

文章编号: 0253-2697(2012)06-0961-09

松辽盆地北部浅层气成藏主控因素及勘探有利区

夏永江^{1,2} 王延斌¹ 王晓波^{2,3} 张英^{2,3} 王东良^{2,3} 李志生^{2,3} 杨春霞²

(1. 中国矿业大学 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院 河北廊坊 065007;

3. 中国石油天然气集团公司天然气成藏与开发重点实验室 河北廊坊 065007)

摘要:浅层气是埋深相对较浅的天然气,世界范围内资源丰富,也是中国重要的潜在勘探领域。由于受中浅层找油、深层找气的二元勘探思想指导,松辽盆地北部浅层气的勘探和研究工作开展相对较少,浅层气分布、成因类型和成藏主控因等方面缺乏系统性研究。针对上述问题,笔者系统地研究了松辽盆地北部浅层气的分布和成因类型,总结了不同类型浅层气成藏控制因素,并预测了浅层气勘探有利领域。研究表明:①松辽盆地北部浅层气分布广泛,平面分区,纵向分层;②松辽盆地北部浅层气总体可分为与生物作用相关的浅层气和与热成因相关的浅层气两大类,其中与生物作用相关的浅层气包括浅层生物成因气(I)、浅层生物-热催化过渡带气(又称低熟气)(II),与热成因相关的浅层气包括浅层热成因油型气(III₁)、浅层热成因煤成气(III₂);③松辽盆地北部与生物作用相关的浅层气和与热成因相关的浅层气具有不同的成藏主控因素:浅层生物成因气、低熟气成藏主要受未熟—低熟烃源岩或降解原油的分布,岩性和构造相关的圈闭以及盖层控制;浅层热成因气成藏主要受腐泥型或煤系成熟气源岩,构造和断层遮挡相关的圈闭,盖层和断层控制;④松辽盆地北部浅层资源丰富、潜力巨大,浅层生物成因气、低熟气比浅层热成因气具有更广阔的资源前景,其中西部斜坡区和中央拗陷区浅层是浅层生物成因气和低熟气的勘探有利区域。该研究对松辽盆地北部浅层气勘探具有重要的理论和现实指导意义。

关键词:浅层气;成因类型;生物成因气;生物-热催化过渡带气(低熟气);成藏主控因素;勘探有利区

中图分类号:TE122

文献标识码:A

Main controlling factors in the shallow-gas reservoir formation and its favorable exploration area in the northern Songliao Basin

XIA Yongjiang^{1,2} WANG Yanbin¹ WANG Xiaobo^{2,3} ZHANG Ying^{2,3}
WANG Dongliang^{2,3} LI Zhisheng^{2,3} YANG Chunxia²

(1. China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China; 2. Langfang Branch, PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Langfang 065007, China; 3. Key Laboratory of Gas Reservoir Formation & Development, CNPC, Langfang 065007, China)

Abstract: The exploration for shallow gas that has a relatively shallower burial depth has been carried out all over the world, especially in North America. Shallow gas is also considered as an important potential resource in China. Guided by the binary exploration thought of looking for oils in shallow-medium layers and for gases in deep layers, researches on and exploration for shallow gas in the northern Songliao Basin are rarely carried out, so shallow gas distributions, genetic types and main controlling factors in the gas-reservoir formation in the basin lack systematical studies. Aiming at the above-mentioned problems, we firstly studied shallow gas distributions and genetic types, then discussed main controlling factors for different shallow gases, and finally forecasted favorable areas of gas exploration. The research result indicates that: ① shallow gas is widely distributed in different horizontal areas and vertical formations in the northern Songliao Basin; ② shallow gas in the northern Songliao Basin can be generally divided into biogenic gas and thermogenic gas, the former includes shallow biogenic gas (I) and shallow bio-thermocatalytic transitional zone gas (so-called low-maturity gas) (II), while the latter includes shallow oil-type gas (III₁) and shallow coal-formed gas (III₂); ③ both biogenic gas and thermogenic gas have different main controlling factors in reservoir formation; for instance, shallow biogenic gas and low-maturity gas are mainly controlled by immature and low-maturity source rocks or distributions of degraded crude oils, lithologic and tectonic traps and caprocks; while shallow thermogenic gas is mainly controlled by matured sapropel or coal-measures source rocks, fault-screened and tectonic traps, caprocks and faults; and ④ the northern Songliao Basin is very abundant in shallow gas, of which shallow biogenic gas and low-maturity gas have a greater resource prospect than shallow thermogenic gas, the west slope area and shallow layers of the central depression are favorable areas of the exploration for shallow biogenic gas and low-maturity gas in the north-

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科技项目(06-01D-01-01-02)资助。

第一作者及通讯作者: 夏永江,男,1972年9月生,2009年获中国石油勘探开发研究院硕士学位,2012年获中国地质大学(北京)博士学位,现为中国矿业大学(北京)博士后研究人员、中国石油勘探开发研究院廊坊分院高级工程师,主要从事油气地质勘探、开发以及国际合作项目研究等。Email:xiayj69@petrochina.com.cn

ern Songliao Basin. The present study is of great significance both in theory and in realistic guidance for the shallow gas exploration in the northern Songliao Basin.

Key words: shallow gas; genetic type; shallow biogenic gas; shallow bio-thermocatalytic transitional zone gas (low-maturity gas); main controlling factor for shallow gas reservoir formation; favorable area of gas exploration

浅层气是埋深相对较浅的天然气,国内许多学者对其定义和分类等都做过详细的研究^[1-2]。浅层气包含两种含义:一是主力含油气层系之上的层系中赋存的天然气;二是埋藏深度小于一定深度的天然气。世界上普遍按深度定义,美国把产层埋深在1500m以内的天然气定义为浅层气;前苏联对浅层气的定义为产层埋深在1200m以内的天然气;中国把气藏埋深小于1500m的天然气资源定义为浅层气。

