

# 塔里木盆地西北部氦气富集特征与成藏条件分析

余琪祥<sup>1</sup>, 史政<sup>1</sup>, 王登高<sup>2</sup>, 郭辉<sup>2</sup>

(1. 中国石油化工股份有限分司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126;

2. 中国石油化工股份有限分司西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 氦气作为一种用途广泛的稀有非烃类气体, 在一些油气藏天然气组分中不断被检测到, 其中不少达到或超过了工业开采标准。从综合利用氦气资源考虑, 对塔里木盆地西北部氦气富集特征和成藏条件进行了分析。通过石油钻井和测试资料分析表明, 塔里木盆地雅克拉、沙西 2 号、巴什托和亚松迪等油气藏天然气组分中氦气含量较高, 氦气作为天然气伴生物而富集成藏。其储集层位为下奥陶统、上石炭统、下二叠统和下白垩统, 主要富集在构造圈闭高部位或油气藏顶部; 其成因特征以壳源氦为主, 有少量幔源氦的加入; 二叠纪火山活动提供了丰富的氦源; 深达基底的断层为深部氦气向上运移的通道, 良好的封盖条件有利于氦气富集成藏与保存。

**关键词:** 成藏条件; 富集特征; 氦气; 沙雅隆起; 麦盖提斜坡; 塔里木盆地

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

文章编号: 1009-6248(2013)04-0215-08

## Analysis on Helium Enrichment Characteristics and Reservoir Forming Conditions in Northwest Tarim Basin

YU Qi-xiang<sup>1</sup>, SHI Zheng<sup>1</sup>, WANG Deng-gao<sup>2</sup>, GUO Hui<sup>2</sup>

(1. *Wuxi Petroleum Geology Institute, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China*; 2. *SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China*)

**Abstract:** As a widely used non-hydrocarbon noble gas, helium has been frequently detected in natural gas out of oil and gas reservoir, many of which has reached or exceeded the industrial standard. Considering the comprehensive utilization of helium, we analyzed the helium enrichment characteristics and reservoir forming conditions in northwest Tarim basin. The drilling and test data showed that the content of helium in natural gas was higher in Yakela, Shaxi 2, Bashituo and Ysongdi, and helium accumulated as concomitant of natural gas. It was stored in Lower-Ordovician, Upper Carboniferous, Lower Permian and Lower Cretaceous, and mainly concentrated in the high part of structural traps and the top of reservoir. The helium was mainly from the crust, and a small amount of them was from the mantle. The volcanic activity in Lower Permian supplied a rich source of helium, and the deep faults provided a channel for helium to migrate upward. The good sealing condition was to the benefit of accumulation and preservation of helium.

**Key words:** reservoir forming conditions; enrichment characteristics; helium; Shaya uplift; Maigaiti slope; Tarim basin

收稿日期: 2013-02-18; 修回日期: 2013-05-26

基金项目: 国家科技重大专项课题“多旋回海相盆地油气保存控制因素与有效性评价”(2011ZX05005-002-004)

作者简介: 余琪祥 (1967-), 男, 湖南平江人, 高级工程师, 1990年毕业于成都地质学院石油系石油地质专业, 从事油气勘探和石油地质综合研究。E-mail: yqx9763@sina.com

氦气是一种惰性气体,也是稀有资源。它具有不易液化、稳定性好、扩散性强等特点,在现代工业和高科技领域有着广阔的应用前景。

地层中单独的氦气藏罕见,虽然与油气没有直接的成生联系,但常作为油气藏的伴生物而成藏。油气田天然气中氦的含量(体积百分含量)分布范围一般为  $3.7 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-1}$  (孙明良, 1997; 李广之等, 2009)。国外(美国)有的气田气中氦的最高含量可达 8%,但多数气田气的氦含量都小于 1%。徐永昌等(1990)提出工业气井中氦含量大于 0.1% 即具有工业利用价值(徐永昌等, 1990)。也有人将氦含量达到或超过 0.05% 即具有工业利用价值(陶明信等, 1997)。中国是氦气资源贫乏的国家,其资源量约为世界的 0.1% ~ 0.2% (陶明信等, 1997; 丁涛, 2010)。因此,研究氦气的富集特征和成藏条件具有重要的理论意义和勘探价值。

