

柴达木盆地三湖地区生物气横向运聚成藏研究

李本亮¹⁾ 王明明¹⁾ 魏国齐¹⁾ 张道伟²⁾ 王金鹏²⁾

1) 中国石油勘探开发研究院廊坊分院天然气地质所, 河北廊坊, 065007

2) 中国石油青海油田分公司勘探开发研究院, 甘肃敦煌, 736200

内容提要 本文系统研究了地层水盐度对微生物菌生长发育的制约、矿化度对生物气在地层水中溶解度的影响、泥岩盖层中高矿化度地层水对封盖性能的控制作用。柴达木盆地三湖(台吉乃尔湖、涩聂湖、达布逊湖)地区主要受南缘昆仑山冰雪溶水的补给, 地层水从南向北运移; 北斜坡第四系地层水的矿化度最高。北斜坡泻水—汇水区高盐度条件下生物菌的活跃程度受到抑制, 影响生物气大量生成并从中游离出来, 中央凹陷及其南部低矿化度条件下更适宜生物气的生成。生物气在地层水中的溶解度随矿化度的增高明显降低, 南缘低矿化度水中饱和的生物气经地层水从南向北携带, 在北斜坡高矿化度条件下大量游离出来。实验测试证明泥岩饱和和高矿化度地层水时, 其突破压力增加约100倍, 封盖性能大大提高, 有效地保存了北斜坡游离相生物气。研究显示生物气总体上具有向北斜坡以水溶气方式进行横向运聚的特征, 展示了北斜坡气源补给充足, 具有满坡含气的巨大勘探潜力。结合生物气本身的发育特征和三湖地区的水文地质条件, 提出了生物气首先以水溶气方式发生远距离的横向运移以后再以游离相进行垂向运聚成藏, 这一结论对下一步三湖地区生物气勘探具有直接的指导意义。

关键词 生物气 水溶气 溶解度 盐度 水动力 柴达木盆地

柴达木盆地三湖(台吉乃尔湖、涩聂湖、达布逊湖)地区以第四系生物气勘探为主, 面积65000km², 第四纪地层厚3200m, 成岩程度低, 孔隙度和渗透率均较高; 第四系生物气资源量达12476×10⁸m³, 现今探明生物气地质储量1472×10⁸m³, 三级储量约3500×10⁸m³, 是目前世界上发现的第四系生物气规模最大的地区(图1)。关于三湖地区生物气的运聚规律, 顾树松(1993)等人认为是由生物气以游离相就近垂向运聚成藏的。从1952年发现天然气藏以来, 在包括南斜坡的各个构造部位都进行了钻探, 几乎所有的工业气流井或显示井都集中在北斜坡, 南斜坡虽钻十余口探井, 却无一口井见到天然气显示。根据三湖地区沉积、构造发育特征和天然气成藏条件, 相对于中央凹陷呈对称分布的南斜坡部位多年来一直没有发现天然气藏, 是否受本身的地质条件制约、天然气运移聚集的主要控制因素、生物气运移相态及是否发生过远距离运移聚集等将是本次研究中期待解决的问题。

1 三湖地区水文地质条件

1.1 第四系水动力条件

从现今水系来看(图1), 三湖地区入湖水系分布

具有明显的不对称性, 南部昆仑山海拔5000~6860m, 冰川广布, 冰雪融水丰富, 坡降和流量大, 流经南斜坡入湖。北部祁连山海拔低, 雪山少, 水系规模小, 因而在北斜坡多属暂时性小规模短暂时水流。所以第四纪, 特别是30ka 以来三湖地区的水源主要来自昆仑山的冰川融水(郑绵平等, 1996)。根据盆地周缘多年来平均年径流量统计, 可达37.65×10⁸m³。以平均年蒸发量2570mm 计算潜水的平均值, 推算盆地潜水的年动水量为39.65×10⁸m³, 如果加上沼泽和盐泽的潜水平衡因素, 潜水的补给量会成倍地超过以上数据。

盆地内第四纪地层中以地下潜水为主, 含水层位属上更新统和全新统(Q₃₊₄)。从古盐度分区来看, 盆地北斜坡东部盐湖地区为微咸水区, 表明受锡铁山、埃姆尼克山物源淡水补给的影响较弱; 盆地南部为淡水—微咸水区, 表明盆地南部有持续性的水流供给; 北斜坡涩北、台南地区为半咸水区, 表明蒸发量大于供给量, 水体较咸(吴必豪等, 1996)。本次系统研究了三湖地区钻井试油气资料中的地层压力、海拔高程、地层水密度, 并引用流体势的概念采用如下公式计算三湖地区北斜坡部位的水势分布:

$$\Phi = H \cdot g + P_f / \rho$$

收稿日期: 2002-04-15; 改回日期: 2002-08-07; 责任编辑: 周健。

作者简介: 李本亮, 1971年生。2000年获南京大学博士学位。现为中石油勘探开发研究院廊坊分院天然气地质所工程师。从事天然气地质、构造地质方面研究。通讯地址: 065007, 河北廊坊市44号信箱, 天然气地质所; 电话: 010-69213551; Email: libenliang66@sohu.com。

