

doi:10.3799/dqkx.2012.00

优质烃源岩评价标准及其应用： 以海拉尔盆地乌尔逊凹陷为例

卢双舫^{1,2}, 马延伶^{1,3}, 曹瑞成³, 李吉君^{1,2}, 王伟明^{1,2}, 李会光^{1,2}, 陈方文^{1,2}

1. 东北石油大学地球科学学院, 黑龙江大庆 163318

2. 东北石油大学油气藏形成机理与资源评价黑龙江省重点实验室, 黑龙江大庆 163318

3. 大庆油田有限责任公司海塔勘探开发指挥部, 黑龙江大庆 163712

摘要:“优质烃源岩控藏”的概念自提出后,正在逐步为勘探家所接受.但什么是优质烃源岩以及如何界定,则还缺乏共识和有依据的标准.针对这一难题,以海拉尔盆地乌尔逊凹陷为例,利用物质平衡原理计算的源岩排烃量与有机质丰度(TOC)关系曲线的拐点来确定优质烃源岩的有无及其下限标准.结果表明,在TOC较低时,所有源岩的排烃量有限,难以成为优质烃源岩;当TOC升高到某一阈值时,排烃量随着TOC的升高出现明显的增大,这一明显增大的拐点应该为优质烃源岩的下限,TOC高于该值的源岩即为优质烃源岩.虽然优质烃源岩的下限还与有机质的类型、成熟度等因素有关,但为简明实用,综合定量评价认识,推荐TOC=2.0%作为确定优质油源岩的下限.该标准在研究区的应用表明,区内南二段、南一段优质烃源岩的生油贡献比例达到71%和87%,排油贡献比例更是高达85%和94%,优质源岩的分布与区内油藏的分布也有非常好的对应关系,证明了优质源岩的控藏作用.

关键词: 优质烃源岩; 乌尔逊凹陷; 物质平衡; 生油量; 排油量; 生烃潜力; 石油地质.

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2012)03-0000-10

收稿日期: 2011-05-21

Evaluation Criteria of High-Quality Source Rocks and Its Applications: Taking the Wuerxun Sag in Hailaer Basin as an Example

LU Shuang-fang^{1,2}, MA Yan-ling^{1,3}, CAO Rui-cheng³, LI Ji-jun^{1,2},
WANG Wei-ming^{1,2}, LI Hui-guang^{1,2}, CHEN Fang-wen^{1,2}

1. College of Geosciences, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China

2. Provincial Key Laboratory of Petroleum Accumulation Mechanism and Resource Prediction, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China

3. The Hailaer Exploratory Development Headquarters, Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing 163712, China

Abstract: The Concept of “high-quality source-rock-control hydrocarbon accumulation” is being accepted gradually by explorers since being put forward. No evaluation criteria based on solid evidences such as the definition of high-quality source rocks and its identification method have been brought forward so far. To tackle this issue, we have identified in this paper, by taking the Wuerxun Sag in Hailaer basin as an example, the existence of high-quality source rocks and the lower limit for evaluation of high-quality source rocks, based on the inflection point on the relationship curve of hydrocarbon expulsion (which is calculated by the material balance principle) versus total organic carbon (TOC). The results show that when TOC is low; all source rocks have limited hydrocarbon expulsion, thus they cannot be high-quality source rocks. Nonetheless, when TOC rises to some threshold, hydrocarbon expulsion increases significantly with TOC. This inflection point should be the lower limit of high-quality source rocks; those with TOC greater than the inflection point value are high-quality source rocks. For the sake of simplicity and practicability, it is recommended based on the recognition of quantitative evaluation that TOC=2.0% is regarded as the lower limit of high-quality source rocks, although the lower limit of high-quality source rocks is also related to the type and maturity of the organic matters in the source rocks and so on. The application of such criteria in the research area indicates that the

基金项目: 国家“973”项目(2009CB219306); 教育部新世纪优秀人才支持计划资助(No. NCET-04-0345).

作者简介: 卢双舫(1962—), 特聘教授, 博士生导师, 主要从事油气地质学和油气地球化学方面的教学和研究工作. E-mail: lushuangfang@qq.com

high-quality source rocks in K_1n^2 and K_1n^1 contribute 71% and 87% to the oil generated respectively, and 85% and 94% to the oil expelled respectively. The distribution of high-quality source rocks is also closely related to the distribution of hydrocarbon reservoirs in the region, demonstrating that high-quality source rocks control hydrocarbon accumulation.

Key words: high-quality source rocks; Wuertun depression; material balance; oil generation; oil expulsion; hydrocarbon generation potential; petroleum geology.

油气的生成是其运移成藏的基础。因此,在油气勘探中,“源控论”的勘探思路对提高探井成功率起到了极其重要的指导作用。但“源控论”的内涵并非是一成不变的,而是经历不断的发展和演变:早期为笼统的“烃源岩控藏”,如我国陆相盆地早期的油气勘探中所采用的重要勘探部署原则“定凹探边”即是“源控论”找油思想的体现;后来,人们逐渐认识到,真正对油气藏的形成和分布起制约作用的是“有效烃源岩”,即生成并排出过商业性油气的源岩—通常为有机质丰度较高、类型较好并且已经成熟的烃源岩(庞雄奇,1995;金强,2001;金强等,2001;张水昌等,2001);但随着勘探和研究的深入,越来越多的油气地质和地球化学家倾向于认为,工业性油气藏的主要贡献者可能是生烃凹陷中厚度不一定很大,但有机质丰度很高(通常类型较好),并且已经成熟的优质烃源岩,而不一定是凹陷中广布的、厚度大,但丰度并非很高的源岩—即“优质烃源岩控藏”(张林晔等,2003;朱光有等,2004;腾格尔等,2006;秦建中等,2007,2009;侯读杰等,2008;金强等,2008;刘新颖等,2009;庞雄奇等,2009;王力等,2009;何锋等,2010)。张林晔等(2003)认为,济阳拗陷亿吨级的大油田均与优质烃源岩有着密切关系。尤其是在我国陆相复杂断陷盆地,岩性、岩相变化快,油气运移距离短,“优质烃源岩控藏”将对勘探实践有更现实的指导意义。许多学者的研究表明,优质烃源岩对济阳拗陷、东濮拗陷油气成藏特别是对于岩性油气藏具有重要的控制作用(侯读杰等,2008;何锋等,2010)。

