

文章编号: 1671-6612 (2021) 03-382-07

# 基于 CFD 的局部通风降温设备参数影响研究

张 卓 强天伟 裴雨露 刘家雷

(西安工程大学 西安 710048)

**【摘 要】** 针对宝鸡某发电厂空压机房夏季高温机组停机保护问题以及现有通风降温措施的不合理性, 提出一种适用于该空压机厂房的新型局部降温通风设备。通过夏季对现场进行多次连续测试, 并建立整个厂房的物理模型, 以实际测得的数据为验证依据, 得出模型可靠性。利用 CFD 软件模拟不同送风角度、送风速度、送风口到设备表面的距离对空压机降温效果的影响, 通过对比分析, 得出最佳设计方案。研究和结论, 可以为今后局部通风降温技术和 CFD 理论模拟在厂房中的应用研究提供参考。

**【关键词】** 空压机房; 局部通风; 气流组织; 数值模拟

中图分类号 TK05 文献标识码 A

## Research on the Influence of Local Ventilation and Cooling Equipment Parameters Based on CFD

Zhang Zhuo Qiang Tianwei Pei Yulu Liu Jialei

(Xi'an University of Technology, Xi'an, 710048)

**【Abstract】** Aiming at the problem of the shutdown protection of high temperature units in summer in an air compressor room of a power plant in Baoji and the irrationality of the existing ventilation and cooling measures, a new local cooling and ventilation device suitable for the air compressor plant is proposed. In the summer, the site was tested continuously for many times, and the physical model of the entire plant was established. Based on the actual measured data, the model reliability was obtained. Using CFD software to simulate the effect of different air supply angles, air supply speeds, and the distance between the air supply port and the surface of the equipment on the cooling effect of the air compressor, and through comparative analysis, the best design plan was obtained. The research and conclusion of this paper can provide a reference for the future application research of local ventilation cooling technology and CFD theoretical simulation in factory buildings.

**【Keywords】** air compressor room; local ventilation; air distribution; numerical simulation

作者简介: 张 卓 (1997.02-), 男, 硕士, E-mail: 13484516130@163.com

通讯作者: 强天伟 (1970.04-), 男, 博士, 教授, E-mail: 254599797@qq.com

收稿日期: 2020-12-10

## 0 引言

陕西宝鸡某火力发电厂在夏季运行时空压机厂房常由于通风不足导致室内温度急剧升高, 触发了进口空压机的保温装置, 造成停机, 从而对火力发电厂的运行造成不便, 影响正常生产。对于具有高大空间的工业厂房来说, 其内热源较多, 辐射温度较高, 空间较大等影响气流组织的因素较多也较为复杂, 会影响厂房内的温度分布梯度以及不均匀度, 也会造成冷量浪费<sup>[1]</sup>。根据 GB 50019-2015 《工

业建筑供暖通风与空气调节设计规范》指出当热环境达不到所需标准时候, 在需要长期进行操作的工作环境中应该设置局部通风。工作地点如果比较固定或是分散时候应该考虑单体局部送风, 工作地点集中考虑使用系统局部送风<sup>[2]</sup>。

CFD (Computational Fluid Dynamics) 是一种利用计算手段对计算流体的传动和传热问题进行分析, 为我们提供一个简单高效研究流场的方法。国内外对于研究室内流场或者热舒适度一般采用

数值模拟的方法<sup>[3]</sup>。西安建筑科技大学对顶部的工位送风进行了模拟研究, 不考虑人员舒适度的情况下, 对工位送风的送风口尺寸、送风速度、送风角度对室内温度场和流场的影响进行了模拟验证, 得出了最合适的送风参数, 具有较好的经济性<sup>[4]</sup>。Juna Abanto 等学者利用数值模拟研究了空调房间的舒适度。主要研究了送风口的参数以及送风的形式对于室内的气流组织的影响, 同时也分析了边界条件对于室内气流组织和舒适度的影响<sup>[5]</sup>, 为今后研究不同送风角度、参数对于室内气流影响提供了参考依据。美国、日本这些发达国家数值模拟技术很成熟, 利用 CFD 模拟高大空间的气流组织并进行相应措施的通风降温已经应用到实际工程中<sup>[6-8]</sup>。

