

# 塔里木盆地北部天然气成因类型研究<sup>①</sup>

钱志浩 陈正辅

(地质矿产部石油地质中心实验室, 无锡 214151)

作者综合利用天然气碳同位素、 $C_2 \sim C_7$  轻烃组成以及化学组成资料, 对塔里木盆地北部天然气的成因类型进行研究, 提出了塔北天然气各种成因类型和成熟度的判别标志。认为塔北天然气主体属高熟腐泥型气, 气源岩主要为寒武—奥陶系。陆相成因的成熟腐殖型气和深源混合气也有发现, 并具有一定的资源前景。

**关键词** 天然气 化学组成 轻烃特征 成因类型 塔里木盆地

**第一作者简介** 钱志浩 男 55岁 高级工程师 分析测试及地球化学

天然气成因类型研究, 国外主要始于70年代天然气碳同位素分析普遍应用以后, 国内主要始于“六五”天然气的国家科技重点攻关项目。

天然气分类方法甚多, 根据国内外近年来的最新研究成果, 天然气主要分为生物成因气、原生热解成因气及无机成因气等几大类。原生热解成因气又可按其母质类型分为腐泥型气(简称腐泥气, 俗称油型气)和腐殖型气(简称腐殖气, 俗称煤型气)。腐泥气和腐殖气均可根据它们生成时有机质的成熟度各分为低熟、成熟和高熟(包括过熟)3种。

新疆塔里木盆地北部, 自1984年沙参2井获高产天然气以来, 已在雅克拉的震旦、寒武、奥陶、侏罗、白垩系, 轮台的下第三系, 阿克库木的三叠系, 阿克库勒的石炭系和沙雅西的奥陶系等都获得工业性天然气流。因此, 正确识别这些天然气, 了解其组成结构特征, 研究它们的成因类型和分布规律, 不仅具有理论意义, 而且更有其实用价值。

## 一、天然气化学组成

天然气烃类气体组成与生气母质类型、成熟程度及运聚、保存条件密切相关, 非烃类气体还与产层时代、成藏环境等有关, 因此, 天然气化学组成能够反映其成因类型。表1和表2为塔里木盆地北部天然气的化学组成表。表1、2表明:

### 1. 雅克拉地区天然气化学组成特征

(1) 甲烷含量分布在80~88%, 重烃气( $C_2^+$ )含量主要分布8~12%, 干燥系数( $C_1/C_2 + C_3$ )10~20, 丁烷的正、异构比值( $iC_4/nC_4$ )比较接近, 多分布于0.45~0.58, 整体显示出高熟油田气的特征。

(2) 下古生界产层有一定的氦含量0.035~0.07%。氦气的成因有两种, 一种是放射性元素铀、钍、钷衰变的产物, 另一种是地核来的原始氦。大型氦气藏常与前寒武系古老地层相

<sup>①</sup> 参加研究工作的还有西北石油地质局罗宏、李庚元、虎北辰等

关联或与原始氮有关,而与石油的形成无必然的成因联系。如我国四川石炭系以上各天然气产层氮含量为  $n \times 10^{-2}$ ,而前寒武系产层的氮含量则高于  $10^{-1}$ 。因此,本区下古生界产出的氮气也可能与寒武系底部放射性矿物的普遍存在有成因关系。

表 1 雅克拉-轮台地区天然气化学组成

地区	井号	产层	化 学 组 成 %										C <sub>2</sub> <sup>+</sup> (%)	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> +C <sub>3</sub>	iC <sub>4</sub> nC <sub>4</sub>
			C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	iC <sub>4</sub>	nC <sub>4</sub>	iC <sub>5</sub>	nC <sub>5</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	He			
雅克拉	S5	K	85.46	5.76	2.19	0.38	0.71	0.21	0.25	3.52	1.51	痕	9.50	10.75	0.54
	S5	J	84.48	7.62	1.99	0.32	0.37	0.44	0.48	3.56			11.22	8.79	0.86
	S7	J	84.84	5.25	2.02	0.42	0.72	0.25	0.30	3.80	2.37	痕	8.96	11.67	0.58
	S4	J	85.26	4.52	1.69	0.37	0.67	0.29	0.33	4.32	2.99	痕	7.87	13.73	0.55
	S5	O	73.05	2.43	0.67	0.07	0.09			7.89	15.62	0.23	3.26	23.56	0.78
	SC2	O	79.42	6.45	2.88	0.57	1.11	0.38	0.43	4.41	3.72	0.07	11.52	8.51	0.51
	S7	G	88.84	5.08	1.89	0.31	0.04	0.24	0.28	2.69	0.23	0.04	8.44	12.75	0.48
	S6	G	82.79	1.38	0.34	0.02	0.03			6.47	9.53	0.34	1.77	48.13	0.67
	S4	Z	85.60	3.71	1.69	0.42	0.93	0.38	0.43	3.43	3.84	0.04	7.56	15.85	0.45
轮台	S3	K <sub>2</sub> ~E	62.50	20.72	8.46	1.72	2.16	0.87	0.73	2.30	0.38		34.60	2.14	0.80
	S3	P <sub>1</sub>	84.19	5.13	0.16					6.23	5.41	0.03	5.29	15.91	
库车	Y464	J	76.21	8.38	5.64	1.26	1.54	0.46	0.48	4.05	2.03		17.76	5.44	0.82