世界范围内浅层气资源非常丰富,浅于1500m的气田占世界气田总数的20%^[3]。截至2005年底,浅层气储量约为 $39 \times 10^{12} \text{ m}^3$,占世界探明可采储量 $173 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的23%,美国、俄罗斯、中国、加拿大、日本、德国等许多国家都发现了具有工业价值的浅层气藏^[4-5]。中国浅层气资源丰富,主要分布在柴达木盆地、松辽盆地、四川盆地、塔里木盆地、鄂尔多斯盆地等地区^[6-9],其中柴达木盆地的浅层生物气探明储量超过 $3000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于浅层气资源丰富、埋深较浅、勘探开发成本低、投资少、见效快、风险小,目前世界范围内浅层勘探活动活跃,特别是北美地区已经成为储量和产量增长的重点,也是中国值得重视的天然气勘探新领域。

松辽盆地是中国最重要的含油气盆地,近年来深层天然气勘探取得重大突破之一就是发现了庆深大气田^[10-11],已经形成了以中浅层找油、深层找气为主的二

元勘探格局。由于长期以来浅层气不是勘探重点,因而松辽盆地北部浅层气分布、成因类型和成藏主控因素等方面缺乏系统性研究。1995年,许运新、谭保祥等较早地对松辽盆地浅层气地质特征和资源前景开展了初步探讨^[12];2006年,王雪等对松辽盆地北部浅层生物气特征及其成因进行了分析研究^[13];2009年以后,浅层气研究工作逐步开始活跃起来。笔者旨在明确松辽盆地北部浅层气的分布、成因类型、成藏主控因素及勘探有利区,便于根据不同成因类型浅层气开展有针对性的勘探活动,对松辽盆地北部浅层气勘探具有重要的理论和现实指导意义。

1 地质概况

松辽盆地位于中国东北部,面积约为 $26 \times 10^4 \text{ km}^2$,是中国以中生代为主的陆相含油气盆地,也是世界上已发现特大油田、油气资源最丰富的非海相沉积盆地^[14],其中松辽盆地北部是指嫩江东段及松花江以北地区,面积约 $12 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图1)。盆地具有断、坳双重结构,晚侏罗世—早白垩世早期,在晚古生代基底上形成了克拉通内裂谷盆地,产生了NE向及近SN向展布的断陷群盆地;早白垩世晚期—新生代,发育了大型拗陷盆地^[15]。松辽盆地北部跨西部斜坡区、北部倾没区、中央拗陷区、东北隆起区、东南隆起区共5个一级构造单元。松辽盆地北部在石炭—二叠系



图1 松辽盆地北部构造单元划分和浅层气显示分布

Fig. 1 The structural unit division and shallow gas distribution in northern Songliao Basin

变质岩基底上发育了上侏罗统火石岭组(J₃h),白垩系沙河子组(K₁sh)、营城子组(K₁yc)、登娄库组(K₁d)、泉头组(K₁q)、青山口组(K₂qn)、姚家组(K₂y)、嫩江组(K₂n)、四方台组(K₂s)、明水组(K₂m),古近系(E)、新近系(N)和第四系(Q)沉积地层。主要烃源岩形成于晚白垩世青山口组和嫩江组沉积时期,主要的储层自下而上为杨大城子油层[简称为 Y,包括泉三段(K₁q₃)],扶余油层[简称为 F,包括泉四段(K₁q₄)],高台子油层[简称为 G,包括青二三段(K₂qn₂₋₃)],葡萄花油层[简称为 P,包括姚一段(K₂y₁)],萨尔图油层[简称为 S,包括嫩一段和姚二三段(K₂n₁,K₂y₂₋₃)]和黑帝庙油层[简称为 H,包括嫩三一五段(K₂n₃₋₅)]。

2 浅层气分布和成因类型

松辽盆地北部已发现多处理深小于 1 500 m 的浅

层气田(藏)或局部含气区块(表 1),包括阿拉新气田、二站气田、喇嘛甸气田、三站气田、五站气田、红岗明水组气藏,以及朝阳沟地区、英台-大安地区、敖南地区、葡西地区等含气区块。通过对浅层气田(藏)内外钻井的浅层气显示复查,发现松辽盆地北部浅层气显示丰富、分布广泛(图 1)。在上述研究基础上分析总结了松辽盆地北部浅层气的平面和纵向分布特征:松辽盆地北部浅层气资源丰富、分布广泛,平面分区,纵向分层;平面上(纵向上)主要集中分布在西部斜坡区泰康隆起带(高台子油层 G、萨尔图油层 S),中央坳陷区齐家古龙凹陷和大庆长垣(黑帝庙油层 H、萨尔图油层 S 和葡萄花油层 P)、朝阳沟阶地(葡萄花油层 P),东南隆起区长春岭背斜和宾县—王府凹陷(扶余油层 F、杨大城子油层 Y),以及东南隆起区绥化凹陷和绥棱背斜的部分地区。

表 1 松辽盆地北部主要浅层气(藏)或含气区块层位分布

Table 1 The distribution strata of shallow gas field (reservoir) or block in northern Songliao Basin

层位	浅层气田(藏)或局部含气区块		
	西部斜坡区	中央坳陷区齐家古龙凹陷和大庆长垣	中央坳陷区三肇凹陷和东南隆起区
明水组(K ₂ m)		红岗明水气藏	
黑帝庙油层(H)		敖南、英台-大安、葡西、龙南地区等	
萨尔图、葡萄花、高台子油层(S,P,G)	阿拉新、二站、白音诺勒气田	他拉红、新店、喇嘛甸、敖古拉气田	四站气田,朝阳沟地区
扶余、杨大城子油层(F,Y)			宋站、羊草、三站、五站、长春岭、太平庄气田等

浅层气类型多样、成因复杂。利用煤成气和油型气成因类型鉴别指标(煤成气的甲烷碳同位素 $-10‰ > \delta^{13}C_1 > -43‰$,油型气的甲烷碳同位素 $-30‰ > \delta^{13}C_1 > -55‰$),国内外普遍采用的生物气鉴别指标(甲烷碳同位素 $\delta^{13}C_1 < -55‰$ 和重烃气组分含量较低),生物-热催化过渡带气(又称低熟气)的鉴别指标(具有较轻的甲烷碳同位素组成, $\delta^{13}C_1$ 值为 $-60‰ \sim -48‰$, C_1/C_{1+5} 比值在 $0.7 \sim 0.99$,相应的源岩成熟度 R_o 为 $0.25\% \sim$