本文以 CFD 数值模拟为主要方法, 对工厂内的空压机进行局部送风设计。主要分析不同送风角度、送风口到空压机的距离、送风口间距以及送风速度对空压机局部降温的影响。

## 1 数值模拟方法

### 1.1 模型建立

本文依据空压机厂房实际情况进行建模, 具体尺寸如表 1 所示。利用 GAMBIT 软件建立厂房模型并进行网格划分。

表 1 空压机房及各设备尺寸大小

Table 1 Air compressor room and equipment size

名称	尺寸
空压机厂房/m	12×9×9
国产空压机 (K1、2)/mm	1900×900×1650
进口空压机 (K3-5)/mm	2000×1200×1680
冷冻干燥机 (KL3-5)/mm	950×650×1000
窗式蒸发式冷气机 (DEC1、2)/mm	1470×1480×1400

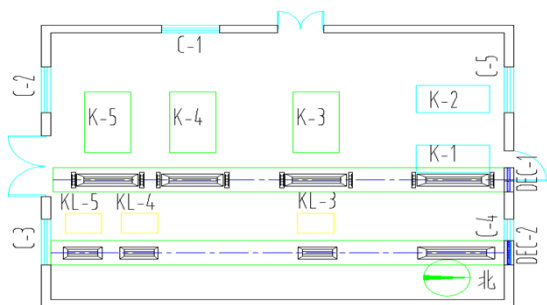


图 1 厂房设备平面布置图

Fig.1 Layout of plant equipment

### 1.2 控制方程

数学模型控制方程包括: 连续性方程、动量方程、能量方程、湍动能  $k$  方程、耗散率  $\varepsilon$  方程, 其通式为:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla(\rho\phi V) = \nabla(\Gamma_{\phi}\nabla\phi) + S_{\phi} \quad (1)$$

式中:  $\rho$  为空气密度;  $t$  为时间;  $V$  为速度矢

量;  $\phi$  为速度在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向的分量, 当  $\phi=1$  时,

方程变为连续性方程;  $\Gamma_{\phi}$  为各应变量的有效扩散系数;  $S_{\phi}$  为广义源项。

### 1.3 湍流模型及边界条件

数值模拟采用 FLUENT 软件。厂房内的空气流速属于低速流动, 其内部的气流可以假设为不可压缩的稳态湍流流动<sup>[9]</sup>, 开启 DO 辐射模型, 选择有限体积法的标准  $k-\varepsilon$  模型, 采用基于压力基的二阶迎风格式, 速度耦合通过 SIMPLEC 算法进行求解, 最后设置收敛标准, 初始化后设置迭代步数, 进行计算, 达到收敛。

本文初始将两台蒸发冷气机的送风口设置为速度入口, 入口温度为  $26.5^{\circ}\text{C}$ , 入口速度为 3、4、5m/s。厂房中的空压机在运行时候, 所有的门窗均是开启状态, 这里将门窗设置为自由出流边界条件。对于围护结构, 采用温度热边界, 分别为北墙  $34^{\circ}\text{C}$ 、南墙  $33^{\circ}\text{C}$ 、东墙  $37^{\circ}\text{C}$ 、西墙  $36^{\circ}\text{C}$ , 屋面  $44^{\circ}\text{C}$ , 地面设置为绝热面。运行的设备按热流量计算, 不运行的设备设置为绝热壁面。

