

文章编号:0253-4339(2019)03-0060-06
doi:10.3969/j.issn.0253-4339.2019.03.060

变风量空调房间温度传感器最佳位置预测

闫秀英¹ 翟志伟²

(1 西安建筑科技大学建筑设备科学与工程学院 西安 710055; 2 西安建筑科技大学信息与控制工程学院 西安 710055)

摘 要 空调房间的温控器通常安装在门口附近墙壁上,其测量值并不能完全代表室内温度,以此值为反馈进行房间温度控制常常无法满足房间控制要求。本文通过在空调房间不同垂直、水平位置布置温度和风速测点,获得的测量值计算其有效吹风温度。采用修正误差学习的加权融合算法得到房间融合有效吹风温度,综合研究融合有效吹风温度控制作用下,送风量对室内有效吹风温度、热舒适性及空调系统能耗的影响。结果表明:设计风量为 70%时,室内高度为 1.5 m 处测点的有效吹风温度为-1.7~1.1℃,空气分布特性指标为 100%,此点为最佳传感器安装位置。

关键词 变风量空调;有效吹风温度;数据融合;舒适性

中图分类号:TB61⁺1; TU831.1; TU831.6 **文献标识码**:A

Optimum Position of Room Temperature Sensor for Variable Air Volume Air-conditioning System

Yan Xiuying¹ Zhai Zhiwei²

(1.School of Building Services Science and Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, 710055, China; 2.School of Information and Control Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, 710055, China)

Abstract The temperature field of indoor space is non-uniform, and the temperature measurements at different locations are usually different. The thermostat is usually installed on the wall near the door in air-conditioned room, and the measured temperature does not always represent the temperature of the working area. Moreover, the requirement in working area cannot be met under the room temperature is controlled with this measured value as feedback. In this paper, the effective draft temperatures of all the measuring points was obtained by setting multiple temperature and wind speed measuring points in the horizontal plane at different vertical heights in the air conditioned room. Then, the weighted fusion algorithm based on modified error learning was used to fuse and analyze the sampled data, and the indoor fusion effective draft temperature was obtained. The influence of the variation in air volume on the indoor effective draft temperature, indoor thermal comfort, and energy consumption of the air-conditioning system under the control of fusion effective draft temperature were studied. The experimental results show that at the height of 1.5 m, the effective draft temperature and air diffusion performance index of the measuring point was -1.7℃ to 1.1℃ and 100%, respectively, when the design air supply volume was 70%, which could be the optimal sensor installation position.

Keywords variable air volume air conditioning; effective draft temperature; data fusion; comfort

对空调系统而言,室内传感器测量值直接反映了房间环境参数的变化,变风量空调系统通过末端装置调节每个房间的送风量,引起房间温度场和速度场变化,从而影响室内空气分布均匀性、人员舒适性及空调系统能耗^[1-2]。实际工程中室内传感器大多安装在门口等便于用户观察操作的位置,其测量值不能准确反映房间的真实情况,依据其进行的末端系统控制

不利于满足空调房间人员的舒适性要求,对空调系统的控制优化与节能有重要影响。

目前,国内外关于空调系统室内传感器位置优化的研究很多。A. D. Fontanini 等^[3]利用动力学系统方法跟踪计算室内污染物数量,对封闭环境的传感器进行了优化布置,确定室内传感器位置、响应时间及传感器数量,同时评估了室内空气质量。王文修

基金项目:国家自然科学基金(51508446)资助项目。(The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 51508446).)

