

准噶尔盆地西北缘天然气成因 类型及分布规律

王屿涛

(新疆石油管理局勘探开发研究院, 克拉玛依 834000)

准噶尔盆地西北缘天然气按照成因类型可分为油型气、混合气和煤型气;按照赋存形式可分为溶解气、气顶气和凝析气。天然气在平面上的分布具有明显的分带性:油型气主要分布在八区以东、克-乌断裂上盘主体含油区的各层系中;煤型气主要分布于五区南克75井区上二叠统和下二叠统;混合气则分布于油型气与煤型气接合部的八区546井区上二叠统。

关键词 准噶尔盆地 天然气类型 二叠系 油气分布规律

作者简介 王屿涛 男 35岁 工程师 石油地球化学

准噶尔盆地西北缘东西绵延近200 km的油气田中分布着不同类型、不同产状的天然气。这些天然气的平面和纵向分布具有规律性。随着近期该区天然气勘探取得重大突破,特别是在克-乌断裂下盘八区546井区和五区克75井区获得高产工业气流并控制了一定的储量后,天然气成因类型的研究显得十分重要。作者较系统地采集了夏子街、风城、克拉玛依、红山嘴、车排子五个油田十个油气区的30多个天然气样品,对其中的烃类成分进行了组分、轻烃和碳同位素的地球化学分析,旨在划分成因类型,并在此基础上结合地质条件探讨其分布规律。

一、天然气地化特征

(一) 天然气组分特征

表1列出盆地西北缘天然气各项地化数据(油气区按由东向西排列)。若排除夏子街(T_2^3)、九区(C)和车排子(P_1 、C)气顶气外,西北缘天然气组分可分为两类:一类为夏子街至七区天然气,相对密度为0.6640—0.7573,甲烷含量为73.64%—85.81%,乙烷含量为5.55%—14.35%,表现了典型湿气性质;另一类为四区至红山嘴天然气,相对密度为0.6052—0.6364,甲烷含量为88.90%—92.57%,乙烷含量为3.52%—5.08%,表现了偏干气的性质。

天然气组分变化不仅受控于母质类型及成熟度,而且还受到油气层的温度、压力以及运移和生物降解等作用的影响。为了探讨天然气组分差异的因素,将甲烷含量与甲烷碳同位素进行了标绘(图1)。从图1可以看到,天然气中甲烷含量的变化与甲烷碳同位素的变化相一致,根据本区具体地质条件分析,天然气组分的差异主要是受母质类型控制的。用甲烷碳同

表1 准噶尔盆地西北缘天然气地球化学综合数据表

地 区	层 位	组 分 (%)				碳 同 位 素 $\delta^{13}\text{C}$ (‰)				C ₇ 轻 烃 组 成 (%)									
		相对 密度	样品数	甲烷	样品数	乙烷	样品数	甲烷	样品数	乙烷	样品数	丙烷	样品数	正庚烷	样品数	甲基环 己 烷	样品数	二甲基 环戊烷	样品数
夏子街	T ₂ ¹	0.5825	2	95.02	2	2.96	1	-45.10	2	-34.90	1	-32.82	1	78.00	1	18.00	1	4.00	1
	P _{2f}	0.7547	1	73.64	1	12.39	1	-46.39	1	-35.54	1	-33.59	1	53.73	1	38.04	1	8.23	1
风 城	P _{2f}	0.6640	1	85.81	1	5.55	1	-46.49	1	-36.16	1	-34.22	1	57.26	2	25.25	2	17.50	2
十 区	T ₂ ²	0.6650	2	84.55	2	6.64	1	-45.68	2	-32.04	2	-30.51	2	68.32	1	21.12	1	10.56	1
	C	0.7307	1	74.59	1	10.15	1	-48.56	1	-33.05	1	-31.93	1	63.29	1	25.32	1	11.39	1
九 区	C	0.6324	1	89.34	1	5.90	1	-47.38	1	-32.94	1	-31.32	1	44.35	1	39.13	1	16.52	1
七 区	C	0.7573	1	74.51	1	14.35	1	-44.72	1	-33.34	1	-31.77	1	58.54	1	26.83	1	14.63	1
四 区	T ₁ ¹	0.6291	2	90.60	2	3.52	2	-38.37	2	-28.00	2	-26.51	2	52.30	1	36.13	1	11.57	1
八 区	P _{2w}	0.6331	5	89.97	5	3.54	5	-36.67	6	-28.86	6	-27.78	6	56.22	3	32.85	3	10.93	3
五 区	T ₁ ¹	0.6364	5	88.90	5	5.08	5	-38.09	5	-30.35	5	-29.34	5	44.52	2	46.35	2	9.13	2
	P _{2w}	0.6052	2	92.57	4	3.73	4	-32.68	4	-26.48	4	-24.83	4	49.20	4	44.01	4	6.79	4
红山嘴	T ₁ ¹	0.6255	4	91.34	4	3.99	4	-38.75	4	-27.54	4	-27.07	4	47.37	2	44.55	2	8.08	2
	C	0.6352	3	91.11	3	4.04	3	-36.15	3	-28.59	3	-28.01	3	55.05	3	38.20	3	6.75	3
车排子	P ₁	0.5792	1	95.74	1	1.39	1	-34.77	1	-27.31	1	-26.88	1	/	/	/	/	/	/
	C	0.5816	1	96.09	1	2.58	1	-45.16	1	-35.24	1	-29.63	1	53.05	1	27.51	1	19.44	1

