

文章编号: 1007-6735(2003)03-0226-04

# 稠油热采注汽管接箍对散热影响的研究

丁文静, 邓斌, 陶文铨

(西安交通大学 能源与动力工程学院, 西安 710049)

**摘要:** 通过数值模拟的方法计算了稠油热采注汽管接箍对散热的影响, 并提出了在工程应用中如何利用比较简单的结构来模拟结构比较复杂的接箍对散热的影响, 即 1/3 等效法则。将该方法应用于实际稠油热采注汽管道的散热计算中, 取得了较好的效果。

**关键词:** 接箍; 注汽管; 散热; 等效; 数值计算

中图分类号: TK 124 文献标识码: A

## Study of the effect of tube's juncture on heat loss in viscous oil extraction

DING Wen-jing, DENG Bin, TAO Wen-quan

(School of Energy &amp; Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** The effect of tube juncture on heat loss in viscous oil extraction is numerically investigated. On the basis of calculation, a method is presented that proposes how to use a simple configuration of tube juncture to replace the complex one in the process of heat loss calculation in viscous oil extraction, and is called as 1/3 equivalence method. The method has been applied to the practical steam inject tube's heat loss calculation in viscous oil extraction, and the result shows its feasibility in practical application.

**Key words:** juncture; steam inject tube; heat losses; equivalent; numerically calculation

热蒸汽注射是目前世界上开采稠油的有效方法。注射蒸汽的主要目的是加热井底油层中的稠油, 以降低其黏度, 便于开采。因而, 确定在注汽过程中的散热损失具有重要意义。为减少热损失, 注汽井在注汽管外有一层绝热材料; 在绝热材料外的环形空腔(简称环空)内为空气或水或一部分空气一部分水, 压力在  $10 \times 10^4$  Pa 到  $15 \times 10^6$  Pa 之间; 环空的外层分别为套管、水泥层和地层。接箍是连接两个注汽管的部件, 其材料可以看为钢或铁, 导热系数较大, 而且在接箍处没有绝热层, 故

在此处形成一高温热点, 向环空进行热辐射。当环空有水时, 还会发生蒸发和凝结, 所以接箍处热损失较大, 在整个注汽管的散热中占有较大的比重。但是由于接箍处结构和热边界条件都比较复杂, 至今还没有文献对这个问题提出较好的解决方法。

### 1 计算原理

注汽管的结构如图 1 所示。为了模拟接箍处的复杂结构, 用数值计算的方法, 编制了二维导热计算程序。计算长度取一段注汽油管, 采用圆柱

收稿日期: 2003-03-18

基金项目: 国家 973 重点基础研究发展计划资助项目(G2000026303)

作者简介: 丁文静(1978-), 男, 博士研究生。

坐标,计算区域取一个弧度,其纵截面如图2所示.

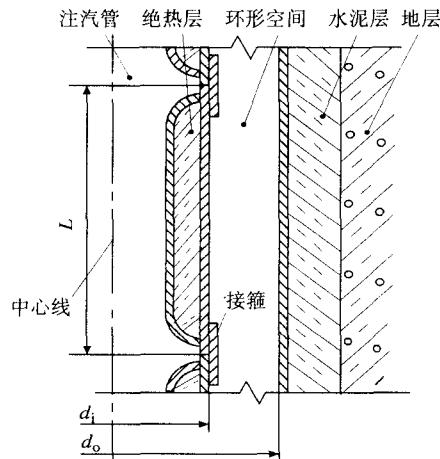


图1 注汽管结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the steam inject tube

