

# 油封低温冷却器折流板开孔的传热性能

郑小涛,徐成,喻九阳,林纬,彭常飞  
(武汉工程大学机电工程学院,湖北武汉430205)

**摘要:**针对油封低温冷却器压降较大的问题,利用计算流体力学(CFD)软件Fluent分析油封低温冷却器折流板开孔对冷却器流场和传热性能的影响。首先探讨不同折流板数量、壳程流速等参数对折流板开孔引起的传热性能及压降变化规律,其次分析折流板开孔对冷却器综合性能的影响,最后探寻折流板开孔后冷却器传热性能和压降关系的内在联系。结果表明,折流板开孔引起油封冷却器压降和传热系数的显著变化,且压降比传热系数变化更明显,折流板开孔后压降减少40%~50%,而传热系数也降低了15%~20%。在等换热面积和等压降情况下,折流板开孔冷却器传热系数可以提高10%左右。

**关键词:**数值模拟;压降;传热系数

中图分类号:TQ051.501

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.09.014

## 0 引言

换热器广泛应用于能源、石化、制冷空调、建筑、冶金、食品加工、航空及其他一些行业领域中,并在其中占有相当大的投资比例<sup>[1-4]</sup>。通过改进换热器的结构和换热管型以及通过增加流体的扰动来提高换热器的换热效率,对高效换热器的设计与研发有很大作用,对节能减排与提高能源利用率也有重大意义。单弓形折流板能使壳程流体横向冲刷管束,具有显著提高壳程的传热系数的作用,从而提高换热器的整体传热性能。同时壳程的压降也大大增加,且在折流板背面存在流动死区。对如何有效的利用折流板来提高换热器的传热系数并满足压降要求具有很大的实际意义。下面分析折流板开孔对油封低温冷却器传热性能的影响,以及提高换热器的综合换热性能。

## 1 分析模型

油封低温冷却器用于C6(一种碳氢物代号)的冷却,属于单弓形折流板管壳式换热器。其管程为低温冷却水,入口温度为5℃;壳程为碳氢物,入口温度为40℃,其物理性质及初始条件如表1所示。油封低温冷却器采用单弓形折流板,弓缺25%,壳体内径273 mm,换热管外径20 mm,管心距32 mm,采用90°布管方式。

表1 壳程流体物理性质

Table 1 The shell pass fluid physical properties

密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	粘度/ $\text{Pa} \cdot \text{s}$	比热/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	导热系数/ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
669.32	0.000 241 2	2.205 7	0.112 5

## 2 数值计算方法

利用Fluent软件对油封低温冷却器折流板开孔进行数值模拟,分析换热器内部流场图、温度分布图与压降图,为实验提供了充分的理论依据。

采用Gambit2.4.6进行建模与网格划分。折流板及开孔建模如图1所示,换热管呈90°排列,其中小孔为折流板开孔,直径16 mm。壳程建模如图2所示,网格类型为T-Grid,Interval size设为5,网格数在130万到240万之间,随着折流板数目增加而增加。壳程流体为对称流动,本文仅对 $\frac{1}{2}$ 模型进行分析,便于减少模型网格,提高计算精度。

分析过程中,采用选用FLUENT 3D单精度求解器,非耦合稳态隐式(simplec)求解;选择双方程的Standard  $k-\varepsilon$  Model(湍流模型)和Standard Wall Functions(标准壁面函数法)<sup>[5]</sup>。

边界条件:

(1)管壁:constant temperature wall;温度278 K;

收稿日期:2012-07-07

基金项目:国家自然科学基金项目(50976080);武汉工程大学科学研究基金项目(14125061);武汉工程大学研究生创新基金(CX201127)

作者简介:郑小涛(1982-),男,湖北武汉人,讲师,博士。研究方向:结构强度、材料损伤与变形。

(2) 入口: velocity inlet; 速度 0.4 m/s 和 0.6 m/s; 温度 443 K;

(3) 出口: outflow;

(4) 壳体壁面: wall no-slip (速度无滑移)。

设置残差监视器和流场初始化后,开始迭代计算,保存 case 和 data 文件,最后进行结果后处理。在计算过程中,设置了 4、6、8、10、12 块不同的折流板数,其间距分别为 400 mm、260 mm、200 mm、170 mm、130 mm。以入口速度为 0.4 m/s 和 0.6 m/s 这两种不同入口速度下进行了模拟,把折流板开孔与未开孔进行了对比。

