

罗家地区页岩油气测井评价方法

赵铭海,傅爱兵,关丽,王敏,朱家俊

(中国石化股份胜利油田分公司地质科学研究院,山东东营 257015)

摘要:页岩油气已成为中国能源新的增长领域。为了建立针对页岩油气的测井评价方法,以胜利油区罗家地区重点探井罗69井为例,系统研究了泥页岩的岩相、储集空间类型、物性、含油性及测井响应特征。研究结果表明,该类地层孔隙性越好,含油性越好。在此基础上,构建了泥页岩中钙质、石英、粘土等矿物组分含量及孔隙度、含水饱和度、总有机碳含量等评价参数的定量计算模型;进一步根据不同层段的含油气品质,将泥页岩地层划分为4类,其中I类层含油气性最高,主要为纹层状泥质灰岩相。该测井评价方法有效地辅助了胜利油区罗家地区泥页岩水平井渤页平1、渤页平2、渤页平3井的部署,目的层良好的油气显示也进一步验证了该评价方法的实用性。

关键词:页岩油气 测井响应 参数建模 含油性评价 岩相

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2012)06-0020-05

以页岩油气为代表的非常规油气作为全球油气勘探开发的重要接替阵地,引起中外石油地质学家的关注,已成为全球能源理论技术研究的热点^[1-4]。在中国,随着常规油气勘探开发程度的不断提高,页岩油气正逐步成为重要的领域和后备阵地。页岩油气具有“自生自储”或“短距离运移”的特点,寻找油气富集段、划分并评价泥页岩层段的含油气品质级别是泥页岩油气藏勘探的关键^[5-6]。测井分析作为泥页岩评价的关键手段应发挥其重要的参考作用。笔者以胜利油区罗家地区为靶区,依据中国第1口针对泥页岩的系统密闭取心井——罗69井的分析资料,建立了一套集矿物组建模、储层参数定量评价、含油气品质分类为一体的页岩油气测井综合评价技术,希望对中国东部陆相盆地泥页岩测井综合评价起到一定的借鉴和指导作用。

1 区域地质概况

截至2010年底,济阳坳陷几百余口探井在泥页岩中见油气显示,其中几十口井获工业油气流,以沾化凹陷、东营凹陷最多,以产油为主,产气次之。依据济阳坳陷已钻井复查结果,沾化凹陷罗家地区泥页岩厚度大、油气显示多、资料丰富,具备开展泥页岩油气评价的条件。

罗家地区位于济阳坳陷沾化凹陷四扣洼陷的东南斜坡,陈家庄凸起北部罗家鼻状构造带。该区沙三段下亚段为深湖一半深湖沉积,发育一套泥质烃源岩,主要岩石类型为暗色泥岩、油泥岩、油页岩等,大部分地层厚度为100~600 m,砂岩储层不发育,泥页岩发育稳定,是罗家地区乃至渤南洼陷最有利的一套烃源岩,也是页岩油气最为发育的层系。

2 储层及测井响应特征

陆相断陷湖盆环境多变,泥页岩岩性复杂,纵横向变化较快,成分多变,储层储集空间细小、孔隙结构复杂。利用岩心、薄片、电镜等分析手段,从岩性、岩相、储集空间、物性、含油性等方面对泥页岩进行了综合表征,为测井评价奠定基础。

2.1 岩性及岩相特征

从矿物组分看,泥页岩是由多种矿物组成的混合岩性体。罗家地区沙三段下亚段泥页岩矿物主要以方解石、粘土矿物和石英为主,含少量斜长石、白云石、黄铁矿等,岩心观察普遍发育水平层理。

岩相决定烃源岩的类型,不同岩相的储集空间有所不同,因此岩相特征在泥页岩评价中起着重要作用。根据岩石构造特征、矿物组成及方解石结晶特点的不同,将罗家地区主要岩相类型分为纹层状

收稿日期:2012-09-17。

作者简介:赵铭海,男,教授级高级工程师,博士,从事油气勘探及地球物理研究。联系电话:(0546)8715448, E-mail:zhaominghai.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家重大科技专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006)。

