

文章编号: 1671-6612 (2025) 02-205-08

贴附射流对地下车库壁面防结露分析

王 哲¹ 王晓明² 赵 力¹ 杨晶鑫¹ 鲍玲玲¹

(1. 河北工程大学能源与环境工程学院 邯郸 056038;

2. 邯郸市荣科房地产开发集团有限公司 邯郸 056038)

【摘 要】 阴雨天及高温高湿季节, 地下车库温度仍为较低状态, 常出现结露现象。针对车库结露现象, 以邯郸某车库为例, 对实际监测数据进行分析, 使用仿真软件对贴壁射流加热车库壁面温度效果进行模拟, 对比不同贴壁送风工况下车库壁面的温度变化, 得出避免车库壁面出现结露的较优送风工况, 为车库结露问题的防治提供参考。模拟结果表明: 选用 2.0m×0.3m 条缝型风口尺寸贴附效果较好, 对比于送风速度 4m/s, 当送风温度为 6m/s 时, 墙面最低温度为 23.5℃, 高于最不利露点温度 2℃, 达到防结露目的。末端采用多风道送风, 当两侧风道送风偏移角度由 0°增大到 60°时, 送风轴心的壁面温度下降 0.2~0.3℃, 温度降低较小, 而风口交界处壁面温度上升 1~3℃, 使交界处壁温在 25~28℃变化, 对于壁面风口轴心温度过剩而交界处温度不足具有较好改善作用。

【关键词】 地下车库; 结露; 贴附送风; 温度; 风速

中图分类号 TU111.4+3 文献标志码 A

Analysis of Anti-Condensation of Underground Garage Wall with Attached Jet

Wang Zhe¹ Wang Xiaoming² Zhao Li¹ Yang Jingxin¹ Bao Lingling¹

(1. School of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, 056038;

2. Handan Rongke Real Estate Development Group Co., Ltd, Handan, 056038)

【Abstract】 In rainy days and high temperature and humidity seasons, the temperature of the underground garage is still low, and dew often occurs. Targeting the garage condensation phenomenon. Taking a garage in Handan as an example, through analyzing the actual monitoring data, simulation software was used to simulate and analyze the temperature effect of the wall surface heated by the wall-attached jet, and the temperature changes of the garage wall under different wall-attached air supply conditions were compared, and the optimal air supply conditions were obtained to avoid dew formation on the garage wall, providing reference for the prevention and control of the garage dew formation problem. The simulation results show that the size of 2.0×0.3m² slot tuyere has good effect. Compared with the air supply speed of 4m/s, when the air supply temperature is 6m/s, the lowest temperature of the wall is 23.5℃, which is 2℃ higher than the most unfavorable dew point temperature to prevent dew formation. When the air supply Angle increases from 0° to 60°, the temperature of the air supply axis decreases by 0.2~0.3℃, and the temperature of the wall surface at the junction of the tuyere increases by 1~3℃, so that the wall temperature at the junction changes between 25~28℃, which has a better effect on the excess temperature of the shaft center of the wall tuyere and the insufficient temperature at the junction.

【Keywords】 Underground garage; Condensation; Attached to the air; Temperature; Wind speed

基金项目: 中深层热储温度衰减机制及可再生能源耦合系统研究 (E2023402072)

作者简介: 王 哲 (2000-), 男, 硕士研究生, 研究方向为通风换热, E-mail: wzzbxjq@163.com

通讯作者: 鲍玲玲 (1982-), 女, 博士, 教授, 研究方向为中深层地热资源利用, E-mail: lingling5934@163.com

收稿日期: 2024-08-13

0 引言

华北地区由 4 月份至 8 月份, 外界升温较快, 降雨频率也逐渐增, 外界空气常处于高温高湿状态, 地下车库仍处于温度较低状态, 结露现象频见^[1]。车库壁面的结露导致墙皮脱落、发生霉变、地面打滑等^[2]。对于有人流量的地下空间场所, 其热湿环境有一定要求^[3]。对于车库壁面结露问题应有足够重视^[4,5], 为解决地下车库结露问题, 改善车库热湿环境, 延长车库围护结构使用寿命, 本文对除湿结露理论进行了总结并对防结露措施进行了模拟研究。

