

基于回归分析的特大型火车站候车厅 腔体通风设计策略

夏柏树,张宁,陈彦百

(沈阳建筑大学建筑与规划学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 目的 探讨大空间中植入腔体对自然通风的影响,确定候车厅腔体设计变量与平均温度、平均风速、平均二氧化碳浓度舒适度指标的逻辑关系,提出相应设计策略。方法 以特大型火车站候车厅典型空间模型为基础,利用 CFD 软件平台对植入候车厅的腔体形态、布置、构造的 7 个自变量进行参数化模拟实验。实验得出候车厅 1.5 m 高度平均温度、平均风速、平均二氧化碳浓度 3 个因变量数据组。运用统计分析软件对 200 组实验数据组进行回归分析,建立 3 个因变量的逐步回归方程,判定自变量与因变量的数值关系。结果 腔体开口距地面高度、开口宽度显著影响候车厅平均温度;横向布置数、纵向布置数、开口高度、腔体截面边长显著影响候车厅平均风速;横向布置数、纵向布置数、腔体截面边长、开口高度显著影响候车厅平均二氧化碳浓度。结论 显著影响候车厅平均风速和平均二氧化碳浓度的设计优选项为腔体纵向、横向布置数量,次选项为腔体截面边长;显著影响候车厅平均温度的设计优选项为腔体开口宽度和开口距地高度。

关键词 回归分析;候车厅;腔体通风;设计策略

中图分类号 TU248

文献标志码 A

Ventilation Design Strategy for the Waiting Hall Chamber of Extra Large Railway Station Based on Regression Analysis

XIA Baishu, ZHANG Ning, CHEN Yanbai

(School of Architecture and Urban Planning, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: The aim of this paper is to discuss the impact of the implanted chamber in a large space on natural ventilation, reveal the numerical logic relationship between the chamber design variables and the comfort temperature indicators such as average temperature, average wind speed, and

收稿日期:2020-05-20

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0700200)

作者简介:夏柏树(1971—),男,教授,博士,博士研究生导师,主要从事建筑创作理论、绿色建筑设计方法等方面研究。

average carbon dioxide concentration in the waiting hall, and propose corresponding design strategy. Based on super large railway station waiting hall space model with seven independent variables standing for chamber shape, layout, and structure, natural ventilation of the waiting hall was simulated by CFD software. The simulation results show that the average temperature, wind speed and concentration of carbon dioxide in the waiting hall 1.5 meters height are three dependent variables. 200 groups of experimental data sets were performed regression analysis by statistical analysis software. Stepwise regression equation of 3 dependent variables was established to determine the relationship between the independent variables and dependent variables. The chamber opening height and width significantly affect the average temperature in the waiting hall. The arrangement quantity, opening height, chamber section size significantly affect the average wind speed in the waiting hall. The arrangement quantity, chamber section size, opening height significantly affects the average concentration of carbon dioxide in the waiting hall. The design preference that significantly affects the average wind speed and average concentration of carbon dioxide in the waiting hall is the arrangement quantity, and the second option is the chamber section size. The design preferences that significantly affect the average temperature in the waiting hall are the chamber opening width and height.

Key words: regression analysis; waiting hall; building-chamber ventilation; design strategy

21世纪以来,随着我国高速铁路的快速发展,大型火车站建设呈现快速增长态势.我国北方地区11个省市各级中心城市大型及特大型火车站63座,多为近20年新建或改造项目.根据2017年《中国建筑节能年度发展研究报告》,交通枢纽类建筑单位面积用能强度中位值为 $125 \text{ (kW}\cdot\text{h)}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,在公共建筑中位列第二,这其中空调能耗占相当比重^[1].因此,通过腔体植入的方式改善候车厅的自然通风性能,延长自然通风的有效时长,降低集中空调的运行负荷,同步改善候车厅的物理环境和舒适度水平,是绿色建筑研究的重要领域之一.腔体通风的相关研究大体分两类:一是基础理论,以宋晔皓^[2]“生物气候缓冲层”、杨柳^[3]的“建筑气候学”等为代表,探讨了气候适宜、人体舒适等绿色建筑领域的基本问题,具有广泛的指导意义;二是模拟研究,利用CFD、IES-VE等数字平台,比较研究建筑布局、形体、界面、空间等单一变量对自然通风的影响,利用云图、矢量图及通风数据,来判定自然通风的优化策略,具有方法层面的借鉴意义.但是,定量分析多停留在定性判断的验证,单一变量的孤立研究

