

# 盐膏层 TP140 特厚壁套管抗挤特性研究<sup>\*</sup>

尹虎<sup>1</sup> 李黔<sup>2</sup> 李福德<sup>3</sup> 陈德云<sup>4</sup> 熊兴禄<sup>3</sup>

(1. 四川大学水利水电学院 2. 西南石油大学 3. 四川石油管理局 4. 中国石油西南油气田公司)

尹虎等. 盐膏层 TP140 特厚壁套管抗挤特性研究. 天然气工业, 2007, 27(8): 66-68.

**摘要** 针对塔里木地区深层的盐膏层塑性流动性强, 一般 API 套管难以满足要求的难题, 以塔里木地区应用的 TP140V 特厚壁盐膏层套管为分析对象, 建立了套管、水泥环、地层力学模型, 运用有限元方法分析了特厚壁套管在非均匀载荷作用下的抗挤特性。研究表明, 在相同非均匀载荷作用下,  $\varnothing 273.1$  mm TP140 特厚壁套管较普通套管最大应力降低了 36%, 特厚壁套管具有更强的抵抗非均匀载荷的能力。但是随着载荷的非均匀程度升高, 仍然可能导致套管损坏。因此, 应该在有盐膏层的区域准确预测两向水平载荷的大小, 为正确选用厚壁套管提供依据; 水泥环厚度对套管抗挤性能的影响不大, 故盐膏层井段的环空间隙大小均能满足固井质量要求即可。

**关键词** 盐膏层 固井 注水泥 套管应力 抗挤强度 塔里木盆地

塔里木盆地广泛地分布着盐膏地层且种类齐全, 有潟湖陆相沉积的第三系盐膏层, 也有滨海相沉积的石炭系和寒武系盐膏层, 深度不一, 从盆地边缘局部地区出露头到深至 6000 m 都有分布<sup>[1-3]</sup>。在埋藏较深, 塑性流动较强的盐膏地层中, 采用一般 API 套管难以满足要求的情况下, 塔里木地区采用了非 API 特厚壁套管来对付盐膏层, 并取得了明显的效果。 $\varnothing 273.1$  mm TP140V 特厚壁套管是其中运用较成功的一种。针对  $\varnothing 273.1$  mm TP140V 特厚壁套管, 从套管、水泥环、地层系统整体出发, 研究特厚壁套管在非均匀载荷作用下的抗挤特性, 为更好地使用这种特厚壁套管提供依据。

## 一、套管受力模型的建立

由于套管及水泥环在径向上的尺寸远远小于轴向尺寸, 根据岩石力学和弹塑性理论, 该问题可以简化为平面应变问题。其力学模型如图 1 所示。地层左边界和下边界施加对称束。右边界和上边界分别施加最大水平地应力和最小水平地应力, 套管内施加均匀内压 ( $p_i$ )。

套管、水泥环、地层系统的有限元模型<sup>[6-8]</sup>如图 2 所示。根据岩石力学理论地层边界超过井眼半径的 5~6 倍以后对井周应力的影响很小。所以取地层宽度为井眼直径的 10 倍, 以消除边界效应。取 1/4 平

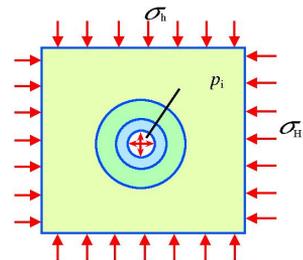


图 1 套管受力模型图

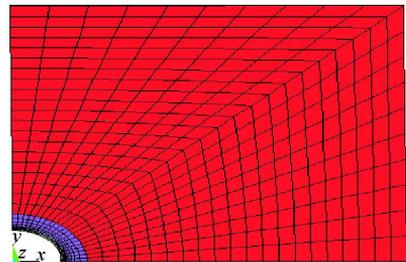


图 2 套管、水泥环、地层有限元模型图

面建立模型。选择常用的四节点四边形单元, 采用内密外疏的方法划分网格。

## 二、特厚壁套管抗挤特性分析

### 1. 特厚壁套管基本力学特性

特厚壁套管比常规套管壁厚, 所以具有更大的抗挤强度。 $\varnothing 273.1$  mm 特厚壁套管基本参数见表 1。井眼直径  $\varnothing 311.15$  mm。

<sup>\*</sup> 本文为“宝钢油井管安全使用评价研究”重点基金项目(编号:部 366)的科研成果。

**作者简介:** 尹虎, 1978 生, 博士; 2004 年毕业于原西南石油学院, 获油气井工程硕士学位; 主要从事岩石力学工程应用方面的工作。地址: (610065) 四川省成都市一环路南一段 24 号。电话: 13808173834。E-mail: aayinhu@ yahoo .com .cn