对于贴附射流方面的研究。赵金辉^[6]以游泳馆为模拟对象, 模拟普通的侧送上回的送风方式和贴附射流送风方式围护结构结露现象发生的可能性, 比较了两种送风方式的优劣。邱少辉^[7]提出了条缝型送风口形成的竖壁贴附射流, 并研究了射流速度对流场的影响并对风口贴附距离进行了讨论。王瑞乐^[8]通过全尺寸可视化实验和数值模拟相结合的方式, 研究了不同送风速度、温度和风口位置时房间内的流场和温度场分布, 并给出了贴附过程中射流轴线速度衰减的表达式。杨静^[9]研究了贴壁射流不同曲率下工作区的水平轴线速度, 评价了不同工况下气流组织效果及热舒适性评价参数。Minzhi Ye^[10]等人利用贴壁送风方式的综合制冷系统进行对热舒适条件的研究。Ji Wenhui^[11]等人提出壁挂式通风系统, 在内壁表面上产生向下的气流, 从而在房间内实现增强的热传递, 提高夜间降温的通风效率。

针对气流组织方面预防结露方面的研究。魏文

宇^[12]针对游泳馆的两种气流组织进行比较, 发现笼罩式气流组织优于分层式, 能够减少结露风险。赵恒^[13]研究发现采用个性化送风和地板送风能够有效去除室内的余湿。吴国光^[14]模拟了地下建筑不同气流组织形式下的速度、温湿度场, 考虑了送风参数、送风口高度、送风口形状对气流组织的影响。廖鸿利^[15]等人研究了地板送风模式下的结露研究。王威^[16]等人建立了含有湿源的影响壁面结露的三维非稳态数学模型, 模拟了通风强度对结露形成的影响。

参考以上各学者的研究, 本文使用模拟研究了不同贴壁送风工况下对车库易结露壁面的温度变化情况, 得出有效防治结露的送风工况, 为车库内除湿防结露提供参考, 更好的指导实际工程应用。

1 车库结露实测分析

1.1 车库概况

对邯郸市某小区地下车库进行实测, 该车库共两层, 长 83.9m, 宽 56.3m, 高 4.5m, 排风口尺寸为 0.6m×0.8m, 所测分区共有 13 个排风口, 该车库于 2023 年完工, 尚未完全投入使用, 车库用户较少。地上部分既有办公层也有住宅层。

车库整体结露状况如图 1 所示:

(1) 地下一层结露现象较为严重。

(2) 地下一层区域通风口处的壁面和地面结露严重, 若无人工及时清扫除湿, 结露严重易造成积水, 墙皮存在脱落现象。

(3) 阴雨天气易发生结露, 室外空气湿度较大, 结露问题严重。



图 1 车库实拍

Fig.1 Garage shooting

1.2 测量方案

采用现场测量的方法进行调查, 对结露表面、发霉墙面和车库内空气进行温湿度的记录。所用仪器种类及型号如表 1 所示。

于 2024 年 4 月 24 日至 5 月 24 日进行为期一月的测量, 测量地点为车库负一层, 使用温度自计仪和温湿度自计仪四个测点进行了测量, 如图 2 所示。

表1 测量仪器

Table 1 Measurement instruments

名称	品牌	测量范围	精度
WSZY-1 型温湿度自记仪	北京天建华仪	-40~100℃, 0~100%	±0.3℃, ±0.3%
WZY-1 型温度自记仪	北京天建华仪	-50~100℃	±0.3℃

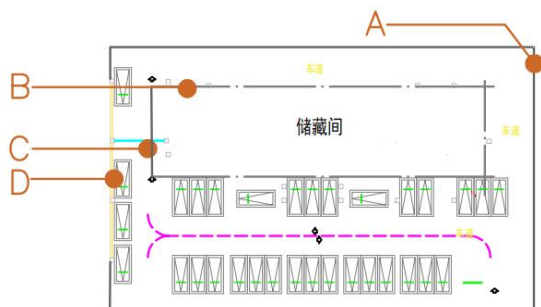


图2 车库测点示意图

Fig.2 Schematic diagram of garage measurement points

测点位置已用圆点标注出, 测点 A 放置在车库内侧墙壁, C、D 测点位于车库外侧墙壁, 具体位置与对应测量仪器由表 2 表示出。

表2 测点布置点位

Table 2 Layout of measurement points

测点	位置	测量仪器
A	入口处壁面	温度自计仪
B	车位 A039 处内墙面	温湿度自计仪
C	卷帘门 2.2m	温度自计仪
D	车位 B001 外墙面	温度自计仪

1.3 测量结果

图 3 为温湿度自计仪所测车库内空气温湿度数据。由图可知, 该地下车库此月空气温度由 15℃ 逐步上升到 20℃ 附近, 上升趋势平缓, 车库内湿度波动较大, 最低湿度可达到 30%, 而最高湿度可达到 90%, 露点温度与相对湿度波动趋势一致, 最高可达 19℃。