表 2 阿克库木-阿克库勒和沙雅西地区天然气化学组成

地区	井号	产层	化 学 组 成 ( % )										C <sub>2</sub> <sup>+</sup> (%)	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> +C <sub>3</sub>	iC <sub>4</sub> nC <sub>4</sub>
			C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	iC <sub>4</sub>	nC <sub>4</sub>	iC <sub>5</sub>	nC <sub>5</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	He			
阿克库木	S9	J	87.76	2.07	1.03	0.17	0.38	0.14	0.21	7.06			4.00	28.31	0.45
	LN-1	T	77.22	6.35	3.71	2.24		2.06		7.33			14.36	7.38	
	S9	O	83.79	2.28	1.22	0.21	0.45	0.15	0.20	8.48	3.22	痕	4.51	23.90	0.47
阿克库勒	S18	T	86.85	3.22	1.48	0.35	0.68	0.24	0.30	6.40	0.20		5.97	18.48	0.51
	S17	T	91.86	2.56	1.14	0.26	0.45	0.14	0.20	3.10	0.28		4.75	24.83	0.58
	S18	C	84.87	1.25	0.55	0.15	0.52	0.18	0.28	11.00	1.19		2.93	47.15	0.29
	S14	C	94.58	1.69	0.58	0.16	0.26	0.14	0.22	1.65	0.74		3.05	41.67	0.62
	S17	C	92.08	1.40	0.32	0.05	0.12	0.02	0.03	5.54	0.54		1.94	53.53	0.42
	S14	O	95.35	1.71	0.62	0.14	0.22	0.11	0.13	1.16	0.85		2.93	40.92	0.64
沙雅西	S13	N <sub>1</sub> J	79.46	7.76	3.50	0.75	1.54	0.46	0.48	4.05	2.03		14.49	7.05	0.49
	S16	K	82.85	6.60	1.24	0.17	0.40	0.12	0.23	7.06	1.13	0.09	8.76	10.57	0.43
	S13	O	59.23	3.49	1.28	0.20	0.38	0.15	0.15	32.78	4.45	0.94	5.65	12.42	0.53
	S16	O	30.80	1.50	0.51	0.06	0.13	0.03	0.03	66.94			2.26	15.32	0.46

## 2. 轮台地区天然气化学组成特征

轮台沙 3 井下元古界变质岩产层天然气,甲烷 84.19%、乙烷 5.13%,可与雅克拉天然气相比。但乙烷以上烃类含量特低,丙烷仅 0.16%、丁烷及戊烷未检出。该井库姆格列木群(K<sub>2</sub>-E)产层天然气具明显的低甲烷(62.5%),高重烃气(34.66%)、高异构(iC<sub>4</sub>/nC<sub>4</sub> 0.85)及高比重(0.84)的特点,其干燥系数很小,仅 2.07。它的高比重显然与其重烃的高含量有关,而非烃气体无成因联系(N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>含量只有 2.68%)。库姆格列木群天然气组成特征

表明它属于较低成熟度天然气范畴,明显区别于下覆变质岩产层及雅克拉不同产层的天然气。

### 3. 阿克库勒-阿克库木地区天然气化学组成特征

(1)本区古生界奥陶系、石炭—二叠系产层天然气甲烷含量高达94%以上,重烃气分布在2.44~3.05%间,丁烷异构比值沙14井及其以西的较高,达0.60以上,以东的沙17井只有0.45,干燥系数 $C_1/C_2+C_3$ 都大于40,是塔北目前已见天然气成熟度最高的,反映其源于过成熟源岩。奥陶系与石炭系产层虽相距200多m,但气的组成基本无变化,反映它们是同源而分别成藏的产物。