0.6% 、埋深为 $1000 \sim 2500$ m 等)^[16-17],对松辽盆地北部众多浅层气田(藏)或含气区块的浅层气按平面和纵向分布分别进行了综合的成因判识。总体上,松辽盆地北部浅层气可分为与生物作用相关的浅层气和与热成因相关的浅层气两大类,其中与生物作用相关浅层气包括浅层生物成因气(I)、浅层生物-热催化过渡带气(又称低熟气)(II),而与热成因相关的浅层气包括浅层热成因油型气(III₁)和浅层热成因煤成气(III₂)(图 2)。

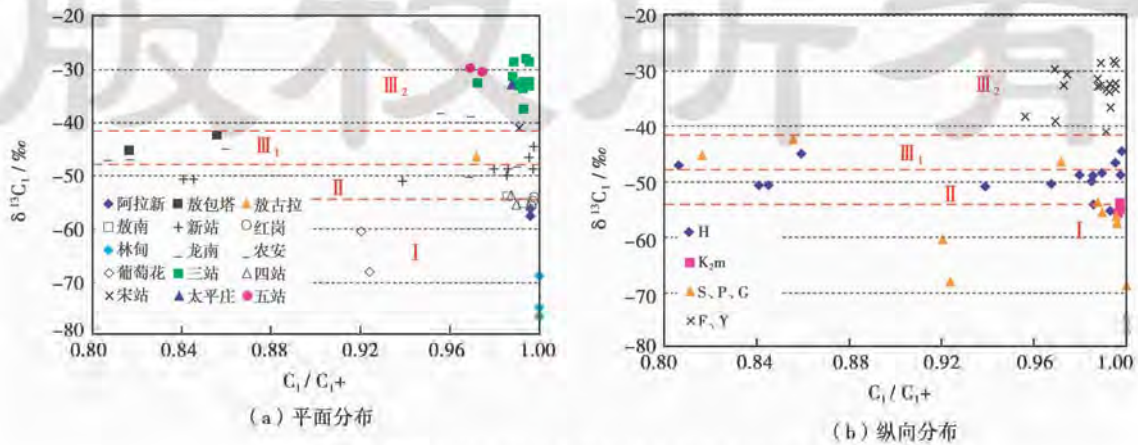


图 2 松辽盆地北部浅层气区域和层系成因判识

Fig. 2 The shallow gas genesis identification in northern Songliao Basin

(1) 按平面分布进行成因判识[图 2(a)]。浅层生物成因气(I)主要分布于敖南、阿拉新、四站、红岗、林甸及葡萄花等地区,浅层气的甲烷碳同位素均轻于 -55% ,干燥系数 C_1/C_{1+} 一般大于 0.98,其中林甸地区甲烷碳同位素最轻,一般小于 -75% ,葡萄花地区干燥系数 C_1/C_{1+} 相对较低,在 0.92~0.93。生物-热催化过渡带气(低熟气)(II)主要分布于新站、敖南、四站等地区黑帝庙油层,浅层气的甲烷碳同位素主要分布于 $-48\% > \delta^{13}C_1 > -55\%$,干燥系数 C_1/C_{1+} 主要分布于 0.84~0.99,浅层气烃源岩主要为黑帝庙油层自身的嫩三、嫩四段未熟-低熟烃原岩,表现出生物-热催化过渡带气的地化特征,综合判识为浅层生物-热催化过渡带气(低熟气)。浅层热成因油型气(III₁)则主要分布于敖古拉、敖包塔、龙南以及新站,甲烷碳同位素主要分布在 $-43\% > \delta^{13}C_1 > -48\%$,具有典型的油型气同位素特征;样品的干燥系数 C_1/C_{1+} 分布范围较宽,在 0.80~1.00,干燥系数与生物气相比相对降低,反映出乙烷以上重烃含量相对升高、样品湿度增大的油型气特征。三站、五站、太平庄、宋站等地浅层气为典型的浅层热成因煤成气(III₂),甲烷碳同位素主要分布在 $-28\% \sim -40\%$,绝大多数天然气样品 C_1/C_{1+} 大于 0.96,样品干燥系数较高与生气母源的热演化程度高有关,具有成熟度较高的煤成气特征。

(2) 按纵向层位分布进行成因判识[图 2(b)]。明水组(K₂m)浅层气为浅层生物成因气(I),甲烷碳同位素全部小于 -55% ,天然气干燥系数 C_1/C_{1+} 大于 0.99。黑帝庙油层(H)的浅层气甲烷碳同位素分布在 $-43\% > \delta^{13}C_1 > -58\%$,其中大部分主要分布于 $-48\% > \delta^{13}C_1 > -58\%$,表现出大部分浅层气以浅层生物-热催化过渡带气(低熟气)(II)和浅层生物成因气(I)为主,小部分为浅层热成因油型气(III₁)的特征。萨尔图油层(S)、葡萄花油层(P)和高台子油层(G)的浅层气以浅层生物成因气(I)为主,大部分样品的甲烷碳同位素轻于 -55% 、干燥系数 C_1/C_{1+} 在 0.92~1;同时也存在部分浅层热成因油型气(III₁),甲烷碳同位素在 $-48\% \sim -43\%$, C_1/C_{1+} 在 0.81~0.98。扶余、杨大城子油层(F、Y)的浅层气甲烷碳同位素分布于 $-28\% \sim -40\%$,天然气以干气为主,干燥系数 C_1/C_{1+} 大于 0.96,为具有较高成熟度的浅层热成因煤成气(III₂)。