无法揭示多变量综合作用的复杂通风规律,弱化了大空间自然通风量化研究的理论和应用价值.鉴于此,笔者采取多变量参数化研究的技术路线,通过模拟实验数值分析的方式,探讨腔体植入设计中多变量共同作用下的自然通风效果与规律,具有理论和方法层面的双重意义.

1 典型空间模型的建立

新建特大型火车站的站房一般在铁路双侧布置,候车厅采用跨线架设,属于穿越类线正上式布局^[4-5].候车厅横向、纵向跨度一般在100~200 m,形成了单一大跨度的空间形态(见图1).候车厅内部空间开敞,以分车次的候车区为主,商业、餐饮、卫生间等附属设施集中布置在两侧^[6].依据附属设施位置的不同,候车厅分为3种类型(见图2).第1种是附属设施沿候车厅纵向外墙通长、通高设置,对候车厅自然通风影响最大(见图2(a));第2种是附属设施仅沿纵向外墙一层布置,可利用二层外墙开窗进行自然通风(见图2(b));第3种是附属设施在候车厅大空间的内部,一般为单层,将候车厅分隔为内外两部

分,外墙可开窗通风,但是内置的附属设施对候车厅自然通风阻碍较大(见图2(c)).

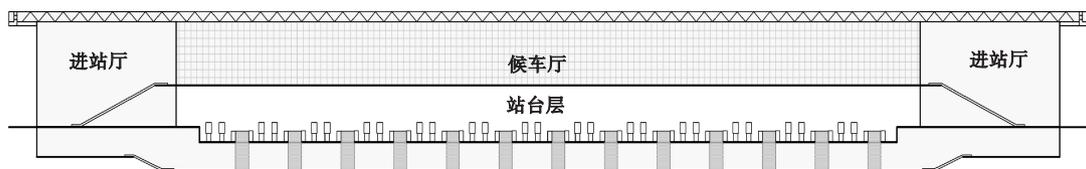


图1 穿越类线正上式火车站空间示意图

Fig. 1 Space sign of the train station crossing the class line

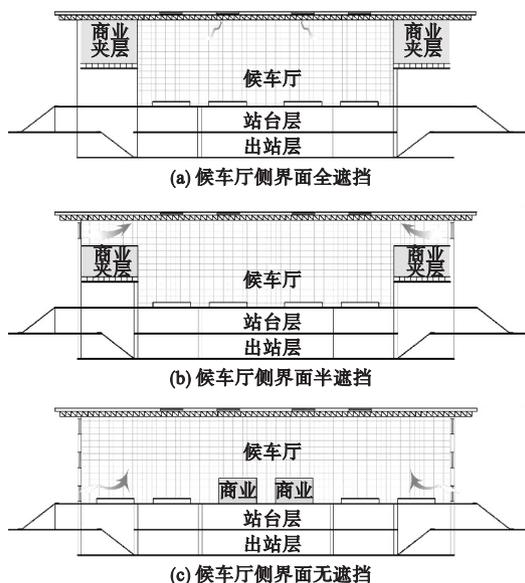


图2 3种候车厅空间布局

Fig. 2 Three kinds of waiting hall space layout

笔者主要研究第1种类型.候车厅纵向外墙上除去间歇性开启的检票口之外无其他开口,两端通过进站厅与室外环境间接联通,在自然通风不畅的状况下,通过植入腔体这一特定的通风装置,实现候车厅自然通风.自然通风领域的建筑腔体,包括了内置的庭院、室内的中庭和竖向的风井等多种类型^[7-10].在大空间中植入腔体,能够有效应对因进深过大造成自然风进入大空间后风压、风速锐减,无法深入到建筑内部的问题.在大空间内建立起有效的风压、热压复合作用的竖向通道,提高大空间自然通风的效应^[11-13].笔者以风井类腔体为研究对象,在CFD模拟分析并输出参数化数据组的基础上,运用数值分析的方法,探讨腔体的形态、布置和开口等设计变量,对候车厅自然通风的影响规律.

