

文章编号:1000-0550(2004)增刊-0079-05

天然气资源评价重点参数研究^①

刘成林^{1,2} 刘人和² 罗霞² 谢增业² 李剑² 曾庆猛¹

1(石油大学 北京 102249)2(中国石油勘探开发研究院廊坊分院 河北廊坊 065007)

摘要 天然气资源评价重点参数主要包括产气率、运聚系数、区带评价参数与可采系数等4项。首先,通过生物气模拟、不同类型干酪根的产气率模拟实验,建立生物气、煤岩、不同类型泥岩与碳酸盐岩的产气率图版;其次,通过相关分析,建立运聚系数与地质参数的关系模型:运聚系数=0.298-0.00259×烃源岩年龄+0.218×有机碳含量-0.00223×成藏关键时刻-0.00236×盖层厚度+0.0009×盖层埋深-0.286×不整合数+0.000104×储层年龄;第三,在大量统计分析的基础上,建立中国天然气区带地质评价参数体系与取值标准;最后,基于岩性和驱动类型两大因素将天然气藏分为5种类型,其中:碎屑岩水驱气藏的可采系数为50%~70%,碎屑岩气驱气藏75%~90%,碳酸盐岩水驱气藏55%~80%,碳酸盐岩气驱气藏80%~95%,致密气藏40%~55%。

关键词 天然气 资源评价 产气率 可采系数

第一作者简介 刘成林 男 1970年出生 博士研究生 矿物学、岩石学与矿床学

中图分类号 P593 **文献标识码** A

评价方法与参数研究是天然气资源评价的两大核心内容,评价参数是评价方法的基础,其值的准确与否直接影响评价方法的有效性。产气率、运聚系数是成因法的关键参数,产气率求取天然气生成量、运聚系数计算天然气聚集量;区带评价参数标准是类比法的依据,通过区带评价参数标准,对已知与未知区带进行评分,定量评价二者天然气成藏地质条件的差异,从而评价未知区带的资源丰度。可采资源量的计算是中国资源评价与国际接轨的重要体现,而可采系数是将地质资源量转化成可采资源量的关键参数。在大量模拟实验与统计分析的基础上,对产气率、运聚系数、区带评价参数与可采系数等4项天然气资源评价重点参数进行了研究。

1 不同类型气源岩的产气率

由于生物气生气机制与干酪根成气和原油热裂解气的生气机制不同,因此,其产气率与干酪根和原油裂解气产气率求取方式不同。生物气主要采用厌氧细菌在不同温度下进行细菌培养生成生物气的方法进行模拟实验,干酪根和原油裂解气主要采用封闭和开放体系下相同类型气源岩进行模拟实验,并将上述两种体系下的产气率曲线输入PRA软件中,得到烃源岩在不同封闭条件下的产气率图版。

1.1 生物气产气率

对生物气源岩样品在25~75℃的条件下进行细

菌培养产生生物气,由此得到不同温阶下各类有机质的生物气产率。在模拟实验结果的基础上,结合前人的研究结果^[1~3],分别建立了淡水环境、滨海环境和盐湖环境中不同类型有机质的生物气产气率图版及演化模式(图1)。

(1)无论是在哪种环境中,有机质的生物气生成量一般具有I型>II型>III型的规律;

(2)同样有机质类型,不同环境生物气产量不同:一般是滨海环境中生物气量最高,为125 m³/t·有机质;其次是淡水环境,为110 m³/t·有机质;盐湖环境最低,为85 m³/t·有机质;

(3)生物气大量生成温度,一般分布在30℃~60℃之间,但不同环境的有机质生气高峰有所差异。滨海环境生物气生成高峰55℃,而淡水环境和盐湖环境生气高峰在40℃左右。

1.2 干酪根和原油裂解气产气率

对于不同类型气源岩产气率,国内外学者及一、二轮资源评价中已做过大量的工作。较多的实验是应用热压模拟方法对各种类型烃源岩进行产油及产气率实验,这种方法所计算的产气率包括了原油全部裂解成气的产率,亦即常说的封闭体系下源岩的产气率,所得到的天然气产率是气源岩的最大产气率。另一种求取气源岩产气率的方法是在开放体系下对源岩进行热模拟实验,各阶段生成的天然气和原油均全部排出源岩,原油不能在源岩中进一步裂解为天然气。这两种情

