

文章编号: 1001-6112(2001)04-0395-05

济阳坳陷花沟地区高含 He 气藏成藏分析

曹忠祥, 车 燕, 李军亮, 李鸿文

(胜利油田有限公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要: He 气在天然气藏中的含量很低, 一般小于 0.1%。它既有重要的工业价值, 又是天然气尤其是非烃类天然气成因的重要区分标志。济阳坳陷花沟地区上第三系明化镇组(Nm)发现的花 501 气藏, He 气含量达 3.08%。气藏中气体成分复杂, 既有以 N₂ 和 CO₂ 气为主的非烃类气层, 又有以 CH₄ 为主的气层, 是一个多元复合成因的特殊气藏。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} = -8.3\text{‰}$, $^3\text{He}/^4\text{He} = 4.47 \times 10^{-6}$, 这些代表性指标表明 N₂、CO₂ 和 He 等非烃气主要是幔源成因; $\delta^{13}\text{C}_1 = -48.8\text{‰}$, 表明 CH₄ 气是下第三系生成的有机成因的油型气。气藏位于济阳坳陷和鲁西隆起的结合部, 受高青断层这一中生界以来长期活动的深大断裂控制, 与多期次岩浆活动密切相关。CH₄ 气层与 N₂、CO₂ 及 He 气等非烃气层是两期成藏的产物。CH₄ 聚集成藏早, 而高含 He 的非烃类气的聚集成藏发生在距今 3Ma 以内。

关键词: 成藏; 高含 He 气藏; 花沟地区; 济阳坳陷

中图分类号: TE132.3

文献标识码: A

花沟地区位于济阳坳陷东营凹陷西南端, 包括北部青城凸起的一部分和南部的花沟向斜, 南以齐广断裂与鲁西隆起相接。在这里发现了济阳坳陷唯一的纯气田, 天然气分布十分复杂而又独具特点。从层系看, 在青城凸起上天然气主要富集于上第三系馆陶组上部和明化镇组下部, 以岩性气藏为主; 在花沟向斜内天然气主要聚集于下第三系沙一段和沙三段, 以构造气藏为主。从类型分析, 西部为高纯度 CO₂ 气藏, 东部为 CH₄ 气藏, 两者似乎存在着鲜明的分界(图 1), 前人分析认为, CO₂ 气主要是下古生界碳酸盐岩岩石化学成因, 有幔源气的混入; CH₄ 气为来自东部博兴洼陷沙河街组的油型气。2000 年区内钻探的花 501 井使问题更加复杂化。该井位于上述两类气藏的过渡区, 在明化镇组(Nm)不同深度发现了分别以 N₂ 与 CO₂ 气为主的气层和以 CH₄ 气为主的气层, 而且 He 气含量达到 3.08% (一般气藏中 He 气含量小于 0.1%^[1])。这类气藏在济阳坳陷是首次发现, 在国内也是少见的, 有必要对花 501 气藏的成因和成藏进行分析。

1 气藏特征

花 501 气藏位于高青断裂层下降盘, 圈闭背景

为受高青断层和相关次级断层控制的鼻状构造。气层发现于 820m 以上的上第三系明化镇组, 在 459~820m 的范围内发现气层 5 层 18.2m, 为叙述方便, 从上到下依次称为 1-5 号气层。从圈闭条件看, 属于两种气藏类型: 明化镇组上部 524.2m 以上的 1-3 号气层属于岩性气藏; 而明化镇组底部的 4、5 号气层为低幅度背斜条件下的构造-岩性气藏(图 1)。区内明化镇组以高弯曲河流沉积为主, 广泛发育的厚层泥岩和孤后分布的薄层透镜状砂岩构成有利的储盖组合。花 501 气藏储层为河道边缘和泛滥平原沉积砂岩, 主要由薄层细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩组成, 砂体厚度薄, 单层一般厚 2~4m。由于埋藏浅, 岩性疏松, 储层物性好, 孔隙度大于 30%, 渗透率达 $500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以上。直接盖层分为两类: 底部 4 号气的盖层为 10m 厚的玄武岩; 其它气层以河泛平原和河道边缘沉积泥岩作为盖层。泥岩沉积极为发育, 厚度大, 一般厚 10~30m, 形成了泥岩包围砂岩的结构。厚层泥岩既是气层的直接盖层, 又是气层的侧向封闭围岩, 为岩性圈闭的形成创造了有利条件。

