

文章编号: 1671-6612 (2025) 05-737-08

某商业建筑多联机室外机位方案研究与优化

秦 汉 侯余波 白映荷 叶倩云

(中国建筑西南设计研究院有限公司 成都 610042)

【摘 要】 多联机空调系统设计要求室外机进排风通畅, 降低进风温升。以某实际商业建筑为研究对象, 利用 CFD 计算软件对其不同位置的室外机位方案进行了模拟和优化分析。研究结果表明: 在常见的商业建筑层高情况下, 对于同水平位置垂直布置的室外机位, 顶层的导风筒贴梁, 楼下各层的按导风筒路由最短的方式布置, 有利于降低楼层间的相互影响。室外机单层并排布置时的间距不宜小于 500mm、台数不宜大于 6 台。室外机位百叶朝向天井时, 散热均会受影响。四面围合的天井难以满足室外机通风需求。当天井左右两端有架空通道可以作为进出风面时, 室外机位热环境较前者有明显改善, 在室外机满布时所需天井的最小宽度为 7m。

【关键词】 商业建筑; 多联机室外机; CFD; 导风筒; 进风温度; 间距
中图分类号 TU831 文献标志码 A

Research and Optimization of Multi-connected Split Air Conditioning Outdoor Unit Position Scheme for a Commercial Building

Qin Han Hou Yubo Bai Yinghe Ye Qianyun

(China Southwest Architectural Design and Research Institute Co., Ltd, Chengdu, 610042)

【Abstract】 The design specifications for multi-connected split air conditioning systems require unobstructed intake and exhaust airflow for outdoor units, with reduction of inlet air temperature rise being essential. Taking an actual commercial building as the research object, simulates and optimizes the different outdoor unit schemes using CFD computational software. The results show that within the conventional floor height range of commercial buildings, for vertically stacked outdoor unit arrangement at the same horizontal position, the air deflector at the top level is flush with the beam, lower floors employ the shortest duct routing for air deflectors, this configuration helps mitigate inter-floor interference. When outdoor units are arranged side by side, the spacing between them should not be less than 500mm, and the number of units in a single row should not exceed 6. When outdoor unit louvers face the light well, heat dissipation is invariably compromised. Fully enclosed light well fail to meet ventilation requirements for outdoor units. When the light well on both left and right ends of the shaft can serve as intake/exhaust openings, the thermal environment of the outdoor unit position improves significantly compared to the former scenario. Under this configuration, the minimum required shaft width for fully distributed outdoor unit is 7m.

【Keywords】 Commercial building; Multi-connected split air conditioning outdoor unit; Computational Fluid Dynamics; Air deflector; Inlet air temperature; Spacing

0 引言

多联机空调系统由于其布置灵活、运行管理方便等优点, 在商业建筑中的应用越来越广泛。其系

统运行能效受室外机周边热环境的影响极大: 有研究表明, 室外机进风温度每升高 1℃, 制冷能效比相应降低约 3%^[1], 当室外机进风温度高于 43℃时,

会严重影响室外机的正常运行,甚至触发过热保护导致停机^[2]。相关规范也要求室外机安装时,应确保室外机的四周留有足够的进排风和维护空间,进排风应通畅^[3]。然而,建筑在追求外立面效果时,往往会将室外机位设在较为隐蔽的空间,或者做一定程度的遮挡,导致通风不畅,影响室外机的散热。由此可见,在工程设计中,如何兼顾多联机室外机的散热与建筑外立面的美观是设计室外机位的一个关键点^[4]。针对这一问题,许多学者对空调室外机的布置方案及优化进行了研究。闫艺文等人^[5]的实验和 CFD 模拟结果表明,在室外机出风口设置分隔进出风的分隔板或者引流管道可以显著降低室外机进风温度。文改黎^[6]以某办公建筑为例,利用 CFD 软件对建筑天井凹槽内的室外机位热环境进行了模拟,建议室外机优先放置于建筑高度一半以下区域,避免其冷凝温度过高。杨云铠等人^[7]利用 CFD 计算软件对某商业建筑凹槽室外机位的百叶参数进行了模拟分析,结果表明,百叶间距至少应达到 80mm,百叶下倾角应控制在 10°左右。现有研究大多是在特定条件的空调室外机位热环境工况下得出的结论,室外机位的形式和尺寸等缺乏一般性,对设计师的借鉴意义较为有限。

本文以某实际商业建筑的多联机室外机位方案为例,通过 CFD 模拟,在分析了本建筑 3 种室外机位置热环境的基础上,还对导风筒的设置、室外机摆放间距及天井宽度进行了通用性的探究,以期为广大设计师提供参考。