## 1 富集特征

随着油气勘探工作的深入,在一些地区油气藏天然气组分中检测出氦气。在中国东部郯-庐断裂

带两侧含油气盆地中,发现了含有氦气的油气藏。例如,松辽盆地北部、海拉尔盆地、济阳坳陷以及苏北盆地,均找到了具有商业价值的氦气油气藏(徐永昌, 1990, 冯子辉等, 2001, 王江等, 2002, 曹忠祥等, 2001, 叶先涛, 2003); 中部的四川盆地威远气田是中国第一个实现氦气商业利用的气田(戴金星, 2003); 在以汾渭盆地新近系—古近系为目的层的石油和地热钻井中,见含有氦气的天然气显示(卢进才等, 2005; 刘建朝等, 2009); 在西部的塔里木盆地北部沙雅隆起和麦盖提斜坡西北部,发现了富集氦气的凝析油气藏。

据工业油气井天然气组分分析(表 1),表明塔里木盆地沙雅隆起雅克拉构造、沙西 2 号构造以及麦盖提斜坡巴什托构造、亚松迪构造天然气组分中氦气含量较高。其富集特征如下。

(1) 氦气作为油气伴生气而存在。沙雅隆起的雅克拉和沙西 2 号油气藏、麦盖提斜坡的巴什托和亚松迪油气藏均为凝析油气藏,地面原油密度为  $0.764 1 \sim 0.834 8 \text{ g/cm}^3$ , 天然气组分中烃类气体占绝对优势。其中,甲烷含量达到 57.94% ~ 90.85%, 重烃含量也较高; 天然气中氦气含量达到 0.05% ~ 2.19%, 同时还含有较高的氮气和二

表 1 塔里木盆地西北部油气藏天然气组分中氦气含量统计表

Tab. 1 Helium content statistics in gas component of reservoirs in the northwest Tarim basin

构造	井号	层位	井段 (m)	C <sub>1</sub> (%)	C <sub>2+</sub> (%)	N <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	He (%)
巴什托	麦 3	P <sub>1n</sub>	4 299.50~4 300.51	61.19	10.6	26.3	1.18	0.73
	麦 4	P <sub>1n</sub>	4 308.00~4 314.33	65.59	8.42	23.28	2.03	0.68
亚松迪	巴探 2	C <sub>2x</sub>	1 920.00~1 929.50	72.66	9.45	14.60	3.07	0.22
雅克拉	沙参 2	O <sub>1</sub>	5 391.18	77.85	11.51	4.55	6.02	0.07
	沙 6	K <sub>1</sub>	5 361.50~5 393.00	90.85	1.71	4.98	2.27	0.19
	沙 5	O <sub>1</sub>	5 755.00~5 776.55	70.37	3.1	6.88	19.43	0.22
	沙 15	K <sub>1</sub>	5 242.50~5 262.50	87.55	8.46	2.59	1.35	0.05
		O <sub>1</sub>	5 350.42~5 379.03	80.59	12.56	4.49	2.27	0.09
	O <sub>1</sub>	5 438.00~5 444.00	87.44	2.3	7.84	2.1	0.32	
沙西 2 号	沙 13	O <sub>1</sub>	4 969.00~4 973.00	57.94	6.11	33.76		2.19

注: (为无空气百分含量)。

氧化碳气。

(2) 氦气含量较高。除沙参 2 井下奥陶统和沙 15 井下白垩统及下奥陶统 5 350.42~5 379.03 m 井段氦气含量低于 0.1% 以外, 其他层位均超过

0.1%, 沙 13 井下奥陶统 4 969.00~4 973.00 m 井段氦气含量高达 2.19%。

(3) 富集层位。据已有勘探成果, 表明沙雅隆起氦气主要富集在下奥陶统、下白垩统, 麦盖提斜

坡巴什托构造和亚松迪构造氦气富集在下二叠统南闸组 ( $P_{1n}$ ) 和上石炭统小海子组 ( $C_{2x}$ )。氦气富集期可能与油气成藏期有一定关系,塔北隆起雅克拉凝析气田和麦盖提斜坡巴什托凝析气藏油气成藏期主要为华力西晚期;燕山晚期—喜山期为油气藏进一步调整期,塔北地区在白垩系—第三系形成了次生油气藏,巴楚—麦盖提地区在亚松迪构造形成了次生的凝析气藏。而华力西晚期也是塔北隆起和巴楚—麦盖提地区火山喷发和岩浆侵入强烈的时期,为氦气聚集成藏提供了丰富的氦源,而后经过

燕山期—喜山期不断调整到圈闭高部位或更新的层位。

(4) 富集部位。由于氦气分子量小,质量轻的特点,主要富集在构造圈闭的高部位或油气藏的顶部。例如,巴什托构造位于构造高部位的麦3、麦4井(图1)南闸组天然气中氦气含量达到0.68%~0.73%;而位于构造较低部位的麦6、麦10等井天然气组分中未检测出氦气。雅克拉构造也是一样,位于高部位的沙参2和沙15井天然气组分中富集氦气;沙6井下白垩统可能存在次高点,其氦

