

doi:10.3799/dqkx.2011.010

# 大庆长垣南部浅层气成因及成藏机制

付晓飞,王洪宇,孙源,申家年

东北石油大学地球科学学院,黑龙江大庆 163318

**摘要:**大庆长垣南部浅层气主要为来源于嫩江组一二段的生物气,混入少量的青山口组热成因气和无机成因的 $\text{CO}_2$ 。明水组沉积末期为嫩江组一二段大量生排生物气时期,此时断裂活动导致黑帝庙油层背斜和断圈的形成,并诱导生物气垂向运移,“三期复合”使大量生物气向黑帝庙油层运移。活动断层均为“断裂密集带”的边界断层,沿其垂向运移的生物气聚集的部位取决于断层与两盘地层的配置关系,与断层倾向相反的一盘是生物气聚集的主要部位,大庆长垣南部总体为“西缓东陡”的不对称背斜,生物气主要富集在断裂密集带东部边界的圈闭中。黑帝庙油层纵向上分为5套储盖组合,下部3套组合盖层厚度较大,受断层错断的概率较小,是主要的目的层。黑帝庙油层大部分圈闭为“断圈”,断层侧向封闭性决定圈闭的潜力,断层侧向封闭所需SGR低限为0.375,利用Allan图解标定断层侧向封闭性并分析圈闭的潜力,与不考虑断层侧向封闭性时圈闭有3种变化:一是断层侧向封闭,面积和幅度没有改变的圈闭(I型);二是断层侧向封闭具有分段性,面积和幅度变小的圈闭(II型);三是断层侧向不封闭,不存在的圈闭(III型)。其中I和II型圈闭是生物气聚集的有利目标。从大庆长垣南部看松辽盆地浅层气成藏关键因素是有沟通气源的断层控制的圈闭的完整性(背斜或断层侧向封闭性较好的断圈)和区域稳定分布的盖层。

**关键词:**长垣南部;浅层气;断裂;圈闭;通道;保存;石油地质。

中图分类号:P618

文章编号:1000-2383(2011)01-0093-10

收稿日期:2010-03-31

## Shallow Gas Genesis and Reservoir Forming Mechanism in the South of Daqing Placanticline

FU Xiao-fei, WANG Hong-yu, SUN Yuan, SHEN Jia-nian

*College of Earth Sciences, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China*

**Abstract:** Shallow gas in the south of Daqing placanticline is mainly biogas originated from  $K_1n_{1+2}$ , mixed with a small amount of thermogenic gas of  $K_1qn$  and inorganic  $\text{CO}_2$ . The main biogas generation and expulsion period of  $K_1n_{1+2}$  is the end of  $K_2m$  sedimentary period, when fault activities caused the formation of anticline and fault trap of Heidimiao oil layer and induced vertical migration of biogas. The composite of the three periods made large amount of biogas migrate into Heidimiao oil layer. Active faults are all boundary faults in fault-condensed belt, along which biogas migrated vertically. The position of biogas accumulation depends on allocation relation between fault and strata of two walls. The wall whose dip is contrary to that of the fault is the main position for biogas accumulation. Generally the southern part of Daqing placanticline is an asymmetric anticline that is gentle in the west and steep in the east. Biogas is mainly accumulated in the traps of the east boundary of fault-condensed belt. There are 5 sets of reservoir-seal assemblages. Cap rock thicknesses of 3 sets of assemblages in the lower part are greater and the probabilities of them to be leaped by faults are relatively small. They are the main target beds. Most of the traps in Heidimiao oil layer are fault traps. The lateral sealing of fault determines trapping potential. The lower limit of SGR required by lateral seal of fault is 0.375. There are 3 kinds of situations when we analyze trapping potential by use of Allen graphic to calibrate lateral sealing of fault or not taking lateral sealing of fault into consideration. The first is that fault is sealing in the lateral and the area and amplitude of trap don't change (type I). The second is that the lateral sealing of fault is sectionalized and the area and amplitude of trap become smaller (type II). The third is that fault isn't sealing in the lateral and there is no trap (type III). Among them, traps of I and II are favorable targets for biogas accumulation. The south of Daqing placanticline

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 41072163)。

作者简介:付晓飞(1973—),教授,主要从事油气藏形成及资源评价方面的研究工作。E-mail: fuxiaofei2008@sohu.com

shows that the key factors of shallow gas accumulation in Songliao basin are integrity of traps controlled by faults that can connect gas source and regional distributed cap rocks.

**Keywords:** the south of placanticline; shallow gas; fault; trap; pathway; preservation ;petroleum geology.

浅层气指埋深浅于 1 500 m 的各类天然气资源, 由于埋藏浅(大部分小于 1 000 m)(林春明等, 2006), 分布广泛, 资源潜力巨大(卢双舫等, 2008), 依据现有技术手段在地质上可预测, 成为经济有效的资源. 松辽盆地蕴藏着大量的浅层气资源(卢双舫等, 2008), 在齐家、萨西地区打水井过程中常见到逸出的气体, 遇火可燃(林春明等, 2006); 水文地质队在林甸地区打浅井时曾有天然气喷出(张顺等, 2004); 在林甸热水井中有泄露气体(付晓飞等, 2007). 大庆长垣南部黑帝庙油层钻遇大量浅层气(图 1), 普遍埋深小于

500 m, 展示了良好的勘探前景. 尽管浅层气普遍存在, 但至今没能探明规模储量, 原因在于: (1) 浅层气成因机制复杂致使对其运移途径认识不清, 林甸热水井中和富拉尔基油田的甲烷气为典型的生物气, 西部斜坡白音诺勒、二站和阿拉新气田为典型的生物气与热成因气的混合气. (2) 浅部储层砂体发育、成岩程度低、物性好(孔隙度一般为 25%~30%, 渗透率一般为  $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 1\ 000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ), 因此需要良好的保存条件, 天然气才能聚集, 盖层品质及浅层断层封堵性缺乏系统研究, 导致对富集区域认识不清. (3) 浅