迄今为止,关于优质烃源岩,目前地球化学界,尤其是国内学者已有相当多的研究。如优质烃源岩发育的古气候、古沉积环境、岩石学特征、地化特征、生物标志化合物特征、显微组分特征、时空分布及主控因素,优质烃源岩与火山活动的关系、与上升流的关系、与成藏的关系,优质烃源岩的识别和预测等(Tissot and Welte,1978; Moldowan *et al.*, 1985; 李任伟等,1986;唐祥华,1986;李成风和肖继凤,1988;Pedersen and Calvert,1990;王铁冠,1990;傅家谟等,1991;孔凡仙等,2000;刘传联等,2001;朱光

有和金强,2002;陈践发等,2006;李天义等,2008)。但是,油田勘探家更为关注的优质烃源岩的判识标准,目前并没有统一的认识。如周建林(2009)通过东海盆地和珠江口盆地的资料分析,将 $TOC > 2\%$ 的泥页岩视为优质烃源岩;郑红菊等(2007)在研究南堡凹陷的烃源岩时也认同 $TOC = 2\%$ 作为优质烃源岩的标准;秦建中等(2009)在研究海相优质烃源岩过程中,也采用了 $TOC \geq 2\%$ 的标准,但是他认为 I 型有机质作为优质烃源岩的残余 TOC 的下限值可以定在 1.5% 左右;侯读杰等(2008)则根据多年对济阳拗陷烃源岩的研究工作,把 $TOC > 3\%$ 作为优质烃源岩的标准,还进一步在优质烃源岩中将有机质丰度更高($TOC > 6\%$)的源岩划分出一个更高级别的有机质富集层(侯读杰等,2008)。而王力等(2009)在研究柴西第三系盐湖相烃源岩时,将类型较好、 $TOC > 1.0\%$ 的源岩视为对成藏贡献大的优质烃源岩;刘新颖等(2009)在研究海拉尔盆地烃源岩时,将优质烃源岩的标准定在 $TOC > 5.0\%$;国外则将 $TOC > 2\%$ 的烃源岩定为很好的烃源岩,将 $TOC > 4\%$ 的烃源岩定为极好的烃源岩(侯读杰等,2008)。

更为重要的是,上述不同学者所给的优质烃源岩的下限标准主要是依据经验,并没有坚实的基础或有利的证据。因此,本文瞄准这一研究相对薄弱但又有重要理论和实际意义的环节,以海拉尔盆地乌尔逊凹陷为例,试图探讨并给出优质烃源岩的评价标准,并在此基础上,剖析优质烃源岩与成藏的关系。

1 海拉尔盆地基本地质概况

海拉尔盆地位于内蒙古自治区呼伦贝尔盟西南部,是大庆探区的最重要的接替领域。乌尔逊凹陷是海拉尔盆地中部断陷带 2 个最重要的含油凹陷之一,是盆地内目前油气勘探的主战场。

盆地基底主要由前古生界和古生界地层组成,沉积盖层自下而上为下白垩统的塔木兰沟组、铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组、伊敏组,上白垩统的青元

岗组和新生界的第三、第四系地层. 其中,可能作为源岩的、比较富含有机质的暗色泥岩及煤系泥岩和煤层主要发育在南屯组、大磨拐河组、伊敏组沉积时期的深湖一半深湖或湖沼相带. 上部的大磨拐河组和伊敏组由于埋藏较浅,绝大部分没有进入成熟门限,难以成为盆地内重要的有效源岩(冯子辉等, 1992. 海拉尔盆地烃源岩研究. 大庆油田勘探开发研究院). 另外,在南一段中,油田勘探家又依据沉积特征和测井曲线特征的差异划分出复合岩性段和特殊岩性段,并习惯于将它们分别评价. 因此,本文探讨优质烃源岩的评价标准时,分别针对南屯组二、一段及其中的复合岩性段和特殊岩性段进行.

复合旋回段:从沉积充填特征来看,主要以发育砂泥互层的复合沉积旋回为特征. 岩性段厚度一般为50~250 m,由2~3个复合沉积旋回组成,主要为中酸性富砂的砂泥岩互层,总体表现为反旋回沉积. 地震剖面上表现为亚平行—平行反射,顶部是规模较大的区域性削蚀面. 测井曲线上声波、密度曲线均明显增大,具高伽马、高电阻、低铀、高钾的响应特征,曲线齿化明显均匀.

特殊岩性段:是在平缓古地貌背景下,研究区整体缓慢下沉,水体比较稳定的环境下,沉积的砂泥互层地层,也反映了被动裂隙作用机制的沉积充填特征. 岩性段厚度一般为40~100 m,主要发育高阻泥岩、油页岩和泥质灰岩,表现为加积结构. 测井曲线上具高伽马、高电阻、低铀、高钾的响应特征.

2 优质烃源岩评价标准的建立

2.1 研究思路—是否有优质烃源岩? 何谓优质烃源岩?

由于只有生成并排出过油气的源岩才能够对油气的成藏作出实质性的贡献,因此不难理解,“有效烃源岩控藏”较“烃源岩控藏”更能够客观反映源岩对成藏的控制,因而对油气勘探有更为现实的指导作用. 但是否真是“优质烃源岩控藏”,还是一个有待论证的命题;虽然“优质烃源岩”中由于有机质丰度更高、类型较好,同样体积的源岩,将能够生成并排出相对更多的油气,不过,由于“优质烃源岩”通常发育、分布规模小于有机质丰度稍低的“有效烃源岩”,是否“优质烃源岩”对油气成藏的贡献更大(即优质烃源岩控藏),则还要看两者发育的相对规模. 如王建等(2009)对渤海湾盆地饶阳凹陷的研究表明,优质烃源岩厚度和体积虽然不到凹陷内烃源岩总厚度

和总体积的10%,但生油量及石油地质资源量分别占到或超过了凹陷总量的25%. 这表明,尽管优质烃源岩在任丘古潜山油气成藏过程中起到了重要作用,但其对成藏的贡献还未到一半,如果真如此,则难言优质烃源岩控藏,而是其与有效烃源岩共同控藏.

