

文章编号: 1671-6612 (2024) 02-257-05

严寒地区车库采用散热器地沟敷设供暖研究

高飞 邹秋生 岳安强 吴银萍 姚盼

(四川省建筑设计研究院有限公司 成都 610000)

【摘要】 在严寒、寒冷地区地面具有高大空间特点的停车库供暖问题上, 提出了一种不受外墙敷设空间影响的地沟散热器安装供暖方案, 并利用 Airpak 气流组织模拟手段, 对供暖方案的供暖效果进行计算。通过计算结果可知, 采用散热器地沟安装供暖方案, 散热器表面能够产生稳定的上升气流, 空气流动最大风速达到 0.47m/s, 车库内部整体温度能够达到采暖设计温度; 考虑外窗、外门及外墙内壁温度较低, 对于车库内部安装的直结冻管道、设备应适当保持一定距离。

【关键词】 车库供暖; 气流组织模拟; 散热器地沟安装; 温度分布

中图分类号 TU832.5+2 文献标志码 A

Study on Garage Heating by Radiator Gutter in Severe Cold Zone

Gao Fei Zou Qiusheng Yue Anqiang Wu Yiping Yao Pan

(Sichuan Provincial Architectural Design and Research Institute Co., Ltd, Chengdu, 610000)

【Abstract】 This paper presents a heating scheme for parking garages with high space on the ground in cold and cold areas, which is not affected by the outer wall laying space. The heating effect of the heating scheme is calculated by Airpak air flow organization simulation method. Through the calculation results, it can be seen that the radiator surface can produce stable updraft when the heating scheme is installed in the radiator trench. The maximum wind speed of air flow reaches 0.47m/s, and the overall temperature inside the garage can reach the heating design temperature. Due to the low temperature of the outer Windows, outer doors and outer walls, the frozen pipes and equipment installed inside the garage should be properly kept at a certain distance.

【Keywords】 Garage heating; Airflow structure simulation; Radiator gutter installation; Distribution of temperature

0 引言

随着我国汽车产销量的逐年增长, 中国已成为世界汽车产销第一大国, 并且汽车逐步向个性化、专用化、多样化等方向发展。按相关规定, 严寒地区机动车内应设集中采暖系统, 采暖室内计算温度在停车区域内应符合 5~10℃^[1]。为满足不同类型车辆的使用^[2], 车库净高要求一般在 4.20m 附近, 当有条件或车库设在地面上时, 车库高度可达到 6m 以上。对于车库采暖形式, 存在散热器、地面辐射、热风采暖以及燃气红外辐射采暖, 不同采暖方式各有特点^[3-6]。集中采暖地区多位于我国严寒、寒冷

型气候区, 最冷月平均温度 $\leq 0^{\circ}\text{C}$, 供暖小时数 HDD18 均在 2000h 以上^[7], 具有供暖负荷大、供暖时间长的特点。众多供暖方式中散热器供暖由于供暖效果及经济性方面的优势, 在部分项目中得以运用^[8]。

车库一般设置在建筑地下室区域, 负一层埋深大多在 4m 以下, 可借助土壤等保证车库内维持一定的温度^[9], 满足汽车及室内管网防冻需求^[10], 但对于建在地面以上的车库, 车库单侧进深一般处于 50m 以内, 属于易结冻区域^[11], 因此仍需供暖设施来提升室内温度。目前, 关于地上车库采用散热器

基金项目: 基于气流组织计算下关于舒适性空调设计关键技术研究 (KYYN2022234)