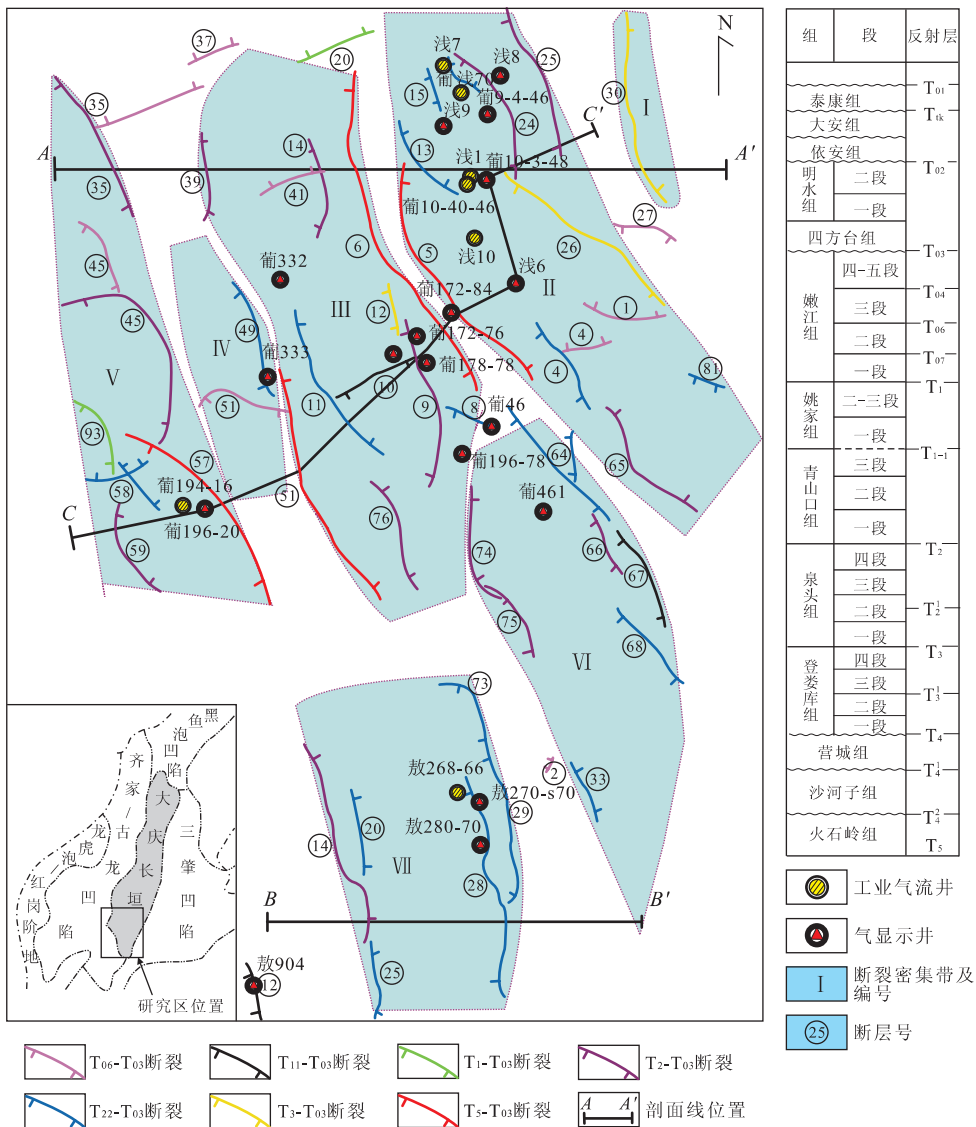


图 1 大庆长垣南部气源断裂及天然气分布

Fig. 1 Fault and gas distribution in the south of Daqing placanticline

层气随处可见,但成藏主控因素不清楚,有利于浅层气富集的构造背景、圈闭类型、通道条件和砂体类型都有待于深入研究。为此,本文选择浅层气普遍存在的大庆长垣南部黑帝庙油层为重点解剖靶区,分析浅层气成因机制及成藏机理,为进一步勘探提供有利的指导。

## 1 浅层气成因机制及来源分析

天然气组成和同位素特征结合烃源岩演化程度是分析天然气成因的重要手段。天然气的成份可分为烃类气体(甲烷和  $C_2 \sim C_5$  重烃气)和非烃类气体( $CO_2$ 、 $N_2$ 、 $H_2$ 、 $H_2S$  及 He、Ar 等稀有气体)两类,相对含量的多少一方面取决于成因,另一方面与天然气形成后的运移、成藏及后期改造有关,因此天然气的组成对于分析其成因、气藏形成规律等有重要意义。长垣南部黑帝庙油层天然气中烃类组分不同构造带存在差异,葡萄沟构造天然气组分以甲烷为主(表 1),含量为 73.1%~94.4%,重烃含量低,为 0.39%~1.92%,干燥系数大,大部分大于 98%,属于典型干气。氮气含量普遍偏高,为 2.88%~23.82%。总体特征与柴达木第四系生物气特征相似,与松辽盆地喇嘛甸油型气差异较大。葡西鼻状构造天然气甲烷含量低(表 1),为 45.00%~85.72%,

重烃含量较高,为 1.16%~4.19%,干燥系数较低,普遍小于 98%。 $CO_2$  气含量普遍偏高,为 9.06%~51.90%,总体为混合气特征。

葡萄沟构造发现的天然气尽管没有甲烷同位素数据,但从组分特征看,生物气可能性较大。葡西鼻状构造的天然气甲烷碳同位素值  $\delta^{13}C_1$  为 -67.90‰~-60.03‰(表 2),普遍小于 -55‰,具有生物成因气特征;乙烷的碳同位素值  $\delta^{13}C_2$  在 -37.42‰~-34.52‰之间(表 2),明显小于 -28‰,又具有油型气特征; $CO_2$  气  $C_{CO_2}$  的值为 2.74‰~4.63‰(表 2),为典型的无机成因且为碳酸盐岩变质成因。从组分和碳同位素特征看,该区浅层气具有生物气、热成因气和无机成因  $CO_2$  气混合特征。利用甲烷碳同位素和重烃含量计算天然气混合比例(图 2),认为葡西鼻状构造生物气含量约为 65%。

卢双舫等(2008)研究表明,松辽盆地生物气主生气深度为 600~800 m,生气的上限深度为 250 m,下限深度为 1 200 m,对应  $R_o$  值为 0.6%。从不同层段深度范围与  $R_o$  值看,嫩江组都不同程度地处于生成生物气深度范围,黑帝庙油层生物气可以来自嫩一至嫩四的任何层段。但是由于在温度条件合适的情况下,生气的物质基础就是决定生气能力的关键因素,由烃源岩定性评价可知,嫩三、嫩四的有机质丰度不如嫩一、嫩二,泥岩的数量也不如嫩一、嫩

表 1 大庆长垣南部黑帝庙油层天然气化学组成及特征

Table 1 Natural gas chemical composition and character of Heidimiao reservoir in the south of Daqing placanticline