泥质灰岩相、层状泥质灰岩相、层状灰质泥岩相和层状含泥质灰岩相。

2.2 储集空间类型

罗家地区泥页岩的储集空间主要包括微裂缝和微孔隙2大类。从岩相与储集空间类型的关系来看,对于层状、纹层状灰岩、泥岩来说,纹理面应该是潜在的层间缝,在高压条件下可能成为开启缝,因此纹层发育段应为储集性好的层段。灰质纹层中的方解石对纹理面有支撑作用,有利于潜在纹理缝开启,同时也有利于压裂、酸化人工造缝,因此,纹层状泥质灰岩为最有利的储集层段。

2.3 物性特征

罗家地区泥页岩储层物性差,具有特低孔、特低渗透的特征。由取心样品统计分析可知,孔隙度主要为2%~8%,平均值为5%;渗透率变化范围较大,主要为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $7.72 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

2.4 含油性特征

在常规砂岩储层中,若不考虑油气散失,岩心分析含油饱和度与含水饱和度之和应为1,而在东部探区陆相泥页岩地层中,这种情况有所不同。利用岩石孔隙度与含油饱和度及含水饱和度分别乘积,通过换算可得到单位岩石的含油体积和含水体积。单位岩石含油体积随着孔隙度的增大逐渐增大(图1),而单位岩石含水体积变化较小,特别是在孔隙度小于8%时,单位岩石含水体积基本保持不变,集中分布在 $0 \sim 0.02 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。由此可知,在泥页岩地层中,含水量保持稳定,物性越好,含油量越大。

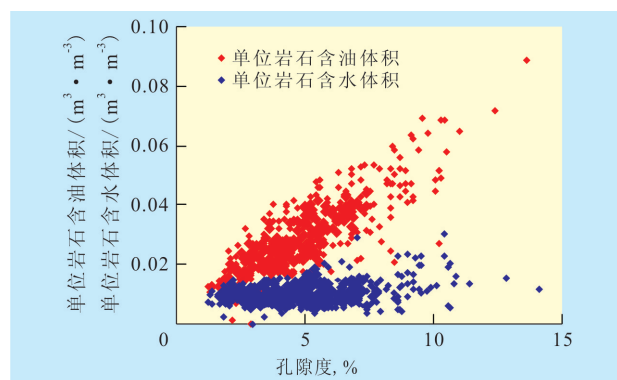


图1 孔隙度与单位岩石的含油体积和含水体积的关系

2.5 测井响应特征

在常规测井响应上,富含有机质的泥页岩地层往往表现出高电阻率、高声波时差、低密度等特征,且常伴有自然电位负异常显示,与非烃源岩段有明显区别,因此识别难度不大。在罗家地区非常规油气勘探中,测井新技术方法也发挥了重要的辅助作

用,譬如利用元素俘获测井获取地层的岩石矿物组成,利用FMI成像测井获取对纹层状岩石的直观认识,利用核磁共振测井获取地层有效孔隙分布等。

3 储层参数模型构建

测井信息一般都是对地质特性的一种间接性的反映。这种间接性所带来的模糊性,以及其自身所隐含的多解性,致使测井资料解释的本身就是一种对地质特性的推理、演绎和还原过程。采用单一或组合测井曲线的形式,直接描述特定的地质现象和地层矿物组分等信息,并建立一系列相应的经验表达式,是测井地质分析的最基本方法。在此指导思想下,建立了罗家地区泥页岩矿物组分及孔隙度、含水饱和度等参数模型。

岩相划分是建立参数解释模型的基础,不同岩相类型引起的测井响应差异在一定程度上掩盖了矿物组分和流体性质不同带来的差异。此次研究在岩心深度归位的基础上,建立了岩相类型约束下的测井参数模型,即首先依据罗家地区测井曲线响应及岩心薄片资料对泥页岩测井岩相进行划分,其次针对不同岩相类型,优选敏感曲线建立了多种数学模型,实现了泥页岩矿物组分含量和含油气性参数的评价。

3.1 矿物组分模型

对罗69井测井资料分析也表明,声波时差、自然伽马以及密度曲线均对钙质含量有着较好的反映,同时自然伽马、电阻率等曲线与岩石中泥质含量也具有较好的定量表征关系。脆性特征是关系到压裂效果的重要因素,鉴于石英和长石均为脆性矿物,因此在石英含量建模过程中予以统一考虑。通过对比及优选,针对泥岩相和灰岩相分别构建了钙质含量、石英含量和泥质含量的测井解释模型。