1 项目概况

该建筑位于四川省德阳市,地上 4 层,由商业和酒店两部分组成,其中商业位于建筑的首层和 2

层,采用多联式空调系统,按店铺分设,室外机位内嵌入建筑。该建筑北面为其他建筑,另外 3 面临街,结合立面和平面设计,建筑专业能提供的室外机位是以下 3 个位置,且希望尽量利用位置 1,如图 1 所示。

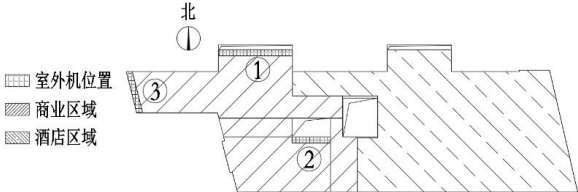


图 1 建筑总平面示意

Fig.1 General Building Layout

位置 1 的室外机位百叶朝向天井,该天井四面围合,初始宽度仅 1.6m(类似壕沟),此位置对建筑立面的影响程度最小,但通风条件最差;位置 2 的室外机位百叶朝向建筑中部的一处天井,天井位于建筑商业内街(两头直接对外),宽度为 7.0m,该位置对建筑立面的影响程度和通风条件居中;位置 3 的室外机位百叶直接朝向建筑外侧,无其他遮挡,该位置的通风条件最好,但对建筑立面的影响程度最大。

2 CFD 模拟设定

2.1 多联机室外机参数

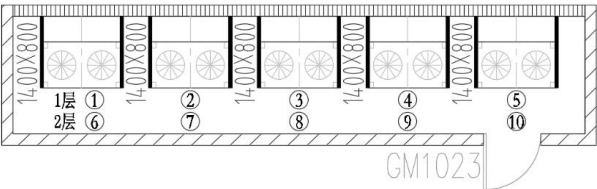
该建筑共有 6 个商铺,其中商铺 1~4 位于 1 层,商铺 5、6 位于 2 层,各商铺的多联机室外机单个模块均按照 26HP 进行计算。多联机室外机参数系参考某主流品牌样本确定,如表 1 所示,其中室外机散热量为室外机的名义制冷量与额定制冷功率之和。

表 1 多联机室外机参数

Table 1 VRF Outdoor Unit Specifications

室外机型号	室外机风量/(m³/s)	室外机散热量/W	室外机尺寸(宽×深×高)/mm	导风筒尺寸(宽×高)/mm
26HP	5.28	92700	1400×800×1700	1400×800

多联机室外机为顶出风,由于室外机位仅有单侧百叶,所有室外机设置导风筒,并使排风口边缘紧贴百叶内侧。室外机位百叶采用一字型百叶,百叶倾角为 0°,百叶通透率为 70%^[8,9]。结合设备厂家要求和实际工程经验,室外机后侧距墙不小于 800mm,以留出基本的维护空间,如图 2 所示。



(a) 首层平面示意

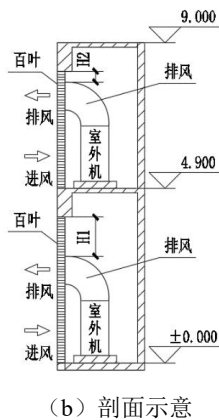


图 2 室外机安装示意图

Fig.2 Outdoor Unit Installation Schematic Diagram

该建筑首层层高 4.9m，梁底净高 4.1m；2 层层高 4.1m，梁底净高 3.3m；室外机安装导风筒弯头等配件后，风筒排出口底距地至少需要 2.2m。结合室外机位净高来看，导风筒可以选择距梁一定距离，也可以选择增加直管段后贴梁底，而这两种安装方式对室外机位热环境的影响少有文献提及，因此，在分析室外机位置之前，首先探究导风筒与梁底的距离对室外机位热环境的影响。

2.2 CFD 数值模型

多联机室外机散热问题遵循质量守恒、能量守恒、动量守恒方程，其过程为三维、不可压缩、稳态、湍流的物理过程^[10]。模型采用 RNG *K-ε* 湍流模型方程，假定空气为理想气体、空气密度符合 Boussinesq 假设，考虑重力对气流的影响；设环境温度与设备样本中的工况一致为 35℃，且所有机组均处于制冷模式并在额定工况下运行；大气压力为 101.325kPa，无风状态，忽略太阳辐射和地面反射的影响。采用非结构化网格，外界边界条件定义为定压风口。压力离散采用有限体积法，能量方程及动量方程采用一阶迎风格式离散。进风口、排风口模型采用循环风口。通过对比某项目实际运行的多联机室外机实测与模拟结果，验证了模拟的准确性与合理性，如表 2 所示。

