

# 健身房室内空气质量数值模拟分析

郝红,罗雯,石贵文,董洪君,徐丽

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘要** 目的 研究健身房内的空气质量,分析健身房环境的影响因素,为打造健康锻炼环境提供设计参考。方法 实测健身房室内的温度、相对湿度、风速、污染物质量浓度,使用 Fluent 软件对夏季开馆初期以及人员高峰期时健身房室内的污染物质量浓度、温度、风速等分布进行模拟。结果 模拟得到开馆初期室内 VOC 存在明显的堆积,为  $0.68 \sim 0.94 \text{ mg/m}^3$ ,与实测值相差  $0.002\% \sim 0.007\%$ ;人员高峰期时操厅及私教室区域  $\text{CO}_2$  堆积严重, $\text{CO}_2$  体积分数平均体积分数约  $0.162\% \sim 0.170\%$ ;与实测值差  $0.001\% \sim 0.009\%$ ,同时室内温度明显升高。结论 健身房开馆初期空调系统难以在短时间内排出室内堆积的 VOC;人员高峰期时通风系统难以将  $\text{CO}_2$  及时排出或稀释,同时人员的密集使得室内温度不断升高,室内气流存在死角。

**关键词** 室内空气质量;Fluent;数值模拟;污染物

中图分类号 TU834

文献标志码 A

## The Numerical Simulation Analysis of Indoor Air Quality in Gym

HAO Hong, LUO Wen, SHI Guiwen, DONG Hongjun, XU Li

(School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

**Abstract:** In order to provide the design and use reference for a healthy exercise environment air quality in gyms was studied and the influencing factors of the gym environment was analyzed too. Based on the measured value of temperature, relative humidity, wind speed and pollutant quality concentration in the gym, the distribution of pollutant quality concentration, temperature and wind speed during the early opening of the museum in summer and the peak of personnel were simulated by Fluent software. The simulated results show that the obvious accumulation of VOC concentration in the early opening of the museum is found and the concentration of VOC is  $0.68 \sim 0.94 \text{ mg/m}^3$ , and the difference between the measured value and simulated value is between  $0.002\%$  and  $0.007\%$ . During the peak of personnel period, in the private classroom and the jump room the  $\text{CO}_2$  concentration accumulation is serious, and the average  $\text{CO}_2$  volume fraction is about

收稿日期:2022-03-29

基金项目:国家自然科学基金项目(52078308)

作者简介:郝红(1977—),女,教授,主要从事室内空气质量改善与供热系统节能等方面研究。

0.162%~0.170%;the difference from the measured value is 0.001%~0.009%. At the same time,the indoor temperature increased significantly. So in the early opening period of the gym,it is difficult to discharge indoor accumulation of VOC in a short time by Air conditioning system,and difficult to discharge or dilute CO<sub>2</sub> concentration by the ventilation system during the peak period of personnel. The density of personnel is the reason of the indoor temperature increase,and there is a dead corner in the indoor airflow.

**Key words:**indoor air quality;FLUENT;the numerical simulation;pollutants

健身房在装修过程中使用大量的防震胶垫、复合地板以及橡胶制品等装饰装修材料,这些材料会释放出甲醛、苯等含挥发性有机化合物的有害气体。健身房一般设置在商场内,室内空气不通畅,换气次数不足,导致大量有害气体无法及时排出,严重污染了健身房的空气环境。空气污染可降低有氧运动爱好者心肺功能储备和最大有氧代谢能力,机体吸入的有毒物质会更多,更容易诱发呼吸、心血管及神经系统疾病<sup>[1-5]</sup>。在受污染的环境中锻炼,人的身体会因吸入有毒物质而受到损害,健身环境与健身效果之间存在着微妙而复杂的关系<sup>[6]</sup>。只有在健康的环境中锻炼,才能达到良好的健身效果。G. Sérafin 等<sup>[7]</sup>在建筑物室内空气中共测到 342 种物质,其中有 71 种被确定为优先污染物。Y. K. Sun<sup>[8]</sup>研究得出,长期接触颗粒物与患支气管炎、肺功能丧失、肺癌以及其他呼吸系统疾病有关,增加健康风险和疾病发生率。陆大江等<sup>[9]</sup>提出健身房室内温度、湿度、二氧化碳浓度、空气细菌总数等随运动时间的延长呈现上升趋势。周波等<sup>[10]</sup>通过实地测量和问卷调查,调研了长沙 5 所健身房,发现普遍存在严重的室内空气与噪声的污染。基于此,笔者对健身房空气品质进行调查,利用 Fluent 软件对夏季开馆初期以及人员高峰期时健身房室内的污染物质量浓度、温度、风速等分布进行模拟,得出 VOC、CO<sub>2</sub> 以及温度、风速等在室内的分布规律,经与实测值比较,准确性得到了验证,为建设良好的大众健身环境提供参考。