(2)三叠系产层天然气甲烷比本区古生界产层的低,分布在77~87%间,重烃相对比较高,分布在4~14%,丁烷异构比值阿克库勒的比阿克库木的高,前者平均为0.55,后者平均为0.48。干燥系数 $C_1/C_2+C_3$ 普遍比本区古生界产层的小,分布在8~28。

### 4. 沙雅西地区天然气化学组成特征

本区已获油流的沙13井及沙16井,天然气产能均比较低,原因是显而易见的,因为无论沙13井还是沙16井,它们的原油都经历了比较强烈的后生改造,原油的轻质组成已大量损失,而天然气远比原油活跃,保存条件要求更加严格,这样能剩留的就更少了。

沙13和16井不同产层天然气组成(表2)表明:

(1)沙13井中新统吉迪克组 and 沙16井白垩系卡普沙良群天然气甲烷含量平均为81%,重烃气平均含量为11%、干燥系数 $C_1/C_2+C_3$ 为7~10,与雅克拉沙参2井奥陶系及阿克库木轮南1井三叠系产层的天然气可比。

(2)沙13和沙16井奥陶系产层天然气具低甲烷、高氮气和高氦气的特点。甲烷含量稳定分布在59%(13井)和31%(16井),远低于其它所见天然气,而氮气含量分别高达32.78%(沙13井)和66.94%(沙16井),沙13井氦气五次分析结果平均高达0.94%,高出工业品位含量一个数量级,可与苏联科拉半岛超基性岩体中所产天然气相比,后者氮气含量为20~40%,氦气含量为0.6~3.7%。

对油型气来源,氮气是含氮有机化合物热解的产物,含量一般小于3%,如四川从石炭—侏罗系13个产层氮气含量都小于3%,大庆天然气含氮量为2.6%。显然,沙雅西所产天然气中有如此高的氮含量不可能完全来自沉积有机质。另一方面,与雅克拉下古生界产层天然含氮量相比,本区的要高出数百倍,也不可能仅仅来自寒武系底部的放射性物质。因此,认为它们与本区西部相邻的大片火成岩活动有关,混入了大量深部岩浆成因型的氮气与氦气。

## 二、天然气轻烃特征

### 1. 天然气 $C_6\sim C_7$ 轻烃组成

近年来天然气 $C_6\sim C_7$ 轻烃组成的研究进展较快,西德Leythausen(1979)指出,来源于腐泥型母质的天然气的轻烃组成中富含正烷烃,而源于腐殖型母质的天然气的轻烃组成中富含异构烷烃和芳烃。加拿大Snowdon(1982)则认为富含环烷烃的凝析物也是陆源母质的重要特征。我们根据对塔北天然气的研究,认为上述论述是可取的。

由表3数据可见,塔北雅克拉地区沙参2井等4口井震旦、寒武、奥陶和白垩系等产层

天然气  $C_6 \sim C_7$  轻烃组成结构相对一致。如,  $C_6 \sim C_7$  组成中正烷烃平均含量为 37.1%, 异构烷烃分布很接近(44~47%), 平均为 46.2%, 环烷烃平均含量很低, 仅占 16.7%。而其东侧轮台地区沙 3 井库姆格列木群( $K_2 \sim E$ )产层天然气却以富含环烷烃为特征, 其含量高达 35.2%, 比雅克拉地区天然气的环烷烃含量高一倍多, 显示与陆源母质有密切关系。沙雅西地区沙 16 井卡普沙良群( $K_1$ )产层天然气更富含环烷烃(占 45.4%)。成熟度也与库车依矿和轮台沙 3 井天然气相似(见表 3), 落在同一集群内, 反映它也是源于陆相中生界成熟阶段气源岩的天然气。阿克库勒地区沙 14 井奥陶系与沙 18 井三叠系和石炭系产层天然气, 在  $C_6 \sim C_7$  组成中, 正烷烃分布在 40.7~42.3%, 异烷烃分布在 38.7~39.2%, 环烷烃分布在 18.7~20.3% 极窄的范围内, 组成结构极为相似, 这从天然气方面再一次证实它们之间的溯源关系, 即沙 18 井为沙 14 井奥陶系油气藏分异运移的次生油气藏。阿克库勒地区天然气上述轻烃组成结构特征与雅克拉各产层天然气的可比, 具有腐泥型天然气的属性。阿克库勒地区 3 个天然气的轻烃组成结构的较特殊。如沙 9 井奥陶系和三叠系产层天然气的异烷烃特别丰富, 超过  $C_6 \sim C_7$  轻烃组成的一半以上, 分别达到 54.3% 和 51.5%。轮南 3 井三叠系的气, 则是环烷烃含量相对较高。更突出的是其低含量的正烷烃, 如轮南 3 井天然气的  $C_6$  组成中正烷烃仅占 25.9%, 在  $C_6 \sim C_7$  组成中正烷烃更低, 为 24.2%, 都远远低于雅克拉和阿克库勒地区天然气中正烷烃含量大于 37% 的数值。而且它的成熟度相对也较低, 可能属于陆相成因的天然气。

