

大港储气库群达容的主要因素

胥洪成¹, 李娟², 李宏春³, 唐立根¹

1. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007
2. 中国石油天然气股份有限公司吐哈油田分公司, 新疆鄯善 838202
3. 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第二采油厂, 陕西庆阳 745100

摘要 大港储气库群经过近 10 个注采周期运行后, 部分气库仍远未达到设计的工作气规模。从气藏地质特征及开采动态出发, 紧密围绕储气库、注采井及观察井动态, 开展多周期注采运行动态跟踪分析, 在此基础上总结影响气库达容的因素, 主要表现在建库地质条件、气藏水淹程度、气藏开发方式、气库注采井网及注采方式 5 方面。通过深入分析气库达容的影响因素, 为现场生产管理以及加快气库达容提供科学依据, 同时对同类新库建设具有重要指导意义。

关键词 地下储气库; 达容影响因素; 水淹; 注采井网

中图分类号 TE822

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.16.008

Main Influencing Factors of Capacity of Dagang Underground Gas Storage Facilities

XU Hongcheng¹, LI Juan², LI Hongchun³, TANG Ligen¹

1. Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploitation and Development, Langfang 065007, Hebei Province, China
2. Tuha Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Shanshan 838202, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China
3. No. 2 Oil Production Plant, Changqing Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Qingyang 745100, Shaanxi Province, China

Abstract The working gas volume is still lower than the design value after nearly ten injection-withdrawal cycles in some of Dagang underground gas storage facilities in China. Multicycle dynamic analysis was conducted by focusing on the performance of underground gas storage facility, injection-withdrawal wells and observation wells based on the geological and production characteristics of the gas reservoir, and then the main influencing factors of the working gas volume were analyzed, including geological condition, water flooded degree, development mode of gas reservoir, injection-withdrawal well pattern and injection-withdrawal mode of underground gas storage. This analysis provides a scientific basis for operational management and design, and also for constructing the same type of underground gas storages.

Keywords underground gas storage; influencing factors of capacity; water flooded; injection-withdrawal well pattern

0 引言

1999—2006 年, 在大港地区陆续建成大张坨、板 876、板中北、板中南、板 808 及板 828 地下储气库, 形成了大港储气库群^[1-3]。截至 2009—2010 注采周期, 库群累积注气量 $98.66 \times 10^8 \text{ m}^3$, 累积采气量 $84.53 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中 2009—2010 注采周期注气量 $18.11 \times 10^8 \text{ m}^3$, 采气量 $16.77 \times 10^8 \text{ m}^3$, 为京津冀(尤其是北京

地区)平稳安全供气做出了重要贡献, 但目前工作气量仍远未达到设计规模。经过近 10 个注采周期运行后, 库群总工作气量为 $18.00 \times 10^8 \text{ m}^3$, 为设计的 59.4%, 其中大张坨地下储气库达到方案设计规模($6.00 \times 10^8 \text{ m}^3$), 其余 5 座地下储气库的工作气量仍较低, 为设计的 31.9%—64.0%, 平均 49.4%。随着城市气化率进一步提高, 工业及民用气量将快速增加, 天然气需

收稿日期: 2010-12-07; 修回日期: 2011-04-15

作者简介: 胥洪成, 工程师, 研究方向为天然气地下储气库设计, 电子信箱: xuhongc@petrochina.com.cn

求量及城市周边地下储气库调峰气量将大幅度增加。因此,非常有必要分析影响地下储气库达容的主要因素,为加快库群达容提供科学合理的依据。

1 建库地质条件

大港储气库群建库层位主要在下第三系沙一段板 II 油组,埋藏较深,其中板 876 气库埋深 2220m,相对较浅,其余气库较深,2600—3100m 左右,平均 2800m;岩性为灰白色砂岩与灰色、深灰色泥岩互层,以细、粉砂岩为主;储层物性条件差,非均质性极强,孔隙度为 18.0%—24.0%,渗透率为 $(67.0—346.0) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。国外已建储气库埋深主要在 300—2000m,其数量占储气库总数的 91.0%,岩性为砂岩和石灰岩,孔隙度主要分布为 15.0%—30.0%,渗透率较高,一般 $(10—10^2) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,甚至 $10^3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。大港储气库群的建库地质条件与国外相比,总体来说相对较差,表现为埋藏深、储层物性条件差^[4]、非均质性强。因此,建库地质条件的复杂性根本上决定了大港储气库群达容缓慢。

2 气藏水淹程度

气藏水体规模小,驱动类型为弱—中等水驱,但经过 20—30 年开发后均不同程度水淹。地层水或边底水侵入气藏后净水侵量占据部分孔隙空间,减小可动含气孔隙体积;同时储层物性中等、非均质性强,储层岩石具有亲水性,无论是气藏开发还是储气库多周期注采运行过程中,将形成大量封闭气,进一步减小可动含气孔隙体积^[5]。