注:表中数值均采用平均值

位素标定的类型界限,油型气主要为夏子街、风城、十区、九区、七区天然气。其中气顶气是由于温压降低天然气从原油中脱出而形成,故甲烷含量高,如夏子街三叠系气藏、九区和车排子石炭系气藏等。混合气主要为八区 546 井区及四区、五区(T_2)、红山嘴及车排子部分天然气,其中车排子下二叠统天然气由于亦为气顶气,甲烷含量相对较高。煤型气则为五区克 75 井区天然气。由此分析,除次生变化外(如气顶气),富轻碳同位素的天然气甲烷含量较低,重烃含量较高;富重碳同位素的天然气则甲烷含量较高,重烃含量较低;而碳同位素介于两者之间者,甲烷含量亦介于其间。

由此分析可以看出,尽管不同地区天然气样品的时代不同,埋深

相差较大(如夏子街、十区等),但由于成因类型是一致的,即来自相同的母质,故碳同位素 $\delta^{13}C$ 值表征的特征亦是一致的。

上述天然气组分的差异主要是由两种有机质在结构上不同所致。其中腐泥型有机质是带有较多长链结构和少量环状结构的化合物,因此,断链后主要形成液态烃和重烃气;而腐殖型有机质多数是缩合的环状结构化合物,带有较短的侧链,故只能形成相对少量的液态烃和重烃气,主要产物是甲烷。

(二) 天然气碳同位素特征

目前,对天然气成因类型研究较为有效的方法仍是碳同位素技术。国内外诸多学者都曾提出用 $\delta^{13}C_1$ 值作为划分油型气和煤型气的标准^[1]。随着近年来天然气成因研究的深入,甲烷同系物的碳同位素研究得到广泛应用^[2,3]。

准噶尔盆地西北缘天然气碳同位素的分布具有较好的规律性(表1)。基本可分成A、B、C三组。A组主要为夏子街、风城、十区、九区、七区和车排子(C)天然气, $\delta^{13}C_1$ 值为 -44.72% — -48.56% , $\delta^{13}C_2$ 值为 -32.04% — -36.16% , $\delta^{13}C_3$ 值为 -29.63% — -34.22% ;B组主要为四区、八区、五区(T_2)、红山嘴和车排子(P_1)天然气, $\delta^{13}C_1$ 值为 -34.77% — -38.75% , $\delta^{13}C_2$ 值为 -27.31% — -30.35% , $\delta^{13}C_3$ 值为 -26.51% — -29.34% ;C组为五区乌尔禾组(P_{2w})天然气, $\delta^{13}C_1$ 值为 -32.68% , $\delta^{13}C_2$ 值为 -26.48% , $\delta^{13}C_3$ 值为 -24.83% 。