图 4 为温度自计仪数据, 由图可知, 此月, 该地下车库此月壁面温度都呈上升趋势, 其中外壁面温度最低为 12℃, 最高为 21.8℃, 平均温度为 14.5℃; 内壁面温度最低为 15.4℃, 最高为 21.4℃, 平均温度为 17.53℃; 入口壁面温度最低为 14.1℃, 最高为 22.9℃, 平均温度为 18.3℃。入口处壁面温度平均高于内壁面温度 1℃, 内壁面温度平均高于外壁面 3℃, 可知结露状况最易发生于外壁面。相

对湿度较高的情况发生在阴雨天气, 露点温度随之提高, 此时外壁面温度低于车库内空气露点温度, 产生结露现象。

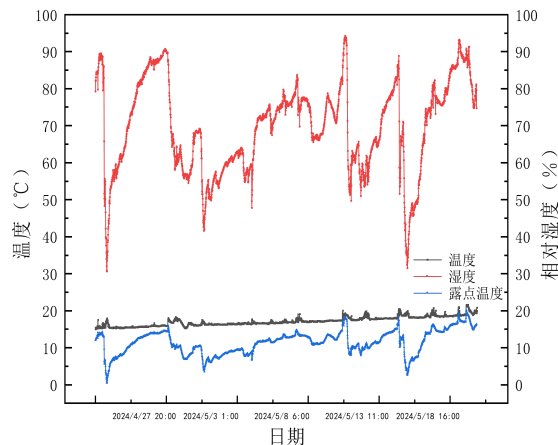


图3 测点 C 数据图

Fig.3 Data at measuring point C

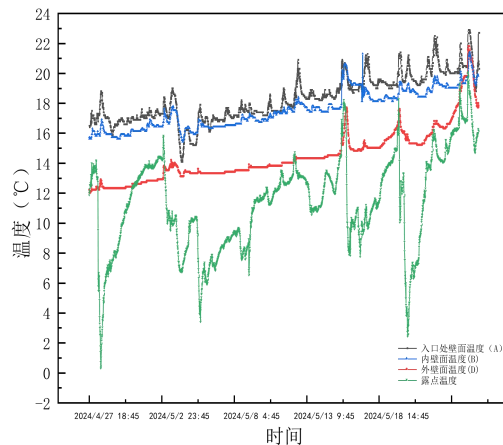


图4 测点 A、B、D 数据图

Fig.4 Data of measurement points A, B, and D

2 贴附射流防结露模拟研究

升温通风除湿具有方便高效的特点, 贴附墙壁输送热风被很多工业环境采用。通过在壁面附近设置风口, 送出热风依靠贴附效应, 加热壁面并将室内空气与墙面分隔开, 提升壁面温度至高于露点温度, 从而防治结露现象产生。针对最不利结露状况, 对车库进行贴附射流模拟分析。

2.1 数学模型

在模拟过程中, 数值的离散方法选择有限元体积法, 求解方法选择 simple 算法, 湍流模型选择 Realizable k-ε 湍流模型。控制方程^[20]如式 (1)~(6) 所示。

(1) 连续性方程:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

式中: u 、 v 、 w 分别代表 x 、 y 、 z 方向上的速度分量, m/s 。

(2) 能量方程:

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_i} (k_{\text{eff}} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i}) + S_k \quad (2)$$

式中: S_k 包括了内热源; k_{eff} 为流体的传热系数; T 为温度。

(3) 动量方程:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_j} [u_{\text{eff}} (\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i})] + g \beta \Delta p \quad (3)$$

式中: p 为静压; ρ 为流体密度; g 为体积力; β 为修正系数。

(4) k 湍流粘度方程:

$$\mu_t = \rho c_\mu \frac{K^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

式中: μ_t 为粘度; ρ 为流体密度; c_μ 为常数项; K 为紊流脉动动能; ε 代表耗散率。

(5) 湍流动能运输方程:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{u_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \mu_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho \varepsilon \quad (5)$$

式中: k 为湍流动能, ρ 为流体密度, σ 为普朗特数, ε 代表耗散率。

(6) ε 湍流动能运输方程:

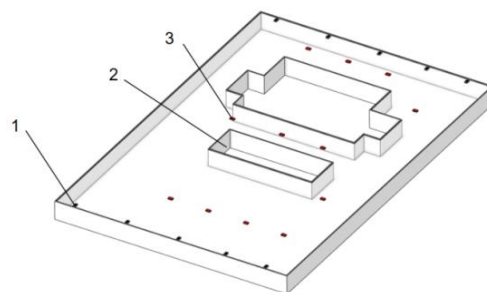
$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{u_i}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon C_1}{k} \cdot \mu_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