式中, Φ 为流体势(又称水势头); g 为重力加速度; H 为相对于某一基准面的海拔高程; P_f 为地层压力; ρ 为地层水密度。最后得到三湖地区北斜坡的地层水水势头平面分布图(图2)。北斜坡的南边比北边的水势头要高, 根据地层水从高势区流向低势区的普遍原理, 水势头等值线显示地层水向北斜坡北缘运移的特征。正常情况下沉积盆地早期的汇水区为构造低洼部位, 三湖地区地面汇水区也明显偏向第四系构造凹陷的北斜坡, 北斜坡为主要的泄水区; 现今地下水汇聚(泄水区)在鸭湖、台吉乃尔构造部位, 这一点从地面径流也有所显示(图1)。

1.2 第四系水化学特征

昆仑山常年雪水补给, 从山前到三湖凹陷北部, 形成了明显的水化学分带。愈向盆地中心地下水的矿化度愈高, 流量变小, 蒸发量增加; 水型有从硫酸钠型逐渐变为氯化镁型和氯化钙型的趋势: ①位于昆仑山山麓或山岳区地下水急剧交替带水的矿化度一般小于 1g/L , 多为重碳酸氢钠型或碳酸钠型, 地下水埋藏深度不稳定; ②分布在山前冲积、洪积区的

缓慢交替带, 矿化度随向盆地中心的流向而增高, 变化在 $1\sim 50\text{g/L}$ 之间, 水型从硫酸钠型逐渐变化为氯化镁和氯化钙型; ③位于滨湖洼地的潜水, 矿化度一般 $50\sim 300\text{g/L}$, 个别为 300g/L 以上, 多属氯化钙、镁型。

统计三湖地区所有钻井试气资料中各个层系地层水矿化度值, 绘制矿化度等值线图(图3), 显示台南、涩北为矿化度最高地区(高达 180000×10^{-6})。主要是因为昆仑山雪(淡)水在向北运移过程中由于地面的大量蒸发和地下水沿途溶解盐层中的矿物质, 使得运移到北斜坡泄水区时矿化度增加。

第四纪地层中介屑类生物组合分类显示现今的北斜坡为盐水—咸水属种区, 属种单一、趋于咸化, 沉积少量膏盐; 北斜坡北缘、中央凹陷区及其南边物种多样, 为地层水淡化地区(孙镇城等, 1996)。