我国北方地区11个省市的特大型候车厅以矩形平面为主,较大的长宽高为200 m × 100 m × 18 m;候车厅两侧为二层商业服务设施,纵向外墙不能开窗,忽略检票口间歇开启的通风作用,候车厅纵向外墙设为封闭.候车厅屋面天窗按不开启设置,候车厅两端的进站厅各设宽高为3.6 m × 4.0 m的10扇外门,按全敞开设置.进展厅与候车厅之间通过中庭和二层开口相连,是候车厅进出风的有效通道.根据特大型火车站候车厅架空设置的空间特点,在候车厅内设置的所有通风腔体下部、向站台方向设置开口,以利于通风.典型空间模型如图3所示.

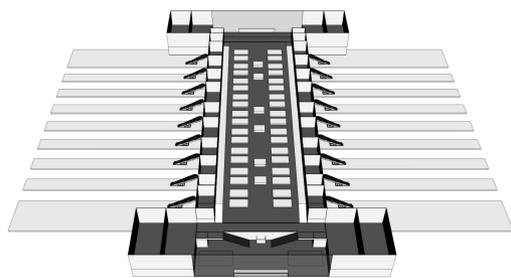


图3 典型空间模型

Fig. 3 Typical spatial model

2 模拟实验参数的设置

实验参数包括气候参数、建筑热工参数和腔体实验参数.气候参数主要考虑气温和风速两项.笔者模拟实验以沈阳地区为虚拟条件,选取25.6℃作为室外计算温度;沈阳年平局风速一般在3.0~4.0 m/s,7月至9月平均风速最低为2.8 m/s^[14],根据气象数据风速与建筑物所在地风速的表达式为

$$V = kV_0Za. \quad (1)$$

式中: V 为建筑所在地的风速; k, a 为地形系数; V_0 为气象站风速; Z 为建筑物高度。

笔者选取月平均最低风速 2.8 m/s 为环境条件,模拟火车站所处城市中心区域的地形系数根据规范 k 取值 0.21 , a 取值 0.33 ,建筑高度取 10 m ,确定了实验风速参数为 1.9 m/s 。根据《公共建筑节能设计标准》(GB50189—2015)关于严寒 C 区甲类公共建筑围护结构热工性能限值的相关要求,实验模型围护结构平均传热系数取值如表 1 所示。

表 1 围护结构传热系数

Table 1 Heat transfer coefficient of envelope

围护结构	传热系数/($\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$)
外墙	0.43
地面	0.715
楼板	2.861 9
屋面	0.35
内墙	1.647 4

影响实验模拟的参数还有室内热源发热量和旅客二氧化碳呼出量。根据《空气调节设计手册》中对劳动强度定义,旅客属于极轻体力劳动,人体发热量选为 $134 \text{ W/人}^{[15]}$,人数按候车厅最高聚集人数 $10\ 000$ 人计算,假设人员均匀分布。参照《电影院建筑设计规范》,我国人体散发的二氧化碳量可按 $0.02 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$ 计算^[16]。