对 1、4、5 号气层进行测试的结果表明, 花 501 气藏气体成分复杂, 不同气层表现出不同的特征(表 1)。1 号层以 N₂ 和 CO₂ 为主, He 气高达 3.08%,

收稿日期: 2001-06-06; 修订日期: 2001-10-09.

作者简介: 曹忠祥(1964-), 男(汉族), 山东安丘人, 高级工程师、硕士, 主要从事石油天然气勘探地质综合研究工作。

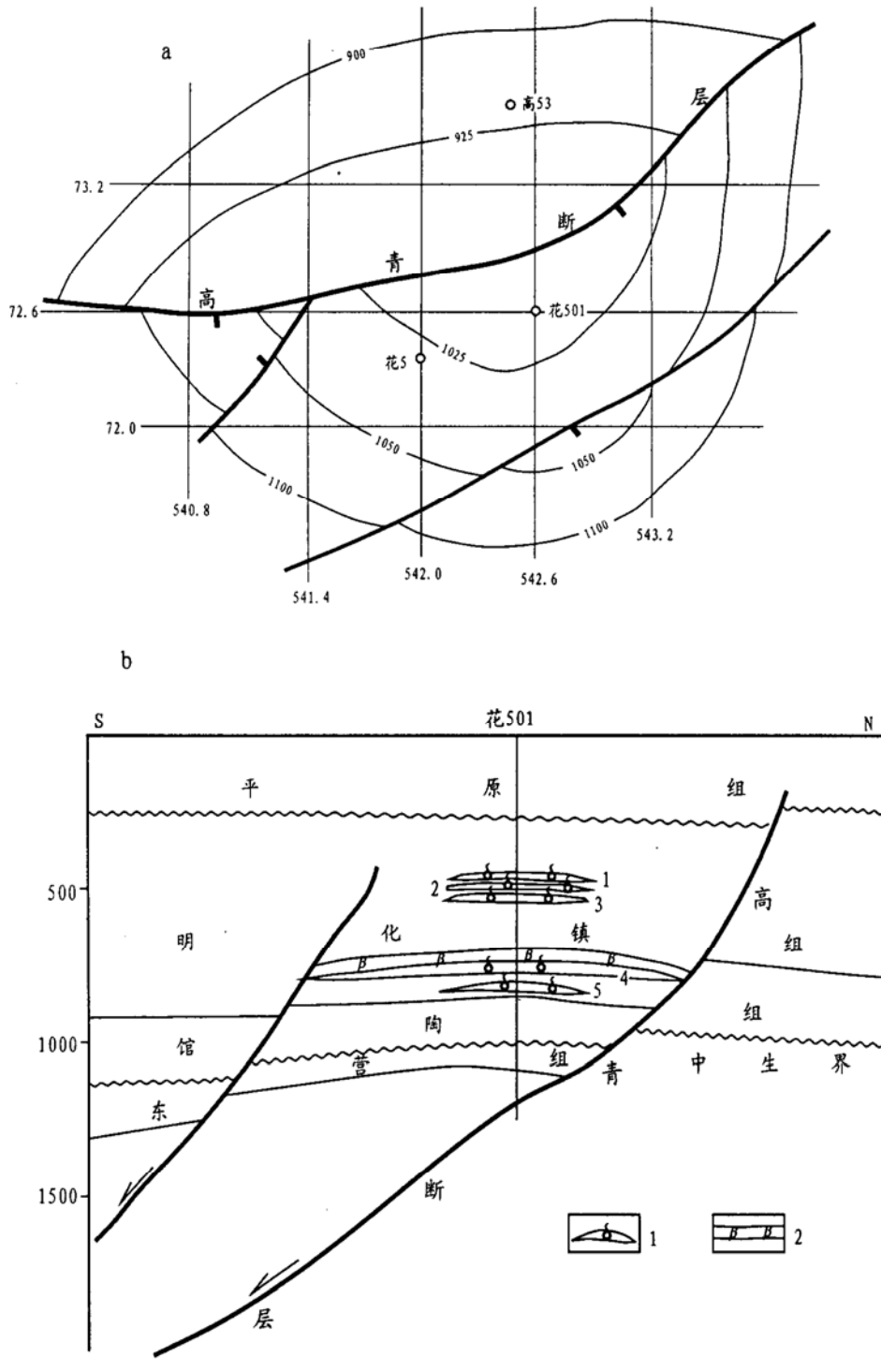


图 1 花 501 气藏馆底(T₁) 构造图(a) 和南北向剖面图(b)

1. 气层; 2. 玄武岩层

Fig. 1 The structural map of the bottom of the Guantao Formation (T₁) (a) and the map of SN profile (b) for Huar 501 gas reservoir

CH₄ 仅 1.01%; 在随钻气测分析曲线上, 2、3 号层表现出一致的特征, 预计气层的特点基本与 1 号层相同, 应以 N₂ 和 CO₂ 为主; 4 号层以 CH₄ 气为主, N₂ 和 CO₂ 含量较高; 5 号层以 N₂ 和 CO₂ 为主, He 气含量达 2.08%, CH₄ 仅 1.77%。上述不同类型气体

