

水溶气

柴达木盆地东部水溶性天然气层分类 及成藏主控因素研究

张凤敏¹, 魏国齐¹, 李 剑¹, 郭晋华², 胡国艺³, 石 强¹

(1. 中国石油勘探开发院廊坊分院, 河北 廊坊 065007; 2. 中国矿业大学, 北京 100083;
3. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:水溶性天然气是一种非常规天然气, 具有潜在的利用价值。根据气水比变化, 利用测井资料和用含气泥质砂岩双孔隙度模型电导率关系表达式所推导的含气饱和度模型, 定量处理含气饱和度后, 结合对水溶性天然气层测试资料, 综合分析了柴达木盆地三湖地区第四系水溶性天然气层的分类, 初步将该区水溶性天然气层分为4类。通过静态法经济评价确定气水比大于 $20 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 的水溶性天然气层, 在现有经济技术条件下具有经济价值; 同时结合对钻录井资料以及地震资料的系统分析, 指出气水比大于 $5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 的高气水比水溶性天然气层的成藏除了受气源与储层条件控制外, 主要受构造圈闭、缓坡带以及陡坡带的发育程度等地质条件的制约和影响。

关键词:水溶性天然气; 分类; 经济评价; 成藏主控因素; 气水比

中图分类号: TE122

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2008)06-0882-06

0 引言

水溶性天然气属于非常规天然气资源, 它的开发是以溶解在地层水中的天然气和与水共存的游离气为对象, 其在世界范围分布广泛, 总资源量远高于常规天然气。我国古代《易经》中就有关于水溶性天然气的记载^[1]。现代的水溶性天然气研究始于日本^[1]。1908年, 日本开始进行水溶性天然气的研究, 1948年最先确认水溶性天然气为一种新的非常规天然气资源。之后, 世界各国相继开展水溶性天然气的勘探、开发研究工作, 而我国的水溶性天然气勘探基本处于起步阶段。

2007年度中国石油实施的“柴达木盆地油气勘探开发关键技术重大科技专项”设专题, 对柴达木盆地东部三湖地区第四系水溶气进行先导试验研究, 表明我国对水溶气研究的重视。

目前在世界范围内已发现非常丰富的水溶性天然气资源^[1]。全世界含油气盆地中水溶性天然气资源量约为 $33\ 837 \times 10^{12} \text{ m}^3$; 其中亚洲为 $8\ 717 \times 10^{12} \text{ m}^3$; 北美洲和中美洲为 $6\ 422 \times 10^{12} \text{ m}^3$; 南美洲

为 $5\ 017 \times 10^{12} \text{ m}^3$; 欧洲为 $4\ 799 \times 10^{12} \text{ m}^3$; 非洲为 $3\ 874 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。我国在“八五”第二次油气资源评价期间采用体积法和类比法初步估算各含油气盆地水溶气资源总量达 $(11.833 \sim 65.298) \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[1-2]。

理论上讲, 沉积盆地有机质在生物改造和热化学、动力学作用下生成的油气在从源岩排出和向储集层运移过程中, 其中一部分会被孔隙水溶解和围岩吸附, 并且只有在溶解和吸附量得到满足的条件下才会以游离态富集成藏。因此可以认为凡是已经找到油气聚集的盆地都存在水溶性天然气资源, 差别只是数量大小的不同^[3]。

为了更进一步探讨柴达木盆地三湖地区第四系水溶性天然气的资源规模及利用价值, 在按照温压体系对水溶性天然气分类的基础上, 笔者认为根据气水比对水溶性天然气进行分类具有实用意义。通过测井资料定量处理, 并结合对水溶性天然气层测试资料、钻录井资料以及地震资料的综合分析, 提出了水溶性天然气分类方案, 并从气源、储层以及构造角度对水溶性天然气成藏主控因素进行了探讨。

