

# 相国寺石炭系气藏改建地下储气库运行参数设计

吴建发<sup>1</sup> 钟兵<sup>1</sup> 冯曦<sup>1</sup> 刘义成<sup>1</sup> 郝春雷<sup>2</sup> 何轶果<sup>3</sup>

1. 中国石油西南油气田公司勘探开发研究院 2. 中国石油西南油气田公司重庆气矿

3. 中国石油西南油气田公司采气工程研究院

吴建发等. 相国寺石炭系气藏改建地下储气库运行参数设计. 天然气工业, 2012, 32(2): 91-94.

**摘要** 相国寺气田位于重庆市渝北、北碚区境内。该气田石炭系气藏地理位置优越, 储层分布稳定, 储层渗流性好, 气质纯, 气井产能高, 井间连通性好, 开发中表现出视均质气藏特征, 盖层和断层封闭性好, 水体能量有限, 地层水不活跃, 非常有利于改建地下储气库。为此, 在比较了枯竭气藏改建地下储气库与气藏开发的异同之后, 根据相国寺地下储气库的定位及调峰需求(主要用于解决川渝地区天然气市场的季节调峰问题, 可为中卫—贵阳管线提供季节调峰, 同时具备天然气战略储备应急能力), 利用该气藏丰富的静态资料和长期开发的动态资料, 优化设计了储气库的上限压力、下限压力、库容量、工作气量、垫底气量、注采井数等关键运行参数。模拟结果表明: 相国寺气田石炭系气藏改建地下储气库后, 运行压力介于 11.7~28.0 MPa, 库容量可达  $40.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 垫底气量为  $17.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 工作气量为  $22.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 储气库具备较强的调峰能力。最后还对该储气库的注采方案进行了设计分析。

**关键词** 四川盆地 相国寺气田 石炭系气藏 地下储气库 季节调峰 注采规模 参数设计

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2012.02.022

地下储气库建设是一项资本、技术密集型系统工程<sup>[1-6]</sup>, 具有建设周期长、技术难点多的特点<sup>[7]</sup>。地下储气库必须具备气体“注得进、采得出、存得住”、短期高产、高低压往复注采、能长期使用的功能, 与气藏开发相比, 枯竭气藏改建地下储气库在研究重点、研究方法和设计技术方面都有一定的特殊性(表 1)<sup>[8]</sup>。

笔者研究论证有关相国寺气田石炭系气藏改建地下储气库的关键参数, 即上限压力、下限压力、库容量、工作气量、垫底气量、注采井数、最大调峰能力等, 为实施改建地下储气库提供依据。鉴于地下储气库要求短期高产、高低压往复注采、长期使用等特点, 各项关键参数论证过程中遵循以下原则: ①安全; ②保护地下储气库不被破坏; ③尽可能满足川渝地区天然气市场调峰需求。

表 1 气藏开发与枯竭气藏改建地下储气库的差异比较表

比较项目	气藏开发	枯竭气藏改建地下储气库
流动方向	气井单向采气	注采井注、采双向
关注重点	注重采收率和稳产期	要求短期高产
开发周期	10 a 或更长, 直至废弃	1 a 完成 1 个注采周期
压力变化	从高压到低压的单向变化	高低压交替变化
气井寿命	10~20 a	30~50 a
动态监测	一般不单独钻监测井	需钻专门监测井
注采强度	采气强度小	注采强度大
储层保护难度	相对较小	压力系数低, 钻井储层保护难度大

## 1 相国寺气田石炭系气藏改建地下储气库的有利条件分析

相国寺气田位于重庆渝北、北碚区境内, 距重庆市 60 km, 紧邻四川盆地环形输气管网南干线东段, 距规划建设的中卫—贵阳管线 83 km。相国寺气田石炭系气藏构造形态为狭长梳状背斜, 主要产气层位为石炭系碳酸盐岩, 有效厚度介于 5.76~11.53 m, 分布稳定。储层微细裂缝发育, 为裂缝—孔隙型储层。气藏中部深度 2 300~2 600 m, 原始地层压力为 28.73 MPa, 地层温度为 62.23 °C, 为干气气藏。边水能量有

**作者简介:** 吴建发, 1976 年生, 高级工程师, 博士; 主要从事油气渗流理论、动态分析、地下储气库设计和页岩气开发方面的研究工作。地址: (610041) 四川省成都市高新区天府大道北段 12 号中国石油西南油气田公司勘探开发研究院。电话: (028) 86015513, 13550240302。E-mail: wu\_jianfa@petrochina.com.cn

