

文章编号:1674-2869(2015)12-0065-04

# 硫磺喷枪的传热模拟及结构优化

杨红,高志远,罗丹丹,胡爽策,徐青山

1. 武汉工程大学机电工程学院, 湖北 武汉 430205;

2. 化工装备强化与本质安全湖北省重点实验室(武汉工程大学), 湖北 武汉 430205

**摘要:**夹套结构是硫磺喷枪中常用的保温结构,是液硫正常输送和喷射的重要保障.以整个枪体长度上温度分布均匀为目标,对硫磺喷枪夹套进行了结构优化和传热模拟.在常用的蒸汽同侧进出单层夹套结构基础上,对两侧进出单层夹套、同侧进出双层夹套三种结构进行了对比模拟分析.进口以饱和蒸汽和液硫质量流量为基准,出口采用压力出口.选用 k- $\omega$  湍流模型并开启能量方程,采用压力-速度耦合方程求解,并选用 PISO 算法.模拟结果表明,两侧进出单层夹套的保温均匀性明显优越于同侧进出单层夹套,而同侧进出双层夹套既有良好的保温均匀性,又能满足蒸汽同侧进出的工艺要求,是一种优化的喷枪传热结构.

**关键词:**硫磺喷枪;传热结构;流固耦合;数值模拟;结构优化

中图分类号:TQ027

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2015.12.014

## 0 引言

硫磺是生产硫酸的理想原料,国外硫酸工业 80% 以上是以硫磺为原料<sup>[1]</sup>.制酸工艺中,硫磺喷枪是硫磺制酸生产中熔融硫磺喷射入炉的主要设备.主要作用是将液态硫喷射入焚烧炉内,使液态硫细化为小粒径液体能够充分完全燃烧<sup>[2]</sup>.目前国内企业所用的液体硫磺制酸的喷枪存在的主要问题是喷流量较少,机械雾化效果差,保温效果不好,饱和蒸汽温度不均匀,液硫通道管壁面温度不均匀,液硫颗粒变大,喷嘴容易堵塞<sup>[3]</sup>.

蒸汽保温效果不理想,影响液体硫磺的粘度和雾化效果,使硫磺的燃烧率大大降低.喷枪的环境温度变化大,使喷枪变形严重,应力波动变化大,引起喷枪腐蚀穿孔<sup>[4]</sup>.蒸汽工艺温度不稳,使得硫磺雾化效果差,硫磺燃烧不充分,造成系统升华硫大量存在设备系统内生成酸泥,设备腐蚀严重,增加了设备的维修费用和硫磺制酸的生产成本.其次是喷枪的使用寿命短,更换喷枪的次数多,造成生产非计划停车多.本文利用计算流体力学计算软件 ANSYS FLUENT 对硫磺喷枪夹套进行传热模拟,分析硫磺喷枪夹套的结构优化,对保温效果的影响<sup>[5]</sup>.

## 1 模拟对象与建模

### 1.1 模拟对象

硫磺喷枪结构如图 1 所示.以某公司的机械雾化喷枪为例,对硫磺喷枪夹套进行了结构优化,对比单层夹套结构与双层夹套结构保温效果.基本尺寸如表 1 所示.

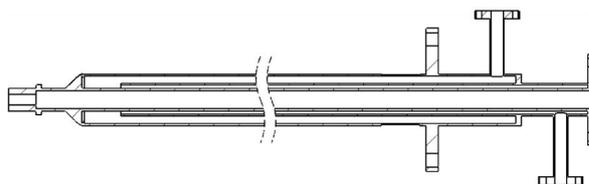


图 1 硫磺喷枪

Fig.1 Sulfur spray gun

表 1 模拟对象基本尺寸

Table 1 Basic sizes of simulated object mm

蒸汽进口 直径 $d_1$	蒸汽出口 直径 $d_2$	液硫进口 直径 $d_3$	液硫出口 直径 $d_4$	枪体长度 $L$
20	20	30	30	1 700

给定的工艺参数:硫枪的硫磺喷射量为 5 800 kg/h,液硫速度 1 m/s,饱和蒸汽进口速度 5 m/s.其物料的物理参数如表 2 所示.