收稿日期:2018-05-08;修回日期:2018-09-17

等^[4]分析风量传感器布置对风量传感特性的影响,通过优化传感器布置提高末端装置风量传感特性,为变风量空调末端装置的改造提供了参考。Liu Yanzheng 等^[5]利用 CFD(计算流体动力学)仿真软件在机械通风条件下模拟温室内温度分布,以确定最佳传感器布置方式,结果表明,最佳传感器布置在温室中间,可以降低测量值与参考值的偏差,但此处不利于传感器的安装施工。M. Arnesano 等^[6]开发了传感器优化单元,以传感器测量性能为指标,优化了大空间运动场馆最佳温度传感器安装位置。孙占鹏等^[7]设计了一种基于多传感器的室内环境监测系统,对室内空气各参数进行实时监测。曾令杰等^[8]利用遗传算法优化传感器的布置,优化后的方案可使传感器在风系统向室内输送的污染物质最小时监测到污染物,及时发出预警信息。葛宣鸣等^[9]利用 TRNSYS 和 FLUENT 协同仿真平台,对比多传感器控制策略及传统单传感器控制策略下空调系统能耗及热舒适性情况,得出基于多传感器控制策略可以改善人体热舒适性环境。Du Zhimin 等^[10]通过 CFD-BES 协同仿真平台,综合考虑空调系统能耗和预测平均投票数即 PMV(predicted mean vote)优化室内温度传感器布置方案,得出温度传感器布置在回风口附近不利于变风量末端控制器的优化控制。

国内外多数研究集中于多传感器的监测、仿真;对单传感器测点的研究仅找出了不利测点,对单传感器的最佳测点位置目前还没有较好的解决方法。实际中,为减少造价,小面积办公、住宅楼等建筑内,一个房间多采用单个传感器,其最佳安装位置很关键,需进一步探索研究。

针对以上问题,本文综合考虑室内温度、风速对空调室内人员舒适性及系统节能性的影响,采用基于修正误差学习的加权融合算法对室内多个测点传感器测量的数据进行融合,分析变风量中央空调系统不同室内测点的有效吹风温度、空气分布特性指标(air diffusion performance index, ADPI)及系统能耗情况,研究变风量空调系统室内传感器最佳检测点,并确定室内传感器最合适的安装位置,提高末端装置控制效果,改善室内环境品质。

1 基于修正误差学习的加权融合算法

基于修正误差学习的加权融合算法,是对基于神经网络的多传感加权融合算法^[11]的进一步改进,该方法首先对传感器多次采样数据求均值,同时确定各传感器测量值的计算权值,最后通过均值与权值相乘获得融合结果,增大融合结果的可靠性,图 1

所示为该方法的算法流程。有 x 个传感器对房间内温度、风速进行测量,得到温度和风速分别为 $t_1, t_2, \dots, t_x; v_1, v_2, \dots, v_x$,进而可计算有效吹风温度,再将计算值进行基于信任度的预处理和修正误差学习权值匹配,然后加权融合,最终获得一个融合值,计算过程如下。



图 1 基于修正误差学习的加权融合算法

Fig.1 Weighted fusion algorithm based on modified error learning

1) 有效吹风温度:

$$\theta = (t_x - t_r) - 7.8(v_x - 0.15) \quad (1)$$

式中: θ 为有效吹风温度, $^{\circ}\text{C}$; t_x 为室内测点 x 的空气温度, $^{\circ}\text{C}$; t_r 为室内平均温度, $^{\circ}\text{C}$; v_x 为室内测点 x 的空气风速, m/s 。

2) 权值匹配

实际测量中个别传感器出现的数据偏离会降低融合精度。应先对计算结果进行相关性分析和基于信任度的一致性检验,剔除异常结果^[12],此过程称为一次处理。

设 x 个传感器一次处理后的测量值为 y_{i1} , 均值 $\bar{y}_{11}$ 为:

$$\bar{y}_{11} = \frac{1}{x} \sum_{i=1}^x y_{i1} \quad (2)$$

第 i 个传感器的测量方差 σ_{i1}^2 为:

$$\sigma_{i1}^2 = D(y_{i1} - \theta_0) = E[(y_{i1} - \theta_0)^2] \quad (3)$$

测量真值 θ_0 是无法得到的,用 θ_0 的无偏估计 $\bar{y}_{11}$

代替,传感器 i 的一次方差估计值 $\hat{\sigma}_{i1}^2$ 为:

$$\hat{\sigma}_{i1}^2 = E[(y_{i1} - \bar{y}_{11})^2] = E[(y_{i1} - \frac{1}{x} \sum_{j=1}^x y_{j1})^2] \quad (4)$$

$$\sigma_i^2 = \begin{cases} \hat{\sigma}_{il}^2 = E[(y_{il} - \bar{y}_{1l})^2], m = 1 \\ \frac{m-1}{m} \sigma_{i(m-1)}^2 + \frac{1}{m} (y_{im} - \sum_{j=1}^x y_{jm})^2, m > 1 \end{cases} \quad (5)$$