限。气藏探明储量为  $41.48 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 储层孔隙度介于  $7\% \sim 9\%$ , 有效渗透率为  $83.5 \sim 571.9 \text{ mD}$ , 连通性好, 单井产能高, 平均原始无阻流量为  $240 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。气藏于 1977 年投产, 现有生产井 5 口, 累计产气  $40.07 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 采出程度为  $96.6\%$ , 目前平均地层压力为  $2.39 \text{ MPa}$ 。

相国寺气田石炭系气藏地理位置优越, 储层分布稳定, 储层渗流性好, 气质纯, 气井产能高, 井间连通性好, 开发中表现出视均质气藏特征。盖层和断层封闭性好, 水体能量有限, 地层水不活跃, 非常有利于改建地下储气库<sup>[9]</sup>。

## 2 相国寺地下储气库定位及调峰需求分析

相国寺气田石炭系气藏改建地下储气库后, 主要用于解决川渝地区天然气市场的季节调峰问题, 可为中卫—贵阳管线提供季节调峰, 同时具备天然气战略储备应急能力。

天然气调峰需求总量应由天然气季节调峰需求量、天然气战略储备需求量和不可中断应急供气量 3 项构成, 由于只要满足天然气战略储备需求即可满足不可中断应急供气要求, 因此, 相国寺地下储气库的天然气调峰总需求量可根据天然气季节调峰需求量和天然气战略储备需求量来确定, 据此测算出 2013—2020 年相国寺地下储气库的调峰需求总量<sup>[10-11]</sup> (表 2)。

经计算, 相国寺地下储气库在 2016 年的调峰需求总量为最大, 达  $22.88 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

## 3 相国寺地下储气库运行参数设计

### 3.1 单井最大合理采气量

根据工程设计, 优选  $\varnothing 114.3 \text{ mm}$  油管作为相国寺地下储气库的注采管柱。应用气藏产能方程, 经井筒管流分别计算出  $\varnothing 114.3 \text{ mm}$  油管在不同井口压力下的冲蚀流量、不同井底流压下的临界携液量和不同地层压力下的气井最大采气量 (图 1)。

单井最大合理采气量应不超过冲蚀流量且能够满

表 2 相国寺地下储气库调峰需求总量预测表

项 目	10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>							
	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
天然气季节调峰需求量	10.60	12.29	13.17	13.63	13.68	14.01	14.34	14.71
天然气战略储备需求量	6.97	8.53	9.21	9.25	8.54	8.21	7.96	7.67
天然气调峰需求总量	17.57	20.82	22.38	22.88	22.22	22.22	22.30	22.38

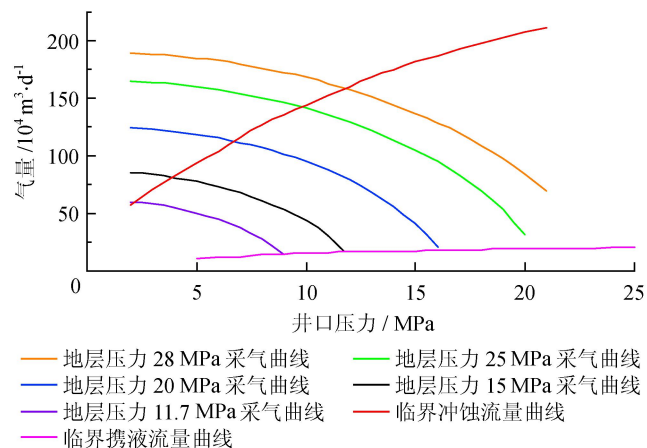


图 1  $\varnothing 114.3 \text{ mm}$  油管冲蚀流量及不同地层压力最大产量图

足临界携液流量<sup>[12]</sup>。不同地层压力和井口压力下, 单井 (以  $\varnothing 114.3 \text{ mm}$  油管为注采管柱) 的最大合理采气量如表 3 所示, 冲蚀流量和临界携液流量的研究 (图 1) 表明, 单井最大合理采气量介于  $(40 \sim 160) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

表 3 不同地层压力和井口压力下单井

最大合理采气量统计表

井口压力 / MPa	地层压力 / MPa					10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> / d
	28.0	25.0	20.0	15.0	11.7	
7.0	116.5	116.5	113.8	69.5	40.0	
10.0	144.7	143.7	96.4	44.1		
11.0	152.9	137.9	88.7	31.2		
12.0	160.3	131.4	79.9	13.0		
13.0	153.9	124.1	69.5			
16.0	130.7	96.3	20.7			
19.0	98.9	53.9				
22.4	40.9					

### 3.2 储气库上限压力

原始地层压力为  $28.73 \text{ MPa}$ , 为保证相国寺地下储气库的封闭性和安全运行, 储气库上限压力取  $28 \text{ MPa}$ , 根据气藏压降方程, 对应的储气库库容量为  $40.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。储气库库容量与地层压力的对应关系如图 2 所示。