1 健身房空气品质调查与分析

1.1 测试

选取位于沈阳市某商场 3 楼的健身房作为研究对象。测试时间为营业时间,从 10:00 到 21:00,测试期间建筑内部无装修装饰翻新工作,室内无人员吸烟。

在健身房内选取休息区、有氧区、器械区、力量区、操厅、私教室设置测试点。空气品质测试参数为 7 个:温度、相对湿度、风速、甲醛、总挥发性有机物 VOC、可吸入颗粒物 PM<sub>2.5</sub>和 CO<sub>2</sub>。测试时间为冬季、春季、夏季、秋季 4 个季节,每个季节选取 2 个工作日、1 个休息日作为测试日,将每天测试时间分为 11 个时间段,从上午 10:00 开始至 21:00 结束,在每个时间段内测试室内的 6 个测试点的 7 个参数。由于健身房属于Ⅱ类民用建筑工程,根据《室内空气质量标准》(GB/T18883—2002)和《民用建筑工程室内环境污染控制规范》(GB50325—2020)设定污染物的限值(标准值)。现场实地测试共收集 693 组数据。表 1 为健身房室内污染物水平,表 2 为不同季节室内热湿参数和空气污染物测试结果。

表 1 室内污染物水平

Table 1 Indoor pollutant concentration

指标	$\rho(\text{VOC}) /$ ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	$\rho(\text{甲醛}) /$ ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	$\varphi(\text{CO}_2) /$ %	$\rho(\text{PM}_{2.5}) /$ ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )
最小值	0.38	0.03	0.05	0.012
最大值	1.28	0.14	0.26	0.061
平均值	0.84	0.07	0.15	0.026
标准值	0.50	0.08	0.15	0.075

表2 不同季节室内热湿参数和空气污染物测试结果

Table 2 Indoor heat and humidity parameters and air pollutants in different seasons

季节	温度/℃	相对湿度/%	风速/ (m·s <sup>-1</sup> )	ρ(VOC) / (mg·m <sup>-3</sup> )	ρ(甲醛)/ (mg·m <sup>-3</sup> )	φ(CO <sub>2</sub> )/%	ρ(PM <sub>2.5</sub> )/ (mg·m <sup>-3</sup> )
冬季	19.9~25.1	28.7~41.9	0.07~0.23	0.38~1.21	0.03~0.11	0.05~0.24	0.015~0.061
春季	20.8~27.2	45.2~50.7	0.05~0.29	0.42~1.14	0.03~0.10	0.05~0.22	0.012~0.049
夏季	25.7~28.5	53.8~72.1	0.02~0.18	0.50~1.28	0.04~0.14	0.05~0.26	0.012~0.038
秋季	20.8~27.2	45.2~50.7	0.05~0.29	0.42~1.14	0.03~0.10	0.05~0.22	0.012~0.049

1.2 测试结果分析

对健身房空气污染物与舒适性进行分析,从表1、表2可以看出,VOC质量浓度在0.38~1.28 mg/m<sup>3</sup>,年平均值达到了0.84 mg/m<sup>3</sup>,超出标准值68%;测试点超标数为592个(次),测点超标率为85.4%,其中夏季污染情况最为严重。甲醛质量浓度水平整体不高,季节差异不大,年平均值为0.07 mg/m<sup>3</sup>,未超出标准值,但存在85个测试点(次)超标,测点超标率为12.3%。CO<sub>2</sub>体积分数与室内人数有关,所以波动较大,体积分数在0.05%~0.26%,平均值为0.15%,年平均值未超出标准值,测点超标数为508次,测点超标率为73.3%,在人员高峰期时室内CO<sub>2</sub>体积分数超标严重。PM<sub>2.5</sub>质量浓度从测试数据上来看全年整体较好,均在标准值0.075 mg/m<sup>3</sup>以下,符合《民用建筑工程室内环境污染控制规范》(GB 50325—2020)要求。从表2可以看出,只在夏季人员高峰期时出现室内偏热、在冬季人员较少时出现室内温度偏低、室内风速偏小现象,除此之外,室内温度和湿度基本能保持在《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2002)规定范围内。综上,实际测得的数据显示,相对湿度、甲醛、PM<sub>2.5</sub>等指标没有超标,在限值要求之内,所以不进行模拟研究;选取对室内空气质量影响较大的VOC、CO<sub>2</sub>、温度和风速进行模拟研究。

