

广东三水盆地烃与非烃气体的成因

曾观运 唐忠驭

(地质矿产部第十二石油普查勘探大队)

主要根据气体组分和同位素资料,本文讨论了三水盆地烃气和 CO_2 、 N_2 、He等非烃气体的成因。 CO_2 主要来自地球深处, N_2 由生物化学作用生成,He为放射性元素蜕变产物,烃气有生化烃与热解烃两类。

三水盆地是广东中部诸小型白垩—第三纪盆地中的一个,居珠江三角洲西北部,面积约3300 km²(图1)。

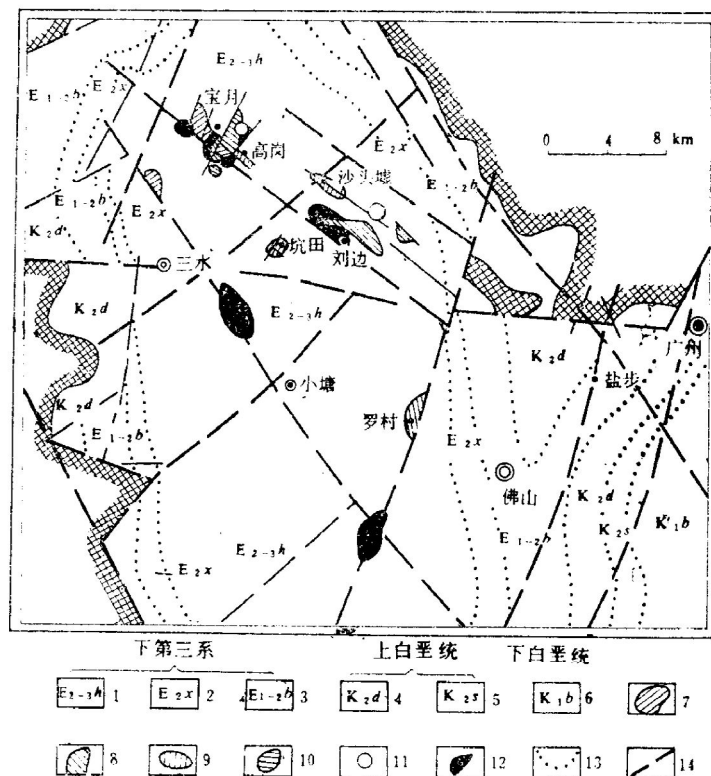


图1 三水盆地天然气分布图

1—华涌组, 2—西埗组, 3—埗心组, 4—大塍山组, 5—三水组, 6—白鹤洞组, 7—烃类干气藏, 8—烃类湿气藏, 9— CO_2 气藏, 10—He高含量分布区, 11—氮气井, 12—第四纪火山岩发育区, 13—地层界线, 14—断裂

盆地地质情况较为复杂,其周边受北东向和北西向断裂控制,中部有一东西向断裂,盆地呈长轴近南北向的似菱形^[1]。盆地边缘除东南部分布震旦系外,其余地区广泛出露古生界和上三叠统。盆地内白垩—下第三系主要为一套砂泥岩,沉积中心变迁转移

现象显著。盆地盖层构造格局为受基底断裂系统控制的网状断裂构造,大小网格相截,甚为复杂^[2]。火山活动亦异常频繁,早第三纪有13次火山活动,总计发生100次以上的喷发^[3]。在错综复杂的地质作用下,形成了多种有用矿产。现已发现两个油田和数个不同种类的天然气藏或异常区,而天然气的分布、成藏规律及地球化学特征,互不相同,充分反映其成因的多样性^[4,5]。

一、气体的种类与分布

盆地内富集成藏的天然气分布如图1。按气体组分,可将天然气划为如下几种:

1. 烃类干气

这类气体集中分布于盆地北部的宝月构造樟山断块和驿岗单斜上的流溪断块,含气层位为下第三系埤心组三段,属砂岩孔隙型气层,气层埋深680—882m。 CH_4 含量达83.88—97.65%,绝大部分在90%以上; C_2H_6 含量一般小于5%,多数2%左右; N_2 3—5%; CO_2 小于2%; H_2 、He、Ar微量。