笔者研究的植入候车厅的风井腔体模拟的自变量(见图 4)包括:反映腔体形态的腔体截面边长 $P1$ 和腔体高度 $P2$;反映腔体布置方式的纵向布置数量 $P3$ 和横向布置数量 $P4$;反映腔体开口状况的腔体开口宽度与腔体边长的比值 $P5$ (简称开口宽度)、开口高度 $P6$ 和开口距地高度 $P7$ 。

模拟实验腔体选用正方形截面,边长为 $1 \sim 5 \text{ m}$,间隔 1.0 m 取值;腔体高度研究出屋面情况,高度 $18 \sim 24 \text{ m}$,间隔 1.0 m 取值;纵向布置数取值 $1 \sim 10$ 个,横向布置数取值 $1 \sim 4$ 个;腔体开口大小因受腔体边长的直接

影响,选用腔体开口宽度与腔体边长的比值为模拟变量,比值为 $0.1 \sim 1.0$,间隔 0.1 取值;腔体开口高度 $0.5 \sim 4.0 \text{ m}$,间隔 0.5 m 取值;腔体开口距地高度 $0.5 \sim 4.0 \text{ m}$,间隔 0.5 m 取值。

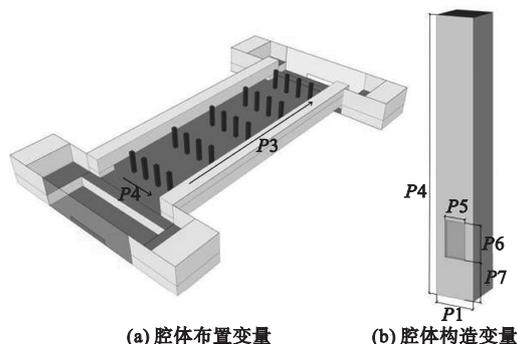


图 4 腔体变量示意图

Fig. 4 Schematic diagram of chamber variables

模拟实验的输出因变量为室内平均温度 $P8$,平均风速 $P9$,二氧化碳在空气中体积分数的平均值 $P10$ (简称平均二氧化碳浓度),反映候车厅舒适度水平。由于候车厅空间较高,热分层明显,模拟实验结果选取人体高度 1.5 m 的截面温度、风速、二氧化碳浓度的平均值进行舒适度评价。

3 模拟实验与回归分析

选用计算流体动力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)为模拟实验平台,通过有限元分析软件 Ansys 进行数值模拟,通过前处理器 Geometry 建立实验模型,调用 Mesh 建立全六面体网格。将网格传递到求解器 Fluent,在 Fluent 中设置边界条件,包括围护结构的温度和传热系数以及进风口的风向、风速和温度,出风口的回流温度和室内人员呼出二氧化碳的浓度等。在 Fluent 中建立方程后,Fluent 自动进行迭代解方程,当方程残差低于千分之一时默认收敛,即模拟结果最接近稳态。此时调用后处理器 CFD Post 进行后处理,用函数计算器提取候车厅 1.5 m 高度的平均温度 $P8$ 、平均风速 $P9$ 、平均二氧化碳浓度 $P10$ 作为因变量输出结果。

模拟实验采取参数化的研究思路,对 $P1 \sim P7$ 在取值范围内进行随机取值,交叉组成实验自变量数据组. 为确保模拟实验的科学性并提高模拟实验的效率,通过 Python 对自变量进行科学抽样,依次随机选取 $P1 \sim P7$

的某一取值,组成一组实验数据,共抽取 200 组实验数据,进行模拟实验,分别输出平均温度 $P8$ 、平均风速 $P9$ 和平均二氧化碳浓度 $P10$,选取其中 20 组实验数据示例如表 2 所示.