式中: m 为各个传感器的采样次数。
引入学习因子 $\lambda, \lambda = 1/m$, 则式(5)变为:

$$\delta_i^2 = \begin{cases} \hat{\sigma}_{il}^2 = E[(y_{il} - \bar{y}_1)^2], m = 1 \\ (1 - \lambda) \sigma_{i(m-1)}^2 + \lambda (y_{im} - \sum_{i=1}^x y_{im})^2, m > 1 \end{cases} \quad (6)$$

随着采样次数 m 的增加, 传感器方差趋于稳定值, 各传感器权值为:

$$w_i = \frac{1}{\left(\delta_i^2 \sum_{i=1}^x \frac{1}{\delta_i^2} \right)} \quad (7)$$

各个传感器 m 次历史数据的均值 y_i 为:

$$y_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_{im} \quad (8)$$

通过式(7)和式(8)获得各传感器的权值和均值分别为 $w_1, w_2 \cdots w_x; y_1, y_2 \cdots y_x$, 再通过式(9)获得传感器的融合值 θ' :

$$\begin{cases} \theta' = \sum_{i=1}^x w_i y_i \\ \sum_{i=1}^x w_i = 1 \end{cases} \quad (9)$$

2 室内温度传感器测点优化

通常房间内气流分布不均匀, 室内传感器安装位置不同, 测量值会有差异, 以此为依据进行房间温度控制会因测点不同影响房间温度调节效果。因此, 室内温度传感器测点研究时考虑了如下几点:

1) 由于室内存在热源, 且送风温度与房间温度的不同, 在垂直方向将产生温度梯度。按照标准 ISO 7730^[13], 在舒适范围内, 工作区内的地面上方 0.1 m 和 1.1 m 之间的温差应不大于 3℃ (考虑坐着工作的情况); 标准 ASHRAE 55—1992^[14] 建议地面上方 0.1 m 和 1.8 m 之间的温差应不大于 3℃ (考虑站立工作的情况)。从可靠性角度, 垂直温度梯度宜采用后者的控制指标。

2) 测量室内空气温度和风速时, 按照标准 ANSI/ASHRAE 55—2013^[15] 建议, 考虑人员坐着工作的情况, 在工作区的地面上方 0.1 m (脚踝)、0.6 m (手腕) 和 1.1 m (头部) 等处的空气温度和风速; 同样考虑了人站立工作的情况, 0.1 m (脚踝)、1.1 m (手腕) 和 1.7 m (头部) 等处的空气温度和风速。从可靠性

角度, 选择传感器布置高度为: 0.75、1.1、1.3、1.5、1.7、1.9 m。

3) 房间送风口和回风口处的空气温度和流速变化较为剧烈, 应避免在此附近布置传感器; 考虑到围护结构的辐射作用, 传感器布置应与围护结构保持一定距离。

室内多传感器测点研究平台由不同长度的可伸缩方形不锈钢管、底轮、翼型螺丝、钢丝及三脚架等组成, 如图 2 所示。G1、C1、K1 为可伸缩方形不锈钢管。G1 由两节长度为 1.20 m 的可伸缩管组成, 最大可伸缩至 2.40 m; C1 由 4 节长度为 0.60 m 的可伸缩管组成, 最大可伸缩至 2.40 m; K1 由 4 节长度为 1.30 m 的可伸缩管组成, 最大可伸缩至 2.60 m。框架底部 4 个角各安装一个底轮, 有利于调整研究平台在房间内的位置。框架的最低水平面为 0.10 m。