## 2 模拟结果分析

DEC1 连接的风管有 12 个送风口, 每台空压机对应三个送风口, 中间的风口吹覆空压机的上表面, 左右两边的风口各吹向空压机左右两个侧面; 中间送风口的长度与空压机的长度一致, 选用条缝风口, 两侧的送风口选用百叶风口。由于冷干机散热较小, 所以 DEC2 连接的风管, 仅需四个送风口, 每个送风口各自吹覆冷干机的上表面。本次模拟只对 DEC1 上风口所覆盖的设备进行模拟。

### 2.1 送风口高度对空压机降温的影响

为了了解最佳送风高度对空压机降温的影响, 这里选取了三种不同送风口距离空压机设备表面

的距离 ( $H$ ) 0.7m、1.2m、1.8m。在模拟过程中需要保证其它因变量如送风角度、送风速度、送风口间距、风口形式一致，只改变送风距离，来模拟空

压机的表面温度和流场。

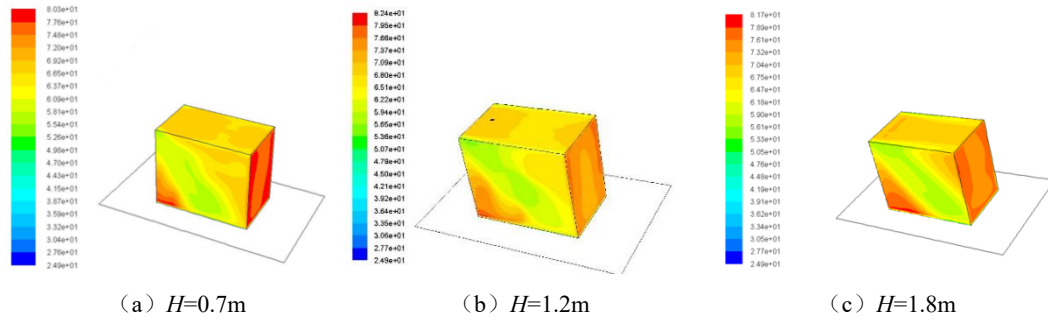


图 2 不同送风口高度时空压机表面温度分布云图

Fig.2 Cloud diagram of the surface temperature distribution of the air compressor at different air outlet heights

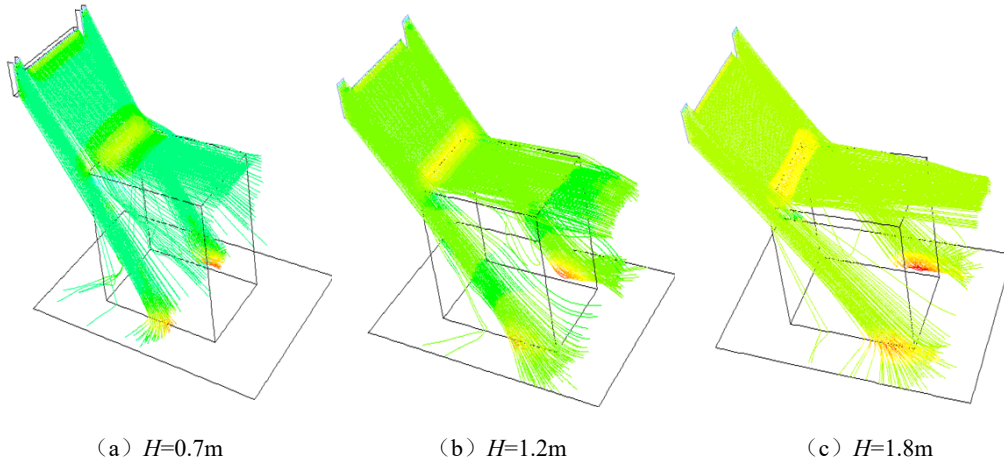


图 3 不同送风高度空压机表面流场图

Fig.3 Surface flow field diagram of air compressors with different air supply heights

根据图 2 可以看出，空压机的平均温度随着送风高度的增加先降低再增加，且变化幅度比较小。同时，送风高度增加时，空压机表面的温度均匀性更好，送风高度较低时，气流没有经过充分的衰减，会造成部分区域温度比较低，温度均匀性一般。