作者 (通讯作者) 简介: 高飞 (1993.10-), 男, 硕士研究生, 工程师, E-mail: SADIgaofei@163.com

收稿日期: 2023-10-23

供暖系统时, 优先推荐在靠近外墙窗台下^[12], 但对于地上车库, 常常在外墙上开设大面积、多个高大滑升门, 此时一般很难在靠近外墙外窗位置找到足够安装空间且保证散热器在室内均匀布置。为满足供暖效果, 设计者转而会借助热风供暖等方式来提升室内温度, 这类系统运行需要电力保证, 长期运行费用较高, 再者对于一些偏远、电力保证率不高地区, 适用性较差, 为解决这类情况, 笔者提出采用地沟敷设散热器的供暖方案, 可为安装受限的特殊场所供暖制定替代方案提供参考。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选取呼和浩特地区某一采用散热器供暖的汽车库作为研究对象, 建筑坐北朝南, 房间主要为汽车库停放使用, 结构形式为门式刚架结构, 屋面及外墙主体做法为夹心岩棉板, 具体详表 1。建筑面积为 1299.75m², 南北长为 29.7m, 东西长为 45.5m, 建筑檐口高度为 6.5m, 南侧有外门 5 扇, 尺寸为 7600mm×4500mm, 共占南侧外墙面积的 58%, 门的上部对应设有外窗, 用于自然排烟及通风使用, 尺寸为 8000mm×800mm, 共占南侧外墙面积的 10.8%, 南北向外门窗呈对称分布。研究对象为净高超过 6m 的高大空间, 进深、开间尺寸较大, 由于南北侧均存在大面积的外门, 散热器安装空间极大地受限, 仅允许在开间方向两侧布置散热器。

表 1 围护结构物性参数表

Table 1 Physical property parameter table of enclosure structure

围护结构名称	构造层次	传热系数 /[W/(m ² ·K)]
外墙	金属板+防水透汽膜+岩棉板(120mm)+隔汽层+金属板	0.35
外窗	断桥铝合金框 65 系列 5+6A+4+9A+5	2.20
屋顶	金属板+防水透汽膜+岩棉板(160mm) +隔汽层+金属板	0.26
外门	铝板+聚氨酯(40mm)+铝板	0.67

根据 GB 50736-2012《民用建筑供暖通风及空气调节设计规范》^[12]附录 A 查取呼和浩特市供暖室外计算温度为 -17.0℃, 冬季室外大气压力

901.2hPa, 对应空气密度为 1.226kg/m³。当车库室内供暖设计取 10℃时, 利用天正负荷计算软件, 计算时考虑建筑朝向修正, 高度修正, 不考虑冷风渗透, 得到研究对象各部分热负荷如表 2 所示。西侧紧贴相邻房间内墙, 暂不考虑墙体传热量, 外墙计算时面积为外墙本身面积, 负荷不含外墙上外窗及外门的负荷。

表 2 各围护结构热负荷统计

Table 2 Heat load statistics of each enclosure structure

围护结构名称	朝向	面积 /m ²	热负荷 /W	负荷指标/ (W/m ²)
外墙	北向	90.9	1135	12.5
	东向	191.1	2157	11.3
	南向	90.9	864	9.5
外窗	北向	32.5	2080	64.0
	南向	32.5	1545	47.5
屋顶	——	1299.8	9124	7.0
外门	北向	171	3250	19.0
	南向	171	2475	14.5

1.2 研究方法

在模拟阶段所选用的软件为 Fluent 旗下专门面向暖通专业处理建筑环境的分析软件 Airpak 软件。它在处理暖通专业室内热湿环境时, 通过准确的建模功能、网格划分功能、计算求解功能以及可视后处理功能等为用户提供了简明准确的结果^[13]。

数值计算过程所需要的流体流动及换热的基本控制方程主要包括质量守恒方程(连续性方程)、动量守恒方程(N-S 方程)、能量守恒方程等。计算模型采用室内零方程湍流模型, 模型的基本思想是将湍流黏度归结为当地平均速度和长度尺度的函数, 模型需要的计算资源较少。该模型适用于考虑自然对流、强制对流、混合对流和置换通风的室内空气流动预测。室内零方程模型计算湍流黏性 μ 的表达式如下:

$$\mu = 0.03874 \rho \nu L \tag{1}$$

式中: ν 为当地平均速度, m/s; ρ 为流体密度, kg/m³; L 为定义为与最近壁面的距离, m; 0.03874 为经验常数。

室内气体在流动过程中, 在边界层上会产生对流换热, 其对流换热系数可根据式(2)计算:

$$h = \frac{\mu_{eff} c_p}{Pr_{eff} \Delta x_j} \tag{2}$$

式中: c_p 为流体的定压比热容, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; Pr_{eff} 为有效普朗特数; Δx_j 为与边界相邻的网格间距; μ_{eff} 为有效黏性系数, $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ 。

有效黏性系数由式 (3) 计算:

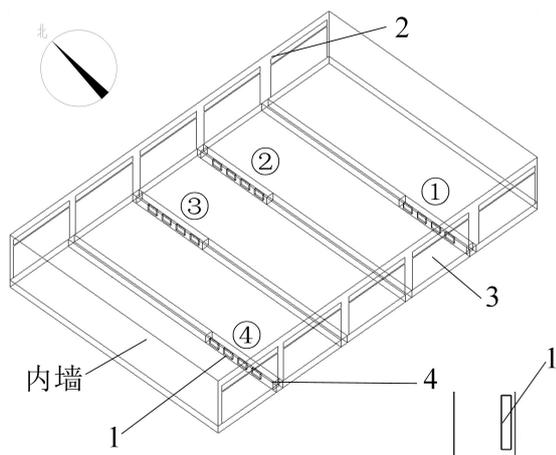
$$\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_i \quad (3)$$

式中: μ 为流体分子的黏性系数, $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ 。

2 模型建立

2.1 物理模型

根据 1.1 中的研究对象, 采用 Airpak 中的空心块建立不同工况条件下的散热器, 用墙体分别建立建筑周围墙体、地面、屋顶。利用软件属性覆盖的功能, 分别在南北侧外墙上建立外门、外窗。采用空心块建立地面以下的地沟, 形成散热器地沟摆放方案。考虑室内温度分布均匀结合现场安装空间, 如图 1 给出了房间中部地沟安装方案, 由于散热器安装在地沟中, 需在一侧保留一定的安装及检修空间, 因此选择贴着地沟一侧墙壁敷设散热器。地沟中共放置 4 组散热器, 并用编号①~④标识。



1-散热器; 2-外窗; 3-外门; 4-地沟

图 1 散热器地沟安装供暖模型

Fig.1 Heating model of radiator gutter installation

2.2 边界条件

散热器供暖功率参照国标图集 17K408, 选用铸铁 TZ4-600-8 在室内 10°C 时, 通过修正单片散热量为 $78.5\text{W}/\text{片}$, 一组 20 片对应的散热功率为 1570W 。根据负荷计算, 当室内采暖设计温度取 10°C 时, 房间总的热负荷为 23703W , 得到房间供暖需安装 15 组散热器, 将编号①~③中的 4 组散热器及编号④中靠近外墙的 3 组散热器发热功率设定为 1570W 。上述模型中的外墙、屋顶、外窗、

外门都给定第二类边界条件, 各自对应热流密度详表 2。地面、内墙统一设为绝热表面, 忽略室内设备、人员的散热。

2.3 数学模型

根据所研究问题的特点及前人的研究成果, 本文采用室内零方程湍流模型和多表面辐射模型对车库进行模拟。进行室内流场模型简化过程中, 忽略影响较小的因素, 具体如下: (1) 假设房间为封闭空间, 不考虑空气渗透等影响; (2) 假设房间墙壁、门窗为定热流密度; (3) 假设对太阳辐射及房间内的物体表面传热不进行考虑; (4) 假设房间内空气为粘性不可压缩气体且稳态湍流流动; (5) 忽略室内设备、人员的散热。

采用六边形非结构化网格, 通过控制不同空间方向上的最大尺寸生成网格, 对散热器处气流变化比较剧烈的地方进行局部加密。

计算各散热器及各表面间角系数时, 采用半立方体 (Hemicube) 方法, 细化级别选用 7 级, 计算得到各换热表面之间的角系数。

考虑网格大小对计算结果的影响, 对不同网格级别计算结果进行了相关比较。根据比较结果, 结合 1.1 节中的设计温度 (10°C) 及各围护结构负荷 (表 2), 最终将网格划分的最大尺寸定为相应方向上房间尺寸的 $1/20$ 左右, 对应网格数量为 167672, 网格质量较好, 无高度严重扭曲, 整体质量接近 1。

3 计算结果与分析

3.1 地沟中散热器附近的空气流动分布

图 2 给出了散热器附近的空气流动矢量图。由于散热器加热了紧贴其表面附近的空气, 加热后的热空气形成了较好地向上浮动, 散热器与较远一侧地沟壁面间空气温度相对较低, 自然形成了冷空气的下沉, 在地沟中形成了较好地空气对流换热; 通过模拟结果可知, 该种方式下, 散热器附近的空气流速最高, 达到了 0.47m/s ; 由于散热器周围空气主要依靠散热器加热周围空气形成的热压作用进行上浮, 上浮过程卷吸周围空气, 从而导致空气流速在散热器正上方随着离地距离增加而逐渐降低, 车库顶部附近的风速处于 0.18m/s 附近。同时由于空气热压作用对车库内空气的扰动不如强制换热明显, 因此偏离散热器正上方的空气流速均较低,