2 盐度对生物气形成的抑制作用

生物气的形成除了受到氧化还原条件、温度、压力、pH 值等因素影响外(Rice et al., 1981; 张义刚

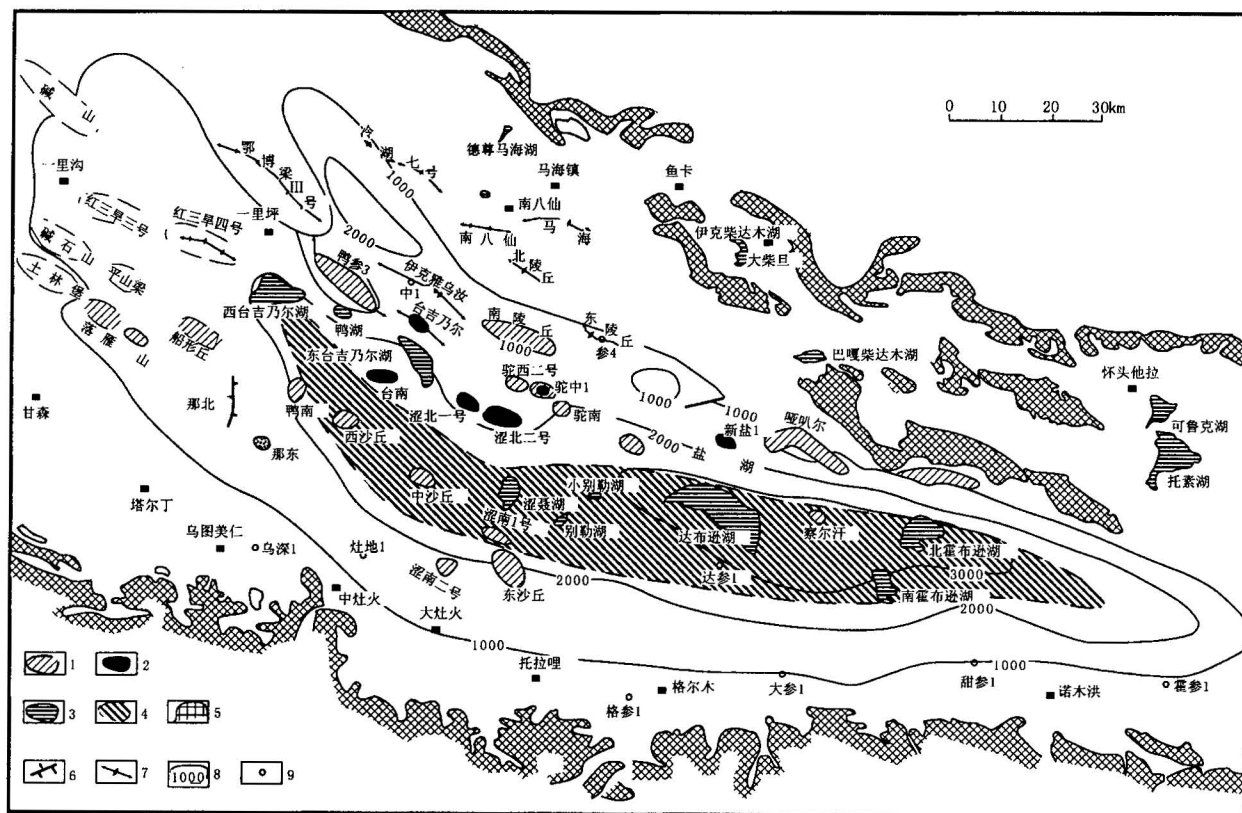


图1 柴达木盆地三湖(台吉乃尔湖、涩聂湖、达布逊湖)地区地质概述图

Fig. 1 Geological sketch map in the Sanhu (Taijinar Lake, Suli Lake, Dabsan Lake) area, Qaidam basin
1—可能圈闭; 2—发现气田(藏); 3—湖泊; 4—中央凹陷; 5—盆地边界; 6—断层; 7—地面构造; 8—第四系底界等深线(m); 9—井位
1—Possible trap; 2—found gas field (pool); 3—lake; 4—center depression; 5—basin border; 6—fault; 7—surface structure;
8—topography line of Quaternary bottom; 9—well location

等,1983),还受到水介质中矿化度的影响。据测定产甲烷菌在矿化度不超过 4000×10^{-6} 的盐水介质中发育良好,前苏联虽然在地层水矿化度为 $20000 \times 10^{-6} \sim 35000 \times 10^{-6}$ 的水中仍发现产甲烷菌,但是甲烷产率降低(包茨,1988)。三湖地区北斜坡地层水矿化度在 100000×10^{-6} 以上,对甲烷菌的生长、繁殖具有强烈抑制作用。

钠、钾离子是动植物生长的基本元素,其浓度直接影响甲烷菌的生长、发育,当外界水体中离子浓度过高时,作为原核生物的甲烷菌细胞体内与水体由于浓度差而形成渗透膜,使甲烷菌细胞与水体隔开,从而影响细胞的生存。沃氏甲烷球菌细胞中 K^+ 浓度为 $15700 \pm 500 \text{ mg/L}$, Na^+ 浓度 $3160 \pm 50 \text{ mg/L}$,钾、钠离子浓度总和在 20000×10^{-6} 时就强烈抑制甲烷菌的活动。三湖地区北斜坡地层水矿化度几乎都在 100000×10^{-6} 以上,金属阳离子浓度远远超过了他们强烈抑制细菌活动的上限值(表1)。北斜坡台

南、涩北等气田地层水金属阳离子浓度都强烈抑制甲烷菌活动。地层水矿化度具有从西北向东南降低趋势,东南昆仑山前的甜参1井、霍参1井的地层水是淡水,据此推测在三湖凹陷中央及南斜坡低矿化度水体中适合于生物菌活动。

表1 三湖地区部分探井地层水矿化度($\times 10^{-6}$)

Table 1 Ground-water salinity ($\times 10^{-6}$) of some drilling well in the Sanhu area

阳离子	台南5	涩中8	聂深1	台中2	驼峰1	察地2	甜参1	霍参1
$K^+ + Na^+$	81583	58702	47862	63694	26633	18604	3943	384
Ca^{2+}	5145	3151	2935	2712	4834	1780	835	10
Mg^{2+}	2693	1621	537	1476	733	934	385	6
方向	西北—————→东南							

在三湖地区从南向北采取地层水样,以该地层水培养生物菌,水中微生物细菌的总量随氯离子含量的增高而减少,甲烷菌个数也大体上与氯离子浓度呈消长关系(图4)。在北斜坡以北随着矿化度和氯

