

地下储气库多周期运行注采气能力预测方法

阳小平^{1,2} 程林松¹ 何学良² 耿彤³ 李春⁴

1. 中国石油大学(北京) 2. 中国石油北京天然气管道有限公司

3. 中国石油华北油田公司采油工艺研究院 4. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院

阳小平等. 地下储气库多周期运行注采气能力预测方法. 天然气工业, 2013, 33(4): 96-99.

摘要 注采气能力预测是地下储气库安全运行的核心技术之一,其预测值的准确与否直接影响到上游气田和整个天然气管网的调配生产以及下游用户的用气安全。为此,基于有水气藏型地下储气库多周期注采运行规律,根据地下储气库多周期运行盘库分析方法,利用地下储气库盘库库容参数的定义,通过一系列的数学推导,创建了地下储气库多周期运行注采气能力预测数学模型及预测方法。实例应用结果表明:①该模型预测结果与地下储气库实际运行结果十分接近,预测模型适用性较好、预测精度高;②通过地下储气库多周期运行动态分析并准确把握库容参数未来变化趋势,能够合理预测及评价地下储气库多周期运行注采气能力的变化。目前该方法应用于已建地下储气库注采气能力预测及优化配产配注中,现场应用效果较好,为进一步提高地下储气库运行效率、降低储气成本提供了技术支持。

关键词 地下储气库 有水气藏 多周期注采 注采气能力 库容参数 预测 调配生产 用气安全

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2013.04.017

A prediction method for multi-stage injection and recovery capacity of underground gas storage

Yang Xiaoping^{1,2}, Cheng Linsong¹, He Xueliang², Geng Tong³, Li Chun⁴

(1. China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. PetroChina Beijing Natural Gas Pipeline Co., Ltd., Beijing 100101, China; 3. Oil Production Technology Research Institute, Huabei Oilfield Company, PetroChina, Renqiu, Hebei 062550, China; 4. Langfang Branch of Petroleum Exploration and Development Research Institute, Langfang, Hebei 065007, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 4, pp.96-99, 4/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: The prediction of injection and recovery capacity is one of the core techniques in the safe operation of underground gas storage (UGS), and whether it is accurate or not will directly affect the upstream production of gas fields, the allocation and distribution of the whole natural gas network, and the safe use of gas for downstream users. Therefore, based on the multi-cycle operation law of UGS and the definition of capacity parameters of inventory verification, this paper puts forward mathematical models on the prediction of multi-cycle injection and recovery capacity of UGS. Case histories demonstrate that the predicted results from the said two models are approximate to those in practical operation of UGS, so this prediction method is of good adaptability and high accuracy. In addition, through the dynamic analysis of multi-cycle operation of UGS, we get to know well the changing trend of storage capacity parameters in the future, thereby to predict and assess how the injection and gas recovery capacity is changing in multi-cycle operation of UGS. More field practices show that this prediction method provides robust technical support for improving the operation efficiency of UGS and reducing the cost in gas storage.

Key words: underground gas storage, water-bearing gas reservoir, multi-stage injection and recovery, injection and recovery capacity, storage capacity parameter, prediction, allocation and production, safe use of gas

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科研项目(编号:油气 100303)。

作者简介: 阳小平, 1977年生, 高级工程师, 博士研究生; 主要从事地下储气库的建设和运行管理工作。地址: (100101)北京市朝阳区大屯路9号。电话: (010)84884239。E-mail: oyxp1977@163.com

注采气能力预测是地下储气库安全运行的核心技术之一,可为地下储气库运行动态分析、运行措施调整及优化配产配注等提供依据。中国目前仅建有9座用于城市调峰的气藏型地下储气库,位于中国石油大港油田公司板桥油气区和华北地区,这9座地下储气库的陆续建成极大地缓解了京津冀地区天然气冬季季节调峰的压力,为陕京线的安全、平稳供气做出了重要贡献^[1-3]。但由于受该类地下储气库运行周期短及运行经验欠缺的共同影响,在地下储气库多周期运行注采气能力评价方面还没有建立全面、系统的预测模型和预测方法,同时,我国大规模的天然气开发利用和天然气长输管道的兴建也带动了地下储气库的需求和建设,迫切需要建立配套的地下储气库多周期运行注采气能力预测方法^[4-5]。

