

文章编号: 1671-6612 (2022) 01-079-06

# 送风方式对设备局部降温效果的数值模拟研究 ——贴壁射流送风

黄龙龙 强天伟 张卓 裴雨露

(西安工程大学 西安 710048)

**【摘要】** 针对设备高温一问题, 利用贴壁射流送风, 对设备局部冷却降温。利用 CFD 数值模拟方法研究贴壁射流送风角度以及切向送风角度对设备降温效果的影响。研究表明, 贴壁射流角度越小, 速度衰减越慢, 可以较快的带走设备热量。同时, 在一定角度范围内, 随着切向送风角度增加, 气流辐射区域越广。但角度过大, 气流会与地面发生碰撞, 方向偏移。

**【关键词】** 贴壁射流; 送风角度; 气流组织; 数值模拟

中图分类号 TK05 文献标识码 A

## Numerical Simulation Study on the Effect of Air Supply Method on the Local Cooling Effect of Equipment-wall Jet Air Supply

Huang Longlong Qiang Tianwei Zhang Zhuo Pei Yulu

(Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710048)

**【Abstract】** Aiming at the high temperature problem of equipment, this paper uses adjacent jet air supply to cool the equipment locally. The CFD numerical simulation method is used to study the influence of the adjoining jet air supply angle and the tangential air supply angle on the cooling effect of the equipment. Studies have shown that the smaller the angle of the adjoining jet, the slower the attenuation of the velocity and the faster the heat from the equipment. At the same time, within a certain angle range, as the tangential air supply angle increases, the airflow radiation area becomes wider. But if the angle is too large, the airflow will collide with the ground and the direction will shift.

**【Keywords】** wall jet; air supply angle; air flow organization; numerical simulation

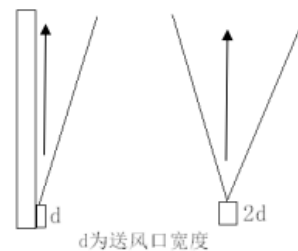
作者简介: 黄龙龙 (2000.03-), 男, 在读本科生, E-mail: 562830345@qq.com

通讯作者: 强天伟 (1970.04-), 男, 教授, 主要研究方向为室内热湿环境调节等, E-mail: 254599797@qq.com

收稿日期: 2021-05-12

## 0 引言

贴附射流在暖通空调工程领域中的应用日益增多<sup>[1]</sup>, 近年来, 西安建筑科技大学李安桂教授团队对此类通风方式进行了详细的研究, 贴附射流原理如图 1 所示。在参数一定的条件下, 相对于完整射流, 贴附射流可输送到壁面处的风速度更快、空气温度更低, 利于设备散热。贴附射流可以视为完整射流的一半, 可以按照出口的流速不变, 风口宽度加倍来计算<sup>[2-4]</sup>。



(a) 贴附射流 (b) 完整射流

图 1 贴壁射流和完整射流分析图

Fig.1 Analysis diagram of wall jet and complete jet

因此，针对某种高温设备进行局部通风降温，本文对设备进行贴壁送风时，气流仅对设备上表面降温，同时增加送风口，对两侧面进行送风。已知设备各个表面的散热量，根据需要到达工作地点的气流宽度公式，可以求得风口截面积，中间送风口选用条缝风口贴壁射流吹覆设备上表面，左右两边的风口选择可调节角度的百叶风口各吹向左右两个侧面；风管距离设备的水平距离设置 500mm，如图 2 所示。

本文利用 CFD (Computational Fluid Dynamics) 数值模拟方法，分析贴壁射流送风角度以及切向送风角度等因素对设备降温效果的影响。为以后更多学者对贴附射流送风研究提供参考。