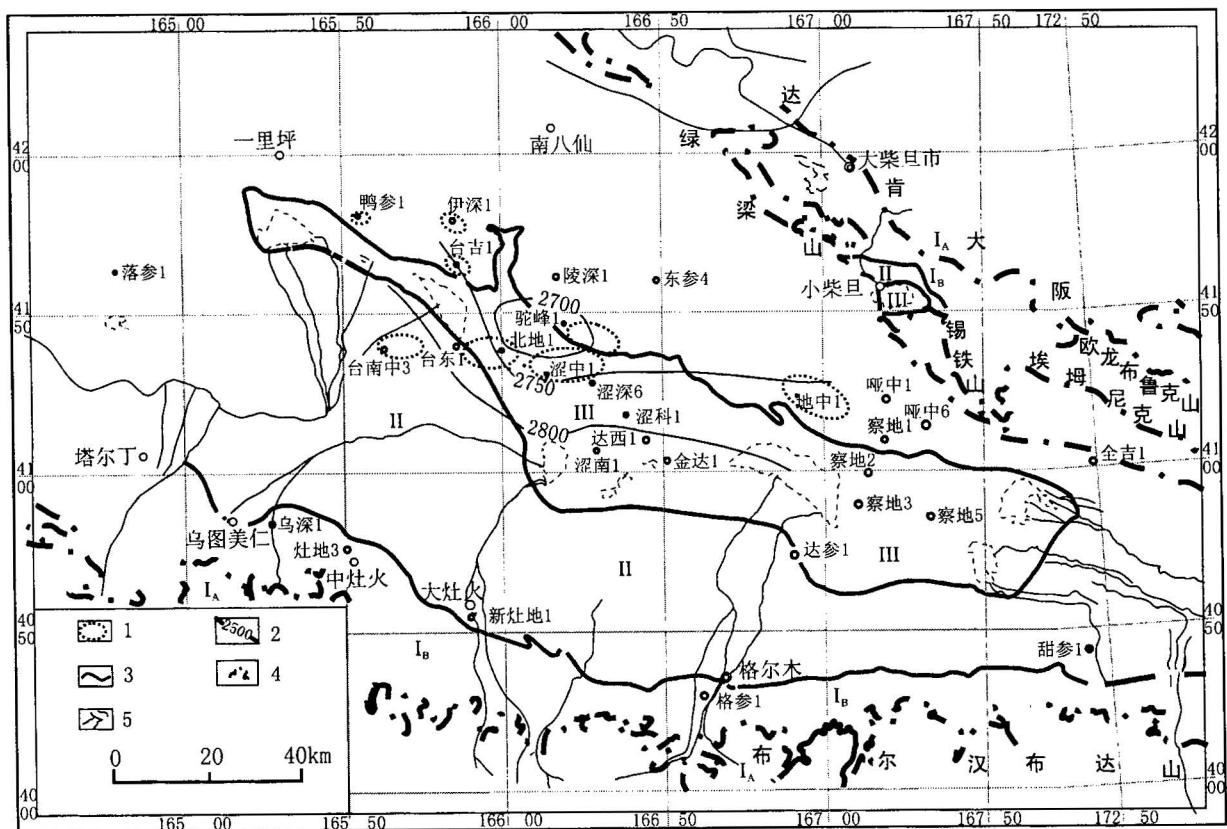


图2 三湖(台吉乃尔湖、涩聂湖、达布逊湖)地区第四系地层水流势分布图

Fig. 2 Fluid potential energy map of ground-water in the Sanhu area, eastern Qaidam basin

I_A—积极交替带(裂缝和喀斯特区); I_B—积极交替带(洪积平原区); II—缓慢交替带; III—停止交替带;

1—气田(藏); 2—水势头等值线(m); 3—地下水分带界线; 4—老山边界; 5—湖泊或河流

I_A—Active commutation belt (crack & karst); I_B—active commutation belt (diluvium plain); II—slow commutation belt;

III—stop commutation belt; 1—Gas field (pool); 2—isoline of water potential energy (unit: m); 3—zone borderline of ground water;

4—borderline of orogen; 5—lake & river

15000×10^{-6} 。当氯离子浓度过高时反而抑制甲烷菌的活动。现今三湖地区北斜坡气藏所在部位从地面向地下深处各层系地层水中氯离子大都在 50000×10^{-6} 以上,这就强烈抑制了生物气的发育,而中央坳陷及南斜坡盐度明显较低,为淡水—微咸水水体,从盐度条件看更加适合于甲烷菌的生长发育和大量生物气的形成。

3 生物气运聚方向及运移相态

前人(顾树松,1993)在大量工作的基础上认为三湖地区第四系生物气以游离气垂向运聚成藏。北斜坡 1500 km^2 范围内已发现生物气地质储量约 $3500 \times 10^8 \text{ m}^3$, 涩北—台南气田储量丰度约 $25 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$, 仅靠三湖地区有机碳含量为 0.3% 的烃源岩能否满足生物气就近运聚的资源基础?北斜坡地层水盐度对产生生物气有抑制作用,生物气形成条件不如南斜坡好。天然气分子半径小、易溶于水、易扩散,天然气成藏的关键就是聚集量必须大于散失量,呈动态平衡成藏(郝石生等,1994)。在高矿化度抑制条件下生物气的供给量不足,垂向运移不能满足资源供给量时,需要横向运移对资源量的补给才能满足现今北斜坡大规模的天然气聚集。据统计,天然气聚集系数 1.8% 的概率为 95%, 3.7% 的概率为 50%, 12.9% 的概率为 5%。要满足涩北—台南约 $3000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的储量规模,即使生烃强度达 $50 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$, 聚集系数为 4%, 需烃源面积 15000 km^2 ; 取聚集系数 12% 时,需烃源面积 5000 km^2 。在该地区本身没有深部断裂沟通烃源引导天然气垂向运聚时,需要横向运聚才能满足成藏条件。

西西伯利亚目前发现世界上最大的乌连戈依气田,经深入研究后认为部分天然气是以水溶相发生远距离的横向运移后聚集成藏(Littke et al., 1999)。上下都为泥页岩封隔的白垩纪地层中大量饱含气的地层水以 $25 \text{ km} / \text{Ma}$ 速度由南向北运移,在地层上倾方向由于压力、温度的变化,天然气溶解度降低,大量天然气析出 ($150 \text{ g 气} / \text{m}^3 \text{ 水}$) 后在北部聚集成藏,这合理解释了南缘大量的天然气在北部聚集和气藏内混合大量生物气的特征。

