

基于自然通风的既有游泳馆室内气流组织模拟分析

安艳华¹,马旭媛¹,王安琪²,徐莉莉³

(1. 沈阳建筑大学建筑与规划学院,辽宁 沈阳 110168;2. 天津大学建筑学院,天津 300072;

3. 沈阳城市建设学院建筑与规划学院,辽宁 沈阳 110167)

摘要 目的 分析既有游泳馆气流组织的影响因素,为改善室内自然通风状况、打造健康的室内空气环境提供设计参考。方法 以某游泳馆为例,采用 Airpak 软件对室内气流组织进行模拟分析,提出在自然通风下通过改变侧窗参数和增设天窗来改善室内空气的流速和走向。结果 通过模拟分析得出最佳参数:侧窗入射风角度为各 150°、通风面积增加至 12.42%、进出风口面积比为 1:2、进风口和相对出风口高位、相邻出风口低位、并增设 2 组面积各为 5% 的天窗,此时,坐席区最大风速由 0.16 m/s 提高到 0.91 m/s,泳池区最大风速由 0.22 m/s 提高到 0.47 m/s。结论 入射风与进风口形成一定角度可避免穿堂风;侧窗通风面积和进出风口面积比不宜过大或过小;侧窗进风口不宜设在较低位置;大空间建筑设置天窗可提高空间整体风速。

关键词 自然通风;游泳馆;气流组织;Airpak 模拟

中图分类号 TU201.5

文献标志码 A

引用格式:安艳华,马旭媛,王安琪,等.基于自然通风的既有游泳馆室内气流组织模拟分析[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2024,40(1):148-157. (AN Yanhua, MA Xuyuan, WANG Anqi, et al. Simulation analysis of indoor air distribution in existing natatorium based on natural ventilation[J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2024, 40(1):148-157.)

Simulation Analysis of Indoor Air Distribution in Existing Natatorium Based on Natural Ventilation

AN Yanhua¹, MA Xuyuan¹, WANG Anqi², XU Lili³

(1. School of Architecture and Urban Planning, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. School of Architecture, Tianjin University, Tianjin, China, 300072; 3. School of Architecture and Planning, Shenyang Urban Construction University, Shenyang, China, 110167)

Abstract: In order to provide design references for improving indoor natural ventilation and creating a healthy indoor air environment, the natural ventilation of existing swimming pools, the influencing factors of air flow distribution were analyzed in existing swimming pools. The swimming pool in Shenyang Jianzhu University campus taken as an example, various influencing

收稿日期:2022-11-21

基金项目:国家自然科学基金项目(51978418)

作者简介:安艳华(1967—),女,教授,主要从事建筑设计及其理论、绿色低碳建筑技术等方面研究。

factors of air distribution were simulated by Airpak software. The simulation results show that under the condition of the natural ventilation, indoor air flow rate and orientation can be improved by changing the parameters of side windows and adding skylights. The optimal parameters are a side window incident wind angle of 150° , an increase in opening area of 12.42%, a ratio of inlet and outlet areas of 1:2, high positions of the inlet and relative outlet, low positions of adjacent outlet, and the addition of two sets of skylights with an area of 5%. With the optimal parameters, the maximum wind speed in the seating area increases from 0.16 m/s to 0.91 m/s, and the maximum wind speed in the swimming pool area increases from 0.22 m/s to 0.47 m/s. The cross ventilation can be avoided by a certain angle between incident wind and the air inlet; the ratio of side window area to the air inlet and outlet area should not be too large or too small; the side window air inlet should not be set at a lower position; overall wind speed of the space in large space buildings can be increased by installing skylights.

