

# 深井热湿环境下矿用空冷器传热性能

张新月,张登春,韩巧云,陈亚洲

(湖南科技大学 能源与安全工程学院,湖南 湘潭 411201)

**摘要:**通过实验设备模拟了矿用空冷器在某工况下的工作性能并计算出其工作效率;通过 Gambit 软件建立了该空冷器热湿传递的物理模型,运用 Fluent 软件对其进行了数值模拟. 改变空气进口温度和速度,得出不同工况下空气的出口温度及空冷器的效率值,结果表明:当风速一定时,空冷器出口温度随空气进口温度的升高而相应升高,且出口温度变化梯度小于进口温度变化梯度,空冷器效率有较明显的增加;当空气进口温度一定时,风速的增加使得空气出口温度小幅增加,空冷器效率有所下降.

**关键词:**矿井降温;矿用空冷器;数值模拟;传热效率

**中图分类号:**TD727.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2016)01-0076-05

## On heat transfer performance of mine air cooler under high temperature and high humidity environment

ZHANG Xinyue, ZHANG Dengchun, HAN Qiaoyun, CHEN Yazhou

(School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** To study the working efficiency of the mine air cooler under no-load condition, the experiment is carried out to simulate the mine air cooler's performance under a certain condition, and the working efficiency is calculated. The modeling of the air cooler is simplified with the software GAMBIT, and numerically simulated by the software Fluent. Changing the inlet air's temperature and velocity, the outlet air's temperature and the efficiency of the air cooler are calculated under different working condition. Results show that with the increasing of the inlet air's temperature, the outlet air's temperature is increased correspondingly, and the outlet air's temperature gradient is less than the inlet temperature gradient, which makes the air cooler's efficiency increased obviously; When the inlet air's temperature is constant, the increasing of the air speed causes the outlet air's temperature to increase slightly, thus the air cooler's efficiency reduces slightly.

**Key words:** mine cooling; mine air cooler; numerical simulation; heat transfer efficiency

随着经济的快速发展及能量需求量的持续增大,煤矿浅部资源不断减少,煤矿深部开采成为必然<sup>[1]</sup>,矿井高温热害成为影响煤矿安全生产的又一重大灾害.深部煤矿工作面环境具有高温、高湿的特点:工作面的空气干球温度超过 30℃,相对湿度在 90%~100%<sup>[2]</sup>.高温高湿环境不但引起生产效率严重降低,而且使得井下作业人员体能下降,易产生高温中暑、热晕,严重影响煤矿安全生产.因此,高效的矿井降温系统对于深部煤矿的安全生产具有重要意义.

空冷器作为矿井降温系统的末端装置,其性能、效率的高低直接影响矿井降温效果.合理准确确定其工作性能对整个系统节能及稳定运行起着十分重要的作用.徐百平等<sup>[3]</sup>利用 Fluent 软件对平直翅片管换

收稿日期:2015-04-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51134005;51274098)

通信作者:张登春(1972-),男,湖南祁阳人,博士,教授,研究方向:矿井降温与热环境控制. E-mail: dczhang2000@126.com



冷冻水在单位时间内所吸收的热量可以由下式求出：

$$Q' = c \times m \times \Delta t. \tag{2}$$

式中， $Q'$ ：水在单位时间内所吸收的热量，kW； $c$ ：水的比热容，4.18 kJ/(kg·℃)； $m$ ：水的质量流量，kg/s； $\Delta t$ ：水的进、出口温差，℃。

于是，单位时间内冷冻水所吸收的热量为

$$Q' = c \times m \times \Delta t = 4.18 \times 10^3 \times 5.0 \times 10^3 \times (19.1 - 13.4) = 1.191 \times 10^5 \text{ kJ/h} = 33.1 \text{ kW}.$$

由计算可知，在该空冷器内，空气所放出的热量要比冷冻水所吸收的热量稍大，这是因为空气所放出的热量必须经过空冷器内部的管道才能传给冷冻水，在该换热过程中，除了被冷冻水吸收的热量外，管道和空冷器的外部材料也会吸收一部分热量。