2 健身房数值模型

2.1 健身房模型建立

依据健身房的建筑设计图纸,笔者以

ANSYS19.0 软件中的 Space claim 平台建立健身房模型,如图1所示。

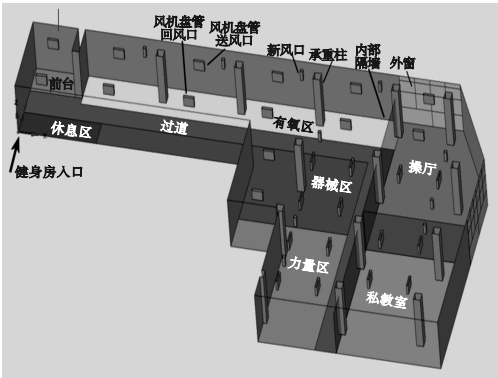


图1 健身房模型

Fig.1 Physical model of gym

健身房长×宽×高为54 m×29 m×4.8 m,在建立模型的过程中去除了消防楼梯、男女浴室以及卫生间部分。整个房间内部有两道隔墙,分别隔开了私教室和操厅,内墙高度4m,操厅北侧落地窗和东侧落地窗长×宽为7 000 mm×4 800 mm,健身房内共有13个承重柱,横截面边长为800 mm×800 mm。健身房内采用风机盘管加独立新风空调系统,在浴室内部设有排风口,其余场所主要依靠门窗渗透排风,入户门常年开启,并与电梯间联通。建立模型过程对风口进行了下沉处理,确保模型中风口高度与实际高度相同。房间内有新风送风口10个,长×宽为300 mm×300 mm;风机盘管机组14组,送风口长×宽为1 200 mm×200 mm,回风口长×宽为1 200 mm×250 mm。

2.2 边界条件设置

健身房模型的边界条件如表3所示。

表3 边界条件设置

Table 3 Boundary condition setting

编号	边界名称	类型	数量/个
1	风机盘管送风口	速度入口	14
2	风机盘管回风口	压力出口	14
3	新风送风口	速度入口	10
4	外墙	壁面	1
5	内墙	壁面	3
6	承重柱	壁面	13
7	天花板	壁面	1
8	地面	UDF	1
9	人体模型	质量流量入口	6
10	外窗1	速度入口	1
11	外窗2	压力出口	1
12	入户门	压力出口	1

2.2.1 VOC 释放量的设定

VOC 的散发速率是以时间为变量的函数,通过将地面的污染物散发速率拟合成指数曲线,然后将 UDF(User-Define Function)函数导入 Fluent 设置界面中作为地面的释放污染物的边界条件,这种非稳态释放速率的设定主要适用于密闭房间内 VOC 分布的模拟,因此,采用非稳态的释放源作为边界条件模拟健身房室内的 VOC 分布。

利用 Origin 数据处理软件将测得的 VOC 释放速率拟合成与时间  $t$  相关的指数函数,得到 VOC 释放速率方程:

$E=0.0017\exp(-t/5.86413)+0.0016$  (1)

式中: $E$  为释放速率,  $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ;  $t$  为时间,  $\text{s}$ 。

图2为室内 VOC 释放速率拟合曲线,由图可见,拟合效果很好。

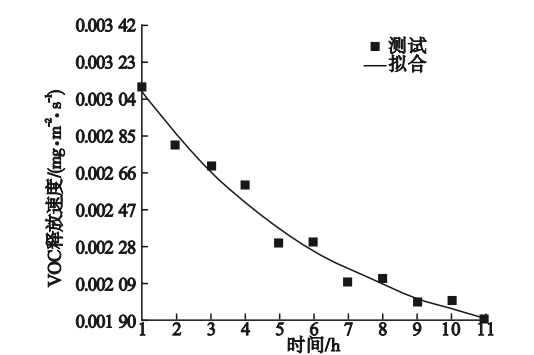


图2 室内 VOC 释放速率拟合曲线

Fig. 2 Fitting curve of indoor VOC release rate

2.2.2 CO<sub>2</sub> 释放量的设定

健身房内的 CO<sub>2</sub> 主要来源于室内人员运动时的呼吸。人体在呼吸时的耗氧量和 CO<sub>2</sub> 的排出量主要取决于人体的代谢率<sup>[11]</sup>, CO<sub>2</sub> 排出量与代谢率的关系<sup>[12]</sup>:

$V_{\text{CO}_2}=0.04MA_D$  (2)

式中: $V_{\text{CO}_2}$  为在 0℃、 $1.01\times10^5\text{Pa}$  条件下人体单位时间内产生 CO<sub>2</sub> 的速率,  $\text{mL}/\text{s}$ ;  $M$  为代谢率,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;  $A_D$  为人体表面积,  $\text{m}^2$ 。

代谢率的实验回归式为<sup>[13]</sup>

$M=\frac{21(0.23RQ+0.77)V_{\text{O}_2}}{A_D}$  (3)

式中: $RQ$  为呼吸熵,单位时间内呼出的 CO<sub>2</sub> 和吸入的 O<sub>2</sub> 物质的量比;  $V_{\text{O}_2}$  为在 0℃、 $1.01\times10^5\text{Pa}$  条件下人体单位时间消耗 O<sub>2</sub> 的速率,  $\text{mL}/\text{s}$ 。