表 2 多联机室外机进出风温度模拟值与实测值对比

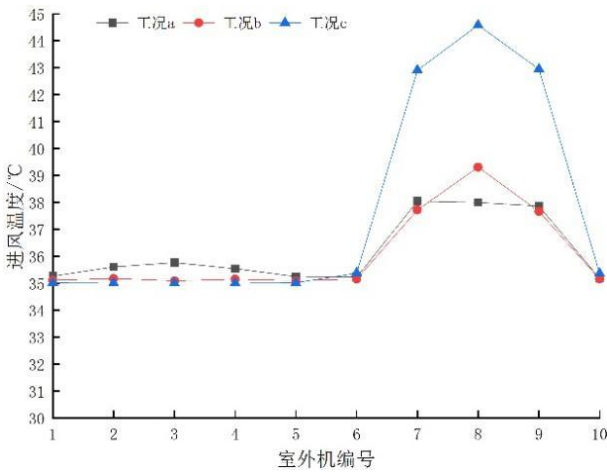
Table 2 Comparison between simulated and measured values

	测试值 /℃	模拟值 /℃	差值绝对值 /℃	相对误差 /%
出风温度	41.3	41.1	0.2	0.5
进风温度	35	35.4	0.4	1.1

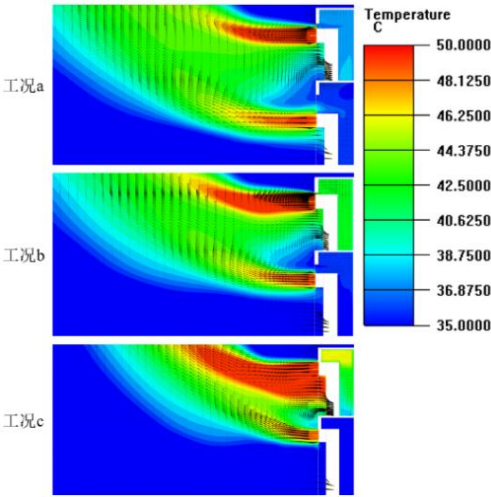
3 数值模拟结果及分析

3.1 导风筒出风位置

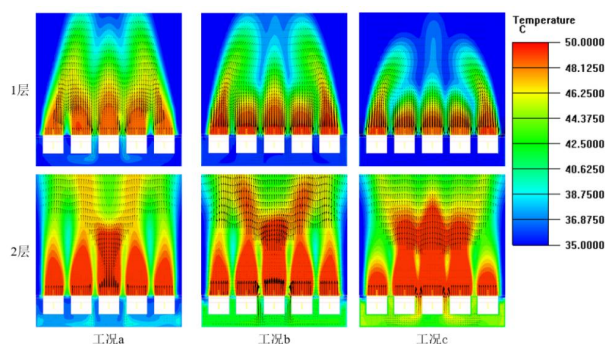
室外机位采用内嵌式、单侧百叶的典型形式，百叶外侧无遮挡，上下共 2 层，每层各设置 5 台 26HP 室外机，1 层室外机编号为 1~5，2 层室外机编号为 6~10，如图 2（a）所示。1 层导风筒与梁底的距离为 H_1 ，2 层导风筒与梁底的距离为 H_2 ，如图 2（b）所示。由此设置 3 种工况：a. $H_1=1.1\text{m}$ ， $H_2=0.3\text{m}$ ，即导风筒路由最短，顶部距梁底的距离最大；b. $H_1=0.55\text{m}$ ， $H_2=0.15\text{m}$ ，即距离居中；c. $H_1=0\text{m}$ ， $H_2=0\text{m}$ ，即贴梁底。经数值模拟，各室外机进风温度如图 3（a）所示，3 号室外机中心垂直截面温度、流向分布如图 3（b）所示，各层出风口中心水平截面温度、流向分布如图 3（c）所示，各层进风口中心水平截面温度、流向分布如图 3（d）所示。