图 3 所示为传感器平面布置示意图。将研究平

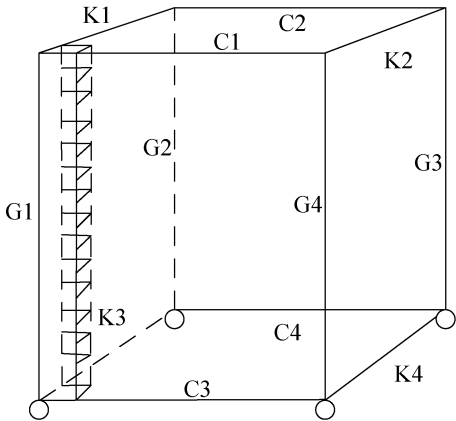
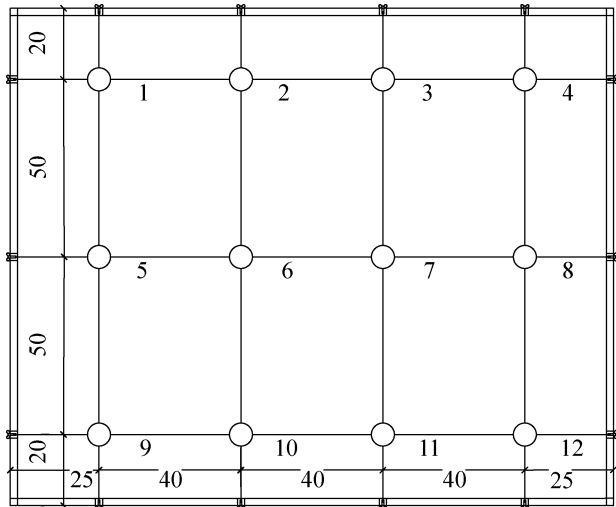


图 2 多传感器测点研究平台

Fig.2 The multi-sensor measurement research platform



1~12 为温度、风速测点。

图 3 传感器平面布置示意图 (单位: cm)

Fig.3 Schematic plan of sensor layout

台整体框架的长×宽×高调整为 1.7 m×1.4 m×2 m, 分别选垂直方向高度 0.75、1.1、1.3、1.5、1.7、1.9 m 进行实验。以 1.9 m 高度的平面为例,在长和宽分别距框架两端为 25 cm 和 20 cm 处做标记,传感器长和宽的间隔分别为 40 cm 和 50 cm,在此平面形成网格,传感器即位于网格十字交叉处,共 12 个。

对室内温度、风速进行采样时,涉及大量实验,传感器的精度会影响最终有效吹风温度的计算,最终选取 HT10 温度传感器和 HD103T 风速传感器,以满足实验要求。传感器参数如表 1 所示。

表 1 传感器参数
Tab.1 Sensor parameter

名称	型号	测量 单位	测量 范围	精度	分辨率	接线 方式
温度传感器	HT10	℃	-20~80	0.4	0.1	二线制
风速传感器	HD103T	m/s	0~5	0.2	0.03	三线制

3 实验分析

在西安建筑科技大学变风量空调系统进行实验研究,该空调系统由 2 台冷水机组、1 台辅助电加热器、1 台变频冷冻水泵二次泵、3 台冷冻水泵一次泵、3 台冷却水泵、1 台冷却塔、2 台空气处理机组(AHU)和 6 个 VAVBOX 组成,其中风系统由风机、过滤器、表冷器、加湿器,送回风管道组成,并配备末端再热装置。建筑面积约为 135 m²,空调面积约为 36 m²,根据空调的实际运行情况,通过保温彩钢板搭建模拟 6 个空调房间,用于反馈空调的使用效果,其中空调机组 1 连接 Room1~Room4,空调机组 2 连接 Room5~Room6。针对本文有效吹风温度计算需通过房间空调区域实测各点的空气温度和风速确定,随机选取空调房间 Room5 为研究对象,进行室内温度传感器、风速传感器的布置。实验工况选 40%~100%的设计风量,逐步改变房间送风量大小,进行室内多传感器测点实验,室内通过增加一台 1 kW 的小太阳取暖器来模拟房间的负荷变化。实验工况如表 2 所示,房间温度均为 15 ℃,末端风量设定值分别取为最大设计风量的 40%~100%。后文描述的送风量百分比均指送风量设定值。由表 2 可知,由于机械部件耗损与传感器误差等多种原因,末端风量实测值不完全等于设定值。

