

煤层气储量计算方法

李明宅* 胡爱梅 孙晗森 徐文军
(中国联合煤层气研究中心)

李明宅等. 煤层气储量计算方法. 天然气工业, 2002; 22(5): 32~ 35

摘 要 煤层气地质储量是指,在原始状态下赋存于已发现的具有明确计算边界的煤层气藏中的煤层气总量。煤层气独特的地质特征决定了其储量计算方法有别于常规天然气。以我国第一个已经审批通过的煤层气探明储量报告为基础,对煤层气储量的各种计算方法(类比法、体积法、数值模拟法、产量递减法)、参数选取、采收率预测和存在的问题等进行了探讨。发现影响煤层气储量计算精度的关键参数是含气面积、煤层厚度和含气量,尤其是探明含气面积的圈定过程中尚有很多不确定因素需要深入研究。

主题词 煤成气 储量计算 计算方法 精度 采收率

不同类别的煤层气储量是不同勘探开发阶段的成果,是确定下一步煤层气勘探开发部署、制定规划、确定投资规模的重要依据,也是评估企业资源性资产的基础。

煤层气储量计算方法简介

煤储层是一种裂隙—孔隙型气液两相、双重孔隙介质的储集类型,气井的动态特征与常规天然气有明显的不同。分析表明,适合计算煤层气地质储量的计算方法主要有类比法、体积法、数值模拟法和产量递减法等。

1. 类比法

类比法主要利用与已开发煤层气田(或相似储层)的相关关系计算储量。计算时需要绘制出已开发区关于生产特征和储量相关关系的典型曲线,求得计算区可类比的储量参数,再配合其他方法进行计算。该方法可用于预测地质储量的计算。

2. 体积法

该方法是计算煤层气地质储量的基本方法,适用于各个级别煤层气地质储量的计算。其计算精度取决于对气藏地质条件、储层特征的控制程度和认识程度,以及所获取参数的精度和数量。

3. 数值模拟法

该方法是计算煤层气可采储量的重要方法。它是在计算机中利用专门软件(又称数值模拟器,如:

Comet—II、COALGAS、ECLIPSE)对已获得的储层参数和早期的试采生产数据进行匹配拟合,最后获取煤层气井的预计生产曲线和可采储量。

4. 产量递减法

产量递减法是通过研究煤层气井的产出规律、分析气井的生产特性和历史资料来预测储量。一般是煤层气井经历了产气高峰开始稳产并出现递减后,利用递减曲线对未来产量进行计算。可用于探明可采储量的计算,特别是在气井投入开发生产阶段,产量递减法配合体积法和储层数值模拟法可共同提高储量计算精度。

在我国目前的煤层气勘探阶段,适合计算煤层气探明地质储量的方法是体积法,计算探明可采储量的方法是数值模拟法。

体 积 法

1. 计算探明储量的前提条件

据目前国内外的资料,用体积法计算煤层气探明地质储量需要满足一些基本条件,如:储量计算区的地质特征、煤层厚度及其分布规律和连续性已经由钻探、测井和物探工程控制;煤层气赋存规律、煤储层物性、储层压力已通过参数井得到有效控制;有井组和单井试采生产试验,井组中至少有 1 口井连续产气生产 3 个月以上,能够比较真实地反映储层产能状况,以便进行储层模拟,预测产能;单井日产

* 李明宅,高级工程师,1987年毕业于原成都地质学院石油系;现任中联煤层气研究中心副主任。地址:(100011)北京安外大街甲 88 号。电话:(010) 64299471。

气量达到储量规范规定的产量下限。

2. 储量计算公式

煤储层中的气体从理论上来说由吸附气、游离气和溶解气 3 部分组成,但是,由于甲烷在水中的溶解度很低,溶解气量占煤层中气体总量的份额很小,因此忽略不计。

吸附气和游离气两者的赋存条件、物理状态不同,其储量计算公式也不同。

(1) 吸附气储量计算公式

$$G_i = 0.01AhDC_{ad} \quad (1)$$

$$\text{或 } G_i = 0.01AhD_{daf}C_{daf} \quad (2)$$

$$C_{ad} = 100C_{daf}(100 - M_{ad} - A_{ad}) \quad (3)$$

式中: G_i 表示煤层吸附气地质储量, 10^8 m^3 ; A 表示煤层含气面积, km^2 ; h 表示煤层净厚度, m ; D 表示煤的空气干燥基密度(煤的容重), t/m^3 ; C_{ad} 表示煤的空气干燥基含气量, m^3/t ; D_{daf} 表示煤的干燥无灰基密度, t/m^3 ; C_{daf} 表示干燥无灰基煤层气含量, m^3/t ; M_{ad} 表示煤中水分, %; A_{ad} 表示煤中灰分, %。