的复含聚集形成了这一特殊的气藏。

2 成藏分析

花 501 气藏的特殊性可概括为 3 个方面: He

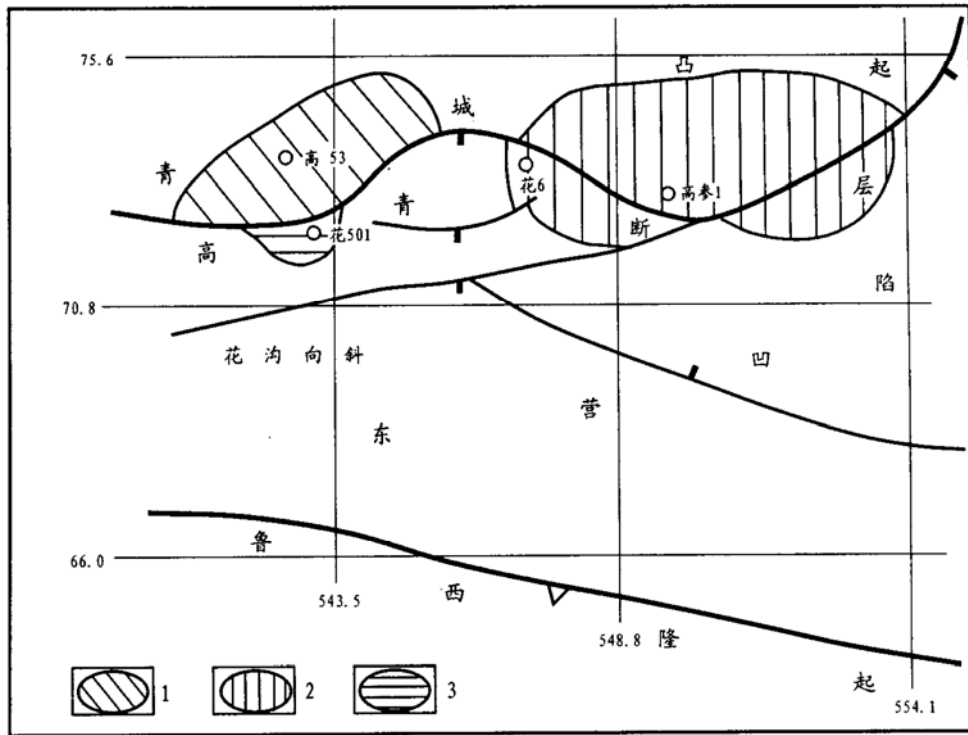


图 2 花沟地区构造位置及天然气分布图

1. CO₂ 气; 2. CH₄ 气; 3. 混源气

Fig. 2 Tectonic location and natural gas distribution of Huagou area

表 1 花 501 气藏天然气组分及同位素组成

Table 1 Natural gas components and isotope composition of Hua 501 gas reservoir

层位	深度 / m	气体主要组分 / %				δ ¹³ C (PDB) / ‰		He 同位素	
		N ₂	CO ₂	He	CH ₄	δ ¹³ C _{CO₂}	δ ¹³ C ₁	R/Ra	³ He/ ⁴ He
	459~ 461	50.94	44.98	3.08	1.01	- 8.3	- 48.8	4.47 × 10 ⁻⁶	3.2
N m	769~ 778	6.10	18.04	未测	74.76				
	811~ 813	61.86	34.27	2.08	1.77			4.34 × 10 ⁻⁶	3.1

气含量高; ④上下部形成以 N₂ 和 CO₂ 混合气为主的气层, CH₄ 含量很低; ④中部气层以 CH₄ 为主, 但含有较高的 CO₂。这种天然气组分的特殊性和分布结构的特殊性, 是由天然气的成因和成藏的地质条件及地史过程所决定的。

2.1 天然气成因

天然气成因的认识主要基于气体的地球化学分析, 气体的组分和同位素特征是主要参数。花 501 气藏天然气的主要地球化学参数见表 1。对中国东部非烃类气体的成因已有较多研究^[2], 对 CO₂ 和 He 气等来源的判识已建立了系统指标。