3.2 含油性评价参数模型

孔隙度、含水饱和度以及总有机碳含量(TOC)是泥页岩含油性评价的3个重要参数,遵循矿物组分建模的思路,以测井响应差异和实验分析数据为基础建立了相应的经验模型。

孔隙度模型 在依据趋势对比法对分析样品进行深度归位的基础上,分岩相对孔隙度与密度、声波时差和中子等3条测井曲线的单相关关系进行了分析,藉此建立不同岩相条件下孔隙度的多元回归模型。

含水饱和度模型 在泥页岩地层中,孔隙度与

含水饱和度成反比,孔隙度越大,油气充满度越高,含水饱和度越低。另外粘土矿物含量也在一定程度上制约着含水饱和度,因此利用实验室测量的岩石含水饱和度与粘土矿物含量、孔隙度和电阻率进行多元回归,得到含水饱和度模型。

总有机碳含量模型 沉积岩石中的有机碳是生成油气的物质基础,其含量是评价烃源岩的重要参数,有机碳含量在地质剖面上的变化是随着有机质丰度、沉积环境的演变而变化的,利用其值的变

化,可以确定烃源岩的有利生油层段^[7-9]。经过近几十年的实践和摸索,基于测井资料计算总有机碳含量的方法目前已经较为成熟,如 $\Delta \lg R$ 法、密度法、自然伽马指示法、敏感曲线回归法等^[10-13]。本次研究在此基础上,结合成熟度、电阻率、粘土矿物含量、孔隙度等信息构建了统计模型。

利用所建模型对相关储层参数进行了计算,将计算结果(图2)与岩心实测数据进行对比,显示模型可用,效果良好。

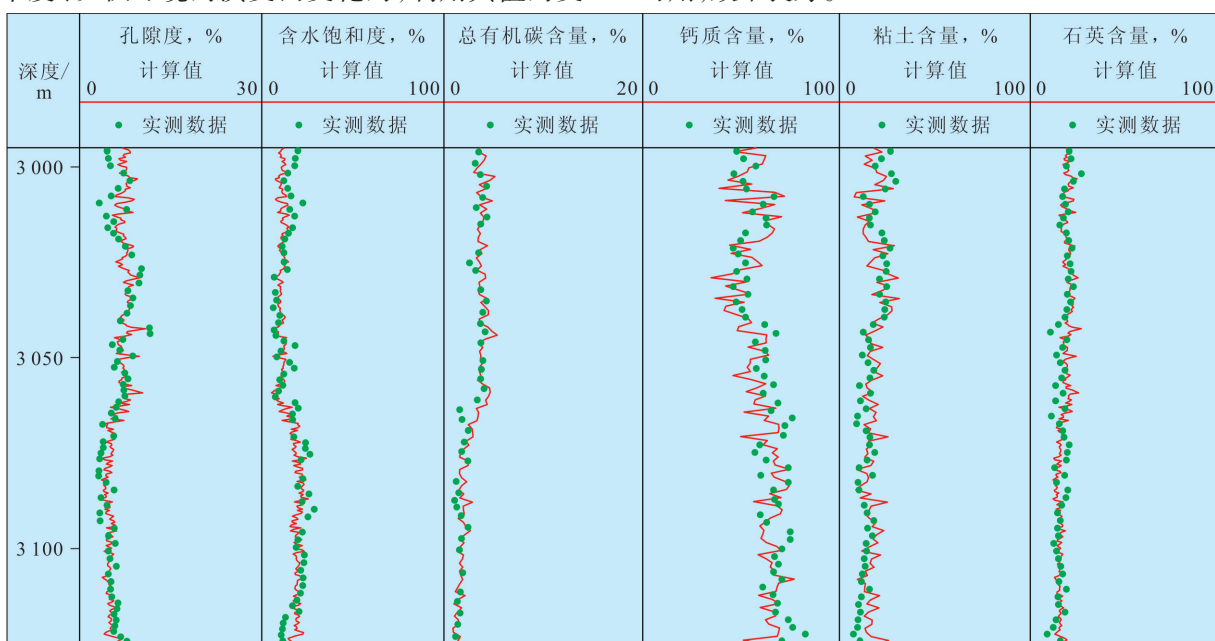


图2 参数模型实验实测数据与模型计算值对比

4 含油气品质划分

页岩油气由于其自身的岩性以及“自生自储”成藏的特性,使得孔隙发育良好的层段更利于油气富集。在此类地层中,孔隙性决定含油性,裂隙发育程度决定连通性,地层压力决定流体的渗流能量。为了更直观地显示泥页岩地层的可动流体信