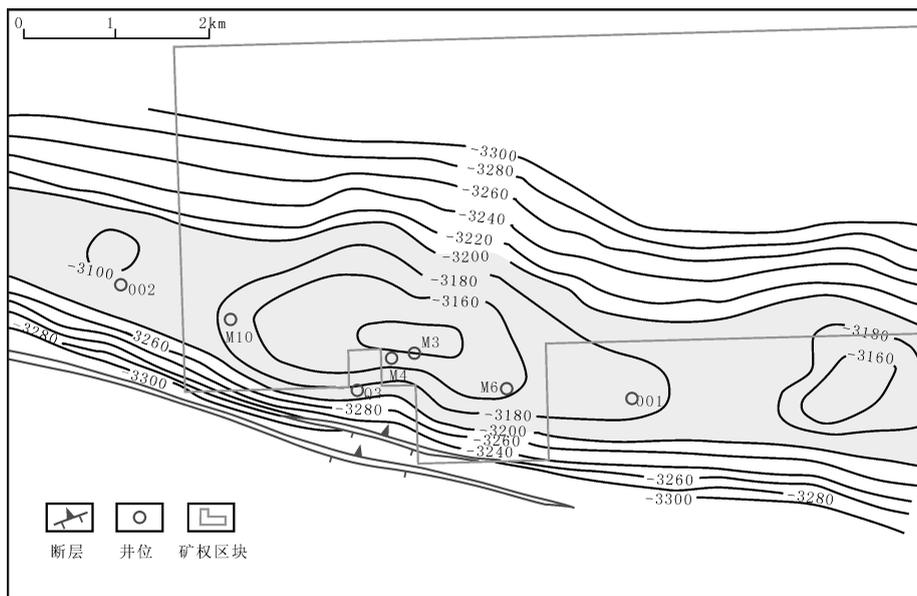


图1 塔里木盆地麦盖提斜坡巴什托小海子组凝析气藏及井位图

Fig. 1 Well location and condensate gas reservoir in Xiaohaizi Formation, Bashituo, Maigaiti slope, Tarim basin

气含量也较高(图2)。

(5) 相关性分析。氦气含量与氮气具有良好的正相关关系,氮气含量高,则氦气含量也高。例如,沙13井下奥陶统氮气含量达到33.76%,氦气含量达到了2.19%;沙15井下白垩统氮气含量仅为2.59%,氦气含量只有0.05%。说明二者成因相同,均来自地球深部环境。

## 2 成因分析

前人研究成果表明,地层天然气中氦的来源有2种:①为幔源氦,通过深大断裂运移,或岩浆

岩、火山岩脱气;②为放射性U、Th $\alpha$ 衰变(产生的 $\alpha$ 粒子-即氦核)形成氦,主要来源于地壳。氦的同位素 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 丰度值是判识氦来源的标志。大气氦为 $1.4 \times 10^{-6}$ ,壳源氦为 $2 \times 10^{-8}$ ,幔源氦为 $1.1 \times 10^{-5}$ ;当氦的同位素 $^3\text{He}/^4\text{He} > 1.4 \times 10^{-6}$ 时,即意味着有相当多来源于地幔氦的加入。中国西部油气区 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值为 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ (徐永昌等,1994,1997;郑建京等,2005),塔里木盆地塔北隆起沙雅油气田 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值为 $2.16 \times 10^{-7}$ ;巴楚隆起和田河气田 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值为 $1.07 \times 10^{-7} \sim 1.16 \times 10^{-7}$ ,表明塔里木盆地西北部地层天然气中的氦气以壳源氦为主,有少量幔源氦的加入(王招明等,2007)。