3.1 室内有效吹风温度分布分析

有效吹风温度 θ 用于判断空调房间内任何一点是否有吹风感,当 θ 在 -1.7~1.1 ℃ 之间时,大多数

人会感到舒适^[15]。通过对选取不同高度上测点处的温度、风速采样值进行处理,得到 Room5 在不同工况及不同高度平面的室内 θ 分布。当送风量为 40% 的最大设计风量时,无法满足室内负荷要求,房间温度不断升高, $\theta=1.7\sim3.1$ ℃,均不符合要求。当送风量增至 50% 的最大设计风量时,房间温度降低, $\theta=0.9\sim2.7$ ℃,其中符合要求的 θ 数量随所选择室内平面高度的增大而增加。当送风量增至 60%~80% 的最大设计风量时,达到室内负荷要求,房间温度降低明显,风速不断增大,符合要求的 θ 数量持续增加,其中位于室内平面高度 1.5 m 处的数量最多。当送风量达到 90%~100% 的最大设计风量时,送风量大量超出室内负荷要求,导致房间温度急剧降低,风速迅速变大,满足 θ 要求的数量快速减少,满足要求的点多位于房间 1.1 m 以下。对比分析 7 种不同工况、不同高度平面室内 θ ,选取平面位于 1.5 m 处且工况为 C、D 及 E 的采样数据进行多传感器数据融合分析。

表 2 室内有效吹风温度实验工况

Tab.2 Experimental conditions of indoor effective air blast temperature

工况	末端风量设定值/ %	末端送风量/ (m ³ /h)	房间风速/ (m/s)
A	40	197	0.48
B	50	259	0.86
C	60	308	0.96
D	70	335	1.51
E	80	376	1.79
F	90	401	2.18
G	100	418	2.51

3.2 室内热舒适性分析

ADPI 用于评价整个空调房间的气流分布,反映了空调区气流分布带来的影响^[17]。ADPI 值越大,说明感到舒适的人群比例越大,ADPI 的最大值为 100%。其计算如式(10):

ADPI=
$$\frac{\text{满足条件}(-1.7<\theta<+1.1)\text{的测点数}}{\text{总测点数}}\times100\%$$

(10)

通过式(10)可以得到不同工况下室内空气分布特性指标,如表 3 所示。

由表 3 可知,室内不同高度的 ADPI 不同,不同工况下,ADPI 随送风量变化而变化。表 3 中阴影代

表 ADPI $\geq 80\%$ 的情况,即认为空调房间内气流分布是令人满意的。当送风量为 40% 和 100% 时,室内不同高度处的 ADPI 最小,即感到舒适的人群比例最小。当送风量为 50% 和 90% 时,只有高度为 1.9 m 和 0.75 m 处的 ADPI 大于 80%。当送风量为 60% 时,ADPI 大于 80%集中于高度为 1.9 m 和 1.7 m 处。当送风量为 70%~80% 时,ADPI 大于 80%的平面最多,即室内气流分布令人满意的平面最多。因此,进行多传感器数据融合分析时,对 1.5 m 平面工况为 D 和 E 下进行数据采样研究。

表 3 不同平面处不同送风量对应的 ADPI(单位:%)

Tab.3 ADPI for different air volumes at different levels

工况 高度/m	A	B	C	D	E	F	G
1.9	0	83	100	58	33	0	0
1.7	0	33	92	83	50	0	0
1.5	0	17	75	100	100	25	0
1.3	0	17	42	100	92	17	0
1.1	0	8	25	83	83	42	0
0.75	0	0	8	17	17	83	33

3.3 空调系统能耗分析

不同工况下,通过调节末端风阀改变 Room5 的送风量进行房间温度调节,同时单个房间送风量的改变影响系统总送风量的变化,引起风机频率的变

化进而影响风机能耗。风系统输送负荷的变化会引起水系统负荷变化,影响空调系统总能耗。不同工况下空调系统能耗如图 4 所示,空调系统总能耗由风系统能耗和水系统能耗组成,风机能耗会随送风量的增大而增大,即风系统能耗增大,同时冷负荷增加,为满足系统负荷要求,水系统需增加相应负荷。