式中: ρ 为流体密度; ε 代表耗散率; μ 为应力张量; k 为湍流动能; σ 为普朗特数。

2.2 物理模型

邯郸某小区车库位于居民建筑地下一层, 为不规则形状, 根据不同居民楼划分不同分区, 自然通风口随分区设置, 用 Fluent 前处理软件建立车库地下一层三维模型, 实物的图形规则比较复杂, 建立模型、划分网格和数值模拟计算工作量巨大, 在不

影响结果的情况下, 对其进行适当简化。车库长 83.9m, 宽 56.3m, 高 4.5m, 排风口为 0.6m×0.8m, 该分区共有 13 个排风口, 位于顶墙位置。车库进出口为唯一进风口, 已在图 5 标识出。



1-贴壁送风口; 2-车库进出口; 3-出风口

图 5 物理模型图

Fig.5 Model diagram without air curtain

边界条件设置:

(1) 车库入口边界条件设置: 采用不可压流动的速度入口边界条件, 对本月外界条件进行模拟, 设置入口风速为 2.1m/s, 温度为 28℃, 相对湿度为 70%。

(2) 车库出口边界条件设置: 采用自由出流边界条件。

(3) 壁面边界条件设置: 壁面为无滑移壁面, 为均匀壁温且温度不随时间变化, 由实测数据, 针对最易结露情况, 壁面温度设为 19℃。

(4) 贴壁送风口送风温度设置为 32℃。

(5) 初始化设置: 车库内空气温度为 20℃。

2.3 网格划分及无关性验证

由于车库模型较大, 选用 fluent meshing 进行网格划分, 针对温度及风速变化较大区域如送风口、排风口以及汽车出入口部分进行加密处理。网格数量太密, 对计算机要求较高, 花费时间太多, 而且当达到一定网格数量达到一定后, 计算精度并不会在增加。网格数量太少, 达不到计算要求。考虑到计算成本和计算速度等问题, 网格尺寸控制在 0.2-0.4m 之间。

为了得到较为准确的计算结果, 分析了划分网格数量对于计算结果的影响。对车库进行不同网格数量的划分, 选择网格数量为 20 万、30 万、40 万、50 万、60 万。室内平均温度随着网格数量的增加由 21.3℃增大到 23.2℃, 继续增加网格数量平均温度不再产生变化, 网格数量对于模拟精度已无较大影响。此时模拟结果与实际车库内温度相差不大,

认为模拟结果可信。

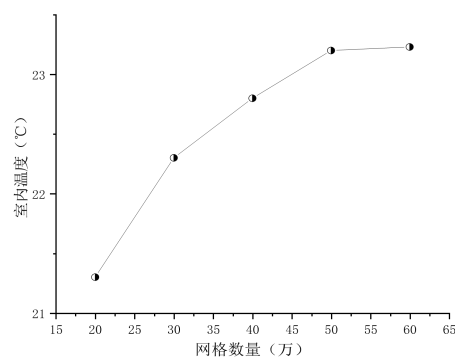


图 6 网格无关性验证

Fig.6 Grid-independence verification

2.4 收敛性判断

各方程收敛标准如表 3 表示。

表 3 各方程收敛残差标准

Table 3 Convergence residual standards for each

equation				
连续性方程	X 动量方程	Y 动量方程	Z 动量方程	能量方程
1e-3	1e-3	1e-3	1e-3	1e-6

迭代步数选择 1000 步, 在 450 步各方程达到收敛标准。

2.5 不同尺寸风口贴附效果模拟

沿着最易结露的墙壁两侧在车库顶部设置贴

附射流风口各五个, 风口使用相同面积的两种尺寸, 距离车库外壁面 30cm。观察 $Z=0\text{m}$ 处墙面温度变化。不同贴附工况如表 4 所示。

表 4 贴附送风工况

Table 4 Attached air supply conditions

工况	贴附风口尺寸 (长×宽 m^2)	送风速度/(m/s)	送风温度/($^{\circ}\text{C}$)
一	1.0×0.6	4	32
二	1.0×0.6	6	32
三	2.0×0.3	4	32
四	2.0×0.3	6	32

由图 7 可知, 对比工况一二, 在送风速度改变的情况下, 工况一有较大面积的墙面死角温度低, 当增大送风速度时, 温度较低区域得到有效改善, 但仍存在部分温度较低区域。

对比工况一三, 在不改变送风温度, 不改变风口面积的情况下, 工况三墙面温度提升较为均匀, 但死角位置仍不能有效换热。

针对一二三工况的优缺点, 采用工况三的风口尺寸并增大送风速度, 得看出工况四墙面温度有较大提升, 死角位置的温度提升效果较大, 风正下方贴附效果有巨大改善, 相较于其他三种工况, 防结露效果较好。