^①“中油股份公司主要含油气盆地油气资源评价”项目部分成果
收稿日期:2003-11-20

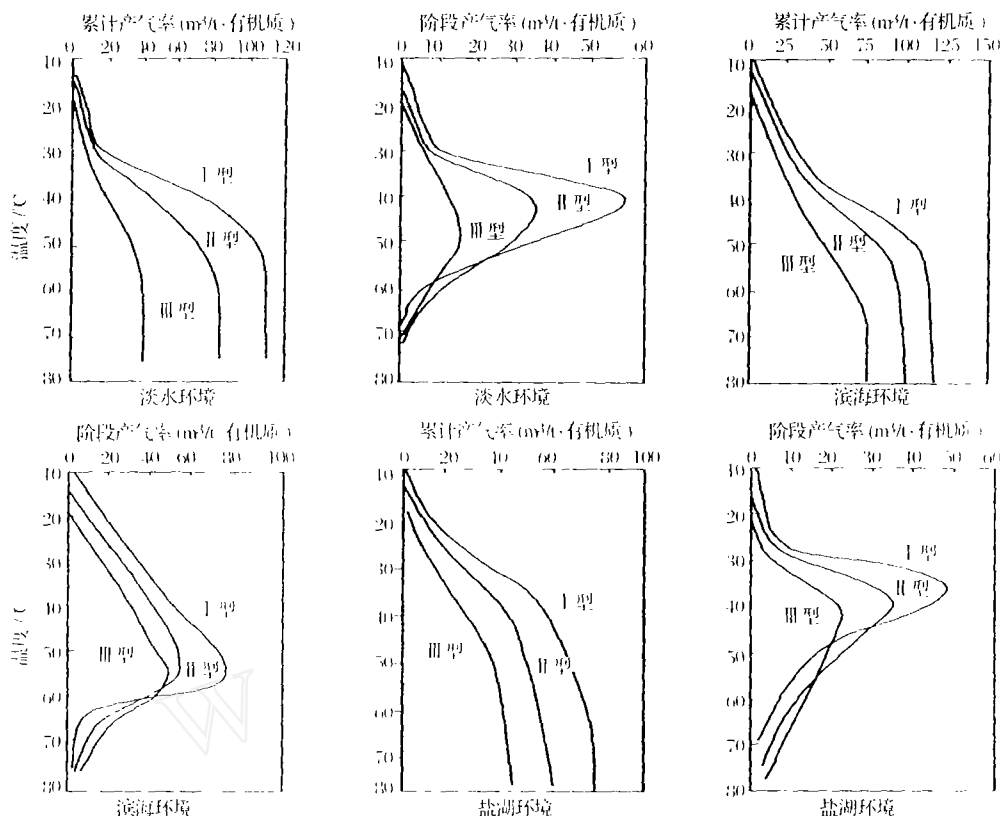


图 1 不同环境有机质生物气产率

Fig. 1 Evolutionary model and gas-yielding rate chart of biogas from different organic matters in fresh, offshore and salt lake environment

况都是地质中的极端情况。但是实际的地质条件大多是半开放体系,在这种情况下,源岩生成的油既不能全部排出烃源岩,也不能完全滞留于源岩中。不同地质条件下亦即开放程度不同情况下不同源岩产气率如何计算?本次研究提出了油裂解气的方法:求得封闭和开放体系下相同类型源岩的产气率,将上述两种体系下的产气率图版(中值曲线)输入 PRI 软件中,得出烃源岩在不同渗透条件下产气率图版。

(1) 煤产气率

不同类型的煤产气率相差较大,燧藻煤产气能力

最高,可达 $350 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{煤}$,惰质煤产气率最低,仅为 $100 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{煤}$,镜质煤产气率 $200 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{煤}$ 。随开放程度的增大,镜质煤产气率降低:全封闭条件下,产气率为 $250 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{煤}$;全封闭一半开放条件下为 $220 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{煤}$;半开放条件下为 $200 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{煤}$;半开放-全开放条件下为 $180 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{煤}$,全开放体系下为 $150 \text{ m}^3/\text{t} \cdot \text{煤}$ (图 2)。