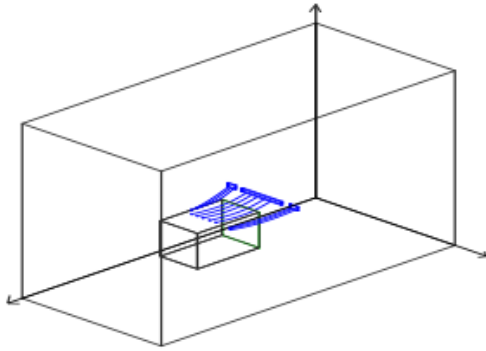


图 2 设备贴附送风示意图  
Fig.2 Schematic diagram of air supply attached to equipment

### 1 数值计算模型建立及参数设置

#### 1.1 物理模型建立

根据厂房设备的布置情况进行建模，设备尺寸如表 1 所示<sup>[5]</sup>。

对于本文来说，需要对北墙和东墙的送风口、不同运行设备表面、窗户、门处进行相应的网格加密。机房内部网格 0.1m，局部加密网格 0.05m，共计生成了 2053380 个网格，网格划分情况如图 3 所示。

表 1 房间及设备尺寸大小

Table 1 Room and equipment size

名称	尺寸
厂房/m	12*9*9
设备/mm	1900*900*1650
中间风口/mm	900*100
两侧切向风口/mm	300*100

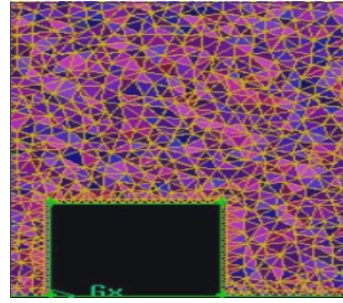


图 3 设备局部网格划分示意图

Fig.3 Schematic diagram of local meshing of equipment

#### 1.2 数学模型建立

认为机房气流流态为湍流流动。目前工程应用中的数值模拟方法主要有：直接数值模拟 (DNS)、大涡模拟 (LES) 和基于雷诺平均  $N-S$  方程组 (RANS) 的模型。笔者选用适用于模拟室内气流流动的 RANS 中的  $K-\epsilon$  模型对机房室内气流组织进行模拟，数学模型控制方程包括：连续性方程、动量方程、能量方程、湍动能方程、耗散率方程，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 边界条件定义

送风口设为速度入口边界条件，速度设为 3m/s，温度设为 26.5℃；湍流动能  $k=0.18$  和湍流耗散率  $E=0.42$ <sup>[7]</sup>；本文设备在运行时，所有门窗均开启，这里将门窗设置为自由出流边界条件；房间围护结构采用温度热边界，运行设备的外表面设置为定热流量的壁面热边界条件，不运行设备的外表面设置为固定壁边界。边界条件如表 2 所示。

表 2 边界条件

Table 2 Boundary conditions

边界	条件
北墙	壁面，温度恒定 34℃
南墙	壁面，温度恒定 33℃
西墙	壁面，温度恒定 36℃
东墙	壁面，温度恒定 37℃
屋面	壁面，温度恒定 44℃
地面	壁面，绝热面
出风口	入口速度 3m/s，入口温度 26.5℃
门窗	自由出流

