储气库注采能力计算规范

1 范围

本文件规定了储气库单井注采能力、储气库注采能力计算的基本要求和计算方法。

本文件适用于气藏型、盐穴型储气库的注采能力计算。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

SY/T 5440 天然气井试井技术规范

SY/T 6744 油气藏数值模拟应用技术规范

SY/T 6848 地下储气库设计规范

SY/T 7642 储气库术语

SY/T 7649 储气库气藏管理规范

3 术语和定义

SY/T 7642界定的术语和定义适用于本文件。

4 资料收集

资料收集要求按SY/T 7649执行，应包括但不限于以下内容：

a) 地质静态资料：包括地层、构造、储层、气藏特征、储量、腔体及稳定性、单井地质资料等；

b) 开发动态资料：包括生产层位、生产井段、工作制度、生产时间、油气水产量、注气量、压力及温度、测试资料、分析化验资料等；

c) 其他资料：包括钻井设计、完井及试油(气)报告等。

5 单井注采能力计算

5.1 气藏型储气库单井采气能力计算

5.1.1 通则

储气库单井采气能力计算方法按SY/T 6848执行。宜选取节点分析法，以井底为节点，储层至井底的渗流段为流入段，井底至井口的垂直管流段为流出段。

5.1.2 采气产能方程的建立

5.1.2.1 利用产能试井资料建立产能方程

利用稳定试井或修正等时试井资料，应按公式(1)、公式(2)建立采气井二项式或指数式产能方程，产能试井流程及资料分析方法按SY/T 5440执行。

$$屋-R=Aq+B \quad \text{.....(1)}$$

$$=C(-) \quad \text{.....(2)}$$

式中有关符号的意义及单位见附录A，下同。

上述两种方程形式中，宜选择建立二项式产能方程。由于二项式产能方程是从渗流力学方程推导而来，其每一项均具有严格的物理意义，它对不同地层的适用性及准确程度要高一些，而指数式方程只是一种经验公式，准确程度相对较差，其预测的无阻流量通常比二项式产能方程偏大。当测点压差较小时，指数式产能方程计算结果偏差较大：测点压差较大时，二项式产能方程与指数式产能方程计算结果偏差较小。

5.1.2.2 利用“一点法”测试资料建立产能方程

“一点法”是评价气井产能的经验性方法，仅在已经获得太量气井产能方程，并且统计求得“一点法”稳定的经验系数的情况下，用于具有相似产能特征的气井。对缺乏产能试井资料且满足“一点法”测试要求的井，宜采用“一点法”测试资料近似建立其二项式产能方程，建立过程见B1。

5.1.2.3 利用 RTA 方法建立产能方程

以产量不稳定分析 (RTA) 方法为手段，基于气井生产过程中的压力、产量等数据，可采用图版拟合的方法获取储层参数。在此基础上利用理论公式计算二项式产能方程系数，方法见B2。

5.1.2.4 产能方程系数校正

对于凝析气藏改建的储气库，或因地层压力变化(Ap>10MPa) 引起天然气物性参数发生较大变化，宜按公式(3)、公式(4)对二呗式产能方程系数A、B进行校正：

$$\frac{A_2}{A_1}=\frac{\mu_{g2}Z_2}{\mu_{g1}Z_1} \quad \text{..... .... (3)}$$

$$\frac{B_2}{B_1}=\frac{Z_2}{Z_1} \quad \text{..... ... . (4)}$$

式 中：

A 、B—— 试井确定的二项式产能方程系数：
A 、B—— 校正后的二项式产能方程系数：

Aa、Z、Ap、Z—— 天然气不同状态下的黏度和偏差因子。

5.1.3 井筒流出动态模型

5.1.3.1 纯气单相模型

井底压力按公式(5)~公式(7)计算：

$$Ra=\sqrt{Re^{1.32\times10^{4}}f(z)(e^{z}-1)d} \quad \text{.....(5)}$$

$$s=\frac{0.03415\gamma_g H}{TZ} \quad \text{.....(6)}$$

$$f=\left[1.14-2\lg\left(\frac{e}{d}+\frac{21.25}{Re^{0.9}}\right)\right]^{-2} \quad \text{.....(7)}$$

5.1.3.2 气液两相模型

气液两相管流压力计算模型及方法见附录C, 宜根据流体性质和井型选择合适的计算方法。

5.1.4 合理采气能力技术界限

单井合理采气能力的确定应考虑不同生产管柱下的冲蚀流量、携液流量、临界出砂压差、出水压差等综合因素的影响，计算公式及方法见附录D.