从图 3 可以看到，送风高度低的时候，左右两侧送风会比较早的到达空压机侧面，不能很好的吹覆到整个空压机侧面，同时造成部分气流涡流；送风高度较高时，中间的风口送风会比较晚的到达空压机上表面，吹覆区域相对来说小，通风降温效果大大降低。

综上，送风高度为 1.2m 时，空压机表面的温度较低，送风相对较为均匀，所以设计方案的送风

口高度选择距离空压机表面 1.2m 处。

### 2.2 送风口间距对空压机降温的影响

对于多股非等温气流来说，如果多个送风口平行布置且位置较接近时，射流在经过一定的范围内会汇合成为一股射流，射程增加，但是汇聚之后的射流其断面范围整体小于未汇合之前的射流断面。所以送风口的布置间距大小，同样影响对空压机的降温。在满足空调区域基本参数的要求下，送风口间距的适当缩小更有利于气流特性的分布<sup>[10]</sup>。保证送风速度、送风量、送风角度以及送风高度一致，改变空压机上方左侧风口到中间风口的距离，进行模拟计算，送风间距 (a) 分别设为 0.1m、0.2m、0.3m，计算结果如图 4、5 所示。

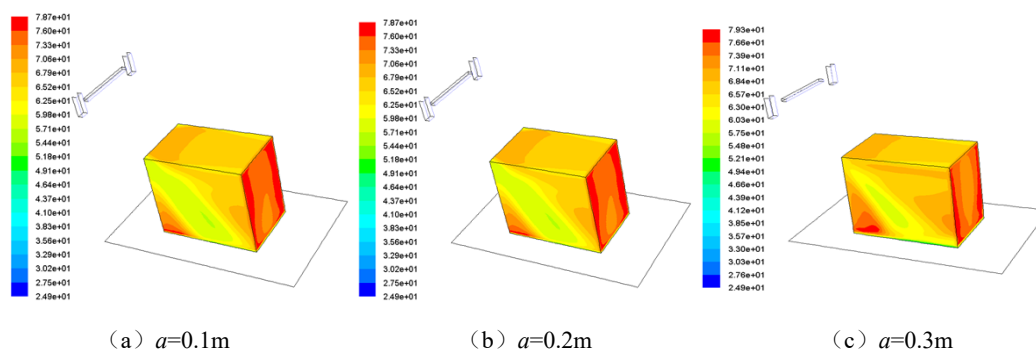


图 4 不同送风口间距时空压机表面温度分布云图

Fig.4 Cloud diagram of air compressor surface temperature distribution with different air outlet spacing