1 柴达木盆地东部水溶性天然气层分类

日本是世界上最早进行水溶气勘探开发的国家,因此本文重点开展了关于日本水溶气研究方面的文献调研^{①②},对水溶性天然气层的分类主要依据温压体系及赋存状态进行。根据地层温度、压力条件,水溶性天然气藏可以划分为2大类:常温常压水溶性天然气藏和高温高压水溶性天然气藏。其中,常温常压水溶性天然气藏以日本水溶性天然气藏为代表,气水比一般为 $0.5 \sim 3 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。高温高压水溶性天然气藏埋深较深,气水比较高,常在 $10 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 以上,如独联体乌克兰油田区的水溶性天然气藏和墨西哥湾沿岸地区第三系高压中的水溶性天然气藏。

水溶性天然气藏的气水比越高,对气田的经济性越有利^{[3]①}。因此从可操作性的角度,探索性地按照测井响应与相应试采资料反映的气水比建立联系,进而应用广泛使用的测井资料间接地从气水比角度对水溶性天然气层进行分类。

1.1 含气饱和度模型建立

三湖地区第四系由于冰期和间冰期的频繁交互造成地层岩性复杂,主要表现为储层岩性分异性差,砂岩中泥质含量很高,同样,泥岩中砂岩含量也很高,并且储层主要岩性以泥质粉、细砂岩为主,占85%以上^{③④[4-6]}。通过岩电综合分析,筛选含气泥质砂岩双孔隙度模型电导率关系表达式所推导的含气饱和度模型作为定量处理含气饱和度的模型。

$$(1/R_t)^{0.5} = (\Phi_t - \Phi_e)^{0.86} \cdot (S_w^n)/R_{wc}^{0.5} + (\Phi_e^m \cdot S_w^n)/(a \cdot R_w)^{0.5}$$

式中: R_t 为归一化后的地层真电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; Φ_t 为地层总孔隙度,%; Φ_e 为地层有效孔隙度,%; S_w 为地层含水饱和度,%; R_{wc} 为纯泥岩地层水电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; R_w 为地层水电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; m 、 n 分别为孔隙结构和饱和度指数。

1.2 水溶性天然气层分类

为探讨不同电测特征层的产能情况,选择岩性纯、电阻率低平、三孔隙度(RHOB、NPHT、DT)无镜像气特征的“纯水层”,电测曲线特征仅次于纯气层的“气水同层”,介于其间的岩性较纯、电阻率低平、三孔隙度呈现一定镜像气特征的“含气水层”,以及电阻率稍高、三孔隙度虽有镜像气特征但是显示较差的“类低产层”分别进行测试。

先导试验井测试结果稳定气水比在 $1.05 \sim 42.61 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 之间,对应上述模型处理含气饱和度介于 $22.5\% \sim 49.5\%$ 之间(图1)。其中“气水同层”

测试稳定气水比最高,稳定气水比均高于 $20 \text{ m}^3/\text{m}^3$,含气饱和度高于 45% ,定义为Ⅰ类水溶气层(图2);“低产层”测试稳定气水比在 $5 \sim 20 \text{ m}^3/\text{m}^3$,对应处理含气饱和度介于 $40\% \sim 45\%$ 之间,定义为Ⅱ类水溶气层(图3);“准水层”测试稳定气水比高于纯水层,普遍在 $5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 以下,对应处理含气饱和度介于 $30\% \sim 40\%$ 之间,定义为Ⅲ类水溶气层(图4);而“纯水层”气水比最低,分别为 $1.05 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 、 $1.19 \text{ m}^3/\text{m}^3$,含气饱和度低于 30% ,定义为Ⅳ类水溶气层(图5)。