(2) 游离气储量计算公式

$$G = 0.01(T_{sc}p_i / T p_{sc}Z) Ah \varphi_i \quad (4)$$

式中: G 表示煤层游离气地质储量, 10^8 m^3 ; T_{sc} 表示标准温度, $^\circ\text{C}$; p_i 表示原始地层压力, MPa ; T 表示原始地层温度, $^\circ\text{C}$; p_{sc} 表示标准压力, MPa ; Z 表示气体偏差系数; A 表示煤层含气面积, km^2 ; h 表示煤层净厚度, m ; φ_i 表示煤的微孔隙度, %。

一般来说,对于煤层割理裂隙发育且过饱和和含气的煤层,在计算储量时应该同时考虑吸附气和游离气两种气体,反之,仅考虑吸附气。从目前的勘探情况来看,我国多数煤储层属于低压、低渗、低饱和煤层,因此在实际操作过程中仅考虑了吸附气储量的计算。

3. 储量计算单元划分

计算煤层气储量时,需要考虑地质体的相对独立性 & 非均质性,必须把计算对象划分为若干个储量计算单元。同一个计算单元应具有相同或相似的构造条件、储气条件和水动力系统,纵向上一般以单一煤层为计算单元;对于相对集中的煤层组可合并计算单元,彼此连通的储层可以作为一个储量计算单元;在计算单元中还需要剔除煤层气风(氧)化带,一般以甲烷含量小于 80% 为界。充分考虑煤储层参数在纵向上的差异性和平面上的分区性。但是,应该着重提出的是,各计算单元必须经过试采气证明,在已经获得了工业气流的条件下,才能按划分的单

元计算储量,没有经过试采气的单元原则上不能参与计算。例如:沁水盆地已经获得国家储委认可的探明储量,其 3 号煤和 15 号煤作为两个纵向计算单元分别经过试采气,并获得了工业煤层气流,因此,才可以按照气区或井区计算储量。

应该看到,储量计算单元是一个非均质体,而我们能够直接获得的参数只局限于个别点,为了使选用的储量计算参数在计算单元空间内具有代表性,需要选择一种合适的参数处理方法,将离散点参数合理地分布于整个连续空间。可以考虑采用 Kriging 空间差值法,将已知参数分布到各有限单元上。

4. 储量计算参数选取

体积法计算吸附煤层气储量的原理比较简单,但准确求取地下各项参数却很困难。主要的计算参数有煤层含气面积、煤层含气量、煤层净厚度和煤密度,其中前三项参数对储量计算精度影响最大。

(1) 含气面积

地质储量计算边界的确定,原则上由以下几种边界组成,如:钻井和地质方法综合确定的煤层气藏边界,如断层、尖灭、剥蚀等地质边界;煤层净厚度下限边界;含气量下限边界和瓦斯风化带边界;煤层气藏边界未查明或煤层气井离边界太远时,主要以煤层气井外推圈定;矿权边界、自然地理边界或人为划定的储量边界。

对于不同倾角的煤层,圈定有效含气面积时有以下几种情况。

1) 当煤层倾角小于 15° 时,一般情况下可以直接采用在煤层底板等高线图上测定的水平面积。如:沁水盆地。

2) 当煤层倾角在 $15^\circ \sim 60^\circ$ 时,需要将煤层底板等高线图上测定的水平面积换算成真面积。

3) 当煤层倾角大于 60° 时,就需要将煤层立面图(即立面投影图)上量得的立面面积换算成真面积。

4) 对于急倾斜煤层,其产状沿走向、倾向变化大,直立倒转频繁,这就需要编制煤层立面展开图,在其上测定面积。

(2) 煤层有效厚度(净厚度)