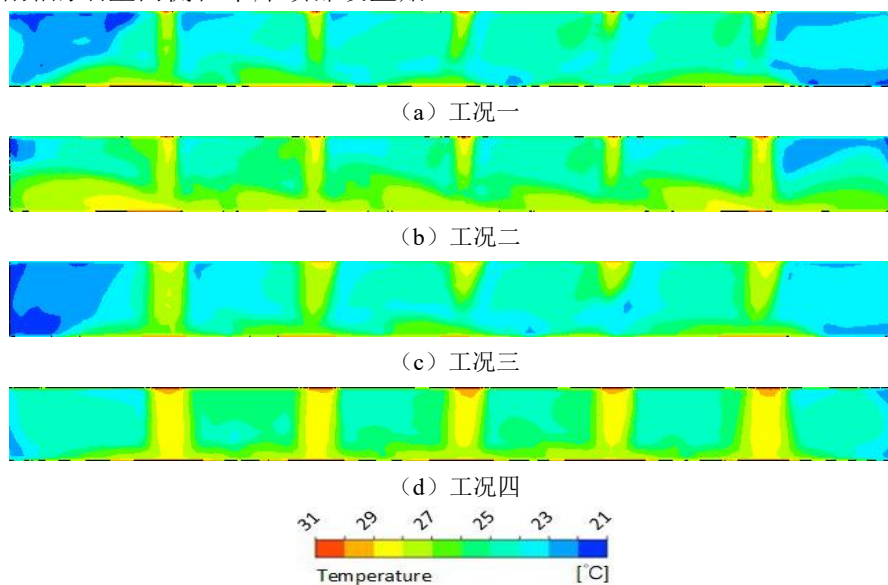


图 7 $Z=0\text{m}$ 处壁面温度云图

Fig.7 Cloud picture of wall temperature at $Z=0\text{m}$

为具体观察温度提升效果, 在墙面 $Z=0\text{m}$ 处高度 $Y=2\text{m}$ 处设置 50 个测点, 从壁面位置, 提取坐

标点温度数据, 绘制成瀑布图, 如图 8 所示。

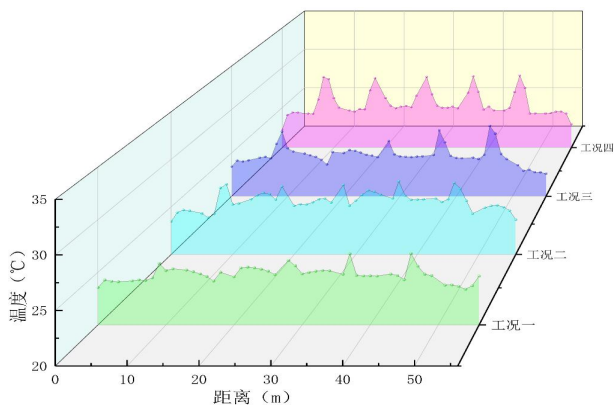


图 8 Z=0m 壁面温度变化图

Fig.8 Wall temperature variation diagram of Z=0m

由图 8 及提取数据可知,工况一在送风速度为 4m/s 情况下,壁面温度在 22℃-25℃变化,而在最不利天气状况下,车库内最高露点温度可到达 22℃左右,仍存在较大结露可能;工况二提高送风速度至 6m/s 时,近风口壁面温度提高 1℃左右,但死角位置提升效果不大,且继续加大送风速度经济成本将会提高;工况三改变送风尺寸后,相比较与工况一,送风轴心温度提升效果不大,而由于风速达不到且与车库内空气换热面积增大,易被其他气流组织影响,气流逸散较多,相邻风口交界处温度降低 0.5℃。工况四相邻风口交接处温度与风口轴向的墙面温度都有较大提升,相对比工况三提升 1℃,

整体墙面温度在 23.5℃-28℃变化,无结露现象产生。

2.6 风口末端多风道送风角度优化

针对于均匀加热壁面的气流组织优化,使其更快更有效地提升壁面温度防止结露,现对末端风口划分成多个送风风道,对风道角度进行不同设计,观察对壁面温度的影响及其气流组织分布,示意图如图 9 所示,角度工况如表 5 所示。