1 地下储气库多周期运行采气能力预测模型

以有水气藏型地下储气库为研究对象,根据地下储气库多周期运行盘库分析方法^[6-8],利用地下储气库盘库库容参数的定义,通过一系列数学推导,可建立地下储气库多周期运行注采气能力预测数学模型。

地下储气库多周期运行采气能力为地下储气库从采气初期的地层压力运行到设计下限压力时能够采集的气量,即为地下储气库多周期运行采气初期的库存量与采气末期的总垫气量之差:

$$G_{p(i)} = G_{r(i)} - G_{rmin(i)} \quad (1)$$

运用地下储气库多周期运行盘库方法,利用地下储气库库存量计算数学模型^[7-9],可得到地下储气库多周期运行采气初期的库存量 $[G_{r(i)}]$,而地下储气库多周期运行采气末期的总垫气量为上一运行周期采气末期的库存量减去剩余工作气量再加上运行周期的垫气变化量,数学表达式为:

$$G_{rmin(i)} = G_{r(i-1)} - G_{w(i-1)} + Q_{sh(i)} \quad (2)$$

将式(2)代入式(1),可推导出地下储气库多周期运行采气能力预测数学模型:

$$G_{p(i)} = Q_{in(i)} + G_{w(i-1)} - Q_{sh(i)} \quad (3)$$

式(3)表明,地下储气库多周期运行采气能力为地下储气库多周期运行的实际注气量加上上一运行周期的剩余工作气量再减去运行周期的垫气变化量。该数学模型简单明了,含义明确,方便实用。

2 地下储气库多周期运行注气能力预测模型

地下储气库多周期运行注气能力为地下储气库从

注气初期的地层压力运行到设计上限压力时能够注入的气量,注气量包括3部分:①填补地下储气库因上一运行周期采出的气量而需要完全补充的气量;②地下储气库因本周期扩容而需要补充的垫气量;③工作气量。因此,地下储气库多周期运行注气能力为这3部分气量之和,其数学表达式为:

$$G_{in(i)} = Q_{p(i-1)} + Q_{sh(i)} + Q_{w(i)} \quad (4)$$

将地下储气库垫气变化率和工作气量变化率定义及其数学表达式代入式(4)可推导出地下储气库多周期运行注气能力预测数学模型^[10-12]:

$$G_{in(i)} = \frac{Q_{p(i-1)}}{1 - E_{sh(i)} - E_{w(i)}} \quad (5)$$

其中 $E_{sh(i)}$ 为垫气变化率,表示垫气变化量占注气量的百分比,其数学表达式为:

$$E_{sh(i)} = \frac{G_{rmin(i)} - G_{rmin(i-1)}}{Q_{in(i)}} \times 100 \quad (6)$$

$E_{w(i)}$ 为工作气量变化率,表示工作气量变化量占注气量的百分比,其数学表达式为:

$$E_{w(i)} = \frac{Q_{w(i)} - Q_{w(i-1)}}{Q_{in(i)}} \times 100 \quad (7)$$

3 应用实例

3.1 基础数据

国内某气藏型地下储气库设计运行压力区间为26.5~13.0 MPa,建库前剩余地质储量为 $1.59 \times 10^8 \text{ m}^3$,地层压力为8.29 MPa,地层温度为85 °C,地层剩余凝析气相对密度为0.67;改建地下储气库后,注入干气相对密度为0.59,目前已完成了6个注采运行周期,累积注气量为 $6.19 \times 10^8 \text{ m}^3$,累积采气量为 $4.82 \times 10^8 \text{ m}^3$,净注气量为 $1.37 \times 10^8 \text{ m}^3$,运行动态数据详见表1。

表1 某地下储气库多周期运行动态数据表

注采周期	注气量/ 10^8 m^3	注气压力/ MPa	采气量/ 10^8 m^3	采气压力/ MPa
1	1.35	24.63	0.84	13.40
2	1.24	26.48	0.99	13.58
3	1.27	26.61	1.04	13.60
4	1.25	27.24	0.09	24.91
5	0.15	26.80	0.82	16.80
6	0.93	26.88	1.04	14.80

