

呼图壁地下储气库气井冲蚀产量模型及其应用

王嘉淮¹ 罗天雨¹ 吕毓刚¹ 薛承文¹ 赵丽萍²

1. 中国石油新疆油田公司采油工艺研究院 2. 中国石油新疆油田公司科技信息处

王嘉淮等. 呼图壁地下储气库气井冲蚀产量模型及其应用. 天然气工业, 2012, 32(2): 57-59.

摘 要 气井临界冲蚀产量是地下储气库气井配产的重要参考因素之一。为此, 根据经典计算模型, 结合气藏工程原理, 详细研究并推导了适合于准噶尔盆地呼图壁地下储气库气井冲蚀产量的模型公式; 并据此公式分析了影响冲蚀产量大小的主要因素(管柱内径、流动压力和气体温度等)与影响规律(冲蚀产量与管柱内径、流动压力呈正比关系, 与气体温度呈反比关系, 且受管柱内径变化的影响较大); 在调研大量文献的基础上, 参考国内其他地下储气库的资料, 结合呼图壁地下储气库的实际情况, 确定了该储气库气井的经验常数 C 值大小; 从气井冲蚀产量大小的角度入手, 计算并优选出 $\varnothing 114.3$ mm 管柱为该储气库的直井管柱; 还研究了安全阀部位的冲蚀规律, 认为在实际采气阶段 $\varnothing 88.9$ mm 安全阀存在阶段性的冲蚀, 应定期检查并及时更换安全阀, 确保其正常使用。

关键词 准噶尔盆地 呼图壁 地下储气库 冲蚀 流速 产量 管柱 安全阀

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2012.02.013

地下储气库气井的配产不仅要考虑实际的用气需求, 还要考虑最小携液量和冲蚀产量的影响。当气井产气量很大时, 高速气体在管内流动时会发生显著冲蚀作用, 对管壁和井下工具产生冲蚀磨损, 此时气体的临界流速称为冲蚀流速^[1]。对于地下储气库必须考虑如何将油管中的高压流动的气体流速控制在冲蚀流速以下, 以减少或避免冲蚀的发生。

1 气井冲蚀产量计算

1.1 冲蚀产量公式

对于冲蚀流速的计算, 由于其受到众多因素的影响, 还没有准确的计算方法, 目前油田地下储气库建设中主要采用 APIRP 14E 推荐的计算公式, 冲蚀流速按照以下公式进行计算:

$$v = \frac{C}{\sqrt{\rho}} \quad (1)$$

式中 v 为冲蚀流速, m/s; C 为经验常数; ρ 为混合物密度, kg/m³。

$$\text{由于} \quad v = \frac{4}{\pi} \frac{Q}{d^2} \quad (2)$$

$$\rho = 3486.6 \frac{\gamma p}{ZT} \quad (3)$$

因此, 可以得出一定采气量下的最小管柱直径为:

$$d = 8.6707 \sqrt{\frac{Q}{C}} \sqrt{\frac{\gamma p}{ZT}} \quad (4)$$

式中 γ 为气体相对密度, 无量纲; p 为管内流动压力, MPa; Z 为气体压缩系数, 无因次; T 为气体温度, K; Q 为采气量, m³/s; d 为管柱内径, m。

根据井筒内体积产量与地面标准条件下产量的关系式, 即

$$\frac{p_{sc}}{Z_{sc} T_{sc}} Q_{sc} = \frac{p}{ZT} Q \quad (5)$$

式中 Q_{sc} 为标准条件下采气量, m³/s。

当地面标准条件取 $p_{sc} = 0.101$ MPa、 $T_{sc} = 293$ K、 $Z_{sc} = 1.0$ 时, 有

$$Q = 3.45 \times 10^{-4} Q_{sc} \frac{ZT}{p} \quad (6)$$

代入式(4)可得:

$$Q_{sc} = 38.55 C d^2 \left(\frac{p}{\gamma Z T} \right)^{0.5} \quad (7)$$

作者简介: 王嘉淮, 1957年生, 教授级高级工程师, 博士; 现任中国石油新疆油田公司采油工艺研究院院长, 主要从事采油工艺技术、采油工程综合研究及管理工作。地址: (834000) 新疆维吾尔自治区克拉玛依市胜利路 87 号。电话: (0990) 6889876。E-mail: wangjiahua@petrochina.com.cn