息,构建了可动流体指示曲线(孔隙度与含油饱和度的乘积),依据可动流体的相对含量可在一定程度上辅助泥页岩含油气品质的划分。

以罗69井为例,综合岩心、化验分析、测井等资料,将罗家地区泥页岩地层含油气品质分为4类(表1),对相应的测井响应特征曲线(图3)进行了分析。

I类高孔高阻类(纹层状泥质灰岩相) 从岩相分析,纹层状泥质灰岩层段的孔隙性好,包含的可

表1 罗家地区沙三段下亚段泥页岩油气品质分类评价

分类	岩相类型	X衍射全岩矿物含量(平均值),%				TOC, %	结 构 构 造		孔渗参数(平均值)	
		粘土矿物	石英	方解石			纹层样品比,%	纹层组成	孔隙度,%	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$
I类	纹层状泥质灰岩相	17.0	16.8	57.6	3.4	91	泥质纹层—灰质纹层	5.9	17.1	
II类	纹层—层状泥质灰岩相	20.3	18.6	50.1	3.4	42	泥质纹层—灰质纹层+泥灰质纹层	5.1	3.4	
III类	纹层—层状(含)泥质灰岩相	13.0	14.9	61.8	1.6	45	灰质纹层—泥灰质纹层	5	4.6	
IV类	层状泥质灰岩、灰质泥岩相	23.9	20.3	44.1	3.76	5	泥质纹层—泥灰/灰泥质纹层	4.3	8.4	