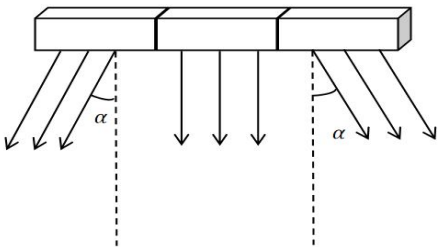


图 9 多风道送风示意图

Fig.9 Multi-channel air supply diagram

表 5 不同角度送风工况

Table 5 Table of air supply conditions at different angles			
工况	贴附风口尺寸/(长×宽 m ²)	送风速度/(m/s)	$\alpha/^{\circ}$
一	2.0×0.3	6	0
二	2.0×0.3	6	20
三	2.0×0.3	6	40
四	2.0×0.3	6	60

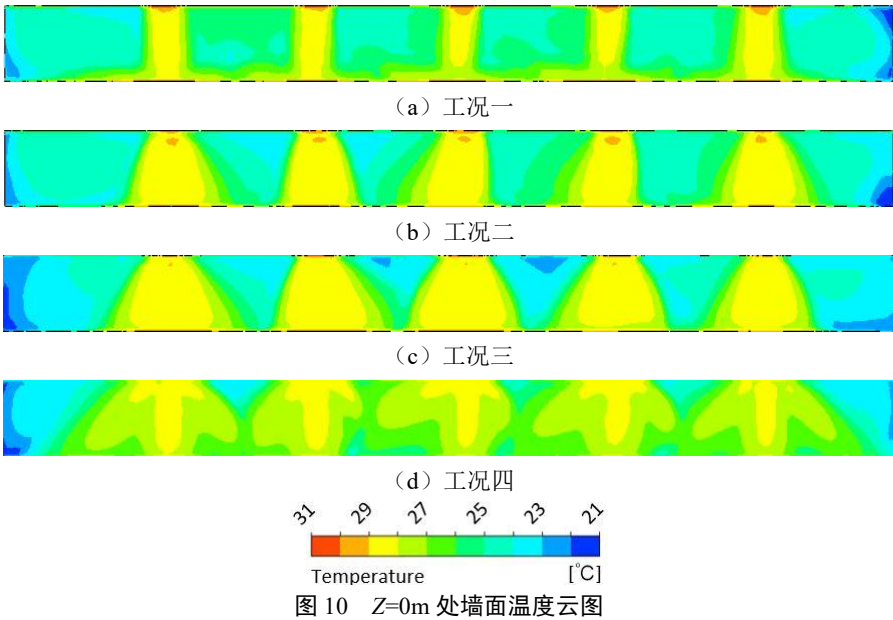


图 10 Z=0m 处墙面温度云图

Fig.10 Cloud diagram of wall temperature at Z=0m

由图 10 墙面温度云图可得,随着送风偏移角度的增大,风口位置温度积聚得到有效缓解,本不

易受到影响的风口交界处随着送风角度的增加,温度分布呈上升状态,当偏角增大到 40°时,相邻风

口送出的热风在墙壁底部开始交织作用, 角度继续增大到 60° 时, 壁面温度分布更加均匀, 相邻风口交接处受到直接影响, 呈现出均匀温度提升效果。

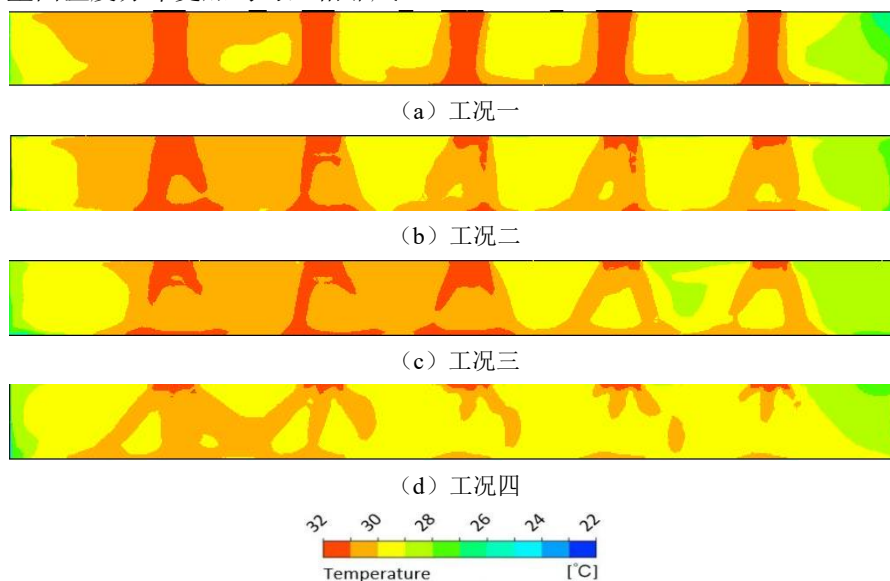