2. 低含二氧化碳烃类湿气

分布于宝月构造三水农场断块和大榄隆起刘边等断块,一般以气顶或溶解气形式伴存于油藏内。含油气层位主要为 $\text{E}_{1-2}b^3$,部分见于 $\text{E}_{1-2}b^2$ 和 $\text{T}_3\text{—J}_1$ 。油气层有砂岩孔隙—裂隙型和灰岩、泥岩裂隙型两种,埋深960—1603m。 CH_4 占50—80%,多数在65%左右。 C_2H_6 含量为10—41%,一般25%。 N_2 含量变化在2%至20%之间,多数为8—12%。 CO_2 含量变化较大,由微量至18%,含量高于10%时往往集中分布。 H_2 、Ar微量。He含量一般为万分之几,但在三水农场断块南部可高达4.76%。

3. 纯二氧化碳气

高浓度二氧化碳气体有多处发现,分布于大榄隆起沙头墟断块、佛山隆起西侧罗村断块及坑田火山穿刺背斜上,储集于灰岩、砂岩、火山岩的溶孔(洞)和构造裂隙内,气层埋深102—1733m。 CO_2 占98.68—99.55%,烃类小于0.2%, N_2 0.23—1.09%,He 0.0048—0.03%, H_2 、Ar等微量。

4. 含烃二氧化碳气

分布于宝月构造东侧的高岗断块,含气层位 $\text{E}_{1-2}b^3$,属砂岩孔隙型气层,埋深1161—1177m, CO_2 占84.55%, CH_4 占11.07%, C_2H_6 占2.08%, N_2 占2.06%,He占0.1%,其他气体极少。

5. 含烃氮气

分布于宝月构造高岗北断块和大榄隆起唐边北断块上,储集于灰岩裂隙和砂岩孔隙内,含气层位 $\text{E}_{1-2}b^3$,埋深901—1298m, N_2 58.75—86.41%, CH_4 2.75—21.44%, C_2H_6 1—10%, CO_2 0.34—6.26%,He 0.057%, H_2 4%,Ar 0.46—2.8%。

6. 氦气

宝月构造三水农场断块南半部发现He异常(>1%),He伴存于含二氧化碳烃类湿气藏中,含量1.1—4.76%,均值3.5%。

二、气体成因分析

三水盆地多年来对烃和非烃气体的大量样品进行C、H、O、N同位素分析，获得了一批重要数据（表1）。作者根据这些数据以及前述各种气体的赋存状态和化合物组成等，将气体成因归纳为下列5种：

表1 三水盆地各类气体与岩石同位素成果表

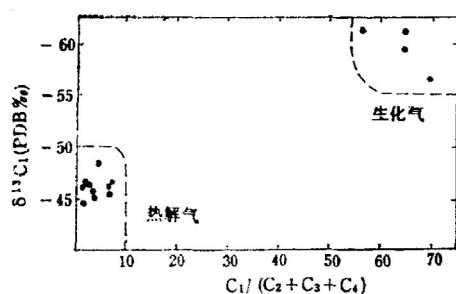
样品位置	层位	样品名称	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	δD (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
水深9、水深24井 罗村民井	E_{1-2b} E_{2-3h}	纯二氧化碳气	$\frac{-7.7 \text{至} -0.4}{-4.83}$	—	$\frac{-5.40 \text{至} -2.16}{-3.07}$	—
水深44井	E_{1-2b}	含烃二氧化碳气	$\frac{-9.59 \text{至} -8.89}{-9.24}$	—	$\frac{-2.21}{-2.21}$	—
宝1、宝7井	E_{1-2b}	烃类干气	$\frac{-61.03 \text{至} -55.6}{-59.67}$	$\frac{-235.9 \text{至} -174.1}{-205}$	$\frac{-4.08}{-4.08}$	$\frac{-2.80}{-2.50}$
水深17、水深3、 水基1等井	E_{1-2b}	烃类湿气	$\frac{-46.61 \text{至} -44.64}{-45.57}$	$\frac{-237 \text{至} -186.96}{215.86}$	$\frac{-10.42 \text{至} -5.02}{-7.67}$	$\frac{-57.7 \text{至} +32.2}{-15.79}$
水深13、水深21 水深43等井	E_{1-2b}	气(油)源岩	$\frac{-29.1 \text{至} -25.45}{-26.87}$	—	—	—
水深11、水深12、 水深17等井	E_{1-2b}	原油	$\frac{-29.95 \text{至} -26.1}{-28.48}$	—	—	—
官窑文岗	T_3	煤	$\frac{-21.9}{-21.9}$	—	—	—
水深9、水深21、 水深42等井	E_{1-2b}	灰岩	$\frac{-3.42 \text{至} +1.39}{-2.17}$	—	—	—
水深28井	P、C	灰岩	$\frac{+3.59 \text{至} +5.49}{+4.54}$	—	—	—
水深24、水15井 王借山等	E、 T_3	火山岩	$\frac{-20.8 \text{至} +1.7}{-4.84}$	—	—	—