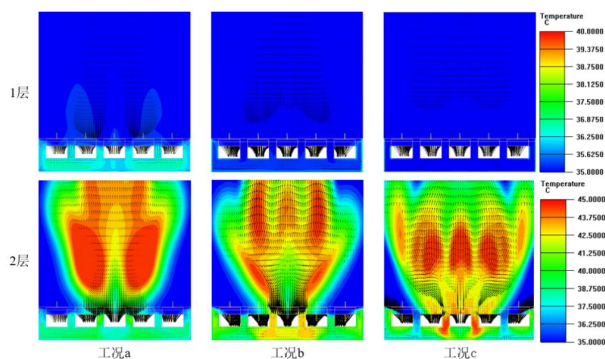
（a）室外机进风温度



（b）3 号室外机中心垂直截面温度、流向分布



(c) 各层出风口中心水平截面温度、流向分布



(d) 各层进风口中心水平截面温度、流向分布

图3 导风筒的高度分析

Fig.3 Analysis of Air Deflector Height

从图3可以看出,3种工况下,无论哪层,从导风筒顶与梁间空隙吸入的风量少,对进风温度的影响小。1层室外机的进风温度变化幅度较小,随 H_1 的减小,进风温度呈降低趋势; H_1 越小,室外机的出风口距自身进风口的垂直距离越大,进排风越不易短路。工况a的室外机距自身进风口垂直距离最小,有少量排风被吸回,但整体进风温度仍处于较低水平,其中3号室外机进风温度最高为 35.8°C ,只比环境温度高了 0.8°C 。从工况b、c来看,导风筒距地加大到一定程度后,影响趋缓,进风温度就是环境温度,说明在工程设计时,导风筒的安装高度应结合室外机位高度综合确定,不必一定贴梁安装。总之,导风筒出口位置对本层室外机进风温度影响小,对于单层来说,导风筒排出口底距地高度不应小于最短路由方式的 2.2m ,有条件时可取至 2.8m 。

3种工况下2层室外机的进风温度变化幅度较大,随 H_1 的减小,进风温度呈上升趋势; H_1 越小,1层的室外机出风口距2层的室外机进风口垂直距离越小,1层室外机排出的热风越容易被2层室外机吸入,导致其进风温度升高。由此说明,下层导

风筒的排风口,应尽量远离上层的进风口。综上所述,在常见的商业建筑层高情况下,对于同水平位置垂直布置的室外机位,顶层的导风筒贴梁,楼下各层的按导风筒路由最短的方式布置,有利于降低楼层间的相互影响,本文后续模拟的室外机导风筒均按此种方式设置。

该建筑的室外机位置3与上述分析中的工况a形式、尺寸等均一致,由图3可知,工况a的室外机进风温度均低于高温保护温度(43°C),其中7、8、9号室外机受周围室外机排风的影响,进风温度较高,分别为 38.0°C 、 38.0°C 、 37.9°C ,较环境温度升温 3°C 左右。

3.2 室外机两侧间距及并排布置时的台数

首先以单层设置5台室外机为例,采用图2首层室外机位的形式,分别模拟室外机在两侧间距为 1000mm (工况a)、 500mm (工况b)和 100mm (工况c)三种工况下的情况,各室外机进风温度如图4所示。

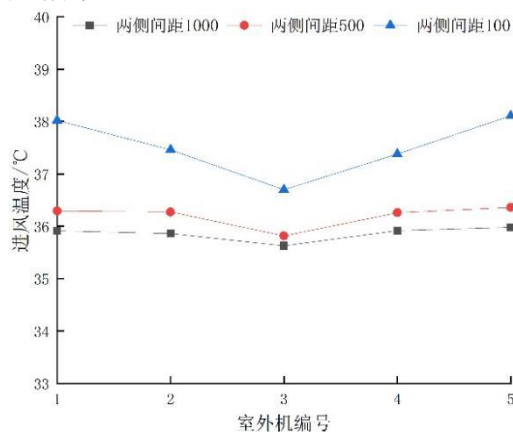


图4 不同间距下室外机进风温度

Fig.4 Outdoor Unit Inlet Air Temperature at Different Spacing Configurations

从图4可以看出,随着室外机两侧间距的减小,各台室外机的进风温度均有所升高。工况b的进风温度相较工况a升高约 0.4°C ,升高幅度较小;工况c的进风温度相较工况a升高约 2.1°C ,升高幅度较大,将导致多联机系统制冷能效有较大衰减,说明该间距偏小^[11]。虽然工况a的进风温度较低,但较大的间距将导致室外机位长度增加,一般建筑难以满足。因此,结合本建筑实际情况,折中选取室外机两侧间距为 500mm ,这样既缩短了室外机位长度,又不会对多联机系统制冷能效造成明显影响。

在确定了室外机两侧间距后, 对并排布置时的台数进行了探究。保持室外机位的形式和室外机两侧间距不变, 室外机位长度随台数的增加而增长, 依次模拟布置 1 台~9 台时的情况, 各室外机进风温度如图 5 所示。