煤层有效厚度是指扣除夹矸层后的煤层厚度。煤层是经过试采证实已达到计算探明储量的起算标准($1\,000 \text{ m}^3/\text{d}$);有效厚度主要根据钻井取心和测井解释结果联合划定,由于含气面积采用垂直投影面积,其有效厚度为铅直有效厚度。因此必须对井斜比较大、地层倾角比较大的地区煤层气井钻遇厚度进行校正。构造条件简单的地区井控程度可取 2~ 3

km, 采用面积权衡法取值, 如沁水盆地, 而构造条件复杂的地区, 井控程度需相应提高; 单井有效厚度下限值为 0.5~0.8 m; 夹矸层起扣厚度为 0.05~0.1 m。

(3) 煤密度

煤的密度分为纯密度和视密度(容重), 在储量计算中分别对应于不同的含气量基准。其测定方法为 GB 212—91 煤的工业分析方法。

测定样品的数量要有足够的代表性, 对储量计算区内的每一口井而言, 如果煤的灰分变化不大, 煤的密度值比较接近, 可用所有样品的平均值; 反之, 如果煤的灰分变化比较大, 则需要利用煤的厚度计算加权值。

(4) 煤层含气量

煤层含气量是指单位数量(通常 1 t)煤体中所吸附的煤层气数量(m^3/t), 通常采用钻井取心测得(利用先进的绳索式取心法)。

计算探明储量时, 采用现场煤心直接解吸法(美国矿务局 USBM 法)实测的原煤基(air-situ basis)含气量数据; 煤田勘查煤心分析法(煤炭行业标准 MT/T—77—94)测定的含气量可参考应用, 但需要进行必要的校正。

如果有空气干燥基(air-day basis)的含气量数值, 则需要平衡水分和平均灰分校正。平衡水分测定参照美国矿务局 ASTM 平衡水分测定方法。校正公式如下:

$$C_c = C_{ad} - \beta[(A_{ad} - A_{av}) + (M_{ad} - M_{eq})] \quad (5)$$

式中: C_c 表示煤的原煤基含气量, m^3/t ; C_{ad} 表示煤的空气干燥基含气量, m^3/t ; A_{av} 表示煤的平均灰分, 重量分数; M_{eq} 表示煤的平衡水分, 重量分数; β 表示空气干燥基含气量与(灰分+水分)相关关系曲线斜率; 其他参数的意义及单位同前。

采收率预测

采收率是指在某一经济极限内, 在当前工程和技术条件下从煤层气藏地质储量中可以采出的煤层气量的百分数。确定采收率的方法有多种, 但目前没有已经干枯或濒临枯竭煤层气藏的资料, 以及进入开发中后期的煤层气藏资料。因此, 比较合适粗略地确定煤层气采收率的方法是数值模拟法。

1. 基本思路

利用专门的煤层气模拟软件(Comet—II、COAL-GAS、ECLIPSE)对已获得储量的储层参数和早期生产

数据进行拟合匹配, 最后获得气井的预测生产曲线和可采储量。其技术步骤如下。

1) 模型建立(包括: 地质模型、确定边界条件、煤层气的流动状态、源汇项及井的工作状态、数学模型)。

2) 敏感性分析(包括: 气产量与含气量、表皮系数、孔隙度、渗透率、兰氏体积、吸附时间、井底压力等参数的敏感性分析)。

3) 历史拟合(获得气、水产量、压力等拟合曲线)。

4) 获得井网中心井的单井累积产气量预测曲线。

2. 产气量预测

经过历史拟合、识别后的模型用于动态预测。由于煤层气井具有产量低, 但生产时间长的特点, 所以一般预测在 20 年以上。应该注意, 通过模拟获得的井网中心井的累积产气量曲线是在排采生产无间断的情况获得的, 没有考虑中途压裂、换泵、洗井、打加密井、储层不均质性、污染等因素引起的停止排采生产时间, 因此当从曲线上获取单井最终产气量值时需要考虑这些因素, 避免取值过大, 影响计算结果的精度。

3. 采收率求取

采收率指模拟预测的井网中心井的产气量与其控制的泄气面积内的煤层气储量之比。其中中心井控制泄气面积内的储量可以利用计算区的煤层气储量丰度与中心井控制的泄气面积相乘求得。

存在的问题

国内外对于常规油气储量计算的研究程度比较高, 但对煤层气储量计算的研究仍处于摸索阶段。

笔者参加完成了我国第一个地面开发煤层气的储量报告——沁水煤层气田新增煤层气探明储量报告, 该报告已获得全国矿产储量委员会的认可。通过对沁水盆地的储量计算, 笔者发现尚有以下问题有待进一步深入研究。

1) 圈定储量计算边界时, 如果煤层气井间距较远, 那么外推多大距离作为地质储量的计算边界才合适?