## 2. 天然气 $C_6 \sim C_7$ 单体烃组成特征

现代毛细柱色谱分析技术已能将  $C_6$ 、 $C_7$  理论上存在的 20 多个单体烃从天然气中全部分离鉴别出来, 这为我们研究天然气提供更多的地化信息。经研究、对比和筛选, 国内外, 已开发了异庚烷值  $[I]$  和庚烷值  $[H]$  (Thompson, 1983), 以及甲基环己烷  $[MCH]$ 、环烷指数 I  $[CA_1]$  和环烷指数 II  $[CA_2]$  (胡惕麟等, 1990) 等有机质母质类型和演化程度判别的指标。其中:

$$[MCH] = \frac{(MCH)}{(nC_7) + (RCPC_7) + (MCH)} \times 100$$

$$[CA_1] = \frac{(RCPC_7)}{(nC_7)}$$

$$[CA_2] = \frac{(MCH)}{(nC_7)}$$

式中:  $nC_7$  为正庚烷;  $MCH$  为甲基环己烷;  $RCPC_7$  为 1 反 3 二甲基环戊烷, 1 顺 3 二甲基环戊烷, 1 反 2 二甲基环戊烷和乙基环戊烷之和。

若将这些指标联合使用, 对识别不同母质类型、不同成熟度的天然气十分有效。不同有机母质类型在不同成气阶段中形成的天然气, 其轻烃指纹判别指标如表 4 所示。

表3 塔北天然气C<sub>6</sub>~C<sub>7</sub>轻烃组成及指纹参数

地区	井号	产层	C <sub>6</sub> 组成(%)			C <sub>7</sub> 组成(%)		
			正烷烃	异烷烃	环烷烃	甲基己烷	正庚烷	甲基环己烷+环己烷
雅克 拉	S5	K	41.6	48.3	10.1	37.7	33.6	28.7
	SC2	O	40.2	46.7	13.1	34.6	45.3	20.1
	S7	K	40.4	46.0	13.6	29.9	32.0	38.1
	S7	⊖	36.0	50.4	13.6	33.9	31.5	34.6
	S4	Z	39.2	47.4	13.4	38.0	31.1	30.9
轮台	S3	K <sub>1</sub> ~E	32.2	41.7	26.1	20.8	21.7	57.5
沙雅西	S16	K	36.3	25.5	38.2	13.3	27.1	59.6
阿克 库木	S9	T	35.4	54.0	10.6	39.8	29.7	30.5
	S9	O	31.7	51.7	16.6			
	LN3	T	25.9	50.9	23.2	19.9	17.5	62.6
阿克 库勒	S18	T	42.7	42.3	15.0	28.3	40.8	30.9
	S18	C	40.8	46.8	12.4	33.3	35.2	37.7
	S14	O	45.7	40.8	13.5	30.9	31.5	32.8
库车	Y464	J	34.1	51.3	14.6	29.3	24.0	46.7

  

地区	井号	产层	C <sub>6</sub> ,C <sub>7</sub> 组成(%)			母质参数	演化参数			
			正烷烃	异烷烃	环烷烃	[MCH]	[I]	[H]%	[CA <sub>1</sub> ]	[CA <sub>2</sub> ]
雅克 拉	S5	K	38.7	47.3	14.0	28.1	6.41	30.0	0.233	0.489
	SC2	O	36.9	45.7	17.4	29.6	4.15	28.1	0.316	0.554
	S7	K	38.0	43.9	18.1	32.1	4.27	28.4	0.294	0.610
	S7	⊖	35.2	47.4	17.4	30.7	3.62	28.2	0.297	0.575
	S4	Z	36.9	46.4	16.7	27.6	3.83	27.7	0.319	0.504
轮台	S3	K <sub>1</sub> ~E	28.0	36.8	35.2	50.0	2.14	18.8	0.605	1.345
沙雅西	S16	K	32.5	22.1	45.4	46.8	1.21	23.5	0.531	1.345
阿克 库木	S9	T	33.8	51.5	16.7	32.1	4.95	26.1	0.271	0.602
	S9	O	23.5	54.3	22.2					
	LN3	T	24.2	45.5	30.3	50.7	2.00	15.1	0.738	1.788
阿克 库勒	S18	T	40.7	39.2	20.1	25.8	2.97	35.1	0.300	0.453
	S18	C	40.9	38.7	20.3	28.1	3.85	30.6	0.318	0.514
	S14	O	42.3	39.0	18.7	29.0	3.52	33.0	0.245	0.525
库车	Y464	J	30.9	47.6	21.5	44.4	2.60	21.1	0.504	1.202