分子为区间值，分母为平均值

1. 低温浅成生化成因

沉积物中有机质在厌氧细菌作用下可产生甲烷等气体，尤其是当沉积物埋藏于一定深度而处于完全封闭的缺氧环境下，能形成大量生化甲烷气^[6]。三水盆地地心组二、三段为浅至次深湖沉积，有机物质较丰，盆地发展过程有利于生化成气作用进行，也有富集储存的条件（如樟山和流溪断块所发现的烃类干气藏，气体储存于受封隔的单体砂岩和构造又较完整的高断块上）。气藏有埋藏浅、甲烷含量高、重烃和非烃气体含量低的特点。

生化成因气体的碳、氢、氧、氮同位素特征明显，分析结果： $\delta^{13}\text{C}_1$ 均值 -59.67‰ ， $\delta^{13}\text{C}_2$ — 33.88‰ ， $\delta^{13}\text{C}_3$ — 19.89‰ ， $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ — 11.85‰ ， δD — 174.1 至 -235.9‰ ， $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2}$ — 4.08‰ ， $\delta^{15}\text{N}$ — 2.5‰ 。这些数值与国内外生物成因数据相吻合。若将干、湿气的

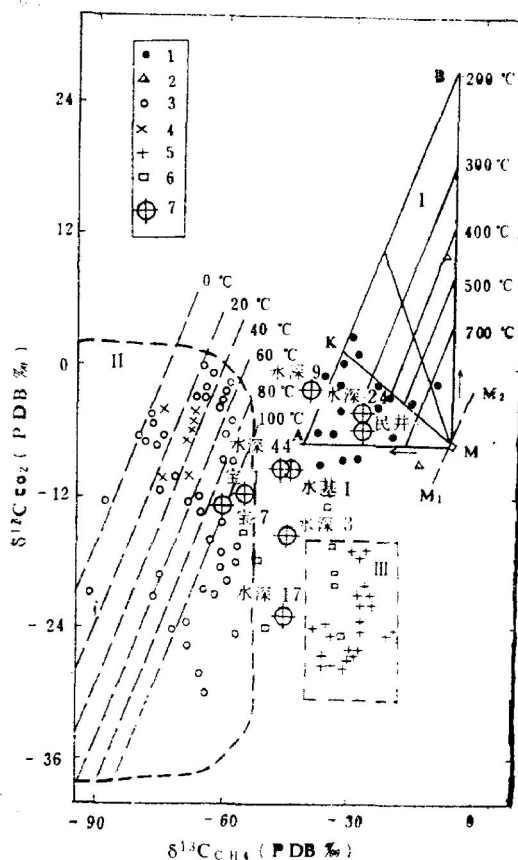
图2 C_1/C_{2-4} 与 $\delta^{13}C_1$ 的关系

气体组成比值与 $\delta^{13}C_1$ 数值编制成图2, 生化成因干气集中于图的右上角, 热解成因湿气集中于图的左下角, 泾渭分明。大量数据统计表明, 生物成因甲烷的 $\delta^{13}C$ 为 -55% 至 -92% , 二氧化碳的 $\delta^{13}C$ 为 -36% 至 1% 。把采自樟山断块干气藏中的宝1和宝7井样品投在 CH_4 - CO_2 气体成因模型图(图3)上, 明显反映气体属生化成因。一般认为生化甲烷的 δD 值在 -180% 至 -120% 范围内, 三水盆地烃类干气 δD 值虽然偏轻, 但比湿气 δD 值重 10% 。鉴于上述情况, 我们认为宝月构造樟山断块和驿岗单斜流溪断块的气藏气属沉积早期经生化成气作用生成的干气; 用气体密度差异聚集解释宝月地区气体的不同分布状态, 显然欠妥。

2. 有机质热解成因

有机质受热降解, 可生成大量石油和天然气, 据研究, 这种热成气的组分虽因母质类型和热演变史的不同而有变化, 但总是显示湿气的特点, 重烃组分含量高。三水盆地坳心组油(气)源岩有机质较丰, 均值在 1% 以上; OEP、 R_o 等指标表明, 有机质已进入成熟至高成熟阶段。所生成的液态烃和气态烃聚集于三水农场断块和刘边等断块上, 气体为低含二氧化碳的湿气, 其重烃组分含量可比生化成因气高20倍。甲烷 $\delta^{13}C$ 值变化在 -44% 至 -46% 之间, 均值 -45% , 较生化成因气 $\delta^{13}C_1$ 均值 -59% 重得多。 δD 值也较生化气偏负, 为 -187% 至 -237% , 且D含量随湿度升高而有下降趋势。Schoell (1980)根据几百个天然气样品的 $\delta^{13}C$ 和 δD , 区分了天然气不同成因。若与他推测的气体成因模式比较, 三水盆地水深17等井气体为热解成因石油伴生湿气。