1.4 求解器参数设置

FLUENT 求解器各求解参数设置如表 3 所示。

表 3 求解器参数设置表

Table 3 Solver parameter setting table

求解器	湍流模型	辐射模型	压力速度耦合方式	亚松弛因子
压力基分离式	RNG <i>k-ε</i> 模型	DO 模型	SIMPLE-C	0.3-0.6

2 贴壁射流送风角度对设备降温效果的影响

对于贴壁射流来说, 送风射流的角度会影响贴壁射流对壁面的降温效果。本文需要分别送风角度进行模拟, 贴壁射流送风角度 A 选择 0°、5°、10°

三个角度进行模拟计算。贴壁射流送风角度示意图如图 3 所示。送风速度选为 5m/s、风口距离设备的水平距离为 500mm, 只改变送风角度, 计算结果如图所示。

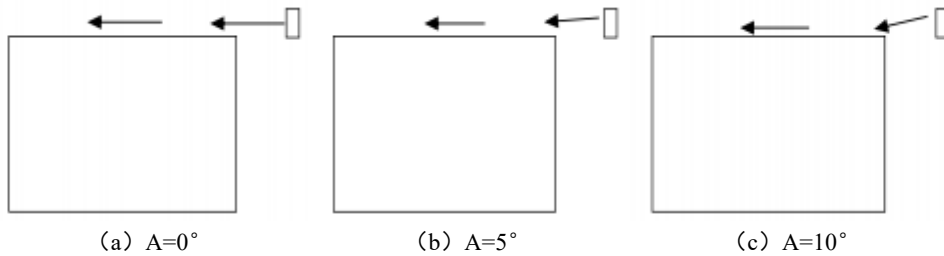


图 4 贴壁射流送风角度示意图

Fig.4 Schematic diagram of air supply angle of wall-mounted jet

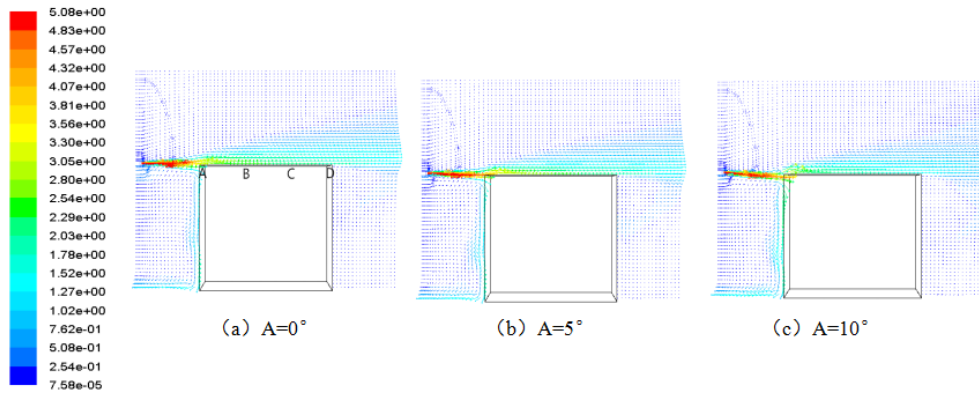


图 5 贴壁射流不同送风角度速度分布图

Fig.5 Velocity distribution diagram of wall jet at different air supply angles

在空压机的表面处取 A、B、C、D 四个点, 分别距离送风口水平距离 500mm、1000mm、1500mm、2000mm, 如图 5 (a) 所示。用 FLUENT 后处理分别提取出不同送风角度下, 各个测点空气流速, 如图 6 所示。

从图中可以看到, 随着贴壁射流送风角度的增加, 壁面处空气速度衰减的更快。送风角度为 0°

的时候, 各个测点的空气速度最大。

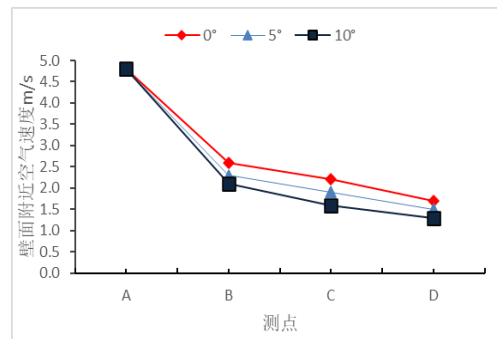


图 6 不同送风角度下的各测点空气流速

different air supply angles

Fig.6 Air velocity at each measuring point under

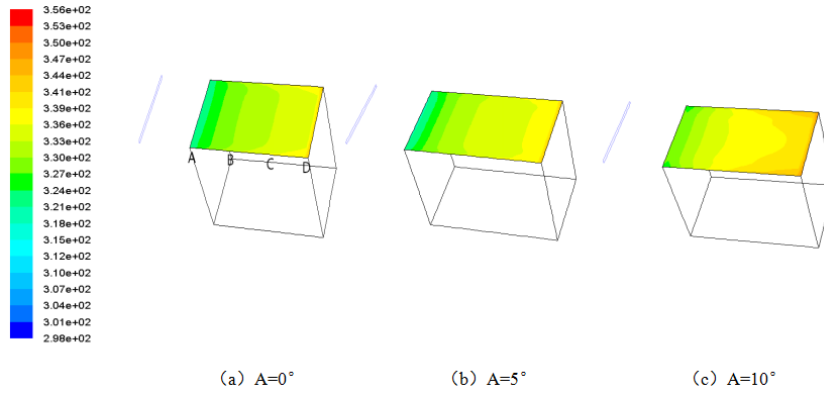


图 7 贴壁射流不同送风角度温度分布图

Fig.7 Temperature distribution diagram of wall jet at different air supply angles