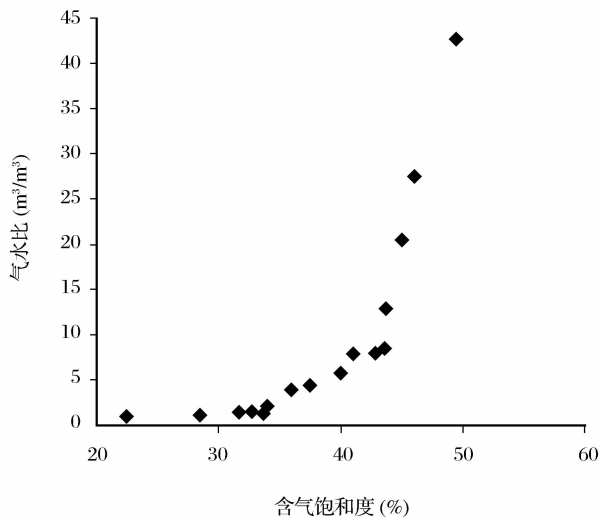


图1 三湖地区测试水溶气层含气饱和度与气水比的关系

三湖地区第四系水溶气层评价标准如表1所示,其中岩性较纯、电阻率低平、三孔隙度呈现一定镜像气特征的“含气水层”、电阻率稍高三孔隙度虽有镜像气特征但显示较差的“类低产层”以及电测曲线特征仅次于纯气层的“气水同层”按照赋存状态分类属于游离气状态,而岩性纯、电阻率低平、三孔隙度无镜像气特征的“纯水层”气水比最低,天然气在地层水中几乎完全处于溶解状态,经济性也最差,单独作为一类。

2 柴达木盆地东部水溶性天然气成藏主控因素

在以往的油气勘探过程中,经常会钻遇没有达到工业油气流标准的水井,因受到开采技术及经济

① 天然气矿业编委会. 日本水溶性天然气总览. 天然气矿业会, 1977

② 福田里. 有关水溶性天然气藏的地质学意义. 日本地质学会, 1967

③ 彭德华. 柴达木盆地油气资源评价. 青海油田分公司内部报告, 2002.