CO₂ 气分为有机成因和无机成因两大类, 在无机成因中又分为碳酸盐岩受热的岩石化石成因 CO₂

气和来自地幔的幔源 CO₂ 气。花 501 气藏的非烃类气层中 CO₂ 含量为 34.27% ~ 44.98%, 以 CH₄ 气为主的气层中 CO₂ 含量为 18.04%, 这比典型 CO₂ 气藏的含量低。在 1 号非烃气层分析 δ¹³C_{CO₂} = - 8.3 ‰, 这一结果处于无机成因区, 接近无机有机成因混合区; 碳同位素特征说明是无机成因, 而且是岩浆-幔源成因^[3]。据此可认为, 该气藏 CO₂ 主要为来自地幔的无机成因气, 可能混有部分其它成因 CO₂ 气。

He 属于稀有气体, 一般气藏中 He 含量很低。关于气藏中 He 的成因有不少论述^[1-3], 一般认为来自大气、壳源和幔源 3 种成因, 其含量和 ³He/ ⁴He 同位素特征是主要分析参数。从表 1 可

知,花 501 气藏中 He 含量高达 3.08%,这是很少见的;两个非烃气层中³He/⁴He 比分别为 4.47×10^{-6} 和 4.34×10^{-6} , R/Ra 比分别为 3.2 和 3.1,表明 He 气主要来自于地幔,可能有部分壳源 He 的混入。

N₂ 气是天然气中经常出现的成分,以 N₂ 为主的气藏在不少地区都有发现。天然气中 N₂ 气主要有来自大气、有机成因和来自地球深部的无机成因 3 种^[3,4],但 3 种成因 N₂ 气的区分还没有过硬的参数。花 501 气藏中 N₂ 气含量高达 61.86%,构成了以 N₂ 气为主的非烃气层。从其与 CO₂ 和 He 气混合、CH₄ 气含量很低分析,N₂ 报应当主要是幔源的。

综上所述,花 501 气藏中非烃气的 3 种成分 N₂、CO₂ 和 He 气主要是无机成因的幔源气;至于其中的 CH₄ 气, $\delta^{13}C_1 = -48.8\text{‰}$ 与其附近的 CH₄ 气藏一致,是来源于周缘下第三系生油洼陷的油型气。