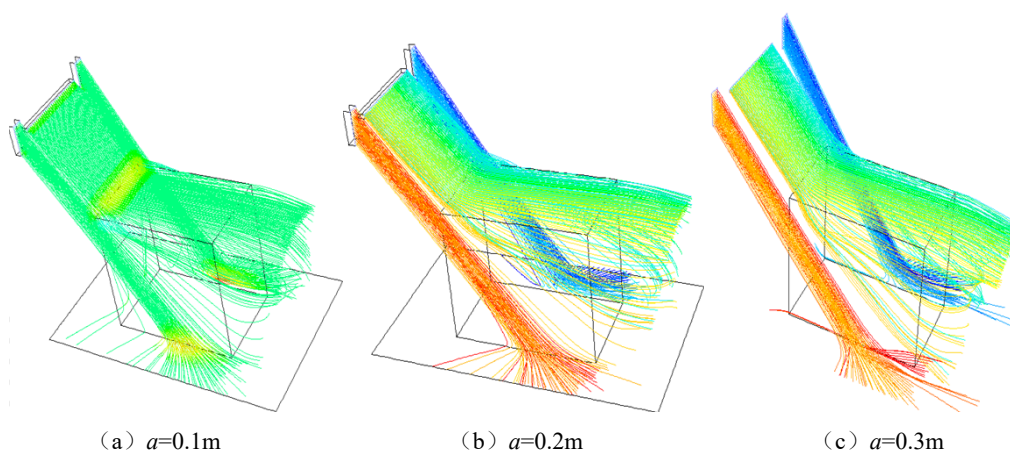


图 5 不同送风口间距送风流场图

Fig.5 Air flow field diagram with different air outlet spacing

从图 4 可以看出,空压机的平均温度随着送风间距的增加先降低再增加,整体幅度改变不大。同时从图中可以看出,不同的送风间距,因为形成的气流特性不同,造成空压机表面的温度均匀性也不同。造成这种现象的原因是随着送风间距的增加,送风气流的射程增大,速度衰减较快,气流速度小,所覆盖空压机表面的面积减小,空压机表面的温度均匀性更好。

从流场图可以看到,送风间距不同,送风气流到达空压机表面的末端速度各不相同。送风间距越小,空压机截面处平均温度越大,区域内的温度均匀性相对较差;随着送风间距的增加,送风射流到达空压机侧面的位置推后,形成的射流覆盖面积减小,不过空压机表面的速度均匀性有所提高,主要是因为送风气流衰减速度较快,到达空压机表面时动能相对较小。

综上,送风间距不是夏季厂房内气流组织的主要影响因素。送风间距只要在能够满足夏季空压机房基本热环境的范围内即可。在这里选用送风间距较小的 0.1m 作为设计方案。

### 2.3 送风速度对空压机降温的影响

送风速度是影响气流组织分布的一个重要因素。送风气流速度过小,由于射流衰减,射程不能达到要求,也无法满足降温的目的;送风气流速度过大,需要输送更多的风量,增加系统的容量,造成能源浪费,也有可能与空压机表面发生碰撞,改变气流路线,形成向上气流,无法达到对空压机降温。根据蒸发冷却设备的额定送风量,室内布置送风口的数量以及条缝风口选用的相关规范,风速选取在 5m/s 以下。所以为了解送风速度对空压机降温的影响,这里选取了三种不同的送风速度 ( $V$ ) 3m/s、4m/s、5m/s,进行模拟计算。

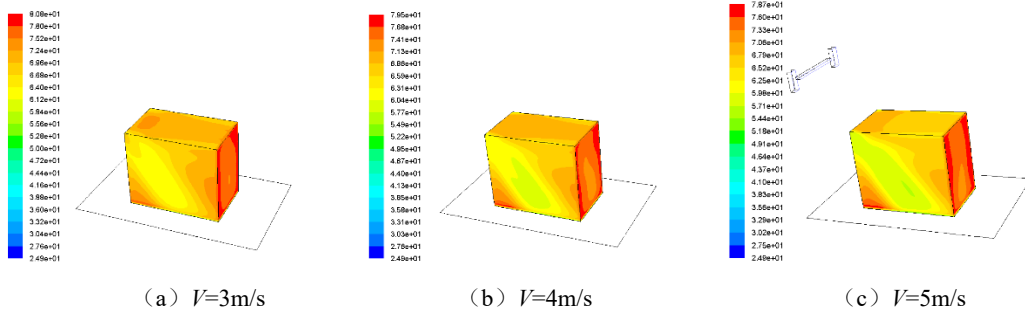


图 6 不同送风速度时空压机表面温度分布云图

Fig.6 Cloud map of air compressor surface temperature distribution at different air supply speeds