表1  $\varnothing 273.1$  mm 特厚壁套管基本参数表

壁厚 (mm)	刚级	屈服强度 (MPa)	段重 (kg/m)	抗挤强度 (MPa)
26.24	TP140V	965.3	162.48	180

### 2. 特厚壁套管抗挤特性分析

笔者在分析时采用非均匀地应力进行计算。取最大水平地应力为 90 MPa、最小水平地应力为 80 MPa、管内压力为 42 MPa。其他计算参数为：套管弹性模量为 210 GPa、泊松比为 0.3、水泥环弹性模量为 28 GPa、泊松比为 0.15、地层弹性模量为 40 GPa、泊松比为 0.4。

从套管、水泥环、地层系统在非均匀地应力作用下的等效应力分布云图可以看出，套管在非均匀地应力作用下套管应力分布也不均匀。水平地应力较小的方向上出现较大的应力。厚壁套管最大应力值为 463 MPa，低于其屈服强度 965.3 MPa，也比常规壁厚套管（按 15.11 mm 计算）最大应力 726 MPa 降低了 36%。说明特厚壁套管能够抵御更大的非均匀载荷。

图 3、4 给出了套管内壁沿最大地应力（0°）到最小地应力（90°）径向位移和应力分布。从图 3 可以看出在最大地应力方向位移最大，最小地应力方向最小。两个方向位移方向相反，最大地应力方向指向井筒内，最小地应力方向指向井筒外。此时套管变成椭圆形。应力则是从最大地应力方向到最小地应力方向逐渐增大。

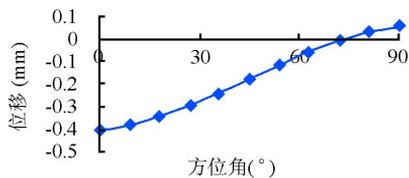


图3 套管内壁径向位移图

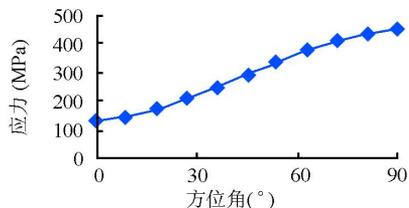


图4 套管内壁应力图

图 5、6 给出了最小和最大地应力两个方向沿径向位移和应力的分布。从计算结果可以看出，套管沿径向随距离的增加应力减小，位移变化不大，套管内壁应力最大；水泥环随径向距离增加，应力和位移

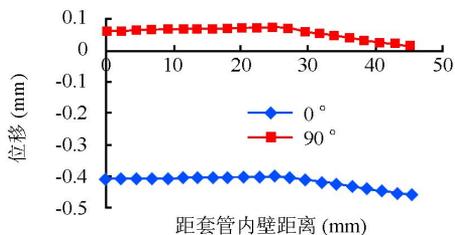


图5 沿径向位移分布图

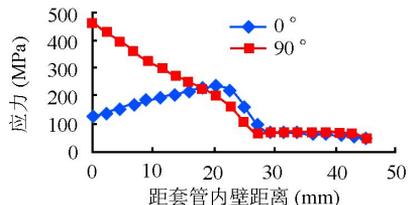


图6 沿径向应力分布图

变化均不大，而且应力水平远低于套管应力，约为套管应力的 10% 左右。

### 3. 不同非均匀载荷下特厚壁套管抗挤特性

采用不同的非均匀地应力进行计算，规定最小地应力与最大地应力的比值为非均匀系数。最大地应力仍取 90 MPa，计算 0.6、0.7、0.8、0.9 四个非均匀系数下特厚壁套管的力学性能。图 7、8 给出了不同非均匀地应力载荷作用下套管内壁位移和应力的分布。由计算结果可知，载荷的非均匀程度越大，套管上应力和位移分布就越不均匀，最大应力也越大。当非均匀系数达到 0.6 时最大应力达到 800 MPa。因此，虽然特厚壁套管能够在一定程度上抵抗非均匀载荷，但如果载荷非均匀程度足够大，特厚壁套管仍然有损坏的可能。所以降低套管受力的非均匀程度是提高套管抗挤强度的重要途径，而且在使用特厚壁套管时应该加强地应力非均匀程度的研究。

