

不同环境风速下建筑外空调室外机热环境分析

张卓 丁昊 尹仁杰 冯相友 陶文铨

(西安交通大学热流科学与工程教育部重点实验室, 能源与动力工程学院, 西安 710049)

摘要 布置在建筑物凹槽内的室外机, 在环境风速作用下, 其运行环境会发生变化。有时恶劣的热环境甚至会造成室外机无法正常工作。本文对不同环境风速下的高层建筑凹槽内空调室外机热环境开展研究, 确定了侧面、正面风向, 室外机正常工作所能承受的临界风速。分析了不同风向条件下, 凹槽内气流速度场、温度场, 并给出温度沿高度方向的变化规律。研究发现, 侧面风带走冷气流和楼层间热气流短路, 都会造成上层进风温度升高; 侧面吹风时, 凹槽内上下游列室外机不同的热环境, 是由凹槽内特殊旋涡流动导致的。对于正面吹风情形, 临界风速应小于 0.5 m/s。本研究探明了不同环境风速下高层建筑室外机热环境变化规律, 可为考虑风速条件下室外机的选用安装提供参考。

关键词 环境风; 室外机热环境; 进风温度; 进风流量; 高层建筑

中图分类号: TK124 文献标识码: A 文章编号: 0253-231X(2023)02-0436-08

Thermal Environment Analysis of Outdoor Units of Air Conditioners Under Different Ambient Wind Speeds

ZHANG Zhuo DING Hao YIN Renjie FENG Xiangyou TAO Wenquan

(Key Laboratory of Thermo-Fluid Science and Engineering of MOE, School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract The operating environment of outdoor units arranged in the grooves of buildings will change under the influence of ambient wind speed. Sometimes the bad thermal environment may even cause the outdoor unit to fail to work normally. In this paper, the thermal environment of the outdoor unit of the air conditioner in the groove of the high-rise building under different ambient wind speeds is studied, and the critical wind speed that the outdoor unit can withstand under the side and front wind directions is determined. The velocity field and temperature field of air flow in the groove under different wind directions are analyzed, and the variation law of temperature along the height direction is given. It is found that the side wind takes away the cold air flow and the short circuit of the hot air flow between floors will cause the air inlet temperature of upper floor to rise; Under side wind condition, the different thermal environments of the upstream and downstream outdoor units in the groove are caused by the special vortex flow in the groove. For frontal blowing, the critical wind speed shall be less than 0.5 m/s. This study has revealed the characteristics of thermal environment change of outdoor units in high-rise buildings under different ambient wind speeds, which can provide a reference for the selection and installation of outdoor units under wind speed conditions.

Key words environmental wind; thermal environment of outdoor unit; inlet air temperature; air inlet flow; high-rise building

0 引言

随着人们生活水平的提高, 空调系统已经成为建筑设计中一个重要的部分。对于普通高层建筑所使用的风冷空调系统, 夏天制冷时, 其室外机 (Outdoor unit, ODU) 作为冷凝器, 它吸入冷空气带走制冷剂冷凝所释放的热量。如果吸入的空气温度过

高, 冷凝器工作条件就恶化。因此营造良好的热环境, 保证充足的冷风量和较低的进风温度便成为室外机高效工作的关键因素。

室外机布置需要考虑诸多因素, 如在制定多联机系统室外机安装方案时, 要综合考虑多联机系统

收稿日期: 2022-10-12; 修订日期: 2023-01-17

基金项目: LG 全球 CFD 集群项目资助 (通过韩国釜山大学 Man Yeong Ha 教授团队的课题); 国家自然科学基金创新群体基金资助 (No.51721004)

作者简介: 张卓 (1995-), 男, 博士生, 主要从事 CFD 流动传热研究。通信作者: 陶文铨, 教授, E-mail: wqtao@mail.xjtu.edu.cn.

配管长度和高差的限制、进排风、维修空间、震动、噪声影响、基础承重能力、排水、美观度、周围环境等多方面的因素^[1]。一般来说,家用小型空调的室外机通常被布置在建筑外的凹槽中、楼顶上以及通风竖井中^[2-4]。在诸如凹槽的狭小空间环境中,热空气不能迅速排向四周环境,便有可能造成室外机周围的环境温度上升,进而导致室外机工作性能下降,能耗上升。当进风超过一定温度时,室外机便无法正常工作了。研究表明,冷凝器进风温度每升高 1°C ,制冷系统的循环性能系数 COP(Coefficient of performance, COP, 换热量与输入功率之比)下降约 3%^[5]。室外机的合理布置能够改善室外机热环境,进而提高室外机的 COP。

1 研究现状

为改善空调室外机工作的热环境,近年来,国内外已有诸多学者利用数值仿真和实验手段对室外机通风环境展开了研究。研究集中于 ODU 布置方式优化、格栅的安装与优化、ODU 周围挡墙优化和环境因素影响分析四个方面。已有研究结果大致可归纳如下。