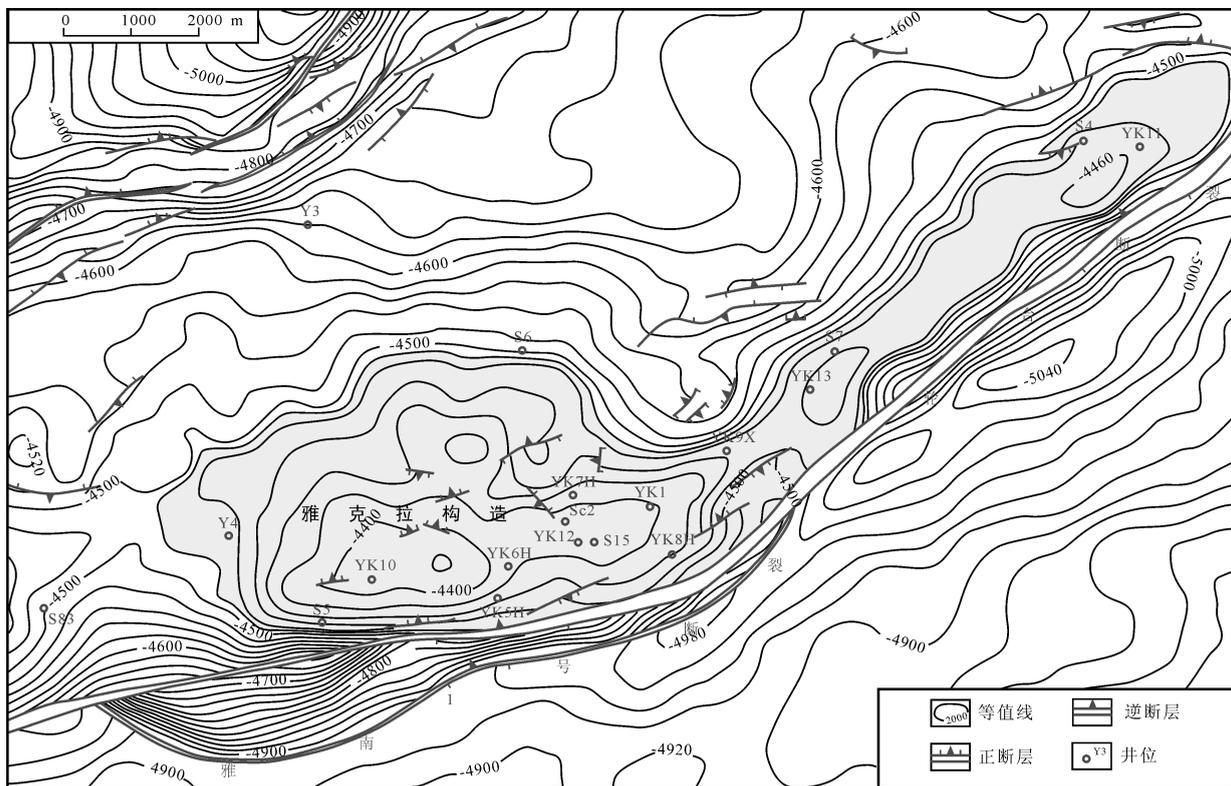


图2 塔里木盆地沙雅隆起雅克拉下奥陶统凝析气藏及井位图

Fig. 2 Well location and condensate gas reservoir in Lower Ordovician, Yakela, Shaya uplift, Tarim basin

### 3 成藏条件

氦气作为天然气的一种组分,在成藏过程中同烃类气体一样,始终处于不断补给和不断散失的动平衡状态,由于氦的分子量较小,渗透性极强,比其他气体更容易通过盖层散失。因此,氦气藏的形成除需要一定的圈闭条件和储集空间外,还需要有源源不断的氦气补给,发育良好的盖层封闭。依据对其分析,认为塔里木盆地西部巴楚—麦盖提地区和北部沙雅隆起氦气富集成藏主要与二叠纪火山活动、断裂作用以及具备良好的盖层封闭作用有关。

#### 3.1 火山活动

二叠纪塔里木盆地处于伸张作用阶段,发育部分张(扭)性断裂,并深切下地壳,致使大量基性岩浆侵入或喷发,岩浆释放的氦气沿断层向上运移被捕集于构造圈闭中,成为塔里木盆地北部和巴楚—麦盖提地区部分油气田氦气富集的气源。据石油钻井资料分析,巴楚—麦盖提地区二叠系火成岩发

育,主要有辉绿岩、玄武岩和安山岩等中基性岩类以及凝灰岩等(表2)。这些火成岩侵入或喷发的过程中,从地球深部带来了丰富的氦源。

塔里木盆地北部二叠纪火山岩也较发育,阿克库木凸起多口井钻揭示火山岩,其中T705井钻遇火山岩厚度最大达到147.3 m, T207井钻揭厚度最小为3.8 m,一般钻揭厚度为50 m左右。岩性主要为玄武岩、英安岩和凝灰岩类,存在2次火山喷发旋回,形成下部玄武岩、上部英安岩或单一英安岩的垂向火山喷发序列。