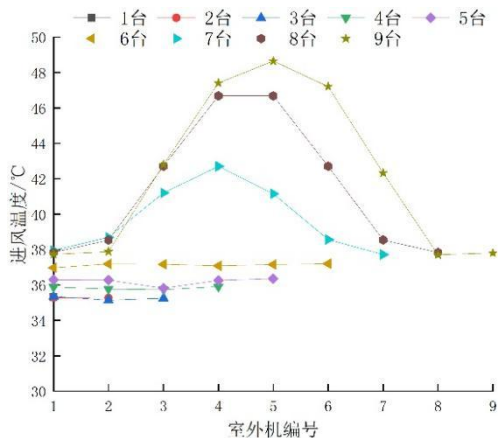


图 5 不同台数下室外机进风温度

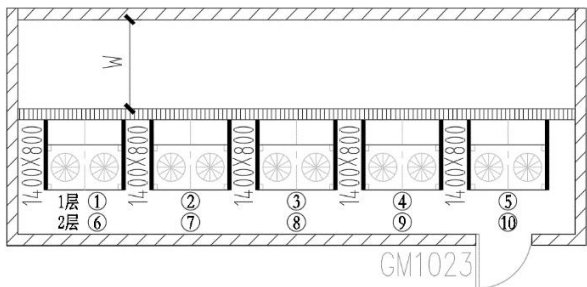
Fig.5 Outdoor Unit Inlet Air Temperature Under Different Unit Quantities

从图 5 可以看出, 随着室外机台数的增加, 室外机的进风温度呈上升趋势。当台数增加至 7 台时, 进风温度大幅升高, 最高温度为 42.7℃, 临近高温保护温度 (43℃)。当台数在 6 台及以下时, 进风温度升高幅度较小, 各台趋近一致, 最高进风温度为 37.2℃。由此建议, 室外机单层并排布置时的台数不宜超过 6 台。

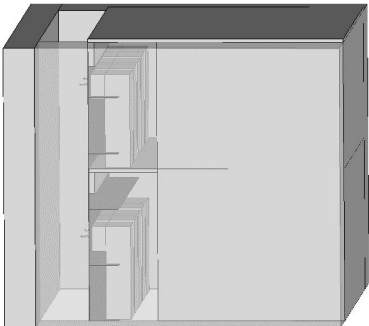
3.3 室外机位置 1 布置方式探究

3.3.1 模拟结果

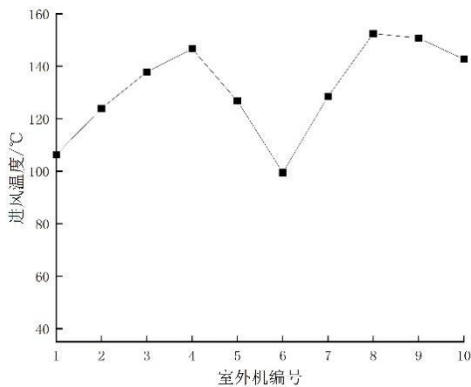
位置 1 室外机位上下共 2 层, 长度为 10m, 百叶开向天井, 天井宽度 W 为 1.6m, 3 面围墙高度与二层顶板齐平, 天井上方直通室外。每层设置 5 台 26HP 室外机, 如图 6 (a) 所示, 1 层室外机编号为 1~5, 2 层室外机编号为 6~10。搭建的 CFD 模型如图 6 (b) 所示, 各室外机进风温度如图 6 (c) 所示, 3 号室外机中心垂直截面温度、流向分布如图 6 (d) 所示, 各层进出风口中心水平截面温度、流向分布如图 6 (e) 所示。