## 2 深井湿热环境下空冷器传热性能数值模拟研究

### 2.1 模型假设

在本数值模拟模型中，将空冷器管道内壁温度值近似设定为水温值，且管道壁面无液膜、液滴生成，即为单相流体换热过程。

### 2.2 物理模型

采用 Gambit 软件对该矿用空冷器建模，利用 Fluent 软件模拟高温高湿环境下的工作效率。该空冷器为光管式，管长为 900 mm。由于其内部结构的对称性，可将其进行简化模拟。本文取其结构的 1/4，简化后的模型如图 3 所示。

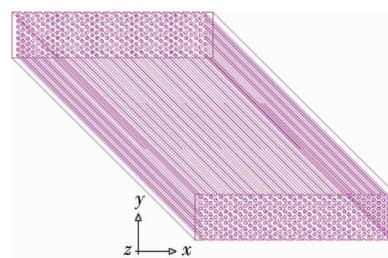


图 3 矿用空冷器三维模型结构简图

### 2.3 计算过程及结果分析

#### 2.3.1 网格划分及边界条件设定

图 4 为垂直于水流方向所生成的局部网格图，划分方式为全流场六面体网格划分法，总网格数为 591 100 个，采用标准  $k-\epsilon$  湍流模型和二阶迎风的差分格式进行计算，收敛控制条件为温度、连续性条件、能量平衡条件的计算控制误差  $1 \times 10^{-6}$ 。边界条件设定为速度入口和压力出口，空气的进口速度为 1.5 m/s，进口风温值为 32.7℃，其它壁面设定为固定壁面。

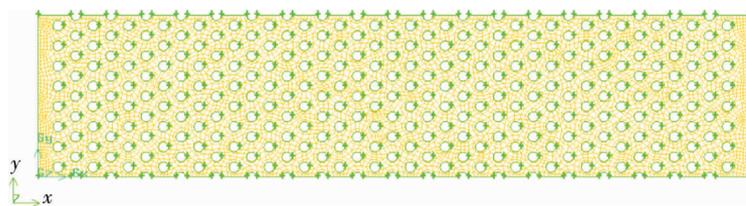


图 4 网格划分图

#### 2.3.2 计算结果分析

计算工况同实验研究，计算结果用 Tecplot 软件进行后处理，其中， $X$  为风流速度方向，即空冷器内管道的横向排列方向，总长度为 0.7 m； $Y$  为空冷器内管道的列向排列方向，总长度为 0.16 m； $Z$  为沿着空冷器内管道长度方向，总长度为 0.9 m。图 5 ~ 图 8 为空气进口温度为 32.7℃ 时，4 种不同风速下空冷器内部空气温度分布。图 9 为空气出口温度随空气进口温度和风速的变化规律。