收稿日期:2015-10-27

基金项目:武汉工程大学研究生创新基金资助项目(CX2014033)

作者简介:杨红(1971-),男,湖北宜都人,教授,博士.研究方向:新型高效过程装备技术、机械设备智能监控、虚拟现实技术及应用等.

表 2 物性参数

Table 2 Parameters of physical property

	温度 $T/^\circ\text{C}$	密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	粘度 $\mu/(\text{Pa}\cdot\text{s})$
入口液硫	130	1 797	$9.5\times 10^{-3}$
入口蒸汽	150	1 959	$1.36\times 10^{-5}$

## 1.2 CFD 模型建立

利用 CFD 的前处理软件 Gambit 进行三维建模,根据现有硫磺喷枪的结构参数在枪体上建立单层蒸汽夹套和双层蒸汽夹套的模型.运用布尔运算将整个硫磺喷枪划分成管程和壳程两个区域:管程区域内通道走液体硫磺,壳程区域内通道走饱和蒸汽.由于流体具有黏性,近壁面黏性效应明显及流场参数变化梯度较大的进出口区域进行边界层网格划分.为了增加对划分网格的控制,提高网格质量,本模型将“体”进行分块,做一个  $\Phi 45\text{ mm}$ 、长  $1\ 700\text{ mm}$  的圆柱,用其圆柱面将套管与内管分开;做一个  $\Phi 90\text{ mm}$ 、长  $1\ 750\text{ mm}$  的圆柱,用其圆柱面将进出口蒸汽通道与套管分开;做一个  $xy$  平面,在进出口蒸汽通道两侧分别切割,形成多段;做一个  $xz$  平面,将所有圆柱体分成上下两部分;将几何体切成 22 个几何块,除了饱和蒸汽进出口区域采用四面体网格,其余采用六面体网格,对饱和蒸汽进出口区域进行加密处理,细化网格提高计算精度.

硫磺喷枪传热数值模拟采用稳态计算,由饱和蒸汽入口质量流量算出雷诺数为 15 000,液硫进口质量流量算出雷诺数为 4 500,进口以饱和蒸汽和液硫质量流量为基准,出口采用压力出口,壁面

设置热流固耦合传热,选用 k- $\omega$  湍流模型并开启能量方程,采用压力-速度耦合方程求解,选用 PISO 算法.空间离散格式中,压力选用 Standard 格式,其他物理量采用 QUICK 格式<sup>[6]</sup>.

## 2 模拟结果及对比分析

以饱和蒸汽、液体硫磺为介质,蒸汽通道入口速度  $5\text{ m/s}$ 、液体硫磺通道入口速度为  $1\text{ m/s}$ .工艺参数相同条件下,在常用的蒸汽同侧进出单层夹套结构基础上,改为两侧进出单层夹套和同侧进出双层夹套三种结构.图 2 为同侧进出单层夹套流体域对称面温度分布云图.图 3 为两侧进出单层夹套流体域对称面温度分布云图.图 4 为同侧进出双层夹套流体域温度分布云图.图 5 为蒸汽同侧进出单层夹套、两侧进出单层夹套、同侧进出双层夹套的管壁温度线图.

(1) 由图 2 与图 3 流体域对称面上的温度分布云图对比可知,同侧进出单层夹套蒸汽工艺不稳,温度差变化较大,在夹套底部蒸汽几乎不流动,引起温度下降、硫磺凝固、喷枪堵塞.两侧进出单层夹套蒸汽工艺稳定,温度差小,蒸汽流动性好.

(2) 由图 3 与图 4 温度分布云图对比可知,同侧进出双层夹套的保温均匀性明显比两侧进出单层夹套的保温均匀性好,工艺结构合理.

(3) 图 5 不同结构的硫磺喷枪管壁温度分布对比可知,两侧进出单层夹套的保温均匀性明显优越于同侧进出单层夹套,而同侧进出双层夹套既有良好的保温均匀性,又能满足蒸汽同侧进出的工艺要求,是一种优化的喷枪传热结构.

