

# 川西坳陷上三叠统烃的运移相态研究

饶 丹

(中国新星石油公司实验地质研究院, 无锡 214151)

本文着重从微观角度对川西坳陷中段上三叠统天然气运移的相态进行研究, 认为本区天然气的运移经历了水相—气、水两相—气相的相态转换, 为正确认识该区油气富集的规律及勘探目标提供了依据。

关键词 川西坳陷 运移相态 芳烃 硫化氢

作者简介 饶丹女 32岁 工程师 石油地质

天然气运移研究对天然气藏的形成和分布规律的探索是至关重要的。与石油相比, 天然气由于具有多成因、多来源、多阶段生成和流动性强的特点, 导致其运移的相态更具复杂性。天然气的运移有不同的方式, 可以以溶解的方式即溶于水相或油相的方式进行, 也可以以气相、扩散的方式进行。不同的运移方式, 可造成天然气在运移过程中, 由于各组分自身的差异及其运移途径中所接触的各种介质而发生的物理(如重力分异、地层色谱效应、水溶分异等)、化学(如生物化学作用、氧化作用等)作用, 使其组分随运移距离而发生不同的变化。现今侏罗系红层气藏中天然气性质的差异是气源不同所引起还是运移效应分异所致? 川西坳陷中天然气是以水相、气相运移还是以扩散的方式运移? 是一次运移聚集而成还是多期次运移的迭加? 一系列的问题, 目前认识不一。这些问题的解决不仅关系到正确地认识该区油气富集的规律, 而且更主要关系到勘探目标的选择。

前人在研究川西坳陷上三叠统天然气运移的相态问题上主要存在两种分歧。一是“水溶隆升脱气”。认为当气体溶于水时必然是与固体物质溶于水一样, 先饱和而后才游离, 这就是说含气区的地下水都是饱含溶解气的, 在地层压力较大或地下生气量较少时则不可能有游离气存在, 只有当地层压力下降时, 被溶解的气才能游离出来形成气藏, 即所谓水溶隆升成藏理论<sup>[1]</sup>。二是“生烃增压气相运移”。认为在一定体积的液体中溶解气体的重量与该气体的压力

成正比, 即“亨利定律”。也就是说天然气的溶解度是随压力的增加而增加, 当压力减小时, 溶解度也减少, 当某气体的分压力等于零时, 即在液面上不存在某气体时, 该气体在水中的溶解度也必然为零。所以, 游离气与溶解气必须是共存的, 绝不会出现先饱和而后才有游离气的现象, 且天然气在水中的溶解度有限, 并进一步计算出川西地区 2000km<sup>2</sup> 范围内整个上三叠统水溶气量与游离气量之比为 1 : 32, 水溶气所占比例仅为游离气的 3% 左右, 大量游离气的存在导致压力增高, 使该区成为超压带中心, 天然气必将进行垂向或侧向地运移。

笔者认为以上两种观点都过于绝对, 因为<sup>[1]</sup>亨利定律只适用于密闭容器, 即在密闭的情况下, 压力愈大, 溶解气体重量愈多, 但不可能将液面上的气体完全拿开(因密闭)。另外, 我们可以做一个实验, 如在半杯蒸馏水中加入天然气待其饱和, 而后将杯盖打开, 将液面上的气体全部释放掉, 此刻这杯水一定不能喝, 并有怪味(含 H<sub>2</sub>S 等), 若将其加热, 定会或多或少地释放出部分天然气, 这是因为水作为一种溶剂, 对溶质具有一定的溶解能力, 特别是天然气中 C<sub>3</sub> 以上的重烃, 愈重愈易溶于水, 而 H<sub>2</sub>S 等极性较强的化合物也易溶于水, 且压力愈大, 溶解度愈大。<sup>[4]</sup>并非一定要饱和以后才有游离气的出现, 因天然气的溶解有一个过程, 水作为溶剂, 是有选择性地溶解, 先是极性较强的化合物, 较重的组分, 而后才是较轻的组分。在这个溶解过程中, 甲烷等较轻气体在

安风山. 四川盆地西部碎屑岩领域天然气富集规律及大中型气田预测与评价. 国家攻关 85-102-07-02 报告. 1995  
李汶国. 四川盆地地质结构与天然气藏勘探新领域区划研究. 国家攻关 85-102-07-01 报告. 1995

未被完全溶解的情况下不可能原地等候,而是不断向上扩散,特别是在地下两三千米,水温较高,对天然气的溶解度则相应下降。因此,在部分气体溶解到地层水中的同时也存在未被溶解的游离气。总之,在地层原始状态下,游离气与溶解气是共存的。并通过进一步的研究,认识到川西坳陷中段上三叠统的天然气早期是以水相为主的方式进行运移,中期则是气水混相运移,到了晚期则呈独立气相进行运移,其地质化依据如下。