不难看出,相同地区不同层位的天然气碳同位素 $\delta^{13}C$ 值相差较大,如五区克上组(T_2)和乌尔禾组(P_{2w})天然气,前者为混合气,后者为煤型气;车排子石炭系(C)和下二叠统天然气(P_1),前者为油型气,而后者为混合气。这是由于不同成因的天然气在特定的地质条件下聚集或混合聚集的结果。

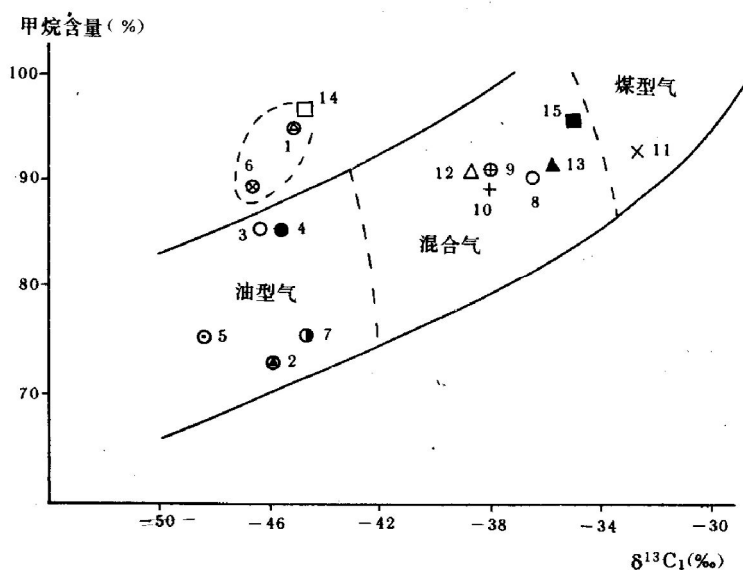


图1 准噶尔盆地西北缘天然气甲烷与 $\delta^{13}C_1$ 关系图

1—夏子街(T_2), 2—夏子街(P_{2f}), 3—风城(P_{2f}), 4—十区(T_2), 5—十区(C), 6—九区(C), 7—七区(C), 8—四区(T_2), 9—八区(P_{2w}), 10—五区(T_2), 11—五区(P_{2w}), 12—红山嘴(T_2), 13—红山嘴(C), 14—车排子(C), 15—车排子(P_1)

为了使天然气的成因分类符合本区的实际情况,笔者参考了国内外有关天然气成因分类的标准,并结合实际地质、地化条件,提出本区天然气成因类型划分标准(表2)。这一标准与戴金星提出的标准^[1]相比, $\delta^{13}\text{C}$ 值平均偏轻2‰—3‰,这是由于生气母质的差异所致。如本区煤型气的生气母质可能是下二叠统佳木河组分散的Ⅲ型有机质,而非煤系源岩。根据建立的划分标准,图2明显将西北缘天然气分为油型气、混合气、煤型气。

表2 准噶尔盆地西北缘天然气成因类型划分表

类 型	碳同位素 (‰)			代 表 地 区
	$\delta^{13}\text{C}_1$	$\delta^{13}\text{C}_2$	$\delta^{13}\text{C}_3$	
油型气	< -42	< -31	< -29	夏子街、风城、克-乌断裂上盘、十区等
混合气	$-42 \sim -34$	$-31 \sim -27$	$-29 \sim -26$	八区(546井区)、红山嘴、车排子、四区和五区(T_2)
煤型气	> -34	> -27	> -26	五区(克75井区)