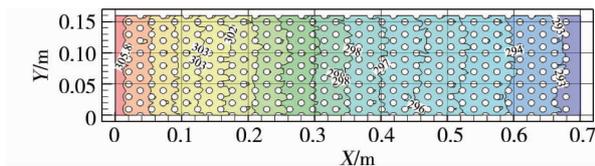


图 5 空气速度为 1.5 m/s 时 Z=0.45 m 截面温度分布

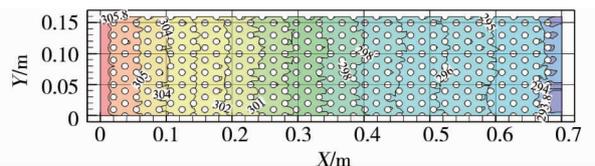


图 6 空气速度为 2.5 m/s 时 Z=0.45 m 截面温度分布

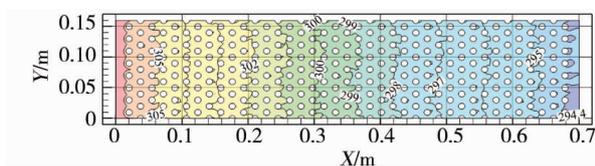


图 7 空气速度为 3.5 m/s 时 Z=0.45 m 截面温度分布

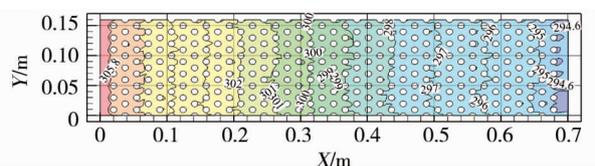


图 8 空气速度为 4.0 m/s 时 Z=0.45 m 截面温度分布

由图 5 ~ 图 8 可知,空气在流动过程中空气温度逐渐降低;随着风速的增大,空气温度分别从进口处的 305.8 K(32.7 °C)降低到出口处的 295.6 K(22.4 °C),296.3 K(23.2 °C),296.7 K(23.6 °C),297 K(23.8 °C),且降低的程度快慢均不同,平均在 0.1 m 的长度范围内空气温度值降低 1.8 °C 左右.由图 9 可知,在相同风速下,空气的出口温度随着空气进口温度的升高而升高;在相同进口温度下,空气出口温度随着风速的增加升高.

相对于实验模拟风速为 1.5 m/s 的工况,热空气在空冷器内部与管内的冷冻水进行热交换后,由进口处的 32.7 °C 降低到出口处的 19.7 °C.于是可得出该空冷器的效率:

$$E = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{w1}} = \frac{32.7 - 19.7}{32.7 - 13.4} \times 100\% = 67.4\%.$$

改变空气进口温度,分别取 34.5,36,37.5 °C,在不同温度、不同风速下分别进行数值模拟,得到空气出口温度及对应的空冷器效率,如表 1 所示.

表 1 冷冻水进口温度为定值时不同进口温度、风速下空气的出口温度及空冷器效率

空气进口温度/°C	空气出口温度/°C(空冷器效率/%)			
	v=1.5 m/s	v=2.5 m/s	v=3.5 m/s	v=4.0 m/s
32.7	19.7(67.4)	20.7(62.2)	21.3(59.1)	21.5(58.0)
34.5	20.4(73.1)	21.5(67.4)	22.1(64.1)	22.4(62.9)
36.0	21.0(77.9)	22.1(71.9)	22.8(68.3)	23.1(67.0)
37.5	21.5(82.7)	22.8(76.3)	23.5(72.6)	23.8(71.2)

由表 1 可知,当空气的进口温度一定时,随着风速的逐渐增加,出口温度随之升高,即空冷器的换热效率随之降低.而在同一风速下,随着空气进口温度的增加,空气出口温度也会上升,但不同进口温度下出口处的温差值比进口处的温差值要小,换热量增大,即空冷器的换热效率随着空气进口温度的增加而升高,随着风速的增加而有所降低.在表中所选的不同工况下,空冷器的换热效率值在空气的进口温度为 37.5 °C、速度为 1.5 m/s 时最大.

取空气进口温度为 32.7 °C,在 4 种不同的风速下作出其温度沿风流方向变化规律,如图 10 所示.

由图 10 可知,空气在经过空冷器的过程中,沿流动方向空气的温度值逐渐降低,空气流速对该换热过程有一定的影响.对应于同一进口风温值,随着空气流速的升高,空气的平均出口温度值变大,且当风速增加到一定程度时,其对空气出口温度的影响减小.