注:[MCH]为甲基环己烷指标;[I]为异庚烷值;[H]为庚烷值;[CA<sub>1</sub>]为环烷指数I;[CA<sub>2</sub>]为环烷指数II。

塔北雅克拉和阿克库勒区块各井不同产层的天然气,其甲基环己烷指数[MCH]分布于25.8~32.1,环烷指数I [CA<sub>1</sub>]分布在0.233~0.319,异庚烷值[I]分布于2.97~6.41,无疑均属于腐泥型的高熟气。轮台沙3井库姆格列木组与阿克库木轮南3井三叠系产层天然气的[MCH]都比较高,分别为50.0和50.7,而热演化参数[I]值比较小,分别为2.14和2.00,[CA<sub>1</sub>]相对较高,分别为0.605和0.738,这表明它们是属腐殖型的天然气,热演化阶段为成熟阶段。沙雅西沙16井卡普沙良群产层天然气的[MCH]值虽然还没有超过50,但也已达到46.8,[I]值也较低,为1.21,[CA<sub>1</sub>]较高,为0.531。这反映它的属性与塔北多数天然气不同可能也为腐殖型成熟的天然气。

表4 天然气轻烃指纹判别指标

成因类型	成气类型	母质参数	演化参数				热演化阶段	R <sup>o</sup> (%)
		MCH	I	H(%)	CA <sub>1</sub>	CA <sub>2</sub>		
腐泥型气 (I、I型)	早期(未熟)气	<50	0~1	0~20	>3.8	>3.0	未成熟	0.3~0.5
	中期(成熟)气		1~3	20~30	3.8~0.34	3.0~0.64	成熟	0.5~1.4
	晚期(高熟)气		3~10	30~40	0.34~0.11	0.64~0.38	高成熟	1.4~2.0
	晚期(过熟)气		>10	>40	<0.11	<0.38	过成熟	>2.0
腐殖型气 (II型)	早期(未熟)气	>50	0~1	0~20	>14	>40	未成熟	0.3~0.5
	油田气(含煤成气)		1~3	20~30	14~0.50	40~2.2	成熟	0.5~1.4
	湿气		3~10	30~40	0.50~0.13	2.2~0.54	高成熟	1.4~2.0
	干气		>10	>40	<0.13	<0.54	过成熟	>2.0

(据胡惕麟等(1990)改编)

### 3. 天然气碳同位素组成

张义纲等(1991)认为甲烷碳同位素是区分天然气成因的最重要的参数。微生物作用生成的生物气和菌解气,其 $\delta^{13}C_1$ 值一般小于-55‰,深源气的 $\delta^{13}C_1$ 大于-20‰,而热解成因气的 $\delta^{13}C_1$ 分布于-55~-20‰之间。乙烷碳同位素与母质类型和演化程度有关,母质类型较好,其碳同位素一般较轻,生成的乙烷碳同位素也较轻。至于演化程度虽与 $\delta^{13}C_2$ 值有一定关系,但从大量资料统计表明,有机质在成熟和高熟阶段,其 $\delta^{13}C_2$ 受演化程度的影响是逐渐变小的,因此, $\delta^{13}C_2 = -28 \pm 1.5\%$ 可作为区分腐泥型和腐殖型气的粗略界限。乙烷和甲烷碳同位素差值是一个良好的成熟度参数,它与母质的H/C原子比有关, $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 = 35.08 H/C = 8.427$ 。胡惕麟等(1990)根据国内外不同地区天然气C<sub>1</sub>~C<sub>5</sub>烃同位素组成资料,划分了各类天然气碳同位素组成判别指标(表5)。

表5 天然气碳同位素(PDB)判别指标

成因类型	成气阶段	碳同位素(‰)		演化阶段	R <sup>o</sup> (%)
		$\delta^{13}C_2$	$\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$		
生物成因气	生物气	<-40	>25	生化	<0.3
腐泥型 热成因气	早期(未熟)气	-40~-28	25~21	未成熟	0.3~0.5
	中期(成熟)气	-40~-28	21~11	成熟	0.5~1.4
	晚期(高熟)气	-40~-28	11~5	高熟	1.4~2.0
	晚期(过熟)气	-40~-28	<5	过熟	>2.0
腐殖型 热成因气	早期(未熟)气	-28~-22	25~21	未成熟	0.3~0.5
	中期(成熟)气	-28~-22	21~11	成熟	0.5~1.4
	晚期(高熟)气	-28~-22	11~5	高熟	1.4~2.0
	晚期(过熟)气	-28~-22	<5	过熟	>2.0
无机成因气	深源气	>-20	<-5	演化极深	