2) 一个煤层气试验井组能够控制多大的探明含气面积? 如何把井组与周围的单井结合在一起圈定含气面积?

3) 断距在几十米以上的断层能否作为计算探明储量的边界。一般而言, 大断层附近的煤层破坏比

对中国煤层气勘探开发现状思考与建议

陈晓东*

(中国石化集团新星石油公司华北石油局)

陈晓东. 对中国煤层气勘探开发现状思考与建议. 天然气工业, 2002; 22(5): 35~ 39

摘 要 开拓中国煤层气新领域已历经十年, 煤层气钻井近 200 口、实施煤层气“项目”40 余项(均含中外合作), 但是至今仍未建成一座商业性开发气田。按勘探程序, 完成勘探任务的标志是探明可采储量。此后, 需进行“开发试验”(即“中试”), 而后才能正式开发。为加快我国煤层气的勘探开发工作, 建议在有利区尽快完善小井网试验, 确认可增补生产试验井, 扩大井网规模, 在条件具备时尽快转入工业性试验, 并针对技术难题设立科技攻关专题。

主题词 煤成气 勘探程序 开发试验 先导性试验 工业性油气藏

1. 从勘探程序和煤层气非常规产出特征评估国内现有小井网试验都未达到规范完成程度

煤层气勘探开发程序与常规石油天然气及其他地质矿产基本一致。这里主要讨论一个关键性的问题: 如何判断从勘探阶段转入开发阶段。一般标志是完成探明储量计算。由于煤层气的非常规性特征, 探明储量应该是探明可采储量, 而不只是探明地质储量(原地质源量)。根据煤炭储量和煤层含气量参数即可很容易计算出煤层气地质储量, 其储量级别决定于煤炭储量及含气量参数的准确度和代表性, 这一点与常规油气地质储量的计算和评价基本相同。而关键问题是如何计算可采储量, 而且还要达到“探明级”。现在世界上还没有“煤层气储量规范”可借鉴(美国是开发煤层气最早成功的国家并达到年产 $400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的规模, 他们只是参照常规油气储量规范, 并没有制定专项煤层气储量规范), 我国

制定这样一个可行的规范还尚有时日。但这并不妨碍我们讨论采收率如何确定和选取。采收率参数一般应随着整个生产过程不断修正、随着人们对该地质和产出特征的深入认识、随着技术方法进步, 不断提出新的预测值。但是在该认识和修正过程中, 应明确在认为已完成勘探阶段任务、在计算可采储量时采收率参数已具备了足够的精确度和代表性。

煤层气的甲烷分子以吸附态赋存在煤岩中, 其产出需经过降压—解吸—扩散—渗流过程。且不论煤岩储层本身存在较强的非均质性, 单就煤层气井产出特征看(图 1), 往往是在经历短暂高峰产量(如控制排采可不出现这一特征, 或者因瞬时高产而忽略不计)即进入负增长阶段, 又经过漫长的增产过程, 才能达到高峰产量阶段(这一过程完全不同于常规天然气的产出规律), 然后缓慢递减, 至此才可能对产气量和采收率做出比较切合实际的预测。应指

较严重, 气体容易散失, 因此究竟把计算边界划在距断层多远处更合适?

4) 煤层气产业是一个高投入的产业, 勘探过程中不可能把煤层气井打得很密, 因此获得的煤层含气量资料只能是局部的一些点, 如何利用以往大量的煤田瓦斯资料就显得非常重要, 但限于当时的取心手段和测试技术, 导致瓦斯含量值在很大程度上

偏低, 不能真实地反映煤层含气情况, 如何把这些资料校正到目前的技术水平上加以利用?

5) 低阶煤在我国煤炭资源中占有很大的比例, 其具有演化程度低、含气量低、压实程度低、煤体相对疏松的特点, 其储气情况显然不同于中、高阶煤, 如何计算低阶煤的煤层气储量?