笔者以为,如果源岩的排烃量与其有机碳(TOC)呈线性关系(如图1中的虚线),则至少理论上“优质烃源岩”的概念没有特别重要的意义,因为TOC的降低(意味着排烃量的等比例降低)可以通过源岩体积同等比例的增加得到补偿,而地质条件下,通常丰度较低的源岩发育规模更大,足以补偿单位重量源岩中TOC的较低含量;而如果源岩的排烃量与其TOC呈现图1中实线所示的关系,即排烃量随TOC升高曲线出现明显的拐点,则有必要特别提出“优质烃源岩”的概念并强调其重要性了:超过拐点之后,源岩的排烃量随TOC的增幅明显高于拐点之下的源岩,即在有机质绝对数量相等的情况下,拐点之上的源岩排烃量将远远高于拐点之下的源岩,这也正是优质烃源岩的实质所在. 这一拐点也正是源岩能够成为优质烃源岩的下限—即优质烃源岩的判识标准. 如果排烃量随着TOC的升高出现增速更高的第二个拐点,则有必要在优质烃源岩中划分出一个更高级别的源岩类型.

由此来看,要论证是否存在“优质烃源岩”以及确定“优质烃源岩”的评价标准,只要能够计算出烃源岩的排烃量与其TOC的关系曲线即可. 在目前评价源岩排烃量的各种方法中,由生烃量减去残烃量等于排烃量的物质平衡法($Q_{\text{排}} = Q_{\text{生}} - Q_{\text{残}}$)具有广泛的有效性和可行性(庞雄奇, 1995; 卢双舫等, 2002). 因此,本文以海拉尔盆地乌尔逊凹陷为例,应

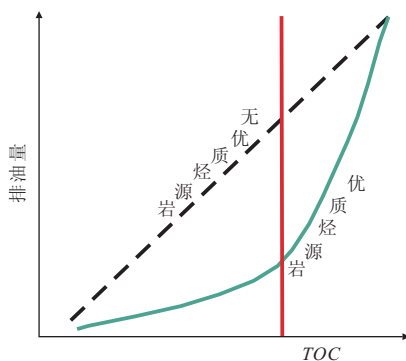


图1 优质烃源岩的概念及其评价标准原理

Fig. 1 Schematic diagram of the concept and evaluation criteria of high-quality source rock

用上述物质平衡法,来探讨“优质烃源岩”的概念及其评价标准。

2.2 (单位质量源岩的)生烃量($Q_{生}$)计算

$$Q_{生} = TOC^0 \cdot IH^0 \cdot X, \quad (1)$$

式中, TOC^0 为源岩中有机碳含量(%), IH^0 为单位质量有机质生烃潜力(mgHC/gTOC 或 kgHC/tTOC,反映有机质的类型), X 为成烃转化率(%). X 求取由化学动力学方法实现,具体的原理、流程及结果,笔者已经在过去有系统的研究(卢双舫,1996;卢双舫等,2007,2009)这里不再赘述.需要强调的是,这里的 TOC^0 和 IH^0 分别为源岩中的原始有机碳含量和原始有机质生烃潜力,而不是实测的残余值.由残余有机碳和氢指数恢复原始有机碳和原始生烃潜力也是基于化学动力学方法,其原理及应用,笔者也已经在过去有过报道(卢双舫等,1995).图 2 以乌南凹陷南一段和特殊岩性段为例,给出了两者之间的关系.从图 2 看出,由(1)式不难计算出不同 TOC 时生烃量。

2.3 (单位质量源岩的)残烃(油)量($Q_{残}$)的计算

源岩中实测的氯仿沥青“A”其实可视为单位质量源岩的残油量,只不过需要将单位换算到与生油量一致(kg/t 源岩).由于源岩非均值性的存在,即使是同一源岩层、同样的埋深、或同样 TOC 时对应的氯仿沥青“A”会有较大的变化(图 3 和图 4),具体计算时,可用各源岩层包络线的半幅值(或者某一深度段或某一 TOC 段的均值)来参与计算。

2.4 (单位质量)源岩的排烃量($Q_{排}$)与 TOC 的关系及优质烃源岩的评价标准

按 $Q_{排} = Q_{生} - Q_{残}$ 的物质平衡原理,不难计算出不同凹陷、不同源岩层对应某一 TOC (及相应的生烃潜力)的排油量并可绘出单位质量源岩的排油量与原始有机质丰度的关系(图 5,图 6).从图中可

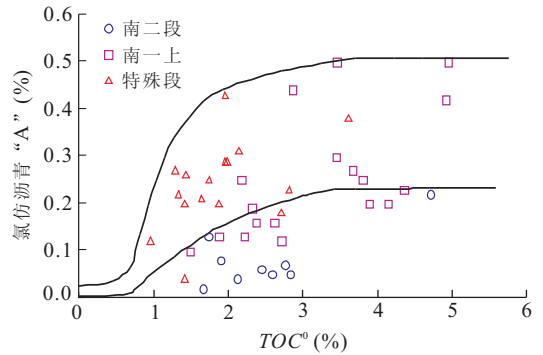


图 3 乌北凹陷($R_o=0.6\% \sim 1.0\%$)氯仿沥青“A”与 TOC 关系
Fig. 3 Relationship between the chloroform bitumen “A” and TOC of source rocks ($R_o=0.6\% \sim 1.0\%$) in Wubei depression

以看出,当 TOC 较低时,排出的油量的确有限,这是因为此时生成的油量较少,还难以满足源岩自身各种形式的残留需要.但是,随着 TOC 增高,其他条件(有机质类型、成熟度)相同情况下的生油量逐步增大,满足了源岩中各种形式(吸附、溶解、孔隙容留等)(庞雄奇,1995)的存留需要之后,生成的油开始大量排出,即排油量随 TOC 的升高曲线出现明显的拐点.显然,拐点以上即为优质烃源岩,拐点所对应的 TOC 即为优质烃源岩的下限—即优质烃源岩评价标准.由此不难给出不同凹陷、不同源岩层作为优质烃源岩的有机质丰度(TOC^0)下限(表 1).可以看到,不同凹陷、不同源岩层(对应不同的地质条件),优质烃源岩的 TOC 下限标准有所不同:从 2.0 到 4.0 之间都有分布.其原因将在下节讨论.需要指出的是,这里的 TOC^0 是原始有机碳.从 TOC^0 —排烃量关系曲线上并不存在第 2 个拐点来看,似乎没有必要在优质烃源岩中另外再划分出一个极好烃源岩的判别界限。