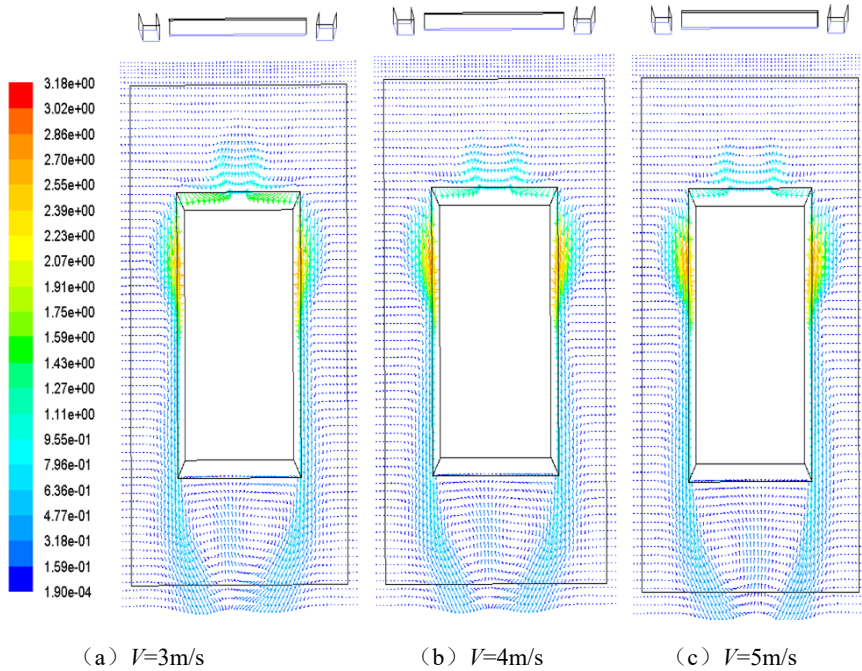


图 7 不同送风速度空压机  $y=1.2m$  截面速度矢量图

Fig.7 Air compressor with different air supply speed  $y=1.2m$  section speed vector diagram

由图 6 可以看出在一定速度范围内,其它送风参数不变,送风温度增加,空压机的平均温度降低。同时,送风速度较小的时候,空压机表面的温度分布较为均匀,因为送风气流速度小,末端的动能小,不易扰动周围的气流,使得空压机周围的温度均匀性较好。

从速度分布来分析,随着送风速度的增加,空压机周围的平均速度也增加,但是整体的增幅却有所减小,也说明送风速度对于空压机的通风降温是有一定限制的。速度过大的时候,气流会跟空压机发生碰撞,涌向上部非降温区,造成冷量的浪费。

所以设计方案的送风速度为 5m/s。

#### 2.4 送风角度对空压机降温的影响

合理的送风角度,可以使送风气流末端辐射更多的区域。为了了解送风角度对空压机降温的影响,需要分别对左右两侧送风角度和中间送风角度进行模拟,左右两侧呈对称,这里仅需讨论一侧的送风角度,分别选取切向角度  $A$  为  $5^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$  四个角度,中间送风角度与  $y$  轴夹角  $B$  为  $40^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $50^\circ$  三个角度进行模拟计算。