1.1 ODU 布置方式影响

Shi 等^[6]基于计算流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)方法,研究室外机与墙壁的间距、室外机之间的距离对进风温度、进流量的影响。并建立系统模型进一步研究了进风温度和进流量对系统 COP 的影响。研究指出安装不合适会导致热排风短路现象,并使得进风温度上升;Zhang 等^[7]针对中国深圳某高层建筑开展 CFD 分析,研究指出增大 ODU 的间距有利于改善 ODU 热环境,ODU 的隔层安装可以有效克服相邻楼层间的气流短路现象;Nada 等^[3,8]研究了,底部开放与关闭的通风井中,12 台 ODU 在三种布置形式下的热环境,并根据进风温度推算出系统 COP 与系统消耗的电功。

1.2 格栅的安装与优化

Ba 等^[9]研究了布置在某 10 层建筑物中的室外机热环境。结合速度、温度和压力分布,指出了避免气流短路的重要性,并认为加装格栅可能造成气流短路,进而使 ODU 进风温度升高;Duan 等^[10]研究了格栅间距和倾角、ODU 布置方式和位置对热环境的影响。该研究指出,上下垂直布置比水平布置更利于 ODU 热风的排出。较小的格栅间距,较大的 ODU 间距有利于 ODU 的热环境;李树云等^[11]和 Mehryan 等^[12]研究了 ODU 内的流动。研究指出,在空调室外机上安装导流罩可以使

室外机内元器件温度平均降低 5.1°C 。安装在 ODU 上的导风格栅的形状、角度和尺寸对 ODU 性能有较大影响。

1.3 ODU 周围挡墙优化

Avara 等^[2]利用 CFD 方法研究了 ODU 与墙面最佳布置间距,在房顶安装时的 ODU 摆放最优高度为 0.5 m;Zhang 等^[4]研究拟合出了最佳安装位置(ODU 与挡墙间距)和 ODU 热源之间的关联式;Ryu 等^[13]针对 1 台顶出风的 ODU,研究了在考虑外界风速环境下,墙面高度和 ODU 与墙面距离对 ODU 热环境的影响。指出相较于墙面高度,ODU 与墙面距离的影响较小。该研究利用响应面法和部分因析设计建立优化模型,确定了最佳的墙面高度和 ODU 与墙面距离;Setyawan^[14]实验研究了不同前挡墙和侧挡墙距离下,室外机的排风压力、吸风压力、进风温度、冷却功率、消耗功率、COP 的影响。指出相对于前挡墙距离,侧挡墙距离的影响很小。

1.4 环境因素影响

Nada 等^[3]针对布置在竖井中的 ODU,研究两种机械通风方式——新风供给和热风引排,对 ODU 热环境的影响,并对机械通风装置的耗能情况进行了分析。在考虑机械通风的情况下,ODU 的布置方式对热环境的影响较小^[8]。Doiphode 等^[15]针对 1 台 ODU 展开 CFD 研究,指出外界环境风会导致 ODU 进风温度增加,进风流量下降,进一步 ODU 系统性能下降。其研究中利用组分传输模型研究了热排风被重新吸回 ODU 的比例,发现正面吹风时,风速越大,更多热排风被吸回。基于 CFD 结果,作者还利用 VapCyc 软件分析其对系统性能的影响。Setyawan^[16]实验研究了不同方向(30° 、 45° 、 60° 和 90°)环境风速对 1 台室外机运行的影响,指出正面风速(或正对室外机吹风)的影响最大;环境风会造成进风温度上升,造成整个空调系统性能下降,使得室内机出风温度上升约 1.6°C 。Setyawan^[17]实验研究了室外空气湿度变化时,对室外机排风压力、吸风压力、进风温度、冷却功率、消耗功率、COP 的影响。研究指出空气湿度的影响很小。Tong 等^[5]研究了在 1.9 m/s 侧吹风条件下,不同安装距离对室外机的进风流量和进风温度的影响,并给出了最佳安装位置。

综上所述,尽管对 ODU 安装条件(挡墙、格栅、间距等)的研究已较充足,但对环境因素的考虑仍待完善。现有的研究中,针对高层建筑(多台 ODU)在不同环境风(风向、风速)条件下研究仍