人体表面积的计算方法是由 D. F. DUBOIS 在 1916 年提出的。

$A_D=0.202m_b^{0.425}H^{0.725}$  (4)

式中: $H$  为所求人员的身高,  $\text{m}$ ;  $m_b$  为所求人员的体重,  $\text{kg}$ 。

根据该健身房室的实际情况,模型中取室内人员身高为 1.75 m,体重为 75 kg,由式(4)计算得到人体表面积的值 1.9 m<sup>2</sup>。根据室内人员的活动强度以及心律情况分析,认定为高强度锻炼状态,即健身房室内人员处于重劳动状态,因此耗氧量取值 18 mL/s;一般成人在重劳动时呼吸熵取值为 1.0,由式(3)计算可得人员的代谢率为 198.95 W/m<sup>2</sup>;最后通过式(2)计算可得知健身房室内人员的 CO<sub>2</sub> 释放速率为 15.28 mL/s。

将通过式(2)计算所得的人员 CO<sub>2</sub> 释放速率 15.28 mL/s 进行单位换算,得到室内人员的 CO<sub>2</sub> 释放速率为 0.055 m<sup>3</sup>/(h·人),介于中等和重度活动强度之间,所得模拟计算结果与文献[14]中给出的结果相近,符合实际情况,说明模拟方法可行。当室内温度为 298 K、气压为  $1.01\times10^5\text{Pa}$  时,1 mol 理想气

体的摩尔体积约为 24.5 L/mol,CO<sub>2</sub> 的摩尔质量是 44 g/mol,因此得到健身房室内每个人释放 CO<sub>2</sub> 的速率为 3 × 10<sup>-5</sup> kg/s。

2.3 求解器和收敛条件

(1)求解器的参数设置

在 Fluent 操作界面中求解器的参数具体设置情况,如表 4 所示。

表 4 求解器参数设置

Table 4 Solver parameter settings	
设置类别	设置参数
空间属性	三维空间(3D)
时间属性	稳态(Steady)、非稳态(Transient)
解算方式	压力基耦合求解器(Pressure – Based)
差分方程	隐式(Implicit)
速度方程	绝对坐标(Absolute)
控制方程	能量方程(Energy)、湍流方程(RNG <i>k</i> – $\varepsilon$ 方程)、组分方程(Species Transport)

(2)收敛条件设置

为了使得模拟计算结果更加准确,需要在残差监视中对计算项目的残差值进行设定,以此来确定计算达到收敛条件,代数方程的求解依此结束。在该健身房室内污染物模拟过程中,各个项目的收敛残差设置如表 5 所示。

表 5 收敛条件的残差值

Table 5 Residual values of convergence conditions	
计算残差项目	残差值
连续性方程	1.0 × 10 <sup>-3</sup>
<i>x</i> 方向速度	1.0 × 10 <sup>-3</sup>
<i>y</i> 方向速度	1.0 × 10 <sup>-3</sup>
<i>z</i> 方向速度	1.0 × 10 <sup>-3</sup>
能量方程	1.0 × 10 <sup>-6</sup>
湍流动能方程( <i>k</i> )	1.0 × 10 <sup>-3</sup>
湍流能量耗散率方程( $\varepsilon$ )	1.0 × 10 <sup>-3</sup>
VOC	1.0 × 10 <sup>-3</sup>
CO <sub>2</sub>	1.0 × 10 <sup>-3</sup>

3 模拟结果与分析

采用 CFD-Post 后处理软件对模拟计算

结果进行处理。依据人口鼻的高度,设定高度 *z* = 1 m 水平面为人员坐姿呼吸平面、高度 *z* = 1.5 m 水平面为站姿呼吸平面,然后分析这两个参考平面上的各种污染物、温度和风速变化规律。根据生成的数据,得到分布云图。

3.1 开馆初期室内环境模拟分析

现场测试发现,该健身房在开馆初期室内的 VOC 超标严重。因此,将 VOC 质量浓度、温度、风速作为评价指标,对夏季健身房开馆初期室内空气环境进行模拟。

根据健身房开馆初期的实际测试结果设定新风的送风速度为 0.84 m/s,送风温度为 293 K;风机盘管的送风速度为 2.8 m/s,送风温度为 289.5 K,再利用 UDF 函数将 VOC 非稳态释放速率的方程导入 Fluent 中作为地面的 VOC 释放边界条件。当模拟计算达到收敛后,经后处理分别得到 *z* = 1 m 和 *z* = 1.5 m 两个参考平面的 VOC 质量浓度、温度、风速分布如图 3、图 4、图 5 所示。

