体相干切片上, 利用网格覆盖法计算断裂信息维数, 用边长为 3 km 的正方形网格覆盖研究区, 共划分出 156 个子区, 然后依次改变正方形网络的边长为 1.5、0.75 和 0.325 km, 分别拟合出各个方格的信息维数。通过辽西低凸起地震体相干切片划分的 156 个正方形格子内的断裂条数统计, 计算面密度, 分别与每个方格内的信息维数进行拟合, 发现二者存在明显的正相关关系 (图 5), $M = 1.32X + 0.967 7$ (M 代表信息维数, X 代表断裂面密度), 相关系数达 0.820 6。

断裂体系空间分布的分维值的大小是断层数量、规模、组合方式及动力学机制的综合体现^[30], 因此是判断断层构造复杂程度的一个重要参数。科学家们研究并发现岩石表面裂缝的分布、区域上断层的分布具有统计意义上的自相似性^[31], 沿钻孔裂缝的分布也具有这一分形特点^[32]。因此, 断裂信息维数和裂缝信息维数也可以作为在统一应力场背景下不同尺度裂缝发育程度的表征, 从本质上说, 断裂信息维数和裂缝信息维数具有相似的空间展布特征。断裂信息维数等值线图表明信息维数在 1.2~1.4 之间的区域为裂缝发育带,

信息维在 1.4~1.6 之间为裂缝较发育带, 1.6~1.8 之间为最有利发育带, 已钻商业油气井基本分布于信息维数 1.4~1.6 之间。所以, 信息维高值区与已发现油气井区比较吻合, 是油气勘探的重要指向区 (图 6)。

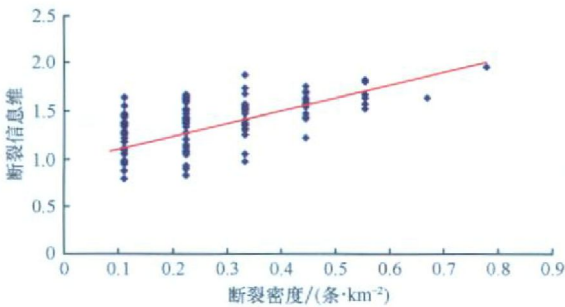


图 5 辽西低凸起变质岩潜山储层断裂密度与信息维相关关系

Fig. 5 Correlation of fracture-density and information dimension of reservoirs in metamorphic buried-hill of the Liaoxi low uplift