(2) 泥岩产气率

泥岩产气率具以下规律:①随开放程度的增大,泥岩产气率降低:全封闭条件下, I 型湖相泥岩产气率为

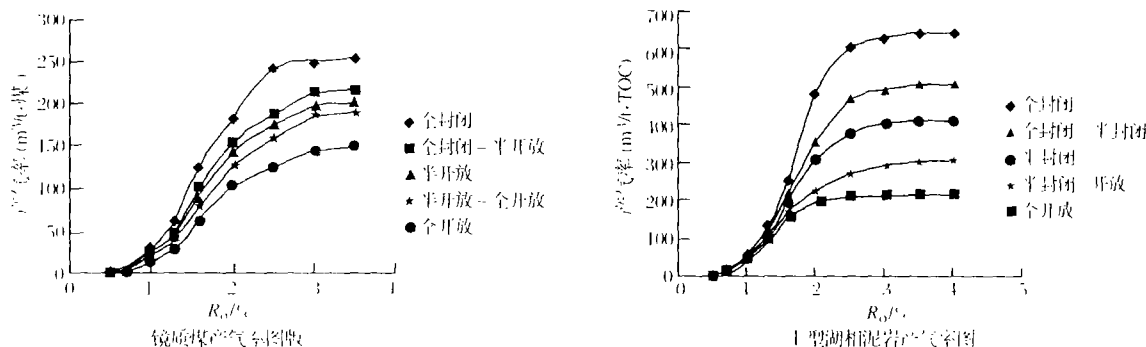


图 2 不同封闭条件下煤岩与泥岩产气率

Fig. 2 Gas-yielding chart of coal and mudstone under different sealing conditions

650 m³/t · TOC;全封闭一半开放条件下为 500 m³/t · TOC;半开放条件下为 400 m³/t · TOC;半开放—全开放条件下为 300 m³/t · TOC,全开放体系下为 210 m³/t · TOC;②无论开放还是封闭体系,无论是哪种类型的气源岩,其生气高峰在 $R_o=1.0\sim 2.0\%$ 之间,相对而言,I型~II型泥岩生气高峰相对偏前,III型相对偏后;③无论是开放还是封闭体系,总产气率均具有 I型>II₁型>II₂型>III型泥岩的趋势;④封闭体系与开放体系差值具有 I型>II₁型>II₂型>III型泥岩的趋势,说明类型好的源岩,无论是干酪根裂解气还是总产气率均较大,类型好的源岩不仅是好的油源岩也是好的气源岩(图2)。

(3) 碳酸盐岩产气率

在所有类型岩石中,碳酸盐岩产气率范围最大,封闭体系下产气率为 385~690 m³/t TOC,中值为 580 m³/t TOC,开放体系下产气率范围为 80~266 m³/t TOC,中值为 156.5 m³/t TOC。究其原因,可能是由于碳酸盐岩其干酪根类型不同所致。

2 运聚系数

对国内外 22 个油气盆地 200 个天然气运聚系数数据的统计分析表明,天然气运聚系数与烃源岩年龄、有机碳含量、成藏关键时刻、盖层厚度、盖层埋深、不整合数及储层年龄等地质参数具有较好的相关性,其关系模型分别如下:

$$S = -215.55K + 519.08$$

$$C = 2.2417K + 0.0166$$

$$T = -79.612K + 130.3$$

$$D = 376.57K + 19.751$$

$$H = 529.26K + 2600.1$$

$$N = -1.5645K + 3.6573$$

$$R = -183.14K + 436.2$$

最后经过多因素综合分析,得出了运聚系数与以上 7 个主要因素之间的关系模型:

$$K = 0.298 - 0.00259S + 0.218C - 0.00223T -$$

$$0.00236D + 0.0009H - 0.286N + 0.000104R$$

式中:K 为运聚系数;S 为烃源岩年龄, Ma; C 为有机碳, %; T 为成藏关键时刻, Ma; D 为盖层厚度, m; H 为盖层埋深, m; N 为不整合数, 个; R 为储层年龄, Ma。

3 区带地质评价参数体系与分级标准

区带地质评价的主要研究内容是区带成藏条件的

评价。一个运聚单元或区带成藏地质条件的优劣取决于其供气条件、储集条件、圈闭条件、保存条件与配套条件等 5 项主要的地质条件。在大量统计松辽、渤海湾、鄂尔多斯、四川、柴达木、吐哈、准噶尔、塔里木等 8 个含气盆地 40 个区带参数的基础上,建立中国天然气区带地质评价参数体系与取值标准(表 1)。