##### 2.4.1 两侧送风口不同切向角度下的计算结果

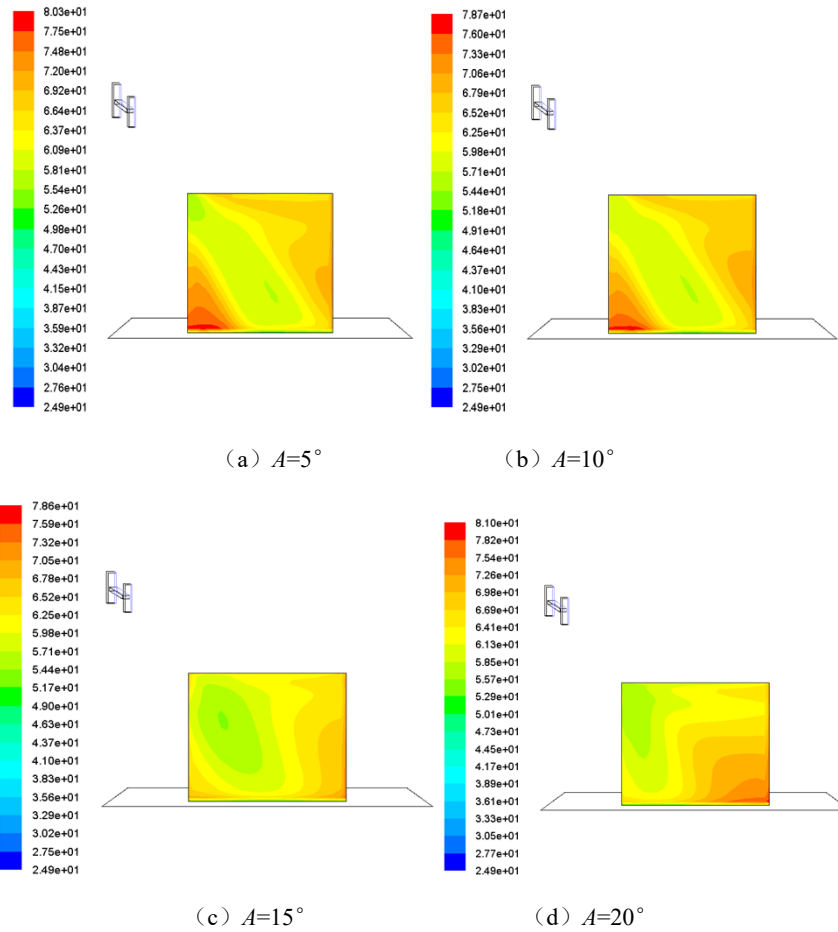


图 8 不同切向送风角度空压机侧表面温度分布云图

Fig.8 Clouds of temperature distribution on the side surface of the air compressor with different tangential air supply angles

从图 8 可以看到, 侧表面的平均温度随着切向送风角度的增加, 先降低再增加, 由于随着角度的增加, 送风射流末端覆盖的区域再变化, 角度较小, 送风气流到达侧表面慢, 角度过大, 送风气流则吹

向空压机设备的另一个面。从图中也可以看出送风气流的覆盖区域随着角度的增加, 面积先增大再减小。

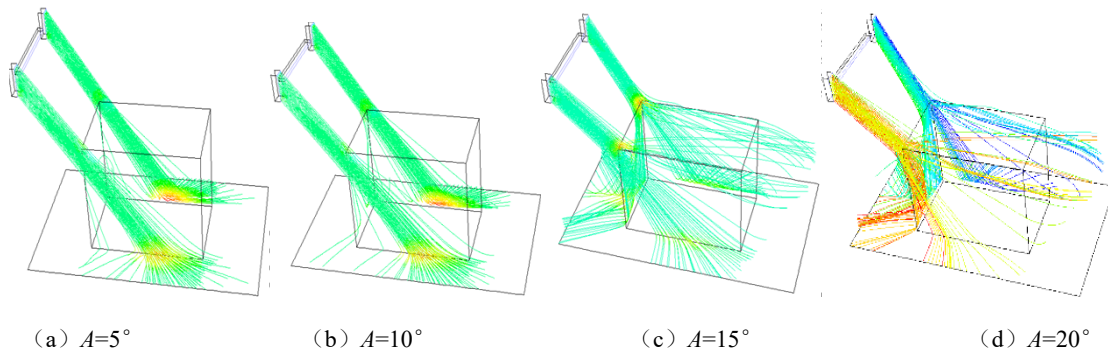


图 9 不同切向送风角度流场图

Fig.9 Flow field diagram of different tangential air supply angles

随着切向送风角度的不断增加,空压机侧表面的空气平均流速先增加,再减小,送风角度为 10° 的时候,平均流速最大,送风气流末端辐射空压机侧表面面积更广。当切向送风速度为 15° 的时候,