(据胡惕麟等,1990)

按照该天然气碳同位素组成判别模板,塔北雅克拉地区除个别产层以外,其它各井从古生界到中生界各产层天然气的碳同位素组成分布极为相似(表6), $\delta^{13}C_1$ 分布在-39.30~-41.89‰之间,平均为-40.18‰, $\delta^{13}C_2$ 主要分布在-31.47~-33.29‰,平均为

-32.34%,乙烷与甲烷碳同位素差值  $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$  平均为 9.55%,都属腐泥型的高熟天然气,反映气源比较单一。沙5井奥陶系天然气虽然也属腐泥型气,但演化阶段更深,其  $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 = 3.95$ ,已达过熟阶段。沙6井寒武系天然气的类型相对差一些,它的  $\delta^{13}C_2 = -29.6\%$ ,  $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 = 11.02$ 。可能属成熟的腐殖-腐泥型气,也可能是混入了少量腐殖型天然气。

表6 塔北天然气  $C_1 \sim C_3$  碳同位素(PDB)组成

地区	井号	产层	碳同位素(‰)			$\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$	地区	井号	产层	碳同位素(‰)			$\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$	
			$C_1$	$C_2$	$C_3$					$C_1$	$C_2$	$C_3$		
雅克 拉	S5	K	-40.43	-32.71	-30.68	7.72	阿克 库木	S9	T	-38.02	-35.54	-32.00	2.48	
	S7	K	-39.43	-32.65	-30.16	6.78		LN3	T	-38.09	-27.69	-24.70	10.40	
	S5	J	-40.50	-32.71	-30.68	7.79		S9	O	-34.98	-27.03		7.95	
	S7	J	-39.42	-31.47	29.19	7.95	阿克 库勒	S18	T	-38.46	-32.71	-37.70	5.75	
	S4	J	-39.30	-33.29		6.01		S14	T	-36.30	-29.18	-32.35	7.12	
	S5	O	-41.56	-37.61		3.95		S18	C	-33.81	-32.62	-29.78	1.19	
	SC2	O	-40.91	-32.22	-30.95	8.69		S14	O	-34.85	-34.79	-33.45	0.06	
	S7	E	-41.89	-31.71	-29.81	10.18		S17	O	-33.91	-28.13		5.78	
	S6	E	-40.62	-29.60		11.02		沙 雅 西	S16	K	-35.07	-28.01	-30.31	7.06
	S4	Z	-39.58	-31.96	-30.88	7.62			S21	K	-42.18	-33.56		8.62
轮台	S3	K <sub>2</sub> -E	-40.51	-29.67	-26.34	10.84	S16		O	-44.05	-30.66		13.39	
库车	Y464	J	-34.79	-25.71	-24.37	9.08	S13	O	-45.68					

阿克库木地区沙9井奥陶系产层天然气  $\delta^{13}C_2 = -27.03\%$ ,属腐殖型天然气。但是该井中生代三叠系产层天然气的情况就完全不同,从其  $\delta^{13}C_2 = -35.54\%$ ,  $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 = 2.48$  资料来看,应为过成熟的腐殖型气。而沙9井东侧轮南3井三叠系产层天然气却为成熟的腐殖型气( $\delta^{13}C_2 = -27.69\%$ ,  $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 = 10.40$ )。这反映该地区气源及成藏时期均比较复杂。

阿克库勒地区沙18井石炭系和沙14井奥陶系产层天然气的碳同位素组成十分相似,前者  $\delta^{13}C_2 = -32.62\%$ ,  $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 = 1.19$ ,后者分别为  $-34.79\%$ ,  $0.06$ ,同属过熟的腐泥型气,进一步证实了前者是后者侧向运移的论断。沙18井三叠系天然气的  $\delta^{13}C_2 = -32.71\%$ ,只是其  $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$  差值为  $5.71$ ,仅达高熟演化阶段。成熟度相对较高是阿克库勒腐泥型天然气的一个特点。本区沙17井奥陶系天然气比较特殊,与沙9井奥陶系天然气碳同位素相似,  $\delta^{13}C_1 = -33.91\%$ ,  $\delta^{13}C_2 = -28.13\%$ ,相对都较重,具有腐殖型天然气的碳同位素特征。