据Hunt(1979)对构成天然气组成的各种来源研究结果(常兴浩等,1997),认为氦气主要来源于火成岩、变质岩气体的扩散。在前苏联科拉半岛发现的岩浆成因的天然气,含氦为20%~40%,氦含量为0.6%~3.7%,其组分与塔里木雅克拉和巴什托等气藏相似。巴什托构造下二叠统南闸组气藏氦气的含量较高,达到0.68%~0.73%,雅克拉凝析气田氦气含量达到0.32%,沙西2号气藏更是达到2.19%,无疑这种较高含量氦气与火山岩浆活动有关。

表 2 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区二叠系火成岩厚度统计表

Tab. 2 Thickness statistics of igneous rocks of Permian in Bachu-Maigaiti area, Tarim basin

井名	井段 (m)	地层厚 (m)	玄武岩、安山岩 (m)	辉绿岩 (m)	凝灰岩类 (m)
康 2	1 004~1 204	200	77.5		
罗斯斯 1	1 375~1 979	604	256		116
巴探 5	1 104~1 581	477	159		74
罗南 1	2 742~3 133	391	242.5		65
山 1	2 323~2 771.5	448.5	259.5		90
玛 4	666.5~945.5	279	183.5		66.5
玛 5	734~938	204	123		81
玛参 1	3 076~3 341	265	142.5		
胜和 2	5 144~5 430	286	125.5	128	
和田 1	1 924~2 352	428	257		80
和 2	2 052~2 391	339	158	155	5.5
和 3	1 910~2 280	370	157		112
和 4	360~852	492	308	58.1	46
玉北 1	4 522~4 784	262	131	15	42
巴东 2	2 489~2 685	196	137	44.5	

### 3.2 断裂作用

断裂对沟通深部烃源，使深部油气沿断裂向上运移形成油气藏具有重要的作用。同样深大断裂能够沟通深部氦气源使氦气沿断裂向上运移且不断聚集到油气构造圈闭中而富集起来（王江等，2002；卢进才，2005）。巴什托构造位于近东西向的巴什托断裂与北西向的色力布亚断裂交汇部位，主要受巴什托断裂控制。据艾华国等研究（艾华国等，1995），认为巴什托构造是一个前期由岩浆、泥灰等塑性物质上穹后，经后期挤压并被逆断层切割的断背斜构造（图 3），其下发育一花岗岩体，在漫长的地质历史中花岗岩中的 U 和 Th 衰变生成了较多的<sup>4</sup>He。而巴什托断裂向上断开石炭系，消失于二叠系，下部延伸至奥陶系—寒武系中甚至更深的层位中，断距上部小、下部大，深部氦源沿断裂向上运移至巴什托断背斜圈闭下二叠统南闸组中聚集成藏。

雅克拉构造位于雅克拉断凸，由北倾的轮台断裂、南倾的古生代单斜地层与古生界顶不整合 3 要素所构成的正牵引型的断块构造。北倾的轮台断裂和南倾的亚南断裂组成了雅克拉断凸的南北边界，2 条断裂向下均深入基底，向上消失于白垩系中。断裂主要形成于华力西晚期，白垩纪趋于停止活动，对雅克拉构造的发展起重要控制作用（图 4）。

### 3.3 保存条件

氦气分子半径小，不易与其他元素化合反应，

且具有极强的扩散和穿透能力。地层中的氦气极易渗漏至地表直至向大气中逸散，因而氦气成藏比烃类对保存条件具有更苛刻要求。或者说，一个圈闭对烃类保存是有效的，对氦气保存未必有效；但一个