生物气主要由甲烷组成,常温常压下水中的溶解度比石油大 100 倍(Bonham, 1980),高温高压条件下还要大。Price (1976) 认为,如此高的溶解度说明水溶相是天然气运移的主要机制。目前进行大量水溶气开发的日本,水溶气田一般埋深 $250 \sim 1300 \text{ m}$, 最深 1800 m , 天然气溶解度一般为 $0.5 \sim$

$3 \text{ m}^3 / \text{m}^3$, 最高达到 $10 \text{ m}^3 / \text{m}^3$ 。生物成因浅层水溶气在柴达木三湖地区广泛分布,例如三湖涩北构造东南部钻探的一系列井,钻井中都见有气显示,试气时大量出水时也见微量气,为明显的水溶气。三湖地区北斜坡钻探的构造,不论背斜或向斜部位均含气,气层同水层频繁交互,水层是含气饱和度高的水溶气层,背斜顶部为气层,边部为饱含气的水层,气水同层多。

含水层中水在孔隙流体中占绝大部分,因此水的流动往往包含了水中油气的流动,水流方向往往代表油气运移方向。天然气以游离相运移要面临多相流动的相对渗透率(临界运移饱和度)和毛细管阻力问题。Levorsen (1967) 认为,渗透性地层中非润湿相流体要达到 5%~10% 饱和度才能流动。至于毛细管阻力,游离气相运移比石油运移的阻力要大 1 倍。三湖地区第四纪地层处于成岩作用早期,岩层疏松,孔隙发育,孔隙度一般在 25%~50%; 没有经过成岩压实脱水,所以地层中含水量高,含水量在 25%~60%。处于未成熟阶段的有机颗粒溶解在地层水中,被生活在水体中的生物菌降解后生成的甲烷气首先直接溶解在地层水中,这时生物气主要以水溶气相态发生运移(李明诚,1994)。郝石生等(1994)系统地研究了在不同的成岩阶段油气的运移相态,明确提出了在成岩作用早期形成的生物气主要以水溶相运移。

4 地层水中天然气溶解度的变化

4.1 矿化度对生物气溶解度的影响

随着地层水中盐度增加,天然气的溶解度明显降低(郝石生等,1994)。据大量测试数据统计,盐水中天然气溶解度与纯水中的溶解度之间有如下关系(杨申镛等,1997):

$$G_s = G_o(1 - xy/10^4) \quad (1)$$

式中, G_s 为天然气在盐水中的溶解度, m^3 / m^3 ; G_o 为天然气在纯水中的溶解度, m^3 / m^3 ; y 为含盐浓度, $\times 10^{-6}$; x 为校正系数(温度 $t = 37.8^\circ\text{C}$, $x = 0.074$; $t = 66.7^\circ\text{C}$, $x = 0.05$; $t = 93.3^\circ\text{C}$, $x = 0.044$; $t = 121.0^\circ\text{C}$, $x = 0.033$)。

据郝石生等(1994)对地层水中天然气溶解度与温度、压力和矿化度的系统测试研究后,获得溶解度与温度、压力和矿化度之间有如下关系式:

$$S(t, p, M) = -3.167 \times 10^{-10} t^2 \times M + 1.199 \times 10^{-8} t \times M - 1.063 \times 10^{-10} p^2 \times M - 9.776 \times 10^{-8} p \times M + 2.974 \times 10^{-10} t \times p \times M + 1.623 \times 10^{-4} t^2 - 2.788$$

$$\times 10^{-2}t - 2.059 \times 10^{-5}p^2 + 1.732 \times 10^{-2}p + 9.523 \times 10^{-6}t \times p + 1.194 \quad r = 0.9962 \quad (2)$$

式中, S 为天然气在地层水中的溶解度, $\text{m}^3\text{气}/\text{m}^3\text{水}$; t 为地层温度, $^{\circ}\text{C}$; p 为地层压力, 0.1MPa ; M 为地层水盐度, $\times 10^{-6}$; r 为回归相关系数, $\%$ 。

根据这一关系式就能将天然气在地层水中的溶解度进行定量研究。

4.2 第四系地层水中生物气溶解度变化

从三湖地区现有油气钻井、水文钻井和钾盐钻井中获得的地层水矿化度数据可知, 北斜坡地层水矿化度最高, 台南、涩北矿化度高达 150000×10^{-6} 以上; 南斜坡及其以南地区矿化度低, 在昆仑山前完全为淡水, 乌深1井地下水矿化度仅 3000×10^{-6} , 地面矿化度才 392×10^{-6} 。如果以南斜坡、中央凹陷、涩北—台南的矿化度分别为 3000×10^{-6} 、 10000×10^{-6} 、 180000×10^{-6} , 根据公式(1)计算埋深1500m的地层水溶解度分别为: 南斜坡99% G_o , 中央凹陷95% G_o , 涩北—台南10% G_o 。可见矿化度对天然气的溶解度影响是非常大的。在涩北、台南等由于矿化度高, 地层水溶解度降低, 水中近90%的天然气从地层水中析出来以后在北斜坡以游离相散失或者运聚成藏。