用 FLUENT 后处理分别提取出不同送风角度下，各个测点温度，如图 8 所示。

因为贴壁射流角度小的时候，速度衰减慢，壁面处的空气速度较大，可以较快的带走设备散发的热量。

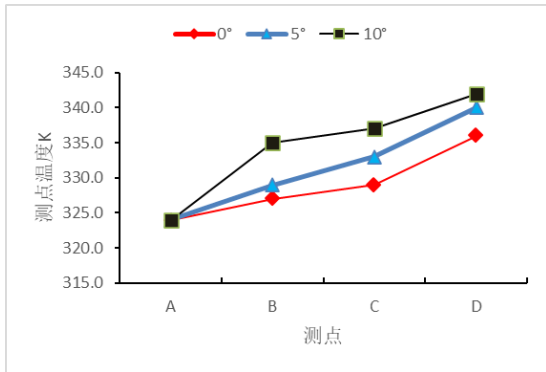


图 8 不同送风角度下的各测点温度值

Fig.8 The temperature value of each measuring point under different air supply angles

可以看到，送风角度为 0° 的时候，各个测点温度相对来说较低通风降温效果好送风角度为 10° 的时候，测点温度高，通风降温效果差。主要是

### 3 切向射流送风角度对设备降温效果的影响

切向射流角度是指设备对应的左右两侧送风口的角度，因为左右两侧呈对称，这里仅需讨论一侧的送风角度<sup>[7]</sup>。对于侧面送风口来说，有两个角度需要确定，分别是向下的吹风角度，和吹向设备侧面的切向角度。

#### 3.1 向下射流送风角度

分别选取切向角度 B 为 5°、15°、30° 三个角度，进行模拟计算，送风角度示意图如 9 所示。送风速度选为 5m/s、风口距离设备的水平距离为 500mm，左侧送风口距离贴壁送风口距离 0.1m，改变送风角度，计算结果如图所示。