3.2 预测步骤

- 1)计算地下储气库多周期运行盘库库容参数。
- 2)求取地下储气库各运行周期垫气变化率及工作

气量变化率。

3)预测地下储气库本运行周期垫气变化率及工作气量变化率。

4)利用式(3)、(5)预测地下储气库本周期注采气能力。

3.3 预测结果

利用地下储气库多周期运行动态数据(表1),计算得到地下储气库多周期运行库容量、垫气量及其变化率、工作气量及其变化率等库容参数值(表2),通过分析库容参数变化规律,预测地下储气库下周期垫气变化率及工作气量变化率分别为2.5%、1.0%。

表2 某地下储气库多周期运行库容参数表

注采周期	库容量/ 10^8 m^3	垫气量/ 10^8 m^3	工作气量/ 10^8 m^3	垫气 变化率	工作气量 变化率
1	3.07	2.07	1.00	35.1%	
2	3.35	2.31	1.04	19.3%	3.5%
3	3.62	2.54	1.08	18.0%	3.6%
4	3.86	2.70	1.16	12.8%	6.5%
5	3.88	2.71	1.17	9.4%	1.6%
6	3.98	2.78	1.19	7.7%	2.6%

利用地下储气库多周期运行注采气能力预测数学模型,预测地下储气库注气期地层压力从上周期采气末期的14.8 MPa运行到设计上限压力26.5 MPa时,地下储气库注气量为 $1.08 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。同时,预测地下储气库采气期地层压力从26.5 MPa运行到设计下限压力13.0 MPa时,地下储气库采气量为 $1.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。地下储气库多周期运行注采气能力预测与实际运行结果对比情况见图1。

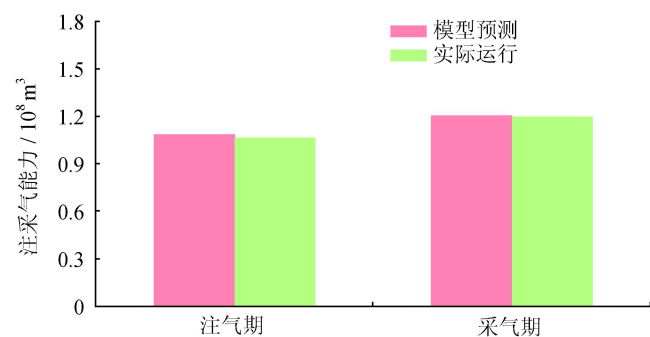


图1 地下储气库多周期运行注采气能力预测与实际运行结果对比图

3.4 预测结果分析

1)地下储气库多周期运行注采气能力预测模型预测结果与实际运行结果十分相近,表明所建立的预测

模型适用性较好,模型预测精度能够满足现场要求;目前该方法已应用于已建地下储气库多周期运行注采气能力预测及优化配产配注中,现场应用效果较好。

2)模型预测结果的可靠程度依赖于地下储气库的垫气变化率及工作气量变化率等参数,通过地下储气库多周期运行动态分析并准确把握库容参数未来变化趋势,能够合理预测及评价地下储气库注采气能力变化。

4 结论

1)利用地下储气库盘库库容参数的定义,创建了地下储气库多周期运行注采气能力预测数学模型,实例计算验证了该预测模型的正确性。

2)建立的预测方法已应用于我国已建地下储气库多周期运行注采气能力预测及优化配产配注中,现场应用效果较好,进一步提高了地下储气库运行效率,也为国内同类地下储气库的运行提供了借鉴。

3)通过地下储气库多周期运行动态分析并准确把握库容参数未来变化趋势,能够合理预测并评价地下储气库注采气能力的变化,从而为地下储气库的优化调整、配产配注等提供科学依据。