4 可采系数

可采资源量的计算是中国资源评价与国际接轨的重要体现。可采系数是将地质资源量转化成可采资源量的关键参数。

4.1 天然气藏分类

为了统计不同类型气藏的可采系数,基于岩性和驱动类型两大因素,将天然气藏分为碎屑岩气驱、碎屑岩水驱、碳酸盐岩气驱、碳酸盐岩水驱、致密气藏等 5 种类型。这套分类方案既适用于没有或较少开发数据的勘探阶段,也适于开发阶段,力求简明,避免繁琐^[4~9]。

4.2 不同类型气藏可采系数取值标准的建立

采用 SPSS 统计软件,对国内外近 3000 个可采系数数据进行分析,从而建立不同类型气藏可采系数取值标准:碎屑岩水驱气藏可采系数为 50%~70%,碎屑岩气驱气藏 75%~90%,碳酸盐岩水驱气藏 55%~80%,碳酸盐岩气驱气藏 80%~95%,致密气藏 40%~55%(表 2)。

5 结论

(1) 通过生物气模拟、不同类型干酪根的产气率模拟实验,建立生物气、煤岩、不同类型泥岩与碳酸盐岩的产气率图版。

(2) 通过相关分析,建立运聚系数与地质参数的关系模型:运聚系数 = 0.298 - 0.00259 × 烃源岩年龄 + 0.218 × 有机碳含量 - 0.00223 × 成藏关键时刻 - 0.00236 × 盖层厚度 + 0.0009 × 盖层埋深 - 0.286 × 不整合数 + 0.000104 × 储层年龄。

(3) 在大量统计分析的基础上,建立中国天然气区带地质评价参数体系与取值标准。

(4) 基于岩性和驱动类型两大因素将天然气藏分为 5 种类型,碎屑岩水驱气藏的可采系数为 50%~70%,碎屑岩气驱气藏 75%~90%,碳酸盐岩水驱气藏 55%~80%,碳酸盐岩气驱气藏 80%~95%,致密气藏 40%~55%。

表1 中国天然气区带地质评价参数取值标准

Table 1 Parameters of nature gas evaluation

| 参数类型 | 参数名称 | 分值(评价系数) | | | |
|------|---|-----------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| | | 4(1.0~0.75) | 3(0.75~0.5) | 2(0.5~0.25) | 1(0.25~0.0) |
| 供气条件 | 生气强度/ $10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ | >60 | 60~25 | 25~10 | <10 |
| | 生气速率/ $10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{Ma}^{-1}$ | >60 000 | 60 000~10 000 | 10 000~2 000 | <2 000 |
| | 受热方式 | 高温递进 | 低温递进 | 高温退火 | 低温退火 |
| | 输导体系类型 | 储层+断层 | 储层 | 断层 | 不整合 |
| | 供气方式 | 汇聚流供烃 | 平行流供烃 | 发散流供烃 | 线形流供烃 |
| | 运移距离/km | <10 | 10~30 | 30~50 | >50 |
| 储集条件 | 孔隙度/% | 碎屑岩 >30 | 30~20 | 20~10 | <10 |
| | | 碳酸盐岩 >12 | 12~6 | 6~3 | <3 |
| | 渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$ | 碎屑岩 >800 | 800~100 | 100~10 | <10 |
| | | 碳酸盐岩 >10 | 10~1.5 | 1.5~0.5 | <0.5 |
| | 储层厚度/m | >175 | 175~75 | 75~25 | <25 |
| | 储层百分比/% | >55 | 55~40 | 40~25 | <25 |
| 圈闭条件 | 储集空间类型 | 孔隙型 | 裂缝-孔隙型 | 孔隙-裂缝型 | 裂缝型 |
| | 主要圈闭类型 | 背斜为主 | 断背斜、断块 | 地层 | 岩性 |
| | 圈闭面积系数/% | >20 | 20~10 | 10~5 | <5 |
| | 圈闭闭合度/m | >300 | 300~100 | 100~20 | <20 |
| | 盖层岩性 | 膏盐岩、泥膏岩 | 厚层泥岩 | 泥岩、砂质泥岩 | 脆泥岩、砂质泥岩、砂岩 |
| | 盖层厚度/m | >100 | 100~30 | 30~10 | <10 |
| 保存条件 | 突破压力/mPa | >2 | 2~1 | 1~0.5 | <0.5 |
| | 扩散系数/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ | < 10^{-9} | $10^{-8} \sim 10^{-7}$ | $10^{-7} \sim 10^{-6}$ | $>10^{-6}$ |
| | 水化学条件 | CaCl_2 | MgCl_2 | NaHCO_3 | Na_2SO_4 |
| | 盖层受断裂破坏的程度 | 无破坏 | 破坏轻微 | 破坏中等 | 破坏较强 |
| | 盖层以上区域不整合数/个 | 0 | 1~2 | 3~4 | >4 |
| 配套条件 | 生储盖配置关系 | 自生自储 | 下生上储 | 上生下储 | 异地生储 |
| | 圈闭形成时期与生气高峰的配置关系 | 同沉积 | 早 | 同时 | 晚 |