Key words: natural ventilation; natatorium; air distribution; Airpak simulation

随着“健康中国”战略的提出,建筑领域开始大力发展健康建筑,2017年,我国首部以健康理念为基础的《健康建筑评价标准》发布并实施^[1],2021年,经修订后再次发布^[2]。为了实现精细化建设指引,对主要建筑类型开展了健康建筑标准的编制工作,体育建筑的健康理念已被广泛关注^[3]。游泳馆属有特殊要求的体育类建筑,该类建筑不仅需要舒适的水上运动物理环境,健康的空气环境也同样重要,适宜的自然通风是要点之一。目前,国内外学者在室内自然通风方面进行了大量相关研究。程征等^[4]利用CFD软件从进风量、进深方向气流深入程度和风速对体育馆进行模拟研究,得出与正方形通风口相比,竖向长条形通风口的通风量增加6.82%,气流运动更深入,看台区和场地区气流速度明显提升,其中场地区平均风速增加75%。C. E. Ochoa等^[5]对办公建筑同时优化低能耗(小尺寸)和视觉舒适性(大尺寸)时出现的窗口尺寸矛盾问题进行研究,给出了各朝向外墙窗墙比的适宜范围:建议北向外墙窗墙比不宜大于70%,其他朝向外墙窗墙比不宜大于60%。

根据现场调研发现,很多既有游泳馆室内环境潮湿闷热,热桥部位结露现象较为严重,内部通风不佳,气流速度处于规范最低限值,这不仅对使用者舒适度有所影响,还会缩

短建筑使用寿命。基于此,笔者采用Airpak模拟分析方法,以侧窗的入射风角度、通风面积、进出风口面积比和进出风口剖面相对位置及增设天窗的比面积、相对位置和数量作为变量进行模拟,通过分析得到各变量对游泳馆自然通风的影响^[6],提出最佳参数设置,为该类建筑改造提供建议。

1 游泳馆数值模型

1.1 模型建立

选取位于辽宁省沈阳市的某大学游泳馆作为模拟对象,该建筑朝向为北偏东 30° ,其主体部分泳池厅为单层的规则长方体,长 \times 宽 \times 高为60 m \times 39 m \times 15 m。泳池厅南侧为建筑内墙,其余三面墙体均为外墙,外墙上均布置玻璃幕墙,墙上设有部分可开启窗扇,均为上悬窗,最大可开启角度为 30° 。泳池厅室内布置主要为泳池区和观众坐席区,泳池区沿东西向布置,位置靠近北侧外墙,坐席区紧靠南侧内墙(见图1)。

根据泳池厅的实际情况,将三面外墙上布置的可开启窗扇视作窗洞,不可开启的幕墙视作实墙,观众坐席区台阶视为相应角度的斜坡,经过适当简化,建立数值模型^[7]。对简化后的模型进行网格划分,整体选择六面体非结构化网格,并对局部进行加密处理以提高计算精度^[8-9],网格节点总数为53 140个。

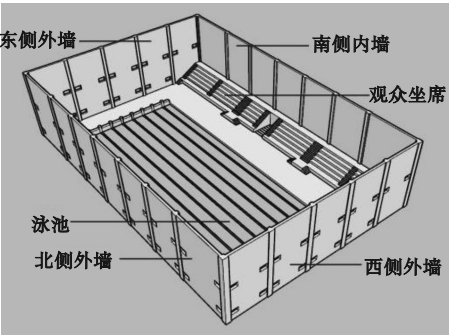


图1 泳池厅模型

Fig. 1 Swimming pool hall model

1.2 边界条件

该游泳馆处于严寒地区,冬季供热从11月初至次年3月末,夏季开放制冷,春秋过渡季无供热或制冷,主要依靠自然通风对室内热环境进行调节。严寒地区冬季气温较低,不适宜自然通风,选取5月、8月为典型月份,参数取5月、8月平均值。根据对近五年天气的统计,取室外温度为18℃,风速为2.15 m/s,风向为南向。

将泳池厅现状设为原工况,按预设工况进行单变量模拟,其余变量与初始工况保持一致,得出以坐席为原点向相邻出风口方向风速变化的数据和以地面为基准 $z=1.5$ m标高水平面处的风速云图,与初始工况进行对比分析^[10]。仅将参数变化作为分析依据,参数本身不作为参考。