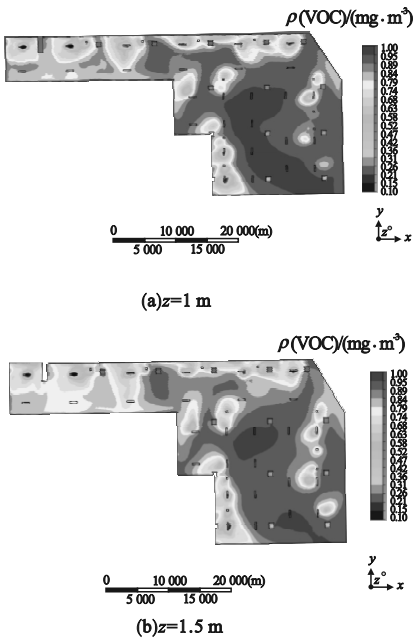


图 3 开馆初期室内 VOC 分布  
Fig. 3 Cloud chart of indoor VOC concentration distribution when the gym was just opened



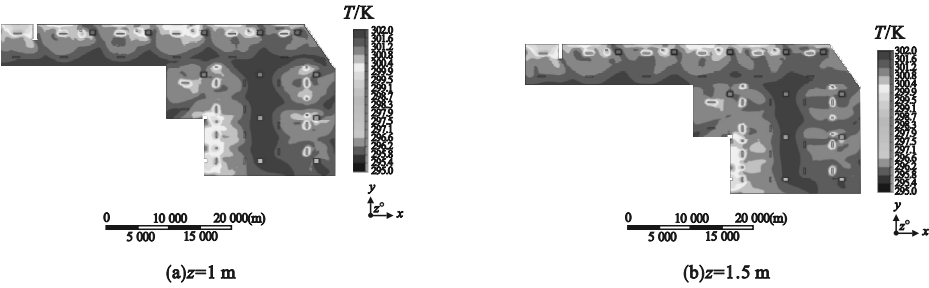


图4 开馆初期室内温度分布

Fig. 4 Cloud chart of indoor temperature distribution when the gym was just opened

由图3可以看出,经过了13 h的密闭使得室内的VOC质量浓度升高,并且在力量区、器械区和私教室均有明显的堆积。模拟结果显示,在 $z=1\text{ m}$ 平面上VOC质量浓度值为 $0.98\text{ mg/m}^3$ ,在 $z=1.5\text{ m}$ 平面上VOC质量浓度值为 $0.94\text{ mg/m}^3$ , $z=1\text{ m}$ 平面污染更为严重。在健身房入口处的休息区和邻近风口位置VOC质量浓度较低,质量浓度为 $0.68\sim 0.74\text{ mg/m}^3$ ;在靠近力量区和私教室的位置VOC的质量浓度达到 $0.84\sim$

$0.9\text{ mg/m}^3$ ,接近标准值的2倍。可以看出,空调系统难以将室内VOC稀释均匀或排出。从图4可以看出,室内平均温度在 $299.5\text{ K}$ 左右,在操厅与私教室的隔墙附近温度略高,达到了 $302\text{ K}$ 。由图5可明显看出,两个参考平面的送风口处风速都较大,但没有使得室内空气有效地流动起来,送风口处风速过大,局部风速过小,这也是VOC在室内堆积以及部分区域温度略高的主要原因。

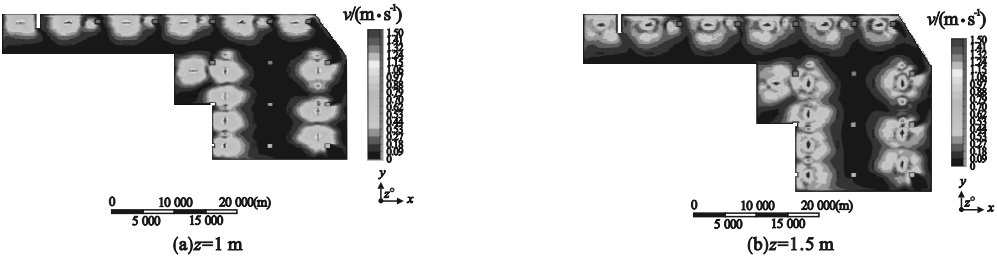


图5 开馆初期室内风速分布

Fig. 5 Cloud chart of indoor wind speed distribution when the gym was just opened

图6为开馆初期室内空气环境模拟结果与现场的测试值对比结果。从图6(a)可以看出,在健身房开馆初期,室内VOC质量浓度

的模拟值与实测值相差不大,场馆的 $z=1\text{ m}$ 和 $z=1.5\text{ m}$ 平面上各个测点的实测值与模拟值相差不大,误差在 $0.002\%\sim 0.007\%$ 。