④ 范连顺, 等. 柴达木盆地东部第四系生物气成藏条件与勘探目标选择. 青海石油管理局“八五”国家重点科技攻关项目成果报告, 1995

条件限制而没有引起足够的重视。而随着工艺技术的进步,这部分资源必将会发挥很大作用。研究水

溶性天然气成藏主控因素,对于预测和评价该类天然气资源具有重要的现实意义。

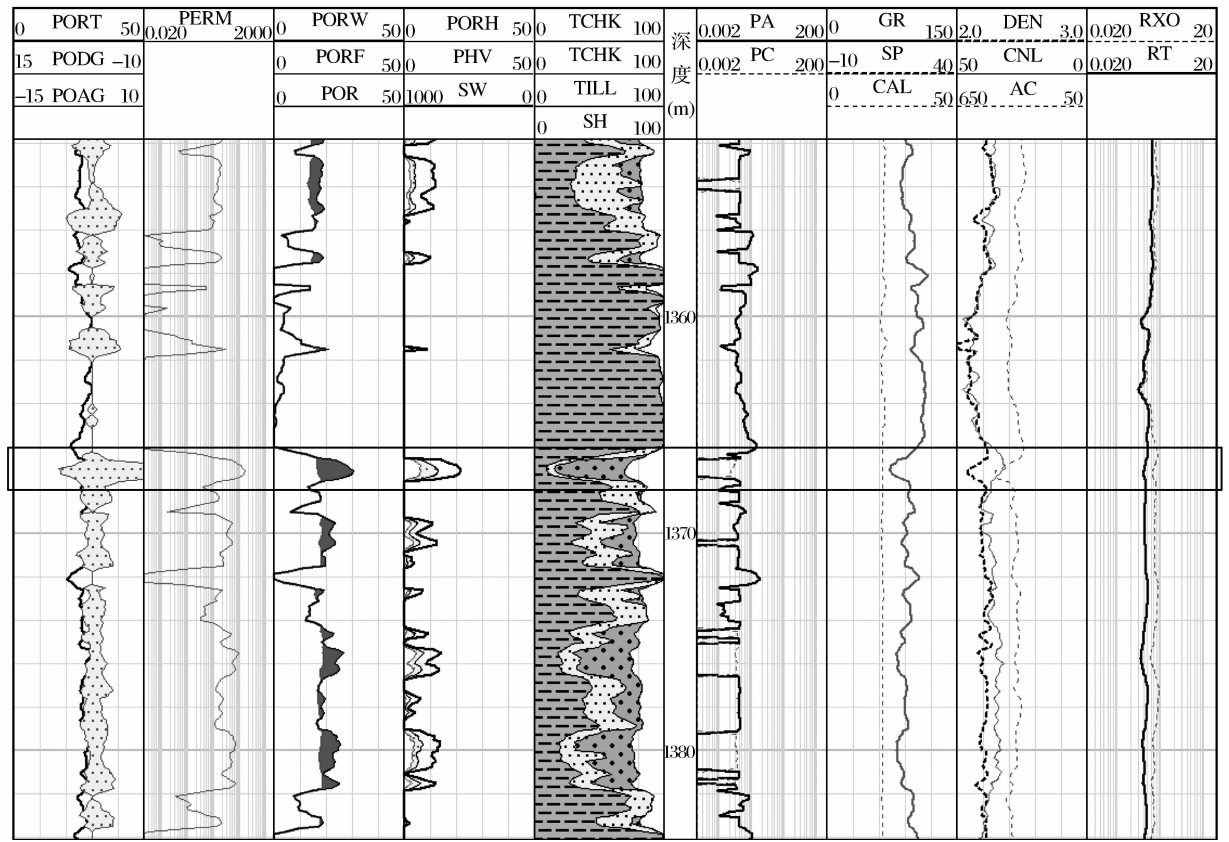


图 2 涩东 12 井测试“气水同层”测井处理成果

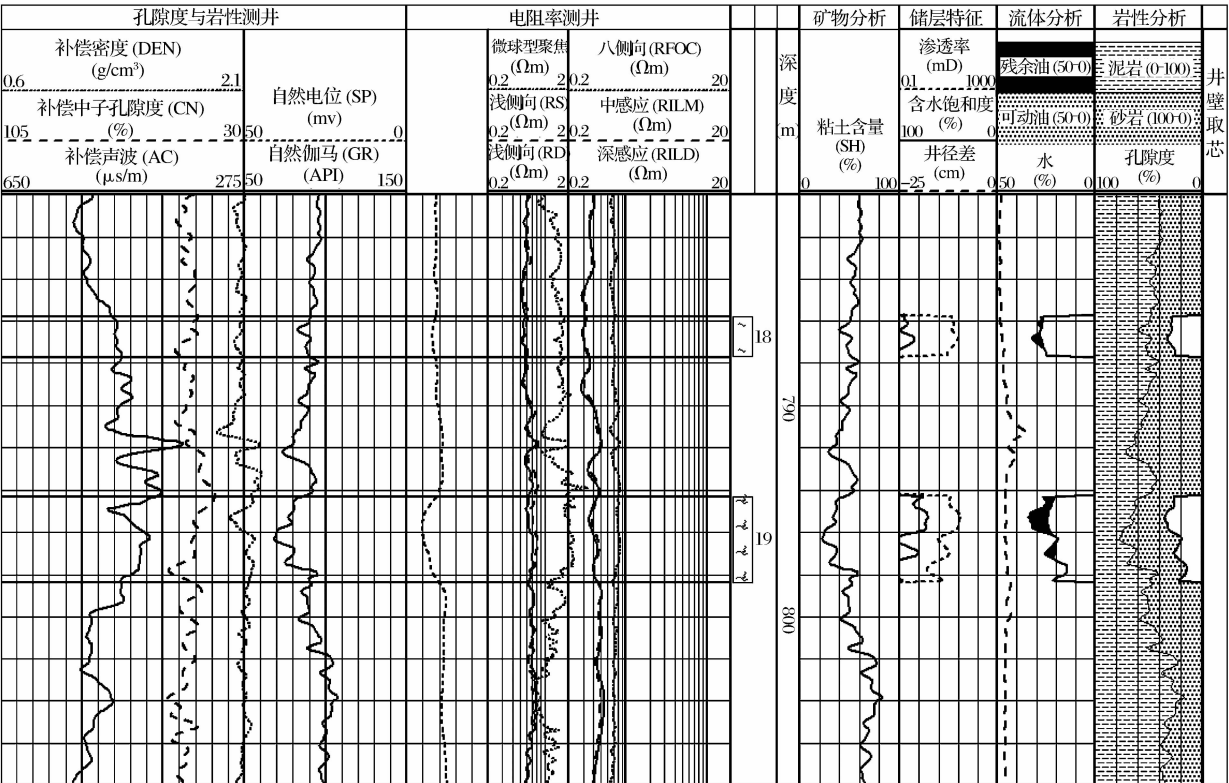


图 3 台东 2 井测试“类低产层”测井处理成果

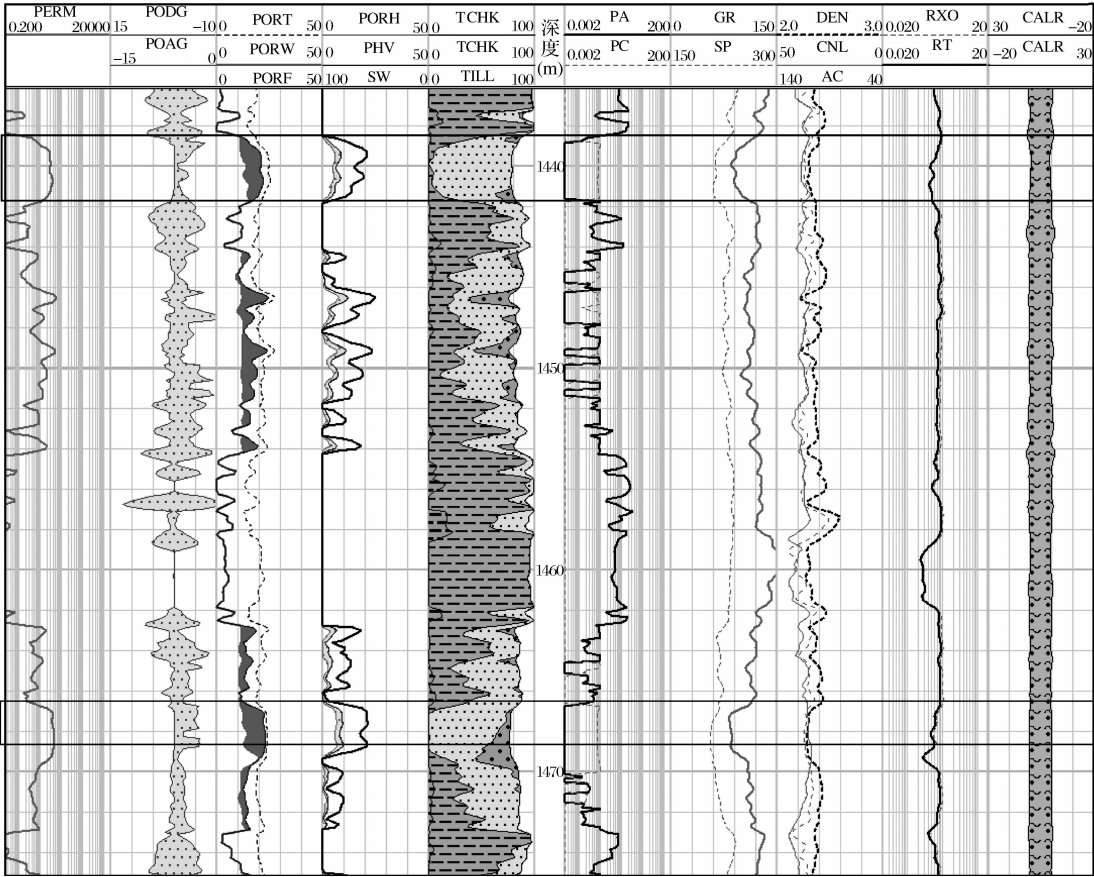