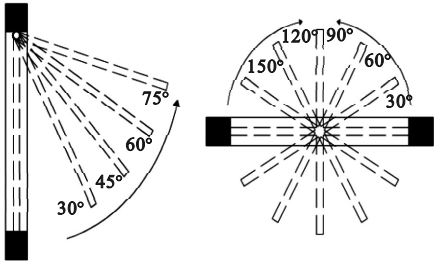
2 侧窗对气流组织的影响

2.1 侧窗入射风角度对气流组织的影响

窗的不同开启方式有不同导风作用,可通过选择开启方式改变风的入射角度,故以入射风角度作为变量模拟。根据窗的开启方式特性^[11],外开上悬窗和立转窗较为适用于此游泳馆建筑,原工况为外开上悬窗,可开启角度30°,增设45°、60°、75°工况。若更换为立转窗,顺应参数风向时,入射风角度为30°,增设60°、90°、120°、150°几种工况(见图2)。

图3为不同入射风角度侧窗的风速变化

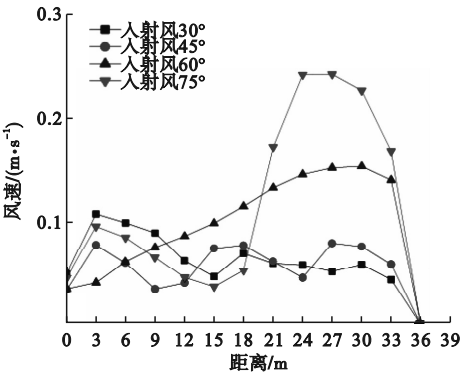
模拟结果。当上悬窗入射风角度为30°时,坐席区风速最大,达到0.11 m/s;当上悬窗入射风角度为75°时,泳池区风速最大,达到0.24 m/s。当立转窗入射风角度为120°时,坐席区风速最大,达到0.37 m/s;当立转窗入射风角度为90°时,泳池区风速最大,达到0.41 m/s。



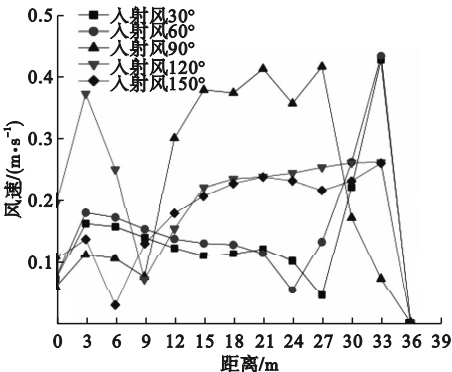
(a)外开上悬窗剖面 (b)立转窗平面

图2 不同侧窗开启方式入射风角度示意图

Fig. 2 Schematic diagram of incident wind angle of side windows with different opening methods



(a)外开上悬窗



(b)立转窗

图3 不同侧窗入射风角度的风速变化

Fig. 3 Wind speed variation of side windows at different incident wind angles

图 4 为不同侧窗入射风角度的风速云图。从图 4 中可以看出,随着上悬窗入射风角度增大,进风口处风速显著提高,气流路径逐渐变长;当入射风角度达到 75°时,气流可流动至相对出风口,但空间内气流分布不均匀。当立转窗入射风角度小于 90°时,进风口与相邻出风口间风速较大,但气流难以到达相对出风口,存在大面积低风速区;当入射

风角度等 90°时,气流穿过空间到达相对出风口,形成小范围穿堂风,局部风速过大,两侧进风口气流相对短路;当入射风角度大于 90°时,进风口与内墙相接处风速大,出风口风速普遍偏小,形成低风速带。因此,当立转窗入射风角度为 150°时,气流向内墙方向坐席区流动趋势明显,为侧窗入射风角度的最佳参数。