表 2 候车厅腔体通风模拟实验数据组

Table 2 Simulation experiment data of ventilation in waiting hall chamber

组别编号	$P1/m$	$P2/m$	$P3/\text{个}$	$P4/\text{个}$	$P5$	$P6/m$	$P7/m$	$P8/^\circ\text{C}$	$P9/(m \cdot s^{-1})$	$P10$
DP 1	3	23	8	4	0.7	3	2	25.642 5	0.655 838	0.000 288
DP 2	2.5	22	1	1	0.7	3	4	25.230 3	0.856 48	0.000 171
DP 3	3	24	8	2	0.3	0.5	3.5	25.480 2	0.795 622	0.000 228
DP 4	1	23	4	4	1	2.5	1.5	34.559 7	0.151 134	0.000 301
DP 5	1	21	2	2	0.8	4	3	25.166 5	0.848 152	0.000 164
DP 6	5	21	8	4	0.3	2	4	25.623 5	0.562 532	0.000 255
DP 7	3	24	8	1	0.8	4	1.5	26.809 4	0.793 016	0.000 166
DP 8	2	21	10	4	0.6	3	1.5	26.746 3	0.678 716	0.000 206
DP 9	5	23	10	1	0.5	2	4	25.776 5	0.774 215	0.000 204
DP 10	1	21	1	4	0.1	1	2.5	24.938 7	0.864 95	0.000 168
DP 11	4	21	1	2	0.5	4	1.5	26.737 7	0.842 451	0.000 148
DP 12	3	18	10	1	0.6	4	4	25.491	0.771 578	0.000 209
DP 13	3.5	23	6	4	0.8	0.5	1.5	26.272	0.753 137	0.000 19
DP 14	5	18	5	3	0.7	1	1	25.942 3	0.838 633	0.000 226
DP 15	1.5	22	6	1	0.1	3.5	1	25.078 9	0.872 41	0.000 166
DP 16	2	21	10	2	0.6	3	2	25.540 7	0.774 578	0.000 215
DP 17	4	22	6	1	0.8	1	2.5	25.598	0.868 32	0.000 186
DP 18	4.5	20	2	1	0.2	1	1.5	26.696	0.836 542	0.000 143
DP 19	3.5	20	9	3	0.2	1	2.5	25.075 1	0.708 72	0.000 22
DP 20	3.5	19	10	1	0.7	0.5	2	25.739 1	0.790 452	0.000 184

以 200 组抽样数据的实验结果为基础,运用统计分析软件(Statistical Product and Service Solutions, SPSS)进行逐步回归分析,根据结果提出候车厅腔体植入的设计策略.

逐步回归法是按照自变量对因变量的贡献率,从大到小依次选择进入模型的自变量,每将一个自变量加入模型,就要对模型中每个自变量进行检验,剔除不显著影响的自变量,然后再对留在模型中自变量进行检验,直到没有自变量可以纳入也没有自变量可以剔除为止^[17]. 最后回归模型中剩下可显著影响

因变量的自变量,且回归方程中的自变量根据标准化系数的绝对值排序,绝对值大小可以直接反映自变量对因变量的影响程度.

3.1 平均温度 $P8$ 的回归分析

将 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ 、 $P4$ 、 $P5$ 、 $P6$ 、 $P7$ 作为自变量, $P8$ 作为因变量,纳入线性回归模型,在选择变量进入模型的方法时选择了逐步回归法,平均温度回归模型摘要见如表 3 所示. R 为相关系数,用于衡量回归方程中自变量与因变量之间的相关程度. 调整后 R^2 代表修正自由度的判定系数,用于判断线性拟合方程

与原始数据的拟合程度. 回归分析中调整后 R^2 大于 0.5, 拟合度很好. 由逐步回归筛选出可显著影响因变量 $P8$ 的自变量 $P7, P5$. 平均温度的最终回归模型调整后 R^2 为 0.135, 拟合度一般. 平均温度回归模型系数如表 4 所示.