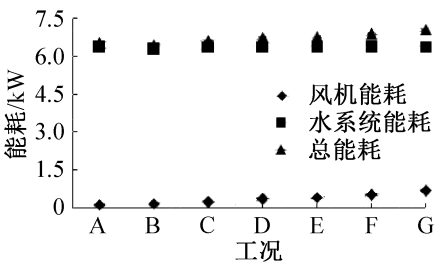


图 4 不同工况下空调系统能耗

Fig.4 Energy consumption of air-conditioning system under different conditions

3.4 多传感器数据融合结果分析

不同工况下,对室内不同高度平面的 θ 、ADPI 及空调系统能耗进行分析,选取 1.5 m 平面处的工况 D 进行数据采样和基于修正误差学习的加权融合计算。通过式(7)对各测点 200 次采样时 12 个传感器的权值计算,得到权值如表 4 所示。其中权值 $w_1=0.151$,在 12 个计算权值中最大,说明温度传感器 1 和风速传感器 1 的测量值得到的 θ 在平面位于 1.5 m 处且工况为 D 时所占的权重最大。

表 4 不同平面处不同送风量对应的 ADPI

Tab.4 Multi-sensor fusion computing weight

权值编号	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}	w_{11}	w_{12}
权值大小	0.151	0.028	0.158	0.128	0.062	0.128	0.059	0.015	0.123	0.023	0.072	0.052

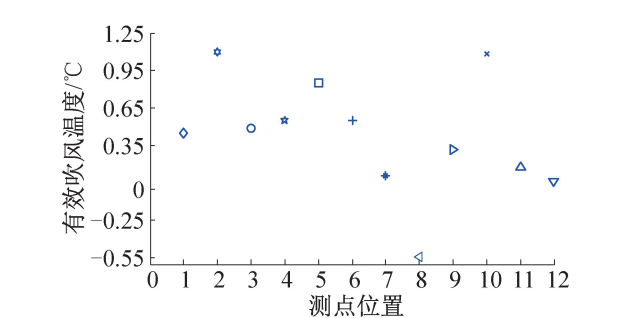


图 5 各测点有效吹风温度

Fig.5 The detection-point's effective draft temperature

在选取的实验工况下对 12 个测点进行 200 次采样,得到各测点有效吹风温度如图 5 所示。进一步采

用基于修正误差学习的融合算法得到测点融合值 $\theta'=0.39$ 。由图 5 可知,测点 1 处 $\theta=0.45\text{ }^{\circ}\text{C}$,与融合值最接近。因此,综合考虑测点处的计算权值和融合结果,可知在测点 1 位置进行室内传感器安装更合理。实际中,房间中心无合适的安装位置,需找出适宜安装的位置与它的映射关系,即可找到最佳的映射安装位置。

4 结论

为寻找室内温控器合理的安装位置,研究了不同工况下,传感器测点对室内有效吹风温度、室内热舒适性及空调系统能耗的影响,最终选取平面位于高

1.5 m 且工况为 D 时的室内温度、风速参数,并采用基于修正误差学习的加权融合算法进行了有效吹风温度数据融合。得到如下结论:

1) 当末端送风量为 $335 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,空调系统能耗增幅较小,房间气流分布令人满意,融合得到室内最佳有效吹风温度值。

2) 以室内最佳测点的测量值进行房间温度调控有利于保持室内人员热舒适性,同时提高了空调系统的节能性。

3) 融合得到的最佳测点位于房间中部悬空处,不满足实际施工要求,需进一步研究融合测点与其他便于施工位置点的映射关系,找到最佳测点的等效点,实现其工程应用价值。

本文受陕西省重点研发计划项目(2017ZDXM-GY-025)和陕西省科技厅专项科研项目(2017JM6106)资助。(The project was supported by Shaanxi Province Key R & D Project(No. 2017ZDXM-GY-025) and Special Research Projects of Shaanxi Science and Technology Department(No.2017JM6106).)