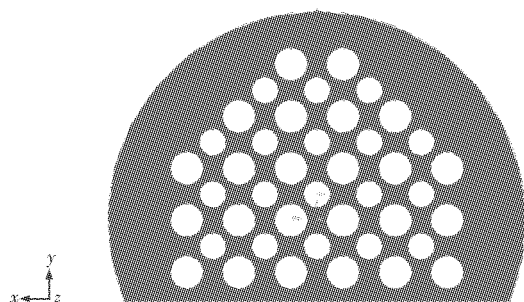


图1 折流板开孔建模图

Fig.1 Perforated baffle model

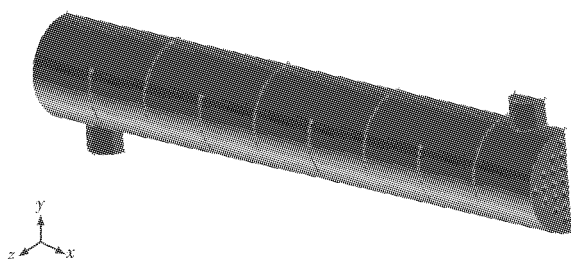


图2 壳程建模图

Fig.2 The shell pass model

### 3 结果与讨论

#### 3.1 开孔前流场分析

图3为入口速度为0.4 m/s,折流板数为6时的温度云图。从温度云图可以看出折流板背部温度较高,这是由于折流板背部死区存在漩涡,导致局部温度升高。折流板背部流动速度较低,存在死区,解释了折流板背部温度较高的现象。在单弓形折流板管孔间开孔,使壳程在折流板侧形成一定量的纵向流可以弱化甚至消除折流板侧的滞流区,并增大流体湍流程度,从而强化传热并降低流阻<sup>[6]</sup>。

#### 3.2 折流板开孔后压降与传热系数的变化

当入口速度为0.4 m/s时,其折流板数与压降关系如图4所示,折流板数与传热系数的关系如图5所示。压降随着折流板数增加而增加,折流

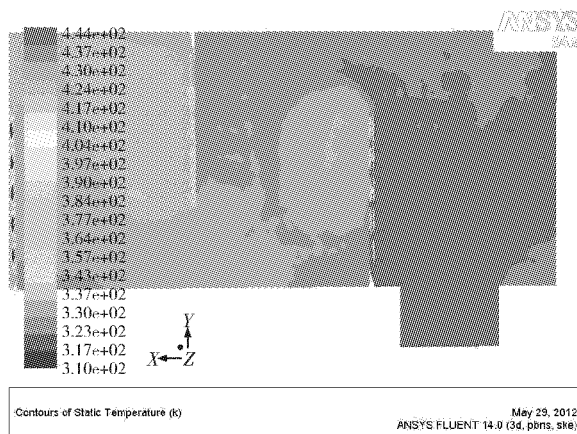


图3  $V=0.4$  m/s 折流板数6时未开孔温度云图

Fig.3 The temperature field cloud diagram of none perforated baffle under  $V=0.6$  m/s and number of baffle is 6

板开孔与不开孔相比较,开孔后的折流板,其壳程压降明显降低,并随着折流板数的增加,降幅增加,最大达到50.4% (见图4)。压降的降低,将减少外部额外动力的输入,保证输出动力满足工业要求。同时,壳程传热系数随着折流板的增加而增大,但折流板开孔后与未开孔相比较,折流板开孔后传热系数有所下降,但下降幅度明显低于压降下降幅度,其最小降低9.4%,最多降低19.6%,且随着折流板数增加壳程传热系数降幅增加 (见图5)。

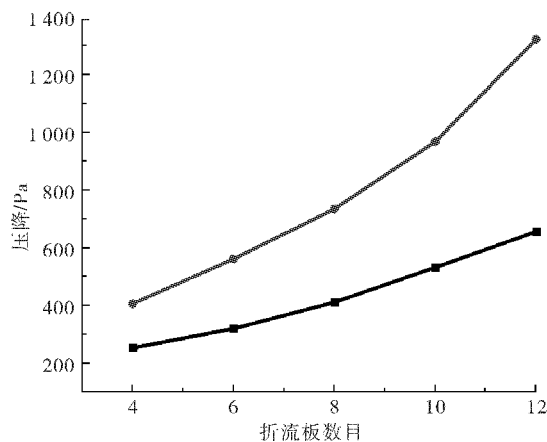


图4  $V=0.4$  m/s 折流板数与压降关系图

Fig.4 The relationship diagrams of baffled numbers with pressure drop under  $V=0.4$  m/s