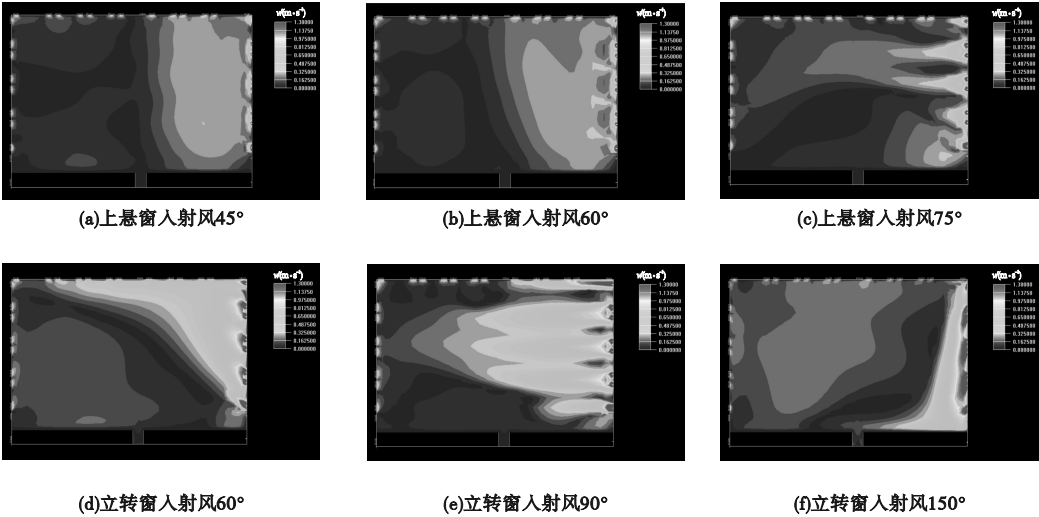


图 4 不同侧窗入射风角度的风速云图

Fig. 4 Wind speed nephogram for different incident wind angles of side windows

2.2 侧窗通风面积对气流组织的影响

原工况上悬窗的有效通风面积为 74.5%,模拟简化过程中将其视为 100%,修改后,房间外窗通风面积占外墙的 4.14%,仍不满足《公共建筑节能设计标准》中公共建筑外窗通风面积不小于外墙 10% 的规定^[12]。开窗过多会降低门窗密闭性,严寒地区应尽量在满足自然通风的前提下减少开窗面积^[13]。将原通风面积按 2、3、4、5 倍等比放大,侧窗通风面积占比对应为 8.28%、12.42%、16.56%、20.70%,其他条件不变。

不同侧窗通风面积占比的风速变化模拟结果如图 5 所示。当侧窗通风面积占比为 20.70%时,坐席区风速最大,达到0.35 m/s,泳池区风速最大,达到 0.56 m/s。气流分布模拟结果如图 6 所示。从图 6 中可以看出,随着侧窗通风面积占比增大,进出风口风速

提高,气流路径范围增大,低风速面积减少,仍有通风死角,通风面积占比过大会导致空间内风速过大,不能满足游泳馆对风速的要求。因此,当侧窗通风面积占比为 12.42% 时,既满足规范要求,通风面积又较为合适,为侧窗通风面积的最佳参数。

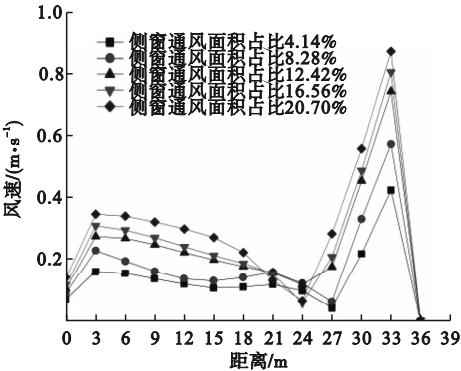


图 5 不同侧窗通风面积占比的风速变化

Fig. 5 Wind speed variation for the area proportion of different of windows

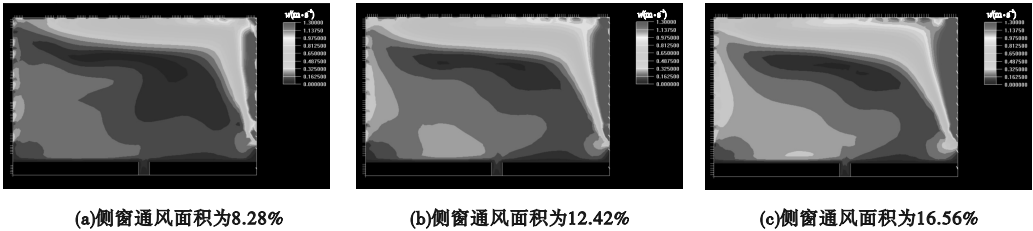


图6 不同侧窗通风面积的风速云图

Fig. 6 Wind speed nephogram for different ventilation areas of side windows

2.3 进出风口面积比对气流组织的影响

根据建筑朝向及模拟风向可知,该建筑东墙窗口为进风口,北墙窗口为相邻出风口,西墙窗口为相对出风口。原工况进风口与出风口面积比为1:2.5,增设1:3、1:2、1:1、2:1、3:1五种工况进行模拟。