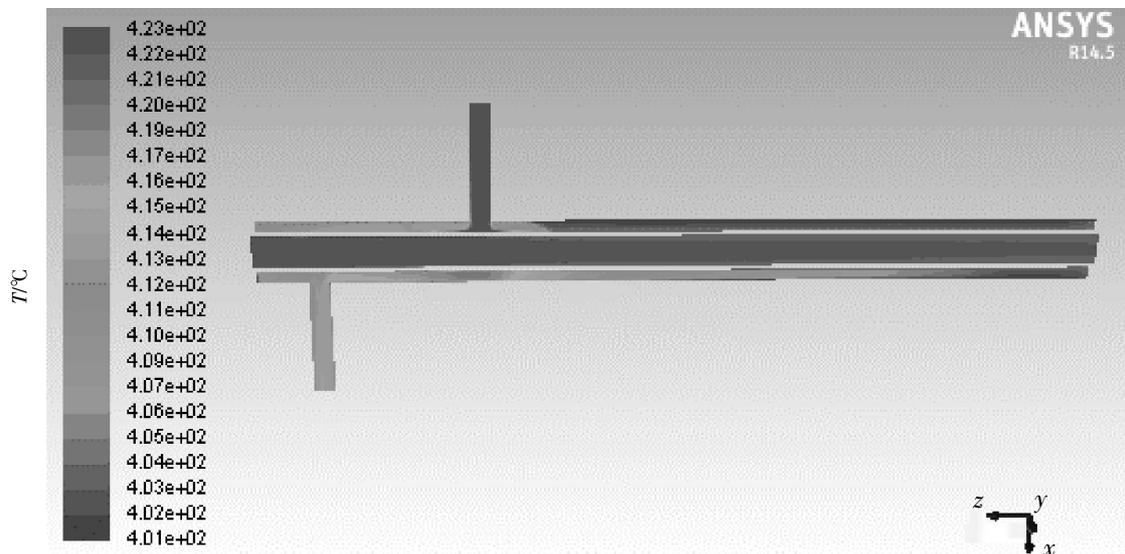


图 2 同侧进出单层夹套流体域对称面上的温度分布云图

Fig.2 Temperature distribution on symmetric plane of fluid domain of single-jacket with steam from the same side

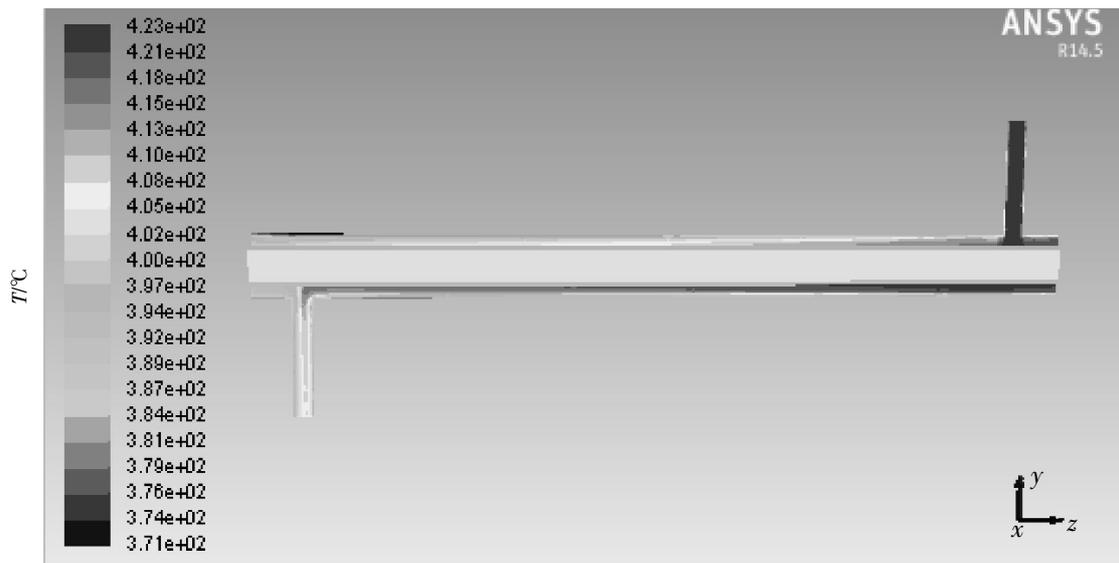


图 3 两侧进出单层夹套流体域对称面上的温度分布云图

Fig.3 Temperature distribution on symmetric plane of fluid domain of single-jacket with steam from both sides