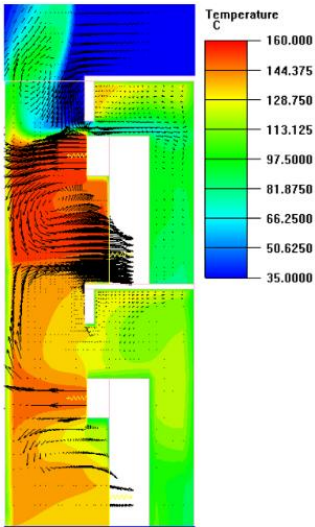
(a) 平面图



(b) CFD 模型



(c) 室外机进风温度



(d) 3 号室外机中心垂直截面温度、流向分布

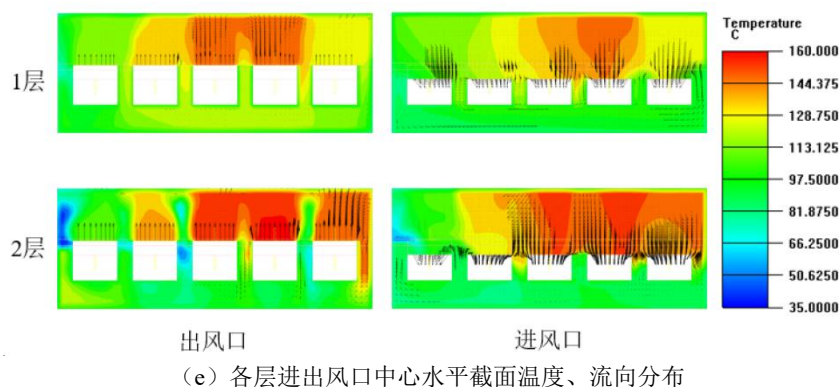


图6 室外机位置1

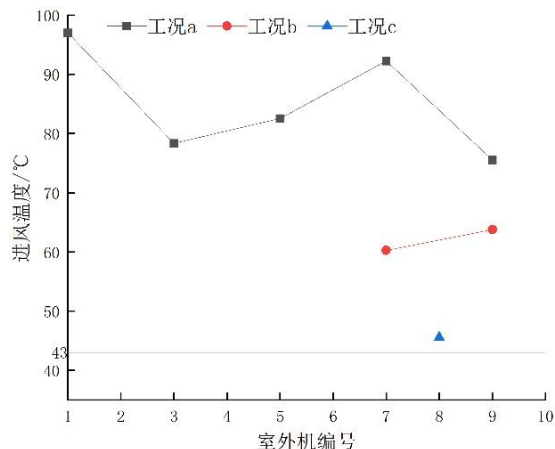
Fig.6 Outdoor Unit Position1

从图6可以看出,各室外机进风温度已远远超过高温保护温度(43℃),室外机排出的热风受正对井壁的阻挡无法直接排出室外,且由于进风面只有天井上方,进入天井的气流进一步阻挡了热风的扩散,导致大部分热风又被室外机吸回,进风温度大幅升高。由此可见,位置1的多联机室外机无法正常运行,需要对其进行优化。

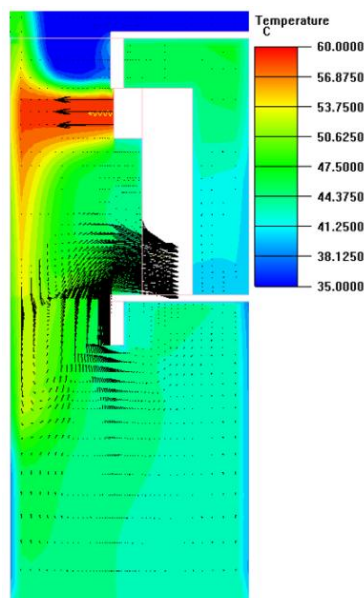
3.3.2 室外机位置1的优化

由3.3.1节中对位置1的分析可知,位置1受百叶正对井壁的阻挡和室外机之间的相互影响是导致室外机位热环境恶劣的主要原因,因此主要从以下2方面对位置1进行优化:(1)增大室外机之间的间距;(2)增大百叶与正对井壁的间距 W 。

通过减少室外机的数量,减小室外机摆放密度,增大室外机之间的间距。保持位置1的尺寸不变,设置以下3种工况:a.保留室外机1、3、5和7、9;b.保留室外机7和9;c.保留室外机8。各工况下的室外机进风温度如图7(a)所示,工况c室外机8的温度、流向分布如图7(b)所示。