表 3 平均温度回归模型摘要

Table 3 Average temperature regression model

显著影响自变量	R	调整后 R^2
$P7, P5$	0.379	0.135

表 4 平均温度回归模型系数表

Table 4 Coefficient in Average temperature regression model

常量与自变量	非标准化系数	显著性	共线性
常量	25.888	0	—
$P7$	-0.28	0	1.018
$P5$	0.765	0.002	1.018

表 4 中的模型显著性检验值小于 0.05, 表明模型的整体检验得到了通过, 说明自变量 $P7, P5$ 能显著影响因变量 $P8$, 且共线性统计小于 10, 自变量 $P7, P5$ 不存在共线性. 表 4 中的非标准化系数代表自变量变化为 1 时, 因变量的变化幅值, 表示回归方程中的因变量系数. 根据非标准化系数, 将系数表转换成多元回归方程:

$$P8 = 25.888 - 0.280 \times P7 + 0.765 \times P5. \quad (2)$$

3.2 平均风速 $P9$ 的回归分析

将 $P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7$ 作为自变量, $P9$ 作为因变量, 纳入线性回归模型, 在选择变量进入模型的方法时选择了逐步回归法, 平均风速回归模型摘要如表 5 所示. 由逐步回归筛选出可显著影响因变量 $P9$ 的自变量 $P4, P3, P6, P1$. 平均风速的最终回归模型调整后 R^2 为 0.390, 拟合度较高. 平均风速回归模型系数如表 6 所示.

表 5 平均风速回归模型摘要

Table 5 Average wind speed regression model

显著影响自变量	R	调整后 R^2
$P4, P3, P6, P1$	0.635	0.390

表 6 平均风速回归模型系数表

Table 6 Coefficient in average wind speed regression model

常量与自变量	非标准化系数	显著性	共线性
常量	1.012	0	—
$P4$	-0.037	0	1.003
$P3$	-0.012	0	1.012
$P6$	-0.014	0.002	1.023
$P1$	-0.013	0.004	1.013

表 6 中的模型显著性检验值小于 0.05, 表明模型的整体检验得到了通过, 说明自变量 $P4, P3, P6, P1$ 能显著影响因变量 $P9$, 且共线性统计小于 10, 自变量 $P4, P3, P6, P1$ 不存在共线性. 根据非标准化系数, 将系数表转换成多元回归方程:

$$P9 = 1.012 - 0.037 \times P4 - 0.012 \times P3 - 0.014 \times P6 - 0.013 \times P1. \quad (3)$$

3.3 平均二氧化碳浓度 $P10$ 的回归分析

将 $P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7$ 作为自变量, $P10$ 作为因变量, 纳入线性回归模型, 在选择变量进入模型的方法时选择了逐步回归法, 平均二氧化碳浓度回归模型摘要如表 7 所示. 由逐步回归筛选出可显著影响因变量 $P10$ 的自变量 $P4, P3, P1, P6$. 平均二氧化碳浓度的最终回归模型调整后 R^2 为 0.468, 拟合度高. 平均二氧化碳浓度回归模型系数如表 8 所示.

表 7 平均二氧化碳浓度回归模型摘要

Table 7 Average carbon dioxide concentration regression model

显著影响自变量	R	调整后 R^2
$P4, P3, P1, P6$	0.692	0.468

表 8 平均二氧化碳浓度回归模型系数表

Table 8 Coefficient in average carbon dioxide concentration regression model

常量与自变量	非标准化系数/ 10^{-6}	显著性	共线性
常量	0	0	—
$P4$	0.147	0	1.003
$P3$	4.23	0	1.012
$P1$	8.24	0	1.013
$P6$	3.53	0.017	1.023

表 8 中的模型显著性检验值小于 0.05,

表明模型的整体检验得到了通过,说明自变量 P_4, P_3, P_1, P_6 能显著影响因变量 P_{10} , 且共线性统计小于 10, 表明自变量 P_4, P_3, P_1, P_6 不存在共线性. 根据非标准化系数, 将系数表转换成多元回归方程:

$$P_{10} = P_4 \times 0.147 \times 10^{-6} + P_3 \times 4.23 \times 10^{-6} + P_1 \times 8.24 \times 10^{-6} + P_6 \times 3.53 \times 10^{-6}. \quad (4)$$

通过逐步回归分析建立了候车厅平均温度 P_8 、平均风速 P_9 、平均二氧化碳浓度 P_{10} 的回归拟合模型, 筛选确定了有显著影响的自变量, 可在腔体植入设计中优先这类设计变量. 回归方程揭示了自变量、因变量的数值关系, 可在腔体植入设计的早期, 通过回归方程快速预测舒适度指标.