若是转化成常用的单位,即: Q_{sc} 为产量, $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; d 为管柱内径,mm。则上式可变为:

$$Q_{sc} = 3.33 \times 10^{-4} C d^2 \left(\frac{p}{\gamma Z T} \right)^{0.5} \quad (8)$$

当取 $C=120$ 时,则公式就为:

$$Q_{sc} = 0.04 d^2 \left(\frac{p}{\gamma Z T} \right)^{0.5} \quad (9)$$

1.2 经验常数 C 值大小的确定

公式中的 C 是经验值,并没有严格的取值方法^[2-5]。最低可取值 100,当酸性气体的含量降低、含砂量较少时,可以适当取大一点;若是采用耐蚀合金管柱时,冲蚀系数 C 值取 200;常规 SS 管柱取值 150。目前塔里木油田取 120 或 150 进行计算,大港油田地下储气库取值 100^[6]。表 1 是 3 种文献资料中的 C 值大小。

表 1 文献资料中采用的经验常数 C 值表

公 式	来源及作者	C 值
$Q_{sc} = 0.04 d^2 \left(\frac{p}{\gamma Z T} \right)^{0.5}$	《采气工程》(金忠臣,杨川东,张守良)	121.0
$Q_{sc} = 40\,538.17 d^2 \left(\frac{p}{\gamma Z T} \right)^{0.5}$	《凝析气藏地下储气库单井注采能力分析》——《油气储运》(谭羽非,林涛)	121.7
$Q_{sc} = 0.033 d^2 \left(\frac{p}{\gamma Z T} \right)^{0.5}$	《大港地下储气库注采井完井冲蚀问题初探》——《小型油气藏》(李国韬)	100.0

呼图壁储气库气源包括古近系古新一始新统紫泥泉子组气藏的天然气和从土库曼斯坦进口的天然气,二者均含有腐蚀性气体,且进口的气体中 CO_2 含量较高,同时在实际注采气过程中存在出砂的可能,结合经典文献和其他储气库的取值大小,呼图壁储气库 C 值取为 120,其临界冲蚀产量计算公式见式(9)。

2 敏感性分析

由式(9)可知,影响冲蚀产量(Q_{sc})的主要因素有:管柱内径(d)、气体温度(T)和管内流动压力(p)。由式(10)计算的 Q_{sc} 变化规律如图 1、2 所示。

从图中可以看出,在其他条件相同的情况下有:

- 1) 冲蚀产量会随着管柱内径的增大而增大,且变化明显,说明管柱内径的变化对冲蚀产量影响较大;
- 2) 冲蚀产量随温度的降低而增加,且冲蚀产量受温度的变化影响相对较小,敏感性不强;
- 3) 冲蚀产量随压力的增加而增加,且冲蚀产量受压力变化的影响比温度影响大。