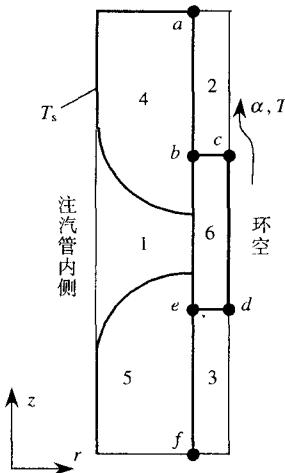


图2 注汽管绝热层和接箍截面图

Fig.2 Cross section of the steam inject tube's insulation and juncture part

1. 接箍没有绝热层处
- 2.3. 为计算方便取的扩充区域
- 4.5. 注汽管绝热层
6. 接箍

图2中,1、2、3为采用区域扩充法时区域扩充的部分,4和5部分为绝热层,6为接箍.其中1为接箍没有绝热层的地方,1中空气温度为左边界温度\$T\_s\$(注汽管内蒸汽温度),为了描述这一特点,在实现区域扩充法时1的导热系数取为无限大.

当接箍在空气中时,环空内壁的换热系数由接箍的辐射换热系数和环空壁的辐射换热系数以及环空自然对流换热系数3部分组成.当不考虑接箍影响时,换热系数由环空壁的辐射换热系数和环空的自然对流换热系数组成.环空左边界条件的处理采用按实际边界(a-b-c-d-e-f)的

附加源项法<sup>[1]</sup>.区域扩充的第2和第3部分处理成导热系数为零的物体.另外环空中流体温度近似取为环空的内壁温度.绝热层和环空的内壁温度以及绝热层外壁的换热系数等参数由注汽油井的计算而得出<sup>[2]</sup>.此问题经过区域扩充后可看成为轴对称圆柱坐标系下的稳态导热问题.上下边界可看成绝热边界条件,左边界为等温边界条件,右边界为第三类边界条件.二维轴对称圆柱坐标系下的稳态的导热方程式为

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + S = 0 \quad (1)$$

式中  $\lambda$  —— 导热系数

$S$  —— 源项

$r, z$  —— 半径及轴向坐标

取1rad的中心角度所包含的范围作为研究对象,对图3所示的网格划分可推导得出离散方程

$$a_p T_p = a_E T_E + a_w T_w + a_n T_n + a_s T_s + b \quad (2)$$

其中系数与常数项的计算公式为

$$a_E = \frac{r_p \Delta r}{(\delta z)_e / \lambda_e}, a_w = \frac{r_p \Delta r}{(\delta z)_w / \lambda_w}$$

$$a_s = \frac{r_s \Delta z}{(\delta r)_s / \lambda_s}, a_n = \frac{r_n \Delta z}{(\delta r)_n / \lambda_n}$$

$$a_p = a_E + a_w + a_n + a_s + a_p^0 - S_p \Delta V \quad (3)$$

$$a_p^0 = \frac{(\rho c)_p \Delta V}{\Delta t} = 0$$

$$b = S_c \Delta V + a_p^0 T_p^0 = S_c \Delta V$$

$$\Delta V = 0.5(r_n + r_s) \Delta r \Delta z$$

式中  $a_E, a_w, a_n, a_s$  —— 邻点的影响系数

$S_p, S_c$  —— 源项  $S$  线性化得出的分量<sup>[1]</sup>

$\Delta V$  —— 控制容积的体积

其余几何参数及下标的含义见图3.

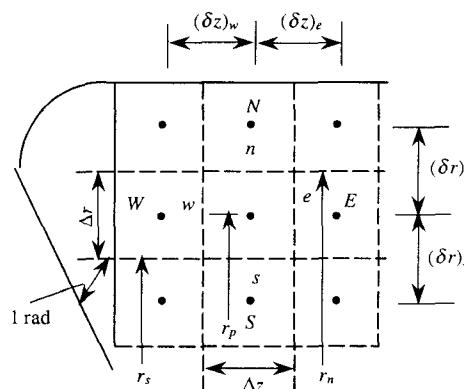


图3 计算网格系统

Fig.3 Grid of the calculation

右边界第三类边界条件采用附加源项法<sup>[1]</sup>,附加源项的计算式为(参考图 2、3)边界 ab, cd, ef

$$\left. \begin{array}{l} S_{c,ad} = \frac{A}{\Delta V} \frac{T_f}{1/\alpha + 0.5 \times (\delta r)_n / \lambda} \\ S_{p,ad} = -\frac{A}{\Delta V} \frac{1}{1/\alpha + 0.5 \times (\delta r)_n / \lambda} \end{array} \right\} \quad (4)$$

