

# Theoretical Calculation of High Pressure Simulation Wellbore's Wall Thickness\*

Quansheng Zhang<sup>1</sup>, Jinsheng Ye<sup>1</sup>, Guodong Ding<sup>2</sup>, Lijun Zhang<sup>2</sup>, Weikai Yin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shengli Oil Research Institute, Dongying

<sup>2</sup>College of Electromechanical Engineering, China University of Petroleum, Qingdao

Email: zljclh@sina.com, zlj-2@163.com

Received: Jul. 19<sup>th</sup>, 2013; revised: Jul. 31<sup>st</sup>, 2013; accepted: Aug. 7<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Quansheng Zhang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** Composition of high temperature and pressure simulation wellbore with crushing completion tools is introduced. The material of high temperature and pressure simulation wellbore is chosen. Based on it, the reasonable wall thicknesses of simulation wellbore with two different internal diameters are calculated theoretically. Under the condition of design temperature, the blasting safety coefficients of simulation wellbore with two different internal diameters are also obtained respectively. The results show that the blasting safety coefficients of simulation wellbore with two different internal diameters are more than 3 under the condition of 140 MPa, 200 temperature, which accord with TSG R0002-2005 super high pressure vessel safety technology supervision regulation requirements.

**Keywords:** Simulation Wellbore; High Temperature and Pressure; Wall Thickness; Blasting Safety Coefficient

## 高压模拟井筒的壁厚的理论计算\*

张全胜<sup>1</sup>, 叶金胜<sup>1</sup>, 丁国栋<sup>2</sup>, 张立军<sup>2</sup>, 伊伟锴<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中石化胜利油田采油院, 东营

<sup>2</sup>中国石油大学, 机电工程学院, 青岛

Email: zljclh@sina.com, zlj-2@163.com

收稿日期: 2013年7月19日; 修回日期: 2013年7月31日; 录用日期: 2013年8月7日

**摘要:** 介绍了压裂完井高温高压模拟井筒的组成。选取了高温高压模拟井筒的材质。在此基础上, 理论计算了两种不同内径的模拟井筒所需的合理壁厚。在设计温度下, 分别获得了不同内径的模拟井筒的爆破安全系数。计算结果表明, 两模拟井筒在压力 140 MPa、温度 200°C 条件下, 爆破安全系数均大于 3, 符合 TSG R0002-2005 超高压容器安全技术监察规程要求。

**关键词:** 模拟井筒; 高温高压; 壁厚; 爆破安全系数

### 1. 引言

水平井分段压裂完井技术是非常规油气资源高效开发的有效手段, 但压裂完井工艺复杂, 用到工具类型多、数量大, 现场实施投资大, 而且各种新型工具直接进入现场技术风险极高。为了保证压裂作业的

成功率, 所研发的工具在上现场前均要进行严格的检测和评价, 科学地检验水平井压裂完井工艺所需工具的性能和可靠性, 因此迫切需要研制一套能够模拟井下高温高压环境的试验装置。

压裂完井工具高温高压模拟井筒试验装置在井下高温高压模拟环境下能实现压裂完井用封隔器、管

\*基金项目: 山东胜利油田低渗透油藏示范基地项目。

内封隔器、管内压裂用投球滑套、管外压裂投球滑套、隔离阀、预置滑套、开关工具等的性能测试，同时还可以进行分层采油工具、注水工具和其他井下工具的检测。这对于研究非常规油气资源的高效开发具有重要意义。

高温高压模拟井筒作为该试验装置的重要组成部分，能为井下工具的试验提供需要模拟的工作空间。由于具体实验过程中，模拟井筒最高需要承受 140 MPa 的高压，因此其壁厚的大小直接关系到模拟试验的有效实施。为此，本文采用理论计算方法，计算两种不同规格的模拟井筒在压力 140 MPa、温度 200℃ 条件下的爆破安全系数，并以此来获取各自模拟井筒的合理壁厚。

## 2. 高压模拟井筒的结构

根据模拟实验的需要，本文的高压模拟试验井筒采用了两种不同规格：套管 5<sup>1/2</sup>"(内径 121 mm)和 7"(内径 157 mm)。为了模拟井筒内的高压环境，并实时检测筒体内的压力，在模拟井筒的不同侧面、不同位置处开多个测压孔，用于安装毛细管，如图 1 所示。另外，还要靠井筒法兰与井口进行连接。

## 3. 高压模拟井筒壁厚的计算

### 3.1. 模拟井筒材料的选择

考虑到模拟井筒要承受 140 MPa 的压力，其材料采用强度较高的 35CrMo<sup>[1]</sup>，法兰及筒体底部端盖均为 35CrMo 粗加工后与筒体焊接，焊接方式为二氧化碳保护焊。按 NB-T47008-2010 碳素钢和合金钢锻件，经调质处理后的力学性能如下：屈服强度：

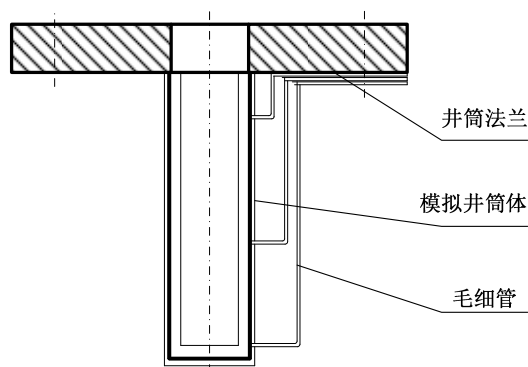


Figure 1. Structure of high pressure simulation wellbore  
图 1. 高压模拟井筒的结构

$\sigma_{0.2} \geq 835 \text{ MPa}$ ，抗拉强度： $\sigma_b \geq 985 \text{ MPa}$ ，常温许用应力： $[\sigma] = \sigma_{0.2}/1.6 = 521.875 \text{ MPa}$ ，设计温度许用应力： $[\sigma]^T = 0.8[\sigma] = 495 \text{ MPa}$ 。