3 浅层气成藏主控因素

控制浅层气成藏的地质因素有很多,主要包括气源岩、圈闭、盖层和断层等,以下结合前人研究^[18-22],对松辽盆地北部众多已知气田进行综合分析,明确与生

物作用相关的浅层气和与热成因相关的浅层气成藏主控因素的差异性。

3.1 气源岩控制

气源岩是浅层气成藏的物质基础和前提条件,气源岩的类型、有机质成熟度和分布是影响不同类型浅层气成藏的关键因素。

松辽盆地北部与生物作用相关的浅层气主要包括原油降解生物气、源岩降解生物气和低熟气 3 种类型。原油降解气是指原油在厌氧微生物降解(稠化)过程中形成的次生型生物气又称为稠油降解气^[23]。原油降解气的形成过程实际上是原油在厌氧条件下被微生物改造利用再生的过程,一方面消耗了原油中的低碳数烃类,使原油密度、黏度、含硫量升高;同时原油被厌氧微生物降解成简单化合物后,产甲烷菌可利用其生成甲烷气^[24]。松辽盆地北部西部斜坡区的原油主要来源于中央坳陷区青山口组、嫩江组湖相泥岩,经过微生物厌氧降解目前西部斜坡区原油已经形成密度相对较低、黏度相对较高、富含非烃、贫沥青质的稠油^[25-26]。松辽盆地北部的原油降解气主要分布于西部斜坡区,受西部斜坡原油来源以及降解原油的分布控制,呈环状分布在盆地或凹陷边缘的凸起带上,并且与稠油有密切的伴生关系,分布在稠油油藏的上方或上倾方。目前松辽盆地北部西部斜坡区已在稠油分布地区(图 3)发现了大量稠油降解气,如阿拉新、二站、平洋气田。

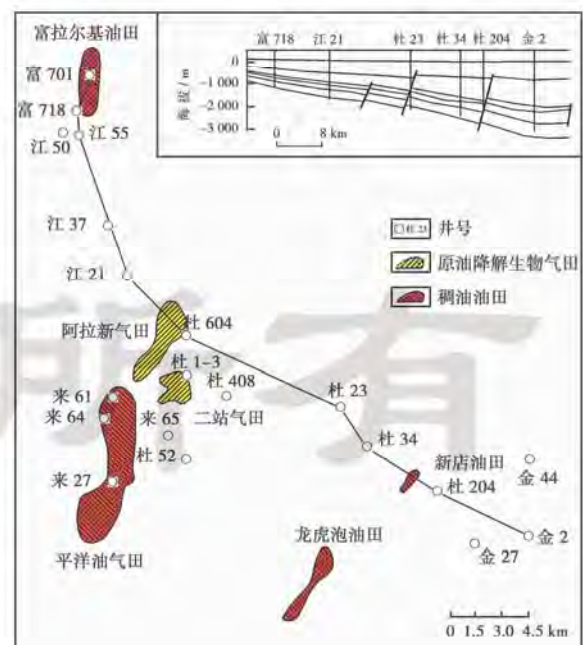


图 3 松辽盆地北部西部斜坡区稠油及原油降解生物气分布(据文献[26]修改)

Fig. 3 Distribution of heavy crude oil and oil degradation biogenic gases in west slope area of northern Songliao Basin

源岩降解生物气和低熟气则主要受中央坳陷浅层以腐泥型为主的嫩江组、明水组及以上未熟—低熟烃源岩($R_o < 0.7\%$)和沿成熟生烃中心齐家古龙凹陷四周分布的部分嫩一、二段和青山口组未熟—低熟烃源岩控制,未熟—低熟烃源岩的分布范围控制了源岩降解生物气和低熟气的形成和分布,形成的气藏多位于或临近于未熟—低熟烃源岩之上。例如,红岗明水组生物气藏主要受明水组未熟烃源岩控制。红岗气藏明水组暗色泥岩厚50~60 m,有机碳含量高达1.285%,氯仿沥青“A”为0.013%。由于明水组埋深小于500 m,有机质远未成熟,地温为32~38℃,具有形成生物气的良好条件。朝阳沟地区浅层含气层位于葡萄花油层,该区浅层气以生物气、低熟气为主,气藏下覆发育大段深湖相黑色泥岩,属于下生上储式成藏,其中青一段有机碳含量1.03%~5.78%,平均为4%,为生物气、低熟气的生成提供了良好的气源岩条件。

松辽盆地北部的浅层热成因气主要受中央坳陷区齐家-古龙凹陷地区青山口组、嫩江组成熟的腐泥型烃源岩和盆地东部徐家围子、莺山、王府等深层断陷的火石岭、沙河子组腐殖型煤系烃源岩分布控制。浅层热成因油型气受齐家-古龙凹陷以腐泥型烃源岩为主的成熟烃源岩控制,主要分布在中央坳陷齐家-古龙凹陷和大庆长垣等含油气区,如白音诺勒、喇嘛甸、新店、英台、龙南和敖古拉等气田,喇嘛甸气藏是烃源岩成熟演化阶段生成的油气富集成藏的典型代表,以油型伴生气为主,含有少量生物成因气;浅层热成因煤成气主要来自深层沙河子—火石岭组煤系源岩,主要分布于东南隆起和中央坳陷东北部分地区,如五站、三站、长春岭、宋站和羊草气田等。五站气田天然气主要来源于莺山断陷沙河子组烃源岩。沙河子组为主的深层气源岩,有机碳平均值高达1.69%,有机质类型以Ⅲ型为主, R_o 值在2.14%~2.99%,处于过成熟阶段。

3.2 圈闭类型控制

圈闭是浅层气成藏的关键,直接影响着浅层气的富集。白垩纪以来松辽盆地构造运动不很强烈,浅层地质构造平缓,早期发育的古隆起和古斜坡总体控制油气运移大方向,大面积发育的河流、三角洲相砂体,配合局部发育的与构造、岩性、断层相关各种类型圈闭,极易使浅层气富集成藏。目前,松辽盆地北部已发现了众多类型的浅层气圈闭,包括背斜、构造—岩性、岩性上倾尖灭、透镜体、断层遮挡、地层不整合等类型,松辽盆地北部与生物作用相关的浅层气藏和与热成因相关的浅层气藏的主要圈闭类型也存在差异性。

松辽盆地北部浅层生物成因气和低熟气成藏主要受岩性、构造相关的圈闭控制,与岩性圈闭有更为密切

的关系。例如,朝阳沟地区(P),平洋气田(S),富拉尔基气田(S)气藏圈闭类型主要为岩性圈闭;阿拉新(S)、敖南地区(H)、葡西地区(H)、大安地区(H)气藏圈闭类型主要为岩性-构造圈闭;江桥气藏(G)的圈闭类型为地层不整合圈闭;红岗明水组气藏(K_2m)主要为构造-岩性气藏。由于松辽盆地北部浅层构造宽缓,浅部岩性和地层相关圈闭相对发育,浅层未熟—低熟烃源岩或原油降解形成的生物气、低熟气极易通过储集体或断层沟通在邻近的河流、三角洲相砂体中近源聚集成藏,形成以岩性为主的浅层生物气藏或低熟气藏。

