

苏北黄桥地区上第三系富氢 天然气成因探讨

杨方之 王金渝 潘庆斌

(华东石油地质局, 南京)

本文对苏北黄桥地区浅层含氢气藏的天然气主要组分进行了成因研究, 指出浅层天然气来自深部和浅部不同气源, 本区有良好的勘探前景。

关键词 苏北黄桥地区 浅层含氢天然气藏 二氧化碳气藏

第一作者简介 杨方之 男 50岁 高级工程师 石油地质

苏北黄桥地区面积近 10^4km^2 , 位于新生代东台坳陷区和苏南隆起区之间, 人们通常称之为“黄桥斜坡带”。就海相中、古生界而言, 则属扬子盆地南京坳陷区(图1)。

区内上第三系盐城组底界埋深400m左右, 直接覆盖在上白垩统浦口组之上。整个陆相中、新生界保存厚度仅1500m, 但下伏海相中、古生界发育齐全, 是整个下扬子区保存最好的地区之一(表1)。

表1 黄桥地区地层简表

地 层 系 统				主 要 岩 性	视厚度
界	系	组	代号		(m)
新 生 界	第四系	东台群	Q _{dn}	杂色粘土层, 砂, 砂砾层	160 180
		上第三系	上盐城组	N _{2y}	灰、灰黄色粘土层, 砂, 砂砾层
	下盐城组		N _{1y}	棕色泥岩、砂, 砂砾层	60 100
	中 生 界	白垩系	浦口组	K _{2p}	红色砂泥岩, 底部砂砾岩
三叠系		青龙群	T _{1-2qn}	块状灰岩, 薄层泥岩	300 1100
前 中 生 界	二叠系—震旦系	大隆组—灯影组	P _z	以结晶灰岩、云质灰岩、白云岩为主, 中上部为泥页岩、砂岩	4000 5000

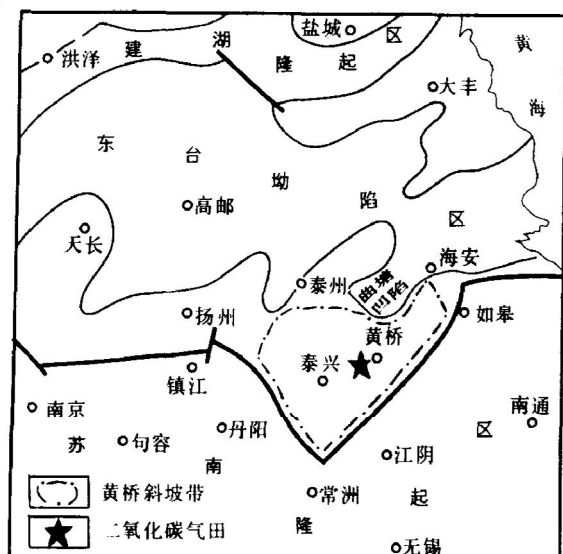


图1 苏北新生代盆地构造区划略图

我局开展二轮油气普查过程中，在该区海相地层中发现了一个大型二氧化碳气田，紧接着又在二氧化碳气田上方发现了上第三系浅层富氮天然气藏。从总体上看，深、浅层油气圈闭呈多层次“宝塔式”结构，塔基为海相中、古生界二氧化碳气田，塔顶为上第三系浅层气藏（图 2）。