5.1.5 合理采气能力确定

气藏型储气库单井合理采气能力应按如下步骤确定

a) 根据产能方程计算并绘制A −4流入动态曲线：

b) 根据垂直管流公式，计算并绘制井筒流出动态曲线，

c) 按公式(D2)计算不同油压下的临界冲蚀流量，并绘制p 与a 的关系曲线：

d) 按公式(D 3)一 公式(D 5)计算不回流压下的临界携液流量，绘制p 与a 的关系曲线：

e) 对于砂岩型储气库，根据室内岩心实验，现场测试或经验公式计算确定临界出砂压差，作为确定气井合理采气能力的限制条件，

) 对于底水型储气库，根据理论公式、数值模拟及现场测试等方法确定临界出水压差，作为确定气井合理采气能力的限制条件：

g) 单井合理采气能力应大于临界携液流量，小于临界冲蚀流量、临界出砂压差及临界出水压差所对应流量的最小值，示意图见图E 1:

h) 单井合理采气能力对应的井口压力应大于井口外输压力：

i) 进行不同油管尺寸单井合理采气能力计算，示意图见图E 3, 结合储气库调峰需求确定合适的油管尺寸及对应采气能力。

5.2　气藏型储气库单井注气能力计算

5.2.1　通则

宜选取节点分析法，以井底为节点，井口至井底的垂直管流段为流人段，井底至储层的渗流段为流出段。

5.2.2　注气能力方程的建立

5.2.2.1　利用注气产能试井资料建立产能方程

利用注气井稳定试井或修正等时试井资料，应按公式(8)、公式(9)建立注气井二项式或指数

式产能方程，注气产能试井及资料分析方法按SY/T 5440执行。

$$- 屋 = A+B \quad \text{....} \quad (8)$$

$$a=C(\&-) \quad \text{.....} \quad (9)$$

5.2.2.2 利用采气产能方程系数建立注气产能方程

对于没有注气产能试井资料，但有采气产能试井资料的气井，可借用采气产能方程系数，按公式(8)、公式(9)建立注气井二项式或指数式产能方程。

5.2.2.3 利用井的生产资料建立注气产能方程

以产量不稳定分析（RTA）方法为手段，基于气井注气过程中的压力、注气量等数据，可采用图版拟合的方法获取储层参数。在此基础上利用理论公式计算注气二项式产能方程系数，方法见B2。

5.2.2.4 注气产能方程系数校正

当地层压力变化(Ap>10MPa)　　引起天然气物性参数发生较大变化时，宜按公式(3)、公式(4)

对注气二项式产能方程系数进行校正。

5.2.3 井筒流入动态模型

在注气阶段，井底压力按公式(10)计算：

$$R\text{-}c\text{-}l \qquad re\text{-}yd \qquad \cdots\cdots \qquad \cdots\cdots \quad (10)$$