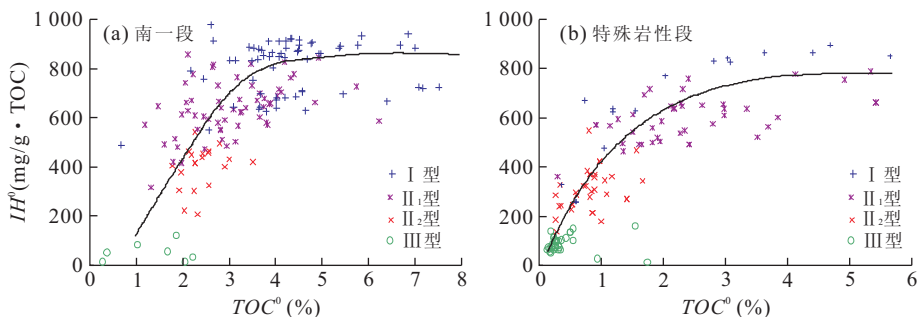


图 2 乌南凹陷烃源岩原始有机质丰度与生烃潜力关系

Fig. 2 Relationship between the original hydrocarbon-generating potential and original abundance of organic matter of source rocks in Wunan depression

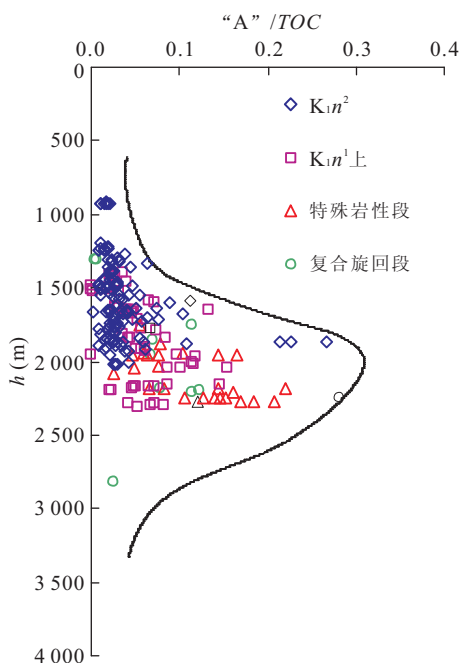


图 4 乌北凹陷“*A*”/TOC 与埋深的关系

Fig. 4 Relationship between the buried depth and “*A*”/TOC of source rocks in Wubei depression

2.5 讨论—影响优质烃源岩标准的因素及残余有机碳下限标准

(1) 优质油源岩和优质气源岩. 从前文可以看出, 本文的讨论主要是针对油源岩来进行的. 这是因为目标区源岩中的有机质的类型大多较好(图 2)且成熟度主要位于油窗范围内, 盆地内勘探实践所揭

示的也基本为油藏. 事实上, 按照 $Q_{\text{排气}} = Q_{\text{生气}} - Q_{\text{残气}}$ 的思路同样可以确定优质气源岩的下限标准, 只不过确定源岩的残气量 ($Q_{\text{残气}} = Q_{\text{吸附}} + Q_{\text{溶解}} + Q_{\text{孔隙残留}}$) 比确定源岩的残油量(可由氯仿沥青 A 或 S1 近似确定)要困难得多. 庞雄奇(1995)已经建立了有关的评价模型 ($Q_{\text{残气}} = Q_{\text{吸附}} + Q_{\text{溶解}} + Q_{\text{孔隙残留}}$), 但模型有关参数的精确求取还有大量的工作要做. 目前, 国内外正在开展的页岩油气方面的研究和分析可为下一步建立更为准确残气模型奠定基础. 因此, 优质气源岩的评价标准的建立还有待于今后的深入工作.

(2) 地质条件对优质烃源岩下限的影响. 从上述讨论来看, 源岩的排烃量一般随其有机质丰度的增大而升高, 但只有在达到某一阈值之后, 排烃量随着 TOC 的增高才出现拐点而快速增大, 拐点以上即为优质烃源岩. 由此可以得出本文对优质烃源岩的定义: 源岩中有机质的丰度高到其开始大量排烃点以上的源岩, 它一般是有机质丰度较高、同时类型较好且成熟度适中(对油源岩)或较高(对气源岩而言)的源岩. 不过, 不同地质条件下的源岩成为优质烃源岩的标准并不一致, 所有影响源岩的生烃量、残烃量, 从而影响排烃量的地质要素, 都会影响优质烃源岩的下限值. 除了有机质的丰度之外, 影响生烃量的因素还有有机质的类型和成熟度. 一般而言, 除了有利于未熟—低熟油形成的特殊地质条件之外(卢双舫等, 2001), 未熟—低熟源岩是难以成为优质烃源岩

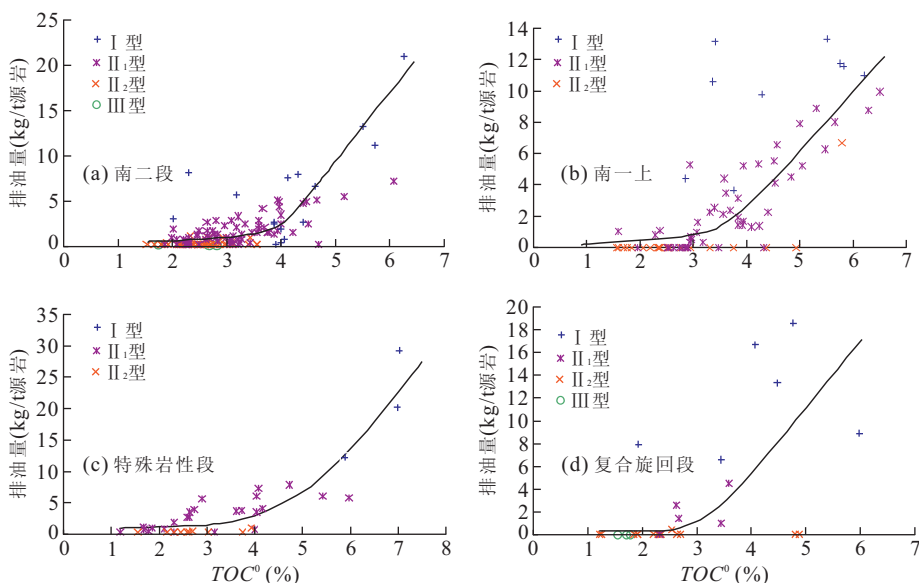


图 5 乌北凹陷单位质量源岩排油量与原始有机质丰度的关系

Fig. 5 Relationship between the oil expulsion amount of per unit mass source rock and the original abundance of organic matter in Wubei depression