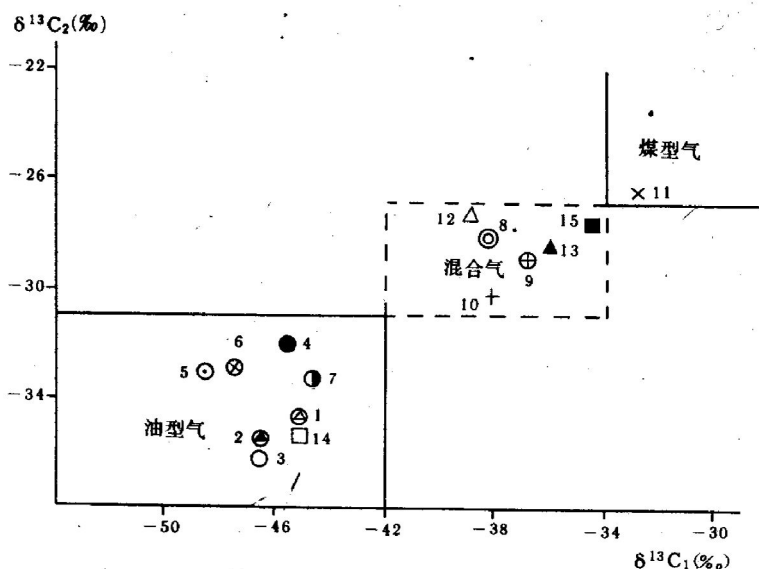


图2 准噶尔盆地西北缘天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 与 $\delta^{13}\text{C}_2$ 关系图

1—夏子街(T_2), 2—夏子街(P_2f), 3—风城(P_2f), 4—十区(T_2), 5—十区(C), 6—九区(C), 7—七区(C), 8—四区(T_2), 9—八区(P_2w), 10—五区(T_2), 11—五区(P_2w), 12—红山嘴(T_2), 13—红山嘴(C), 14—车排子(C), 15—车排子(P_1)

戊烷含量分布在10%—20%左右;而五区和红山嘴天然气正庚烷和甲基环己烷含量均分布在40%—50%左右,二甲基环戊烷含量低于10%。两组天然气相比,前者相对富正庚烷和二甲基环戊烷,贫甲基环己烷,后者则反之,表现了两种成气母质的不同。

将三类 C_7 化合物百分含量投入三角图中(图3),天然气可明显分为两组,即五区天然气为典型煤型气外,其余天然气均为油型气。

需要指出的是根据碳同位素划分的混合气如八区、四区、红山嘴天然气,在三角图中紧

(三) 天然气轻烃特征

1. 天然气 C_7 轻烃组成

目前普遍认为,轻烃组成中真正近于有机成因气分类的还是以正庚烷($n\text{C}_7$)、甲基环己烷(MCC_6)和各种结构的二甲基环戊烷(ΣDMCC_5)相对百分含量编制的三角图*。甲基环己烷主要来自高等植物木质素和纤维素等,是反映陆源母质类型的良好参数,热力学性质稳定;二甲基环戊烷主要来自水生生物类脂化合物;而正庚烷主要来自藻类和细菌。

准噶尔盆地西北缘天然气 C_7 轻烃组成如表1所示。不难看出,从夏子街、风城到四区及车排子石炭系天然气,正庚烷含量分布在50%—70%左右,甲基环己烷含量分布在20%—35%左右,二甲基环

* 戴金星等. 我国天然气地球化学特征及其成因类型. 1989

邻煤型气分布区域，而与夏子街至七区天然气存在过渡关系，表明两项资料的相关性较好。

2. 天然气轻烃指纹特征

为了探讨准噶尔盆地西北缘天然气之间的亲缘性和成因关系，将轻烃单体烃按其相近沸点及相关结构化合物配对，选择了较稳定的八项参数作为对比指标（表3）。从表中各项参数来看，基本可分为两类：夏子街—七区为一类，各参数间具有可比性；四区—车排子为另一类，各参数间亦具可比性。为便于对比，参考前述天然气组分、碳同位素分类结果，将西北缘天然气轻烃指纹分为五组并编绘成指纹对比图（图4）。由图中看到，夏子街—风城天然气和十区—七区天然气具有相似的轻烃指纹；四区—五区三叠系天然气和五区二叠系天然气及红山