沙雅西地区沙16井卡普沙良群天然气的  $\delta^{13}C_1 = 35.07\%$ ,  $\delta^{13}C_2 = -28.01\%$  都比较重,主要为腐殖型成因的天然气。而其下伏奥陶系产层的天然气,  $\delta^{13}C_1 (-44.05\%)$  和  $\delta^{13}C_2 (-30.66\%)$  都很轻,表征它源于腐殖型母质。但  $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 = 13.39$ ,相对较大,反映该气成熟度比本区其它奥陶系产层的天然气都低,属腐泥型的成熟气。

另外,塔北沙18井三叠系,沙14井三叠系以及沙16井卡普沙良群天然气的  $\delta^{13}C_3$  均比  $\delta^{13}C_2$  轻,  $\delta^{13}C$  系列发生倒转,即  $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3$  规律受到破坏,反映这些天然气具有混

合气或次生改造气的特征。

### 三、塔北天然气的地化特征和成因类型

根据对塔北天然气化学组成、烃类组成、碳同位素分布以及轻烃结构等的系统研究,本区天然气大多属腐泥高熟气和成熟、高熟的腐殖气,少数腐泥成熟气,个别产层有深层混合气。

上述各种成因类型天然气在塔北的分布,以及它们主要的地化特征如下(表7):

腐泥高熟气和过熟气的地化特征为甲基环己烷指数小,  $[MCH]$  小于 35, 甲烷和乙烷碳同位素轻,  $\delta^{13}C_1 = -40\%$ ,  $\delta^{13}C_2 = -32\%$ ,  $C_6 \sim C_7$  轻烃中, 正烷烃大于环烷烃, 无论轻烃组成, 还是碳同位素组成都表现出腐泥高熟和过熟气的属性。这与本区下古生界广泛发育母质类型好的腐泥型有机质密切相关。加上后生地质保存条件好, 因此, 它们广泛分布于沙雅隆起大部分地区, 是塔北目前产能最大、最高的天然气;

表7 塔北天然气地化特征与成因类型

成因类型	地区	井号	产层	地化特征	成气母质类型	源岩成熟度 $R^\circ(\%)$
腐泥高熟气	雅克拉	沙5	K, J	1. $[MCH] < 35$ , [ $CA_1$ ] = 0.29~0.32 2. $\delta^{13}C_1 = -40 \pm 2\%$ , $\delta^{13}C_2 = -32 \pm 2\%$ 3. $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 = 5-9$ 4. 正烷烃 > 环烷烃	腐泥型为主 有机质	1.4~2.0
		沙参2	O			
		沙7	K, J, G			
	沙4	J, Z				
	沙18	T				
沙雅西	沙21	K				
腐泥过熟气	雅克拉	沙5	O	1. $[MCH] < 35$ , [ $CA_1$ ] = 0.25~0.27 2. $\delta^{13}C_1 = -34 \sim -41\%$ , $\delta^{13}C_2 = -32 \sim -37\%$ 3. $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 < 4$ 4. 正烷烃 > 环烷烃	腐泥型有机 质	2.0~2.4
	阿克库木	沙9	T			
	阿克库勒	沙18	C			
		沙14	O			
腐殖成熟气	阿克库木	沙9	O	1. $[MCH] > 50$ , [ $CA_1$ ] > 0.5 2. $\delta^{13}C_2 = -27 \sim -28\%$ , 3. $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 > 10$ 4. 正烷烃 < 环烷烃	腐殖型有机 质	0.7~1.4
		轮南3	T			
	沙雅西	沙16	K			
腐殖—腐泥型混合气	轮台	沙3	$K_2 \sim E$	1. $[MCH] > 50$ , [ $CA_1$ ] > 0.5 2. $\delta^{13}C_2 = -29.6\%$ , 3. $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 = 11$ 4. 正烷烃 < 环烷烃 1. $[MCH] < 35$ , [ $CA_1$ ] < 25 2. $\delta^{13}C_2 = -26 \sim -28\%$ , 3. $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 > 11$ 4. 正烷烃 > 环烷烃	腐殖和腐泥 型有机质	0.7~1.4
	雅克拉	沙6	G			
	阿克库勒	沙17	O			
	柯克亚	柯6	N			
		柯16	N			
深层混合气	沙雅西	沙16	O	1. 高氮, 高氢 2. $\delta^{13}C_1 = -44\%$ , $\delta^{13}C_2 = -30.7\%$ 3. $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 > 13$	腐泥型有机 质及岩浆深 源气	
		沙13	O			