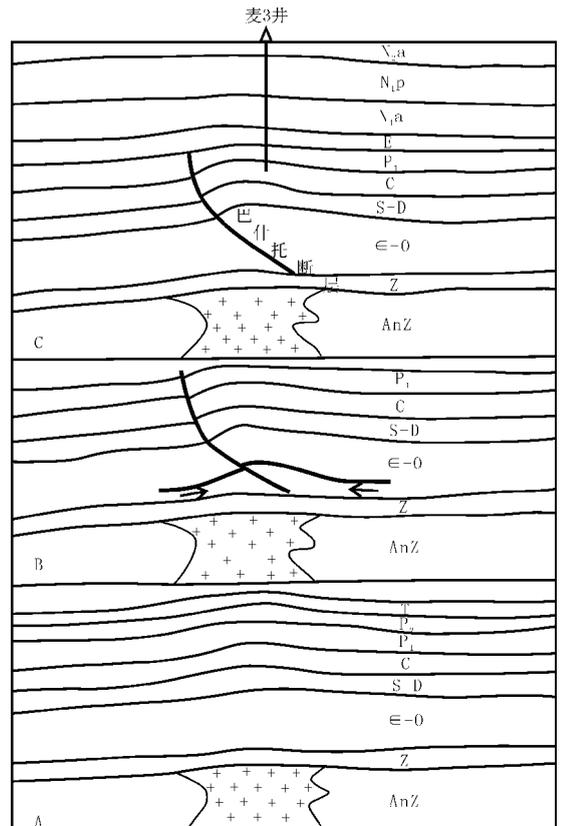


图 3 巴什托构造的形成与演化图

Fig. 3 Formation and evolution of Bashituo structure

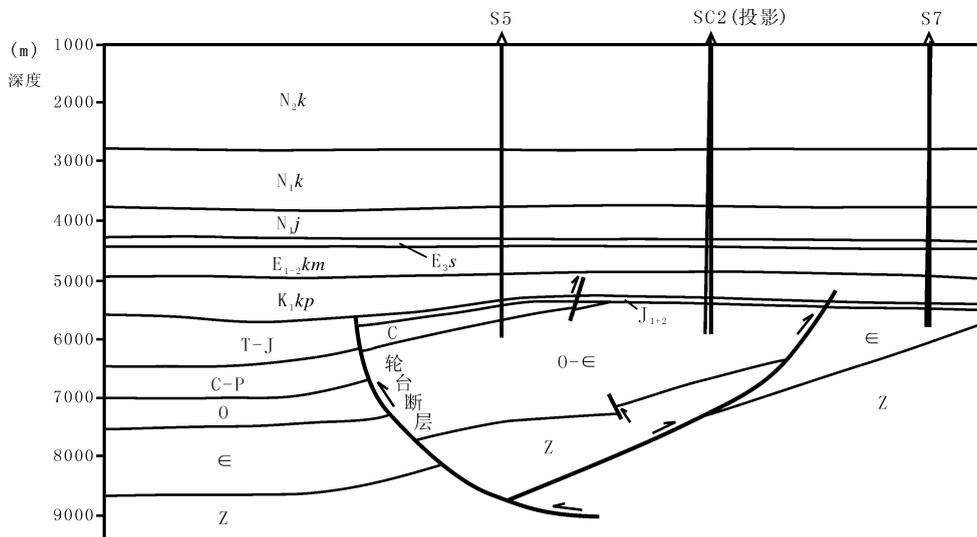


图4 塔里木盆地雅克拉构造 S5-S7 井地质剖面图

Fig. 4 Well S5- Well S7 geological section in Yakela structure, Tarim basin

圈闭对氦气保存有效, 则它对烃类保存必定有效。因此, 氦气也可以作为评价一个地区油气保存条件优越的因素。据邓树立研究, 在塔里木盆地北部桑达木、吉拉克和艾协克等油气田上方近地表土壤中, 检测到氦浓度异常(邓树立, 1995), 但上述油气藏天然气组分中未发现较高浓度氦气聚集。因此, 良好保存条件是决定氦气成藏的关键。

雅克拉构造古生界碳酸盐岩储层之上覆盖了3套厚度较大的中生代盖层。其中, 侏罗系发育一套河流沼泽相含煤岩系, 泥岩单层厚度达到30 m, 构成了雅克拉构造古生界储层第一套封盖层; 古近系苏维依组( $E_{3s}$ )中部发育一套厚度超过80 m的红色含膏泥质岩段, 与库姆格列木群( $E_{1-2km}$ )、下白垩统卡普沙良群( $K_{1kp}$ )顶部砂岩构成了一套有利的储盖组合; 新近系吉迪克组( $N_{1j}$ )中下部含膏泥岩段厚度超过300 m, 构成了雅克拉构造最上部一套封闭屏障。特别是后二套含膏泥岩盖层不但对油气构成良好的封闭作用, 也对氦气形成有效的封闭作用。

巴什托构造主要封盖层为下二叠统库普库兹满组( $P_{1kk}$ )以及古近系的膏泥岩层。其中, 库普库兹满组为下伏南闸组气藏的直接盖层, 为一套砂泥岩互层, 在巴楚地区分布较广泛, 麦4井泥岩最大单层厚度35 m, 据实验分析, 表明其泥岩突破压力较高, 达到6.8~11.3 MPa, 说明具有良好的毛细管封闭的能力。通过对麦4井库普库兹满组泥