4 腔体植入设计策略

4.1 基于温度目标的设计策略

通过逐步回归分析可知, 自变量开口距地面高度 P_7 , 开口宽度 P_5 能显著影响因变量平均温度 P_8 .

基于温度目标时, 腔体植入设计应重点考虑腔体开口宽度 P_5 和腔体开口距地高度 P_7 , 在合理取值范围内取值后代入逐步回归得出的多元回归方程式(2), 快速计算预测室内平均温度, 选择较优的设计参数. 根据空间和功能需要完善腔体其他设计参数.

4.2 基于风速目标的设计策略

通过逐步回归分析可知, 自变量腔体横向布置数 P_4 , 纵向布置数 P_3 , 开口高度 P_6 , 腔体边长 P_1 能显著性的影响因变量平均风速 P_9 .

基于风速目标时, 腔体植入设计应优先考虑腔体布置, 结合空间和功能要求, 在合理的取值范围内确定腔体纵向布置数 P_3 和横向布置数 P_4 ; 综合考虑腔体边长 P_1 和腔体开口高度 P_6 , 在合理取值范围内取值, 将选择的纵向布置数、横向布置数、腔体边长和腔体开口高度设计参数值代入逐步回归得出的

多元回归方程式(3), 快速计算预测室内平均风速. 腔体高度 P_2 、腔体开口宽度 P_5 、腔体开口距地高度 P_7 , 对室内平均风速 P_9 影响较弱, 可根据技术需要进行完善.

4.3 基于二氧化碳浓度目标的设计策略

通过逐步分析可知, 自变量腔体横向布置数 P_4 , 纵向布置数 P_3 , 腔体边长 P_1 , 开口高度 P_6 能显著的影响因变量平均二氧化碳浓度 P_{10} .

基于二氧化碳浓度目标时, 腔体植入设计应优先考虑腔体布置, 结合空间和功能要求, 在合理的取值范围内考虑腔体纵向布置数 P_3 和横向布置数 P_4 ; 综合考虑腔体边长 P_1 和开口高度 P_6 , 在合理取值范围内取值, 将选择的横向布置数、纵向布置数、腔体边长和腔体开口高度设计参数值代入逐步回归得出的多元回归方程式(4), 快速计算预测室内平均二氧化碳浓度. 腔体高度 P_2 、腔体开口宽度 P_5 、腔体开口距地高度 P_7 , 对室内平均二氧化碳浓度 P_{10} 影响较弱, 可根据技术需要进行完善.

5 结 论

(1) 显著影响候车厅平均风速 P_9 、平均二氧化碳浓度 P_{10} 的自变量基本一致, 腔体纵向、横向布置数量为优先设计选项, 应在候车厅空间设计的方案阶段进行重点设计, 结合空间设计需要先行选定.

(2) 腔体截面边长对平均风速 P_9 、平均二氧化碳浓度 P_{10} 有较明显影响, 应在候车厅方案深化设计阶段确定合理取值.

(3) 候车厅平均温度 P_8 受腔体本体的构造要素, 即开口宽度 P_5 和开口距地高度 P_7 影响显著, 应在依据平均风速、平均二氧化碳浓度目标确定的腔体形态和布置的基础上, 在腔体施工图设计阶段进行设计.