构造单元	井号	深度(m)	甲烷(%)	$C_{2+}$ (%)	二氧化碳(%)	氮(%)	氦气(%)	氢气(%)	干燥系数(%)
葡萄沟构造	葡浅 701	276.4~288.6	75.13	0.73	0.320	23.820	0.000	0.000	99.03
	葡浅 701	357.3~400.0	94.39	1.70	1.500	2.880	0.000	0.000	98.23
	葡浅 801	372.4~373.8	73.10	1.92	1.510	23.480	0.000	0.000	97.44
	葡浅 801	318.2~325.2	94.29	0.39	0.730	4.580	0.000	0.000	99.59
葡西鼻状构造	葡浅 4-更 41	255.6~264.5	65.21	4.19	29.102	1.190	0.098	0.000	93.96
	葡浅 3-6	254.2~261.8	85.72	4.08	9.057	1.131	0.000	0.024	95.45
	葡浅 3-更 31	284.5~291.1	59.92	3.52	35.261	0.901	0.000	0.226	95.45
	葡浅 5-61	251.3~260.3	45.00	1.72	51.898	1.227	0.000	0.152	96.32
	葡浅 6-更 61	264.2~275.2	63.80	1.16	31.361	3.273	0.000	0.352	98.21

表 2 大庆长垣南部黑帝庙油层天然气碳同位素特征

Table 2 Natural gas carbon isotopes character of Heidimiao reservoir in the south of Daqing placanticline

井号	井深(m)	$\delta^{13}C_1$ (PDB,‰)	$\delta^{13}C_2$ (PDB,‰)	$\delta^{13}C_3$ (PDB,‰)	$\delta^{13}C_4$ (PDB,‰)
葡浅 4-更 41	255.55~264.45	-65.05	-34.76	-30.01	4.63
葡浅 3-6	254.20~261.80	-67.90	-34.52	-29.72	3.71
葡浅 3-更 31	284.50~291.10	-62.77	-34.77	-29.77	4.31
葡浅 5-61	251.30~260.30	-61.74	-35.58	-30.10	3.16
葡浅 6-更 61	264.20~275.20	-60.03	-37.42	-31.21	2.74

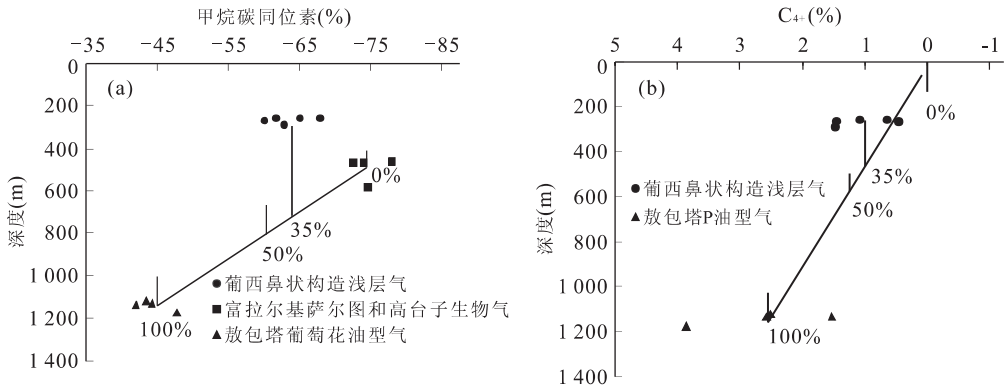


图 2 大庆长垣南部黑帝庙油层天然气混合比例估算

Fig. 2 Natural gas carbon isotopes character of Heidimiao reservoir in the south of Daqing placanticline

a. 利用甲烷碳同位素估算天然气混合比例; b. 利用 C<sub>4+</sub> 含量估算天然气混合比例; 100% 为油型气含量

二发育. 用元素平衡法计算的资源贡献量显示, 嫩三、嫩四的资源贡献要比嫩一、嫩二小得多. 本区黑帝庙油层生物气应主要来自嫩一、嫩二段, 嫩三、嫩四的贡献很小. 热成因气主要来自青山口组, CO<sub>2</sub> 气来源于深部.

## 2 断裂对浅层气运聚成藏的控制作用

大庆长垣南部葡萄花构造和敖包塔构造为典型的褶皱式反转构造(韩守华和余和中, 1996), 构造反转同时伴随着断层活动, 但没有形成正反转断层, 断层普遍为扭动成因, 因此断层平面上表现为侧列叠覆呈“雁行式”排列. 从地震剖面上看, T<sub>02</sub> 界面为“削截型”不整合面(图 3), 将 T<sub>02</sub> 之下的 T<sub>03</sub> 界面层拉平, 反转构造消失, 表明构造反转定型于明水组末期. 因此断裂形成、构造定型和天然气运移“三期复合”, 断裂变形控制圈闭的形成, 同时又是天然气垂向运移的通道, 是浅层气成藏的关键因素之一.

### 2.1 断裂变形特征及与“断圈”形成

葡萄花构造和敖包塔构造断层为典型的“似花状”组合模式(图 3), 长期活动的基底断裂为“花茎”, 拗陷期和反转期断裂为“花”, T<sub>2</sub> 反射层断裂密度最大, 向上只有“花边”断层活动. 全区共发育 9 条断裂密集带(图 1), 断裂密集带的主控断层对倾, 左行压扭作用使对倾断层之间形成背斜构造, 从 T<sub>06</sub> 到 T<sub>03</sub> 构造幅度逐渐减小, 构造面积逐渐扩展, 受断层差异活动的影响, 总体为“西缓东陡”的不对称背斜, 背斜圈闭中断层对天然气上运充注起作用, 但断层并不控制天然气的溢出. 断裂密集带之间以及东部边界断层附近普遍发育断层圈闭, 断层不仅对天

然气上运充注起作用, 而且必须具有好的侧向封闭能力, 充注到圈闭中的天然气才能大规模聚集, 圈闭才是有效的.