符号说明

$G_{p(i)}$ 为地下储气库采气能力, 10^8 m^3 ; $G_{\min(i)}$ 为地下储气库注气末期库存量, 10^8 m^3 ; $G_{\min(i)}$ 为地下储气库垫气量, 10^8 m^3 ; $G_{(i-1)}$ 为地下储气库上一运行周期采气末期库存量, 10^8 m^3 ; $G_{w(i-1)}$ 为地下储气库上一运行周期剩余工作气量, 10^8 m^3 ; $Q_{sh(i)}$ 为地下储气库垫气变化量, 10^8 m^3 ; $Q_{m(i)}$ 为地下储气库注气量, 10^8 m^3 ; $G_{n(i)}$ 为地下储气库注气能力, 10^8 m^3 ; $Q_{p(i-1)}$ 为地下储气库上一运行周期注气量, 10^8 m^3 ; $Q_{w(i)}$ 为地下储气库工作气量变化量, 10^8 m^3 ; $E_{sh(i)}$ 为地下储气库垫气量变化率; $E_{w(i)}$ 为地下储气库工作气量变化率。

参考文献

- [1] 王皆明,朱亚东,王莉,等.北京地区地下储气库方案研究[J].石油学报,2000,21(3):100-104.
WANG Jieming, ZHU Yadong, WANG Li, et al. Scenario research of underground gas storage in Beijing[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(3):100-104.
- [2] 王起京,张余,刘旭.大张坨地下储气库地质动态及运行效果分析[J].天然气工业,2003,23(2):89-92.
WANG Qijing, ZHANG Yu, LIU Xu. Geological performance of Dazhangtuo Underground Gas Storage and its operation efficiency analysis[J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(2):89-92.
- [3] 杨树合,何书梅,杨波,等.大张坨地下储气库运行实践及评价[J].天然气地球科学,2003,14(5):425-428.

- YANG Shuhe, HE Shumei, YANG Bo, et al. Operation practice and evaluation of Dazhangtuo Underground Gas Storage[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(5):425-428.
- [4] 丁国生. 全球地下储气库的发展趋势与驱动力[J]. 天然气工业, 2010, 30(8):59-61.
- DING Guosheng. Developing trend and motives for global underground gas storage[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(8):59-61.
- [5] FLANIGAN O, 张守良, 陈建军, 等. 储气库的设计与实施[M]. 北京:石油工业出版社, 2004.
- FLANIGAN O, ZHANG Shouliang, CHEN Jianjun, et al. Underground gas storage facilities design and implementation[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2004.
- [6] 杨继盛, 刘建仪. 采气实用计算[M]. 北京:石油工业出版社, 1994.
- YANG Jisheng, LIU Jianyi. Practical computation of the gas production [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994.
- [7] 王皆明, 胡旭健. 凝析气藏型地下储气库多周期运行盘库方法[J]. 天然气工业, 2009, 29(9):100-102.
- WANG Jieming, HU Xujian. Study on multi-cycle working inventory method of underground gas storage in condensate gas reservoir [J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(9):100-102.
- [8] 胥洪成, 王皆明, 李春. 水淹枯竭气藏型地下储气库盘库方法[J]. 天然气工业, 2010, 30(8):79-82.
- XU Hongcheng, WANG Jieming, LI Chun. Inventory verification of underground gas storage based on a flooded and depleted gas reservoir [J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(8):79-82.
- [9] 王皆明, 姜风光. 地下储气库注采动态预测模型[J]. 天然气工业, 2009, 29(2):108-110.
- WANG Jieming, JIANG Fengguang. A prediction model on dynamic injection and production for underground gas storages[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(2):108-110.
- [10] 刘旭, 王凤田, 王起京. Q/SY 195.1—2007 地下储气库天然气损耗计算方法[S]. 北京:石油工业出版社, 2007.
- LIU Xu, WANG Fengtian, WANG Qijing. Q/SY 195.1-2007 Calculating method for gas loss in underground gas storage[S]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2007.
- [11] MAYFIELD J F. Inventory verification of gas storage fields[J]. Journal of Petroleum Technology, 1981, 33(9):1731-1734.
- [12] MCVAY D A, SPIVEY J P, HOLDITCH S A, et al. Optimizing gas-storage reservoir performance[J]. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2001, 4(3):173-178.

(修改回稿日期 2013-02-11 编辑 何 明)