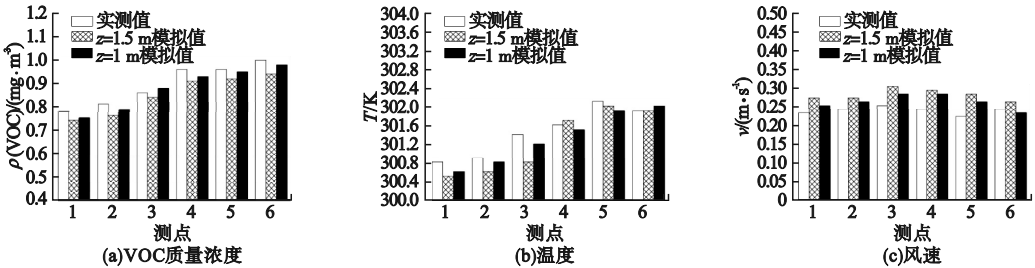


图6 开馆初期模拟值与实测值对比

Fig. 6 Comparison between simulated and measured values when the gym was just opened

从图 6(b)中发现,在 $z=1.5\text{ m}$ 平面上个别测点的模拟结果要比测试值偏低,主要原因是室内人员流动较大,并且测试过程中存在一定误差,但整体温度分布基本相同。由图 6(c)可以看出,模拟得出的室内风速值要比实际测试值大 $0.03\sim 0.09\text{ m/s}$ ,这主要是由于送风气流的复杂性以及测试过程中人员阻挡造成的影响。总体上,模拟值与测试结果比较吻合,所建立的模型可靠,结果可信。

3.2 人员高峰期室内环境模拟分析

现场调查可知,人员高峰期是室内污染最严重的时段,此时伴随着人员增加、运动强度增大,场馆内 $\text{CO}_2$ 堆积严重,同时人体不断地散热散湿,使得室温不断升高。选取 $\text{CO}_2$ 作为人员高峰期时室内空气环境模拟分析指标。一是 $\text{CO}_2$ 体积分数与室内人数密切相关, $\text{CO}_2$ 体积分数不仅能够代表室内空气的新鲜程度以及通风强弱,而且在一定程度上能够反映室内可能存在的有害污染物的质量浓度水平;二是室内的 $\text{CO}_2$ 与VOC的分布变化规律有相似之处,在一定程度上 $\text{CO}_2$ 模拟结果可以反映室内VOC分布的大致情况,同时二者都是影响人员舒适性的重

要因素;三是相对VOC来说, $\text{CO}_2$ 在室内的扩散所受影响因素较少,因此在模拟过程中能够更准确地描述场馆内污染物的分布。

因为室内的 $\text{CO}_2$ 主要来自于人员呼吸过程,所以根据各功能区人员数量的不同对 $\text{CO}_2$ 释放量分别进行设定,按照夏季高峰期设定人数,总人数为104人。经计算可得到各个功能区的 $\text{CO}_2$ 释放量,如表6所示。

表6 各功能区CO<sub>2</sub>释放量

Table 6 CO <sub>2</sub> emission in each functional area		
功能区	人员/人	CO <sub>2</sub> 散发量/ $10^{-4}(\text{kg}\cdot\text{s}^{-1})$
休息区	9	2.73
有氧区	15	4.51
器械区	18	5.45
力量区	21	6.32
操厅	25	7.55
私教室	16	4.86

模拟时间为夏季,新风机组和风机盘管机组的送风温度均为 $292\text{ K}$ ,新风送风速度为 $1.25\text{ m/s}$ ,风机盘管送风速度为 $2.8\text{ m/s}$ 。通过模拟分别得到 $z=1\text{ m}$ 和 $z=1.5\text{ m}$ 水平面的 $\text{CO}_2$ 体积分数、温度、风速分布,如图7、图8、图9所示。

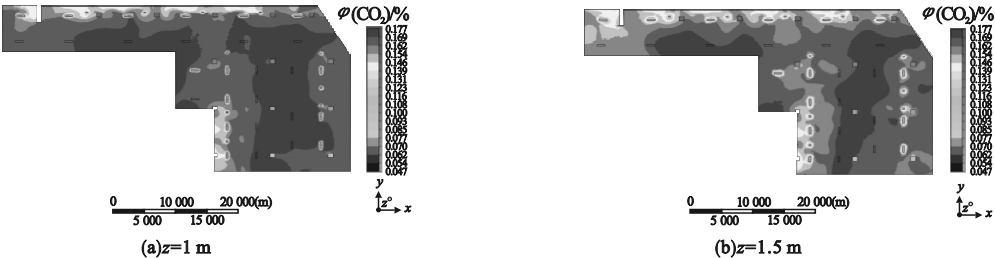


图7 人员高峰期室内CO<sub>2</sub>体积分数分布

Fig. 7 Cloud chart of indoor CO<sub>2</sub> volume fraction distribution during peak period