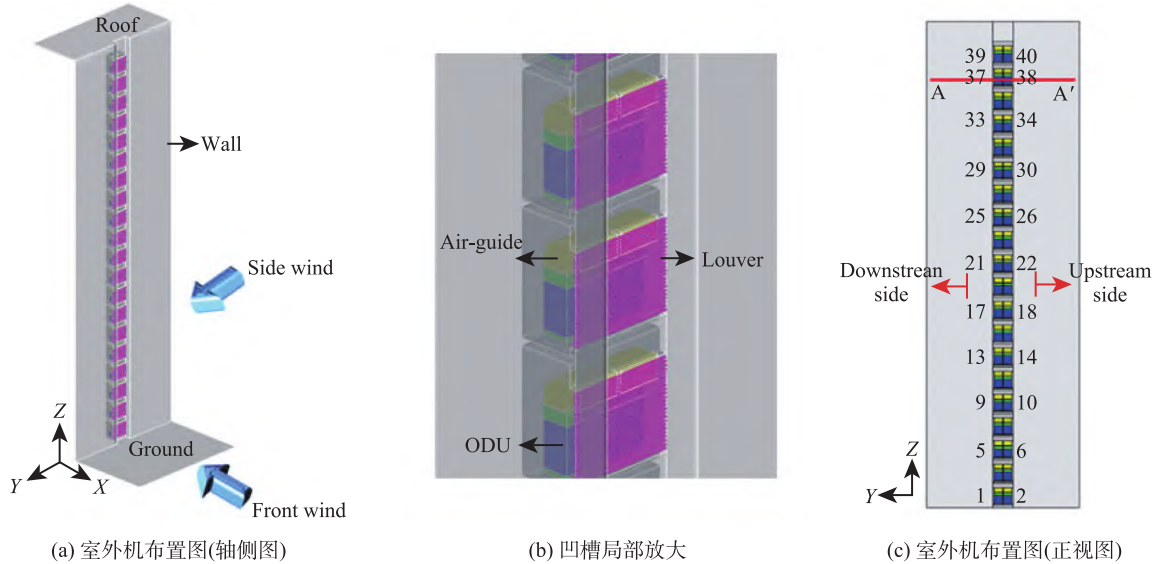


图 1 建筑物外凹槽内布置的 ODU

Fig. 1 ODU arranged in the groove outside the building

有不足，且仿真中的风速边界往往给均匀风速边界 [3,5,8,15]，忽略了高层建筑周围风速随高度的变化。本文针对布置在 20 层建筑物凹槽中的共 40 台室外机 (2 台/层) 热环境开展 CFD 分析，研究不同环境风条件对室外机热环境的影响。

2 模型介绍

2.1 几何模型

40 台 ODU 布置在建筑物的凹槽环境中，如图 1(a) 所示，建筑物共 20 层，每层高 3.3 m。第 20 层与楼顶平台 (Roof) 相接，第 1 层则与地面 (Ground) 相接。每层布置两台顶出风式 ODU，并安装导风罩 (Air-guide)，且每层均安装有格栅 (Louver，间距 100 mm，倾斜角 0°)，如图 1(b) 所示。本研究中，ODU 与凹槽四周墙壁之间的距离固定，取值如图 2 所示。

室外机工作时，轴流风扇叶片转动，ODU 附近气流从进风面被吸入换热器同制冷剂换热，加热后的热空气再从顶部风扇排出。合理表征室外机是热环境仿真的关键因素。Tong 等 [5] 指出相较于将 ODU 当成固体，设置成多孔介质可以较好地表征气体流经 ODU 内换热器的过程；Zhang 等 [6] 提出并对比了三种简化 ODU 风扇的方法，指出采用 Fan 边界是一种准确高效的表征方法。本文中，将 ODU 简化为长方体，如图 3 所示。风扇形状为圆形面，用 Fan 边界来表征，ODU 内的换热器用多孔介质面 (Porous jump 边界) 和体积热源 (Heat source) 来表征。具体见 2.3 节。

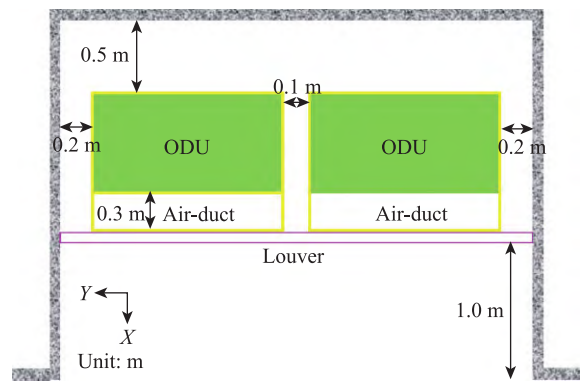


图 2 凹槽内两台室外机详细位置

Fig. 2 Location of two outdoor units in the groove

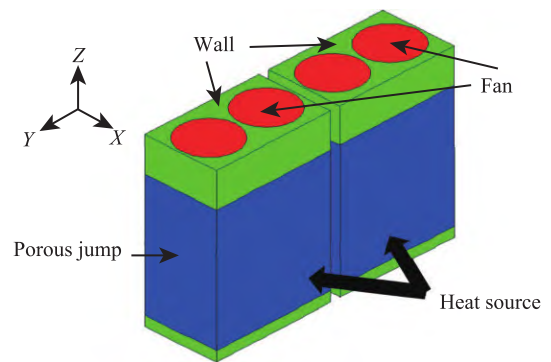


图 3 ODU 模型示意图及边界条件

Fig. 3 ODU model diagram and boundary conditions

2.2 模型假设与控制方程

本研究基于以下几点假设：

- 1) 空气为不可压缩理想气体；

- 2) 不考虑室外机部件、墙壁等的固体导热;
- 3) 建筑物外环境温度和環境风温度为 35°C;
- 4) 空气流经室外机的换热量, 简化为恒定热源;
- 5) 气流流经室外机总压差恒定 [2,3,5,8];