表2 不同类型气藏可采系数取值标准

Table 2 Recovery rates of different kinds of nature gas reservoirs

| 岩性 | 驱动类型 | 适用气藏 | 可采系数/% |
|------|------|--|--------|
| 碎屑岩 | 水驱 | 储层为碎屑岩,有边、底水存在,可根据地层水活跃程度分为活跃、次活跃和不活跃三种类型 | 50~70 |
| | 气驱 | 储层为碎屑岩,无边、底水存在,多为封闭型的多裂缝系统、断块、砂体或异常压力气藏 | 75~90 |
| 碳酸盐岩 | 水驱 | 储层为碳酸盐岩,有边、底水存在,可根据地层水活跃程度分为活跃、次活跃和不活跃三种类型 | |
| | 气驱 | 储层为碳酸盐岩,无边、底水存在,多为封闭型的多裂缝系、断块和异常压力气藏 | |
| 致密气藏 | | 储层基质渗透率 $K < 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 裂缝不太发育,横向连通性差 | 40~55 |

参考文献(References)

- 李明宅,张洪年. 生物气成藏规律研究. 天然气工业,1997,17(2):7~10
- 刘成林,蒋助生,李剑,等. 柴达木盆地一里坪地区上新统狮子沟组生物气成藏研究. 天然气工业,2001,21(6):14~16
- 刘成林,姜桂凤,王金鹏,等. 柴达木盆地东部天然气资源潜力分析. 见:梁狄刚,黄第藩,马新华等. 有机地球化学研究新进展:第八届全国有机地球化学学术会议论文集. 北京:石油工业出版社,2002. 232~235
- 张文昭主编. 石油天然气储量管理. 北京:石油工业出版社,1999. 1~150
- 杨通佑,范尚炯,陈元千,等. 石油及天然气储量计算. 北京:石油工业出版社,1998. 253~274
- 陈元千,袁自学. 预测油气田产量和可采储量的新模型. 见:全国资源委石油天然气储量委员会办公室编. 石油天然气资源管理论文集. 北京:石油工业出版社,1999. 1
- 刘雨芬,陈元千,毕海滨. 利用多元回归方法确定稠油油藏吞吐阶段的采收率. 北京:石油工业出版社,1999. 111~114
- 陈元千,刘雨芬,毕海滨. 确定水驱砂岩油藏采收率的方法. 北京:石油工业出版社,1999. 115~119
- 陈元千. 预测水驱凝析气藏可采储量的方法. 北京:石油工业出版社,1999. 120~12

Study on Key Parameters of Natural Gas Resource Assessment

LIU Cheng-lin^{1,2} LIU Ren-he² LUO Xia² XIE Zeng-ye² LI Jian² ZENG Qing-meng¹

1(University of Petroleum, Beijing 102249)

2(Langfang Branch of Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Langfang Hebei 065007)

Abstract There are mainly 4 key parameters of natural gas resource evaluation, including gas production rate, migration-accumulation coefficient, play evaluation parameters, and recovery rate. First, gas production rate charts of biotic gas, coal, mudstone, and carbonate are built up through biotic gas simulation experiments and pyrolyses. Second, the relationship of migration-accumulation coefficient and different geologic parameters is $K = 0.298 - 0.0025S + 0.218C - 0.00223T - 0.00236D + 0.0009H - 0.286N + 0.000104R$ (K -migration-accumulation coefficient, S -age of source rock, C TOC, T -critical moment, D -thickness of Cap, H -depth of cap, N -times of unconformities, R -age of reservoir rock). Third, play evaluation parameter system and classification standards are built up based on lots of statistics. In the end, recovery rate of 5 types of natural gas reservoirs are analyzed and the results are: recovery rate of gas drive-clastic reservoirs is (75%~90%), water drive-clastic ones 50%~70%, gas drive-carbonate ones 80%~95%, water drive-carbonate ones 55%~80%, and tight ones 40%~55%.

Key words natural gas, resource assessment, gas production rate, recovery rate