边界 bc, de

$$\left. \begin{array}{l} S_{c,ad} = \frac{A}{\Delta V} \frac{T_f}{1/\alpha + 0.5 \times (\delta z)_w / \lambda} \\ S_{p,ad} = -\frac{A}{\Delta V} \frac{1}{1/\alpha + 0.5 \times (\delta z)_w / \lambda} \end{array} \right\} \quad (5)$$

式中  $T_f$ —绝热层外的流体温度即环空内壁温度  
 $\lambda$ —绝热层或接箍的导热系数  
 $A$ —所研究控制容积在边界上的传热面积

## 2 计算结果

在一般的油田注汽计算中, 接箍这一部分的处理采用了较保守的方法, 即把整个接箍部分均看作没有绝热层, 这样处理夸大了散热量。实际上在接箍处, 只有一小部分没有绝热层(相比于实际结构, 图 2 中夸大了第 1 部分), 而且形状不规则。本文比较了一般油田注汽计算中考虑接箍的散热量和在相同参数下二维程序计算接箍的散热量, 并给出如何利用二维计算程序得出接箍处真实的散热量的方法。

### 2.1 两种方法计算的散热量的对比

一般油田注汽计算考虑接箍计算出的散热量和在相同参数下用二维程序考虑接箍计算的散热量的对比如下:

#### a. 井深 $h$ 为 500 m 处

由一般油田注汽计算方法, 得出每根注汽管单位时间的散热量为  $Q_1 = 658.7$  W, 而在相同参数下由本文二维导热程序计算得  $Q_2 = 211.7$  W(本文以下所计算的散热量均为一段注汽管的散热量)。

#### b. 井深 $h$ 为 1000 m 处

$$Q_1 = 729.7 \text{ W}, Q_2 = 240.0 \text{ W}$$

#### c. 井深 $h$ 为 1500 m 处

$$Q_1 = 575.9 \text{ W}, Q_2 = 188.5 \text{ W}$$

由以上数据可以看出, 按一般油田计算方法得出的散热量的值要远大于相同参数下二维导热

程序计算的数据。实际的情况是: 真实的热损失没有一般油田程序计算的那样大, 又比现在二维导热程序计算的热损失要大。为了得到真实的散热量, 可以由这两个热量值之差或比值关系, 来修正处理油田程序中的绝热层的等效值, 即没有绝热层的部分占接箍长度的比值。反过来计算接箍二维程序中的热量。这样的修正计算的结果是: 油田程序计算的散热量逐步减少, 二维接箍程序计算的散热量逐步增加。以此方法反复迭代修正计算, 最后达到两者散热量一样, 此时的散热量就是真实的散热量。

### 2.2 真实散热量的计算

利用一般油田程序和二维接箍程序计算得到的真实的散热量如下:

#### a. 井深 $h$ 为 500 m 处

在一般油田计算程序中, 接箍中没有绝热层的长度和接箍总长度的比值用  $K$  表示, 定义比值  $(Q_1 - Q_2)/[(Q_1 + Q_2)/2.0]$  为  $\delta$ , 按 2.1 中方法可得表 1 结果。

表 1 散热量随  $K$  值的变化

Tab.1 Relation between the heat losses and  $K$

计算次数	$K$	$Q_1/W$	$Q_2/W$	$\delta$
1	1	658.7	211.7	1.03
2	1/2	614.3	374.6	0.48
3	1/4	551.0	609.2	-0.10
4	1/3	579.3	503.7	0.14
5	7/24	566.5	551.4	0.03