图 11 $Z=0.2\text{m}$ 处空气温度云图

Fig.11 Cloud picture of air temperature at $Z=0.2\text{m}$

由图 11 近壁面处空气温度云图可知, 随着送风偏移角度增大, 近壁面处热空气更加分散, 距车库出入口较远处, 由于外界气流的扰动, 送风角度

增大导致的射流射程变短, 风口热风逸散更快, 距出入口较远处热风易产生积聚, 这是由于距死角近空气不易流通导致。

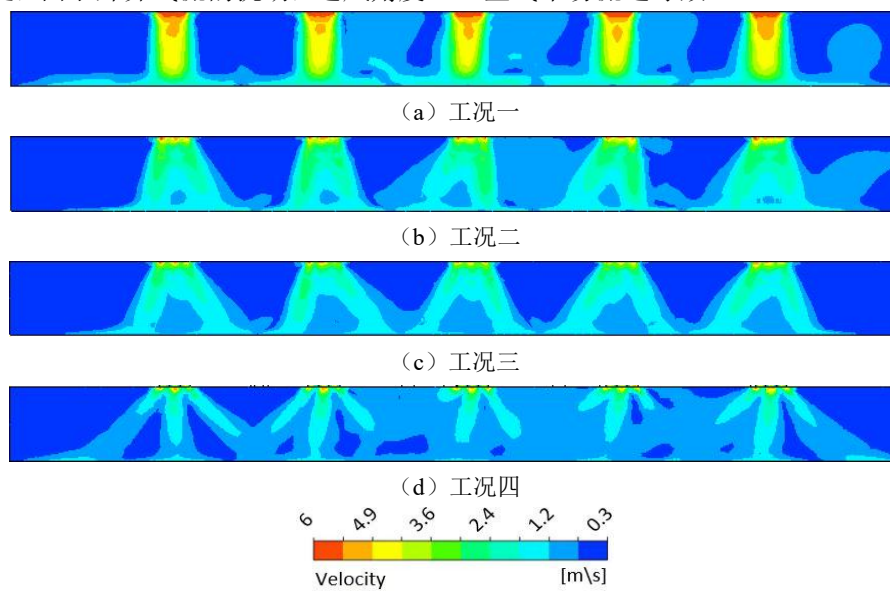


图 12 $Z=0.2\text{m}$ 处空气速度云图

Fig.12 Air velocity cloud picture at $Z=0.2\text{m}$

由图 12 近壁面处空气速度云图可知, 随着送风偏移角度增大, 各风道送出热风会更早互相作用, 风口轴心速度也更容易受到影响, 逐渐降低。当送风偏移角度增大到 60° 时, 除死角易产生气流相互作用流速较低, 其他位置风速处于均匀流动状

态。

观察温度及风速变化情况, 在墙面 $Z=0\text{m}$ 处高度 $Y=2\text{m}$ 处设置 50 个测点, 从壁面位置, 提取坐标点温度及风速数据, 绘制成瀑布图, 如图 13、14 所示。