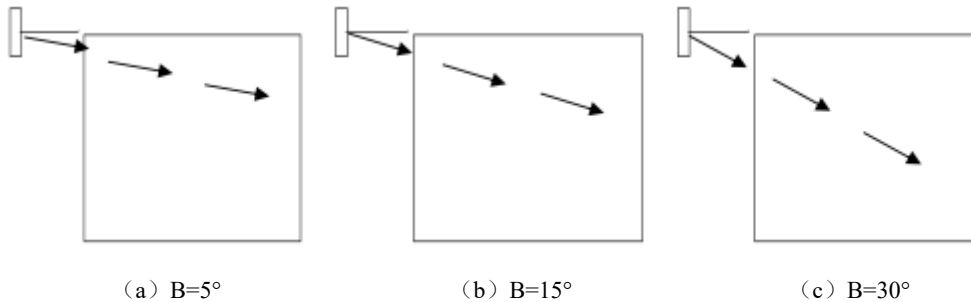


图 9 向下射流送风角度示意图

Fig.9 Schematic diagram of downward jet air supply angle

根据图 10 可以看出，随着向下射流送风角度的不断增加，送风射流辐射空压机侧面的区域越大，

但是角度增大到 30° 的时候，送风气流会与地面发生碰撞，改变气流的流动方向，在室内形成涡流，

无法从室内的窗户、门排出。图 11 表明, 随着向下送风角度的增加, 送风射流末端覆盖的区域发生了变化, 在一定角度范围内, 送风角度增加, 气流

辐射区域越广。但是角度过大, 气流会与地面发生碰撞, 方向偏移, 综上两侧送风口向下的送风角度选择 15° 为宜。

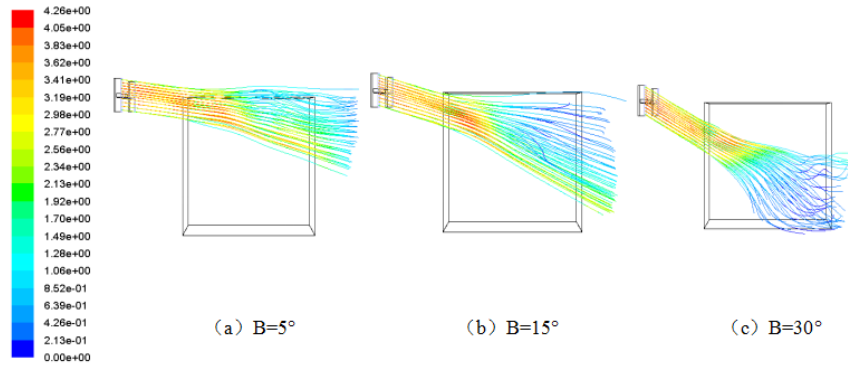


图 10 向下射流不同送风角度速度矢量图

Fig.10 Vector diagram of downward jet velocity at different air supply angles

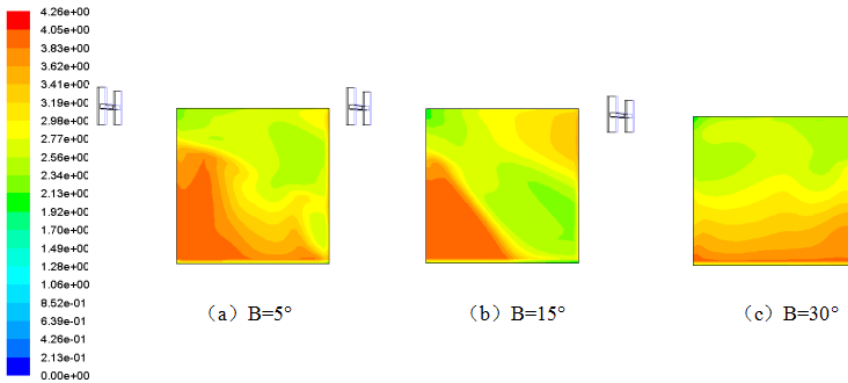


图 11 向下射流不同送风角度温度分布图

Fig.11 Temperature distribution diagram of downward jet at different air supply angles

### 3.2 切向射流送风角度

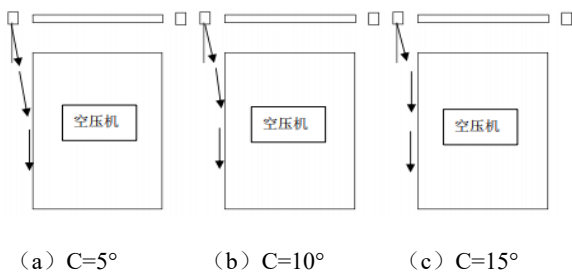


图 12 切向射流送风角度示意图

Fig.12 Schematic diagram of the air supply angle of the tangential jet

送风口间距不是气流组织的主要影响因素<sup>[8]</sup>。只要在能够满足夏季空压机房基本热环境的范围内即可。要求不高的精度下, 送风口间距范围也比较大。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, 这里选取了三个风口间距 0.1m、0.2m、0.3m 进行模拟, 发现改变送风口间距对于空压机表面周围的温度影响不大, 所以这里选用空压机左右两侧送风口距离中间送风口的间距为 0.1m 作为计算标准。分别选取切向角度 C 为 5°、10°、15° 三个角度, 进行模拟计算, 送风角度示意图如图 12 所示。送风速度、风口距离保持不变, 改变送风角度。计算结果如图所示。

从图 13 中可以看到, 随着切向送风角度的不断增加, 两侧送风口到达设备侧表面的位置越提前 (见图 13 A 点), 直到切向角度为 15° 的时候, 送风射流刚好到达空压机两个侧面交接处, 此时部分气流盘旋在空压机侧表面 (见图 13 (c)), 这部分的气流无法排出室外。随着角度的增加, 送风射