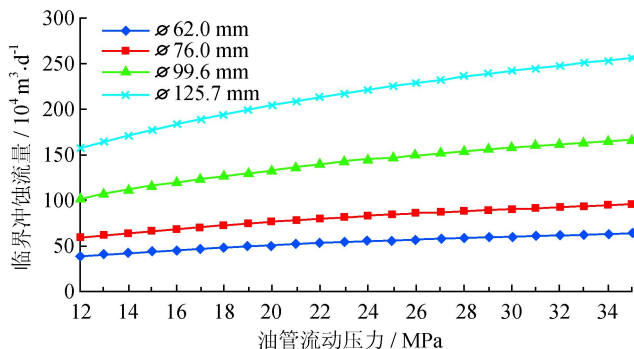


图 1 不同尺寸管柱在 60 °C 时冲蚀临界产量图

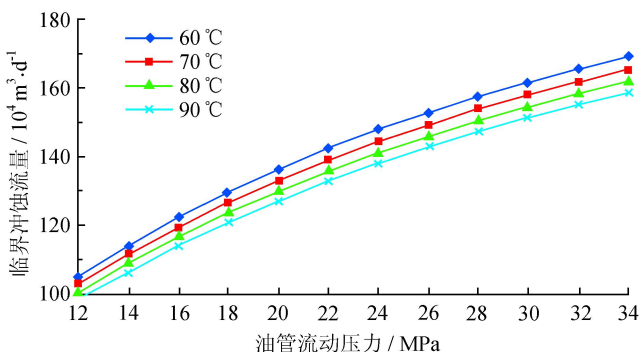


图 2 $\varnothing 114.3 \text{ mm}$ 管柱在不同温度下的冲蚀临界产量图

3 冲蚀产量模型的应用

3.1 直井管柱优选

对于储气库的气井,应确定合理的管柱尺寸,在满足气井配产的情况下使管柱中气体流动的速度控制在合理范围内,不至于产生明显的冲蚀;同时冲蚀流速不要限制到不必要的低值,以避免选用过大直径的管柱,造成浪费。

根据配产方案,在应急压力区间(地层压力 33.91 ~ 24.93 MPa),直井单井应急采气量为 $82.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1) 若采用 $\varnothing 88.9 \text{ mm}$ 管柱,应急中后期井口压力逐渐降至 11.923 MPa,此时冲蚀产量为 $61 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,小于最大应急产量 $82.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,不满足配产应急要求。

2) 若采用 $\varnothing 114.3 \text{ mm}$ 管柱,应急生产后期井口压力逐渐降至 21.802 MPa,冲蚀产量为 $122 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,大于最大应急产量 $82.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,不会发生冲蚀伤害,满足配产应急要求(表 2)。

3.2 安全阀的冲蚀校核

对于呼图壁储气库的直井,如果选用 $\varnothing 88.9 \text{ mm}$ 的安全阀。该安全阀的内径为 71.5 mm,下深为 100 m。运用式(9)经过计算, $\varnothing 88.9 \text{ mm}$ 安全阀分别会

表 2 采气运行中不同管径的生产能力研究表

周期运行阶段	地层静压力/ MPa	井底压力/ MPa	配产采出量/ 10 ⁴ m ³ · d ⁻¹	Ø114.3 mm 管柱			Ø88.9 mm 管柱		
				井口压力/ MPa	井口温度/ ℃	冲蚀限制产量/ 10 ⁴ m ³ · d ⁻¹	井口压力/ MPa	井口温度/ ℃	冲蚀限制产量/ 10 ⁴ m ³ · d ⁻¹
应急初期	33.91	31.57	82.1	24.162	61.1	152	21.802	59.7	82
应急后期	24.93	21.64	82.1	15.553	57.8	122	11.923	51.8	61

在呼图壁地下储气库采气阶段部分周期发生冲蚀。相对于储气库整个生产周期来说,发生冲蚀的时间不是很长,但要定期检查安全阀并及时更换,确保安全阀的正常使用。建议采用Ø114.3 mm 的安全阀,此时需要改变井身结构。

4 结论

1)经过计算和推导,得到呼图壁地下储气库的经验常数 C 取值 120 时的冲蚀流量公式为: $Q_{sc} = 0.04 d^2 \left(\frac{p}{\gamma Z T} \right)^{0.5}$ 。

2)冲蚀产量(Q_{sc})与管柱内径(d)、流动压力(p)成正比关系,与气体温度(T)成反比关系,且受管柱内径的影响较大。

3)根据呼图壁地下储气库气井配产方案,直井优选Ø114.3mm 管柱,在最大应急产量时该管柱满足配产应急要求。

4)选用的Ø88.9 mm 的安全阀在采气阶段存在

阶段性的冲蚀,应定期检查安全阀,建议更换为Ø114.3 mm 的安全阀。

参 考 文 献

[1] 四川石油管理局.天然气工程手册[M].北京:石油工业出版社,1980.

[2] 李诗卓,董祥林.材料的冲蚀磨损与微动磨损[M].北京:机械工业出版社,1987:1-8.

[3] 潘牧,罗志平.材料的冲蚀问题[J].材料科学与工程,1999,17(3):92-96.

[4] 赵会友,陈华辉,邵荷生,等.几种钢的腐蚀冲蚀磨损行为与机理研究[J].摩擦学学报,1996,16(2):112-119.

[5] 董刚.材料的冲蚀行为及机理研究[D].杭州:浙江工业大学,2004.

[6] 李国韬.大港地下储气库注采井完井冲蚀问题初探[J].小型油气藏,2006,11(1):62-63

(收稿日期 2011-12-05 编辑 韩晓渝)