浅层热成因气成藏主要受断层、构造相关的圈闭控制,而与断层遮挡圈闭更为密切相关。如白音诺勒气田(S)、喇嘛甸气田(S)、二站气田(S)等主要为背斜圈闭;敖古拉(S、P、G)、龙南地区(H)气藏主要为断鼻圈闭;新店(S)、羊草(F、Y)主要为断背斜圈闭;三站、五站、四站、长春岭气田(F、Y)主要为断块圈闭;太和(G)、羊草(F、Y)气田的圈闭类型为断层-岩性圈闭。由于浅层热成因气主要来自下部成熟湖相泥岩或煤系烃源岩,生成的成熟天然气需要运移至浅层聚集成藏,构造运动导致断层发育是深部天然气运移并在浅部聚集成藏的必要条件,因此浅层热成因气成藏主要受断层、构造相关的圈闭控制。

3.3 盖层控制

盖层是浅层气成藏的最重要条件之一^[27-30],其封闭能力直接影响着浅层气富集保存的数量,其空间展布的大小控制着浅层气在空间上的分布。松辽盆地北部发育两套区域性盖层,即青山口组和嫩一、二段,这两套区域性盖层不仅厚度大(青一段泥岩厚度大于90 m,青二、三段泥岩厚度大于500 m,嫩一段泥岩厚度大于110 m,嫩二段泥岩厚度大于240 m),全区分布,而且具有较强的毛细管封闭能力,同时还具有压力和烃浓度封闭能力^[29]。青山口组和嫩一、二段泥岩盖层分布面积不仅大于或等于下覆气源岩的空间分布面积,而且覆盖整个盆地,可以有效地封盖住沙河子组—营城组和青山口组气源岩生成排出的所有天然气在扶、扬油层中富集成藏和青山口组、嫩一、二段气源岩生成排出的天然气在萨、葡、高油层中富集成藏。该区除了青山口组和嫩一、二段两套区域性盖层外,还存在着嫩三、四、五段和明水组局部盖层,也具有较强的毛细管封闭能力,它们对黑帝庙油层和明水组中浅层气的局部富集起到了重要作用。如明水组气藏的明水组盖层稳定分布,既是区域盖层又是良好的直接盖层。阿拉新气田嫩一、二段区域泥岩盖层对气田的形成起了至关重要的作用(图4)。

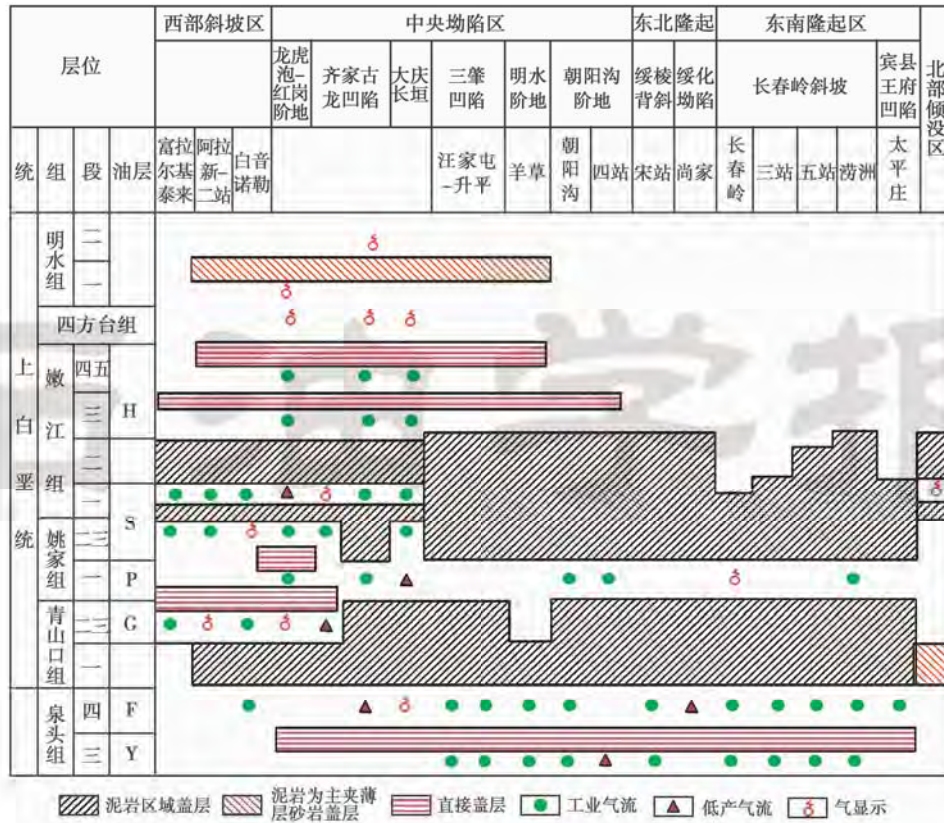


图4 松辽盆地北部盖层和天然气分布关系(据文献[14]修改)

Fig. 4 The relationship between shallow gas distribution and caprock in northern Songliao Basin

3.4 断层控制

断层对于浅层气,特别是浅层热成因气的成藏具有重要的控制作用。①断层是浅层气运移的主要通道。浅层气源岩可通过断层与临近的圈闭连通,有利于浅层生物气、低熟气的聚集成藏,如朝阳沟、葡西、敖南地区等;中深部的热成因天然气也依赖于断层沟通在浅部聚集成浅层热成因气藏,如三站、五站、长春岭、宋站和羊草气田等。②断层也在一定程度上起封闭作用^[30],形成一系列断鼻、断背斜、断块和断层-岩性等圈闭,控制了浅层气天然气的聚集成藏,如敖古拉、新店、羊草、三站、五站气藏等都是与断层遮挡圈闭聚气相关(图5)。③断层控制了浅层气的分布,浅层热成因气藏大多数分布在断裂带上及断层的两盘,且多数聚集在下盘,天然气分布高度与断层断开地层的高度基本上一致。例如,五站构造的断层多形成于青山口组早、中期,并且切割构造,是莺山断陷生成的天然气向五站构造侧向运移的重要通道,而青山口组沉积晚期大多数断层活动停止,并且逐步封闭,阻止了来自深部烃源岩的天然气继续向上运移,也避免了扶杨油层中天然气的散失,对气藏的保存发挥了重要作用。