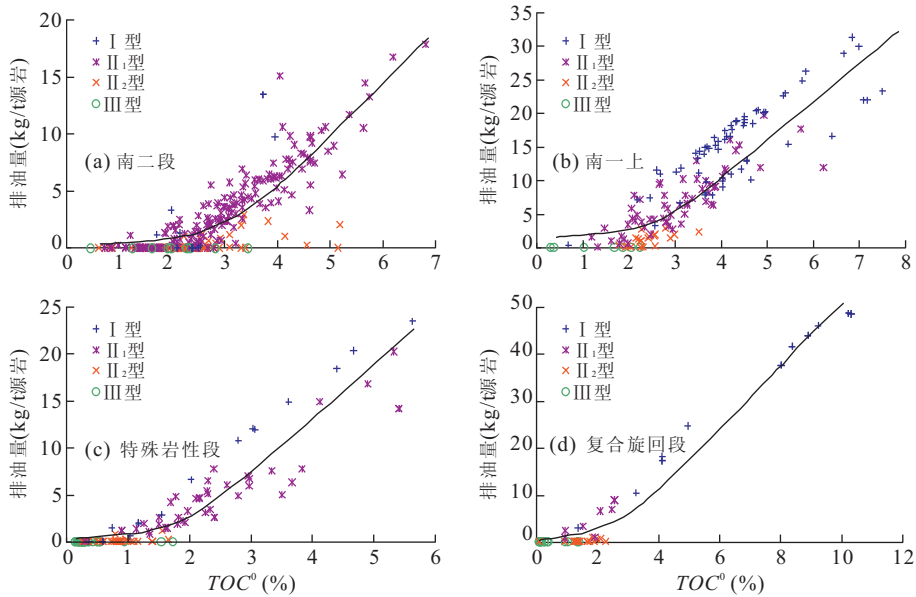


图 6 乌南凹陷单位质量源岩排油量与原始有机质丰度的关系

Fig. 6 Relationship between the oil expulsion amount of per unit mass source rock and the original abundance of organic matter in Wunan Depression

表 1 乌尔逊凹陷优质烃源岩有机质丰度下限标准

Table 1 Lower limit of the organic matter abundance of high-quality hydrocarbon source rocks in Wuersun depression

凹陷	层位	丰度下限	
		TOC ⁰	TOC
乌北	南二段	4.00	3.38
	南一上	3.60	2.77
	特殊岩性段	4.00	3.20
	复合旋回段	3.00	2.27
乌南	南二段	3.30	2.64
	南一上	2.60	1.97
	特殊岩性段	2.00	1.55

的,越接近成油高峰(对油源岩而言)或成熟度越高(对气源岩而言),成为优质烃源岩所要求的 TOC 下限越低;南一段的埋深大于南二段,相应的成熟度较高,因此凹陷中南一段成为优质烃源岩所要求的 TOC 下限也就低于南二段(表 1);有机质类型越好,成为优质烃源岩的 TOC 下限应该越低。事实上,从图 2 中可以看到,III 型和 II2 型有机质的排油量其实一直很低,实际上是不可能成为优质油源岩的;烃源岩中的矿物组成也会对其吸附残留油气的能力产生影响(庞雄奇,1995),从而也将影响优质烃源岩的下限值。

(3)优质烃源岩的残余有机碳下限标准。需要指出的是,上述 TOC 下限值都是指的原始有机碳,而不是实际工作中容易得到的残余有机碳。显然这不利于实际应用。因此需要转换成残余有机碳。结合各

凹陷、各源岩层的现今埋深和热史,不难正演计算出对应的残余有机碳(卢双舫等,1995),计算结果也列于表 1 中。不同凹陷、不同源岩层(对应不同的地质条件),优质烃源岩的残余 TOC 下限标准有所不同:从 1.55~3.38 之间都有分布。乌北凹陷不同源岩层介于 2.27~3.38 之间,平均可取 2.9;乌南凹陷介于 1.55~2.64 之间,平均可取 2.0。

严格来讲,不同地质条件下,优质烃源岩的评价标准应该按上述思路进行定量计算后来确定,具体所得的下限值会因地质条件而异。但这毕竟比较繁琐且应用起来不太方便。考虑到勘探家和实际地质工作者的应用习惯,综合上述结果,本文推荐一个简明的标准:以 TOC=2.0% 作为优质油源岩的评价

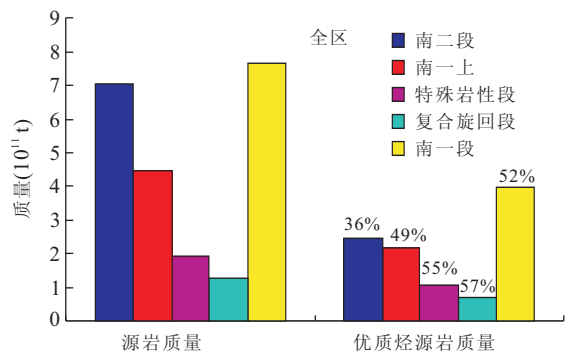


图 7 乌尔逊凹陷源岩及优质源岩质量

Fig. 7 Mass of source rocks and high-quality source rocks in Wuersun depression

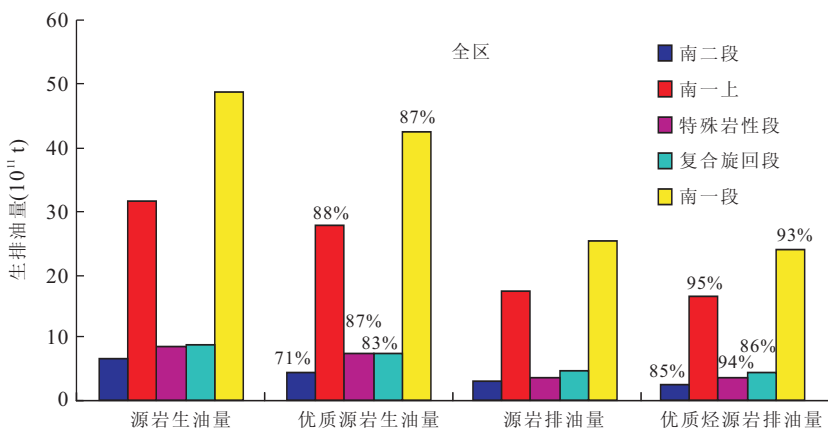


图 8 乌尔逊、贝尔凹陷源岩及优质源岩生、排油量

Fig. 8 Amount of hydrocarbon generation and expulsion of source rocks and high-quality source rocks in Wuerxun depression and Beier depression