(a) 室外机进风温度

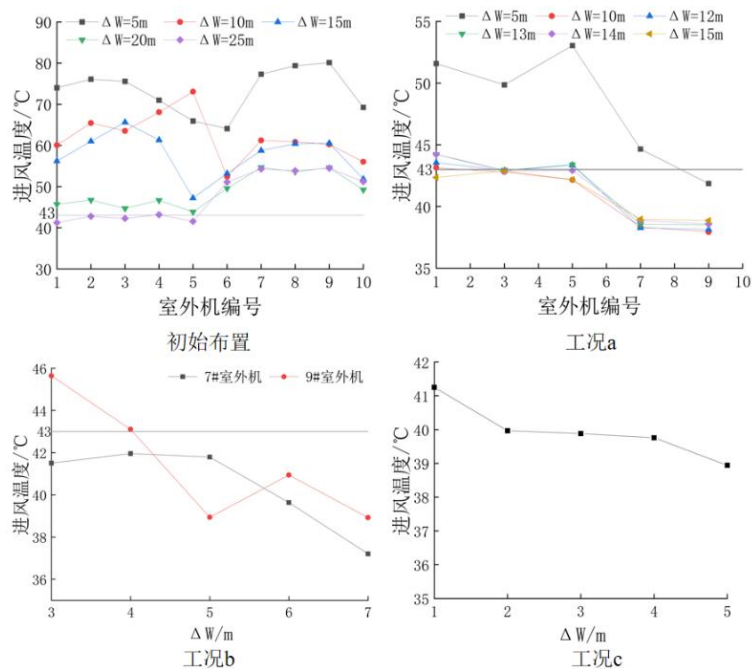


(b) 工况c 室外机中心垂直截面温度、流向分布

图7 增大室外机之间间距

Fig.7 Increasing Spacing Between Outdoor Units

从图7可以看出,随着室外机之间间距的增大,室外机进风温度呈降低趋势,但仍高于高温保护温度(43℃),在位置1尺寸不变的前提下,通过增大室外机之间的间距无法解决进风温度过高的问题。由图7(b)可知,井壁距离排风口过近,部分排风受到阻挡后直接返回被室外机吸入,需要通过增大百叶与正对井壁的间距 W 来进一步优化。设增加的间距为 ΔW ,则增大后百叶与井壁的间距 $W'=W+\Delta W$,模拟初始布置与工况a、b、c布置下各室外机的进风温度随 ΔW 增加的变化情况,模拟结果如图8所示。

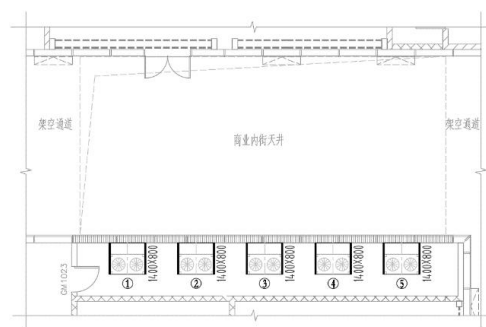
图 8 室外机进风温度随 ΔW 增加的变化趋势Fig.8 Variation Trend of Inlet Air Temperature of Outdoor Unit With ΔW Increase

从图 8 可以看出,对于初始布置,直到 ΔW 为 25m 时,即百叶与井壁的间距 $W'=26.6$ m 时,1 层的室外机进风温度才降到高温保护温度 (43°C) 以下,而此时 2 层的室外机进风温度仍处于较高水平;再看减少室外机数量后的情况,对于工况 a,要 ΔW 为 15m,即百叶与井壁的间距达到 16.6m 时,5 台室外机的进风温度才能降至高温保护温度以下;工况 b (保留两台室外机),此间距需要 6.6m;工况 c (仅保留一台室外机),间距为 2.6m 时,室外机的进风温度可降至高温保护温度以下,但进风温度仍较高,且随着 ΔW 的增大,室外机进风温度降低速度缓慢,间距达 6.6m 的时候进风也是 39.0°C ,温升 4°C 。因此,对于四面围合的天井位置,增大室外机之间间距和增大天井进深方式的改善效果均有限,且一味增大天井进深对建筑的影响也大,很难提供室外机所需的通风条件,在工程设计中应避免采用这种位置。

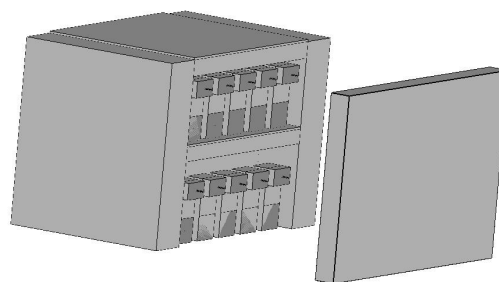
3.4 室外机位置 2 布置方式探究

位置 2 室外机位上下共 2 层,长度为 10.0m,百叶开向商业内街天井,天井宽度 W 为 7.0m,左右两端为架空通道,上方直通室外。每层均匀放置 5 台 26HP 室外机,1 层编号分别为 1~5,2 层编号分别为 6~10,如图 9 (a) 所示。位置 2 与位置 1 相比,取消了天井左右两侧的墙体,为了更好的与

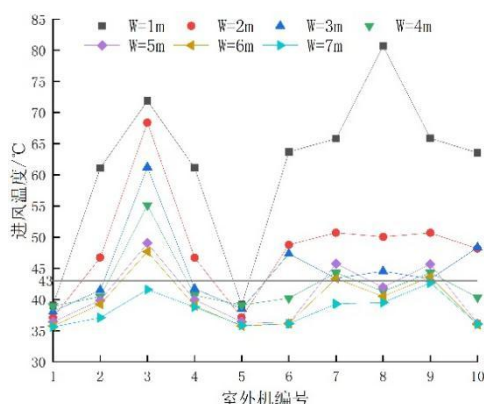
位置 1 形成对照,本文分别模拟了位置 2 天井宽度 W 为 1~7m 的情况。搭建的 CFD 模型如图 9 (b) 所示,各室外机进风温度如图 9 (c) 所示, $W=7$ m 时 3 号室外机中心垂直截面温度、流向分布及各层进风口中心水平截面温度、流向分布如图 9 (d)、(e) 所示。