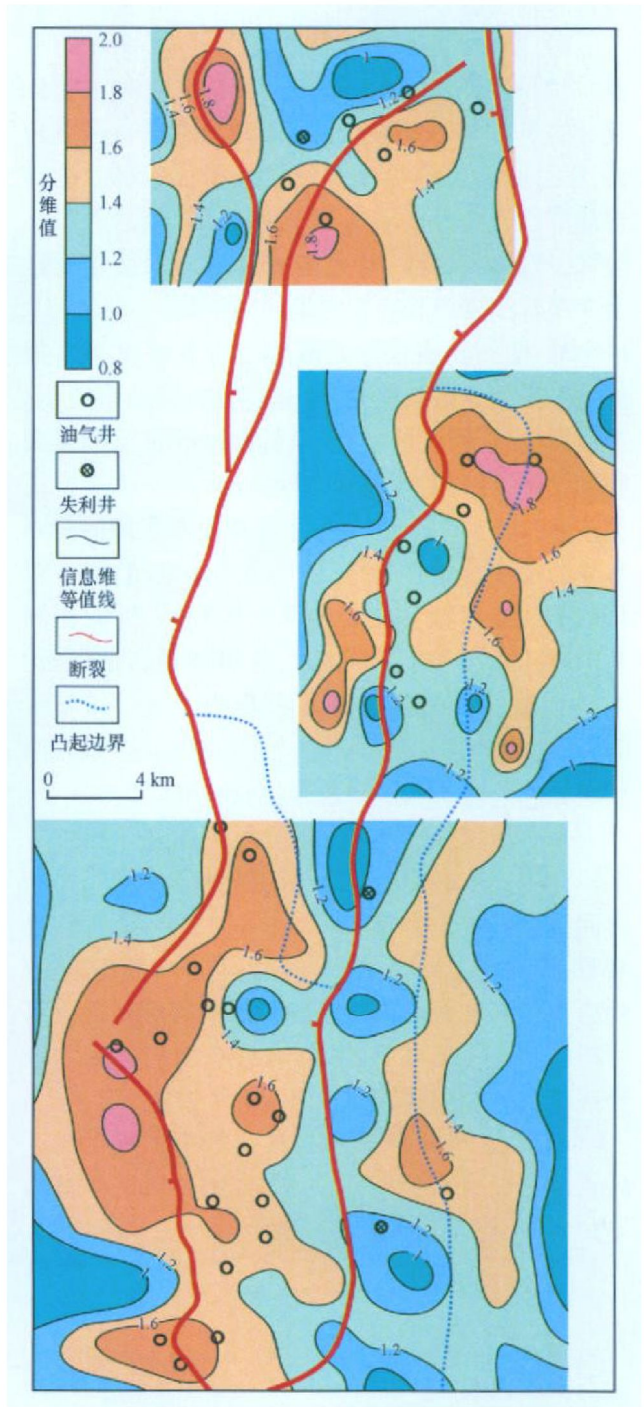


图 6 辽西低凸起中北段断裂信息维等值线与裂缝发育带

Fig. 6 Map showing information dimension contour and fracture zones in the central-north part of the Liaoxi low uplift (位置见图 1)

4 结论

1) 辽西低凸起变质岩潜山储层岩性包括混合岩类、区域变质岩类和碎裂岩类, 储集空间类型为孔洞和裂缝, 并以后者为主。

2) 岩心观察裂缝非均质性强, 钻井统计结果表明, 裂缝倾角以 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 斜交缝为主 (约占整体裂缝的 57.2%); 碎裂岩类孔隙度和裂缝线密度较高, 而片麻岩类孔隙度和裂缝线密度较低。统计含油层段岩性也显示变质花岗岩和碎裂岩含油性较好, 片麻岩较差。这也为本区较有利储层岩性为变质花岗岩类和碎裂岩类提供依据。

3) 据 FM I 成像测井解释结合孔隙度等常规测井手段划分出五类测井响应类型: 构造裂缝型、溶蚀裂缝型、网状裂缝型、角砾状破碎带型和微裂缝致密型, 且每种响应类型对应的测井响应特征都差异明显。IZ25-1S 井区各井含油层段的测井解释的最小孔隙度在 3.3% ~ 6.0% 之间; 测井解释最小裂缝孔隙度在 0.24% ~ 0.73% 之间, 当测井解释孔隙度大于 3.0% 时, 有可能是含油层段。本区孔隙度测井解释最小孔隙度介于 3.3% ~ 6.0% 之间的含油层段的主要测井响应类型为网状裂缝型、构造裂缝带、角砾状破碎带型。

4) 裂缝信息维与裂缝面密度具有正相关关系。辽西低凸起变质岩潜山的信息维在 1.4 ~ 1.6 之间为裂缝较发育带; 1.6 ~ 1.8 之间为最有利发育带, 而且信息维高值区与已发现油气井区比较吻合。信息维数的自相似性为预测裂缝横向发育带提供重要得统计学依据, 有望在横向上成为未钻探地区预测裂缝发育带的有效手段之一。

致谢: 在研究和资料收集过程中得到中海石油天津分公司研究院周心怀、魏刚和刘廷海高工等的指导和帮助, 在此表示感谢!