描述该流动换热问题的控制方程如式 (1)~(4) 所示。

- 1) 连续方程

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

- 2) 动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = & -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \\ & \left[\mu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \\ & \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \overline{u'_i u'_j}) + (\rho - \rho_0) g_i \end{aligned} \quad (2)$$

式中 $\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$, 由 Boussinesq 涡黏性假设知, 雷诺应力项由下式计算

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \quad (3)$$

- 3) 能量方程

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + S_h \quad (4)$$

式中, 有效热导率 $k_{\text{eff}} = k + \frac{c_p \mu_t}{\text{Pr}_t}$, S_h 为能量方程的源项。

式 (2)~(4) 中, $i, j = x, y, z$ 。其中出现的湍流黏度 μ_t 选用 Realizable k- ε 湍流模型求解, 具体参见文献 [18]。

2.3 边界条件

建筑物外墙、凹槽壁面、室外机壁面均采用 Wall 边界, 设置为无滑移, 绝热。外界空气环境在来风面设置为速度入口边界, 其余面设置为压力出口边界 (表压 0 Pa)。考虑到大气边界层, 不同高度位置的速度按式 (5) 变化。

$$U = U_o \left(\frac{Z}{Z_o} \right)^a \quad (5)$$

式中, U 为高度 Z 处的速度, U_o 为参考高度 Z_o 处的风速。 a 为反映地面粗糙程度的常数, 是由地面粗糙度决定的幂指数 [19]。本研究中取 $Z_o = 10$ m, $a = 0.2$, U_o 为特征风速。以 (特征) 环境风速 3 m/s 为例, 室外风速随高度分布如图 4 所示。

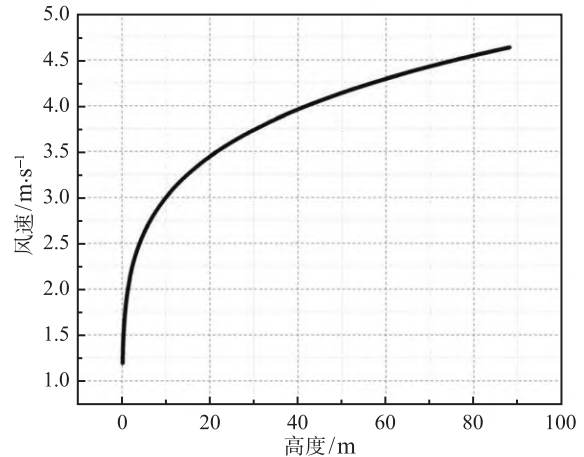


图 4 $U_o = 3$ m/s 时的室外风速分布

Fig. 4 Outdoor wind speed distribution when $U_o = 3$ m/s

室外机 ODU 的边界条件设置如图 3 所示, 其中风扇边界处设定压力阶跃值为 116 Pa; 多孔介质边界参数设置如表 1 所示, 该处压降由式 (6) 计算, 式中 v 为垂直 Porous-jump 边界的速度分量; 室外机内的体热源设置为 33000 W/m³。

$$\Delta p = - \left(\frac{\mu}{\alpha} v + C_2 \frac{1}{2} \rho v^2 \right) \Delta m \quad (6)$$

表 1 多孔介质边界参数 [20]

项目	取值
面渗透率 α/m^2	5.1×10^{-8}
多孔介质厚度 $\Delta m/\text{m}$	0.0259
阻力系数 C_2/m^{-1}	309

2.4 求解设置与网格无关性验证

本计算在 ANSYS Fluent 17.2 上展开, 为稳态求解。采用压力-速度耦合的 SIMPLE 算法, 2.2 节中所有方程均采用二阶迎风格式进行离散。为得到网格无关的解, 本文在 2.1 节所述几何模型的基础上, 设置了 128 万、441 万、803 万、1125 万和 2233 万, 共 5 个不同疏密的网格离散模型。在相同条件下, 分别求解计算, 观察 40 台 ODU 的平均进风温度和平均进风流量, 结果如图 5(a) 所示。可知当网格量大于 1125 万时, ODU 平均进风温度和平均进风流量趋于稳定。综合考虑计算耗时和计算精度, 本文选取 1125 万网格密度开展计算, 网格划分结果如图 5(b) 所示。另根据有关工程实践, 室外机进风温度超过 43°C 时便无法正常运行。