### 1 芳烃

芳烃作为一种活跃的亲水极性化合物,极易为水所溶解而随之迁移,它与饱和烃相比,抗氧化、氧化的能力相对较强,具有化学性质相对稳定的特点。故其含量的变化在反映运移相态方面比较敏感。一般说来,在水相运移中起主导的物理化学作用是溶解作用,沿着运移方向,难溶组分先脱溶,易溶组分由于后脱溶而相对富集,因此,随运移距离的增加,

芳烃相对含量增加;在气相运移中起主导的物理化学作用是地层色谱效应,即岩石对各种烃类的吸附量不同,导致运移的前方富集难以被吸附的组分,由于芳烃是极性化合物,相对于正构烷烃和环烷烃等非极性化合物而言,极性化合物更易被岩石吸附而使运移的前方非极性组分含量相对增加,随运移距离的增加,芳烃含量则逐渐减少。另外,天然气的运移都与水动力有关,气藏若遭受水洗作用也会使芳烃含量降低,因芳烃的溶解度大,除去的相对速率要快,特别是轻芳烃最易受水洗作用的影响而几乎全部被洗掉。

图 1 是川西坳陷天然气组成结构分布图,由 4 个系列化合物组成:正构烷烃、环烷烃、芳烃、异构烷烃。这一综合资料的获得反映了川西陆相天然气形成、运移、聚集和保存等方面的多种信息。图中天然气存在着最突出的几点特征:一是川西坳陷中段浅层天然气均为腐殖型,表现在明显具有异构优势,环烷烃、异构烷烃、芳烃 3 个系列化合物曲线不同程度刺穿正构烷烃曲线,表现出 型腐殖气的典型特

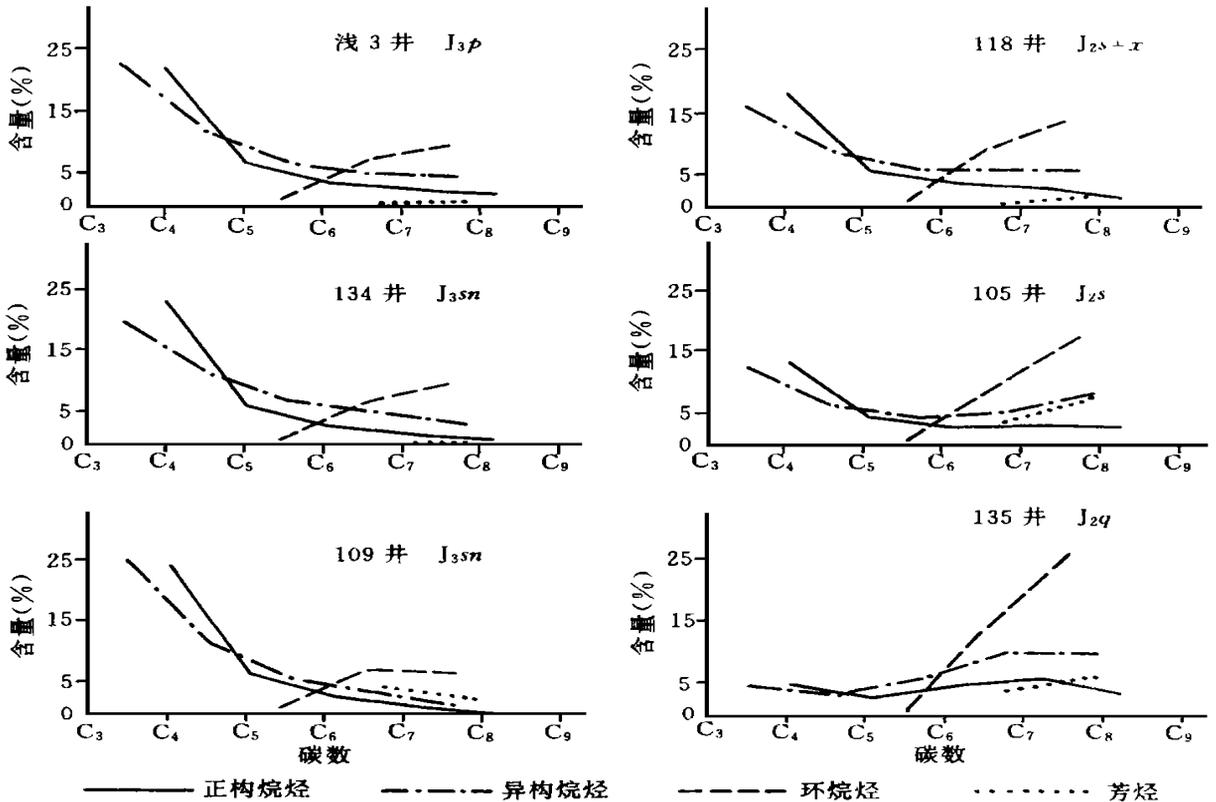


图 1 川西坳陷天然气组成结构分布图

Fig. 1 Distribution of components for the natural gas in the West Sichuan Depression