图 4 涩 33 井测试“含气水层”测井处理成果

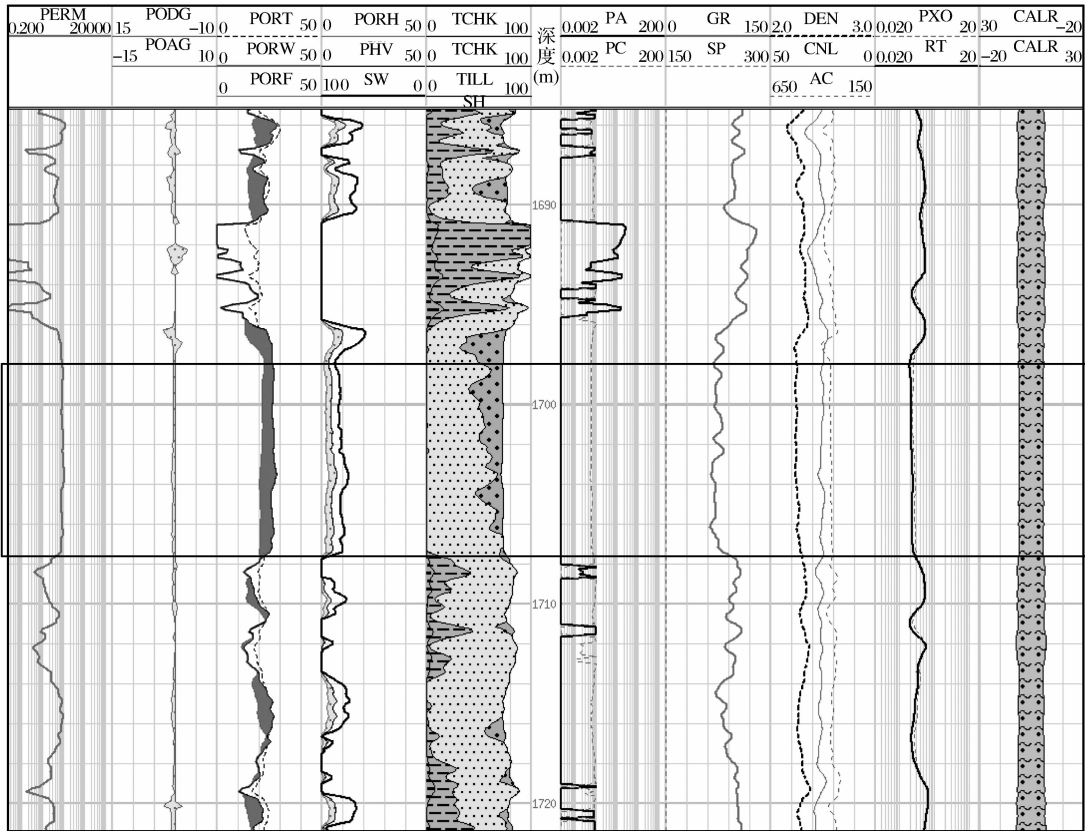


图 5 涩 33 井测试“纯水层”测井处理成果

前人关于水溶气成藏的研究基本上是基于对天然气在地层水中溶解度的3个影响因素(地层温度、地层压力、地层水矿化度)进行分析^[2-5]。而三湖地区第四系由于其特殊的地质条件,天然气在地层水中的溶解度较低,一般低于 $1.5\text{ m}^3/\text{m}^3$ 。大量钻井、录测井以及水溶气试采先导试验表明,虽然三湖地区第四系天然气在地层水中的溶解度较低,但是仍不乏大量的高气水比水溶性天然气藏。地质综合评价表明高气水比水溶性天然气成藏主控因素首先是气源与储层条件优越,其次是构造圈闭、缓坡带以及陡坡带的发育程度等地质条件。

表 1 三湖地区第四系水溶性天然气层测井评价标准				
类别	泥质含量 (%)	孔隙度 (%)	渗透率 ($\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$)	含气饱和度 (%)
I 类	<35	>18	>1	45~50
II 类	<35	>18	>1	40~45
III 类	<35	>18	>1	30~40
IV 类	<35	>18	>1	<30

2.1 气源与储层条件优越

水溶性天然气藏的形成,与气源条件关系非常密切。气源条件好的沉积盆地地下水容易富集天然气。只有在气源充足的条件下,天然气广泛分布在大量存在的地层水中并达到饱和或超饱和状态,才能形成具有一定规模和储量的高气水比水溶性天然气藏。