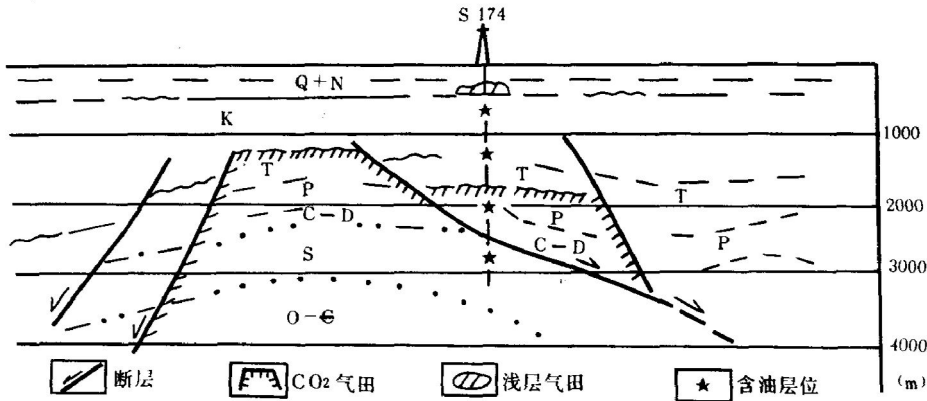


图 2 地震地质解释剖面

一、深、浅层天然气组分和种类

横桥地区深、浅层天然气组分见表 2。

深层二氧化碳气田的气体中，CO₂ 含量在 90% 以上（有的高达 99%），烃类气体和 N₂ 等非烃类气体较少。气体类型属高纯度 CO₂ 型。

浅层气藏气体组分较复杂。

表 2 黄桥地区天然气组分

井号	层位	井段 (m)	气 体 成 分 (%)												气田 (藏)
			C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	N ₂	CO ₂	He	H ₂	Ar	
102	N _{1y} ²	371.2—376.2	27.73	1.52	0.78	0.33	0.44	0.10	0.08	57.12	10.29	1.206		0.41	浅层
104		371.6—377.0	19.54	1.00	0.58	0.27	0.35	0.10	0.07	63.67	13.23	1.05		0.14	
114		376.3—377.0	28.34	1.31	0.60	0.27	0.31	0.07	0.04	63.00	4.67	1.34		0.45	
101		377.6—378.6	26.86	1.20	0.73	0.38	0.55	0.46	0.44	61.15	7.74	0.48			
N-9	T _{1q}	1324.8—1336.5	0.33	0.012	0.004	0.001	0.002	0.002	0.001	1.28	98.36	0.005	0.015		深层
W-1	P _{1q}	1833.0—1880.2	0.51	0.027	0.011	0.019	0.055	0.065	0.075	2.97	96.26		0.008		
S-174	D _{3w}	2251.5—2298.3	1.592	1.327	0.059	0.02	0.036	0.03	0.03	6.48	90.28	0.035	0.002	0.103	

N₂ 占 57.12—63.67%；CO₂ 含量低，仅 4.67—13.23%。平均 10% 左右；烃类气体含量高达 21.91—30.95%，平均 30% 左右；富含 He，含量为 0.48—1.34%。气体类型属富氮高氮型。He 含量比工业品位高出一个数量级，大大高于我国四川威远气田天然气中 He 含量（0.2—0.3%）。

深、浅层天然气类型不同，气体组成差别很大，但都含有 CO₂、N₂、烃类和氮等气体，并

伴有轻质油、凝析油。结合考虑本区的“宝塔式”油气地质分布,可知它们之间在成因上既有联系,又有差别。因此,探讨上第三系富氮天然气成因,必须从深、浅层天然气特征分析和对比入手。

二、气体成因分析

为了研究本区浅层富氮天然气成因,我们从钻遇深、浅层气藏的代表井中采集了油气样,对甲烷、二氧化碳、氢、氮和轻质原油(或凝析油)等进行了稳定同位素分析,获得了一批重要数据(表3)。比较气体组分特征和同位素资料,结合地质分析,我们对浅层气成因得出了如下几点认识。

表3 黄桥地区天然气、原油同位素分析数据

井号	层位	井段 (m)	天 然 气				原油 R/R _a *	原 油 $\delta^{13}\text{C}$ (‰)
			甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	二氧化碳 $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	甲烷 δD (‰)	$^3\text{He}/^4\text{He}$		
101	N _{1y} ²	377.6—378.6						-26.72
102	N _{1y} ²	371.2—376.2	-39.17至-40.13	-8.09至-10.62	-192.10至-236.3	4.89×10^{-6}	3.47	
114	N _{1y} ²	376.6—377.4	-40.27		-199.80	3.71×10^{-6}	2.63	
N-6	T ₁	1284	-39.71至-40.10	-3.08至-3.57				
N-5	T ₁	2251.4—2372						-28.25
Y-1	P ₁	1833—1880.2	-41.70	-3.42至-4.73	-254.69	4.90×10^{-6}	3.48	-27.75
	C ₃₊₂	2026.2—2121.0						-27.52
S-174	P ₁	1859.4—1866.4		-2.87至-3.72				
	D ₃	2251.5—2298.3	-29.61至-31.33	-2.75至-4.06		5.54×10^{-6}	3.92	-27.48至-27.94
	S ₃	2348.5—2352.5						-27.44
	S ₂	2613.0—2643.0	-37.64至-39.56	-5.14至-5.88				-26.91至-27.77

* R/R_a为研究样 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 与大气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 之比值