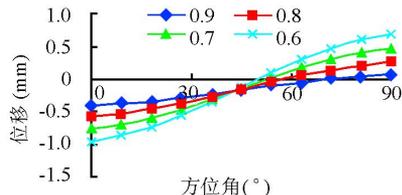


图7 不同非均匀载荷下位移分布图

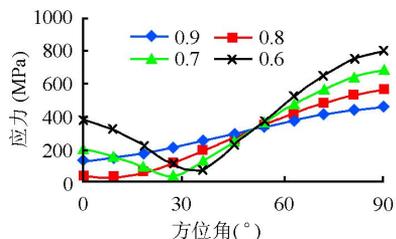


图8 不同非均匀载荷下应力分布图

#### 4. 水泥环厚度对抗挤特性的影响

塔里木地区深部盐膏层具有较高的蠕变能力,据报道在平均蠕变速率能够达到 $2.9\text{ mm/h}$ 甚至更高<sup>[4]</sup>,导致赶紧皮缩径,将降低水泥环厚度。笔者采用 $10\text{ mm}$ 、 $15\text{ mm}$ 和 $19\text{ mm}$ 三个不同的水泥环厚度来计算分析水泥环厚度对特厚壁套管抗挤特性的影响。计算结果见图9、10。从图9、10可以看出随水泥环厚度的增加,位移曲线变得缓和。水泥环厚度从 $10\text{ mm}$ 增加到 $19.05\text{ mm}$ 最大应力降低了 $10\%$ 。水泥环厚度增加能够增强套管的抗挤能力,但影响不大。尽管如此在使用 $\varnothing 273.1\text{ mm}$ 特壁厚套管时,对应井段扩眼仍是非常必要,它不仅能够增加水泥环厚度,降低套管所受载荷的非均匀程度,提高套管抗挤能力;而且能够保证套管的安全下入和提高固井质量。

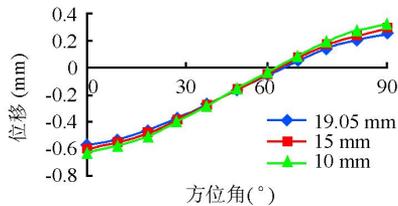


图9 不同水泥环厚度位移分布图

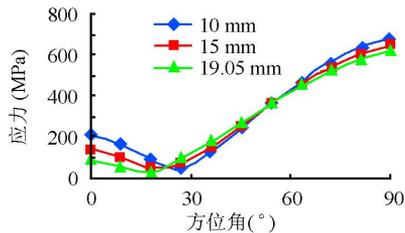


图10 不同水泥环厚度应力分布图

### 三、结 论

(1)在相同非均匀载荷作用下, $\varnothing 273.1\text{ mm}$

TP140特厚壁套管较普通套管最大应力降低了 $36\%$ ,表现了更好的抗挤特性。

(2)研究表明,随着载荷的非均匀程度提高,特厚壁套管仍可能损坏。因此,准确预测两向水平载荷是关键。

(3)水泥环厚度对套管抗挤能力有一定的影响,但不明显。水泥环厚度从 $10\text{ mm}$ 增加到 $19.05\text{ mm}$ ,最大应力降低了 $10\%$ 。

#### 参 考 文 献

- [1] 张锦荣,陈安明,周玉仓.塔里木深井盐膏层钻井技术[J].石油钻探技术,2003,31(6).
- [2] 李玉民.塔河油田南缘盐膏层钻井技术[J].石油钻探技术,2004,32(3).
- [3] 黄李荣.塔河油田盐膏层固井工艺技术研究[J].石油钻探技术,2004,32(3).
- [4] 梁朝晖,王宗培.塔河油田盐下超深井钻井技术[J].西部探矿工程,2006(5).
- [5] 韩建增,李中华,张毅,等.特厚壁套管抗挤强度计算及现场应用[J].天然气工业,2003,23(6).
- [6] 郑俊德,张艳秋,王文军,等.非均匀载荷下套管强度的计算[J].石油学报,1998,19(1).
- [7] RODRIGUEZ W J, FLECKENSTEIN W W, EUSTES A W. Simulation of collapse loads on cemented casing using finite element analysis[J].SPE 84566.
- [8] FLECKENSTEIN W W, EUSTES A W, MILLER M G. Burst induced stresses in cemented wellbore [J]. Western Regional Meeting, SPE 62596, 2000.
- [9] 林元华,张建兵,施太和,等.计算膨胀管膨胀力的新方程[J].西南石油大学学报,2007,29(2):154-156.

(收稿日期 2007-01-03 编辑 钟水清)