除了具有充足的气源条件外,储层条件也是与水溶性天然气埋藏量有关的一个重要因素。三湖地区第四系气源岩主要分布在台吉乃尔—涩聂湖一带呈北西西向展布,拗陷中心气源岩厚度大于2 000 m,并且由于储层埋藏浅,储层属于中高孔中渗储层,因此气源与储层条件非常好。

2.2 构造圈闭发育与否是决定高气水比水溶性天然气成藏的重要因素

柴达木盆地三湖地区水溶性天然气藏的勘探实践表明:具备构造圈闭或岩性圈闭,水溶性天然气藏的气水比较高;而在没有圈闭的地区,水溶性天然气藏的气水比普遍较低。图6是北斜坡上斜坡水溶性天然气层的平面分布规律图,可以发现在任意单一气田内,均具有从构造高部位向构造低部位水溶性天然气层级别降低、厚度减薄的趋势。

2.3 地形坡折带同样是高气水比水溶性天然气成藏的主要因素

除构造圈闭外,中央凹陷与北斜坡之间发育的

地形坡折带同样是高气水比水溶性天然气成藏的有利区带。

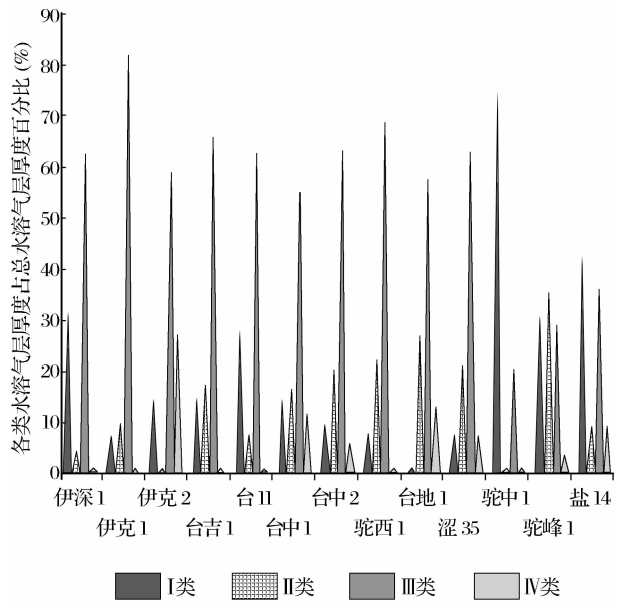


图 6 三湖地区北斜坡上斜坡水溶性天然气层分布规律

涩东南潜伏构造为一通向涩北二号气田的北西—南东走向的大型宽缓的鼻状构造,在该鼻状构造的表层普遍存在低速异常。

统计分析表明:涩东南潜伏构造水溶性天然气层以I、II、III类为主,合计占83%。I+II类平均占29.6%,即:气水比大于 $5\text{ m}^3/\text{m}^3$ 的占29.6%。I类平均占2.8%,II类平均占26.8%,I、II类水溶性天然气层仅次于北斜坡上斜坡以及主力气田区域,从而表明地形坡折带也可能是高气水比水溶性天然气成藏的主要区域。