1. 深、浅层烃类气体及原油同源,均由海相中、古生界有机质热解生成,浅层烃类来自深层

深、浅层烃类气体均为湿气,常伴随有轻质油和凝析油。浅层 $\text{C}_1/(\text{C}_2+\text{C}_3+\text{C}_4)$ 值为 9.23—11.35, 平均 10 左右。深层 C_2^+ 重烃含量更高, $\text{C}_1/(\text{C}_2+\text{C}_3+\text{C}_4)$ 值仅 1.1—4.6, 平均 2.8。甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 浅层为 -39.17 至 -40.27‰, 深部除泥盆系气藏外, 为 -37.64 至 -41.70‰, 二者十分接近。把上述数据表示在曾观远等的 $\text{C}_1/(\text{C}_2+\text{C}_3+\text{C}_4)$ 和甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ 关系图上, 本区深、浅层气体均落在图左下角的热解气区内(图3)。由于本区生油气层系主要为海相中、古生界, 可知浅层烃类气体来自深层。

Schoell (1980) 根据世界上 150 个各种成因的天然气样, 研究了不同成因甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ 和 δD 的相关性, 应用 δD -甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ 图解(图4), 划分出两种形成环境的生物成因气(B), 生物成因与热解成因混合气(M), 和与石油伴生的热降解气或非伴生的热裂解气(T)三大类。本区深、浅层气甲烷 δD 资料较少, 但数据点均落在 T 区内, 说明深浅层气属于同源的热解气。

此外, 本区的深、浅层原油成熟度和 $\delta^{13}\text{C}$ 资料, 也反映了同源特征, 浅层凝析油来自深部。

2. 深、浅层 CO_2 不同源, 前者主要是海相碳酸盐岩分解产物, 后者可能由有机质热解生

成

关于黄桥地区 CO_2 的成因,众说纷云,大多数作者认为以无机成因为主,笔者也同意这种论点,其主要依据是:(1) 气体 CO_2 含量高达 90% 以上,有的层位甚至可达 98—99%;(2) 邻区有航磁异常,钻探证实主要为中酸性和基性岩引起,而岩浆活动是无机生成 CO_2 的基础;(3) 本区深大断裂发育(图 2),为深部或邻区生成的 CO_2 提供了运移通道;(4) 二氧化碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 -2.75 至 -5.88‰ 之间,与国内外近代岩浆岩成因二氧化碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (0 至 -7‰)、海相灰岩分解成因二氧化碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (-2‰ 至 $+2\text{‰}$) 一致。

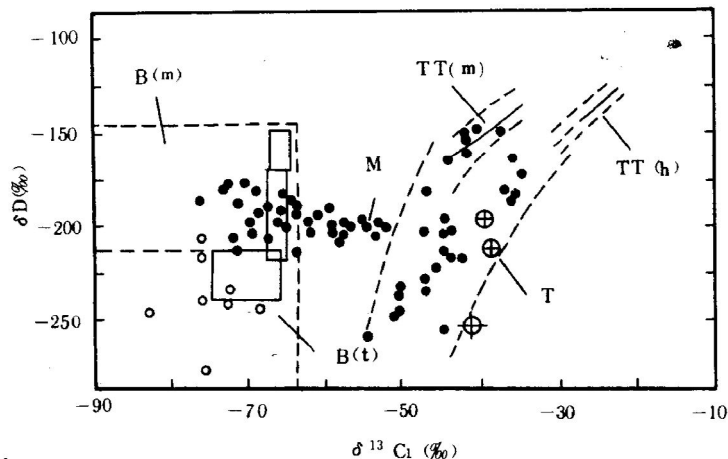


图 4 天然气的甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ — δD 关系及成因类型划分

(据 Schoell, 1980)

B (m) —生物气 (海相), B (t) —生物气 (陆相), M—混合气,

T—热解气, TT (m) —腐泥型母质, TT (h) —腐殖型母质

R (Ar) 值 [$R(\text{Ar}) = (\text{Ar 含量} \times 100) / (\text{N}_2 \text{ 含量} \times 1.19)$] 均小于 1, 在 0.2 至 0.6 之间。据此,笔者认为,本区 N_2 并非来自大气,而是通过有机质的热降解和岩浆活动等途径生成的。本区 N_2 与 He 共生,二者呈正相关关系。 N_2 分子和二氧化碳分子相比,直径较小,重量较轻,化学惰性较强,运移速度较快,因而更易在浅层中富集下来。