### 2.2 断裂形成演化及与浅层气运移通道形成

在早白垩世沙河子组—营城组沉积时期, 大庆长垣位于古中央隆起带西翼, 沿着长垣现今局部构造分布的位置发育一系列小型断陷, 控陷断层规模小, 断层生长指数统计表明, 控陷或次级控陷的断层多为同生断层(图 4). 青山口组沉积早期松辽盆地又经历了一次强烈的近东西向拉张, 受基底断裂和基岩隆起薄弱带控制在其上方形成断裂密集带, 断层生长指数普遍大于 1, 活动速率较大(图 4), 为断陷期后又一次强烈拉张(胡望水等, 2005), 形成高密度 T<sub>2</sub> 断层系; 之后拉张应力强度逐渐减弱(姚家组—嫩江组沉积早期), 只有断裂密集带的边界断层持续向上延伸(图 3); 嫩江组沉积末期盆地开始回返, 明水组沉积末期构造反转定型, 控制深层小型断陷的基底断裂发生反转, 上盘地层隆升, 形成反转构造, 包括喇嘛甸、萨尔图、杏树岗、高台子、太平屯、葡萄花和敖包塔, 部分断层发生反转形成正反转断层, 如喇嘛甸构造. 葡萄花和敖包塔构造只有东部的基底断裂反转(候贵廷等, 2004), 因此形成西缓东陡的不对称背斜. 构造反转伴随大规模断层活动, 向上断至 T<sub>03</sub> 反射层. 古近纪末期松辽盆地受南南东—北北西方向压扭应力场的控制, 使黑鱼泡—头台深部基底断裂发生左行走滑, 形成北北东向葡西鼻状构造和大量北西向断层, 此时部分断层向上延伸, 断层呈“雁行式”排列. 北北西向断裂多数在平面上侧列叠覆, 叠覆区为应力集中区, 常产生与之正交或斜交的北北东向“撕裂断层”.

长垣南部断裂形成演化有 7 个主要时期(图

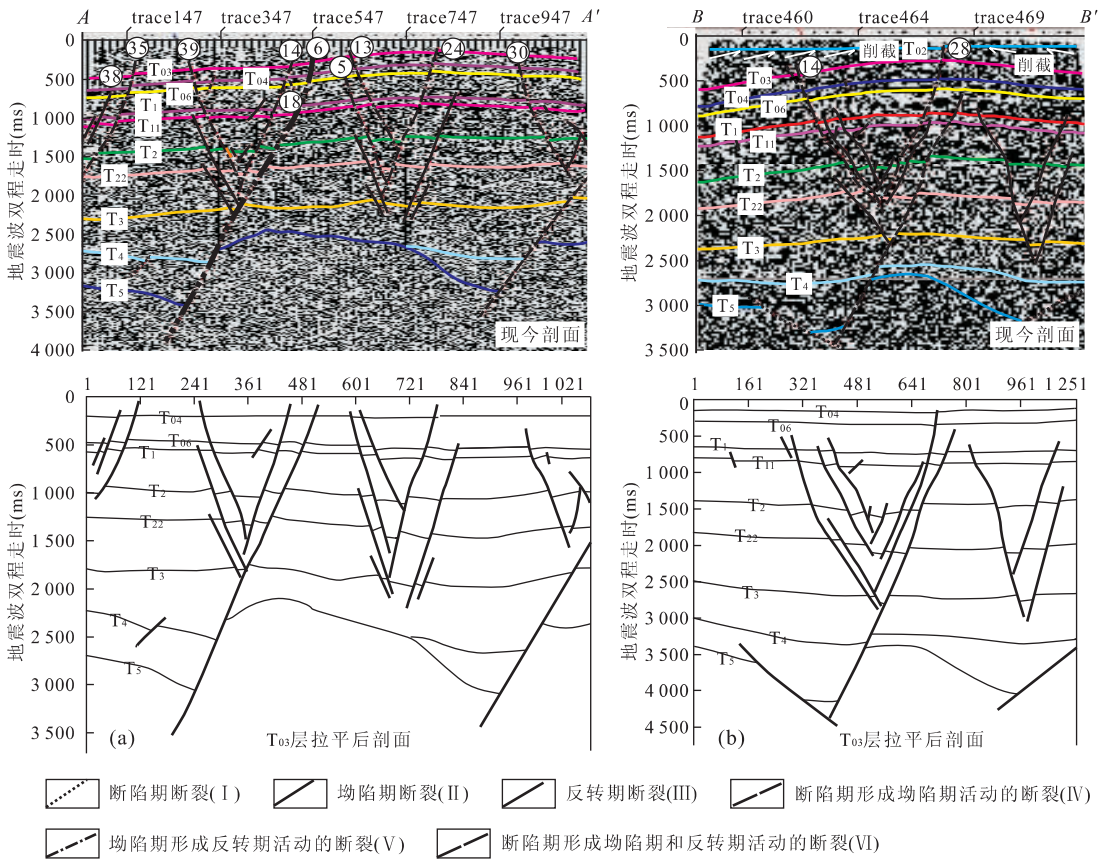


图 3 葡萄花和敖包塔构造样式及 T<sub>03</sub> 层拉平后构造形态

Fig. 3 Structural style before and after T<sub>03</sub> reflecting horizon flattening

a. 葡萄花构造; b. 敖包塔构造

地质层位	地震层位	A-A' 断裂断穿层位及生长指数剖面										主要活动时期	
		35	1	39	14	6	5	13	24	30	1		
四方台组	T <sub>03</sub>												
嫩江组三、四段	T <sub>04</sub>												
嫩江组三段	T <sub>06</sub>												
嫩江组一、二段	T <sub>1</sub>												
姚家组	T <sub>11</sub>												
青山口组	T <sub>2</sub>												
泉头组三、四段	T <sub>22</sub>	V											
泉头组一、二段	T <sub>3</sub>		II	V	V		II	V	V	V			
登娄库组	T <sub>4</sub>												
火石岭组-营城组	T <sub>5</sub>					VI							
基底												IV	

图 4 A-A' 测线主要断裂生长指数

Fig. 4 Fault growth index in A-A' seismic line

4): 断陷期(早白垩世早期)、坳陷期(青山口组沉积早期、姚家组沉积时期和嫩一二段沉积时期)、构造反转期(嫩江组沉积末期、明水组沉积末期和古近纪末期). 断裂强烈的活动时期为早白垩世早期、青山口组沉积早期、明水组沉积末期. 按照断裂形成演化

时期,大庆长垣南部可以划分为 6 套断裂系统(图 3、图 4): 即断陷期断裂(I 型)、坳陷期断裂(II 型)、反转期断裂(III 型)、断陷期形成坳陷期活动的断裂(IV)、断陷期形成坳陷期和构造反转期活动的断裂(V)、坳陷期形成构造反转期活动的断裂(VI). 其中