送风气流方向偏移,综上,设计方案中,左右两侧的送风切向速度选为 10°。

### 2.4.2 中间送风口不同角度下的计算结果

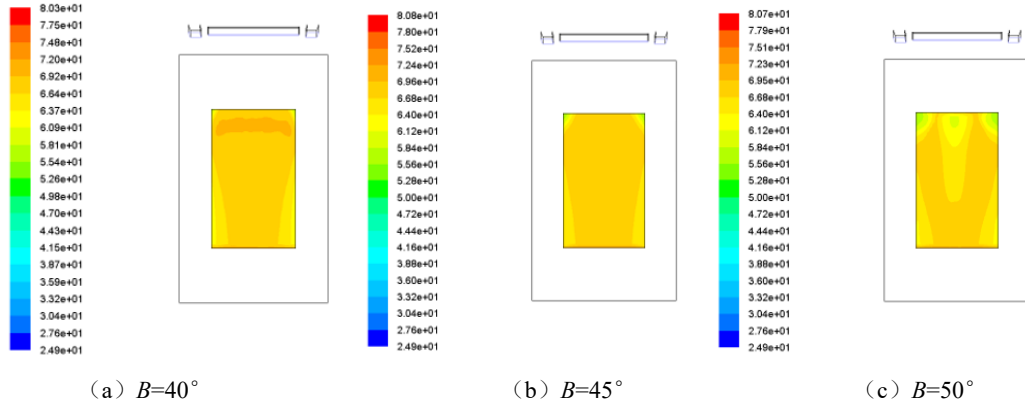


图 10 不同送风角度空压机上表面温度分布云图

Fig.10 Cloud diagram of temperature distribution on the upper surface of air compressors with different air supply angles

由图 10 可得随着送风角度的增加,空压机上表面的平均温度也在增长,综合分析,设计方案中间送风口角度选择 40°。

### 3 总结

采用局部送风方式,把气流直接送到各个空压机设备周围,进行通风降温。分析不同的送风高度、送风口间距、送风速度以及送风角度对空压机降温的影响。送风高度升高,送风气流可以辐射面积更大,气流和温度较为均匀。送风高度小,利于节能。送风口间距整体对空压机降温的影响不大,只要在合理的范围内均可;送风速度大会造成一定的冷量浪费,增大负荷。送风速度小,达不到厂房的基本要求;送风角度大,两侧的气流会相互交叉、干扰,中间的送风覆盖空压机上表面的面积减小。送风角度小的时候,同样送风气流覆盖面减小;选择合适的送风参数可以更高效、节能的对空压机厂房进行降温。

### 参考文献:

[1] 范存养.大空间建筑空调设计及工程实录[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.  
 [2] GB 50019-2015,工业建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国计划出版社,2016.

[3] 张军甫.办公建筑室内空气品质测试与气流组织分析[D].西安:西安建筑科技大学,2011.  
 [4] 方楠.高温工业厂房中工位空调作用下的工位区流场特性研究[D].西安:西安建筑科技大学,2015.  
 [5] JUNA A, DANIEL B, MARCELO R. Airflow modeling in a computer room[J]. Building & Environment, 2004,39(12):1393-1402.  
 [6] J W Jones, N P Weatherill. A Flexible Approach to Evaluation within a Computational Engineering Environment[J]. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 1998,28(8):1183-1197.  
 [7] J W Jones, M Gerndt. CFD Simulation of Deflagration-detonation Processes Using Vector and Parallel Computing Systems[J]. Applied Mathematical Modelling,1998,22(10):811-822.  
 [8] J W Jones, P E Wood. An Iterative CFD and Mechanical Brush Seal Model and Comparison with Experimental Results[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power,1999,121(4):656-662.  
 [9] 周新建,陈听宽.引射喷嘴流量系数的计算方法[J].化工学报,2002,53(10):1092-1094.  
 [10] 任艳莉.高大空间气流组织的数值模拟与实验研究[D].天津:天津大学,2012.