4. 深、浅层 He 主要为放射性元素产物,不同源

He 成因探讨是本文的重点。天然气中的 He 主要有两种:一种是原生 He,来自太空和地球深部(地核和地幔);另一种为次生 He,主要由地壳岩石中放射性物质衰变生成。

He 的成因可用 R 值 ($^3\text{He}/^4\text{He}$) 和 Ra 值 (大气 $^3\text{He}/^4\text{He} = 1.41 \times 10^{-6}$) 之比进行分析。黄桥地区浅层 He 的 R 值为 3.71×10^{-6} 至 4.89×10^{-6} , 深层 He 的 R 值为 4.90×10^{-6} 至 5.54×10^{-6} , 只相当于 Ra 值的 3—4 倍。

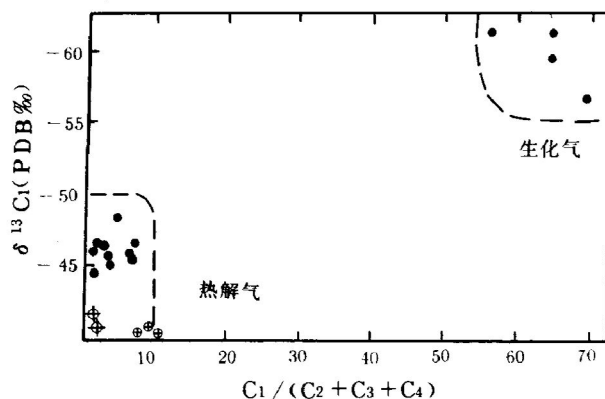


图 3 天然气甲烷 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\text{C}_1 / (\text{C}_2 + \text{C}_3 + \text{C}_4)$

关系及成因类型划分

(据曾观远等, 1988)

浅层气二氧化碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -8.09 至 -10.62‰ , 明显比深层轻, 呈现有机质氧化成因特征 ($< -10\text{‰}$)。但浅层 CO_2 中有无机成因的深层 CO_2 混入。

总之笔者认为,深、浅层 CO_2 不同源,但浅层 CO_2 气混有深层 CO_2 气。

3. 深、浅层 N_2 同源,属非大气成因的混合型成因类型

关于 N_2 气成因,一般有以下几种意见:大气成因,有机成因和无机(岩浆)成因。本区浅层气中 N_2 含量高达 60% 左右,深层气也达到百分之几。本区深、浅层天然气的

世界上的 He 资源主要来自天然气。据 И. В. 维索斯基统计, 世界上绝大多数天然气藏, 其气体中 He 的含量一般在 50ppm 以上。本区深层 CO₂ 气藏中的气体, He 含量为 50—350ppm, 属正常范围。