黑帝庙油层主要由反转期断裂、断陷期形成拗陷期和构造反转期活动的断裂以及拗陷期形成构造反转期活动的断裂 3 种不同演化史断层组成。

长垣南部浅层气主要为来自嫩江组一二段烃源岩的生物气,也有深部幔源无机成因的 CO<sub>2</sub> 气,还有少量来自青山口组的热成因气。嫩江组烃源岩大量生成生物气时间为嫩江组沉积末期,大量排烃期为明水组末期,沟通烃源岩且连接圈闭的断裂为主要的“气源断裂”,即断陷期形成拗陷期和构造反转期活动的断裂、拗陷期形成构造反转期活动的断裂成为生物气向黑帝庙油层垂向运移的主要通道,而断陷期形成拗陷期和构造反转期活动的基底断裂是深部 CO<sub>2</sub> 气上运的主要通道。这些断层多为断裂密集带边界断层且规模较大。

### 3 浅层气保存与破坏机理

天然气同油相比易于运移和散失,其聚集成藏要求保存条件更苛刻,浅层气同常规天然气相比,由于聚集的层位较浅,储盖层成岩程度较低,特殊的保存机制才能满足天然气聚集。黑帝庙油层圈闭多为断圈,断层侧向封闭性决定断圈的有效性及其天然气

富集规模。

#### 3.1 盖层分布及对浅层气的封闭作用

从松辽盆地中浅层储盖组合看,黑帝庙油层属于浅部储盖组合,嫩江组三、四段为储集层,嫩江组五段为盖层,由于嫩五段地层分布范围较小,因此该套储盖组合在松辽盆地并不广泛发育,主要分布在盆地的中西部。大庆长垣南部嫩五段地层厚度较大,一般为 100~250 m,泥地比为 80%~100%,大部分断层消失于该套盖层中,因此嫩五段为黑帝庙油层顶封的盖层,天然气垂向运移受该套盖层作用而聚集在黑帝庙油层,但究竟聚集在哪个砂组中则取决于直接盖层的发育特征和封闭能力。黑帝庙油层自上而下共发育 10 个小层(嫩四段包括 H<sub>1</sub><sup>1</sup>、H<sub>1</sub><sup>2</sup>、H<sub>1</sub><sup>3</sup>、H<sub>1</sub><sup>4</sup>、H<sub>1</sub><sup>5</sup> 和 H<sub>1</sub><sup>6</sup> 共 6 个小层;嫩三段包括 H<sub>2</sub><sup>1</sup>、H<sub>2</sub><sup>2</sup>、H<sub>2</sub><sup>3</sup>、H<sub>2</sub><sup>4</sup> 共 4 个小层),依据小层对比结果,认为黑帝庙油层共发育 6 套盖层(图 5),其中 H<sub>2</sub><sup>2</sup>、H<sub>2</sub><sup>3</sup> 和 H<sub>2</sub><sup>4</sup> 为下部的一套区域性盖层,嫩五段为上部的区域性盖层。内部自下而上发育 H<sub>2</sub><sup>1</sup> 顶部、H<sub>1</sub><sup>6</sup> 顶部、H<sub>1</sub><sup>5</sup> 顶部和 H<sub>1</sub><sup>3</sup> 顶部 4 套全区稳定分布的局部性盖层。据此,将黑帝庙油层划分为 5 套储盖组合(图 5),其中 H<sub>2</sub><sup>1</sup> 顶部、H<sub>1</sub><sup>6</sup> 顶部和 H<sub>1</sub><sup>5</sup> 顶部泥岩盖层厚度大,横向连续性好,对黑帝庙油层天然气起到重要的封闭作用,目

地层及油组	小层	泥岩累积厚度(m)	泥岩占地层厚度的百分比(%)	排替压力(%)	储盖组合	天然气分布与盖层关系																	
						敖包塔构造			葡萄酒构造					葡西鼻状构造									
						敖268-66	敖270-570	敖281-70	敖904	浅07	葡浅701	浅09	葡9-4-46	浅08	浅01	葡10-4-46	浅10	葡172-76	葡172-84	葡172-78			
嫩五段		100~250	80~100	0.3~1.0																			
嫩四段油组	H <sub>1</sub> <sup>1</sup>	20~40	40~100	0.4~1.7	组合 V	●	●	●															
	H <sub>1</sub> <sup>2</sup>	24~44	50~90	0.8~1.6		●	●																
	H <sub>1</sub> <sup>3</sup>	0.50~8.36				组合 IV			●	●			●	●									
		22~38	60~100	0.6~1.3																			
	H <sub>1</sub> <sup>4</sup>	20~50	70~100	0.4~1.4	组合 III																	●	
		0.69~18.26																					
H <sub>1</sub> <sup>5</sup>	16~56	50~100	0.8~1.5		●			●						●									
H <sub>1</sub> <sup>6</sup>	0.91~44.19				组合 II					●		●										●	●
	24~48	40~100	0.9~1.8																				
嫩三段油组	H <sub>2</sub> <sup>1</sup>	22~42	60~100	1.0~1.9	组合 I					●	●					●	●	●					
	H <sub>2</sub> <sup>2</sup>	18~32	80~100	0.9~2.0																			
	H <sub>2</sub> <sup>3</sup>	18~32	80~100	0.9~2.0																			
	H <sub>2</sub> <sup>4</sup>	16~28	80~100	1.0~2.0																			

图 5 大庆长垣南部黑帝庙油层储盖组合与浅层气关系

Fig. 5 Correlation to reservoir-cap portfolio and shallow gas distribution of Heidimiao reservoir in the south of Daqing placanticline

前发现的工业油流主要集中在组合 I、II 和 III 中。

泥岩盖层尽管埋藏浅,但排替压力相对较高(图 6),同高孔高渗储层相比,能形成较大的排替压力差,可以封闭住 68~560 m 的气柱高度(图 6),长垣南部黑帝庙油层圈闭的幅度为 5~100 m,盖层自身的封闭能力能够满足圈闭充满聚集。另外浅层泥岩盖层由于成岩程度低,含水率较高,能够明显增大排替压力值,增强盖层对浅层气的封闭能力(李剑等,2007)。

断裂与盖层的错断关系极大影响盖层的保存能力,断裂形成时黑帝庙油层泥岩处于浅埋藏状态,成岩程度较低,泥岩涂抹普遍发育,断裂并非直接错断泥岩,而是分段扩展,上下断层共同剪切泥岩层,当断距超过泥岩厚度的 3 倍时,盖层破裂,天然气跨层运移。依据盖层厚度计算每套盖层被断层完全错断的最大临界断距,  $H_2^1$ 、 $H_1^6$ 、 $H_1^5$  和  $H_1^3$  分别为 55.0 m、132.6 m、55.0 m 和 25.0 m,大庆长垣南部黑帝庙油层断层断距一般为 20~80 m,大部分断层会将  $H_1^3$  顶部盖层错断,小部分断层会将  $H_1^6$  顶部盖层错断,一部分断层会将  $H_2^1$  和  $H_1^5$  这两套盖层错断,因此天然气主要富集在组合 I、II 和 III 中。