以板 876 储气库为例,由水淹枯竭凝析气藏改建,气藏储层物性中等、非均质性强,压降曲线呈现定容封闭特征(如图 1),水驱物质平衡方程计算水体倍数为 2.0,停采时水侵量 $17.1 \times 10^4 \text{m}^3$,水驱指数 0.047,属于弱水驱。在 20 多年衰竭式开发过程中,初期产微量凝析水,随着采出程度增加,地层压力降低,在开采末期边水沿着高渗带选择性侵入到构造中高部位的气井,直至水淹停喷。位于构造腰部的板 876 井 1978 年 11 月投产,1986 年 2 月产水量由 0 突增至 $1.8 \text{m}^3/\text{d}$,最高产水量达 $10.0 \text{m}^3/\text{d}$,1988 年 1 月关井,累积产水量 5244.0m^3 ;位于构造高部位的板 876-2 井 1978 年 11 月投产,1994 年 1 月产水量由 0 突增至 $2.2 \text{m}^3/\text{d}$,最高产水量达 $5.6 \text{m}^3/\text{d}$,1998 年 4 月

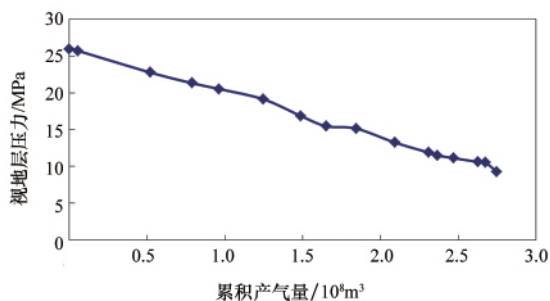


图 1 板 876 气藏压降曲线

Fig. 1 Pressure falling off curve of Ban 876 gas reservoir

关井,累积产水量 2143.0m^3 。分析认为受润湿性影响,侵入水在占据较大通道的时候,还将以绕流、卡断、孔隙盲端和角隅以及 H 型孔道形成封闭气^[6-9],从而大大减少了可动含气孔隙体积,降低运行效率。

3 气藏开发方式

大港储气库群除大张坨储气库经证实没有油环存在外,其余储气库均为带窄油环凝析气藏改建而成,开发末期,部分气藏为了保持地层压力实施注水开发,而储气库部署排液井数少、多周期运行过程中未有针对性地进行有效排液,大量注入水仍残留在储层孔隙中,占据一定含气空间,同时增加了气驱阻力,注气时原注水井周边的注采井油压快速上升,吸气能力大幅度降低。

以板中南储气库为例,2001 年 3 月为了恢复地层压力,利用板 845 井对板 2 油组的 1、2 小层进行注水,初期日注水 300m^3 。2003 年 2 月,板深 701 井开始分注板 2、板 3 油组,至 2004 年 7 月,2 口井累积注水 $22.7 \times 10^4 \text{m}^3$,使板 2 油组的地层能量得到一定补充(图 2)。

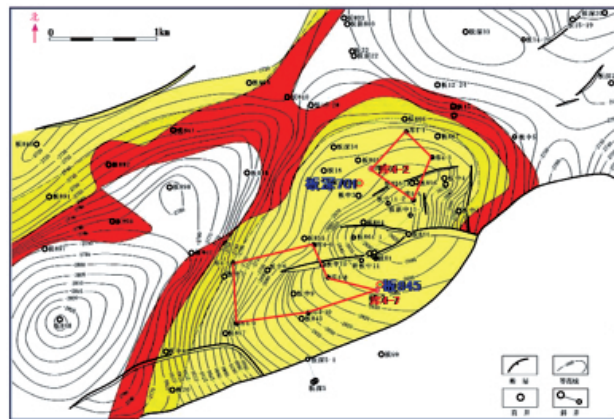


图 2 板中南储气库构造图

Fig. 2 Structure map of Banzhongnan underground gas storage

2009—2010 年注气周期,紧邻注水井的库 4-2 井注气量 $80.9 \times 10^4 \text{m}^3$,库 4—7 井注气量 $442.1 \times 10^4 \text{m}^3$,分别占储气库注气量的 0.35% 和 1.93%,而其他注采井注气量在 $(2100.0—4600.0) \times 10^4 \text{m}^3$ 之间,平均 $3600.0 \times 10^4 \text{m}^3$,是库 4-2 井的 44 倍,库 4-7 井的 8 倍。另外,由油压与注气量关系曲线(图 3)可以看出,随着注气量增加/减少,油压快速上升/降低,当库 4-2 井日注气量由 0 增至 $9.4 \times 10^4 \text{m}^3$,然后降至 0 时,油压由 19.75MPa 上升到 25.33MPa ,随后降至 21.65MPa ;当库 4-7 井日注气量由 0 增至 $13.0 \times 10^4 \text{m}^3$,然后降至 0 时,油压从 17.01MPa 上升到 24.04MPa ,随后降至 22.70MPa 。分析认为板中南气藏开发末期的注入水在建库后仍滞留在储层孔隙中,由于岩石具有亲水性质,注入水附着在孔隙表面,气体渗流通道有效半径减小,气驱阻力增加,大大降低了单井的吸气能力。