参考文献

[1] 狄育慧,王善聪. 动态条件下不同气流组织形式对人体热舒适的影响[J].暖通空调,2014,44(8):106-109.(DI Yuhui, WANG Shancong. Impact of different air distribution forms on human thermal comfort under dynamic conditions[J]. Journal of HV & AC,2014,44(8):106-109.)

[2] 闫秀英,李美丽.基于气候补偿的变风量空调系统节能控制[J].控制工程,2017,24(10):2077-2081.(YAN Xiuying, LI Meili. Energy-saving control of variable air volume air-conditioning system based on climate compensation[J]. Control Engineering, 2017, 24(10): 2077-2081.)

[3] FONTANINI A D, VAIDYA U, GANAPATHY SUBRAMANIAN B. A methodology for optimal placement of sensors in enclosed environments: a dynamical systems approach[J]. Building and Environment, 2016, 100: 145-161.

[4] 王文修,谢军龙,刘鑫,等.船用 VAV 末端装置风量传感器布置对风量传感特性的影响研究[J].制冷与空调(四川),2017,31(4):396-400.(WANG Wenxiu, XIE Junlong, LIU Xin, et al. Influence of air flow sensor arrangement on the airflow sensing characteristics of marine VAV terminal[J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2017, 31(4):396-400.)

[5] LIU Yanzheng, CHEN Jing, LYU Yazhou, et al. Temperature simulation of greenhouse with CFD methods and optimal sensor placement[J].Sensors & Transducers, 2014, 26:40-44.

[6] ARNESANO M, REVEL G M, SERI F. A tool for the optimal sensor placement to optimize temperature monitoring in large sports spaces[J].Automation in Construction, 2016, 68: 223-234.

[7] 孙占鹏,李佳,欧文.多传感器室内环境监测系统[J].传感器与微系统,2017,36(1):87-90.(SUN Zhanpeng, LI Jia, OU Wen. Multi-sensor system for indoor environment monitoring[J].Transducer and Micro system Technologies, 2017,36(1):87-90.)

[8] 曾令杰,高军,杜博文. 空调风系统突发污染监测传感器优化布置分析[J].哈尔滨工业大学学报,2018,50(2):160-165.(ZENG Lingjie, GAO Jun, DU Bowen. Optimized sensor layout to detect accidental contaminant released in the ventilation system[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2018, 50(2):160-165.)

[9] 葛宣鸣,杜志敏,晋欣桥,等.基于多传感器信息融合的空调系统变风量优化控制研究[J].制冷技术,2016,36(6):28-33.(GE Xuanming, DU Zhimin, JIN Xinqiao, et al. Investigation of variable air volume optimal control for air conditioning system based on multi-sensor data fusion[J].Chinese Journal of Refrigeration Technology, 2016, 36(6):28-33.)

[10] DU Zhimin, XU Peifan, JIN Xinqiao, et al. Temperature sensor placement optimization for VAV control using CFD-BES co-simulation strategy[J].Building and Environment, 2015, 85:104-113.

[11] 简必建,范菁,曲金帅,等.基于神经网络的多传感加权融合算法的研究[J].云南民族大学学报(自然科学版),2016,25(1):75-80.(JIAN Bijian, FAN Jing, QU Jinshuai, et al. On the multi-sensor weighted fusion algorithm based on the neural network[J].Journal of Yunnan University of Nationalities (Natural Sciences Edition), 2016,25(1):75-80.)

[12] 丁辉,仲跃,张俊,等.基于相关性函数的多传感器自适应加权融合算法[J].重庆理工大学学报(自然科学版),2016,30(2):114-118.(DING Hui, ZHONG Yue, ZHANG Jun, et al. Multi-sensor adaptive weighted fusion algorithm based on correlation function[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science Edition), 2016,30(2):114-118.)

[13] Moderate thermal environment-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort: ISO 7730[S].Switzerland: International Standard Organization,2005.

[14] Thermal environmental conditions for human occupancy: ASHRAE 55—1992[S]. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Conditioning Engineers, Inc, 1992.