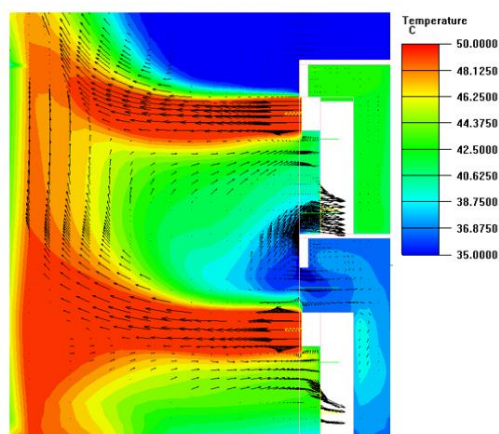
(a) 平面图



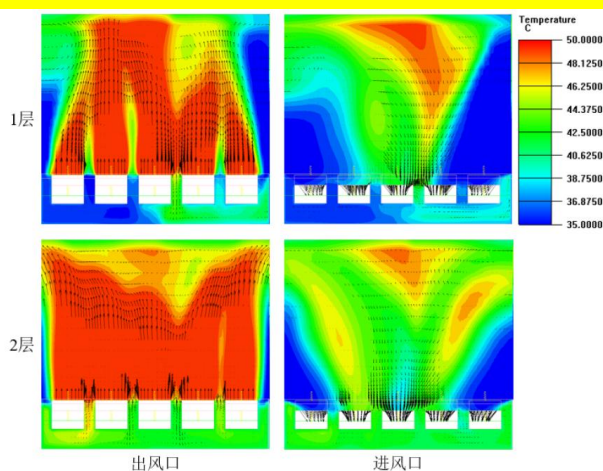
(b) CFD 模型



(c) 室外机进风温度



(d) 3号室外机中心垂直截面温度、流向分布



(e) 各层进出风口中心水平截面温度、流向分布

图9 室外机位置2

Fig.9 Outdoor Unit Position2

从图9可以看出,当 W 增大至7m时,各台室外机进风温度均低于高温保护温度(43°C),可以正常运行。其中,1层整体进风温度略高于2层,这是由于1层排风受到2层排风的阻挡,部分排风

流向地面与进风混合后被多联机吸入。与位置1相比,同等宽度下位置2的进风温度大幅降低,这是由于天井左右两端的架空通道可以作为进出风面,这对室外机热环境的改善较为明显。从图9(d)可以看出,1层地面人员活动区的温度基本在 40°C 以上,将影响人员通行,经与建筑专业沟通后决定取消1层的室外机。

4 结论

综合以上模拟分析结果,本项目将室外机设置于位置2的2层和位置3,位置1无法使用,具体结论如下:

(1) 在常见的商业建筑层高情况下,对于同水平位置垂直布置的室外机位,顶层的导风筒贴梁,楼下各层的按导风筒路由最短的方式布置,有利于降低楼层间的相互影响。

(2) 对于如图2的室外机位形式,室外机单层并排布置时的间距不宜小于500mm、台数不宜大于6台,否则将导致进风温度明显升高。

(3) 对于位置1形式的四面围合的天井,增大室外机之间间距和天井进深方式的效果均有限,难以达到“进排风应通畅”,因此,在工程设计中应避免采用这种位置。

(4) 位置2的天井在左右两端有架空通道可以作为进风面,对室外机热环境改善较明显,在室外机满布时所需天井的最小宽度 W 为7m;考虑到对1层人员活动区的影响,建议取消1层的室外机。

参考文献:

- [1] ABDOLLAH A, EHSAN D. Optimum placement of condensing units of split-type air-conditioners by numerical simulation [J]. Energy and buildings, 2008,40: 1268-1272.
- [2] 周逢源,杨胜利,古辉豪,等.高层住宅空调室外机位设置探究[J].暖通空调,2023,53(3):75-80.
- [3] JGJ 174-2010,多联机空调系统工程技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [4] 黄生云,曹源,李恒,等.某超高层建筑多联机空调室外机方案 CFD 模拟及优化[J].暖通空调,2017,47(11):77-82.

(下转第 753 页)