征;二是正烷烃都不谋而合地具有  $C_4 > C_5 < C_6 > C_7 > C_8$  的正常组合序次,反映出本区天然气未经菌解、氧化、水洗等作用破坏,具有较好的保存条件;三是各气样正烷烃、环烷烃、异构烷烃曲线几乎都具有相同的主峰(正丁烷、甲基环己烷、异丁烷),说明它们都来自同一气源;四是芳烃含量的变化在不同层位之间存在着明显差异:千佛崖组的两个气样芳烃含量均较高,占总组成的 15% 以上(图 2);沙溪庙及遂宁组的气样芳烃含量则有高有低,在  $C_6$  组成三角图上高者可达 55%,低者仅含芳烃 1% 左右;蓬莱镇组的 6 个气样则完全一致地具有低芳烃特征,在  $C_6$  组成中,芳烃相对含量全部低于 3.5%。由于它们的气源相同,保存较好,那么造成侏罗系红层天然气组分间差异的原因,则显然是由运移效应所致,千佛崖

组芳烃含量较高,是一种以水相运移为主的富集成藏特征;往上至沙溪庙组、遂宁组,由于芳烃含量高高低低,反映出一种气水混相运移的特征,既存在水相运移出溶富集的气,又存在独立气相运移的天然气,分析早期生成的天然气量不多,多溶解于水中随水迁移至千佛崖组,而到了生气高峰期,大量生成的天然气来不及全部溶解就以水为介质,通过气泡的形式穿过地层水而往上运移,造成气水的混相运移;新场气田蓬莱镇组天然气具低芳烃的特点,是一种以地层色谱效应为主要影响因素的运移富集特征,在独立气相运移的过程中,随着层层岩石的吸附,芳烃相对含量则愈来愈低。这就充分反映出侏罗系天然气的富集并非一次完成,现今的油气分布现状是多期次运移迭加的结果。