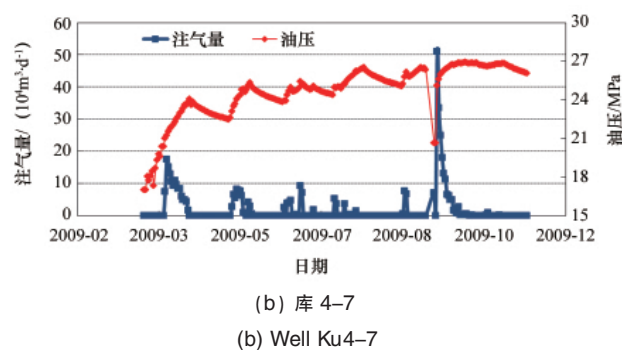
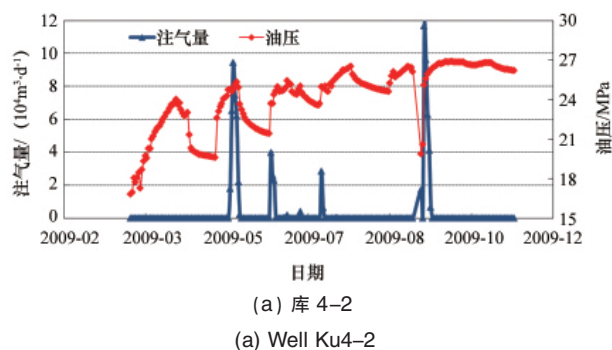


图 3 注气量与油压关系曲线

Fig. 3 Relation curve of gas injection rate and tubing pressure

4 储气库注采井网

大港储气库群是国内建设的首个地下储气库群,注采井集中部署在构造中高部位储层发育、砂体连通性好的区域。近 10 个注采周期运行动态表明,现有井网对砂体控制程度较低,平面波及效果差,不利于储气库强注强采。

以板中南储气库为例,注采井网采用井组形式集中布井,大大降低了对砂体的控制程度,运行效率较低。板中南储气库在板 843 井区布 6 口注采井,在板 856 井区布 4 口注采井,其他区域无井控制(图 2)。经过近 5 个注采周期运行后,气库总库存量 $10.22 \times 10^8 \text{ m}^3$,动用库存量 $3.33 \times 10^8 \text{ m}^3$,未动用库存量 $6.89 \times 10^8 \text{ m}^3$,未动用库存量与总库存量之比高达 67.4%,是板 876、板中北、板 808 及板 828 各储气库的 1.6—2.5 倍,平均 1.8 倍。

5 储气库注采方式

由于构造平缓、水域低压,通过构造边部井注入的气体快速窜入水域,同时重力分异作用影响小,使得气水分布更为复杂,多周期采气过程中无法及时回采,进一步降低了工作气量。

以板中北储气库为例,板中北高点为一半背斜构造,构造上倾方向通过油环和水体与邻近气藏连通,为典型的断层遮挡圈闭(图 4)。库 3-18H 于 2009 年 10 月 22 日注气

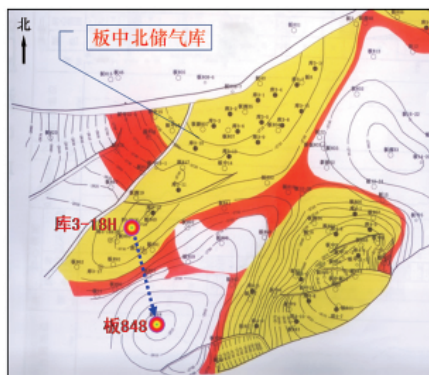


图 4 板中北储气库构造图

Fig. 4 Structure map of Banzhongbei underground gas storage

后,板 848 井油套压即呈现快速上升趋势,油压初期快速增加,增幅逐渐趋于平稳,而套压初期陡增,随后与油压增幅趋于一致,且油压与套压基本相等,现场测试见气,停注后油套压复零(图 5)。2009—2010 注采周期库容量 $19.98 \times 10^8 \text{ m}^3$,为设计的 81.6%,工作气量 $5.90 \times 10^8 \text{ m}^3$,仅为设计的 53.8%。分析认为,该类储气库的库容量已达到或接近方案设计指标,但由于注入气体发生气窜,回采率低,进一步降低了工作气量,导致工作气比例(目前工作气量与方案设计工作气量之比)远低于库容比例(目前库容量与方案设计库容量之比)。