### 3.2 断层侧向封闭性影响断圈的聚油能力

断层侧向封闭的本质是断裂带与围岩之间的差异渗透能力(吕延防等,1996;Fisher and Knipe,2001;Yielding, 2002; Bretan *et al.*, 2003),其排替压力的高低关键取决于断裂带中泥质含量(SGR),根据已知气藏封闭的边界断层 SGR 计算,确定断层封闭 SGR 临界值为 0.375(付晓飞等,2009),SGR 低于临界值断层侧向封闭性存在很大的风险。将断层面网格化,编制 Allan 图解,确定断层两盘岩性对接关系并以此计算每个节点的 SGR,SGR 低于 0.375 的区域断层侧向封闭性很差。通过预测断层面上 SGR 分布(付晓飞等,2009),对断层侧向封闭性进行定性研究,断层圈闭风险性有 3 种类型(图 7):断层侧向封闭,面积和幅度没有改变的圈闭(I型),如葡 2、葡东 2、葡东 1、葡西 5、葡西 4-西、葡西 4-东、葡南 1、葡 37-1;断层侧向封闭具有分段性,面积和幅度变小的圈闭(II型),如葡西-5、新肇 1、葡西 3、葡西 2、葡西 1、敖西 2、敖西 3、敖西 1、葡 37-2、葡 37-3;断层侧向不封闭,不存在的圈闭(III型),如新肇 1 号、葡西 1-1 号和敖西 1 号圈闭。其中 I 和 II 型圈闭是生物气聚集的有利目标,目前在葡-2 和葡 37-1 圈闭中均发现工业气层。

从保存条件看浅层气破坏机理,主要有 3 种类型:一是扩散散失型,浅层气盖层埋藏浅,成岩程度低,孔隙度相对较高,扩散散失普遍存在;二是断裂

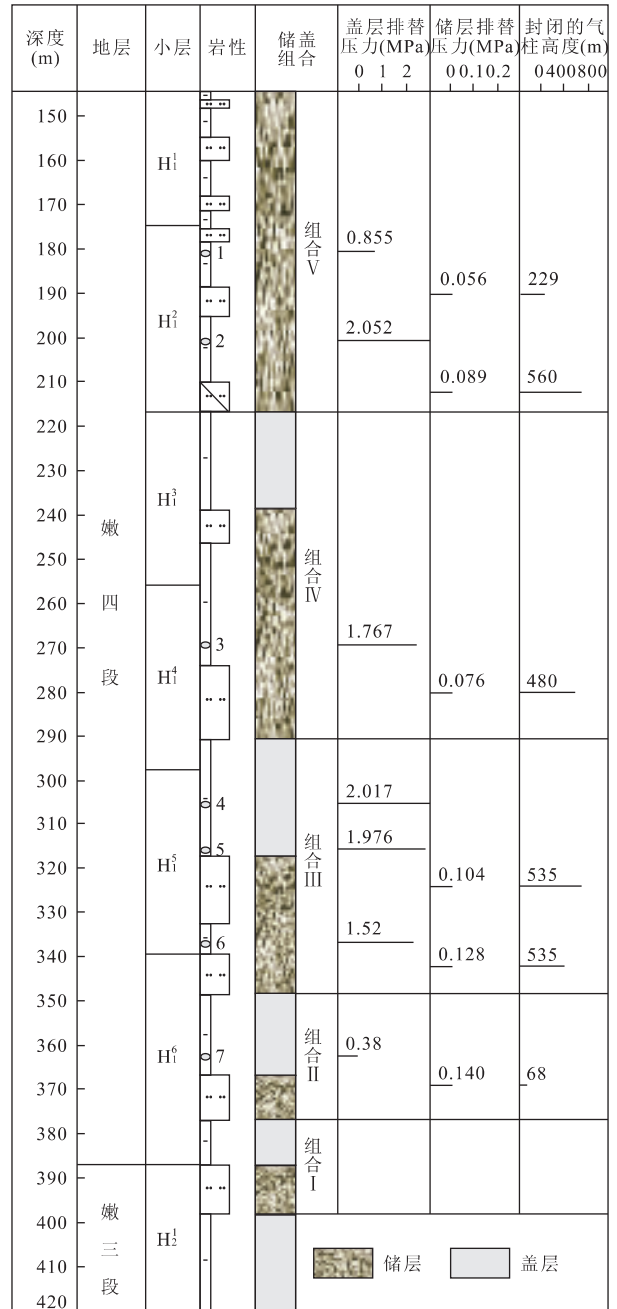


图 6 大庆长垣南部黑帝庙油层盖层封闭能力

Fig. 6 Caprock sealing ability of Heidimiao reservoir in the south of Daqing placanticline

将盖层错断,天然气沿断裂垂向逸散,这是组合 IV 含气性较差的根本原因;三是断层侧向封闭性差,天然气沿断裂侧向运移散失型,典型的是新肇 1 号、葡西 1-1 号和敖西 1 号圈闭。