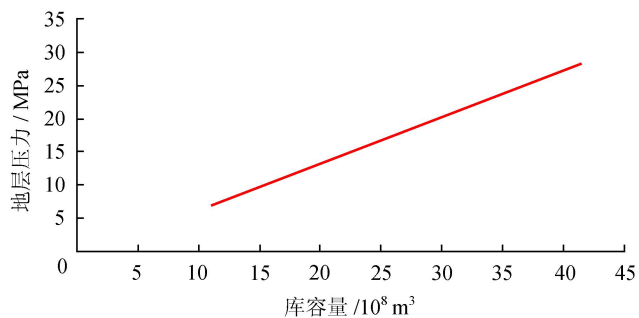


图 2 相国寺地下储气库库容量与地层压力的对应关系图

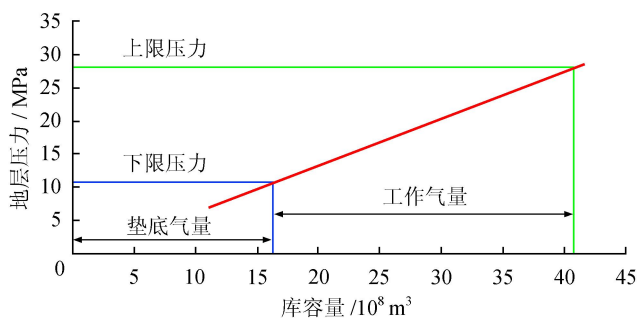


图 3 相国寺地下储气库关键参数示意图

### 3.3 储气库下限压力

根据分析可知,满足川渝地区天然气管网调峰要求的井口最低压力为 7.0 MPa,因此,相国寺储气库下限压力以井口压力为 7.0 MPa 进行计算。为达到最低调峰能力,控制单井最低采气量不低于  $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,利用井筒流动模型计算井底流压,利用产能方程反推算出地层压力,储气库下限压力为 11.7 MPa (图 3)。

### 3.4 工作气量

根据储气库下限压力的计算结果(即储气库下限压力为 11.7 MPa),利用气藏压降方程,计算出对应的储气库垫底气量为  $17.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,则对应的储气库工作气量为  $22.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

### 3.5 井型

依据气藏现有 5 口生产井的储层条件,计算获得 300 m 水平井与对应直井的无阻流量(表 4)。从表 4 可

表 4 300 m 水平井与直井的无阻流量对比表

井号	储层参数			无阻流量/ $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$		产能比
	有效渗透率/mD	有效储层厚度/m	地层压力/MPa	水平井	直井	
相 14	1 151.60	8.00	28.7	863.5	245.7	3.51
相 16	169.74	11.53	28.7	533.9	153.2	3.49
相 18	131.72	10.94	28.7	1 217.7	344.2	3.54
相 25	83.47	5.00	28.7	838.9	226.8	3.70
相 30	571.95	5.76	28.7	594.3	168.1	3.53

以看出,水平井的无阻流量是直井的 3.49~3.70 倍。

因此,单纯从增产和减少钻井数的角度考虑,水平井相对于直井有一定的优势。但相国寺石炭系气藏目前压力系数仅为 0.1,储层薄(有效储层厚度一般约 8.00 m),且该构造为高陡构造,储层厚度和倾角变化较大,气体钻井时水平井段储层跟踪难度大,储层有效钻遇率无法保证。综合考虑,井型采用直井和定向井。

### 3.6 注采井数及监测井设置

井数的确定要考虑两方面的因素,既要充分发挥储气库的调峰能力,在此基础上还要考虑尽量满足不同时间的调峰需要。经过多方案论证和比选,最终确定注采井数为 22 口。为了监测气库的压力、温度、流体性质和水体,在构造长轴两端和气藏中部各部署 1 口监测井。盖层及断层监测井优先利用老井,老井修井不满足要求时,重新部署新井。

### 3.7 注采周期

地下储气库的主要作用就是调节季节性用气峰谷差,或者在发生意外时能保证供气的连续性。在综合分析川渝地区供气特点的基础上,确定了相国寺地下储气库的运行周期:①采气期,11 月 15 日至次年 3 月 14 日,共 120 d;②注气期,3 月 26 日至 10 月 30 日,共 220 d;③维护期,3 月 15 日至 3 月 25 日,11 月 1 日至 11 月 14 号,共 25 d。