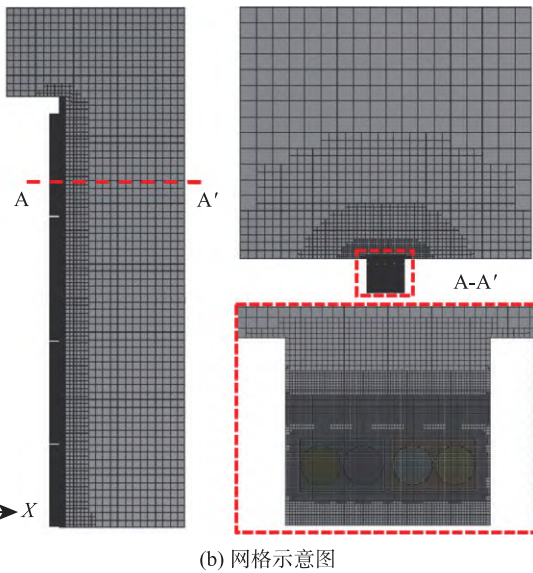
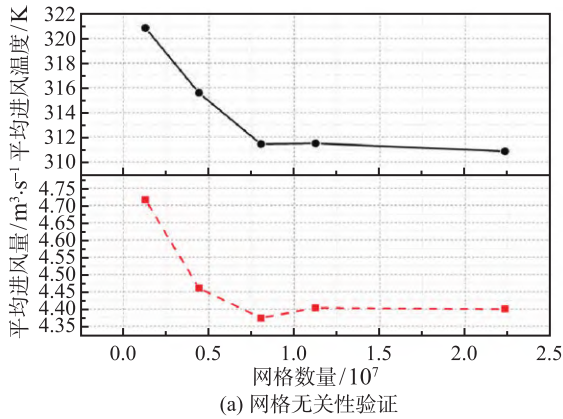


图 5 网格无关性及网格示意图
Fig. 5 Grid independence and grid diagram

3 结果讨论

为探究何时凹槽内室外机超出正常运行范围, 本文研究了 $u = 5/6/7/8$ m/s(侧面吹风) 和 $v = -0.5/-1.0$ m/s(正面吹风) 共 6 种来流风速条件下的室外机运行热环境。基于仿真结果, 从凹槽内温度场、速度场、热排风迹线等角度分析了正面吹风和侧面吹风时, ODU 运行热环境的变化规律。

3.1 侧面吹风

3.1.1 楼层结构的影响

图 6 所示为, 侧面风速 $u=5, 6, 7, 8$ m/s 时, 40 台 ODU 的进风面平均温度曲线。ODU 的对应序号在图 1(c) 中标注, 从第一层至顶层逐渐增大。可以发现, 温度随着楼层的逐渐升高, 进风温度也呈现增大的趋势。由式 (5) 知, 高度越大, 风速越大, 建筑物外的冷空气 y 方向速度越大。在惯性力作用下, 更多冷空气被吹向下游, 这意味着被室外

机吸入凹槽内的冷气流减少。

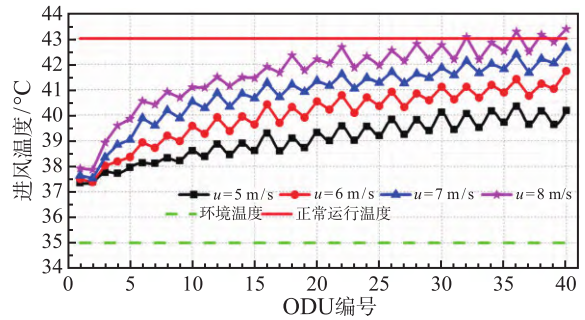


图 6 沿楼高进风温度分布 (正面吹风)
Fig. 6 Air inlet temperature distribution along building height (Front wind)

图 7 中绘出了 ODU 排出热风的迹线图, 色彩显示了该处速度大小。侧面吹风尽管可以较快的带走排出的热气流, 但同时也使冷气流较难流入凹槽内, 因此上层凹槽内的冷气流少, 进风温度会升高。

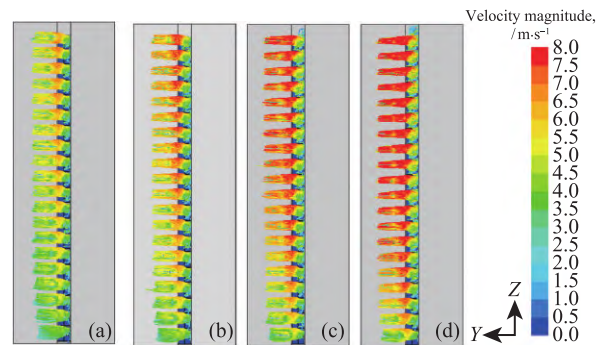


图 7 ODU 排出热风迹线图: (a) $u=5$ m/s; (b) $u=6$ m/s; (c) $u=7$ m/s; (d) $u=8$ m/s
Fig. 7 ODU exhaust hot air trace diagram: (a) $u=5$ m/s; (b) $u=6$ m/s; (c) $u=7$ m/s; (d) $u=8$ m/s

3.1.2 来流风速的影响

由图 6 可知, 随着来流风速的增大, ODU 的进风温度也呈增大的趋势。当侧面吹风风速小于 8 m/s 时, 所有 ODU 可实现正常工作, 但当风速大于 8 m/s 时, 顶层 ODU 进风温度可能会超出 ODU 规定的运行温度 43°C。

图 8 给出了 40 台 ODU 的平均进风温度随侧面风速的变化规律。由图可知, 随着风速的增大, 更多的冷空气吹向下游, 导致 ODU 的平均进风温度上升。

3.1.3 房间内热环境分析

根据来流方向, 40 台室外机可分为上游 (Upstream side) 列和下游 (Downstream side) 列, 如图 1(c) 中标注。图 9 所示为, 来风上游列和下游