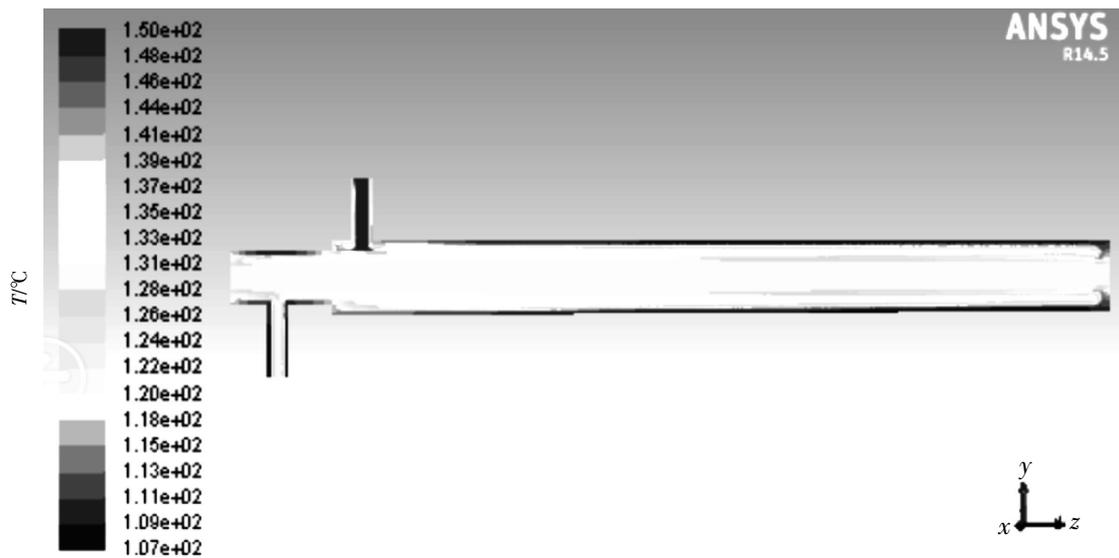


图 4 同侧进出双层夹套流体域对称面上的温度分布云图

Fig.4 Temperature distribution on symmetric plane of fluid domain of double-jacket with steam from the same side