维护期主要进行气库设施检修、气藏压力平衡、资料录取等。

## 4 相国寺地下储气库注采方案设计

### 4.1 逐年注采气量

根据逐年注采气量安排(表 5),2015 年相国寺地下储气库基本可以达到满库容。2016 年以后,上一年

表 5 相国寺地下储气库逐年净注气量及调峰气量表  $10^8 \text{ m}^3$ 

项 目	2012年	2013年	2014年	2015年
净注气量 <sup>1)</sup>	10.00	7.50	5.00	2.60
调峰气量		10.60	12.29	13.17
注气规模 <sup>2)</sup>	10.00	18.10	17.29	15.77
注气末库容量	11.50	29.60	36.29	39.77
采气末库容量	11.50	19.00	24.00	26.60

注:1)指当年注入地下储气库作为垫底气的气量;2)为净注气量与调峰气量之和。

采出多少气量,次年就应该注入相应的气量,始终保持满库容,这样,储气库就可保持最大的调峰能力<sup>[13-15]</sup>。

## 4.2 逐年注采方案设计

以2012年注气方案为例,此后每年注采方案按照表5的注采气量设计即可。

中卫—贵阳管线2012年7月能够供气给相国寺地下储气库,2012年给储气库的净注气量为  $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。将2012年7—10月设计为注气期,注气量为  $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,注气末气库压力为 7.66 MPa,库容量为  $11.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。表6为2012年相国寺储气库注气方案相关参数表。2012年冬季该气库具备向川渝地区天然气管网调峰的能力。

表 6 2012年相国寺地下储气库注气方案相关参数表

相关参数	7月	8月	9月	10月
注气天数/d	31	31	30	18
库月注气量/ $10^8 \text{ m}^3$	3.37	3.11	2.50	1.02
井数/口	12	12	12	12
库平均日注气量/ $10^4 \text{ m}^3$	1 087	1 004	833	567
单井平均日注气量/ $10^4 \text{ m}^3$	91	84	69	47
月末地层压力/MPa	2.55	4.78	6.56	7.29
月末井口压力/MPa	15.20	14.92	13.91	11.93
月末库存气量/ $10^8 \text{ m}^3$	4.87	7.98	10.48	11.50

注:阶段注气量为  $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

## 5 结论

1)相国寺石炭系气藏储层分布稳定、储层渗流性好,气质纯,气井产能高,现有生产井原始无阻流量均大于  $100 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,井间连通性好,开发中表现出视

均质气藏特征。盖层和断层封闭性好,水体能量有限,地层水不活跃,非常有利于改建地下储气库。

2)相国寺石炭系气藏改建地下储气库后,运行压力为 11.7~28.0 MPa,库容量可达  $40.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,垫底气量为  $17.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,工作气量为  $22.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,气库具备较强的调峰能力。

## 参 考 文 献

- [1] 杨琴,余清秀,银小兵,等.枯竭气藏型地下储气库工程安全风险与预防控制措施探讨[J].石油与天然气化工,2011,40(4):410-412.
- [2] 丁国生.中国地下储气库的需求与挑战[J].天然气工业,2011,31(12):90-93.
- [3] 丁国生,王皆明.枯竭气藏改建储气库需要关注的几个关键问题[J].天然气工业,2011,31(5):87-89.
- [4] 霍瑶,黄传岗,温晓红,等.北美天然气储气库建设的经验与启示[J].天然气工业,2010,30(11):83-86.
- [5] 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.
- [6] 马胜利,韩飞.国外天然气储备状况及经验分析[J].天然气工业,2010,30(8):62-66.
- [7] 陈茂濠,吴文佳.广东建设天然气储备的初步建议[J].石油与天然气化工,2010,39(3):193-195.
- [8] 华爱刚,李建中.天然气地下储气库[M].北京:石油工业出版社,1999.
- [9] 毛川勤,郑州宇.川渝地区相国寺地下储气库库址选择[J].天然气工业,2010,30(8):72-75.
- [10] 胡连锋,李巧,刘东,等.季节调峰型地下储气库注采规模设计[J].天然气工业,2011,31(5):96-98.
- [11] 杨广荣,余元洲,贾广雄,等.物质平衡法计算天然气地下储气库的库容量[J].天然气工业,2003,23(2):96-99.
- [12] 赵树栋,王皆明.天然气地下储气库注采技术[M].北京:石油工业出版社,2000.
- [13] 谭羽非.天然气地下储气库技术及数值模拟[M].北京:石油工业出版社,2007.
- [14] 马小明,余贝贝,马东博,等.砂岩枯竭型气藏改建地下储气库方案设计配套技术[J].天然气工业,2010,30(8):67-71.
- [15] 李建中,徐定宇,李春.用枯竭油气藏建设地下储气库工程的配套技术[J].天然气工业,2009,29(9):97-99.

(修改回稿日期 2011-12-14 编辑 何 明)