大致在 0.06m/s，局部区域出现空气停滞状态。

由于车库供暖的主要目的是汽车和消防系统防冻，室内环境主要为温度控制，因而下文重点探讨供暖方案下的室内温度分布。分别提取建筑内部不同条件下的温度分布特点来进行分析。

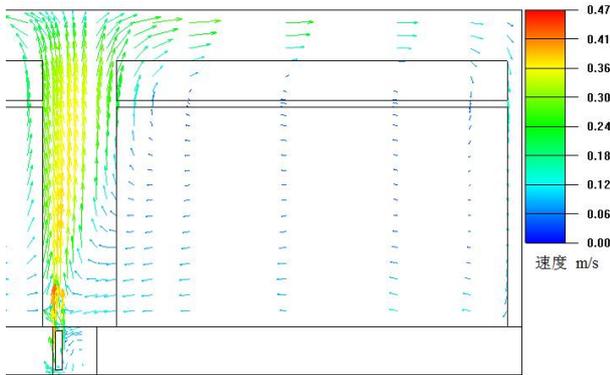


图 2 散热器附近空气流动状态

Fig.2 Air flow near the radiator

3.2 供暖车库不同剖面上的温度分布

图 3 给出了车库开间方向上，车库中间位置的温度分布剖面图，图左侧为车库东向部分。从图中可以看出，当散热器向车库供暖一定时间后，车库内整体温度升高，车库内空气温度大致在 11.44℃ 附近，贴近屋顶、东向外墙内壁的空气温度在 10.56℃ 左右；在空气热压作用下，车库内的空气

温度出现了上下分层，随着离地高度增加，空气层温度逐渐升高，贴近围护结构壁面时，由于壁面对外散热的影响，温度出现了明显降低；编号②、③散热器在北向外墙中部相对集中，局部空气同时受到两组散热器进行加热，导致位于中间部分的空气出现了较高温度梯度，通过热压上浮的热空气范围分布区域更大，上部局部区域空气温度明显高于车库内周围部分，最高温度达到 12.92℃；编号④靠房间内侧散热器计算时散热功率为 0W，因此高温范围相比车库东侧较小，但靠近西侧内墙位置，由于与室外环境无热量交换，计算时默认热流密度为 0W/m²，从而温度明显高于东侧。图 4 给出了车库进深方向上，车库中间位置的温度分布剖面图，图左侧为车库北向部分。由图可知，在进深方向上，车库内的温度大多为 12.5℃ 附近，可满足车库内的采暖需求，仅在外墙、屋顶出现较低温度，由于外窗散热量较大（对应热流密度为 64W/m²），局部位置达到了 8.38℃，对于车库内易结冻设备、管件可安装在离散热器较近区域，避免紧贴外窗、外门等位置；剖面左侧所在位置处于编号②、③之间，局部区域受到编号②、③中 8 组散热器加热叠加的作用，车库北向部分的温度梯度大，且对应温度高，靠近外墙附近冷空气下沉，从而导致外墙附近空气对流作用明显。