(下转第 91 页)

- Renning, WANG Jian, YANG Liu. Optimization study of the structure parameter based on the specific power of scroll compressor[J]. Compressor Technology, 2008, 35(4): 11–13.)
- [13] 张津杰. 论压缩机的节能[J]. 机械管理开发, 2011, 35(3): 128–129. (ZHANG Jinjie. On compressor energy conservation[J]. Mechanical Management and Development, 2011, 35(3): 128–129.)
- [14] ELLIOTT M S, RASMUSSEN B P. On reducing evaporator superheat nonlinearity with control architecture[J]. International Journal of Refrigeration, 2010, 33(3): 607–614.
- [15] 袁宝吉, 吴猛猛, 廉海波. 影响制冷量的因素分析及提高制冷量的措施[J]. 中国修船, 2012, 25(4): 30–32. (YUAN Baoji, WU Mengmeng, LIAN Haibo. Analysis of factors affecting refrigerating capacity and measures to improve refrigerating capacity[J]. China Shiprepair, 2012, 25(4): 30–32.)
- [16] 杨丽辉, 陶乐仁, 陶宏, 等. 滚动转子式压缩机吸气状态与排气温度的实验研究[J]. 制冷学报, 2014, 35(2): 49–53, 86. (YANG Lihui, TAO Leren, TAO Hong, et al. Experimental study on suction refrigerant state and discharge temperature for rolling piston compressor[J]. Journal of Refrigeration, 2014, 35(2): 49–53, 86.)
- [17] 周卫东. 浅谈世界制冷压缩机现状及发展趋势[J]. 科技风, 2013, 35(11): 278. (ZHOU Weidong. The present situation and development trend of the world refrigeration compressor[J]. Technology Wind, 2013, 35(11): 278.)
- [18] 马一太, 刘忠彦, 李敏霞. 容积式制冷压缩机电效率分析[J]. 制冷学报, 2013, 34(3): 1–7. (MA Yitai, LIU Zhongyan, LI Minxia. Analysis of electrical efficiency for positive displacement refrigerant compressor[J]. Journal of Refrigeration, 2013, 34(3): 1–7.)
- [19] 虞中飏, 陶乐仁, 王超, 等. 变制冷剂流量制冷系统过热度振荡机理实验研究[J]. 制冷学报, 2017, 38(1): 100–106, 112. (YU Zhongyang, TAO Leren, WANG Chao, et al. Experiment on hunting mechanism of superheated temperature of a variable refrigerant volume refrigeration system[J]. Journal of Refrigeration, 2017, 38(1): 100–106, 112.)
- 通信作者简介**
陶乐仁, 男, 教授, 上海理工大学能源与动力工程学院, 制冷与低温工程研究所, 13916356948, E-mail: cryo307@usst.edu.cn。研究方向: 低温制冷系统, 低温生物医学技术。
- About the corresponding author**
Tao Leren, male, professor, Institute of Refrigeration and Cryogenics, School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, +86 13916356948, E-mail: cryo307@usst.edu.cn. Research fields: low temperature refrigeration system, cryobio-medical technology.
-
- (上接第 65 页)
- [15] Thermal environmental conditions for human occupancy: ANSI/ASHRAE 55—2013[S]. Atlanta: American National Standards Institute, 2013.
- [16] LIN Zhang, YAO Ting, CHOW T T, et al. Performance evaluation and design guidelines for stratum ventilation[J]. Building and Environment, 2011, 46(11): 2267–2279.
- [17] LIU Shichao, CLARK J, NOVOSELAC A. Air diffusion performance index (ADPI) of overhead-air-distribution at low cooling loads[J]. Energy and Buildings, 2017, 134: 271–284.
- 通信作者简介**
闫秀英, 女, 副教授, 硕士生导师, 西安建筑科技大学, 13379039469, E-mail: xjdyxy1219@163.com。研究方向: 建筑智能化与节能研究。
- About the corresponding author**
Yan Xiuying, female, associate professor, master supervisor, Xi'an University of Architecture and Technology, +86 13379039469, E-mail: xjdyxy1219@163.com. Research fields: building intelligent and energy-saving.