(4) 腔体高度对候车厅温度、风速、二氧化碳浓度影响均较弱, 可不予考虑. 在具体的火车站候车厅工程设计中, 依据建议顺序依

次引入腔体设计变量,合理取值并纳入回归方程进行预测性评价,在确保舒适度目标的前提下有效控制设计进程。

参考文献

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告(2017)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.
(Building Energy Conservation Research Centre of Tsinghua University. 2017 Annual report on China building energy efficiency[M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2017.)
- [2] 宋晔皓. 结合自然整体设计:注重生态的建筑设计研究[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
(SONG Yehao. Integrating natural integral design:research on architectural design focusing on ecology[M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2000.)
- [3] 杨柳. 建筑气候分析与设计策略研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2003.
(YANG Liu. Climatic analysis and architectural design strategies for bio-climatic design[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology,2003.)
- [4] 李传成,李保峰,陈宏. 高架铁路客站整体自然通风节能策略研究[J]. 建筑学报,2011(1):105-109.
(LI Chuancheng, LI Baofeng, CHEN Hong. Study on energy-saving tactics of integrated natural ventilation for elevated railway station[J]. Architectural journal,2011(1):105-109.)
- [5] 中华人民共和国铁道部. 铁路旅客车站建筑设计规范[M]. 北京:中国计划出版社,1996.
(Ministry of Railways of the People's Republic of China. Code for design of railway passenger station buildings[M]. Beijing: China Planning Press,1996.)
- [6] 北京市建筑设计研究院有限公司,西安建筑科技大学建筑学院. 建筑设计资料集[G]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.
(Beijing Institute of Architectural Design, College of Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology. Architectural design collection[G]. Beijing: China Architecture & Building Press,2017.)
- [7] 李钢. 建筑腔体生态策略[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
(LI Gang. Ecological strategy of architectural chamber[M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2007.)
- [8] 吴耀华,李钢. 发展建筑腔体深层楔入自然:蜂窝煤的启示[J]. 新建筑,2005(6):4-6.
(WU Yaohua, LI Gang. Developing the concept of architectural chamber, harmonizing buildings with nature: enlightenment from honeycomb briquette[J]. New architecture,2005(6):4-6.)
- [9] 张辉,周旋. 大空间铁路客运站绿色建筑设计策略分析:以太原南站设计为例[J]. 四川建筑科学研究,2016,42(6):134-137.
(ZHANG Hui, ZHOU Xuan. Research on green building design strategy of large space railway station:taking Taiyuan south railway station as a case[J]. Sichuan building science,2016,42(6):134-137.)
- [10] REYNER B. Architecture of the well-tempered environment[M]. Chicago: University Of Chicago Press,1969.
- [11] 清华大学建筑学院,清华大学建筑设计研究院. 建筑设计的生态策略[M]. 北京:中国计划出版社,2001.
(School of Architecture, Tsinghua University, Architectural Design and Research Institute of Tsinghua University. Ecological strategy of architectural design[M]. Beijing: China Planning Press,2001.)
- [12] 李传成. 大空间建筑通风节能策略[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
(LI Chuancheng. Ventilation and energy saving strategy for large space buildings[M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2011.)
- [13] PETER F.S. Architecture in a climate of change, 2nd edition[M]. Butterworth-heinemann,2005.
- [14] 中国气象局气象信息中心气象资料室. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
(Meteorological Data Room, Meteorological Information Center, China Meteorological Administration. Thermal environment analysis and special meteorological data set for buildings in China[M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2005.)
- [15] 中国电子工程设计院. 空气调节设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.
(China Electronics Engineering Design Institute. Air conditioning design manual[S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2017.)
- [16] 中国建筑西南设计院,中国电影科学技术研究所. 电影院建筑设计规范[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
(China Southwest Architectural Design and Research Institute, China Research Institute of Film Science & Technology. Code for architectural design of cinema[M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2008.)
- [17] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京:电子工业出版社,2000.
(LU Wendai. SPSS for windows statistical analysis[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2000.)
(责任编辑:徐玉梅 英文审校:唐玉兰)