注:◆ 折流板开孔;■ 折流板未开孔

#### 3.3 利用开孔后特性提高传热系数

随着折流板的增加,壳程压降也不断增大,其传热系数也随之增大<sup>[7-8]</sup>。在折流板开孔冷却器中,增加折流板数量后,其压降也随之增加,在同压降下折流板开孔与未开孔传热系数对比如图6所示。计算表明,折流板开孔后增加壳程折流板数,在相同压降下,折流板开孔后壳程的传热系数

明显高于未开孔. 在压降 400~700 Pa 区间, 折流板开孔后壳程传热系数最多增加 22%, 最少增加 8.4%.

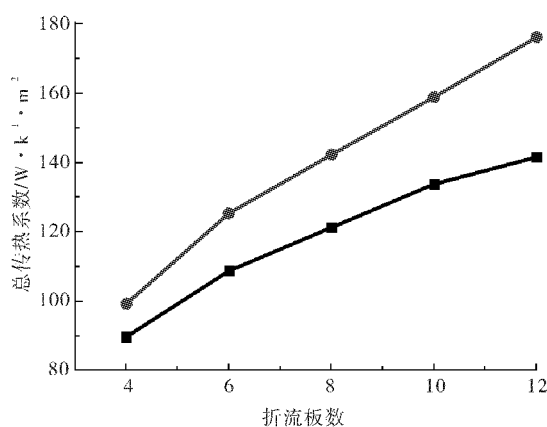


图 5  $V=0.4$  m/s 折流板数与传热系数关系图

Fig. 5 The relationship diagrams of baffled numbers with the heat transfer coefficient under  $V=0.4$  m/s

注: ■—开孔; ●—未开孔

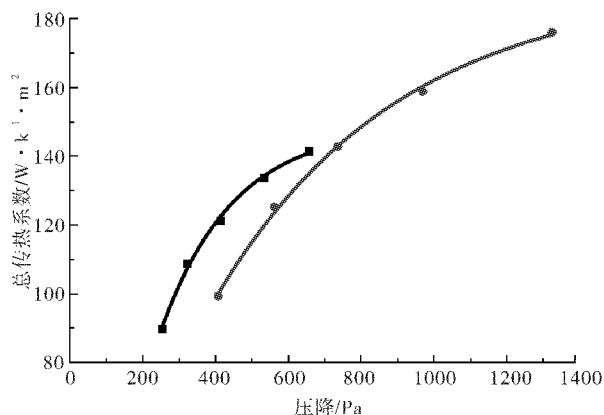


图 6  $V=0.4$  m/s 时同压降下传热系数对比

Fig. 6 When  $V=0.4$  m/s and equal pressure drop, heat transfer coefficient compared

注: ■—开孔; ●—未开孔

同样,随着入口流速的增加,当壳程入口速度提高为 0.6 m/s 时,其压降与传热系数均上升,上升趋势与入口速度为 0.4 m/s 一致. 在折流板开孔并增加壳程折流板数与折流板未开孔相比较,相同压降下传热系数变化如图 7 所示.

结果表明当折流板开孔后,增加壳程折流板,在压降一定时与折流板未开孔相比较,壳程传热系数明显增加. 壳程压降在 1 000~1 600 Pa 区间,传热系数最多增加 17.4%, 最少增加 8.7%.

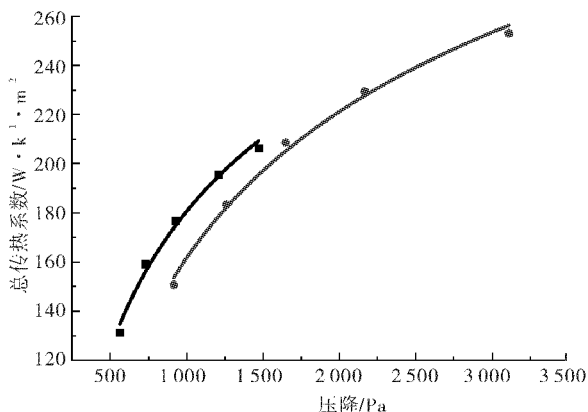


图 7  $V=0.6$  m/s 同压降下传热系数对比

Fig. 7 Heat transfer coefficient compared under

$V=0.4$  m/s and equal pressure drop

注: ■—折流板开孔; ●—折流板未开孔

## 4 结 语

利用 CFD 技术,采用 Fluent 软件对于油封低温冷却器折流板开孔进行数值模拟计算,得出以下结论.