根据天然气溶解度与温度、压力和矿化度的统计关系式(2), 结合地震剖面分别选取第三气层组在南斜坡、中央凹陷以及北斜坡的埋深及其地温、压力和矿化度变化情况, 分别计算了三湖地区各部位天然气溶解度(图5)。南斜坡地层水中天然气溶解度为 $2.285 \text{ m}^3/\text{m}^3$, 中央凹陷溶解度达 $2.887 \text{ m}^3/\text{m}^3$, 向北缘方向由于地层抬升剥蚀和水中矿化度增加, 溶解度依次降低, 最北边溶解度只有 $0.77 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。这就意味着地层水从南斜坡或中央凹陷运移到北斜坡时, 由于地层水溶解度变化, 每立方米地层水可以携带

$1.0 \sim 1.5 \text{ m}^3$ 天然气到北斜坡。

4.3 水溶气潜在运载量的估算

如果盆地内地层水流入量、降雨量与蒸发量保持平衡, 三湖坳陷北斜坡泄水区需要不断补给的地下水流入量约 $36 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ (顾树松, 1990)。30ka 以来形成现今的气候与地形(吴必豪等, 1996), 这期间从南向北的地层水流量为 $108 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。如果以每立方米水中天然气溶解度减少 $1.0 \sim 1.5 \text{ m}^3/\text{m}^3$, 那么由于水溶气的析出可能使地下水将 $100 \sim 150 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的天然气携带到三湖坳陷的北斜坡去。如果以50%的概率时天然气的聚集系数3.7%计算, 那么以水溶气方式横向运移的生物气可能在北斜坡聚集成 $4000 \times 10^8 \sim 6000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上资源量规模。说明三湖地区生物气以水溶气相态从南向北远距离运移以后聚集成藏是完全可能的。

5 地层水矿化度对泥岩封闭的作用

三湖地区第四系泥岩盖层孔隙度大(约35%), 突破压力低, 似乎不能起到毛细管封闭作用。干燥状态下测得岩样突破压力为 $0.02 \sim 0.2 \text{ MPa}$, 一般在 0.05 MPa 以下; 当岩样饱和煤油后渗透率一般下降2~3个数量级, 突破压力上升至 $0.11 \sim 0.8 \text{ MPa}$, 一般在 $0.4 \sim 0.8 \text{ MPa}$ 。三湖地区北斜坡泥岩地层饱和和高矿化度的地层水, 气体要通过泥岩盖层则相当于气水两相条件下气体流动, 天然气对于岩石来说属于非润湿相, 增加流动阻力。据实测结果表明岩石中含有高盐度水后, 突破压力大幅度提高, 一般在 $2.0 \sim 4.0 \text{ MPa}$ 之间, 较干样提高了约100倍, 可见饱和和高矿化度地层水后, 盖层毛细管压力会大大提高而起到良好封闭作用(表2)。

三湖地区第四系泥岩虽然不能作为传统意义的

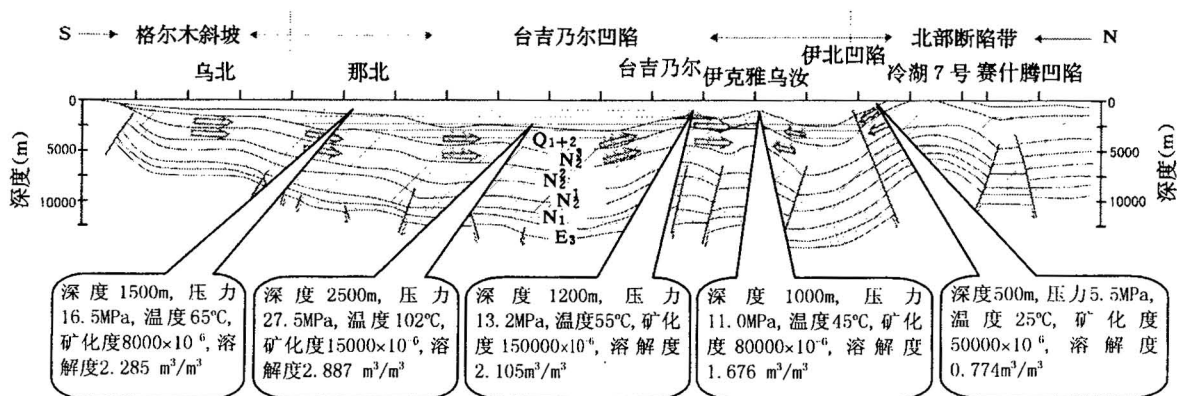


图5 三湖地区南北方向上地层水中天然气溶解度变化

Fig. 5 The variation of natural gas solubility from south to north in the Sanhu area

表 2 地层水矿化度对泥岩封盖性能的影响
Table 2 The salinity of ground-water effects on
break-through pressure of mudstone