所以在一般油田程序计算中, 井下 500 m 处接箍没有绝热层的长度应按 7/24 倍的接箍长度计算。故一般油田程序计算的散热量误差为

$$[658.7 - (566.5 + 551.4)/2.0]/$$

$$[(566.5 + 551.4)/2.0] = 17.85\%$$

以上迭代计算过程如图 4 所示。

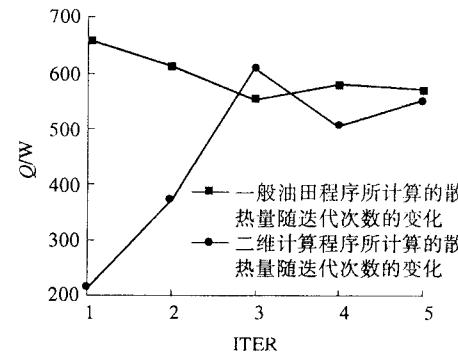


图 4 两种方法计算的散热量随迭代次数的变化图

Fig.4 Heat losses vs iteration number for two calculation methods

b. 井深  $h$  为 1 000 m 处

$K$  值按 7/24 处理得出  $Q_1 = 629.8 \text{ W}$ ,  $Q_2 = 629.5 \text{ W}$ , 符合较好, 所以一般油田计算的热量误差为

$$[(629.8 + 629.5) / 2.0] = 15.89\%$$

c. 井深  $h$  为 1500 m 处

$K$  值按 7/24 处理得出  $Q_1 = 515.8 \text{ W}$ ,  $Q_2 = 512.7 \text{ W}$ , 所以一般油田计算的热量误差为

$$[(515.8 + 512.7) / 2.0] = 11.99\%$$

由以上计算可以看出,在计算接箍处散热量的时候,把接箍的影响等效为  $7/24$  长度规则形状的接箍,接箍的导热系数取为接箍实际的导热系数,按导热热阻的并联处理法则<sup>[3]</sup>,由简单的公式就可以计算出真实的散热量. 由于计算中采用的是某一油井的具体参数,将  $7/24$  换为  $1/3$ ,使计算偏于保守,使其更具有一般性,本文称这种计算方法为  $1/3$  等效法则.

表 2 给出了采用一般油田程序, 对考虑接箍散热量  $Q_1$  和不考虑接箍散热量  $Q_0$  两种情况计算得到的散热量及真实的散热量  $Q$ . 由表 2 可见, 一般油田程序考虑和不考虑接箍散热量对结果影响很大.

表 2 不同处理方法散热量的对比

**Tab.2 Heat losses vs different calculation methods**

$h/m$	$Q_0/W$	$Q_1/W$	$Q/W$
500	270.5	658.7	566.5
1 000	263.9	729.7	629.8
1 500	244.8	575.9	515.8

\* 表中的散热量为一段油管的散热量:

3 结 论

- a. 一般油田程序计算中考虑和不考虑接箍对散热量计算结果有较大的影响.
  - b. 现在的一般油田程序对于接箍的处理偏于保守, 大约多计算了 15% 的热量.
  - c. 本文给出了一种利用油田程序和二维导热程序计算考虑接箍时的真实散热量的方法, 提出了 1/3 等效法则, 成功应用于稠油热采的散热计算中, 具有一定的实用价值.

#### 参考文献：

- [1] 陶文铨. 数值传热学[M]. 第2版. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
  - [2] 王良, 王秋旺, 胡延东等. 超临界注汽油井中蒸汽参数的数值计算[J]. 工程热物理学报, 2001, 22(5): 601~604.
  - [3] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 1998.

(下期发表论文摘要预告)

# EPC 流程模型与 UML 模型的转换规则研究

梁琳、徐福缘、陈飞玲

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

**摘要:**介绍了流程建模的常用方法、事件驱动的过程链(EPC)的流程模型和统一建模语言(UML)模型的基本概念,提出了在管理信息系统(MIS)的需求分析阶段由EPC流程模型和UML逻辑模型的转换规则,并给出了一个企业处理客户订货需求的流程模型的转换实例。