参 考 文 献

- 1 赵澄林, 刘孟慧. 特种油气储层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 48~ 71
- 2 松柏章, 唐飞. 裂缝性潜山基岩油藏开发模式 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 30~ 63
- 3 吴智勇, 郭建华, 吴东胜. 大民屯凹陷静安堡西侧低潜山变质岩储层裂缝发育特征 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22 (4): 322~ 325
- 4 Marco A, Pauline N M. A Natural Analog for a Fractured and Faulted Reservoir in Dolomite Triassic Sella Group, Northern Italy [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84 (3): 314~ 344

- 5 Ahmed O. Practical application of fuzzy logic and neural networks to fractured reservoir characterization [J]. Computers & Geosciences, 2005, (20): 953~ 962
- 6 Julia F W, Robert M R, Jon H. Natural fractures in the Barnett Shale and their importance for hydraulic fracture treatments [J]. AAPG Bulletin, 2006, 91 (4): 603~ 622
- 7 Rawnsley K K. Joint development in perturbed stress fields near faults [J]. Journal of Structural Geology, 1992, 14 (8~ 9): 939~ 951
- 8 孟卫工, 李晓光, 刘宝鸿. 辽河坳陷变质岩古潜山内幕油藏形成主控因素分析 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28 (5): 584~ 589
- 9 庞雯, 江同文, 郑浚茂, 等. 塔河-轮南油区奥陶系潜山油气藏特征 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28 (6): 762~ 767
- 10 陈钢花, 吴文圣. 利用地层微电阻率成像测井识别裂缝 [J]. 测井技术, 1999, 23 (4): 279~ 298
- 11 Tang X M, Cheng C H, Toksoz M N. Stoneley-wave propagation in a fluid-filled borehole with a vertical fracture [J]. Geophysics, 1991, 56 (4): 447~ 460
- 12 Giuseppe C. Fractal analysis of a Quaternary fault array in the central Apennines, Italy [J]. Journal of Structural Geology, 1997, 19 (1): 945~ 953
- 13 杨明慧. 渤海湾盆地潜出多样性及其成藏要素比较分析 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29 (5): 623~ 631, 638
- 14 付晓飞, 苏玉平. 断裂和裂缝的分形特征 [J]. 地球科学, 2007, 32 (2): 227~ 234
- 15 周心怀, 项华, 于水, 等. 渤海锦州南变质岩潜山油藏储集层特征与发育控制因素 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 3 (6): 17~ 20
- 16 王同和. 渤海湾盆地中生代应力场的演化与古潜山油气藏的形成 [J]. 石油与天然气地质, 1986, 7 (3): 273~ 279
- 17 杨明慧, 王嗣敏, 陈善勇, 等. 渤海湾盆地黄骅坳陷奥陶系碳酸盐岩潜山成因分类与分布 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26 (3): 310~ 316
- 18 任丽华, 林承焰. 构造裂缝发育期次划分方法研究与应用—以海拉尔盆地布达特群为例 [J]. 沉积学报, 2007, 25 (2): 253~ 260
- 19 辽宁省区域地层表编写组. 东北区域地层表—辽宁省分册 [M]. 北京: 地质出版社, 1978. 164~ 189
- 20 翟明国, 孟庆任, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折期的主要地质效应和形成动力学探讨 [J]. 地学前缘, 2004, 11 (3): 285~ 297
- 21 许坤, 李宏伟, 邱开敏. 下辽河平原—辽东湾的新构造运动 [J]. 海洋学报, 2002, 24 (3): 68~ 74
- 22 漆家福, 杨桥, 陈发景, 等. 辽东湾—下辽河盆地新生代构造的运动学特征及其演化过程 [J]. 现代地质, 1994, 8 (1): 1~ 9
- 23 姜培海. 辽西低凸起油气成藏的主要控制因素及勘探潜力 [J]. 油气地质与采收率, 2001, 8 (4): 24~ 27

(下转第 222 页)