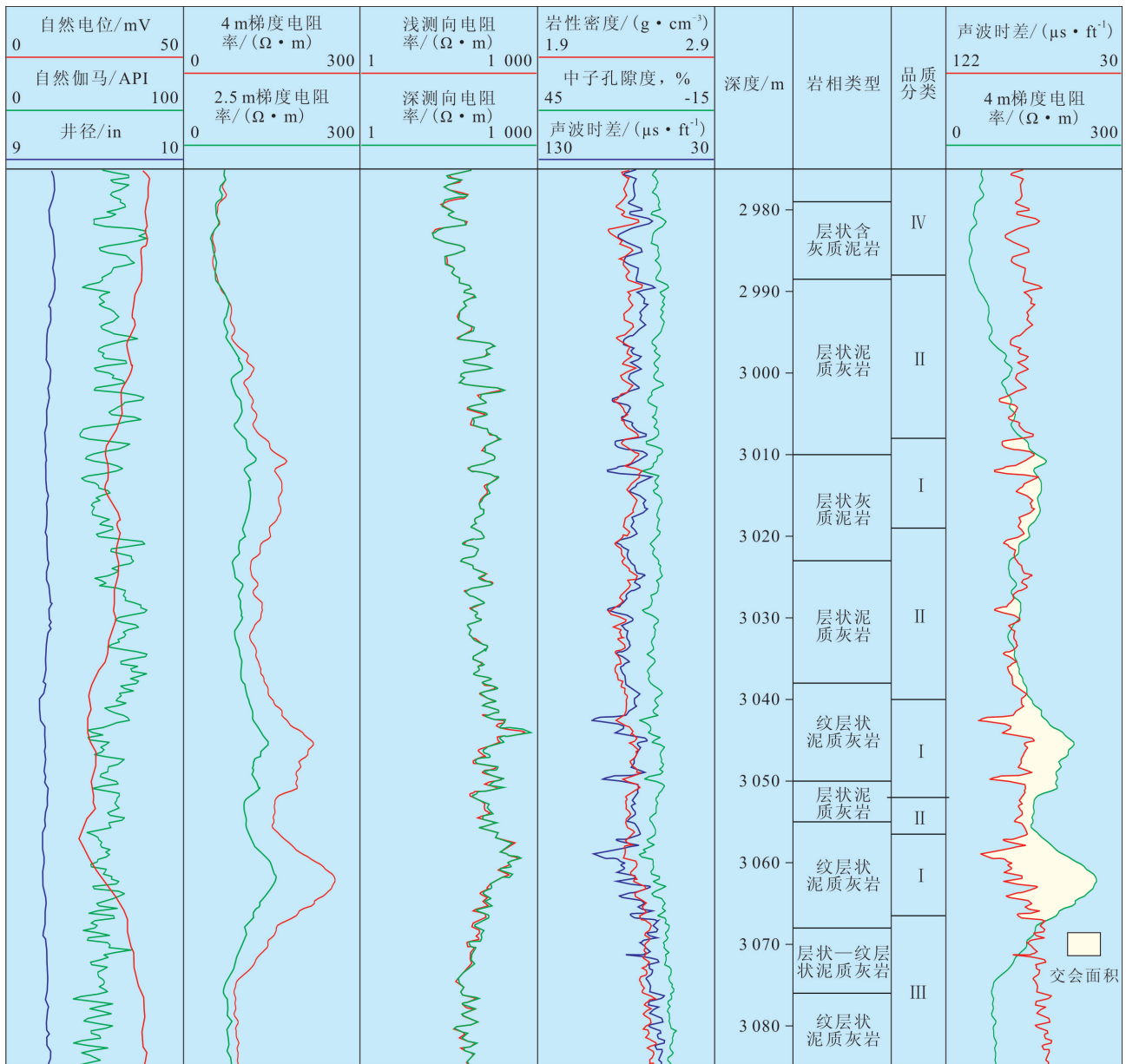


图3 罗69井泥页岩含油气品质分类示意

动油气相对含量也高。罗家地区有多口井在I类层发育的井段测试均获得工业油流。这类层孔隙度为4%~13.6%,电阻率为64~186 Ω·m。在常规测井曲线上,此类储层自然电位异常幅度明显,自然伽马值中等,高声波时差和低密度显示其物性较好,同时电阻率高值,声波时差—电阻率有较大交会面积,显示其具有良好的含油性,纵横波速度比较大,说明其纹理较发育。

II类中孔中阻类(纹层—层状泥质灰岩相) 从岩相上看,II类层普遍发育纹层—层状构造,其孔隙度为4.2%~8.7%,电阻率为34~108 Ω·m。在常规测井曲线上,电阻率、声波时差、中子和密度值中等,自然电位幅度差较小,说明物性和含油性均比I类

层差。

III类低孔中阻类(纹层—层状(含)泥质灰岩相) III类层孔隙度为2.4%~6.8%,电阻率为20~86 Ω·m;在常规曲线上呈现高密度、低声波时差、自然电位无幅度差的特征,说明灰质含量高,ECS元素俘获测井以及全岩矿物X衍射资料也证实其岩性主要为泥质灰岩。这类层物性较差,电阻率中等,表明其油气充满度不高。

IV类低孔中阻类(层状泥质灰岩相、灰质泥岩相) IV类层孔隙度为2.2%~10%,电阻率为13~54 Ω·m。在常规测井曲线上显示为高声波时差、高中子、高自然伽马、低密度的特征,分析可知此类层泥质含量高,物性差,油气充满度低。

5 结束语

中国对于页岩油气的研究还处于起步阶段,断陷盆地的特点更是增加了页岩油气勘探的复杂性。以胜利油区罗家地区为研究区,将测井资料与岩心分析资料结合,在区分岩相的基础上,采用多种方法构建了参数模型,形成了泥页岩不同含油气性级别的评价方法,将该地区泥页岩地层含油气品质划分为4类,有效指导了水平井渤页平1、渤页平2、渤页平3井的部署,其中渤页平1井已完钻,在沙三段下亚段获得了良好的油气显示,钻至目的层段时综合录井全烃含量从原来的1.77%增至91.57%,甲烷含量从原来的0.02%增加至87.11%,乙烷含量从原来的0.006%增加至2.471%,丙烷含量从原来的0.034%增加至1.943%,证实了该套方法的有效性。

需要指出的是,不同地区的泥页岩地层受沉积环境、演化程度、构造运动等多因素的影响,在储层特征方面不尽相同,所以泥页岩的含油气品质分类具有区域性,不同地区不同层位的泥页岩含油气品质分类标准不一样,不能一概而论。

参考文献:

[1] 姜在兴.沉积学[M].北京:石油工业出版社,2003.

[J].石油勘探与开发,2012,39(2):249-256.

[7] 孟庆峰,侯贵廷.页岩气成藏地质条件及中国上扬子区页岩气潜力[J].油气地质与采收率,2012,19(1):11-14.