岩声波时差分析, 发现其中下部发育欠压实带, 泥岩声波时差严重偏离了正常趋势线。同处于巴什托构造带的群4井, 在库普库兹满组3 669~3 675 m地层水活跃, 并发生井涌, 测算压力系数为1.88, 钻井过程中3 670~4 281 m井段, 泥浆比重由1.40增加到1.90, 认为库普库兹满组发育高常异压力带。因此, 库普库兹满组除具有物性封闭特征外, 还具有压力封闭特征, 能够对下覆油气藏和氦气藏形成双重封闭作用。巴麦地区井下油气显示一般出现在下二叠统南闸组灰岩及其以下层位, 库普库兹满组及以上层位几乎无油气显示, 这与库普库兹满组具有良好的封盖能力有较大关系。此外, 库普库兹满组之上还有厚度超过100 m的古近系膏泥岩的封盖, 构成了巴什托构造优良的封盖条件。因此, 巴什托构造不仅形成了高压凝析油气藏, 也富集了具有工业价值的氦气藏。

## 4 结论与建议

在塔里木盆地北部雅克拉、沙西2号和西部巴什托、亚松迪等油气藏中, 发现了具有工业价值的氦气藏。氦气主要富集在构造圈闭高部位或油气藏顶部, 与氦气含量具有良好的正相关关系。二叠纪火山活动提供了丰富的氦源, 深入基底的断层使深部氦气向上运移至油气圈闭中聚集, 良好的保存条件有利于氦气富集成藏。

中国是氦气资源贫乏的国家,研究氦气的富集特征和成藏条件具有重要的勘探意义。同时建议:  
①在具有氦气资源前景的地区,在油气藏勘探开发过程中,重视对天然气组分中氦气的检测与分析。  
②对于具有商业利用价值氦气的油气藏,鉴于氦气富集条件的特点,在油气藏开发的初期,应当充分分离和利用天然气中的氦气资源,以提高资源的开发与综合利用效率。

## 参考文献 (References):

- 孙明良. 氦同位素在天然气地质学上的作用[J]. 天然气地球科学, 1997, 25 (5): 1-5.
- Sun Mingliang, Application of helium isotope in gas geology [J]. Natural Gas Geoscience. 1997, 25 (5): 1-5.
- 李广之, 高伟, 江浩, 等. 氦气的天然气地质意义[J]. 物探与化探, 2009, 33 (2): 154-156.
- Li Guangzhi, Gao Wei, Jiang Hao, et al. Geological implications of radon gas [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2009, 33 (2): 154-156.
- 徐永昌, 沈平, 陶明信, 等. 幔源氦的工业储聚和郯庐大断裂带[J]. 科学通报, 1990, 35 (12): 932-935.
- Xu Yongchan, Shen Ping, et al. Industrial accumulation of mantle-derived helium and Tanlu fault [J]. Chinese Science Bulletin, 1990, 35 (12): 932-935.
- 陶明信, 沈平, 徐永昌. 苏北盆地幔源氦气藏的特征与形成条件[J]. 天然气地球科学, 1997, 8 (3): 1-8.
- Tao Mingxin, Shen Ping, Xu Yongchan, et al. Characteristics and formation conditions of mantle source helium reservoir in North Jiangsu Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 1997, 8 (3): 1-8.
- 丁涛. 苏北地区含氦天然气资源综合利用前景展望[J]. 内蒙古石油化工, 2010, 17: 64.
- Ding Tao. Comprehensive utilization prospects of helium-containing gas resources in northern Jiangsu area [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2010, 17: 64.
- 徐永昌, 孙明良, 沈平, 等. 天然气氦同位素的测定及其在天然气研究中的应用[J]. 石油实验地质, 1990, 12 (3): 316-325.
- Xu Yongchang, Sun Mingliang, Shen Ping, et al. Isotope measurement of helium and their application in natural gas [J]. Petroleum Geology & Experiment. 1990, 12 (3): 316-325.
- 冯子辉, 霍秋立, 王雪. 松辽盆地北部氦气成藏特征研究 [J]. 天然气工业, 2001, 21 (5): 27-30.
- Feng Zihui, Huo Qiuli, Wang Xue, A study of helium reservoir formation characteristic in the north part of songliao basin [J]. Natural Gas Industry, 2001, 21 (5): 27-30.
- 王江, 张宏, 林东成. 海拉尔盆地乌尔逊含氦 CO<sub>2</sub> 气藏勘探前景[J]. 天然气工业, 2002, 22 (4): 109-111.
- Wang Jiang, Zhang Hong, Lin Dongcheng, Exploratory prospect of CO<sub>2</sub> gas with the helium of Wuerxun depression in Hailaer Basin [J]. Natural Gas Industry. 2002, 22 (4): 109-111.
- 曹忠祥, 车燕, 李军亮等. 济阳坳陷花沟地区高含 He 气藏成藏分析 [J]. 石油实验地质, 2001, 23 (4): 396-399.
- Cao Zhongxiang, Che yan, Li Junliang, et al. Accumulation analysis on a helium enriched gas reservoir in huagou area, the jiyang depression [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2001, 23 (4): 396-399.
- 叶先涛. 江苏溪桥地区氦气藏天然气富集规律及资源前景 [J]. 江苏地质, 2003, 27 (4): 207-210.
- Ye Xiantao. Enrichment and Resource Foreground of Helium Natural Gas in Xiqiao Area, Jiangsu Province [J]. Jiangsu Geology, 2003, 27 (4): 207-210.
- 戴金星. 威远气田成藏期及气源 [J]. 石油实验地质, 2003, 25 (5): 473-480.
- Dai Jinxing. Pool forming periods and gas sources of weiyuan gasfield [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2003, 25 (5): 473-480.
- 卢进才, 魏仙祥, 李玉宏, 等. 汾渭盆地富氦天然气成因及成藏条件初探 [J]. 西北地质, 2005, 38 (3): 82-86.
- Lu Jincan, Wei Xianyang, Li Yuhong, et al. Preliminary study about genesis and pool formation conditions of rich-helium type natural gas [J]. Northwestern Geology, 2005, 38 (3): 82-86.
- 刘建朝, 李荣西, 魏刚峰, 等. 渭河盆地地热水水溶氦气成因与来源研究 [J]. 地质科技情报, 2009, 28 (6):