在热解成因气体组分中, CO_2 、 N_2 等非烃气体含量要比生化成因气高, 它们似非单一来源。宝月油气田三水农场断块北部及西侧气体中 CO_2 含量与刘边油田水深16、水基1等井均低于 3% , 而南半部 CO_2 含量达 9.2% — 16.3% , 相差数倍。更为重要的是碳同

图3 天然气 CH_4 - CO_2 体系成因图解

I—内生气区, II—生物成因区, III—有机质热解成因区, 1—热液系统, 2—火成矿物包体, 3—现代沉积, 4—日本气田, 5—有机热解, 6—煤及矿井气, 7—三水盆地气井

位素有明显差异,北部水深17井CO₂的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-23.12‰,南部水深3井CO₂的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-14.71‰,说明北部的少量CO₂属有机质热解成因的同生组分,南部的CO₂主要为与火山作用有关的异生组分(因为南部正处于第Ⅳ喷发期火山岩发育区,图4)。

3. 生物氮成因

地壳浅部氮气来源有大气、生物体分解、含氮化合物分解、区域动力变质和地壳深部等。三水盆地热解成因的石油伴生气中氮含量普遍较高,我们认为这些氮气属生物氮,与热成烃类气体同源共生。因为:(1)按空气中N₂、O₂、Ar含量比例,可引出关系式 $R(\text{Ar}) = \text{Ar} \times 100 / \text{N}_2 \times 1.19$ 和 $R(\text{O}_2) = \text{O}_2 \times 100 / \text{N}_2 \times 26.82$;当比值小于1时,N₂应为非大气成因。据三水盆地数口井气样N₂、Ar、O₂含量比例计算,比值R(Ar)、R(O₂)大多数小于1,显然是非大气来源。(2)尽管氮气化学性质很不活泼,可在天然气体中以不同含量存在,然而三水盆地天然气中烃类气体含量与N₂含量成有规律消长关系,说明两者有关。对8口井气样进行 $\delta^{15}\text{N}$ 测定(表2),目前尚找不出数据点分布规律,有两个原因:其一是样品数量偏少,而且各种因素造成的误差引起了混乱(或许是由于两种以上成因不同的氮气混聚在一起,受同位素交换平衡作用影响);其二是未获得多种类型气体 $\delta^{15}\text{N}$ 数值,无法进行对比。水深33井含烃的氮气藏,据气层特征、气体组成及气藏呈孤立分布情形,应为生化成因氮气藏,来自气藏范围内的富脂类生物软泥。推测其 $\delta^{15}\text{N}$ 与热成气生物氮同位素有差异。