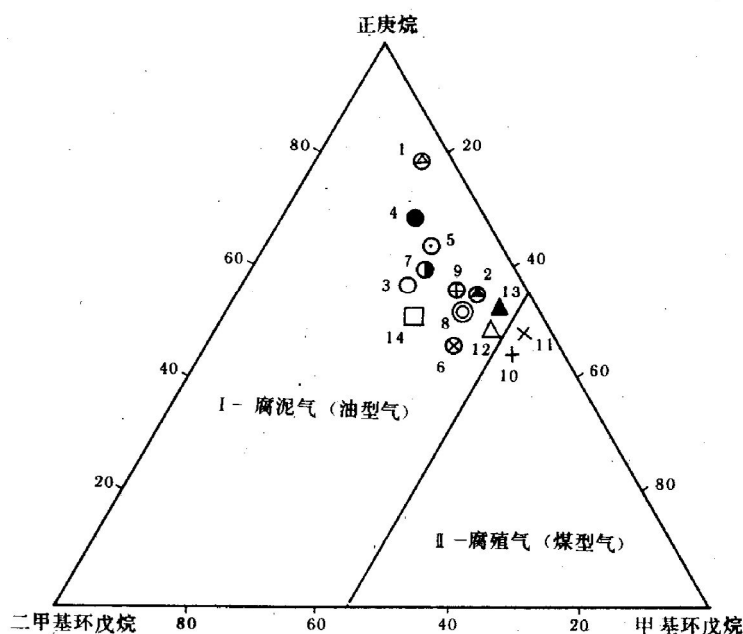


图3 准噶尔盆地西北缘天然气C₇轻烃组成三角图

1—夏子街（T₂），2—夏子街（P_{2f}），3—风城（P_{2f}），4—十区（T₂），5—十区（C），6—九区（C），7—七区（C），8—四区（T₂），9—八区（P_{2w}），10—十五区（T₂），11—五区（P_{2w}），12—红山嘴（T₂），13—红山嘴（C），14—车排子（C）

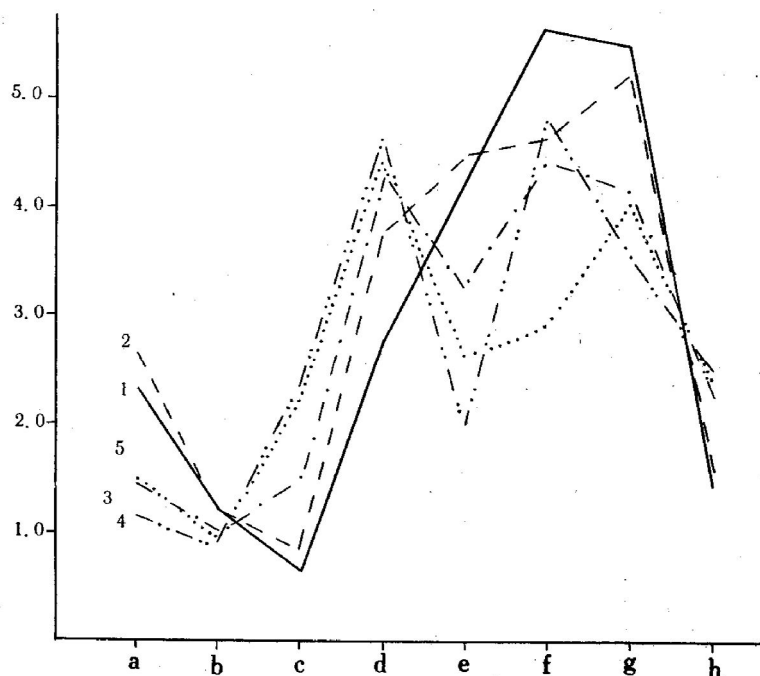


图4 准噶尔盆地西北缘天然气轻烃指纹对比图

a— nC_7/MCC_6 , b— iC_5/nC_5 , c— CC_6/MCC_5 , d— nC_6/MCC_5 , e— nC_6/CC_6 , f— $MCC_5/2MCC_5$, g— $2MCC_5/3MCC_5$, h— $3MCC_5/2, 3MCC_5$; 1—夏子街—风城, 2—十区—七区, 3—四区—五区, 4—五区, 5—红山嘴

