

S 储气库合理注气能力研究

杨智凯 于苏浩 张阳 杨洋 张林

中国石油长庆油田第五采气厂 内蒙古鄂尔多斯 017300

DOI: 10.12238/ems.v7i2.11695

[摘要] 近年来,随着天然气消费量的快速增长,储气能力不足与天然气安全平稳供应之间的矛盾进一步加剧。地下储气库作为保障天然气能源市场安全、平稳运行的“压舱石”,在天然气全产业链中起到不可或缺的作用。为保障储气库应急供气的重要作用,研究合理的注采能力对于储气库平稳运行十分重要,本文以S储气库为例,根据储气库运行压力、注气能力核实、限制性因素等方面预测S储气库合理注采能力,评价储气库的运行效果,为后续平稳运行提供有力支撑。

[关键词] 储气库; 注气井; 注气能力

1、研究区地质概况

S储气库位于苏里格气田东区中部,构造区划属于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡构造单元,下古生界开发目的层为奥陶系马家沟组马五₅段,岩性为碳酸盐岩,储层为粉晶-中晶白云岩,周围发育致密泥晶灰岩。气藏埋深3100~3160m,规模小,呈透镜体状,属典型岩性圈闭气藏。

工区白云岩厚度4.0~28.7m,平均14.0m;有效储层厚度0.8~21.8m,平均9.2m;平均孔隙度8.66%、平均基质渗透率 $13.68 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均含气饱和度71.33%。区块马五₅气藏面积21.2km²,地质储量 $27.8 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

2、储气库运行上限压力确定

低渗透气藏地下储气库的最终注气量的大小,在很大程度上取决于储气库内的最大允许压力,在其它地质条件确定的情况下,最大允许压力越大,注气量越大。储气库运行时的最大允许压力指的是保证储气库封闭性的最高压力。根据国际储气库行标,储气库上限压力不得超过破裂压力的80%。

S储气库马五₅储层破裂压力在38.2MPa~67.2MPa,平均为48.33MPa。上覆直接盖层马五₄储层破裂压力在36.0MPa~53.2MPa,平均为41.8MPa。据此S储气库上限压力不得超过33.4MPa。

3、气井注气能力核实

气井产能方程是论证气井注气能力的基础。利用“一点法”、修正等时试井、类比法等方法,核实了气井无阻流量,建立气井二项式产能方程,论证储层的注入能力;同时利用节点分析法、井筒管流公式计算井筒的注入能力,结合计算结果,绘制流入流出曲线,由曲线交点确定S储气库的注入能力。

3.1 气井产能方程

二项式方程,又称“层流-惯性-湍流分析”,缩写为“LIT分析”,是由渗流力学方程推导而来,具有坚实的理论基础,得到了广泛应用。气井二项式产能方程如下:

$$p_e^2 - p_{wf}^2 = Aq + Bq^2 \quad (2-1)$$

由式(2-1)可推导出气井无阻流量和井底流压计算公式:

$$q_{AOF} = \frac{\sqrt{A^2 + 4B(p_e^2 - 0.101^2)} - A}{2B} \quad (2-2)$$

式中: p_e —供给边界上的地层压力,MPa; p_{wf} —井底流动压力,MPa; q —气井日产量,10⁴m³/d; A —达西流动系数,也叫层流系数; B —非达西流动系数,也叫紊流系数。

根据垂直管流公式,可折算出井底流压:

$$p_{wf}^2 = p_{w\square}^2 e^{2s} - 1.3243 \lambda q_g^2 T_{av}^2 Z_{av}^2 (e^{2s} - 1) / d^5 \quad (2-3)$$

其中

$$s = 0.03415 \gamma_g D / (T_{av} Z_{av}) \quad (2-4)$$

式中: p_{wf} —井底流压,MPa; p_R —地层压力,MPa; $p_{w\square}$ —油管井口油压,MPa; Q_g —天然气产量,10⁴m³/d; T_{av} —井筒内动气柱平均温度,K; Z_{av} —井筒内动气柱平均偏差系数; d —油管内径,cm; γ_g —天然气相对密度; λ —油管阻力系数; D —气层中部深度,m。

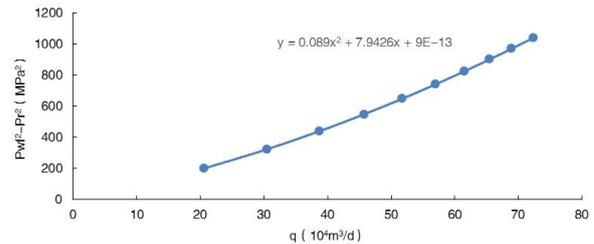


图1 2井产能方程曲线

3.2 节点分析法

地下储气库注气阶段,把从井口到地层的注气过程看成是一个注气系统,在注气系统中选取井底为求解节点,能够方便预测储气库在地层压力发生变化时的日注气量,井底节点将注气系统划分为井口到井底的注入阶段,注入气从井底到地层的注气阶段。通过计算求出注气阶段的动态特征参数,绘制出注气阶段的流入流出曲线,分析注采井的注气量,以地层压力和油管尺寸为变量条件,运用节点分析法,在运行压力区间内确定注采井的合理注气能力。