列的 20 台 ODU 的平均温度和平均进风量的变化规律。由图可知下游列的室外机相较上游列的室外机, 平均进风温度和进风量均较低。这是由环境风条件下, 房间内特殊的气流组织导致的。为分析房间内气流, 本研究选取了建筑物凹槽第 19 层室外机中间高度绘制云图, 如图 10 所示, 截图位置见图 1(c) 中标注的 A-A'。图 10 中箭头指示该点气流速度方向, 云图颜色显示了该处的速度大小。

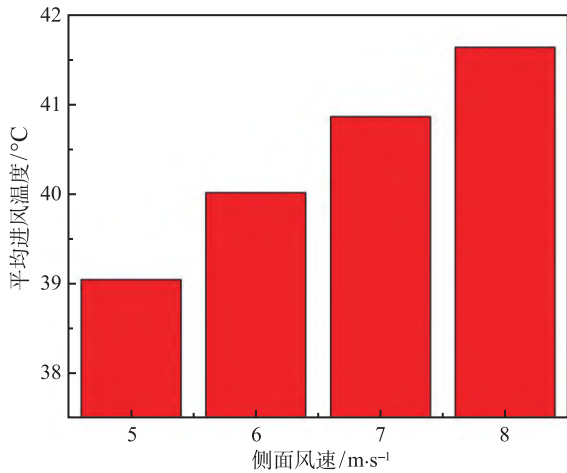


图 8 平均进风温度随侧面风速的变化

Fig. 8 Variation of average inlet air temperature with side wind speed

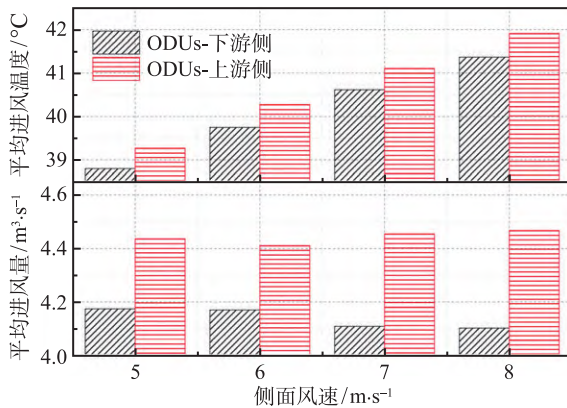


图 9 上下游侧 ODU 平均温度和平均进风量变化规律

Fig. 9 Average temperature and average air inlet volume of upstream and downstream ODU

由图 10 可知, 侧面吹风会导致冷气流流入凹槽后, 形成气流旋涡, 如图 10(c) 中红色箭头所示。在图 10(a)、(b)、(d) 中同样由速度矢量箭头也可以观察到类似的旋涡流动。这种气流组织, 会导致处在上游侧的一列 ODU 进风量更多。且由于流入上游侧的气流在房间内流动的路径更长, 房间内积聚的热量在流动过程不断加热冷空气, 也会导致上游列的温度较下游列略高。

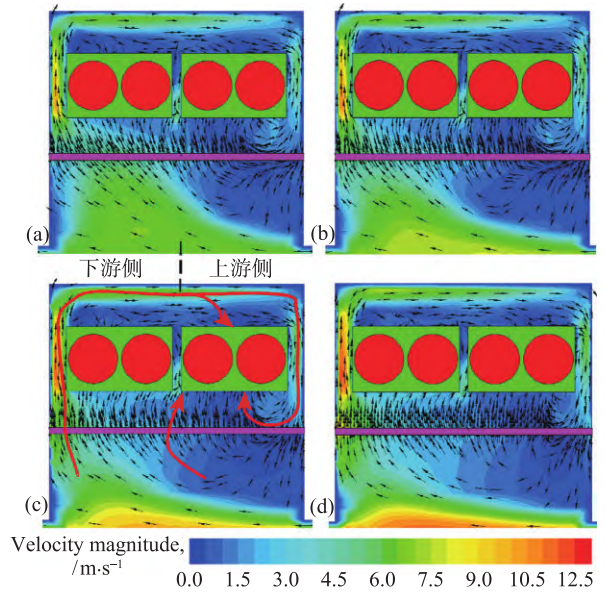


图 10 不同侧面风速下的第 19 层凹槽内气流速度场:

(a) $u=5$ m/s; (b) $u=6$ m/s; (c) $u=7$ m/s; (d) $u=8$ m/s

Fig. 10 Airflow velocity field in the 19th layer groove at different side wind speeds: (a) $u=5$ m/s; (b) $u=6$ m/s;