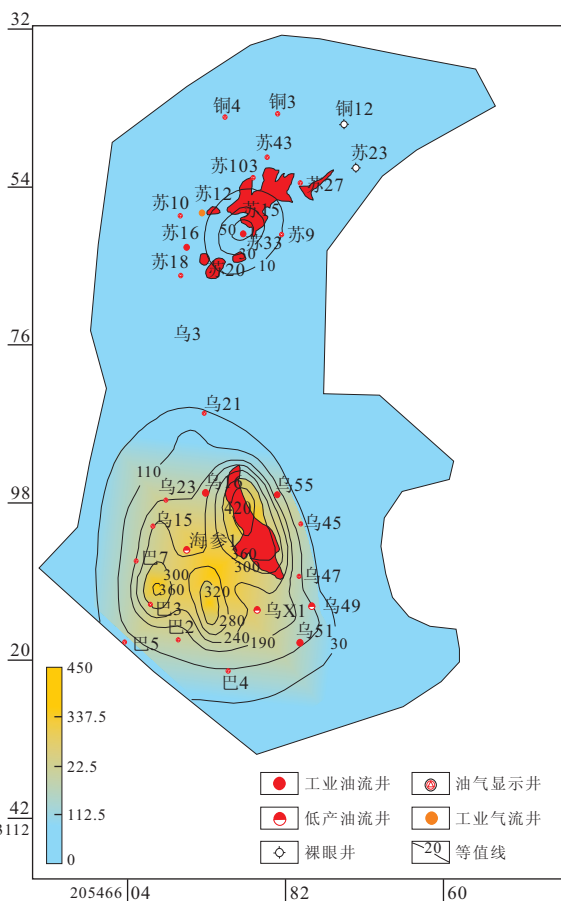


图 9 乌尔逊凹陷南一段优质烃源岩与油藏分布关系

Fig. 9 Relationship between the distributions of high-quality source rock and oil reservoir of K_1n^1 Member in Wuerxun depression

下限. 由于研究区有关源岩层有机质类型从 III 型到 I 型都有分布, 并以 I 型、II₁ 型为主(图 2), 且成熟度位于油窗范围内. 因此, 笔者认为, 这一标准应

该适合于位于油窗范围内的油源岩的评价.

3 优质烃源岩与成藏的关系

借助测井地化方法, 利用实测 TOC 与测井电阻率和声波时差的关系, 不难建立由测井资料计算泥岩有机质丰度的模型(刘超等, 2011). 由此可对全区一百多口井的泥岩有机质丰度进行逐点计算. 之后, 以 TOC=2.0% 为界, 不难确定出区内源岩中的普通源岩和优质源岩. 进一步不难计算得到不同凹陷、不同源岩层的两者总质量及其各自的生油量、排油量, 图 7、图 8 分别绘出了计算结果. 可以看出, 南二段、南一段(包括特殊岩性段和复合岩性段)优质烃源岩的质量比例虽然不高(分别为 35% 和 52%), 但生油贡献比例却达到 71% 和 87%, 排油贡献比例更是高达 85% 和 94%. 显示了优质烃源岩对成藏的突出贡献. 图 9 绘出了区内南一段优质烃源岩与油藏分布关系, 从中可以看出, 南一段优质烃源岩对油藏具有明显的源控作用.

4 结语

(1) 利用物质平衡原理计算的源岩排烃(油)量与有机质丰度(TOC)关系曲线的拐点可以确定优质烃源岩的下限, TOC 高于该值的源岩即为优质烃源岩. 即优质烃源岩可定义为: 源岩中有机质的丰度高到其开始大量排烃点以上的源岩, 它一般是有机质丰度较高、同时类型较好且成熟度适中(对油源岩)或较高(对气源岩而言)的源岩.

(2)理论上,源岩排烃量与有机质丰度(TOC)的关系曲线的拐点,即优质烃源岩的下限与有机质的类型、成熟度及影响残烃量的源岩的矿物组成有关,因此,下限标准应该因地质条件而异,而不是一个统一的下限。但为简明、实用起见,本文综合推荐 $TOC=2.0\%$ 作为优质油源岩的下限标准。

(3)标准在研究区的应用表明,优质烃源岩对生油量贡献比例明显高于其质量比例,排油量更是占支配地位,区内南二段、南一段优质烃源岩的生油贡献比例达到 71%和 87%,排油贡献比例更是高达 85%和 94%,优质源岩的分布与区内油藏的分布也有非常好的对应关系,证明了优质源岩的控藏作用。

References

Chen, J. F., Zhang, S. C., Sun, S. L., et al., 2006. Main factors influencing marine carbonate source rock formation. *Acta Geologica Sinica*, 80(3): 467—473 (in Chinese with English abstract).

Fu, J. M., Sheng, G. Y., Xu, J. Y., et al., 1991. Application of biomarker compounds in assessment of paleoenvironments of Chinese terrestrial sediments. *Geochimica*, 1: 1—12 (in Chinese with English abstract).

He, F., Jin, G. X., Wei, L. H., 2010. Research on high quality source rock in Dongpu depression. *Journal of Oil and Gas Technology*, 32(4): 185—188 (in Chinese).

Hou, D. J., Zhang, S. W., Xiao, J. X., et al., 2008. The excellent source rocks and accumulation of stratigraphic and lithologic traps in the Jiyang depression, Bohai bay basin, China. *Earth Science Frontiers*, 15(2): 137—146 (in Chinese with English abstract).

Jin, Q., 2001. Importance and research about effective hydrocarbon source rock. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 8(1): 1—4 (in Chinese with English abstract).

Jin, Q., Zha, M., Zhao, L., 2001. Identification of effective source rocks in the Tertiary evaporate facies in the western Qaidam basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(1): 125—129, 135 (in Chinese with English abstract).

Jin, Q., Zhu, G. Y., Wang, J., 2008. Deposition and distribution of high-potential source rocks in saline lacustrine environments. *Journal of China University of Petroleum*, 32(4): 19—24 (in Chinese with English abstract).