腐殖成熟气的地化特征为甲基环己烷指数大,  $[MCH]$  大于 50, 乙烷同位素较重,  $\delta^{13}C_2 = -27 \sim -28\%$ , 目前主要分布在轮台、阿克库木和沙雅西地区, 与这些地区中生代气源岩演化程度有关, 成因而于母质类型较差的腐殖型有机质;

腐殖-腐泥型混合气分布在沙雅隆起的轮台和阿克库勒沙 17 井奥陶系, 以及塔里木盆地西南拗陷的柯克亚。它们的地化特征为  $C_6 \sim C_7$  轻烃组成与碳同位素组成表现出不同的性质。如, 轮台沙 3 井库姆格列木组天然气的甲基环己烷大,  $[MCH] = 50$ ,  $[CA_1] = 0.61$ , 呈现腐殖成熟气的属性, 而其  $\delta^{13}C_1 = -40.5\%$ ,  $\delta^{13}C_2 = -29.6\%$  比较轻,  $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 = 10.9$ , 都反映了腐泥成熟气的属性。柯克亚天然气两者的差异更为突出, 它们的甲基环己烷指数特小,  $[MCH] = 14$ ,  $[CA_1] = 0.08$ , 呈现出腐泥过熟气的属性, 而其  $\delta^{13}C_1 = -37.7\%$ ,  $\delta^{13}C_2 = -26.1\%$  都较重,  $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 = 11.7$ , 则反映着腐殖成熟气的属性。这是地质体中不同成因天然气相互渗透混杂现象的反映, 在国内外是普遍存在的, 因此称它们为腐殖-腐泥型混合气。

另一种混合气为深层混合气在本区沙雅西沙 13 和 16 井奥陶系产层发现。它的地化特征是高氮、高氦和碳同位素组成较轻。如沙 13 井天然气含氮量为 32.78%, 含氦 0.938%, 沙 16 井的含氮量更高, 为 66.94%。高氮和高氦是岩浆成因深源气的特征; 另一方面, 它们的甲烷和乙烷碳同位素较轻, 如沙 16 井天然气的  $\delta^{13}C_1 = -44.05\%$ ,  $\delta^{13}C_2 = -30.66\%$ ; 两者差值为 13.39, 呈现出腐泥成熟气的特征。因此称这种天然气为深层混合气。

## 四、结论

1. 塔北天然气主体属高成熟腐泥型气, 气源岩主要来自下古生界。阿克库勒部分地区沙 14 井奥陶系、沙 18 井石炭系等产层天然气的成熟度最高, 为过成熟裂解气, 但有些井的产层的气, 成熟度相对较低, 反映气源及成熟条件比较复杂; 雅克拉各产层天然气母质类型及成熟度可比性强, 表明气源及成藏时间相对单一; 阿克库木、沙雅西及轮台等地区天然气成因类型多样, 既有腐泥型气也有腐殖型气及混合成因气, 成熟度差异也大, 反映多气源岩、多成藏期的特点。

2. 发现阿克库木沙 9 井奥陶系、轮南 3 井三叠系、沙雅西沙 16 井卡普沙良群等陆相成因的天然气, 以及轮台沙 3 井库姆格列木组和阿克库勒沙 17 井奥陶系等腐殖-腐泥型混合成因天然气, 这表明本区陆相成因的天然气具有一定的资源前景, 尤其是沙西、轮台及阿克库木地区值得注意。

3. 继沙雅西沙 13 井奥陶系以后, 又发现沙 16 井奥陶系及阿克库勒个别产层的深源混合气, 具有很高的氦含量。因此, 保存好的并具较高产能的高氦天然气, 将是值得注意的重要矿产资源。

(收稿日期, 1990 年 12 月 29 日)

## 参 考 文 献

- [1] 胡锡麟等. 石油地质实验, 1990, 12(4), 375~393
- [2] 张义纲等. 天然气的生成聚集和保存, 河海大学出版社, 1991

## ON THE ORIGIN OF THE NATURAL GAS IN THE NORTHERN TARIM BASIN

Qian Zhihao                  Chen Zhenfu  
(*Central Lab. of Petroleum Geology, MGMR*)

### Abstract

The authors of this paper study the original types of the natural gas in the Northern Tarim Basin on the basis of the carbon isotopic data of light hydrocarbons  $C_6 \sim C_7$  and their chemical compositions. At the same time, it is proposed the original types and the discriminating criteria, such as maturity etc. for the natural gas in the Northern Tarim Basin.