表2 烃类气体中N₂含量与 $\delta^{15}\text{N}$ 等分析结果表

样品井号	R(Ar)或R(O ₂)	N ₂ (%)	CO ₂ (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}_1$ (‰)	气体种类
水深11	1.19	9.45	10.01	-57.7	-45.08	烃类湿气
南20	0	8.27	0.83	-40.8	-45.88	烃类湿气
水基1	—	2.38	0.61	-33.7	-45.80	烃类湿气
宝7	0.67	5.35	微	-2.5	-61.02	烃类干气
水深3	0.50	10.59	9.04	-1.6	-45.54	烃类湿气
水深12	—	14.49	1.79	+6.84	-46.13	烃类湿气
南18	1.29	2.96	15.61	+32.2	-46.44	烃类湿气
水深40	0.05	5.68	17.48	+95.11	—	烃类湿气

4. 深源成因

三水盆地纯二氧化碳气藏和含烃二氧化碳气藏属深源气,与火山岩浆活动密切相关,但一些气藏在聚积过程中尚有其他成因的CO₂气和烃气混入。

(1) 单纯深源气藏

气藏单纯由深源气体在断裂活动和火山喷溢过程中聚集于构造圈闭内形成。如盆地中部坑田火山穿刺背斜水深24井气藏和罗村断块浅层气藏。气体中CO₂纯度高,酸烷比达535,气体碳同位素和气井中的或附近地表的火山岩碳同位素之间有很好的对应关系(如水深24井CO₂的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-5.6‰,流纹岩 $\delta^{13}\text{C}$ 为-5.2‰;罗村民井CO₂的 $\delta^{13}\text{C}$ 为-6.2‰,玄武岩 $\delta^{13}\text{C}$ 为-10.4‰)。此外,图3也表明,水深24井和罗村民井CO₂气体可能为深源气体。

(2) 单成分混杂聚集气藏

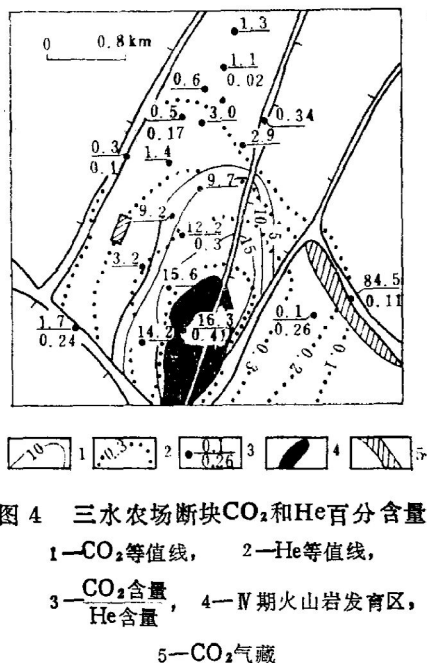
大槐隆起沙头墟断块上的水深 9 井气藏, 气体赋存于一北西向断裂鼻状构造内, 储气空间为与断裂有关的 $E_{1-2}b$ 灰岩溶洞、溶孔(缝)、羽裂隙及断裂下部的不整合面。气体成分很纯, CO_2 占 99.55%, 酸烷比 513, CO_2 的 $\delta^{13}C$ 值为 -2.62‰ , 较储气层灰岩的 $\delta^{13}C$ 值 ($+1.39\text{‰}$) 明显偏轻, 与盆地火山岩 $\delta^{13}C$ 均值 (-4.84‰) 较接近。 CO_2 气除主要来自深部, 还有他种成因的 CO_2 混杂 (他种成因的 CO_2 气可能是灰岩溶洞形成过程中释放出来的 CO_2)。