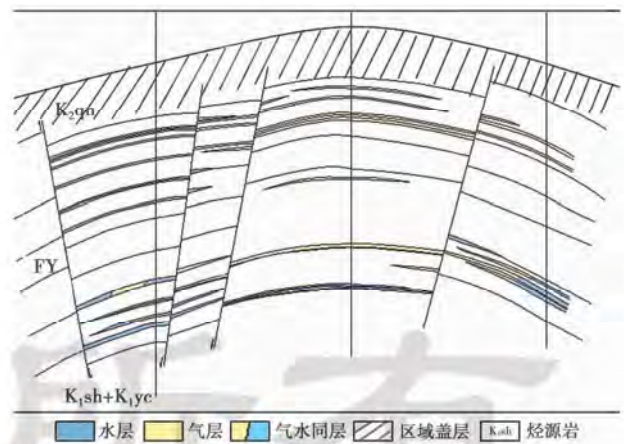


图5 松辽盆地北部五站气田与断层相关气藏剖面

Fig. 5 Shallow gas reservoir related to fault of Wuzhan gas field section

4 浅层气勘探有利区

松辽盆地北部的浅层热成因气主要为中深部热成因天然气通过构造调整运移到浅层聚集形成,与构造运动和断裂密切相关,受到气源供给的限制,储量和分布范围相对较小。而与生物作用相关的浅层生物成因气、低熟气由于受大面积展布的未熟—低熟烃源岩或

原油厌氧降解生成提供连续的充足气源,其资源规模和前景要远远高于浅层热成因气,因此,浅层生物成因气、低熟气比浅层热成因气具有更广阔的勘探前景^[31]。下面对松辽盆地北部与生物作用相关的浅层气的勘探有利区进行详细分析讨论。

松辽盆地具有适宜生物气生成的地质和地球化学条件^[32]。嫩江组、明一段源岩属于深湖相、半深湖相沉积,处于强还原—弱还原环境,气源岩在沉积期间处于还原环境,有利于生物气生成。温度是影响生物气形成的主要条件之一。松辽盆地是一个高地温场的盆地,地温梯度具有中部高、边部变低、环状分布的特点,1500 m以浅的地层未成熟烃源岩或稠油分布区地温一般低于56~75℃,处于生物产气界限内,适宜生物气的生成。甲烷菌适于在中性的水介质中生长繁殖,适合生长范围pH值为4~9,最佳pH值为6.8~7.2,最佳盐度为5000~15000 mg/L。松辽盆地古湖泊的水介质条件为淡水—微咸水,水质的酸碱度为中—弱碱性,盆地北部地层水盐度大多数约在2000~7800 mg/L,因此,水介质的盐度和pH值也较适合产甲烷菌的生存。水介质的硫酸盐含量对甲烷的生成有很大影响,当 SO_4^{2-} 浓度高时,甲烷菌的活动受抑制,直到沉积物埋藏较深而绝大部分 SO_4^{2-} 被还原时,甲烷才能大量生成。松辽盆地地层水的水型有 $NaHCO_3$ 型、 $CaCl_2$ 型,并以 $NaHCO_3$ 型为主, SO_4^{2-} 含量少,对生物气生成有利。可见,松辽盆地具有有利于生物气生成氧化还原环境、温度、地层水类型、盐度、pH值及 SO_4^{2-} 含量等条件。

松辽盆地北部的主要烃源岩形成于晚白垩世青山口组和嫩江组沉积时期,由于盆地中部地温梯度高而边部地温梯度低,在盆地边缘及中央拗陷埋藏较浅地区,烃源岩演化程度低,尚未达到生油门限,是良好的生物气、低熟气的源岩。松辽盆地北部西部斜坡带分布的青一段,青二三段未熟—低熟烃源岩及中央拗陷埋藏较浅地区广泛分布嫩江组—四段和明一段未熟—低熟烃源岩为源岩降解生物气、低熟气的生成提供了充足的气源条件。此外,西部斜坡区分布的大量稠油也为次生原油降解生物气提供了充足的气源。

西部斜坡区和中央拗陷区浅层具有优越的储集条件。西部斜坡区的主要目的层是以河流、滨浅湖相及三角洲相为主的嫩一、姚二三段以及青二三段,条带状的河道砂岩、滨浅湖相及三角洲前缘的透镜状砂和席状砂构成西部斜坡区的主要储集体;中央拗陷区浅层河流—三角洲相嫩二、嫩三、嫩四、嫩五、明水组等为主要储集体,河流相条带状和透镜状普遍发育,形成纵向上多套叠置平面上错叠连片,为大面积岩性气藏的形成提供了良好的储集场所。

松辽盆地北部浅层存在多套分布面积广、厚度大而稳定的区域盖层和局部盖层。西部斜坡区存在区域性、连续性很好的广泛分布的嫩一、二段盖层,为西部斜坡区浅层生物气保存起到良好的保存条件;中央拗陷区浅层嫩三、嫩四五段和明水组三套泥岩盖层广泛分布,同样也为中央拗陷区浅层生物气、低熟气提供了良好的保存条件。

从已发现的气藏或气显示情况看:西部斜坡区已发现的阿拉新、二站等原油降解生物气田;中央拗陷区的敖南和葡北等地区源岩降解生物气、低熟气均显示丰富,两地均有良好的浅层生物气和低熟气资源前景。因此,通过对浅层生物气生成条件、气源岩、储层、盖层及已发现浅层生物气和低熟气显示等方面的综合考虑,认为西部斜坡区和中央拗陷区浅层是浅层生物气、低熟气的有利勘探区域(图6)。