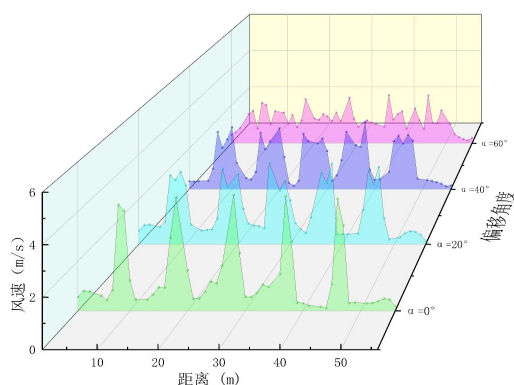


图 13 Z=0.2m 空气速度变化图

Fig.13 Variation of air velocity with Z=0.2m

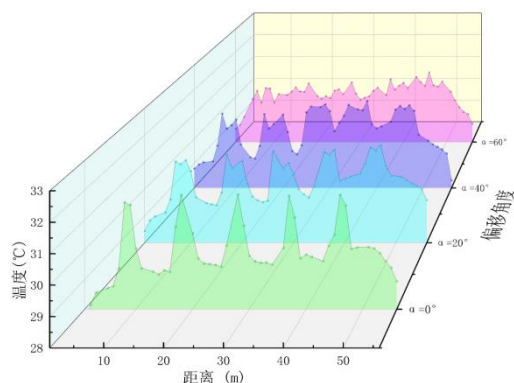


图 14 Z=0.2m 空气温度变化图

Fig.14 Variation of air temperature with Z=0.2m

由图 13 空气速度数据可知, 当送风偏移角由 0° 增大到 20° 时, 送风轴心速度降低 $1\text{--}1.2\text{m/s}$, 与风口相邻区域风速提高 $0.3\text{--}1\text{m/s}$, 风口交界处风速无明显变化; 当送风偏移角度由 20° 增大到 40° 时, 送风轴心速度降低 $0.2\text{--}0.5\text{m/s}$, 这是由于两侧风道对中间风道作用变小, 中间风道送风有较大逸散空间, 因此下降幅度变低, 而对相邻区域作用范围变大, 相邻区域风速提高 $0.4\text{--}1\text{m/s}$, 风口交界处风速降低 $0.2\text{--}0.5\text{m/s}$, 这是由于交界处为相邻风口的作用临界区域, 相反的作用方向使得流速降低; 送风偏移角度由 40° 增大到 60° 时, 送风轴心速度无明显降低, 而由于风口交界区域可以有效被两侧所送出的气流作用到, 风速提升 $0.3\text{--}1\text{m/s}$ 。

由图 14 的空气温度数据可知, 当送风偏移角由 0° 增大到 20° 时, 送风轴心温度下降 $0.5\text{--}1^\circ\text{C}$, 与风口相邻区域温度提高 $0.5\text{--}0.8^\circ\text{C}$, 风口交界处温度在距离进出口较近处无明显变化, 而距离死角较近处, 热风易产生积聚, 温度升高 $0.2\text{--}0.7^\circ\text{C}$;

当送风偏移角由 20° 增大到 40° 时, 送风轴心温度在距死角较近处无明显变化, 距进出口较近处, 温度下降 $0.2\text{--}0.4^\circ\text{C}$, 风口交界处温度无较大变化; 当送风偏移角由 40° 增大到 60° 时, 送风轴心温度下降 $0.2\text{--}0.5^\circ\text{C}$; 风口交界处温度上升 $0.3\text{--}0.5^\circ\text{C}$ 。

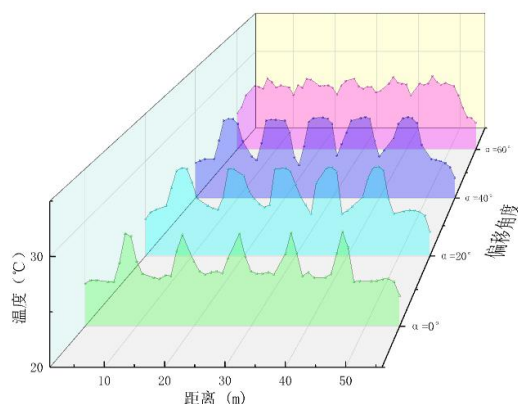


图 15 Z=0.2m 壁面温度变化图

Fig.15 Wall temperature variation of Z=0.2m

由图 15 壁面温度数据可知, 随着送风偏移角度有 0° 增大到 60° , 送风轴心温度下降 $0.2\text{--}0.3^\circ\text{C}$, 相比较于空气温度, 其温度降低较小, 而风口交界处壁面温度上升 $1\text{--}3^\circ\text{C}$, 使交界处壁温在 $25\text{--}28^\circ\text{C}$ 变化。对于轴心温度过剩而交界处温度不足具有较好改善作用。

3 结论

(1) 实测结果显示, 在自然通风情况下, 外界为晴朗天气时车库内露点温度低于车库内壁面与地面温度, 无结露可能, 而阴雨天气外界空气湿度提高, 致使车库内露点温度提高, 车库内出现结露现象; 而随着夏季的到来, 气温不断升高, 外界湿度升高, 最不利气候的到来, 车库内结露现象频率提高。

(2) 在风口面积不变, 送风口尺寸 $2.0\text{m}\times 0.3\text{m}$ 相较于 $1.0\text{m}\times 0.6\text{m}$, 贴附效果较好, 且送风速度由 4m/s 增大到 6m/s 时, 相邻风口交接处温度与风口轴向的墙面温度都有较大提升, 提升 $1\text{--}2^\circ\text{C}$, 整体墙面温度在 $23.5^\circ\text{C}\text{--}28^\circ\text{C}$ 变化。无结露现象产生。

(3) 采用多风道变角度贴壁送风随着送风偏移角度有 0° 增大到 60° , 送风轴心温度下降 $0.2\text{--}0.3^\circ\text{C}$, 温降较小风口交界处壁面温度上升 $1\text{--}3^\circ\text{C}$, 交界处壁温在 $25\text{--}28^\circ\text{C}$ 变化。壁面整体温度均匀提升, 减少了温度较低的死角区域, 针对大面积防止结露工况有较好参考意义。 (下转第 260 页)