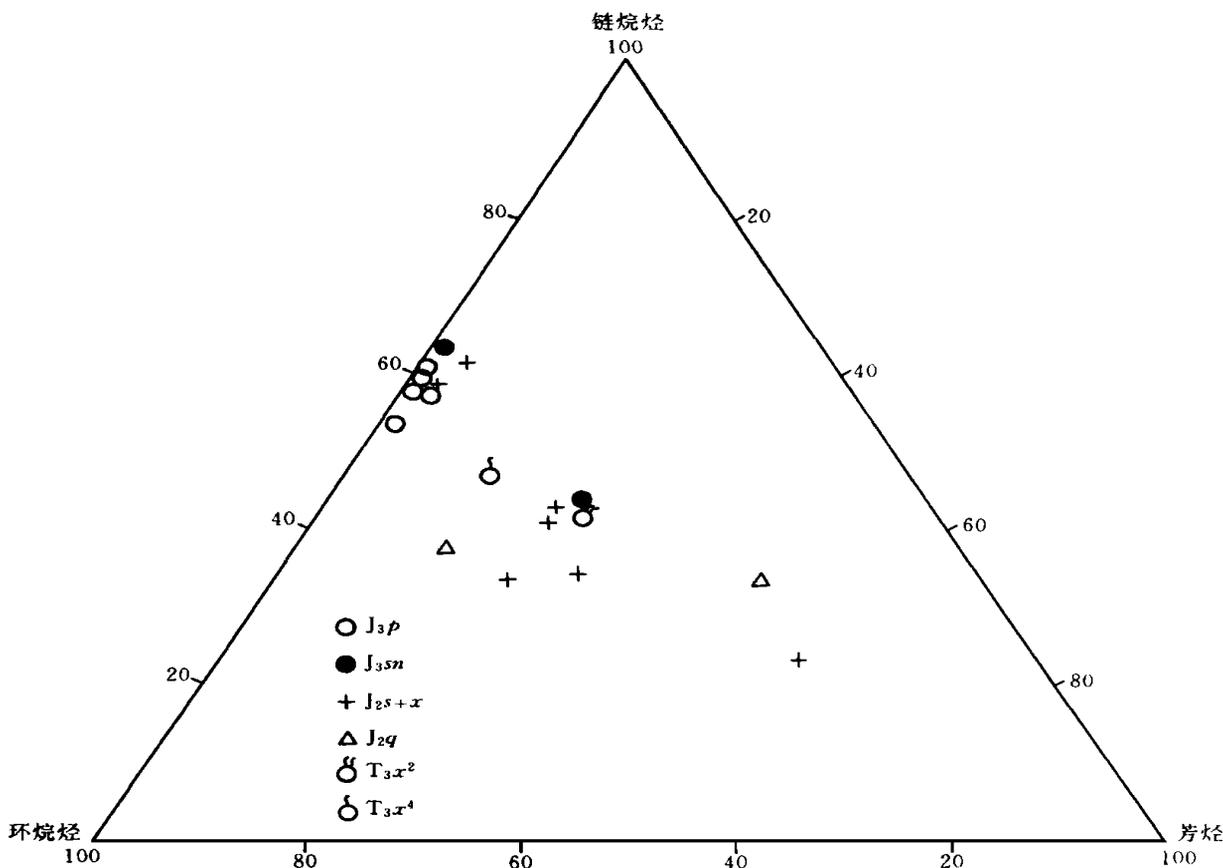


图 2 川西天然气  $C_6$  组成三角图

Fig. 2 Triangular diagram of  $C_6$  component for the natural gas in West Sichuan province

## 2 硫化氢

硫化氢是一个极性很强的化合物,它在水中的

溶解度很大,并易与水中的  $Fe^{2+}$  形成自生黄铁矿,因此,在分析水相运移时人们常用  $H_2S$  组分作为指标。以前,人们一致认为川西坳陷致密砂岩气藏中所

产出的天然气, 历来不含  $H_2S$ ,  $CO_2$  的含量亦较理论值呈数量级下降, 是一种烃气浓度高, 酸性气体含量极低微的优质天然气, 并将这一特征解释为川西坳陷的天然气长期与水共存于陆相红层的结果, 认为硫化氢都溶解到水中去了, 是水相运移的明显标志。而今, 我们收集了孝泉、新场、合兴场、丰谷等气田天然气  $H_2S$  含量 (见表 1), 从须家河组至蓬莱镇组, 共 35 口井, 每口井都或多或少地含有  $H_2S$ , 最高含量达  $0.2374\text{mg/L}$ , 最低也有  $0.0539\text{mg/L}$ , 可见, 以前认为  $H_2S$  含量均为零是错误的, 只是当时由于各种原因人们未将其检测出来, 如今我们不得不重新认

识它的存在, 这也从一个侧面反映出川西坳陷的浅层气并非单纯靠水相运移而来。表中源岩( $T_{3x}^{4+5}$ ) 天然气  $H_2S$  平均重量为  $0.1247\text{mg/L}$ , 蓬一段平均为  $0.1393\text{mg/L}$ , 与母质气接近, 说明蓬莱镇的气基本上是呈独立气相运移而成, 未见水溶分异的痕迹; 千佛崖组则刚好相反,  $H_2S$  平均含量相对最低, 仅  $0.0745\text{mg/L}$ , 折射出大规模水相运移的参与; 沙溪庙组  $H_2S$  平均含量为  $0.0890\text{mg/L}$ , 遂宁组平均  $0.0882\text{mg/L}$ , 介于前两者之间, 反映出气水混相运移的特征。

表 1 孝泉- 丰谷气田  $H_2S$  含量数据表Table 1 Data of  $H_2S$  content in the Xiaoquan- Fenggu gas fields