本区浅层富 He 气藏底板存在一层高自然伽马砂层。自然伽马值异常是陆源碎屑中富集了含铀和钍的锆石所致 (图 5)。该层锆石含量是其他层位的几倍。

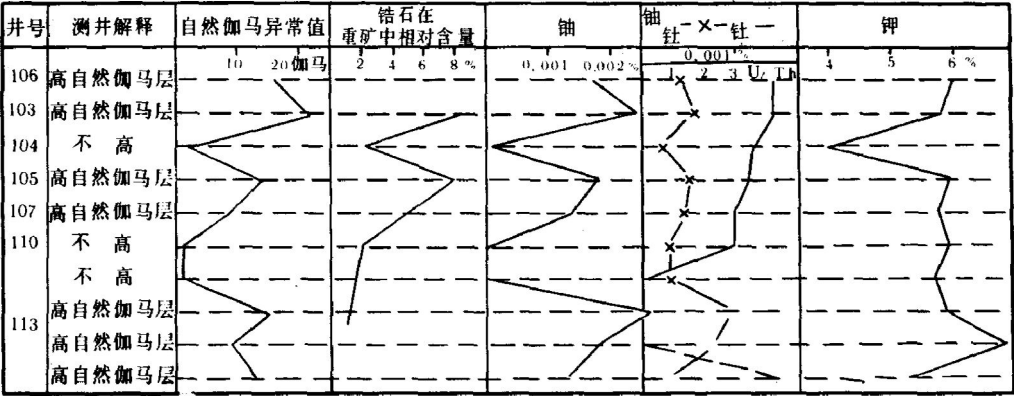


图 5 黄桥地区下盐城组中段高自然伽马层

该高自然伽马层, 视厚度为 2.0—6.6 m (平均 4.46 m), 岩性为浅灰—棕灰色粉细砂—中细砂 (未成岩, 含黄铁矿结核, 有机碳含量达 0.18—0.57%。为了了解该层中铀、钍和放射性钾的含量, 我们采集了 5 口钻井高自然伽马层及邻井对应层位 (呈低自然伽马值) 的岩心样, 请中国科学院兰州地质研究所作了能谱分析, 结果见表 4 和图 5。高自然伽马层铀平均含量为 0.00187%, 钍平均含量为 0.00118%, ⁴⁰钾平均含量为 5.89%, 铀/钍达 1.58。铀高出邻井同一层位和本井高自然伽马层顶板砂层的 1 倍多, 为正常沉积岩的 5—10 倍以上。与地壳中铀、钍、⁴⁰钾丰度 (铀为 0.00017—0.0004%, 钍为 0.00058—0.00115%, ⁴⁰钾为 1.7—2.82%) 比较, 也有同样差别。可见富 He 气藏底板高自然伽马层富含放射性物质铀、钍等, 是 He 富集的主要原因*。

表 4 陆相盆地和本区沉积物中铀、钍、钾分布特征对比表

岩 性	样品数	U (%)	Th (%)	⁴⁰ K (%)	U/Th
泥质岩	116	0.00037	0.00143	1.95	0.26
粉砂岩	10	0.00035	0.00062	1.05	0.56
砂岩	8	0.00015	0.00017	1.35	0.88
高自然伽马砂层 (5 口井)	12	0.00187	0.00118	5.89	1.58
高自然伽马砂层对应层位 (1 口井)	1	0.00080	0.00120	3.90	0.67
高自然伽马砂层对应层位 (1 口井)	2	0.00090	0.00100	5.89	0.90
高自然伽马砂层顶板砂层 (1 口井)	1	0.00090	0.00096	5.71	0.94

此外, 本区海相中、古生界的大隆组、龙潭组、孤峰组等, 也有类似的高自然伽马层或

* 有人认为, 由于 R/Ra 值较大, 本区氦气更可能来自地幔——编者。

铀、钍富集层位, 它们生成的 He 也可向上运移富集。R. Ogers 等认为, 一吨铀每年可生成约 1 立方英尺的 He。本区富 He 气藏高自然伽马层平均厚度为 4.46 m, 每 km² 含铀 170.98 t, 可年产 4.84 m³ He。在中新世以来的 20Ma 已生成 He 近 1 亿 m³。因此本区浅层 He 可能主要是放射性元素生成的, He 的富集是特定的地质条件决定的。

三、结 束 语

几年来, 油气勘探实践证实苏北黄桥地区是一个油气富集带, 有着良好的储集油气的地质构造条件。本区发现了一个大型的 CO₂ 气田, 发现了多层位的油气显示, 并在许多层位获得了油气流。特别是在上第三系发现了浅层富含 He 的天然气资源, 更有其深远的经济意义。本区深浅层油气呈“宝塔式”分布, 说明它们之间有共生联系。烃类气体来自海相中、古生界, 常与轻质原油、凝析油伴生。二氧化碳气主要来自深部海相灰岩, 其次来自浅层有机物的氧化。氮气主要是深、浅层有机物的热降解和放射性作用释放的产物。氮气属于深浅层放射性成因类型。

本文分析数据主要来自我局地质研究大队, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 包茨主编, 天然气地质学, 科学出版社, 1988。
- [2] 曾观远、唐忠驭, 石油与天然气地质, 1988, 9 (4)。
- [3] 陈荣书、袁炳存, 天然气地质学, 武汉地质学院出版社, 1986。
- [4] H. B. 维索茨基, 天然气地质学, 石油工业出版社, 1986。

DISCUSSION ON ORIGIN OF UPPER NEOGENE HELIUM-RICH GASES IN HUANGQIAO, NORTH JIANGSU

Yang Fangzhi Wang jinyu Pan Qingbin

(Huadong Bureau of Petroleum Geology, Nanjing)

Abstract

The study on origin of Helium-rich natural gases in Upper Neogene shallow layer pools in Huangqiao Region, North Jiangsu shows that the hydrocarbon and CO₂ came from deep stata, N₂ was originated from the thermodegradation of organic matter and radioactive materials in the deep and shallow beds, and He was mainly of radio-active origin.