井号	井深 (m)	层号	渗透率 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^{-2}$)	孔隙度 (%)	密度 (g/cm^3)	饱和煤油 突破压力 (MPa)	饱和盐水 突破压力 (MPa)
涩中6	760	K4	2.22	33.6	1.81	0.2	3.0
涩中6	832	K4	0.059	37.3	1.72	1.0	4.0
涩中6	1058	K6	0.059	29.5	1.93	0.5	4.0
台南5	1436	K6	0.260	28.5	1.95	0.2	2.0

注：饱和盐水为标准盐水，矿化度为 80000×10^{-6} 。

天然气盖层，但由于沉积后期地层水的剧烈蒸发，矿化度提高；饱含高矿化度地层水的泥岩突破压力提高，能有效封盖下部气藏；三湖地区北斜坡高盐度水体对于生物气成藏具有非常积极意义。

6 生物气运聚成藏规律及勘探方向

柴达木盆地三湖地区第四纪早期发生湖泛(刘成林等,1996),南北方向水动力平衡,淡水—微咸水环境下泥岩中形成的生物气直接溶解在水中或扩散在空气中。第四纪后期由于盆山地貌和干冷气候的形成(刘成林等,1996),盆地内地下水主要由昆仑山的冰雪融水补给;地层水盐度由南向北增高,生物菌的活动性相应减弱;淡水、高压地层水携带生物气向北斜坡上倾方向运移,由于压力减少、矿化度增高,天然气在地层水中溶解度降低,天然气析出,北斜坡原地生成的和早期溶解在水中的生物气在高矿化度下析出以游离气相态进行垂向运聚;北斜坡矿化度高,泥岩封盖性(突破压力)提高,能有效封盖成藏。

在生物气藏的开发过程中进一步证实涩北气田部分气层的气水界面向西北方向倾斜,可能是水动力从南向北冲刷作用的结果。涩北北斜坡东南部气测多在非渗透砂层或薄储层中显示好,渗透性好、厚储层中的气测异常显示反而不好;北斜坡的西北部刚好相反,厚储层、孔渗性能好的储层中为工业气层或气测异常层段;这可能是东南部位的好储层中水动力强,天然气被地层水溶解后从南向北带走,而差渗透层中由于水动力条件弱,部分天然气能够保留下来的缘故。芳烃是地层水中最容易溶解的烃类,随着运移距离的增加水中芳烃含量相对增加;三湖坳陷从南向北甲苯含量呈明显增加趋势,显示水体及其中携带的烃类物质从南向北运移的趋势。发现的工业气流井都集中在北斜坡,南斜坡探井几乎无气测异常显示;这可能与地层水中天然气溶解度高,生

物气没有游离相气析出有关。

总体上生物气具有以水溶相向北斜坡运移聚集的趋势,北斜坡泄水区聚气条件好,具有满坡含气特征。北斜坡生物气资源量供给面积大,气藏储量规模大,充满程度高;不断的进行扩边增层勘探使储量成倍增加,证实了北斜坡满坡含气的特征。在以后的滚动勘探开发中北斜坡的生物气探明储量会进一步的增加。三湖地区下一步的勘探目标应该优先考虑北斜坡的台东、涩东及其北斜坡北缘的台吉乃尔、鸭湖、伊克雅乌汝、南陵丘等构造。这些部位正好是南边的昆仑山水源和北边的祁连山水源共有的泻水区,同时由于蒸发量大,地层水盐度高,是生物气成藏的有利部位。这些构造部位经过钻探部分探井已经发现工业气流,几乎所有的探井都见到良好的气测显示。随着气层识别技术和钻井防污染技术的提高,北斜坡及其北缘的生物气勘探将会进入新的勘探高潮。

在本文撰写过程中廊坊分院钱凯教授、李景明总地质师给予了精心的指导,在此致以衷心的感谢!

注 释

- ① 周瑞年等.1995.柴达木盆地未熟、低熟油气藏形成条件和勘探方向及勘探技术.青海石油管理局.

参 考 文 献

- 包茨.1988.天然气地质学.北京:科学出版社,14~16.
顾树松.1990.中国石油地质志(卷十四).北京:石油工业出版社,430.
顾树松.1993.柴达木盆地东部第四系气田形成条件及勘探实践.北京:石油工业出版社,1~84.
郝石生,黄志龙,杨家琦.1994.天然气运聚动态平衡及其应用.北京:石油工业出版社,1~131.
李明城.1994.石油与天然气运移.北京:石油大学出版社,93.
刘成林,王弭力,陈永志,等.1996.柴达木盆地西部盐类矿床形成机理——“反向湖链”模式.见:郑绵平主编.盐湖资源环境与全球变化.北京:地质出版社,37~45.
孙镇城,李东明,彭立才,等.1996.柴达木盆地第四纪盐湖、微体化石与天然气资源.见:郑绵平主编.盐湖资源环境与全球变化.北京:地质出版社,72~78.
吴必豪,王弭力,刘成林,李长华.1996.柴达木盆地盐湖的特征与形成机理.见:郑绵平主编.盐湖资源环境与全球变化.北京:地质出版社,28~36.
杨申饒,张肖兰,王雪君,等.1997.水溶性天然气勘探与开发.北京:石油大学出版社,24~26.
张义刚,陈焕疆.1983.论生物气的生成和聚集.石油与天然气地质,4(2):160~170.
郑绵平,刘俊英,齐文.1996.从盐湖沉积探讨40ka以来青藏高原古气温演替.见:郑绵平主编.盐湖资源环境与全球变化.北京:地质出版社,6~20.