2.2 主控地质条件

花 501 气藏的特殊性表现在气体组分和分布结构两个方面,天然气属于多源复合成因,主要的控制条件在于其特殊的构造背景和主控断层的活动特性。从区域构造分析,它处于鲁西隆起和济阳拗陷的过渡区;在盆地内部,它位于东营凹陷、惠民凹陷和青城凸起的交汇处,中生代以来一直具有构造转折带的性质(图 2)。这一特殊的构造背景,造成该区构造活动强烈,NE、NEE 和 NW 向断层交错展布,而且古老的深大断裂发育。直接控制气藏形成的高青断层自中生代以来持续活动,第三纪是其主要活动期,古生界落差可达 5km 以上,断面滑脱于基底变质岩中。沿此断层火山活动强烈,中生代末期大面积分布安山岩,第三纪以来已经证实的火山活动有 5 期,以局部的玄武岩分布为特征,至上新世趋于停止。自中生代以来,火成岩构成中性岩 \rightarrow 中基性岩 \rightarrow 基性岩系列。通过晚第三纪玄武岩分析,岩浆来自地下 70km 左右的上地幔^①。由上述条件可以作如下推测:高青断层与地壳深部的许多裂隙相沟通,这些裂隙是地幔岩浆上涌造成挥发组分散逸的通道,因此,高青断层成为捕获幔源气的传输带,深部幔源气汇集于高青断裂带后沿断层运移至上第三系圈闭聚集成藏。这与前面 CO₂、He 和 N₂ 气成因的地化分析是相符的。

2.3 成藏地质过程

用分异聚集的模式很难解释花 501 气藏中不同成分气层的分布结构,它应该是不同期次成藏的结果。根据目前的资料分析,该气藏至少有两期成藏。以 CH₄ 气为主的 4 号气层是第一期成藏,明化镇组下部沉积时火山喷发形成的玄武岩被形成了很好的盖层,高青断层较强烈的活动使下降盘的玄武岩被及下伏地层形成小型牵引背斜,构成了很好的圈闭条件;此时,周边洼陷中沙三、沙四段生油岩已经进入石油和伴生气生成阶段,油型 CH₄ 气沿断层和不整合面运移至圈闭中聚集成藏。第二期成藏发生在距今很短的时间,在 459m 处的明上段发现气层是最好的证据,用明化镇组以来的沉积速率计算,它的成藏应发生在距今 3Ma 以内;气源是随岩浆活动上涌的幔源气,以 N₂ 和 CO₂ 等非烃气为主,伴有高含量的 He 气,在明化镇组岩性圈闭中聚集,形成高含 He 的非烃气层,非烃气同时进入已形成的 CH₄ 气层,造成了该气层气体成分的混合。这种不同来源气体两期成藏的模式可能是 CH₄ 气层中有较高含量 CO₂、N₂ 以及高含 He 非烃气层中 CH₄ 气含量很低的合理解释。

3 结论

(1) 花 501 气藏高含 He 气, N₂ 和 CO₂ 气为主的非烃气与油型 CH₄ 气分层聚集,是一个非常特殊的气藏。

(2) N₂、CO₂ 和 He 气以幔源成因为主, CH₄ 气属于油型气。幔源气形成于特殊构造地质背景,深大断裂是其主要控制因素,与岩浆活动密切相关。

(3) 不同成分天然气的分层聚集是两期成藏的结果。CH₄ 气藏形成早, N₂、CO₂ 和 He 气的成藏发生在距今 3Ma 以内的地史时期。

参考文献:

- [1] 陈荣书. 天然气地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989.
- [2] 戴金星, 等. 中国东部无机成因气及气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [3] 戴金星, 等. 天然气地质研究新进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [4] Littke R, et al. Molecular nitrogen in natural gas accumulations: generation from sedimentary organic matter at high temperature [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(3).

①段智斌. 济阳拗陷第三系火成岩岩石化学特征. 内部研究报告, 1989.