### 3 结论

1) 高温高湿的空气经过空冷器时,空气的温度和湿度有较明显的下降,即是降温减湿过程;但温度的

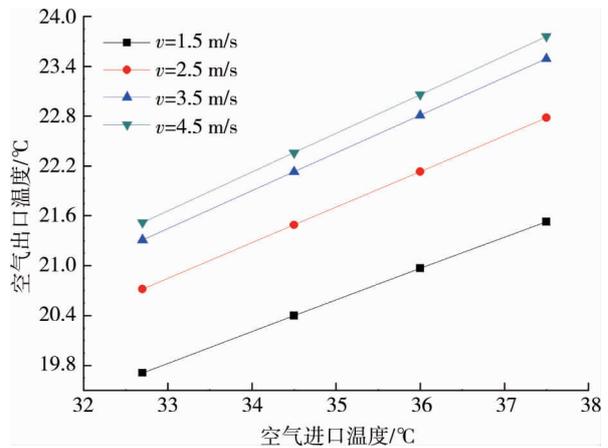


图 9 空气出口温度随空气进口温度和风速的变化规律

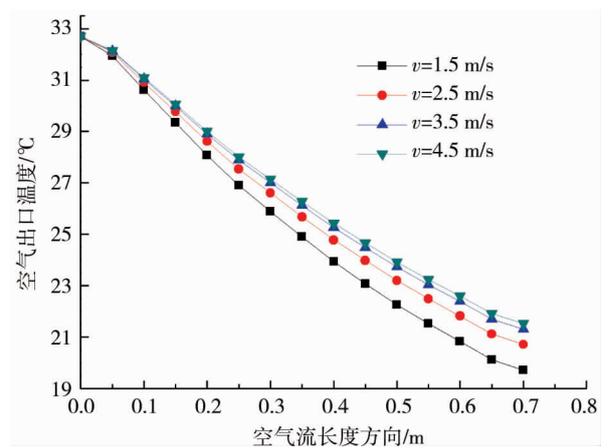


图 10 不同风速下空气温度沿流动方向的变化规律

降低会使相对湿度有所增加,处理后的空气虽然含湿量减少,但相对湿度会升高.

2)空气的进口温度对空冷器的换热效率有明显影响,在风速和冷冻水进口温度一定的情况下,随着空气进口温度的升高,空冷器的换热效率有较明显的升高,这是因为温度的升高增大了空气与水的传热温差,从而增强了换热.

3)在空气和冷冻水进口温度一定的条件下,风速的增加会导致空冷器换热效率的降低.这是因为风速增加意味着风量变大,而在这一热交换过程中冷冻水所能提供的冷量一定,而单位时间内空气所能吸收的冷量减小,导致空气出口温度升高,换热效率有所降低.

#### 参考文献:

- [1] 胡汉华. 深热矿井环境控制[M]. 长沙:中南大学出版社,2009.
- [2] 辛嵩. 矿井热害防治[M]. 北京:煤炭工业出版社,2011.
- [3] 徐百平,江楠,程卓明,等. 平直翅片管翅式换热器流动与传热数值模拟[J]. 化工装备技术,2005,26(4):46-49.
- [4] 尹俊,刘伟,常春梅. 翅片空冷器内外侧流体流动数值模拟与特性分析[J]. 石油化工设备,2012,41(6):37-40.
- [5] 刘彩霞,邹声华,张登春. 风流流速对矿用空冷器换热影响的数值模拟[J]. 矿业工程研究,2013,28(1):39-42.
- [6] 杨立军,郭跃年,杜小泽,等. 环境影响下的直接空冷系统运行特性研究[J]. 现代电力,2005,22(6):39-42.
- [7] 任述光. 表冷器传热传质的数值模拟及特性研究[J]. 制冷与空调,2009,23(3):6-9.
- [8] Meyer C J, Kröger D G. Numerical investigation of the effect of fan performance on forced draught air - cooled heat exchanger plenum chamber aerodynamic behaviour[J]. Applied Thermal Engineering, 2004, 24(2):359-371.
- [9] Duvenhage K, Kröger D G. The influence of wind on the performance of forced draught air - cooled heat exchangers[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1996,62(2):259-277.
- [10] Van Staden M P, Pretorius L. Numerical modeling of the effects of ambient conditions on large power station air cooled steam condensers[J]. The American Society of Mechanical Engineers - Publications - Fed, 1995,221:145-150.