References

- Bonham L C. 1980. Migration of hydrocarbons in compacting basins. AAPG, 64(4): 872~985.
- Gu Shusong. 1993. Quaternary gas fields forming conditions and exploration practices in eastern Qaidam basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1~84 (in Chinese).
- Levorsen A I. 1967. Geology of Petroleum (2nd edition). Freeman, San Francisco, 1~724.
- Littke R, Cramer B, et al. 1999. Gas generation and accumulation in the West Siberian basin. AAPG, 83(10):1642~1665.
- Liu Chenlin, Wang Mili, Chen Yongzhi, et al. 1996. Forming mechanism of saline mineral resources in western Qaidam basin—"inverse lakes chain" model. In: Zheng Mianping, ed. Saline Lake Resources, Environment and Global Changes. Beijing: Geological Publishing House, 37~45 (in Chinese with English abstract).
- Price L C. 1976. Aqueous solubility of petroleum as applied to its origin and primary migration. AAPG, 60(2): 327~349.
- Rice D D, Claypool G E. 1981. Generation, accumulation and resource potential of biogenic gas. AAPG, 65(1): 5~25.
- Sun Zhengcheng, Li Dongming, Peng Licai, et al. 1996. Quaternary saline lake, Micro body fossil and natural gas resources in Qaidam basin. In: Zheng Mianping, ed. Saline Lake Resources, Environment and Global Changes. Beijing: Geological Publishing House, 72~78 (in Chinese with English abstract).
- Wu Bihao, Wang Mili, Liu Chenlin, Li Changhua. 1996. Characteristics and mechanism of the forming of saline lakes in Qaidam basin. In: Zheng Mianping, ed. Saline Lake Resources, Environment and Global Changes. Beijing: Geological Publishing House, 28~36 (in Chinese with English abstract).
- Yang Shenbiao, Zhang Xiaolan, Wang Xiejun, et al. 1997. Exploration and development of solution gas in ground water. Beijing: Petroleum University Press, 24~26 (in Chinese).
- Zhang Yigang, Chen Huanjiang. 1983. Discussion about the generation and accumulation of biogenic gas. Oil and Gas Geology, 4(2):160~170 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Mianping, Liu Junying, Qi Wen. 1996. Discussion about ancient climate changes since 40ka B C from saline lake deposition. In: Zheng Mianping, ed. Saline Lake Resources, Environment and Global Changes. Beijing: Geological Publishing House, 6~20 (in Chinese with English abstract).

Lateral Migration and Accumulation of Biogenic Gas in the Sanhu Area, Qaidam Basin

LI Benliang¹⁾, WANG Mingming¹⁾, WEI Guoqi¹⁾, ZHANG Daowei²⁾, WANG Jinpeng²⁾

1) RIPED Langfang Branch of PetroChina Company, Langfang, Hebei, 065007

2) Exploration & Development Research Institute of Qinghai Oil Field Company, Dunhuang, Gansu, 736200

Abstract

This paper presents a systematic study of the constraints of salinity of Quaternary formation water to the growth of micro-fungus, the effect of salinity on solubility of biogenic gas in formation water, and the control of salinity on sealing in the mudstone cover. The Sanhu (three lakes: Taijnar Lake, Suli Lake, Dabsan Lake) area is mainly recharged by Quaternary formation water migrating from south to north, which is supplied by the snow water from the southern Kunlun Mountains, with the highest salinity at the north slope. The fungus growth was restricted by the high salinity of the drainage — collection area at the north slope, therefore a large amount of biogenic gas was generated and separated from the water, while there are better low salinity environments for biogenic gas to form in the central depression and the southern slope of it. The solubility of biogenic gas in formation water decreases with increasing salinity. The low-salinity formation water containing high solubility of biogenic gas migrated from south to north, and then the biogenic gas was separated from the high-salinity Quaternary formation water at the north slope and accumulated there. Experiments have demonstrated that the Quaternary mudstone breakthrough pressure increases by about 100 times when the mudstone is saturated with high-salinity formation water, which means the mudstone sealing ability is greatly improved so that it can effectively seal the free-state biogenic gas. The above studies demonstrate that the biogenic gas generally migrated laterally to the north slope in the form of solution gas, which also suggests that the north slope is rich in biogenic gas resources, and so has a good prospect for gas. Combining the formation characteristics of biogenic gas and the hydrogeological conditions of the Sanhu area, the authors think that the biogenic gas, dominated by solution gas, migrated laterally far away to the north slope in the Quaternary formation water, and then vertically migrated and accumulated in the free state at the north slope.

Key words: biogenic gas; solution gas; solubility of biogenic gas; salinity; hydrogeology; Qaidam Basin