ACCUMULATION ANALYSIS ON A HELIUM-ENRICHED GAS RESERVOIR IN HUAGOU AREA, THE JIYANG DEPRESSION

CAO Zhong-xiang, CHE Yan, LI Jun-liang, LI Hong-wen

(Research Institute of Geological Sciences, Shengli Oilfield Limited Company, Dongying, Shandong 257015, China)

Abstract: Helium content in natural gas reservoirs is very low, usually smaller than 0.1%. Gas helium not only has important industrial values, but also is a major differential mark for the origin of natural gas especially nonhydrocarbons natural gas. In Hua501 gas reservoir discovered in the Upper Tertiary Minghuazhen Formation (Nm) of Huagou area, the Jiyang Depression, the gas He content is up to 3.08%. The gas components of the gas reservoir is complex. It has not only nonhydrocarbons gas layers dominated by N₂ and CO₂, but also gas layers dominated by CH₄. It is a special gas reservoir of multiple and composite origins. $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ is equal to -8.3‰, and $^3\text{He}/^4\text{He}$ is 4.47×10^{-6} . These representative indexes reveal that N₂, CO₂, He and other nonhydrocarbons gases are mainly of mantle-source origins. $\delta^{13}\text{C}_1$ is equal to -48.8‰. This shows that gas CH₄ is organic genetic oil-type gas generated in the Lower Tertiary. The gas reservoir is located in the joint of the Jiyang Depression and the Luxi Uplift. It is controlled by the Gaoqing Fault which is a deep and large rift long activated since the Mesozoic, and is closely related to multi-stage magmatic activities. CH₄ gas layers and N₂, CO₂, He and other nonhydrocarbons gas layers are the products of two stages of accumulation. CH₄ accumulated early, and the accumulation of helium-enriched nonhydrocarbons gases happened within 3Ma from now.

Key words: accumulation; helium-enriched gas reservoir; Huagou area; the Jiyang Depression

“油气藏地球化学研究与技术进展”学术研讨会召开

由中国石油学会地质专业委员会、中油集团公司科技发展部、中油股份公司科技与信息管理部、中国石油勘探开发研究院、中油集团公司油气地球化学重点实验室联合主办的以油藏地球化学为主题的“油藏地球化学研究与技术进展”专题研讨会于2001年9月下旬在昆明召开。这是国内举办的首次油藏地球化学学术会议。

中国石油学会理事长、中油集团公司天然气成藏与开发重点实验室学术委员会主任邱中建院士,我国著名天然气地质-地球化学家戴金星院士和中国石油地质学会副主任、中油股份公司总地质师贾承造教授等国内知名学者及国际著名油藏地球化学专家、英国纽卡斯尔大学的S. Larter教授,著名有机地球化学专家、澳大利亚CSIRO的高级研究员S. George博士和加拿大联邦地质调查局高级科学家黎茂稳博士出席了会议。他们分别作了有关原油的生物降解作用、轻烃成分、单体烃氢同位素研究及其在油藏地球化学中应用前景的学术报告,给我们带来了国际上最新的科研成果与信息。

参加会议的国内专家来自中科院、中石化、海洋石油、中石油和教育部等五大系统,包括业务主管部门、科研院所、高等院校、出版社和仪器公司在内的23个单位,共计68名代表。代表们出席会议,并给会议带来了国内最新的油藏地球化学研究成果。

在这次学术会议上,共有22位中、外专家作了精彩的学术报告。这些报告以油气成藏地球化学为主旋律,主要围绕着“多源与混源油”、“成藏期次与时间”、“油气运移与油藏注入史”以及“稠油研究”等专题,组成这次会议的“五部曲”,大体上反映了我国油藏地球化学研究与技术发展的现状。一个突出特点是,很多报告都体现了油藏地球化学研究与石油地质条件的密切结合。例如梁狄刚教授与李剑博士对塔里木库凹陷油气藏的分布与气藏形成的研究、程克明教授和孙永革研究员关于油藏成藏期次的确定、张水昌博士及陈建平和席小应高工对混源油的探讨等,均紧密联系实际,应用油藏地球化学手段,有效地回答了一些勘探中的地质问题。

(王大锐)