折带平行发育, 在层序 SQ4 SQ5 SQ10 SQ12 SQ13 SQ15 SQ16 SQ18 SQ19 SQ20 SQ21 以及 SQ22 等可见到。

6 结语

惠州凹陷新近系存在 3 种不同成因类型的坡折带: 沉积坡折带、断裂坡折带和挠曲坡折带。坡折带在平面上存在 4 种组合类型: 顺源多级坡折带组合、斜交组合、梳状组合和平行山梁组合。坡折带的演化具有明显的继承性、间歇性、规模递变性及迁移旋回性等规律。坡折带的存在对地层的叠置样式以及沉积体系的发育和空间展布起着明显的控制作用。根据国内外油气勘探的经验, 相信在惠州凹陷陆架坡折带控制的低位域沉积体系中, 也能找到一定数量一定规模的油气资源^[9]。

参 考 文 献

- 徐怀大. 寻找非构造油气藏的新思路 [J]. 勘探家, 1996, 1 (1): 43~45
- 王英民, 金武弟, 刘书会, 等. 断陷湖盆多级坡折带的成因类型、展布及其勘探意义 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24 (3): 199~214
- 林畅松, 潘元林, 肖建新, 等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析与油气预测的重要概念 [J]. 地球科学 (中国地质大学学报), 2000, 25 (3): 260~266
- 姜秀芳, 宗国洪, 郭玉新, 等. 断裂坡折带低位扇成因及成藏特征 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23 (2): 143~144
- Cross T A, Lessenger M A. Sediment volume partitioning rationale for stratigraphic model evaluation and high Resolution stratigraphic correlation [A]. Gradstein F M, Sandvik K O, Milton N J eds Sequence Stratigraphy Concepts and Applications [C]. NPF Special Publication, 1998, 8: 171~195
- 邓宏文. 沉积物体积分配原理——高分辨率层序地层学的理论基础 [J]. 地学前缘, 2000, 7 (4): 305~313
- Posamentier H W, Jervey M T. Eustatic controls on clastic deposition I-Conceptual frameworks [A]. In: Xilgus C W, eds Sea-level changes an interpreted approach [C]. Houston, TX, United States Spec Publ Soc Econ Paleont Miner 1988, 42: 104~114
- 林畅松, 杨海军, 刘景彦, 等. 塔里木早古生代原盆地古隆起地貌和古地理格局与地层圈闭发育分布 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 29 (2): 189~197
- 龙更生, 施和生, 杜家元. 珠江口盆地惠州地区中新统地层岩性圈闭形成条件分析 [J]. 中国海上油气, 2006, 18 (4): 229~235
- 王旭, 范宜仁, 张庚骥. 基于双侧向测井资料的裂缝孔隙度计算及其标定 [J]. 物探化探计算技术, 2008, 30 (5): 377~380
- 吴兴能, 刘瑞林, 雷军, 等. 电成像测井资料变换为孔隙度分布图像的研究 [J]. 测井技术, 2008, 32 (1): 53~56
- 邢玉忠, 樊太亮, 郑丽辉. 沈 229 元古界潜山储层特征及物性参数解释 [J]. 测井技术, 2006, 30 (5): 429~431
- 刘震, 梁全胜, 肖伟, 党虎强, 等. 内蒙古二连盆地岩性圈闭早期形成和多期形成特征分析 [J]. 现代地质, 2005, 19 (3): 403~408
- 金章东, 卢新卫, 张传林. 江西德兴斑岩铜矿田断裂分形研究 [J]. 地质论评, 1998, 44 (1): 57~62
- 沈忠民, 马祖钧, 周光甲. 断裂体系分维与油田分布 [J]. 地球科学, 1995, 20 (1): 73~78
- Scholz C H, Aviles C A. Fractal dimension of the 1906 San Andreas fault and 1915 Pleasant valley faults [J]. Earthquakes Notes, 1985, 55 (1): 20
- 谢和平, Pariseau W G. 岩石节理粗糙系数 (JRC) 的分形估计 [J]. 中国科学 (B 辑), 1994, 38 (5): 524~530
- 石雨田, 潘保芝. 分维的应用——定量描述裂缝发育程度 [J]. 物探与化探, 2000, 24 (6): 426~430

(编辑 高 岩)

(编辑 董 立)

(上接第 194 页)