(3) 双成分异生叠聚气藏

高岗断块水深44井的含烃二氧化碳气藏, 气体成分主要为 CO_2 , 次为烃类气体。从 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(-9.24‰ , 与水深24井和罗村民井 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值相近)以及这一地区的地质特征分析, CO_2 应为深源气。烃类气体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -47.4‰ , 与三水农场断块湿气藏几乎一致, 且烃类气体中含一定数量的重烃组分, 故烃类气体属有机质热解成因无疑。

5. 放射性成因

三水盆地天然气体组分中，除常见气体外，还有He、Ar、Rn等稀有气体。其中He在一些地段已发生富集，如前述三水农场气藏中，南部有块含He异常区(图4)，He含量高出其他气藏达两个数量级。水深24井和罗村民井深源成因二氧化碳气藏内，He含量并不高，这说明油气藏内高含量He并非直接来自火山喷发。盆地内已发现岩浆(火山)热液型铀矿床或矿化。He含量最高的水深13井，其附近是第Ⅳ期火山喷发的一个活动中心，有巨厚的玄武岩和火山碎屑岩，邻井有放射性异常。因此He来源于放射性元素U、Th极为可能。但是否唯一来源，有待进一步研究。



参 考 文 献

- [1] 陈健荣, 1981, 石油地质文集—1, 地质出版社。
[2] 唐忠取, 1986, 中国数学地质—1, 地质出版社。
[3] 唐忠取, 1984, 石油与天然气地质, 第5卷, 第2期。
[4] 唐忠取, 1980, 石油实验地质, 第3期。
[5] 熊寿生等, 1984, 石油实验地质, 第6卷, 第3期。
[6] 张义纲, 1983, 石油与天然气地质, 第4卷, 第5期。

ORIGIN OF HYDROCARBON AND NONHYDROCARBON GASES IN SANSHUI BASIN, GUANGDONG

Zeng Guanyun Tang Zhongyu

(12th Petroleum Prospecting and Exploration Brigade,
Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

Based on chemical composition and stable carbon isotope data, this paper discusses the origin of CO_2 , N_2 , He and gaseous hydrocarbon in SanShui Basin, Guangdong Province. The CO_2 mainly comes from deep-earth, N_2 is the product of biochemical process and He is the product of the decay of radioelement. Gaseous hydrocarbon includes biochemical methane and thermodegradation hydrocarbon gas.

塔北一批探井试获高产油气流

地质矿产部西北石油地质局在塔北沙雅隆起施工的一批探井, 最近相继试获高产油气流。这些不同地域、不同构造的新发现, 再次显示了沙雅隆起巨大的油气潜力; 而中生界油层的发现, 则是塔北找油的又一重大突破。

位于轮台县西55—60 km的沙4、沙7两井, 是继沙参2井之后在雅克拉构造上打的两口探井。沙4井发现的新产层是侏罗系, 日产天然气265400 m^3 , 原油140 m^3 ; 沙7井的产层深5367 m, 也是侏罗系砂岩, 日产原油100多立方米, 天然气5万多立方米, 油质好且基本无水。同一构造西端的沙5井, 于中生界试获大油气流, 日产原油500 m^3 , 天然气 $3 \times 10^6 \text{m}^3$, 从而进一步证实雅克拉是一个面积大、储量可观的油气田。

位于轮台县南40 km的沙14井, 座落在阿克库勒构造之上, 该井5289—5380 m含油段为奥陶纪灰岩, 初喷日产原油190 m^3 , 天然气10000 m^3 。据岩心观察, 储集空间类型为缝合线, 张裂隙及晶间溶蚀孔。

这些探井试油的经验表明, 在探井施工中, 一要注意平衡钻井, 不宜使用比重太大的泥浆, 防止油层污染; 二要注意气测异常, 因为在5000 m深度以下高压高温状态下的原油呈气态保存的可能性极大; 三是在寻找古生界油气藏的同时, 不能忽视对中生界油气藏的勘探。

(党仁珊)