## 4 浅层气成藏机制及模式

大庆长垣南部黑帝庙油层断裂多为拗陷期形成

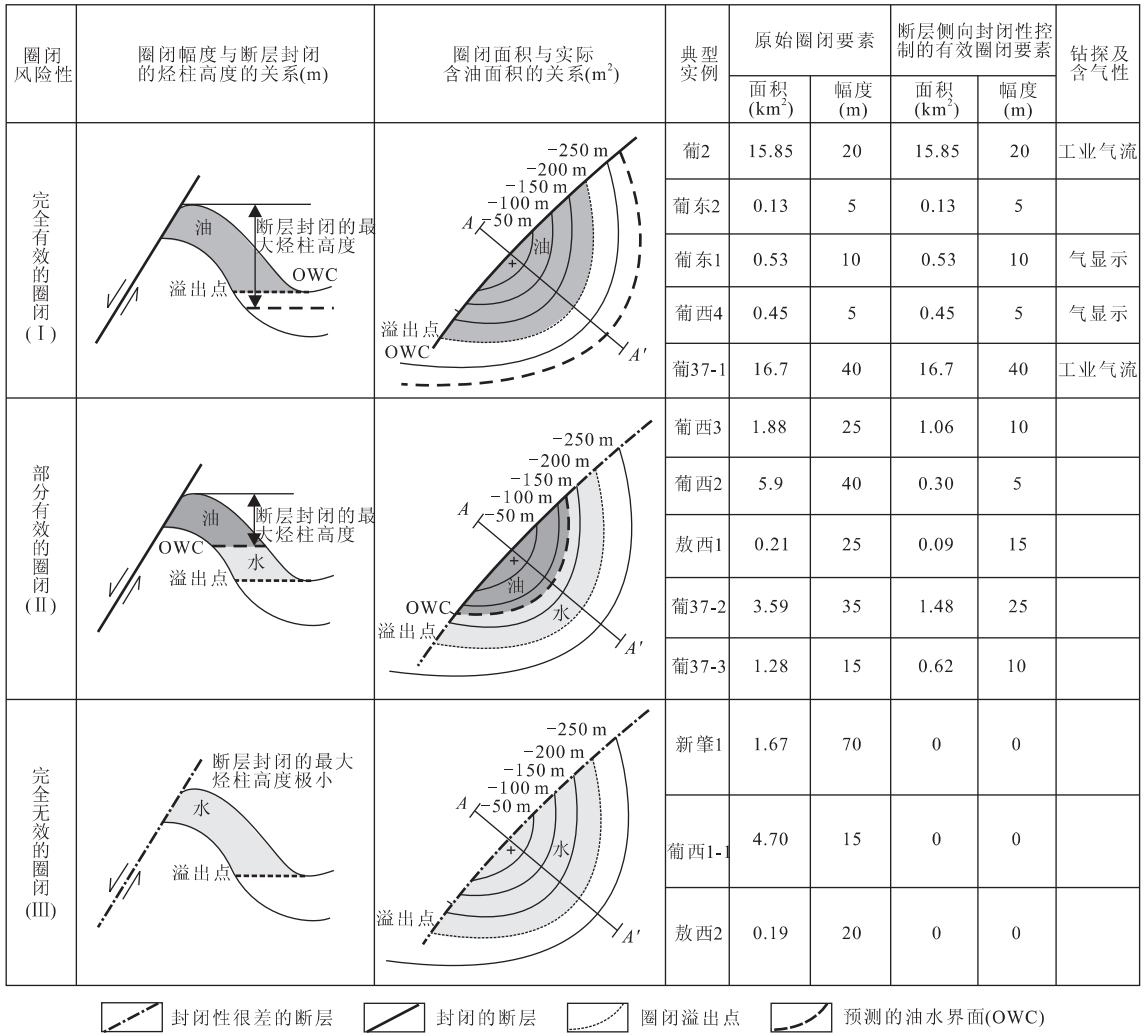


图 7 长垣南部黑帝庙油层圈闭风险分析

Fig. 7 Analysis on trap risking of formation of Heidimiao reservoir in the south of Daqing placanticline

的密集带边界断层在反转期持续活动向上延伸的结果,断裂带边界断层对倾控制了葡北、葡西和敖包塔背斜或鼻状构造的形成,断裂带之间断层背倾形成有利的“地垒”型断块圈闭。圈闭在嫩江组沉积晚期具雏形,定型于强烈的反转期即明水组末期。断裂强烈活动时期、圈闭定型时期以及嫩江组一二段烃源岩大量排烃时期一致,成藏关键时刻为明水组末期。强烈的构造反转期断裂选择性活动,活动的断层多为断裂密集带的边界断层,是天然气垂向运移的主要通道(图 8)。黑帝庙油层沉积时期,大庆长垣受控北部物源体系控制,该区总体处于三角洲前缘相带,砂体总体呈南北向延伸较远,与北北西向断裂斜交,构成典型的构造—岩性和断层—岩性圈闭。沿着断裂垂向运移进入圈闭中的天然气在“西缓东陡”构造背景控制下自西向东短距离侧向运移,在断裂密集带控制的背斜和东部边界断层控制的断圈中聚集成

藏,形成构造—岩性和断层—岩性气藏,断层圈闭中聚集气量的多少受控于断层的侧向封闭能力(图 7)。因此有气源断层沟通的背斜圈闭和侧向封闭能力强的断层圈闭是有利的目标区。

### 5 结论

(1)大庆长垣南部天然气是嫩江组一二段烃源岩生成的生物气、青山口组烃源岩生成的热成因气以及碳酸盐岩变质成因的 CO<sub>2</sub> 气的混合,其中生物气所占比例在 65%~100%,为主要的来源。

(2)大庆长垣南部断裂具有密集成带的特征,密集带形成于青山口组沉积早期,晚期活动的断层多为断裂密集带的边界断层,同一密集带两条断层之间形成背斜和鼻状构造,两条密集带之间形成断圈,断圈有效性分为 3 种情况:断层侧向封闭,面积和幅



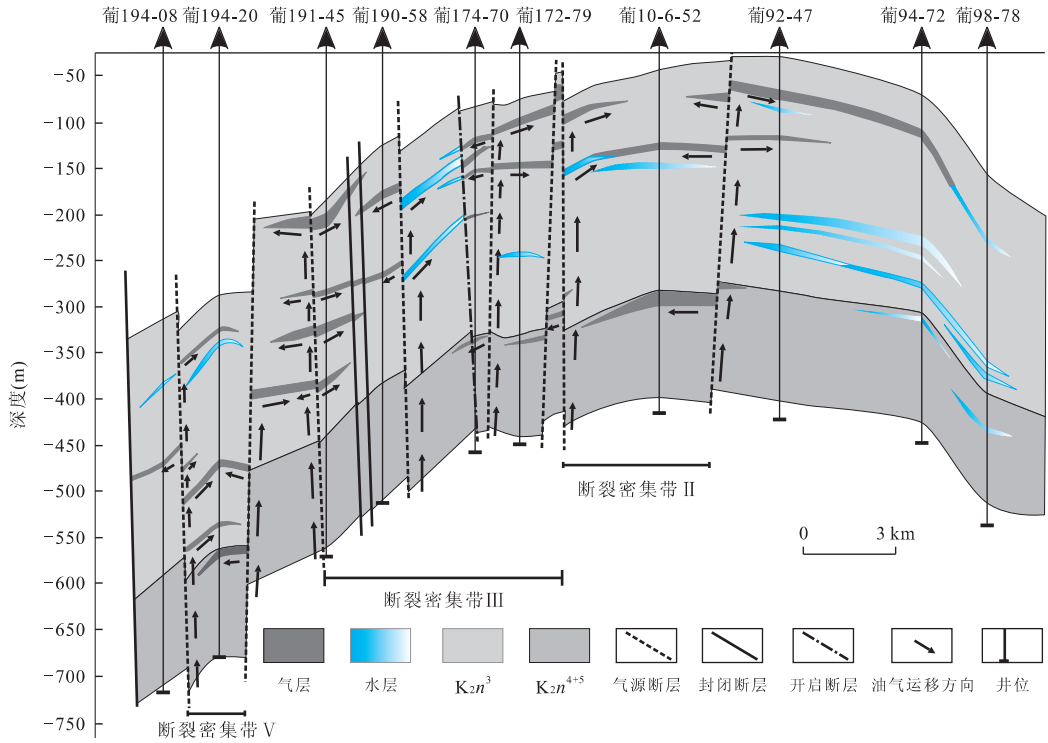


图 8 长垣南部天然气运聚成藏模式图(C-C')剖面

Fig. 8 Natural gas migration and accumulation model in the south of Daqing placanticline