### 3.2. 模拟井筒壁厚的计算

根据 TSG R0002-2005 超高压容器安全技术监察规程，设计压力  $P$  按下式计算：

$$P = \phi(P_b/n_b) \quad (1)$$

式中： $n_b$ ——爆破安全系数，按材料拉伸试验数据计算容器爆破压力时取  $n_b \geq 3$ ； $\phi$ ——设计温度下材料强度减弱系数。

模拟井筒壁厚按如下计算公式获取<sup>[2]</sup>：

$$\delta = \frac{D_i}{2} \left\{ \exp \left[ \frac{\sqrt{3}n_b p}{2\phi\sigma_{0.2} \left( 2 - \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_b} \right)} \right] - 1 \right\} \quad (2)$$

式中： $p$ ——设计压力，不低于最高工作压力，取 1.08 倍压力作为设计压力。

1) 对于 5<sup>1/2</sup>"(内径 121 mm)模拟筒体壁厚的计算为

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \frac{D_i}{2} \left\{ \exp \left[ \frac{\sqrt{3}n_b p}{2\phi\sigma_{0.2} \left( 2 - \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_b} \right)} \right] - 1 \right\} \\ &= \frac{121}{2} \left\{ \exp \left[ \frac{\sqrt{3} \times 3 \times 1.08 \times 140}{2 \times 0.9 \times 835 \times \left( 2 - \frac{835}{985} \right)} \right] - 1 \right\} = 34.72 \text{ mm} \end{aligned}$$

2) 对于 7"(内径 157 mm)筒体壁厚计算为

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \frac{D_i}{2} \left\{ \exp \left[ \frac{\sqrt{3}n_b p}{2\phi\sigma_{0.2} \left( 2 - \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_b} \right)} \right] - 1 \right\} \\ &= \frac{157}{2} \left\{ \exp \left[ \frac{\sqrt{3} \times 3 \times 1.08 \times 140}{2 \times 0.9 \times 835 \times \left( 2 - \frac{835}{985} \right)} \right] - 1 \right\} \\ &= 45.06 \text{ mm} \end{aligned}$$

在设计中考虑加工制造偏差, 并将厚度圆整, 取 5½" 筒体壁厚 40 mm, 7" 筒体壁厚 50 mm。

### 3.3. 安全系数校核

爆破压力按材料拉伸试验数据计算<sup>[3]</sup>。

$$P_b = \frac{2}{\sqrt{3}} R_{P0.2} \left( 2 - \frac{R_{P0.2}}{R_m} \right) \ln K \quad (3)$$

式中:  $P_b$  —— 爆破压力, MPa;  $R_m$  —— 材料在常温下的抗拉强度下限值, MPa;  $R_{P0.2}$  —— 材料在常温下的屈服强度的下限值, MPa;  $K$  —— 容器外径与内径之比。

代入相应的数值可得:

$$P_{b1} = \frac{2}{\sqrt{3}} \times 835 \times \left( 2 - \frac{835}{985} \right) \ln \left( \frac{201}{121} \right) = 563.85 \text{ MPa}$$

$$P_{b2} = \frac{2}{\sqrt{3}} \times 835 \times \left( 2 - \frac{835}{985} \right) \ln \left( \frac{257}{157} \right) = 547.54 \text{ MPa}$$

在设计温度下, 各自的爆破安全系数分别为:

$$n_b = \frac{\phi P_{b1}}{P_t} = \frac{0.9 \times 563.85}{140} = 3.62$$

$$n_b = \frac{\phi P_{b2}}{P_t} = \frac{0.9 \times 547.54}{140} = 3.52$$

由上面的计算可知, 两模拟井筒在压力 140 MPa、温度 200℃ 条件下, 爆破安全系数均大于 3, 符

合 TSG R0002-2005 超高压容器安全技术监察规程要求<sup>[4]</sup>。

### 4. 结论

1) 设计了高压模拟井筒的结构, 它由井口法兰、井筒法兰、井筒本体、测压孔等组成。模拟井筒材料采用 35CrMo, 法兰及筒体底部端盖均为 35CrMo 粗加工后与筒体焊接。

2) 模拟井筒承受 140 MPa 压力时, 理论计算可知, 5½" 筒体的合理壁厚是 40 mm, 7" 筒体的合理壁厚是 50 mm。

3) 两模拟井筒在压力 140 MPa、温度 200℃ 条件下, 爆破安全系数均大于 3, 符合 TSG R0002-2005 超高压容器安全技术监察规程要求, 所以计算的合理壁厚满足设计要求。

### 参考文献 (References)

- [1] 王琪. 超高压容器用钢及其生产工艺[J]. 压力容器, 1994, 11: 28-36.
- [2] 朱涵超, 吕庭豪. 高温超高压容器的设计与试验[J]. 武汉造船, 2001, 3: 12-15.
- [3] 陈国理. 超高压容器设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 1996.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 超高压容器安全技术监察规程[Z]. 2005.