a. 折流板开孔后,有效改善折流板背部死区现象,大大降低壳程压降,最大可以降低 50.4%.

b. 折流板开孔后,随着压降的大幅度降低,其壳程的对流传热系数也在降低,但降低的幅度小于压降降低幅度.

c. 开孔后增加折流板在满足压降的要求的情况下传热系数可以提高,最大提高 22%,最低降低 8.7%. 油封低温冷却器折流板开孔对提升单弓形折流板管壳式换热器性能有明显的提高,并利用其压降有较大降幅的特点,提高总体传热系数,达到提高换热器的性能的目的.

## 参考文献:

- [1] 林宗虎. 强化传热其工程应用[M]. 北京:机械工业出版社,1985.
- [2] 史美中. 热交换器原理与设计[M]. 南京:东南大学出版社,1995.
- [3] 顾维藻. 强化传热[M]. 北京:科学出版社,1990.
- [4] 吴峰,李青. 热声理论的研究进展[J]. 武汉工程大学学报,2012,34(1):1-6.
- [5] 王为良. 管壳式换热器壳侧流场数值模拟[D]. 北京:中国石油大学,2010.
- [6] 喻九阳,王泽武. 单弓形折流板开孔试验研究[J]. 石油化工设备,2004;33(2):4-6.

[7] 明廷臻,周程,刘伟. 管内填充环状金属多孔介质强化传热优化分析[J]. 武汉理工大学学报,2011,33(3):62-66.

[8] 黄晓艳,王华. R245fa 传热特性的实验研究[J]. 武汉理工大学学报,2011,33(3):67-71.

## Performance of low-temperature oil seal cooler with perforated baffle

ZHENG Xiao-tao, XU Cheng, YU Jiu-yang, LIN Wei, PENG Chang-fei

(School of Mechanical & Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of higher pressure drop for low-temperature oil seal cooler, numerical simulation was performed for the perforated baffles based on computational fluid dynamics (CFD) techniques. The influence of the flow velocity in shell side on the variation of pressure drop and heat transfer caused by perforated baffles was studied, the effect of perforated baffles on the comprehensive properties of the cooler was analyzed and relationship between pressure drop and heat transfer coefficient owing to perforated baffles was further investigated. Results show that changes of pressure drop and heat transfer coefficient on shell side caused by perforated baffles are significant, and the change of pressure drop is more remarkable than that of the heat transfer coefficient, the pressure drop on shell side decreases by 40% – 50%, while the heat transfer coefficient decreases by 15% – 20% for perforated baffles; comparing with the low-temperature oil seal cooler with original baffles, the heat transfer coefficient of low-temperature oil seal cooler with perforated baffles can be increased by 10% in the case of equivalent heat transfer area and pressure drop.

**Key words:** numerical simulation; pressure drop; heat transfer coefficient

本文编辑:陈小平



(上接第 61 页)

## Working principle of filling particle in three-dimensional electrode system

TANG Ya-fei, BAO Ren-dong, CHENG Shan

(Department of Environment Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Aiming at studying the influence factors and enriching the research content of working principle in the three-dimensional electrode system, cell model device was established. In the experiment, the self-made organic glass cell was used, the positive plate of  $\text{Ti/RuO}_2\text{-IrO}_2$  and the negative plate of  $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$  were selected. The particles were simulated by two small Ti plate electrode. The particle current, the virtual cell voltage, the current of the main plates were measured by changing the interparticle distance and the voltage of the main pole plates respectively. Then the influence factors of the particle current were analyzed through the experimental data. The results show that the particle current is mainly influenced by the voltage of the main pole plates and the distance of the simulated particle; the energy efficiency of the three-dimensional electrode electrochemical is higher than the two-dimensional under the certain voltage circumstances, which is generated by the increasing of electrochemical reaction product including the filling particles and the main pole plates.

**Key words:** three-dimensional electrode; simulation particle; particle current

本文编辑:陈小平