(c) $u=7$ m/s; (d) $u=8$ m/s

3.2 正面吹风

图 11 所示为, 正面风速 $v=-0.5$, 和 -1 m/s 时, 40 台 ODU 的进风面平均温度曲线。由图 11 可知, 当环境风为正面吹风时, 室外机进风温度随楼层增加的效应更加明显。当来流风速为 0.5 m/s 时, 位于顶层的 ODU 的进风温度就已超出运行要求, 1.0 m/s 时更甚。故得出结论正面来风的临界速度应小于 0.5 m/s, 下文只对楼层结构的影响和房间内热环境做分析。

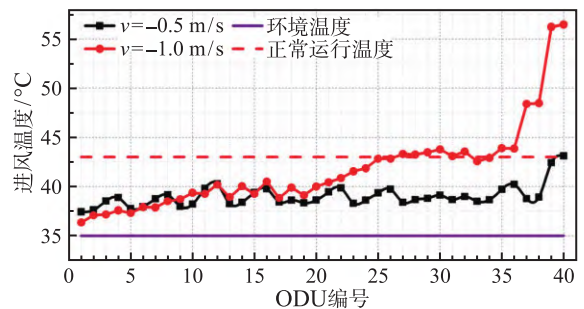


图 11 沿楼高进风温度分布

Fig. 11 Air inlet temperature distribution along building height (Side wind)

图 12 绘出了 ODU 排出热风的迹线图, 色彩显示了该处温度大小。可以看出, 当正面风速 $v=-1$ m/s 时, 凹槽内排出的热空气, 在热浮升力和迎风作用下向上运动。上升的热气流会导致上层 ODU

热环境变差,进而使上层 ODU 的进风温度增大。这与侧面吹风时顶层温度高的原因不同。

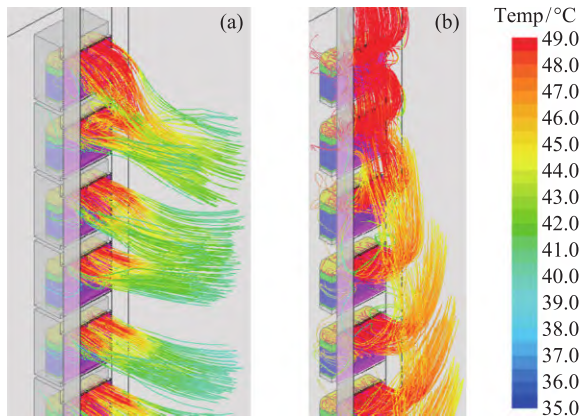


图 12 ODU 排出热风迹线图: (a) $v=-0.5$ m/s; (b) $v=-1$ m/s
Fig. 12 ODU exhaust hot air trace diagram:
(a) $v=-0.5$ m/s; (b) $v=-1$ m/s;

图 13 为正面风速分别为 $v=-0.5$ m/s 和 $v=-1$ m/s 时,第 19 层凹槽内的气流组织图,云图颜色显示了该处的温度高低。可以发现在正面吹风情况下,凹槽内气流没有形成旋涡,且两种风速下凹槽内流动规律相似。但是 $v=-1$ m/s 凹槽内即室外机周围温度明显偏高,再次证明热气流被吸入该处凹槽内。

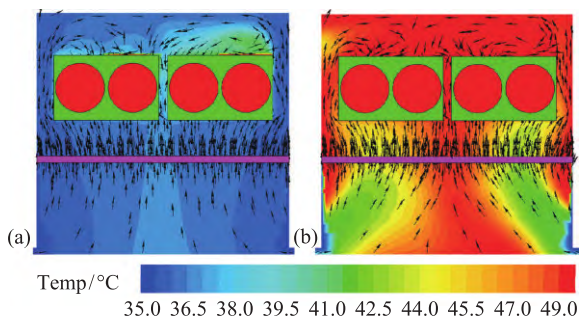


图 13 不同正面风速下的第 19 层凹槽内气流组织图
Fig. 13 Air flow organization chart in the 19th layer groove under different front wind speeds

4 结论

本文以布置在 20 层高层建筑凹槽内的室外机为研究对象,分析了其在正面和侧面吹风条件下的热环境。在更符合实际的非均匀(随高度递增)风载荷下,研究两种典型风向、不同风速条件下 ODU 热环境,并确定了使 ODU 正常工作的临界风速。除此之外,分析了凹槽内,楼层间 ODU 平均进风温度、进风流量的变化规律。具体结论如下:

1) 在本文研究条件下,为使所有 ODU 均运行于正常温度范围,侧面吹风存在临界风速 8 m/s,正面吹风临界风速应小于 0.5 m/s;

2) 两种风速条件下,ODU 进风温度均呈现随楼高逐渐上升,但其主导原因不同。侧面吹风时,高层环境风速大,导致进入凹槽冷气流少是主要原因;而正面吹风时,下层热排风进入上层是主要原因;

3) 两种风向下,ODU 热环境均随着风速增大而恶化;