度没有改变的圈闭(I型);断层侧向封闭具有分段性,面积和幅度变小的圈闭(II型);断层侧向不封闭,不存在的圈闭(III型)。

(3)大庆长垣南部浅层气成藏关键时刻为明水组末期,该期断裂选择性活动,活动断层为断裂密集带的边界断层,是天然气上运的主要通道.垂向运移的天然气进入砂体后短距离侧向运移,形成构造—岩性和断层—岩性两种类型的气藏。

(4)浅层气富集关键因素是有沟通气源的断层控制圈闭的完整性(背斜或断层侧向封闭性较好的断圈)和区域稳定分布的盖层。

References

Bretan, P., Yielding, G., Jones, H., 2003. Using calibrated shale gouge ratio to estimate hydrocarbon column heights. *AAPG*, 87(3): 397—413. doi: 10.1306/08010201128

Fisher, Q. J., Knipe, R. J., 2001. The permeability of faults within siliciclastic petroleum reservoirs of the North Sea and Norwegian continental shelf. *Marine and Petroleum Geology*, 18(10): 1063—1081. doi: 10.1016/S0264—8172(01)00042—3

Fu, X. F., Pan, G. Q., He, X. Y., et al., 2009. Lateral sealing of faults for shallow biogas in Heidimiao Formation of

the southern Daqing placanticline. *Acta Petrolei Sinica*, 30(5): 678—684 (in Chinese with English abstract).

Fu, X. F., Wang, P. Y., Lü, Y. F., et al., 2007. Tectonic features and control of oil-gas accumulation in the west slope of Songliao basin. *Chinese Journal of Geology*, 42(4): 209—222 (in Chinese with English abstract).

Han, S. H., Yu, H. Z., 1996. Relationship between overturned structure zones and oil-gas accumulation in the north of Songliao basin. *Daqing Petroleum Geology and Development*, 15(3): 1—5 (in Chinese with English abstract).

Hou, G. T., Feng, D. C., Wang, W. M., et al., 2004. Reverse structures and their impacts on hydrocarbon accumulation in Songliao basin. *Oil and Gas Geology*, 25(1): 49—53 (in Chinese with English abstract).

Hu, W. S., Lü, B. Q., Zhang, W. J., et al., 2005. An approach for tectonic evolution and dynamics of the Songliao basin. *Chinese Journal of Geology*, 40(1): 16—31 (in Chinese with English abstract).

Li, J., Yan, Q. T., Zhang, Y., et al., 2007. Particularity on biogas overburden sealing mechanics in the Quantitative of Sanhu area in Qaidam basin. *Science in China (Ser. D)*, 37(Suppl. II): 36—42 (in Chinese).

Lin, C. M., Li, Y. L., Qi, B. W., 2006. Research status and exploration potential of biogenic gas. *Journal of Palae-*

- ogeography*, 8(3): 317—330 (in Chinese with English abstract).
- Lu, S. F., Xu, Q. X., Liu, S. J., et al., 2008. The carbon isotopic equilibrium method of evaluating the biogas-generated quantity and the generation period; its application. *Acta Sedimentologica Sinica*, 26(2): 308—313 (in Chinese with English abstract).
- Lü, Y. F., Fu, G., Gao, D. L., 1996. Study on oil and gas reservoirs sealing and caprock. Petroleum Industry Publication House, Beijing, 118—120 (in Chinese).
- Yielding, G., 2002. Shale gouge ratio-calibration by geohistory. In: Koestler, A. G., Hunsdale, R., eds., Hydrocarbon seal quantification. *NPF Special Publication*, 11: 1—15. doi: 10.1016/S0928—8937(02)80003—0
- Zhang, S., Feng, Z. Q., Lin, C. M., et al., 2004. Biogenic gas accumulation conditions in the Cenozoic of Songliao basin. *Acta Petrolei Sinica*, 25(3): 18—22 (in Chinese with English abstract).
- 付晓飞, 王朋岩, 吕延防, 等, 2007. 松辽盆地西部斜坡构造特征及对油气成藏的控制. *地质科学*, 42(4): 209—222.
- 韩守华, 余和中, 1996. 松辽盆地北部反转构造带与油气聚集的关系. *大庆石油地质与开发*, 15(3): 1—5.
- 侯贵廷, 冯大晨, 王文明, 等, 2004. 松辽盆地的反转构造作用及其对油气成藏的影响. *石油与天然气地质*, 25(1): 49—53.
- 胡望水, 吕炳全, 张文军, 等, 2005. 松辽盆地构造演化及成盆动力学探讨. *地质科学*, 40(1): 16—31.
- 李剑, 严启团, 张英, 等, 2007. 柴达木盆地三湖地区第四系生物气盖层封闭机理的特殊性. *中国科学(D辑)*, 37(增刊 II): 36—42.
- 林春明, 李艳丽, 漆滨汶, 2006. 生物气研究现状与勘探前景. *古地理学报*, 8(3): 317—330.
- 卢双舫, 徐庆霞, 刘绍军, 等, 2008. 评价生物气生成量、生成期的碳同位素平衡法及其应用. *沉积学报*, 26(2): 308—313.
- 吕延防, 付广, 高大岭, 1996. 油气藏封盖研究. 北京: 石油工业出版社, 118—120.
- 张顺, 冯志强, 林春明, 等, 2004. 松辽盆地新生界生物气聚集及成藏条件. *石油学报*, 25(3): 18—22.

#### 附中文参考文献

- 付晓飞, 潘国强, 贺向阳, 等, 2009. 大庆长垣南部黑帝庙浅层生物气的断层侧向封闭性. *石油学报*, 30(5): 678—684.