集轻碳同位素， $\delta^{13}C_1$ 值小于 -42% ， $\delta^{13}C_2$ 值小于 -31% ；甲烷含量一般小于85%，表现了湿

嘴—车排子天然气具有另一组相似的指纹特征。两组曲线区别明显。从具体指标分析，后者均反映了陆源Ⅲ型有机质特征，如参数a、c、e等，明显以环己烷和甲基环己烷为优势，其中尤以五区二叠系天然气最为显著。这一对比结果与前述各项资料是基本吻合的。

二、天然气成因类型

根据以上天然气的地球化学分析，准噶尔盆地西北缘天然气可划分为三种类型，即油型气、煤型气和混合气。

1. 油型气

主要分布在夏子街、风城、克一乌断裂上盘、十区、九区、七区和其它地区个别井中。其特征是：富

气特性；轻烃组成中相对富正庚烷和二甲基环戊烷，而贫甲基环己烷。

2. 煤型气

主要分布于五区南克75井区上、下二叠统中。其特征是：富集重碳同位素， $\delta^{13}\text{C}_1$ 值大于 -34‰ ， $\delta^{13}\text{C}_2$ 值 $> -27\text{‰}$ ；甲烷含量大于 92%，表现了偏干气特性；轻烃组成中相对富甲基环己烷，贫正庚烷和二甲基环戊烷。

表3 准噶尔盆地西北缘天然气轻烃指纹对比表*

地 区	层 位	a	b	c	d	e	f	g	h
		$\frac{n\text{C}_7}{\text{MCC}_6}$	$\frac{i\text{C}_5}{n\text{C}_5}$	$\frac{\text{CC}_6}{\text{MCC}_5}$	$\frac{n\text{C}_6}{\text{MCC}_5}$	$\frac{n\text{C}_6}{\text{CC}_6}$	$\frac{\text{MCC}_5}{\Sigma 2\text{MCC}_5}$	$\frac{2\text{MC}_5}{3\text{MC}_6}$	$\frac{3\text{MC}_6}{2,3-\text{MC}_6}$
夏子街	P_2f	2.41	1.31	0.76	2.71	3.59	7.48	5.45	1.60
风 城	P_2f	2.31	1.12	0.55	2.66	4.83	3.77	5.43	1.19
十 区	T_2^2	3.96	1.14	1.03	3.94	4.21	4.83	5.42	1.59
	C	2.38	1.09	0.78	4.21	5.39	5.13	5.56	1.70
九 区	C	2.09	1.20	0.86	2.93	3.43	4.00	4.84	1.24
七 区	C	2.18	1.37	0.78	3.76	4.81	4.58	5.29	1.50
四 区	T_2^1	1.41	1.02	1.64	3.40	2.61	1.80	3.45	2.21
八 区	P_2w	1.86	0.96	1.49	5.59	4.07	4.42	4.35	2.30
五 区	T_2^1	1.06	1.08	1.28	3.82	3.04	7.00	4.62	2.23
	P_2w	1.16	0.87	2.36	4.59	1.97	4.79	3.56	2.52
红山嘴	T_2^1	1.48	0.91	2.31	2.35	1.99	2.37	3.88	2.35
	C	1.50	0.96	2.33	7.10	3.09	2.77	3.97	2.26
车排子	C	1.36	0.98	2.18	3.83	2.71	3.29	4.21	2.47
夏子街—风城	P_2f	2.36	1.22	0.66	2.69	4.21	5.63	5.44	1.40
十区—七区	$\text{T}_2^2 - \text{C}$	2.65	1.20	0.86	3.71	4.46	4.64	5.28	1.51
四区—五区	$\text{T}_2^1 - \text{P}_2w$ $- \text{T}_2^1$	1.44	1.02	1.47	4.27	3.24	4.41	4.14	2.25
五 区	P_2w	1.16	0.87	2.36	4.59	1.97	4.79	3.56	2.52
红山嘴—车排子	C	1.45	0.95	2.27	4.43	2.60	2.81	4.02	2.36