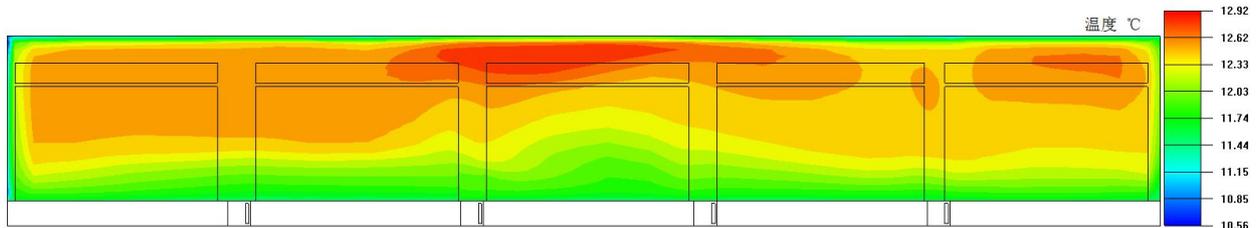


图 3 车库开间方向中间位置剖面图

Fig.3 Section view of the middle position in the direction of the garage opening

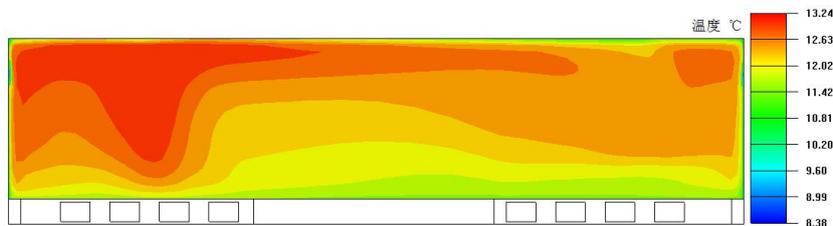


图 4 车库进深方向中间位置剖面图

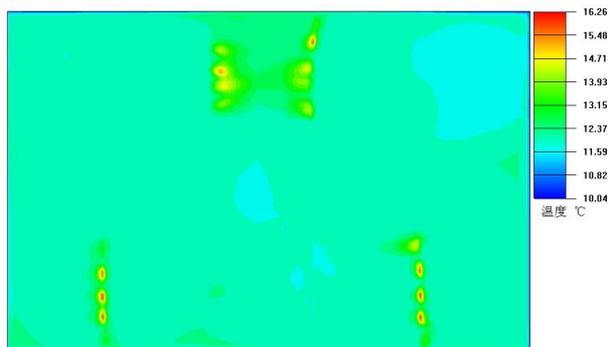
Fig.4 Section view of the middle of the garage depth

3.3 供暖车库不同高度上的温度分布

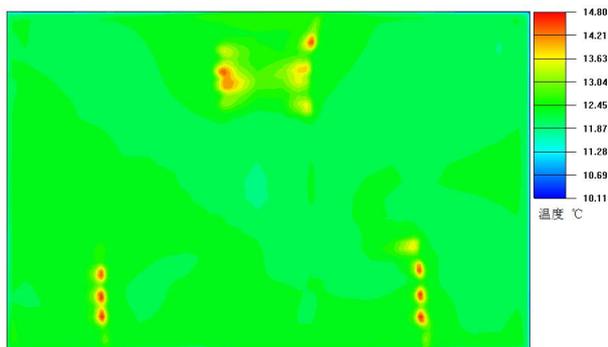
图 5 分别给出了车库内 1.1m、1.7m、2.4m 高

度上的温度分布。由图可知，车库内三个高度上的温度分布相对均匀，仅在散热器附近区域内出现较

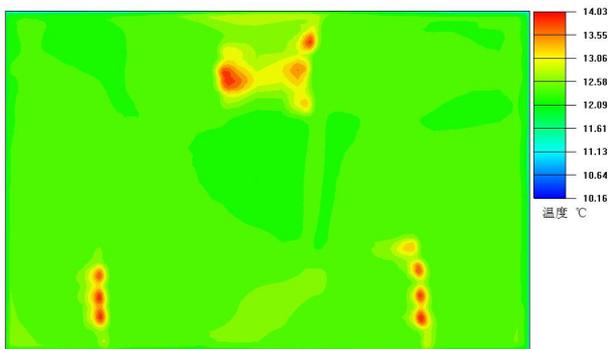
大温度梯度及升高; 由于空气热压作用, 随着离地高度增加, 车库内的整体温度增加, 散热器正上方区域, 高温范围变化最为明显; 图 5 (a) 中, 由于与散热器相距较远及围护结构散热影响, 车库东北角区域出现了空气温度较低区域, 通过本研究中散热器供暖室内空气分布规律的了解, 该问题采用优化散热器在车库内的均匀布置, 如针对房间宜出现较低温度的区域放置散热器或散热器安装相对靠近进行解决。



(a) 车库内离地 1.1m 高度上的温度分布



(b) 车库内离地 1.7m 高度上的温度分布



(c) 车库内离地 2.4m 高度上的温度分布

图 5 车库内离地 1.1m、1.7m、2.4m 高度上的温度分布

Fig.5 Temperature distribution at the height of 1.1m, 1.7m and 2.4m above the ground in the garage