Kong, F. X., Zhang, L. Y., Zhou, W., et al., 2000. Geochemical characteristics and hydrocarbon-generating potential of good source rocks in Jiyang depression. *Multiple Oil-Gas Field*, 7(3): 13—15 (in Chinese).

Li, C. F., Xiao, J. F., 1988. The application of trace element

to the study on paleosalinities in Shahejie Formation of Dongying basin, Shengli oilfield. *Acta Sedimentologica Sinica*, 6(4): 100—107 (in Chinese with English abstract).

Li, R. W., Lin, D. X., Wang, Z. Z., et al., 1986. The new criteria used by judging high-salinity environment. *Chinese Science Bulletin*, 8: 604—607 (in Chinese).

Li, T. Y., He, S., Yang, Z., 2008. The marine source rock formation conditions and control factors. *Geological Science and Technology Information*, 27(6): 63—71 (in Chinese with English abstract).

Liu, C., Lu, S. F., Huang, W. B., et al., 2011. Improvement of $\Delta\log R$ and its application in source rocks evaluation. *Petroleum Geology & Oilfield Development Daqing*, 30(3): 27—31 (in Chinese with English abstract).

Liu, C. L., Xu, J. L., Wang, P. X., 2001. Algal blooms: the primary mechanism in the formation of lacustrine petroleum source rocks. *Geological Review*, 47(2): 207—210 (in Chinese with English abstract).

Liu, X. Y., Deng, H. W., Di, Y. X., et al., 2009. High quality source rocks of Nantun Formation in Wuerxun depression, the Hailaer basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 31(1): 68—73 (in Chinese with English abstract).

Lu, S. F., 1996. Kinetics theory of hydrocarbon generation from organic matter and its application. Petroleum Industry Press, Beijing, 62—99 (in Chinese).

Lu, S. F., Fu, G., Wang, P. Y., 2002. Quantitative research on main controlling factors of gas accumulation. Petroleum Industry Press, Beijing, 106—178 (in Chinese).

Lu, S. F., Liu, X. Y., Fu, X. T., et al., 2001. Chemical kinetics study on the generation mechanism of immature to low-mature oil and its initial application. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(1): 130—135 (in Chinese with English abstract).

Lu, S. F., Liu, X. Y., Qu, J. Y., et al., 1995. Restoring of original hydrocarbon potential and original organic carbon of source rocks in Huhuhu depression Hailar basin. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 19(1): 31—34 (in Chinese with English abstract).

Lu, S. F., Li, Z. D., Li, J. J., et al., 2009. Chemical kinetic method of evaluating low-mature gas and its application in Tuha basin. *Geochimica*, 38(1): 68—74 (in Chinese with English abstract).

Lu, S. F., Zhong, N. N., Xue, H. T., et al., 2007. Chemical kinetics study of hydrocarbon of regeneration from organic matter in carbonate source rocks and its significance. *Science in China (Ser. D)*, 50(2): 536—543 (in

- Chinese).
- Moldowan, J. M., Seifert, W. K., Gallegos, E. J., 1985. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks. *AAPG Bulletin*, 69: 1255—1268. doi: 10.1306/AD4628C8-16F7-11D7-8645000102C1865D
- Pang, X. Q., 1995. Theory of hydrocarbon expulsion threshold and its application. Petroleum Industry Press, Beijing, 8—108, 148—245 (in Chinese).
- Pang, X. Q., Guo, Y. H., Jiang, F. J., et al., 2009. High-quality source rocks and their distribution prediction in the Bohai sea waters. *Oil & Gas Geology*, 30(4): 393—398 (in Chinese with English abstract).
- Pedersen, T. F., Calvert, S. E., 1990. Anoxia vs. productivity: what controls the formation of organic carbon-rich sediments and sedimentary rocks. *AAPG Bulletin*, 74(4): 454—466. doi: 10.1306/0C9B232B-1710-11D7-8645000102C1865D
- Qin, J. Z., Li, Z. M., Liu, B. Q., et al., 2007. The potential of generating heavy oil and solid bitumen of excellent marine source rocks. *Petroleum Geology & Experiment*, 29(3): 280—285 (in Chinese with English abstract).
- Qin, J. Z., Tenger, Fu, X. D., 2009. Study of forming condition on marine excellent source rocks and its evaluation. *Petroleum Geology & Experiment*, 31(4): 366—378 (in Chinese with English abstract).
- Tang, X. H., 1986. The Palaeogene super-micro fossil palaeoecology and haloenvironment in Dongpu depression. *Chinese Science Bulletin*, 4: 298—300 (in Chinese).
- Tenger, Gao, C. L., Hu, K., et al., 2006. High-quality source rocks in the Lower Combination in Southeast Upper-Yangtze area and their hydrocarbon generating potential. *Petroleum Geology & Experiment*, 28(4): 359—365 (in Chinese with English abstract).
- Tissot, B. P., Welte, D. H., 1978. Petroleum formation and occurrence: a new approach to oil and gas exploration. Springer-Verlag, Berlin, 201—486.
- Wang, J., Ma, S. P., Luo, Q., et al., 2009. Recognition and resource potential of source rocks in Raoyang sag of Bohai bay basin. *Acta Petrolei Sinica*, 30(1): 51—56 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L., Jin, Q., Lin, L. M., et al., 2009. Characteristics of quality Tertiary source rocks in West Qaidam basin. *Natural Gas Industry*, 29(2): 23—26 (in Chinese with English abstract).
- Wang, T. G., 1990. A contribution to some sedimentary environmental biomarkers in crude oils and source rocks in China. *Geochimica*, 3: 256—262 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L. Y., Kong, X. X., Zhang, C. R., et al., 2003. High quality oil prone source rocks in Jiyang depression. *Geochimica*, 32(1): 35—42 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. C., Zhang, B. M., Wang, F. Y., et al., 2001. The two sets of effective source rock layers in Talimu basin—I the organic matters characteristics, developing environment and controlling factors. *Progress in Nature Science*, 11(3): 261—268 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, H. J., Dong, Y. X., Zhu, G. Y., et al., 2007. High-quality source rocks in Nanpu sag. *Petroleum Exploration and Development*, 34(4): 385—342 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, J. L., 2009. Prospect of logging evaluation of excellent hydrocarbon source rocks in offshore shelf basins in China. *Marine Origin Petroleum Geology*, 14(2): 52—59 (in Chinese).
- Zhu, G. Y., Jin, Q., 2002. Study on source rock heterogeneity—a case of Niu-38 Well in Dongying depression. *Acta Petrolei Sinica*, 23(5): 34—39 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, G. Y., Jin, Q., Zhang, S. C., et al., 2004. Combination characteristics of lake facies source rock in the Shahejie formation, Dongying depression. *Acta Geologica Sinica*, 78(3): 416—427 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈践发, 张水昌, 孙省利, 等, 2006. 海相碳酸盐岩优质烃源岩发育的主要影响因素. *地质学报*, 80(3): 467—473.
- 傅家谟, 盛国英, 许家友, 等, 1991. 应用生物标志化合物参数判识古沉积环境. *地球化学*, 1: 1—12.
- 何锋, 靳广兴, 魏丽红, 2010. 东濮凹陷优质烃源岩研究意义. *石油天然气学报*, 32(4): 185—188.
- 侯读杰, 张善文, 肖建新, 等, 2008. 济阳拗陷优质烃源岩特征与隐蔽油气藏的关系分析. *地学前缘*, 15(2): 137—146.
- 金强, 查明, 赵磊, 2001. 柴达木盆地西部第三系盐湖相有效生油岩的识别. *沉积学报*, 19(1): 125—129, 135.
- 金强, 2001. 有效烃源岩的重要性及其研究. *油气地质与采收率*, 8(1): 1—4.
- 金强, 朱光有, 王娟, 2008. 咸化湖盆优质烃源岩的形成与分布. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 32(4): 19—24.
- 孔凡仙, 张林晔, 周文, 等, 2000. 济阳拗陷优质烃源岩层地球化学特征及成烃潜力. *复式油气田*, 7(3): 13—15.
- 李成风, 肖继风, 1988. 用微量元素研究胜利油田东营盆地