3. 混合气

主要分布在五、八区交界处，即油型气分布区与煤型气分布区汇合处的 546 井区上二叠统中，以及五区、四区和红山嘴等部分地区的三叠系和石炭系中。其各项地化特征基本上介于油型气和煤型气之间。

三、天然气分布规律

(1) 自东向西，从油型气区到煤型气区，天然气赋存形式为溶解气或气顶气、凝析气。

* 王屿涛等. 彩南油田油气成因及勘探方向. 1993

准噶尔盆地西北缘迄今发现的气藏中,天然气赋存形式主要为溶解气或气顶气和凝析气而缺乏纯气。其中溶解气主要分布在油型气区内,亦即主体含油区内,部分由于重力分异作用,天然气从原油中脱出,在构造高部位形成气顶,具底油或油环,如夏子街三叠系气藏(图5)。凝析气主要分布在混合气区和煤型气区内,尤以煤型气区最为典型。它主要赋存在上二叠统乌尔禾组或岩性尖灭带以及下二叠统佳木河组火山岩或火山碎屑岩之中,如克75井区二叠系气藏(图6)。

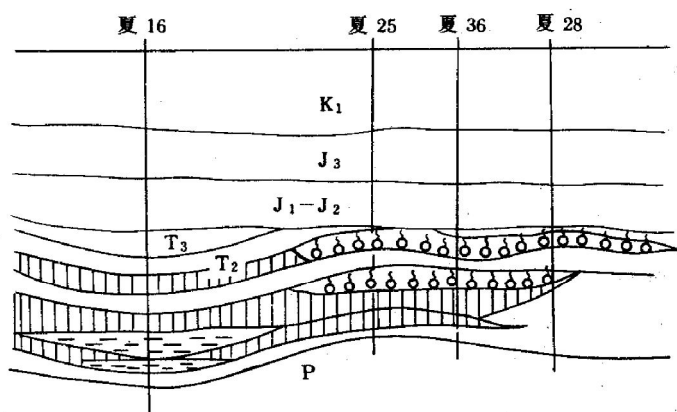


图5 夏子街地区背斜气藏剖面图

由此分析,西北缘天然气的赋存形式与天然气的成因类型密切相关,进而可以认为,不同的生源控制了天然气的类型,造成平面分布上的明显分带性。

(2)两类不同成因天然气分布与两套可能气源岩的分布相吻合。

据前人研究,准噶尔盆地西北缘的主要烃源岩是上二叠统风城组^[4],这套地层发育于油区以南、玛湖凹陷东侧,类型为I—II₁型,中等成熟度;但向西地层厚度减薄,岩性变粗,于生油气不利。因此,西北缘油区内由东向西油型气成分愈来愈少,显然与这套源岩的发育地区或供油气范围有关。

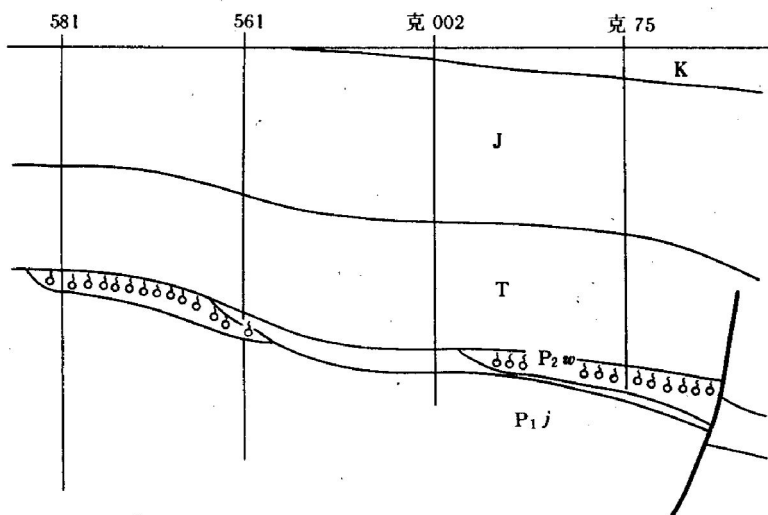


图6 克75井区气藏剖面图

近年来,西北缘的勘探实践证实,下二叠统佳木河组为一套火山岩和沉凝灰岩,主要沉积于西北缘西测油区范围内,其中近300 m的暗色泥岩呈狭长状分布于五区至斜坡带的南北方向上,恰与典型的煤型气区即克75井区吻合。这套泥岩的有机质类型为Ⅲ型,热演化程度稍高,可认为是煤型气的气源岩。