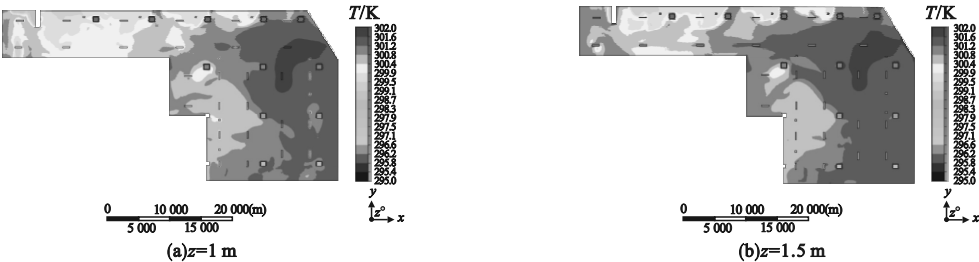


图8 人员高峰期室内温度分布

Fig. 8 Cloud diagram of indoor temperature distribution during peak period

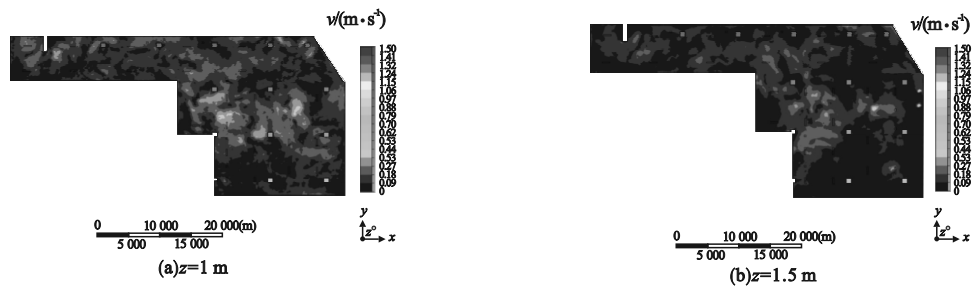


图 9 人员高峰期室内风速分布

Fig. 9 Cloud diagram of indoor wind speed distribution during peak period

由图 7 可以看出,人员高峰期时健身房室内的  $\text{CO}_2$  体积分数超标严重。在  $z=1\text{ m}$  平面上  $\text{CO}_2$  体积分数为 0.188%,平均体积分数为 0.170%;在  $z=1.5$  平面上  $\text{CO}_2$  体积分数为 0.185%,平均体积分数为 0.162%;并且在力量区、器械区以及操厅位置  $\text{CO}_2$  堆积尤为严重。由图 8 可知,夏季室内温度升高迅速,尤其是在正处于团课阶段的操厅和私教室,人员更为集中,使得局部温度接近 302 K,力量区和器械区维持在 300 K 左右,整个健身房只有入口处的休息区及有氧区温度基本可以达到舒适要求。图 9 中室内风速分布表明,此时室内风速过低,整体在 0.06 m/s 左右,而且在近壁面以及转角处存在明显的死角,室内空气流通效果很差。因此,通过模拟结果分析可知,人员高峰期时室内  $\text{CO}_2$  体积分数不断升高,使得部分区域污染物堆积严重,空调系统的运行难以使得室内空气有效循环,因此室内空气环境状况不

佳,室内人员的体验感极差。

图 10 为将人员高峰期时的模拟结果与现场测试值对比结果。从图 10(a)可以看出,室内各个功能区的两个参考平面的  $\text{CO}_2$  体积分数实测值与模拟值相差不多,体积分数差值在 0.001%~0.009%,变化趋势基本相同,总体上比较吻合。从图 10(b)可以看出,测点的温度值与模拟值最大差值为 0.8K,这是由于高峰期时室内人员具有一定的流动性,且每个人的散热量有一定的差距,进而对室内温度造成一定影响。从图 10(c)可以看出,尽管模拟结果的风速已经过小,但现场的实测值仍要比模拟值小 0.01~0.07 m/s,主要原因是高峰期时室内人流量大,并且室内人员对气流产生一定的阻挡,加之送风口气流复杂,所以实际风速相比稍小。总体来说,健身房室内人员高峰期时的模拟值与现场测试数据的差值较小,在允许范围之内,模拟结果可靠。

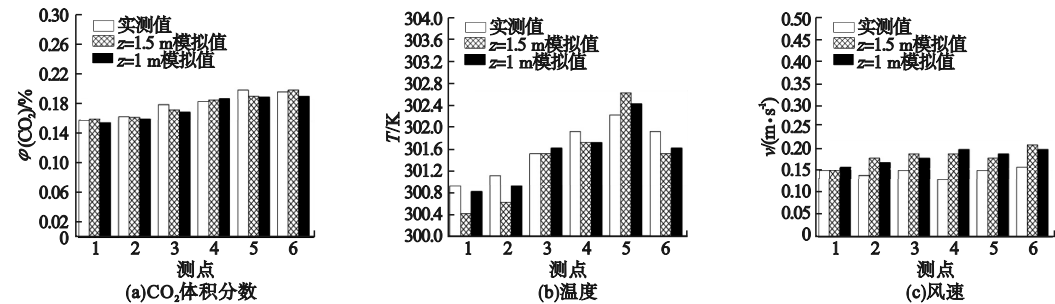


图 10 人员高峰期时模拟值与实测值对比

Fig. 10 Comparison between simulated value and measured value during peak period



4 结 论

(1)开馆初期室内 VOC 存在明显的堆积,在力量区和私教区较为明显,最高浓度达 0.9 mg/m<sup>3</sup>,接近标准值 2 倍,室内平均温度为 299.5 K,在操厅和私教室的隔墙附近温度略高,达到 302 K,送风口风速过大,局部风速过小,导致 VOC 在室内堆积以及部分区域温度过高。