5.2.4 合理注气能力技术界限

临界冲蚀流速是影响气井合理注气能力的主要控制因素，宜按公式（D.2）计算。

5.2.5 合理注气能力确定

气藏型储气库单井合理注气能力应按如下步骤确定：

a）根据垂直管流公式，计算并绘制p　　流人动态曲线；

b）根据注气产能方程，计算并绘制p-a,　流出动态曲线；

c）按公式（D2）计算不同压力下的临界冲蚀流量，并绘制p　与q 的关系曲线：

d）单井合理注气能力应小于临界冲蚀流量，示意图见图E2。

5.3 盐穴型储气库单井采气能力计算

5.3.1 井筒流出动态模型

在采气阶段，井底压力按公式(5)计算。

5.3.2 合理采气能力技术界限

气井合理采气能力受管柱冲蚀流速及腔体内采气日压降速率的影响。临界冲蚀流速计算模型宜按公式（D.1）计算。腔体内采气日压降速率根据腔体稳定性评价结果确定。

5.3.3 合理采气能力确定

盐穴型储气库单井合理采气能力应按如下步骤确定：

a) 按公式(12)计算临界冲蚀流量，确定该约束条件下的最大日采气量，

b) 根据腔体稳定性允许的最大日压降速率，确定不同腔体的最大日采气量，

c) 上述两个最大日采气量的较小值作为单井合理日采气能力的上限值，

d) 单井合理采气能力对应的井口压力应大于井口外输压力。

5.4 盐穴型储气库单井注气能力计算

5.4.1 井筒流入动态模型

在注气阶段，井底压力按公式(10)计算。

5.4.2 合理注气能力技术界限

临界冲蚀流速是影响单井合理注气能力的主要控制因素，宜按公式(12)计算注气井临界冲蚀流量。

5.4.3 合理注气能力确定

根据临界冲蚀流量的计算确定盐穴型储气库单井合理注气能力范围，单井合理注气能力应小于临界冲蚀流量。

6 储气库注采能力计算

6.1 气藏型储气库采气能力计算

6.1.1 气藏工程法



根据单井采气能力的计算及采气井数，应按公式(11)确定储气库的日采气能力：

$$\overline{Q_g} = \sum_{i=1}^{m} q_g(i) \quad \cdots\cdots \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad \cdots\cdots (11)$$

式中：

m 储气库总采气井数；

$q_{(0}$—— 第1口采气井的天然气日采气量，单位为万立方米每天（$10^4m^3/d$）。

以日采气能力为约束条件，依据储气库调峰曲线确定日调峰规模。

6.1.2 数值模拟法

采用数值模拟法确定储气库采气能力应按如下步骤：

a） 建立储气库地质模型及数值模拟模型，开展历史拟合，数值模拟的技术方法按SY/T 6744执行；

b） 针对不同的采气方案进行储气库采气能力的计算和敏感性分析，优选储气库合理采气能力。

6.2 气藏型储气库注气能力计算

6.2.1 气藏工程法

根据单井注气能力的计算及注气井数，应按公式（12）确定储气库的日注气能力：

$$Q_{注} = \sum_{i=1}^{n} q_{注}(i) \quad \cdots\cdots(12)$$

以日注气能力及压缩机注气规模为约束条件，结合储气库注气气源供给能力综合确定日注气规模。

6.2.2 数值模拟法

采用数值模拟法确定储气库注气能力应按如下步骤：

a）地质建模及历史拟合方法见6.12:

b）针对不同的注气方案进行储气库注气能力的计算和敏感性分析，优选储气库合理注气能力。

6.3 盐穴型储气库采气能力计算

根据单井采气能力的计算及采气井(腔)数，应按公式(11)确定储气库的日采气能力。结合调峰需求、天然气处理及外输能力等因素，综合确定不同阶段盐穴储气库的合理采气能力。

6.4 盐穴型储气库注气能力计算

根据单井注气能力的计算及注气井（腔）数，应按公式（12）确定储气库的日注气能力。结合气源供给、压缩机注气能力等因素，综合确定不同阶段盐穴储气库的合理注气能力。

附 录 A

（资料性）
公式符号注释

公式符号注释见表A.1。

表A.1量的符号和单位

量的名称	量的符号	量的单位	单位符号	备注
黏滞阻力系数(直井)	A	二次方兆帕天每 万立方米毫帕秒	MP²-d(10m²mPa-s)	
黏滞阻力系数(水平开)	A	二次方兆帕天每 万立方米毫帕秒	MP²-d(10m²mPa-s)	
油管内截面积	A	平方米	m²	
惯性阻力系数(直井)	B	二次方飞帕二次方天每二次方万立方米毫帕秒	(MPa-d)M[(10m²)-mPa-s	
惯性阻力系数(水平井)	A	二次方兆帕二次方天每二水方万立方米毫帕秒	(MPa-d)M(10ˆm²)²mPa-s	
指数式产能方程中的流动系数	C	万立方米每天 2n次方兆帕	10mY(d •MP)	
岩石内来力	G	兆帕	MPa	
冲蚀系数	c	无量纲		
非达西流系数	D	万立方米每天的负一次方	(10'md)-	
油管内径	d	米	m	