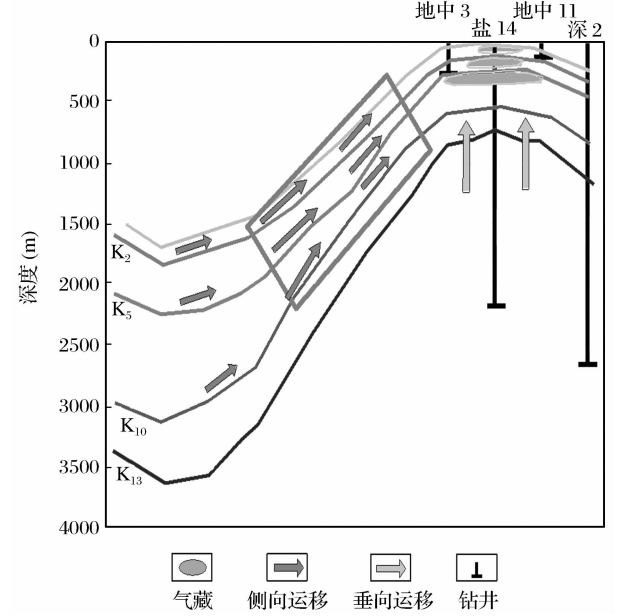


图 7 水溶性天然气成藏模式

2.4 陡坡带受重力分异影响也可能成为高气水比水溶性天然气藏的富集区带

分析认为:中央凹陷区生成的生物气沿缓坡运移至陡坡再继续向北运移至上斜坡带的有效圈闭内聚集形成常规气藏,而北斜坡的陡坡带则可能成为高气水比水溶性天然气的有利聚集区。

图7是中央凹陷至盐湖气田的气藏横剖面图,地震处理除在气田范围内见到同相轴下拉、低频等含气特征外,在陡坡带同样见到连片的显示稍弱的含气异常(图中方框部位),推测可能为水溶性天然气藏的显示。

3 结论

(1)先导试验表明三湖地区第四系不乏高气水比水溶性天然气,最高气水比可达 $42.61\text{ m}^3/\text{m}^3$ 。

(2)利用测井资料和用含气泥质砂岩双孔隙度模型电导率关系表达式所推导的含气饱和度模型,定量处理含气饱和度后,结合对水溶性天然气层测试资料综合分析,初步将水溶性天然气层分为4类。

I、II、III类属于游离气赋存状态,IV类属于溶解态。

(3)基于静态角度经济评价,确定在现有经济技术条件下只有在气水比大于 $20\text{ m}^3/\text{m}^3$,也即日产气超过 $1\,000\text{ m}^3$ 的I类水溶气层才具有经济价值。

(4)柴达木盆地三湖地区第四系高气水比水溶性天然气层成藏主控因素除了气源与储层条件外,主要受构造圈闭、缓坡带以及陡坡带的发育程度等地质条件的制约和影响。

参考文献:

[1] 杨申铤,张肖兰.水溶性天然气勘探与开发[M].北京:石油大学出版社,1996.

[2] 张子枢.水溶气浅论[J].天然气地球科学,1995,6(5):29-34.

[3] 武晓春,庞雄奇,于兴河,等.水溶气资源富集的主控因素及其评价方法探讨[J].天然气地球科学,2003,14(6):416-421.

[4] 金之钧,张明利,汤良杰,等.柴达木中新世代盆地演化及其控油气作用[J].石油与天然气地质,2004,25(6):603-608.

[5] 张一伟,党玉琪,熊继辉,等.柴达木盆地油气勘探论文集[M].北京:石油工业出版社,2004.

[6] 党玉琪,张道伟,徐子远,等.柴达木盆地三湖地区第四系沉积相与生物气成藏[J].古地理学报,2004,6(1):110-119

Classification and Reservoir-controlling Factors of Water-dissolved Gas in Eastern Chaidamu Basin

ZHANG Feng-min¹, WEI Guo-qi¹, LI Jian¹, GUO Jin-hua², HU Guo-yi³, SHI Qiang¹

(1. Langfang Branch of Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Langfang 065007, China; 2. China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: Water-dissolved gas is a kind of unconventional gas. To further analyze the economic value of water-dissolved gas in the Quaternary of the Sanhu of Chaidamu Basin, the authors preliminarily study the classification of water-dissolved gas according to the change of gas/water ratio and after quantitatively processing the gas-bearing saturation using the gas-bearing saturation model derived by conductivity expression in a gas-bearing shaly sandstone dual porosity model along with referencing practical test results. Water-dissolved gas can be divided into four types. It is of economic value when, according to the static economic evaluation, the gas/water ratio is more than $20\text{ m}^3/\text{m}^3$ under the present economic and technological conditions. The reservoir formation of water-dissolved gas with high GWR are controlled and influenced by structural trap, development degree of gentle slope belts, steep slope zone etc.

Key words: Water-dissolved gas; Classification; Economic evaluation; Reservoir controlling factor; Gas/water ratio.