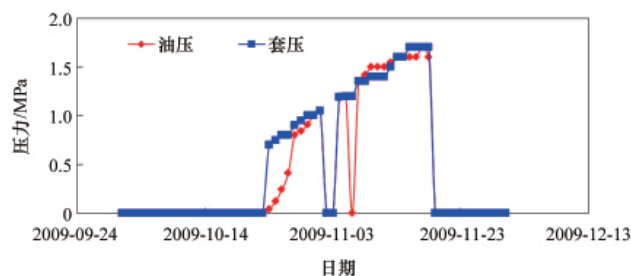


图 5 板 848 井油套压曲线

Fig. 5 Relation curve of tubing pressure and casing pressure of well Ban 848

6 结论

通过大港储气库群多周期注采运行动态跟踪分析,结合气水互驱渗流机制,得到以下几点认识和结论。

(1) 储层埋藏深、物性条件差,总体上建库地质条件差是导致储气库达容缓慢的根本因素。

(2) 建库前气藏水淹、注水开发等使得气水关系复杂,在一定程度上减小了可动含气孔隙空间,增加了气驱阻力,这是影响气库达容的第一类主要因素,由建库目标开采方式所决定的。通过采气携液、合理部署排液井排液等方式可降低其影响程度,但侵入水和注入水难以完全驱替出来。

(3) 注采井网及注采方式是影响储气库达容的第二类主要因素,与储气库建设及运行管理的理论水平及认识程度有关。在储气库运行过程中通过及时调整井网、优化注采方式

可提高波及效率,减小天然气损耗,降低其影响程度,实现气库高效运行。

参考文献 (References)

- [1] 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. *Natural Gas Industry*, 2003, 23(2): 89-92.
- [2] 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. *Natural Gas Geoscience*, 2003, 14(5): 425-428.
- [3] 张幸福, 谢广禄, 曾杰, 等. 大张坨地下储气库运行模式分析 [J]. 天然气地球科学, 2003, 14(4): 240-244.
Zhang Xingfu, Xie Guanglu, Zeng Jie, et al. *Natural Gas Geoscience*, 2003, 14(4): 240-244.
- [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. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(8): 59-61.
- [5] 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. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(8): 79-82.
- [6] Wu H J, Zhou F D, Wu Y Y. Intelligent identification system of flow regime of oil-gas-water multiphase flow [J]. *International Journal of Multiphase Flow*, 2001, 27(3): 459-475.
- [7] Cieslinski J T, Mosdorf R. Gas bubbledynamics experiment and fractal analysis[J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2005, 48(9): 1808-1818.
- [8] 李登伟, 张烈辉, 周克明, 等. 可视化微观孔隙模型中气水两相渗流机理[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2008, 32(3): 80-83.
Li Dengwei, Zhang Liehui, Zhou Keming, et al. *Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science*, 2008, 32(3): 80-83.
- [9] 周克明, 李宁, 张清秀, 等. 气水两相渗流及封闭气的形成机理实验研究[J]. 天然气工业, 2002, 22(S1): 122-125.
Zhou Keming, Li Ning, Zhang Xiuqing, et al. *Natural Gas Industry*, 2002, 22(S1): 122-125.

(责任编辑 刘志远)

·学术动态·



“中国化学会第八届全国无机化学学术会议”征文

由中国化学会主办的“中国化学会第八届全国无机化学学术会议”将于 2011 年 7 月 18—22 日在哈尔滨召开。
征文范围:元素无机化学;配位化学;固体无机化学;无机材料化学;生物无机化学;物理及理论无机化学;无机合成;核化学及同位素化学;稀土及分离化学;原子簇化学及金属有机化学;纳米无机化学(含超分子化学);能源化学及相关领域。

全文截止时间:2011 年 5 月 30 日。

联系方式:哈尔滨市学府路 74 号黑龙江大学化学化工与材料学院(150080) 付宏刚。

联系电话:0451-86604331; 电子信箱:wjhxhy2011@yahoo.com.cn。

会议网址: www.meeting163.com/meeting/viewNotice.asp?id=1302&nid=1174。



SCIENCE & TECHNOLOGY REVIEW

《科技导报》“综述文章”栏目征稿

“综述文章”栏目发表对当前自然科学有关学科领域的研究热点、前沿分支发展现状及动向的评述性文章。要求在所属学科领域从事比较深入研究的一线科研人员在研读相当数量文献资料的基础上,全面、深入、系统地论述该领域的问题,并对所综述的内容进行归纳、分析、评价,以反映作者的观点和见解。在线投稿: www.kjdb.org。