(收稿日期 2001-04-01 编辑 居维清)

* 陈晓东, 1939 年生, 教授级高级工程师; 1963 年毕业于原北京地质学院; 从事油气、煤层气勘探开发研究工作, 曾负责国家“七五”、“八五”天然气重点科技攻关项目的专题、课题研究, 以及 UNDP 煤层气项目; 已发表论文多篇, 出版专著数部, 并多次获部级科技进步一、二等奖。地址: (450006) 河南省郑州市伏牛路 197 号。电话: (0371) 8629305。

Yang Luwu (*senior engineer*), born in 1969, graduated from the China University of Mining and Technology and received his Doctor's degree in 1977. As a director of research centre, he has been engaged in the research on coal-bed gas exploration and development in China National Union Coal-bed Gas Corporation, Ltd., from 1998. He won the being-in-office qualifications of state mineral reserve assessor firstly appointed by the Ministry of National Territory Resources and the Ministry of Personnel affairs in 2000. Now he is manager of coal-bed gas development in Asian American Energy Inc. (USA). Add: No. A-88, Anwai Street, Beijing (100011), China. Tel: 13501286404

Tel: (010) 64299471

CALCULATION METHODS OF COAL-BED GAS RESERVES

Li Mingzhai, Hu Aimei, Sun Hansen and Xu Wenjun (Coal-bed Gas Research Centre of China National Union Coal-bed Gas Corporation, Ltd.). *NATUR. GAS IND.* v. 22, no. 5. pp. 31~35, 9/25/2002. (ISSN1000-0976; **In Chinese**)

ABSTRACT: Coal-bed gas reserves in place are the total amounts of the coal-bed gas occurring to the discovered coal-bed gas reservoir with a definite calculation boundary and under an original state. The calculation methods of coal-bed gas reserves are different from those of conventional gas reserves because of the unique geological characteristics of the coal-bed gas. On the basis of the first coal-bed gas proved reserve report examined and approved by our country, various calculation methods (analogy method, volumetric method, numerical simulation method and production decline method) of coal-bed gas reserves, parameter selection, recovery prediction and existential problems, etc., are discussed in the paper. It is found that the key parameters influencing the calculation accuracy of coal-bed gas reserves are gas-bearing area, coal-bed thickness and gas saturation, and there are many uncertain factors needing to be studied in a deep-going way in delimiting the gas-bearing area especially.

SUBJECT HEADINGS: Coal-formed gas, Reserve calculation, Calculation method, Accuracy, Recovery factor

Li Mingzhai (*senior engineer*), graduated from the Department of Petroleum, the former Chengdu College of Geology in 1987. Now he is deputy director of the Research Centre. Add: No. A-88, Anwai Street, Beijing (100011), China

THOUGHTS AND RECOMMENDATIONS ON COAL-BED METHANE GAS STATUS IN CHINA*

Chen Xiaodong (North China Petroleum Bureau of Xinxing Petroleum Company, Sinopec). *NATUR. GAS IND.* v. 22, no. 5. pp. 35~39, 9/25/2002. (ISSN1000-0976; **In Chinese**)

ABSTRACT: During these ten years' exploring and developing the coal-bed methane gas in China, nearly 200 wells of methane gas have been drilled and more than 40 items of projects on methane gas have been carried out including those in cooperation with some other countries. However, there is still no any commercial gas fields established up till now. According to the exploring procedure, the proved reserve achieved is a sign of accomplishment of exploration task. It is essential to conduct "development experiment" prior to "commercial development". In terms of exploration of a frontier, "development experiment" means "pilot-scale experiment" or "industrial experiment". To conduct "development experiment" it is necessary to identify "development experiment" wells and extend pilot on the basis of fully accomplishing a small-scale pilot. To speed up the exploration and development of the coal-bed methane gas, it is suggested to complete small-scale pilot experiments and move forward into "industrial experiment" at high prospective areas as soon as possible. Meanwhile, more research projects should be carried out to overcome those technical obstacles.

SUBJECT HEADINGS: Coal-bed methane, Exploring procedure, Pilot-scale experiment, Industrial reservoir

Chen Xiaodong (*professorial senior engineer*), born in 1939, graduated from the former Beijing Geology Institute in 1963. He has been engaged in study on the exploration and development of oil/gas and coal-bed methane. He was once in charge of the state key research projects and UNDP coal-bed methane project. He has published many theses and monographs. He has been awarded the first and the second prizes for many times on scientific and technological progress from the Ministry. Add: No. 197, Funiu Rd., Zhengzhou, Henan (450006), P. R. China. Tel: (0371) 8629305

APPLYING NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE FOR DETERMINING PETROPHYSICAL PROPER-