[8] Howel Williams, Francis J Turner, Charles M Gilbert. Petrography: an introduction to the study of rocks in thin sections[M]. San Francisco: WH Freeman and Company, 1982.

[9] Robert L Folk. Petrology of sedimentary rock [M]. California: Hemphill, 1980.

[10] Robert L Bates, Julia A Jackson. Glossary of geology [M]. Alexandria, Virginia: American Geological Institute, 1987.

[11] Tom Alexander, Jason Baihly, Chuck Boyer, et al. Shale gas revolution[J]. Oilfield Review, 2011, 23(3):40-55.

[12] 曾允孚.沉积岩石学[M].北京:地质出版社,2010.

[13] 姜在兴.沉积学[M].北京:石油工业出版社,2010.

[14] 冯增昭.沉积岩[M].北京:石油工业出版社,1993.

[15] 地质矿产部地质辞典办公室.地质大辞典[M].北京:地质出版社,2005.

[16] 邓宏文,钱凯.沉积地球化学与环境分析[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1993.

[17] 王冠民.古气候变化对湖湘高频旋回泥岩和页岩的沉积控制

[2] Curtis J B. Fractured shale-gas system[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11):1 921-1 938.

[3] Matt Mavor. Barnett shale gas-in place volume including sorbed and free gas volume[C]. Fort Worth, Texas: AAPG Southwest Section Meeting, 2003.

[4] 邹才能,陶士振,袁选俊,等.“连续型”油气藏及其在全球的重要性:成藏、分布与评价[J].石油勘探与开发,2009,36(6):669-682.

[5] 姜秀芳.济阳坳陷湖相碳酸盐岩沉积主控因素[J].油气地质与采收率,2011,18(6):23-27.

[6] 朱振宇,刘洪,李幼铭. $\Delta\log R$ 技术在烃源岩识别中的应用与分析[J].地球物理学进展,2003,18(4):647-649.

[7] 母国妍,钟宁宁,刘宝,等.湖相泥质烃源岩的定量评价方法及其应用[J].石油学报,2010,31(2):218-224.

[8] 张志伟,张龙海.测井评价烃源岩的方法及其应用效果[J].石油勘探与开发,2006,27(3):84-87.

[9] 许晓宏,黄海平,卢松年.测井资料与烃源岩有机碳含量的定量关系研究[J].江汉石油学院学报,1998,20(3):8-12.

[10] 朱光有,金强,张林峰.用测井信息获取烃源岩的地球化学参数研究[J].测井技术,2003,27(3):104-109.

[11] 王贵文,朱振宇,朱光宇.烃源岩测井认识评价方法研究[J].石油勘探与开发,2002,29(4):50-52.

[12] 宋国奇.浅谈油气地质科研人员应具备的基本素质[J].油气地质与采收率,2011,18(4):1-5.

[13] 王永诗.石油地质研究中的特征与规律浅析[J].油气地质与采收率,2012,19(3):1-5.

编辑 刘北羿

(上接第19页)

[D].广州:中国科学院,2005.

[18] 郭宏莉,张荫本,胡迁勇,等.SY/T 5368—2000 岩石薄片鉴定[S].北京:石油工业出版社,2001.

[19] Hill D G, Nelson C R. Gas productive fractured shales: An overview and update[J]. Gas TIPS, 2000, 6(2):4-13.

[20] John B Curtis. Fractured shale-gas systems [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11):1 921-1 938.

[21] Schmoker J W. Resource-assessment perspectives for unconventional gas systems [J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1 993 - 1 999.

[22] 姜福杰,庞雄奇,欧阳学成,等.世界页岩气研究概况及中国页岩气资源潜力分析[J].地学前缘,2012,19(2):198-211.

[23] 王祥,刘玉华,张敏,等.页岩气形成条件及成藏影响因素研究[J].天然气地球科学,2010,21(2):350-356.

[24] 张金川,姜生玲,唐玄,等.我国页岩气富集类型及资源特点[J].天然气工业,2009,29(12):109-114.

[25] 邹才能,董大忠,杨桦,等.中国页岩气形成条件及勘探实践[J].天然气工业,2011,31(12):26-39,101.

[27] 桑隆康,马昌前.岩石学[M].2版.北京:地质出版社,2012.

编辑 武云云