另从混合气的分布来看,主要聚集在油型气区和煤型气区接合处的546井区及五区北侧的四区和西侧的红山嘴部分井中,形成东、北、西三面环绕煤型气区的混合气分布区,推测是来自东南玛湖凹陷风城组的油型气与来自五区佳木河组煤型气混合聚集的结果。

总结上述特征可概括为:两套气源岩、两个生气中心、两类不同成因天然气分布带。

(3)从油型气区到煤型气区,天然气单井产量增加,高产气井出现于煤型气区。

通过对西北缘各区天然气单井产量的统计发现,油型气区内天然气,无论是溶解气还是气顶气其产量均较低。向西过渡至混合气区,如五一八区交界处的546井区,平均单井产量近

$2 \times 10^4 \text{ m}^3$, 并有少量凝析油产出。再向西至煤型气区即克75井区, 天然气单井产量均达到 $2 \times 10^5 \text{ m}^3$ 以上, 特别是克75井达到 $5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 以上, 同时有近 30 m^3 的无色凝析油产出。无疑, 两套源岩的不同母质类型及成熟度决定了不同的生气强度, 从而控制了平面上天然气的单井产量。

(4) 纵向分布上, 油型气为多层系储集, 煤型气为二叠系储集。

西北缘油型气由于来自玛湖凹陷, 当沿二叠系或不整合面运移至断阶带后, 断裂的沟通造成上、下盘不同层系均含油气。或者说断裂断至哪个层位, 哪个层位就含油气。而煤型气由于来自克-乌断裂下盘的佳木河组暗色泥岩层, 当上覆乌尔禾组(P_2w)有良好的储集条件时, 天然气便聚于其中, 如克75、克77井乌尔禾组气藏; 当上覆乌尔禾组缺乏储集条件时, 天然气便在佳木河组内部火山岩裂缝性储层中聚集起来, 如561井和581井佳木河组气藏。因此, 可以认为, 煤型气是就地生成、就地储集。

本项研究工作得到范光华高级工程师的指导和帮助, 谨致谢意!

参 考 文 献

- 1 戴金星等. 天然气地质学概论. 北京: 石油工业出版社, 1989, 55—62
- 2 Schoell, M. Genetic characterization of natural gases. *AAPG Bull.*, 1983, 67(12), 2225—2238
- 3 邵建军. 中国科学院地球化学研究所研究年报. 北京: 科学出版社, 1988, 249—257
- 4 杨 斌等. 油气资源评价研究丛书之2. 北京: 石油工业出版社, 1988, 489—499

GENETIC TYPES AND DISTRIBUTION REGULARITY OF NATURAL GAS IN NORTHWEST MARGIN OF JUNGGAR BASIN

Wang Yutao

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Xinjiang Petroleum Administration)

Abstract

Natural gas in the northwest margin of Junggar Basin could be classified into oil-type gas, mixed gas and coal-formed gas according to its genesis, and could also be divided based on the storing forms into dissolved gas, gas-cap gas and condensate gas. The distribution of different genetic gases may coincide with that of the source rocks; oil-type gas is mainly distributed in oil-bearing strata from Carboniferous to Jurassic in the main body of the hanging wall of Karamay-Wurehe fault; coal formed gas is predominantly distributed in the Upper Permian Wuerhe Formation and Lower Permian Jiamuhe Formation of Ke-75 wellblock in the south of No. 5 district; mixed gas primarily preserved in the Upper Permian Wuerhe Formation of 546 wellblock in No. 8 district.