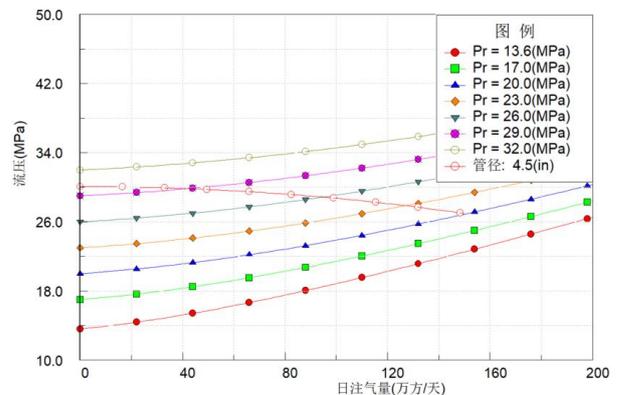


图2 14井注气流入流出曲线(井口24MPa)

4 限制性流量参数

4.1 冲蚀流量

储气库要在安全运行的条件下,最大限度的保障注采井具有高速注采能力,而高速注采气又会对管柱产生冲蚀作用,损害柱管.因此考虑到储气库运行的安全性与稳定性,避免损害注采管柱,必须要考虑注采气过程气井冲蚀临界流量,注采气量需限制在临界冲蚀流量下:

$$q_e = 3.3 \times 10^{-4} C d^2 / \left(\frac{p}{Z T \gamma_g} \right)^{0.5} \quad (4-1)$$

其中, q_e 为冲蚀气量, $10^4 m^3/d$; C 为经验系数,取180[3]; p 为井筒任意一点压力, MPa; Z 为气柱平均偏差系数; T 为平均温度, K; γ_g 为气体相对密度; d 为油管内径, mm.

S储气库油管均为4 1/2管柱, 计算S储气库临界冲蚀流速如下表所示:

表1 S储气库临界冲蚀流速统计表

压力 (MPa)	冲蚀流量 (万方/天)
10	118.16
15	144.72
20	167.11
25	186.83
30	204.67
32	211.38

4.2 工艺参数限制

S储气库注气采用二级增压模式, 共有一级压缩机2台, 压力从4MPa增至8MPa. 二级压缩机3台, 压力从8MPa增至30MPa. 单台压缩机性能参数如下:

表2 储气库注气压缩机工况下性能参数

	进气压力	排气压力	处理量	功率
一级增压 (2台)	3.6	8.0	250	2855
	3.7	8.0	264	2905
	3.8	8.0	278	2948
	3.9	8.0	292	2985
	4	8.0	307	3016
	4.1	8.0	321	3040
	4.2	8.0	336	3059
	4.3	8.0	350	3072
	4.4	8.0	365	3079
4.5	8.0	380	3082	
二级增压 (2台)	7.1	24	139	2676
	7.2	24	141	2693
	7.4	24	146	2725
	7.5	24	149	2741
	7.6	24	151	2756
	7.8	24	156	2785

	7.9	24	159	2799
	8	24	161	2812
	8.2	24	166	2838
	8.3	24	169	2850
二级增压 (1台)	8.4	24	171	2862
	7.1	24	175	3482
	7.2	24	178	3504
	7.3	24	181	3525
	7.5	24	187	3566
	7.6	24	190	3585
	7.7	24	193	3605
	7.9	24	199	3642
	8	24	202	3660

考虑压缩机约束, S储气库日注气能力为260-540万方. 计算从储气库下限压力13.6MPa起注, 压缩机满负荷运行200天, 预计注气10.2亿方.

5 S储气库注气效果评价

S储气库经设计上限压力32MPa、下限压力13.6MPa, 库容22.3亿方、工作气量10.8亿方. 历经六注四采, 累计注气22.3亿方, 正处于达容达产阶段.

根据第4节限制性流量参数的研究, 考虑冲蚀流量, S储气库日注气量在299-1697万方, 考虑压缩机约束, S储气库日注气能力为260-540万方. 但考虑到生产实际, 夏季注气期间需开展检修等作业, 无法保障200天满勤注气, 按照现有生产条件, 无法满足储气库设计要求, 为尽快实现S储气库达容达产, 需从以下两个方面开展工作: ①合理调整储气库注气安排, 在生产前期注气量不受地层压力、冲蚀流量等因素限制, 适当加大注气量; ②加装压缩机, 提高S储气库日均注气能力.

6结论

(1) 据试气实测和室内试验, 以及国际储气库行标, 储气库上限压力不得超过破裂压力的80%, S储气库上线压力不得超过33.4MPa.

(2) 合理注气能力确定需要结合多方面因素, 考虑工艺设备性约束, S储气库日注气能力为260-540万方.

(3) S储气库为尽快实现达容达产, 需加装压缩机, 提高日均注气能力, 并合理调整注气计划, 以满足生产要求.

参考文献:

[1] 丁国生, 李春, 王皆明, 胥洪成, 郑雅丽, 完颜祺琪, 等. 中国地下储气库现状及技术发展方向[J]. 天然气工业, 2015, 35(11): 107-112.

[2] 张刚雄, 郭凯, 丁国生, 郑得文, 魏欢, 钱品淑. 气藏型储气库井安全风险及其应对措施[J]. 油气储运, 2016, 35(12): 1290-1295.

[3] 王云, 张建军. 地下储气库注采井临界冲蚀流量优化计算方法. [J]. 天然气工业, 2019, (11): 74-80.