(2)人员高峰期时室内 CO<sub>2</sub> 体积分数不断升高,室内空气流通效果很差,室内气流存在死角,人员密集使得室内温度不断升高,大部分区域过高,空调系统的运行难以使得室内空气有效循环,因此室内空气环境状况不佳,体验感极差。

(3)无论是健身房开馆初期,还是人员高峰期,模拟值与现场测试值的差值均很小,在可控范围之内,证明模拟方法准确可靠,可为工程应用提供技术支持。

参考文献

[ 1 ] 张秋月. 建筑材料对室内空气质量的影响及其评价[J]. 低碳世界,2018,(3):177-178. (ZHANG Qiuyue. Impact of building materials on indoor air quality and their evaluation [J]. Low carbon world,2018,(3):177-178.)

[ 2 ] Korky K. 'Buildingomics' seeks cure for sick-building syndrome [J]. Daily commercial news,2017,90(101):1-2.

[ 3 ] 姜志勇. 空气污染对于长时间有氧运动效果的影响研究[J]. 环境科学与管理,2020,45(11):89-93. (JIANG Zhiyong. Study on effect of air pollution on aerobic exercise [J]. Environmental science and management,2020,45(11):89-93.)

[ 4 ] 赵越. 国内外室内空气质量相关标准比较研究山. 科技与创新,2019,(23):53-54. (ZHAO Yue. Comparative study of indoor air quality related standards in home and abroad [J]. Science and technology & innovation,2019,(23):53-54.)

[ 5 ] 邹慧芬,岳志安,彭辉,等. 控制室内甲醛和 PM<sub>2.5</sub>的新风净化系统优化设计[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2020,36(4):712-719.

(ZOU Huifen, YUE Zhian, PENG Hui, et al. Optimization design of fresh air purification system with formaldehyde and PM<sub>2.5</sub> controled in purification room [J]. Journal of Shenyang jianzhu university ( natural science ), 2020, 36(4):712-719.)

[ 6 ] 鲍跃群,冯璇. 影响健身效果的室内空气质量指标的研究综述[J]. 福建体育科技,2015,34(1):4-6. (BAO Yuequn, FENG Xuan. Overview of the IAQ indicators influencing on the fitness effect [J]. Fujian sports science and technology, 2015,34(1):4-6.)

[ 7 ] SÉRAFIN G, BLONDEAU P, MANDIN C. Indoor air pollutant health prioritization in office buildings [J]. Indoor air,2021,31(3):646-659.

[ 8 ] SUN Y K, SUNG H J. Particulate-matter related respiratory diseases [J]. Tuberculosis and respiratory diseases, 2020, 83(2):116-121.

[ 9 ] 陆大江,沈逸蕾. 健身房运动环境的研究与分析[J]. 体育与科学,2012,33(3):9-17. (LU Dajiang, SHEN Yilei. Research and analysis of body-building environment of gymnasium [J]. Journal of sports and science, 2012,33(3):9-17.)

[ 10 ] 周波,周超,郑争良. 长沙市经营性健身房空气质量与噪声的现状调查及对策研究[J]. 安徽体育科技,2012,33(5):16-22. (ZHOU Bo, ZHOU Chao, ZHENG Zhengliang. Research on the current status and countermeasure of air quality and noise in commercial gymnasiums in Changsha city [J]. Journal of Anhui sports science, 2012, 33(5):16-22.)

[ 11 ] 吕达林. 哈尔滨市某高校教室 CO<sub>2</sub> 浓度监测分析及模拟研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019. (Lü Dalin. Monitoring analysis and simulation of carbon dioxide concentration in college classrooms in Harbin [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology,2019.)

[ 12 ] HÖPPE P, MARTINAC I. Indoor climate and air quality-review of current and future topics in the field of ISB study group 10 [J]. International journal of biometeorology, 1998, 42(1):1-7.

[ 13 ] LUO M H, ZHOU X, ZHU Y X, et al. Revisiting an overlooked parameter in thermal comfort studies, the metabolic rate [J]. Energy and buildings,2016(118):152-159.

[ 14 ] 李念平. 建筑环境学[M]. 北京:化学工业出版社,2010. (LI Nianping. Built environment [M]. Beijing:Chemical Industry Press,2010.)

(责任编辑:王国业 英文审校:唐玉兰)