- 沙河街组的古盐度. 沉积学报, 6(4): 100—107.
- 李任伟, 林大兴, 王志珍, 等, 1986. 判断古高盐度环境的新标准. 科学通报, 8: 604—607.
- 李天义, 何生, 杨智, 2008. 海相优质烃源岩形成环境及其控制因素分析. 地质科技情报, 27(6): 63—71.
- 刘传联, 徐金鲤, 汪品先, 2001. 藻类勃发—湖相油源岩形成的一种重要机制. 地质论评, 47(2): 207—210.
- 刘超, 卢双舫, 黄文彪, 等, 2011. $\Delta\log R$ 技术改进及其在烃源岩评价中的应用. 大庆石油地质与开发, 30(3): 27—31.
- 刘新颖, 邓宏文, 邸永香, 等, 2009. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷南屯组优质烃源岩发育特征. 石油实验地质, 31(1): 68—73.
- 卢双舫, 1996. 有机质成烃动力学理论及其应用. 北京: 石油工业出版社, 62—99.
- 卢双舫, 刘晓艳, 曲佳燕, 等, 1995. 海拉尔盆地呼和湖凹陷烃源岩原始生烃潜力和原始有机碳的恢复. 大庆石油学院学报, 19(1): 31—34.
- 卢双舫, 付广, 王朋岩, 2002. 天然气富集主控因素的定量研究. 北京: 石油工业出版社, 106—178.
- 卢双舫, 刘晓艳, 付晓泰, 等, 2001. 未熟—低熟油生成的化学动力学理论及其初步应用. 沉积学报, 19(1): 130—135.
- 卢双舫, 李占东, 李吉君, 等, 2009. 吐哈盆地低熟气评价的化学动力学方法及其应用. 地球化学, 38(1): 68—74.
- 卢双舫, 钟宁宁, 薛海涛, 等, 2007. 碳酸盐岩有机质二次生烃的化学动力学研究及其意义. 中国科学(D辑), 37(2): 178—184.
- 庞雄奇, 1995. 排烃门限控油气理论与应用. 北京: 石油工业出版社, 8—108, 148—245.
- 庞雄奇, 郭永华, 姜福杰, 等, 2009. 渤海海域优质烃源岩及其分布预测. 石油与天然气地质, 30(4): 393—398.
- 秦建中, 李志明, 刘宝泉, 等, 2007. 海相优质烃源岩形成重质油与固体沥青的潜力分析. 石油实验地质, 29(3): 280—285.
- 秦建中, 腾格尔, 付小东, 2009. 海相优质烃源层评价与形成条件研究. 石油实验地质, 31(4): 366—378.
- 唐祥华, 1986. 东濮凹陷早第三纪钙质超微化石古生态及成盐环境. 科学通报, 4: 298—300.
- 腾格尔, 高长林, 胡凯, 等, 2006. 上扬子东南缘下组合优质烃源岩发育及生烃潜力. 石油实验地质, 28(4): 359—365.
- 王建, 马顺平, 罗强, 等, 2009. 渤海湾盆地饶阳凹陷烃源岩再认识与资源潜力分析. 石油学报, 30(1): 51—56.
- 王力, 金强, 林腊梅, 等, 2009. 柴达木盆地西部古近系—新近系优质烃源岩特征. 天然气工业, 29(2): 23—26.
- 王铁冠, 1990. 试论我国某些原油与生油岩中的沉积环境标志物. 地球化学, 3: 256—262.
- 张林晔, 孔祥星, 张春荣, 等, 2003. 济阳拗陷下第三系优质烃源岩的发育及其意义. 地球化学, 32(1): 35—42.
- 张水昌, 张保民, 王飞宇, 等, 2001. 塔里木盆地两套海相有效烃源层—I. 有机质性质、发育环境及控制因素. 自然科学进展, 11(3): 261—268.
- 郑红菊, 董月霞, 朱光有, 等, 2007. 南堡凹陷优质烃源岩的新发现. 石油勘探与开发, 34(4): 385—342.
- 周建林, 2009. 近海陆架盆地优质烃源岩的测井评价展望. 海相油气地质, 14(2): 52—59.
- 朱光有, 金强, 2002. 烃源岩的非均质性及其研究—以东营凹陷牛 38 井为例. 石油学报, 23(5): 34—39.
- 朱光有, 金强, 张水昌, 等, 2004. 东营凹陷沙河街组湖相烃源岩组合特征. 地质学报, 78(3): 416—427.