图6 松辽盆地北部与生物作用相关的浅层气有利勘探区域

Fig. 6 The favorable exploration area for biogenic related shallow gas in northern Songliao Basin

5 结论

(1) 松辽盆地北部浅层气分布广泛,平面分区,纵向分层。平面(纵向)上主要集中在西部斜坡区泰康隆起带(高台子油层G、萨尔图油层S),中央拗陷区齐家古龙凹陷和大庆长垣(黑帝庙油层H、萨尔图油层S和葡萄花油层P)、朝阳沟阶地(葡萄花油层P),东南隆起区长春岭背斜和宾县—王府凹陷(扶余油层F、杨大城子油层Y),以及东南隆起区绥化凹陷和绥棱背斜的部分地区。

(2) 松辽盆地北部浅层气可分为与生物作用相关

的浅层气和与热成因相关的浅层气两大类,其中与生物作用相关浅层气包括浅层生物成因气(I)、浅层生物-热催化过渡带气(低熟气)(II),而与热成因相关的浅层气包括浅层热成因油型气(III₁)和浅层热成因煤成气(III₂)。

(3) 浅层气成藏主控因素:①气源是浅层气形成的物质基础,它是浅层气成藏的前提条件,气源岩控制浅层气藏的形成和分布;②圈闭是浅层气成藏的关键因素,背斜、构造-岩性、岩性上倾尖灭、透镜体、断层遮挡、地层不整合等类型的圈闭为浅层气富集成藏提供了有利场所;③盖层是浅层气保存的重要条件,盖层质量影响浅层气富集保存的数量,而分布范围控制浅层气的分布;④断层是浅层气垂向运移的通道,也可成为浅层气聚集的遮挡物,对浅层气聚集成藏起了重要控制作用。松辽盆地北部与生物作用相关的浅层气和与热成因相关的浅层气具有不同成藏主控因素:浅层生物成因气、低熟气成藏主要受未熟—低熟烃源岩或降解原油的分布,岩性和构造相关的圈闭以及盖层控制;浅层热成因气成藏主要受腐泥型或煤系成熟气源岩,构造和断层遮挡相关的圈闭,盖层和断层控制。

(4) 松辽盆地北部浅层资源丰富、潜力巨大,浅层生物成因气、低熟气比浅层热成因气具有更广阔的资源前景,西部斜坡区和中央拗陷区浅层是浅层生物成因气和低熟气勘探的有利区域。

参 考 文 献

- [1] 丁国生. 我国浅层气资源及气藏类型[J]. 天然气工业, 1997, 19(3): 72-74.
Ding Guosheng. Shallow gas resource and gas reservoir type in China[J]. Natural Gas Industry, 1997, 19(3): 72-74.
- [2] 王万春, 刘文汇, 刘全有. 浅层混源天然气判识的碳同位素地球化学分析[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(6): 469-473.
Wang Wanchun, Liu Wenhui, Liu Quanyou. Analyses of the carbon isotopic geochemistry of the mix-source shallow reservoir natural gas identification[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(6): 469-473.
- [3] 牟驱. 世界上的浅层气[J]. 天然气工业, 1996, 16(16): 32-33.
Mou Qu. Shallow gas in the world[J]. Natural Gas Industry, 1996, 16(16): 32-33.
- [4] Rice D D, Claypool G E. Generation, accumulation and resource potential of biogenic gas[J]. AAPG Bulletin, 1981, 65(1): 5-25.
- [5] Shurr G W, Ridgley J L. Unconventional shallow biogenic gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86 (11): 1939-1969.
- [6] 徐凤银, 彭德华, 侯恩科. 柴达木盆地油气聚集规律及勘探前景[J]. 石油学报, 2003, 24(4): 1-6.
Xu Fengyin, Peng Dehua, Hou Enke. Petroleum accumulation rule and its exploration prospect in Qaidam basin[J]. Acta Petro-
- [7] 魏国齐, 刘德来, 张英, 等. 柴达木盆地第四系生物气形成机理、分布规律与勘探前景[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 84-89.
Wei Guoqi, Liu Delai, Zhang Ying, et al. Formation mechanism, distribution feature and exploration prospect of the Quaternary biogenic gas in Qaidam Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 84-89.
- [8] 李明诚, 李剑, 张凤敏, 等. 柴达木盆地三湖地区第四系生物气运聚成藏的定量研究[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 809-815.
Li Mingcheng, Li Jian, Zhang Fengmin, et al. Quantitative research on biogas migration-accumulation and pool-forming in the Quaternary of Sanhu area in Qaidam Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(6): 809-815.
- [9] 张英, 李剑, 胡朝元. 中国生物气-低熟气藏形成条件与潜力分析[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 39-41.
Zhang Ying, Li Jian, Hu Chaoyuan. Reservoir formation and resource potential of biogenic-low maturity gases in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 39-41.
- [10] 邵锐, 唐亚会, 毕晓明, 等. 徐深气田火山岩气藏开发早期试井评价[J]. 石油学报, 2006, 27(增刊): 142-147.
Shao Rui, Tang Yahui, Bi Xiaoming, et al. Initial evaluation for well testing of volcanic gas reservoir in Xushen Gas Field[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(Supplement): 142-147.
- [11] 袁士义, 冉启全, 徐正顺, 等. 火山岩气藏高效开发策略研究[J]. 石油学报, 2007, 28(1): 73-78.
Yuan Shiyi, Ran Qiquan, Xu Zhengshun, et al. Strategy of high-efficiency development for volcanic gas reservoirs[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(1): 73-78.
- [12] 许运新, 谭保祥, 杨明杰, 等. 松辽盆地浅层气藏地质特征与勘探前景[J]. 天然气工业, 1995, 15(1): 13-18.
Xu Yunxin, Tan Baoxiang, Yang Mingjie, et al. Shallow gas reservoir geologic characteristics and exploration potential in Songliao basin[J]. Natural Gas Industry, 1995, 15(1): 13-18.
- [13] 王雪, 冯子辉, 宋兰斌. 松辽盆地北部生物气特征及其成因[J]. 天然气工业, 2006, 26(4): 5-7.
Wang Xue, Feng Zihui, Song Lanbin. Biogenic gas characteristics and its genesis[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(4): 5-7.
- [14] 高瑞祺, 蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 1-210.
Gao Ruiqi, Cai Xiyuan. Formation condition and distribution law of oil and gas filed in Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-210.
- [15] 萧德铭, 迟元林, 蒙启安, 等. 松辽盆地北部向斜区岩性油藏勘探认识与实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 1-117.
Xiao Deming, Chi Yuanlin, Meng Qi'an, et al. Exploration recognitions and practices on lithologic oil reservoir in syncline area in northern Songliao basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 1-117.
- [16] 戴金星. 天然气地质和地球化学论文集(卷三)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 133-139.
Dai Jinxing. Select work of natural gas geology and geochemistry