4) 侧面吹风时,凹槽内形成的旋涡气流流动,会造成上下游列的 ODU 热环境有差异。

参 考 文 献

- [1] 李海平, 刘万龙. 多联式空调室外机位置问题探讨 [J]. 制冷与空调, 2019, 19 (11): 82-87
LI Haiping, LIU Wanlong. Study of Position of Outdoor Units for Multi-splits Air-conditioning System [J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2019, 19 (11): 82-87
- [2] Avara A, Daneshgar E. Optimum Placement of Condensing Units of Split-type Air-conditioners by Numerical Simulation [J]. Energy and Buildings, 2008, 40 (7): 1268-1272
- [3] Nada S A, Said M A. Performance and Energy Consumptions of Split Type Air Conditioning Units for Different Arrangements of Outdoor Units in Confined Building Shafts [J]. Applied Thermal Engineering, 2017, 123: 874-890
- [4] ZHANG Zhen, TONG Lige, WANG Li. Numerical Simulation for Outdoor Thermal Environment of High-rise Building with Air-conditioner [C]//International Heat Transfer Conference, 2010
- [5] TONG Lige, ZHANG Zhen WANG Li, et al. Numerical Simulation for Thermal Distribution of Air-conditioner Outdoor Units [J]. Journal of Thermal Science, 2012, 21 (3): 269-275
- [6] SHI Yuling, YANG Liang, ZHANG Chunlu. Air Management Modeling of Condensing Units in a Confined Space and Its Impact on the Chiller System Performance [J]. Energy and Buildings, 2011, 43(10): 2673-2677
- [7] ZHANG Yin, WEI Zhiyuan, LONG Enshen, et al. Outdoor air Thermal Plume Simulation of Layer-based VRF air Conditioners in High-rise Buildings [J]. Energy Procedia, 2017, 142: 3787-3792
- [8] Nada SA, Said MA. Solutions of Thermal Performance Problems of Installing AC Outdoor Units in Buildings Light Wells Using Mechanical Ventilations [J]. Applied Thermal Engineering, 2018, 131: 295-310
- [9] Ba Chien N, Viet Dung N, Quoc Dung T, et al. CFD Simulation of Multi-outdoor Unit Configuration Design for a Building [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 505: 012007
- [10] DUAN Ran, WANG Xin, SONG Yue, et al. Influence of Air-conditioning Outdoor Unit Arrangement Strategy on Energy Consumption [J]. Procedia Engineering, 2016, 146: 350-358
- [11] 李树云, 王现林, 吴俊鸿, 等. 空调室外机散热器导流罩对散热性能的影响研究 [J]. 制冷技术, 2018, 38(6): 72-75
LI Shuyun, WANG Xianlin, WU Junhong, et al. Research

- on Influence of Guide-cover of air Conditioner Outdoor Radiator on Heat Dissipation Performance[J]. Chinese Journal of Refrigeration Technology, 2018, 38(6): 72-75
- [12] Mehryan SAM, Kashkooli FM, Soltani M. Comprehensive Study of the Impacts of Surrounding Structures on the Aero-dynamic Performance and Flow Characteristics of an Outdoor Unit of Split-type air Conditioner [J]. Building Simulation, 2017, 11 (2): 325-337
- [13] Ryu K, Lee K-S, Kim B-S. Optimum Placement of Top Discharge Outdoor Unit Installed Near a Wall [J]. Energy and Buildings, 2013, 59: 228-235
- [14] Setyawan A. Effect of Air Flow Obstruction in a Condensing Unit on Split Air Conditioner Performance [J]. Jurnal Teknologi, 2020, 82 (5): 23-30
- [15] Doiphode P, Jadhav A, Kumar M, et al. Thermo-flow Performance Analysis of Split Air Conditioner Under High-speed Winds Around Buildings [J]. Advances in Building Energy Research, 2018, 15(1): 43-66
- [16] Setyawan A. The Effects of Wind Orientation on the Performance of a Split Air Conditioning Unit [J]. AIP Conference Proceedings, 2020, 2248(1): 070002
- [17] Setyawan A, Badarudin A. Performance of a Residential Air Conditioning Unit Under Constant Outdoor Air Temperature and Varied Relative Humidity [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 830(4): 042032
- [18] ZHANG Derun, LI Shigang, CHEN Qianju, HUANG Yongyan, PU Liang. Performance Evaluation of Fin-and-tube Heat Exchangers in an Outdoor Unit Considering Air Flow Mal-distribution [J]. International Journal of Refrigeration, 2022, 144: 14-25
- [19] 清华大学, 中国建筑科学研究院, 深圳市建筑科学研究院有限公司, 等. JGJT449-2018 民用建筑绿色设计规范 [S]. 中华人民共和国住房和城乡建设部, 行业标准-建筑工业, 2018: 8
Tsinghua University, China Academy of Building Sciences, Shenzhen Academy of Building Sciences Co, Ltd., et al. JGJT449-2018 Code for Green Design of Civil Buildings [S]. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China: Standards for Building Industry, 2018: 8
- [20] 刘九洋. 建筑凹槽内分体式空调室外机设置方式对运行环境的影响研究 [D]. 广州: 广州大学, 2020
LIU Jiuyang. Research on the Influence of Outdoor Unit Setting Mode of Split Air Conditioner in Building Groove on Operating Environment [D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2020