管壁表面相糙度	e	米	m	
油管摩阻系数		无量的		
气液两相摩阻系数	4	无量纲		
无滑脱摩阻系数		无量纲		
摩阻系数比		无量纲		
含水率		无量纲		
重力加速度		米每二次方秒	m/	取值为9.80665 ms
产层中部垂直深度	H	米	m	
持液率	H	无量纲		
相对持液率	H	无量纲		
储层有效厚度	h	米	m	
储层渗透率	K	毫达西	mD	
结层水平渗透率	K	毫达西	mD	
储层垂向渗透率	K	毫达西	mD	
水平井段长度	4	米	m	

表A.1(续)

量的名称	量的符号	量的单位	单位符号	备注
管径数	N	无量纲		
气体速度数	M	无量纲		
液体黏度数	M	无量纲		
液体速度数	M	无量纲		
指数式产能方程中的指数		无量纲		
压力	P	兆帕	MPa	
孔隙压力	A	兆帕	MPa	
地层压力	A	兆帕	MPa	
边界压力	A	兆帕	MPa	
标准大气压	A	兆帕	MPa	取值为0.101MPa
流压	P	兆帕	MPa	
油压	A	兆帕	MPa	
井底静压	A	兆帕	MPa	
井筒内计算段平均压力	p	兆帕	MP	
临界生产压差	8p	兆帕	MPa	
压力降	Ap	兆怕	MPa	
储气库日注气能力	Q	万立方米每天	10'mMd	

储气库日采气能力	a	方立方米每天	10mm̃d	
产量	4	万立方米每天	10° md	
无阻流量	Qor	方立方米每天	10m/d	
临界携液流量	%	万立方米每天	10° md	
临界冲蚀流量		万立方米每天	10° m/d	
天然气日采气量		万立方米每天	10md	
日注气量		万立方米每天	10m/d	
雷诺数	Re	无悬间		
两相雷诺数	Re	无量缩		
无滑脱雷诺数	Re	无量纲		
单井供给半径	4	米	m	
水平井折算供气半径		米	m	
产层井眼半径		米	m	
水平井折算井底半径		米	m	
表皮系数	S	无量纲		
岩石执拉强度		兆帕	MPa	
井眼轨连法相截面最大主应力	S	兆帕	MPa	
井眼轨连法相截面最小主应力	S	兆帕	MPa	

表A.1(续)

量的名称	量的符号	量的单位	单位符号	备注
压力系数	S	无量纲		
地层温度	T	开	K	
岩石厚壁柏强度	TWC	兆帕	MPa	
岩石有效强度	U	兆帕	MP	
岩石单轴抗压强度	UCS	兆帕	MPa	
临界携液流速	K	米每秒	m/s	
无滑脱混合物流速		米每秒	m/s	
气相表观流速		米每秒	mks	
液相表观流速		米每秒	m/s	
临界冲蚀流速	K	米每秒	m/s	
地层条件下天然气偏差系数	Z	无量纲		
经验系数	a	无量纲		
非均质校正系数		无量纲		
天然气密度	A	千克每立方米	kg/m³	
液体密度	A	千克间立方米	kgm³	
气液混合物密度	A	千克每立方米	kgm³	
无滑脱混合物密度	A	千克每立方米	kg/m	
气液界面张力		牛每米	Nm	

油气界面张力		牛每米	N/m	
气水界面餐力		牛每米	N/m	
远处地层垂向应力		兆帕	MPa	
地层条件下天然气黏度	A	帕秒	Pa-s	
液相黏度	风	帕秒	Pa-s	
混合物黏度		帕秒	Pa-s	
无滑脱混合物黏度	A	帕秒	Pa-s	
井斜角	6	度	(°)	
有效表面相糙度		米	m	
储层孔隙度		无量纲		
Biot常数	K	无量刷		
岩石内摩擦角		度	(°)	
无滑脱持液率		无量纲		
气体相对密度	Z	无量纲		
者石泊松比	W	无量纲		

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/596015050115011052