表 3 给出了车库内 0.1m、1.1m、1.7m 及 2.4m 四个高度上的温度统计结果。从表中数据可以看出, 不同高度的空气温度均达到了供暖设计温度; 随着离地高度增加, 空气平均温度逐渐增加, 由 0.1m 高度对应的 11.80°C 增加到 2.4m 高度对应的 12.50°C, 增加了 0.70°C; 由于离地越近, 受散热器正上方较高温度的影响, 车库下部高度的空气分布均匀性差, 经计算得到的 0.1m 高度上空气温度标准差明显高于 2.4m 高度对应的标准差。由于车库内温度分布的特点, 人在内部行走时, 会有忽冷忽热的不舒适感^[14], 但对于车库防冻等, 该种散热器布置方案已能达到供暖要求。

表 3 不同高度的温度情况

Table 3 Temperature at different altitudes

位置	最小值	最大值	平均值	标准差
0.1m	10.16	25.31	11.80	0.80
1.1m	10.04	16.26	12.20	0.34
1.7m	10.11	14.80	12.40	0.28
2.4m	10.16	14.03	12.50	0.24

4 结论

本研究针对建于地面以上的高大空间类型的车库提出了一种地沟散热器供暖方案, 并运用气流组织模拟的手段对供暖效果进行了模拟分析, 可得到以下结论:

(1) 在车库中, 采用散热器地沟辐射方案, 利用空气热压形成自然对流, 车库内不同高度的温度分布较为均匀, 仅在较低高度较小范围内出现低温区域, 整体可实现车库内部防冻需求。

(2) 根据模拟结果, 车库采用散热器供暖时, 随着离地高度的增加, 不同高度上的空气平均温度升高, 温度分布越趋于均匀。

(3) 车库内易结冻设备部件及水管应避免布置于贴近外窗、外门及周围外墙附近。

参考文献:

[1] JGJ 100-2015, 车库建筑设计规范[S].北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
 [2] 闫志强. 我国车辆分类方法和标准研究与分析[D]. 大连: 大连理工大学, 2015.

- 结构的数值仿真研究[J].储能科学与技术,2022,11(5):1608-1616.
- [17] Grujicic M, Zhao C L, Dusel E C. The effect of thermal contact resistance on heat management in the electronic packaging[J]. Applied Surface Science, 2005,246(1-3):290-302.
- [18] 田瑞华.相变材料热管理下锂离子动力电池热失控传播过程数值分析[D].武汉:华中科技大学,2017.
- [19] Rui X, Feng X, Wang H, et al. Synergistic effect of insulation and liquid cooling on mitigating the thermal runaway propagation in lithium-ion battery module[J]. Applied Thermal Engineering, 2021,199:117521
- [20] 凌子夜.基于膨胀石墨基复合相变材料的动力电池热管理系统性能研究[D].广州:华南理工大学,2017.

(上接第 261 页)

- [3] 黄保民,朱建章.铁路动车库高大空间采暖系统方案研究[C].中国铁道学会.铁路暖通空调专业 2006 年学术交流会议论文集,2006:76-79.
- [4] 马莉莉.严寒地区地下车库采暖及通风问题[J].建材世界,2013,34(6):54-56.
- [5] 邹亚平.地铁机车库燃气辐射采暖节能研究[D].天津:天津大学,2007.
- [6] 胡贤忠,姜怡如.采用废热供暖的车库地面防结露方法[J].建筑热能通风空调,2012,31(1):89-91.
- [7] GB 50176-2016,民用建筑热工设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [8] 解勇,桑海龙,于晓明.某医院门诊医技综合楼暖通空调系统设计及实测运行数据分析[J].暖通空调,2018,48(4):42-45,56.
- [9] 李兆坚,刘鹰,张晓航,等.北京市无供暖地下车库冬季温度的测试分析[J].暖通空调,2010,40(1):4-7,25.
- [10] 米长虹,孔维一,姚晨,等.无集中供暖车库现状调查与供水安全[J].低温建筑技术,2022,44(2):63-66,71.
- [11] 米长虹,李弘,孙化文,等.严寒地区无集中供暖车库现状及防冻策略[J].低温建筑技术,2021,43(7):19-21,25.
- [12] GB 50736-2012,民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [13] 马杰,孙铁柱,何沛霖.基于 Airpak 的西安地区间接蒸发冷却冷水机组排风对进风影响分析[J].制冷与空调,2023,37(2):297-304.
- [14] Ergonomics of the Thermal Environment-Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria (BS EN ISO 7730-2005)[S]. British: Authority of the Standards Policy and Strategy Committee, 2006.