- (Vol. 3)[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 133-139.
- [17] 刘文汇, 徐永昌. 天然气成因类型及判别标志[J]. 沉积学报, 1996, 14(1): 110-116.
Liu Wenhui, Xu Yongchang. Natural gas genetic type and its identification mark[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(1): 110-116.
- [18] 林春明, 蒋维三, 李从先. 杭州湾地区全新世典型生物气藏特征分析[J]. 石油学报, 1997, 18(2): 44-51.
Lin Chunming, Jiang Weisan, Li Congxian. Analysis on the feature of the typical Holocene biogas pool at Hangzhou bay area [J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(2): 44-51.
- [19] 付广, 付晓飞, 薛永超, 等. 大庆长垣以西地区天然气成藏与分布研究[J]. 天然气工业, 2001, 21(6): 26-29.
Fu Guang, Fu Xiaofei, Xue Yongchao, et al. Natural gas formation and distribution in the western area of Daqing Placanticline [J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(6): 26-29.
- [20] 米立军, 段吉利. 渤海中坳陷中浅层油气成藏特点及其聚集规律[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 32-37.
Mi Lijun, Duan Jili. Characteristics of middle and shallow strata oil-gas reservoir and oil-gas accumulation rule in middle area of Bohai[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 32-37.
- [21] 周庆华, 吕延防, 付广, 等. 松辽盆地北部西斜坡油气成藏模式和主控因素[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(6): 765-771.
Zhou Qinghua, Lü Yanfang, Fu Guang, et al. The pool-forming pattern and main control factors in west slope of the north Songliao basin[J]. Natural Gas Geosciences, 2006, 17(6): 765-771.
- [22] 付广, 王有功, 吕延防, 等. 我国大中小型气田形成主控因素研究[J]. 石油学报, 2008, 29(3): 341-344.
Fu Guang, Wang Yougong, Lü Yanfang, et al. Research on main controlling factors for forming large and medium size gas fields in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(3): 341-344.
- [23] 王政军, 朱光有, 王政国, 等. 原油降解气的形成条件及其特征[J]. 天然气工业, 2008, 28(11): 29-33.
Wang Zhengjun, Zhu Guangyou, Wang Zhengguo, et al. Characteristics of oil-biogradation gas and their discriminant index system[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(11): 29-33.
- [24] 朱光有, 赵文智, 张水昌, 等. 稠油降解气的特征与识别及其勘探潜力[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(4): 52-60.
Zhu Guangyou, Zhao Wenzhi, Zhang Shuichang, et al. characteristics and recognition of biodegradation gas of heavy oil and its exploration potential [J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11(4): 52-60.
- [25] 邹才能, 王兆云, 徐冠军, 等. 松辽盆地西斜坡稠油特征及成因[J]. 沉积学报, 2004, 22(4): 700-707.
Zou Caineng, Wang Zhaoyun, Xu Guanjun, et al. Characteristics and genesis of the western slope thick oils in Songliao Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(4): 700-707.
- [26] 冯子辉, 廖广志, 方伟, 等. 松辽盆地北部西斜坡区稠油成因与油源关系[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(4): 25-29.
Feng Zihui, Liao Guangzhi, Fang Wei, et al. Formation of heavy oil and correlation of oil-source in the western slope of the northern Songliao Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(4): 25-29.
- [27] 付广, 陈章明, 吕延防, 等. 泥质岩盖层封盖能力综合评价[J]. 石油实验地质, 1998, 20(1): 80-86.
Fu Guang, Chen Zhangming, Lü Yanfang, et al. The comprehensive evaluation of sealing ability on argillaceous caprock [J]. Petroleum Geology and Experiment, 1998, 20(1): 80-86.
- [28] 王晓波, 李剑, 王东良, 等. 天然气盖层研究进展及发展趋势[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(6): 664-668.
Wang Xiaobo, Li Jian, Wang Dongliang, et al. Research progresses and development trends of natural gas caprock [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(6): 664-668.
- [29] 吕延防, 张绍臣, 王亚明. 盖层封闭能力与盖层厚度的定量关系[J]. 石油学报, 2000, 21(2): 27-32.
Lü Yanfang, Zhang Shaocheng, Wang Yaming. Research of quantitative relations between sealing ability and thickness of caprock [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(2): 27-32.
- [30] 付晓飞, 潘国强, 贺向阳, 等. 大庆长垣南部黑帝庙浅层生物气的断层侧向封闭性[J]. 石油学报, 2009, 30(5): 678-685.
Fu Xiaofei, Pan Guoqiang, He Xiangyang, et al. Lateral sealing of faults for shallow biogas in Heidimiao Formation of the southern Daqing placanticline [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(5): 678-685.
- [31] 张英, 戴金星, 李剑, 等. 我国生物气的地化特征与勘探方向[J]. 天然气工业, 2009, 29(9): 20-23.
Zhang Ying, Dai Jinxing, Li Jian, et al. The geochemical behaviors and exploration domains of biogenetic gas in China [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(9): 20-23.
- [32] 张顺, 冯志强, 林春明, 等. 松辽盆地新生代生物气聚集及成藏条件[J]. 石油学报, 2004, 25(3): 18-23.
Zhang Shun, Feng Zhiqiang, Lin Chunming, et al. Biogenic gas accumulation conditions in the Cenozoic of Songliao Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(3): 18-23.

(收稿日期 2012-05-23 改回日期 2012-07-20 责任编辑 熊英)