井号	层位	井深 (m)	$H_2S$ 含量 (mg/L)	平均	井号	层位	井深 (m)	$H_2S$ 含量 (mg/L)	平均
100	$T_{3x}^4$	缺	0.1167	0.1247	109	$J_{3n}$	缺	0.0583	0.0882
175	$T_{3x}^4$	缺	0.1538		105	$J_{3n}$	缺	0.1180	
96	$T_{3x}^{4+5}$	缺	0.1036		XQ36	$J_{3p}^2$	1100	0.1766	
152- 1	$J_{2q}$	2800	0.0701	0.0745	285	$J_{3p}^2$	1191	0.0656	0.1276
135	$J_{2q}$	缺	0.0610		26	$J_{3p}^2$	1154	0.1120	
163	$J_{2q}$	2760	0.0924		XP2	$J_{3p}^2$	缺	0.1136	
114	$J_{2s}$	2146	0.0912	0.0890	Q29	$J_{3p}^2$	缺	0.1703	0.1393
133	$J_{2s}$	缺	0.0704		259	$J_{3p}^1$	缺	0.1904	
160	$J_{2s}$	2680	0.0928		257	$J_{3p}^1$	1120	0.1124	
162- AB	$J_{2s}$	缺	0.1650		220	$J_{3p}^1$	缺	0.1636	
136	$J_{2s}$	缺	0.0975		283	$J_{3p}^1$	1120	0.1439	
129	$J_{2s}$	2638	0.0614		Q27	$J_{3p}^1$	844.1	0.1798	
132	$J_{2s}$	缺	0.0892		219	$J_{3p}^1$	缺	0.2374	
134- 2	$J_{2s}$	2422.74	0.0539		153	$J_{3p}^1$	缺	0.0857	
152- 2	$J_{2s}$	2470	0.0628		158	$J_{3p}^1$	缺	0.0679	
153	$J_{2s}$	缺	0.0686		Q12	$J_{3p}^1$	缺	0.0849	
139	$J_{2s}$	缺	0.0871		Q13	$J_{3p}^1$	1150	0.1267	
111	$J_{2s}$	缺	0.1281						

从芳烃及硫化氢含量的变化规律, 追索川西坳陷上三叠统煤成气运移相态的演变: 由早期的水相到气—水两相, 最后是通过断裂及微裂隙运移的游离相。

结合构造演化史、油气史、孔隙史及生烃史等, 笔者对川西坳陷中段天然气的运聚进行了动态的、综合的分析:  $J_2$  前, 须五、须四段煤系地层中的暗色泥岩、碳质页岩和煤层早期生成的天然气, 迅速溶解

到其上(白田坝、千佛崖)下(须三段)层位的地层水中, 随孔隙水运移, 极少部分呈游离相运移、扩散, 此时源岩仅局部成熟, 储层孔隙基本正常; 到了  $J_3-K_1$  主力生气时期, 鸭子河、孝泉、新场、合兴场等地区下伏的源岩大部分都已成熟, 大量生成的天然气部分呈独立气相形式, 部分以水溶相的方式, 在异常高压及构造应力的作用下, 沿断裂、裂缝作垂向运移, 由于侏罗系主要为河流相夹湖相沉积物组成的

砂泥岩互层,岩性变化大,纵横向上都极其不稳定,不可能直接由  $T_{3x}^5$  向上运移至沙溪庙,而必须呈纵横交替式的向上运移,即母质气在向上运移的过程中,遇到好的疏导层或裂缝、微裂缝、层间缝等通道网络,就向东做侧向运移,即阶梯式的向孝泉、新场等气田逐渐致密的侏罗系地层中运移; $K_1$ 以后,强烈的挤压运动使地层发生褶皱,大量的今构造的形成并伴生的裂缝系统,使已达高成熟的烃源岩生成的大量天然气呈连续气相喷射流状沿新场气田东侧的迭加断裂系统垂向运移至蓬莱镇组,此时新场地区蓬莱镇组储层孔隙度平均达 13.8%,并在强烈的挤压作用下产生大量水平微裂缝,使源岩及蓬莱镇下伏的天然气沿新场构造东部由 NEE 及 SN 向构造带迭加而成的断裂系统向上运移的过程中遇到好

的渗透层、微裂缝再做由东向西的横向运移,在具有封盖保存条件的储集体中达到动态平衡而次生成藏。

#### 参 考 文 献

- 1 陈荷立. 油气运移研究的有效途径. 石油与天然气地质, 1995, 16 (2)
- 2 付晓泰等. 天然气组分的溶解特征及其意义. 地球化学, 1997, 26 (3)
- 3 赵永胜. 川西前陆盆地上三叠统储层流体动力学机制. 石油与天然气地质, 1997, 18(3)

(收稿日期: 1998 年 3 月 4 日)

## STUDY ON FACIES PATTERNS DURING THE MIGRATION OF THE UPPER TRIASSIC HYDROCARBON IN THE WEST SICHUAN DEPRESSION

Rao Dan

(*Research Institute of Experimental Geology, CN SPC, Wuxi 214151*)

#### Abstract

In this paper, study is focused on the facies patterns during the migration of the Upper Triassic natural gas in the middle part of the West Sichuan Depression from microcosmic angles. It is suggested that the migration of natural gas in this area have experienced water-vapor+ water-vapor facies pattern transformation. This provides basis for the correct understanding of regularities for hydrocarbon enrichment and exploration targets in this area.

**Key words** the West Sichuan Depression, facies patterns during migration, aromatic hydrocarbon, hydrogen disulfide