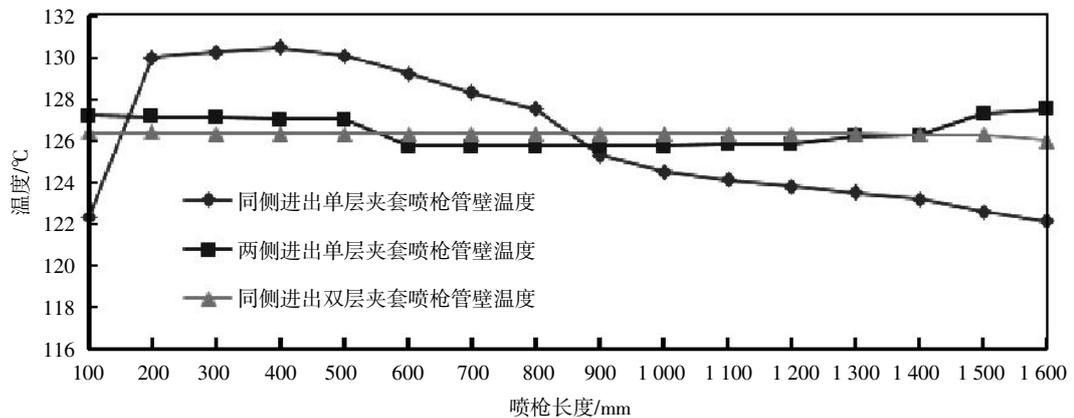


图 5 不同结构的喷枪管壁温度对比图

Fig.5 Comparison of tube temperatures of spray gun with different structures

### 3 结 语

以上对硫磺喷枪夹套进行了结构优化和传热模拟,通过 ANSYS FLUENT 与 Steady-state Thermal 两个模块之间的调用,系统地分析了流体域温度分布云图、管壁温度.研究表明,同侧进出双层夹套既有良好的保温均匀性,又能满足蒸汽同侧进出的工艺要求.减少了应力腐蚀、变形、穿孔、堵塞,造成生产非计划停车.延长了喷枪的使用寿命,提高硫磺的雾化效果.

#### 参考文献:

- [1] 冯晓民.硫磺制硫酸工艺研究[J].上海化工,2007,8(11):26-27.  
FENG Xiao-min. Using sulfur to improve the sulfuric acid technical process[J]. Shanghai Chemical Industry, 2007,8(11):26-27. (in Chinese)
- [2] 刘安宁.一种硫磺喷枪的枪体:中国,200720123000.6 [P].2008-07-23.  
LIU An-ning. A kind of sulfur spray gun: CN, 200720123000.6[P].2008-07-23.
- [3] 庞建铭.硫磺喷枪技术改造[J].四川冶金,2007,4(27):60-61.  
PANG Jian-min. Technical innovation of sulfur spray gun[J]. Si Chuan Metallurgy, 2007, 4(27): 60-61.(in Chinese)
- [4] 彭乃恩.一种液体硫磺喷枪:中国,201320691428.6 [P].2014-05-07.  
PENG Nai-en. A liquid sulfur spray gun. CN, 201320691428.6[P].2014-05-07.(in Chinese)
- [5] 朱红钧. ANSYS14.5 热流固耦合实战指南[M].北京:人民邮电出版社,2014(16):318-440.  
ZHU Hong-jun. ANSYS14.5 Heat flow-solid coupling practical guide [M].Beijing: Post and Telecom Press, 2014(16):318-440.(in Chinese)
- [6] 杨红,肖臻,周彦,等.空气雾化硫磺喷枪的数值模拟[J].武汉工程大学学报,2013,35(12):63-67.  
YANG Hong, XIAO Zhen, ZHOU Yan, et al. Numerical simulation of air-atomizing sulfur gun [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2013,35(2):63-67. (in Chinese)

## Process simulation and structure optimization of heat transfer of sulfur spray gun

*YANG Hong, GAO Zhi-yuan, LUO Dan-dan, HU Shuang-ce, XU Qing-shan*

1.School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China; 2.Hubei Key Laboratory of Chemical Equipment Intensification and Intrinsic Safety (Wuhan Institute of Technology), Wuhan 430205, China

**Abstract:** Jacketed structure is a thermal insulation structure, commonly used in the sulfur spray gun, which guarantees the normal transmission and injection of liquid sulfur. Aimed at the uniform temperature distribution on the whole length of the gun, the heat transfer simulation and structure optimization of the jacketed structure were explored. Jacketed structure of double-jacket with steam in and out from the same side and single-jacket with steam in and out from both sides were analyzed and compared with that of the commonly used single-jacket with steam in and out from the same side. In the analysis process, the mass flux of saturated vapor and liquid sulfur was used as the benchmark in the inlet, and the outlet adopt pressure-outlet. k-omega turbulence model was used to open the energy equation, and the pressure-velocity coupling equation was solved by using PISO algorithm. The simulation result shows that the thermal uniformity of the single-jacketed structure with steam in and out from both sides is significantly better than that with steam from the same side. However, the double-jacketed structure with steam from the same side is a kind of optimized structure, which not only has a better thermal uniformity, but also meets the technological requirement of steam in and out from the same side simultaneously.

**Keywords:** sulfur spray gun; heat transfer structure; fluid structure coupling; numerical simulation; structure optimization

本文编辑:陈小平