84-88.

Liu Jianchao, Li Rongxia, Wei Gangfeng, et al. Origin and Source of Soluble Helium Gas in Geothermal Water, Weihe Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28 (6): 84-88.

徐永昌, 沈平, 陶明信, 等. 中国含油气盆地天然气中氦同位素分布 [J]. 科学通报, 1994, 39 (6): 1505-1508.

Xu Yongchan, Shen Ping, Tao Mingxin, et al. Helium isotope distribution of natural gas in China oil and gas basin [J]. Chinese Science Bulletin. 1994, 39 (6): 1505-1508.

郑建京, 刘文汇, 孙国强, 等. 稳定、次稳定构造盆地天然气氦同位素特征及其构造学内涵 [J]. 自然科学进展, 2005, 15 (8): 951-957.

Zheng Jianjing, Liu Wenhui, Sun Guoqiang, et al. Helium isotope of natural gas in stable and sub-stable tectonic basin and their tectonic significance [J]. Progress in Natural Science, 2005, 15 (8): 951-957.

徐永昌. 天然气中氦同位素分布及构造环境 [J]. 地学前缘, 1997, 4 (3-4): 185-190.

Xu Yongchang. Helium isotope distribution of natural gasses and its structural setting [J]. Earth Science Frontiers, 1997, 4 (3-4): 185-190.

王招明, 王清华, 赵孟军, 等. 塔里木盆地和田河气田天然气地球化学特征及成藏过程 [J]. 中国科学 D 辑:

地球科学, 2007, 37 (增刊 II): 69-79.

Wang Zhaoming, Wang Qinghua, Zhao Mengjun, et al. Characteristics, genesis and accumulation history of natural gas in Hetianhe gasfield, Tarim Basin, China [J]. Science in China (Series D: Earth Science), 2007, 37 (supplement II): 69-79.

常兴浩, 宋凯. 巴什托构造石炭系小海子组高氦气藏成藏机理浅析 [J]. 天然气工业, 1997, 17 (2): 18-20.

Chang Xinghao, Song Kai. Analysis of reservoir forming mechanism of high-he pool in the carboniferous of xiaohaizi formation of bashitou structure [J]. Natural Gas Industry, 1997, 17 (2): 18-20.

艾华国, 兰林英. 巴什托普构造石炭系气藏的成藏特征及麦盖提斜坡古生界的含油气性 [J]. 新疆石油地质, 1995, 16 (2): 109-113.

Ai Huaguo, Lan Linying. Reservoir-forming characteristics of the gas-reservoir (carboniferous) in Bashituopu structure and the hydrocarbon potential of Paleozoic in Markit slope [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1995, 16 (2): 109-113.

邓树立. 氦气测量及其在塔里木盆地北部油气勘探中的应用 [J]. 石油勘探与开发, 1995, 22 (5): 30-34.

Deng Shuli. He measurement and its application in oil and gas exploration in northern part of Tarim Basin [J]. Petroleum exploration and development. 1995, 22 (5): 30-34.