流末端覆盖的区域发生了变化(见图13),角度较小时,送风气流到达侧表面较晚,角度过大的

时候,送风气流会吹向设备的另一个面。综上所述,两侧的切向送风角度选择 $10^\circ$ 为宜。

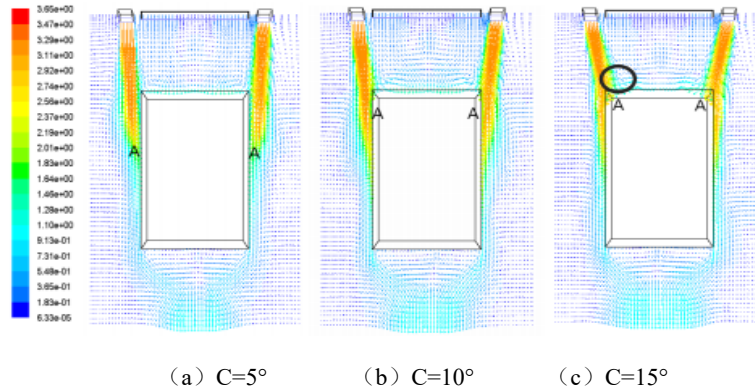


图13 切向射流不同送风角度速度矢量图

Fig.13 Vector diagrams of tangential jet velocity at different air supply angles

#### 4 总结

采用贴附送风的通风方式,把气流直接送到各个设备表面,进行通风降温。分析不同的贴壁射流送风角度以及切向送风角度对设备降温效果的影响。结果表明:

(1) 随着贴壁射流送风角度的增加,壁面处空气速度衰减的更快。送风角度为 $0^\circ$ 的时候,各个测点的空气速度最大。

(2) 随着向下射流送风角度的不断增加,送风射流辐射空压机侧面的区域越大;随着向下送风角度的增加,在一定角度范围内,送风角度增加,气流辐射区域越广。但角度过大,气流会与地面发生碰撞,方向偏移,两侧送风口向下的送风角度选择 $15^\circ$ 为宜。

(3) 随着切向送风角度的不断增加,两侧送风口到达设备侧表面的位置越提前;角度较小时,送风气流到达侧表面较晚,角度过大送风气流则会吹向设备的另一个面。综上所述,两侧的切向送风角度选择 $10^\circ$ 为宜。

#### 参考文献:

[1] 蔡芬.气流组织对室内空气品质影响的数值模拟[D].武汉:华中科技大学,2005.  
 [2] 赵彬,李先庭,彦启森.暖通空调气流组织数值模拟的特殊性[J].暖通空调,2004,(11):122-127.  
 [3] 胡定科,荣先成,罗勇.大空间建筑室内气流组织数值模拟与舒适性分析[J].暖通空调,2006,(5):12-16.

[4] Wang H Q, Huang C H, Sun H B, et al. Fume transports in a high rise industrial welding hall with displacement ventilation system and individual units[J]. Building and Environment, 2012,52(2):119-128.  
 [5] 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.  
 [6] 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.  
 [7] 许居鹤.机械工业采暖通风与空调设计手册(第1版)[M].上海:同济大学出版社,2007:274-278.  
 [8] 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.  
 [9] Corey D Brown. Energy saving by hot cooling in the iron and steel industry[J]. The Association Energy Engineering, 1998,96(4):40-58.  
 [10] W K Chou, L Yi, C L Shi, et al. Mass flow rates across layer interface in a two-layer zone model in an atrium with mechanical exhaust system[J]. Building and Environment, 2006:1198-1202.  
 [11] LAUNDER B E, SPALDING D B.The Numerical computation of turbulent flows[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1974,3:269-289.  
 [12] 邵天,杜亚威,刘燕,等.蒸汽喷射器的三维数值模拟研究[J].真空科学与技术学报,2014,34(3):305-311.  
 [13] 谢江维,杜亚威,刘燕,等.可调式蒸汽喷射器的三维数值模拟及分析[J].真空科学与技术学报,2015,35(7):884-891.

- 
- [14] 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.