不同进出风口面积比的风速变化模拟结果如图7所示。当进出风口面积比为3:1时,坐席区风速最大,达到0.24 m/s;当进出风口面积比为2:1时,泳池区风速最大,达到0.39 m/s。气流分布模拟结果如图8所示。从图8中可以看出,随着进出风口面积比的增大,进出风口处的风速逐渐提高,空间内气流覆盖范围变大,低风速区面积逐渐减小,当进出风口面积比达到1:1时,空间内风速变化较为明显,当进出风口面积比达到3:1时,

进出风口处风速还在持续提高,但气流路径范围有所回缩,低风速区面积稍有增加。因此,当进出风口面积比为1:2时,室内整体风速提升,低风速区面积减少,为进出风口面积比的最佳参数。

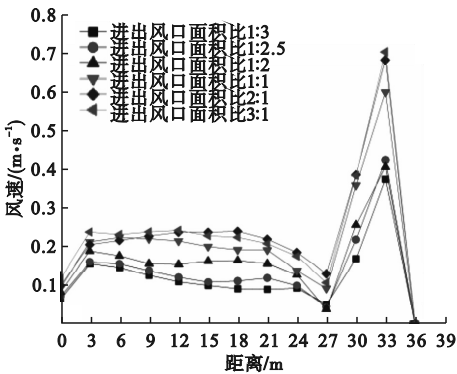


图7 不同进出风口面积比的风速变化

Fig. 7 Wind speed variation for different area ratios of air inlet and outlet

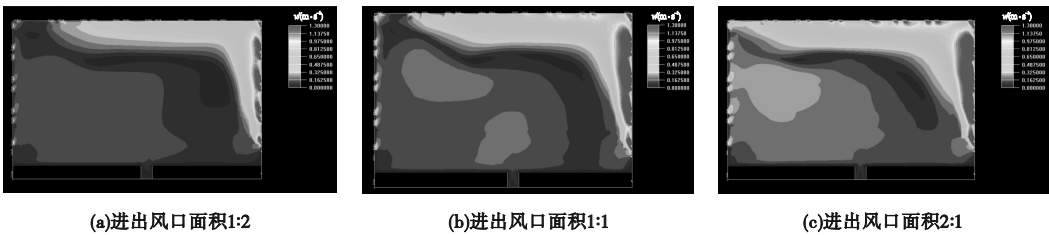


图8 不同进出风口面积比的风速云图

Fig. 8 Wind speed nephogram for different area ratios of air inlet and outlet

2.4 进出风口剖面相对位置对气流组织的影响

设定原工况的进风口、相邻墙出风口、相对墙出风口均处于低位,将高于原工况窗口3 m处位置定为高位,对进、出风口剖面相对位置进行排列组合,最终得出八种不同模拟工况,进风口处于低位和高位时分别有四种

工况。图9为不同进出风口剖面相对位置侧窗的风速变化模拟结果。从图9中看出,当进风口和相对出风口处于高位,相邻出风口处于低位时,坐席区风速最大,达到0.22 m/s;当进、出风口都处于高位时,泳池区风速最大,达到0.46 m/s。

不同侧窗进出风口剖面相对位置下的气

流分布模拟结果如图 10 所示。从图 10 中可以看出,当进风口处于低位时,进风口处风速较大,气流路径较窄;当进风口处于高位时,由于截取的是 1.5 m 标高水平截面处的风速云图,故图中进风口处风速较小,气流路径较宽。当进风口和相邻出风口处于同一高度

时,进风口处风速较大,当进风口和相邻出风口处于不同高度时,进风口处风速较小。因此,当进风口和相对出风口处于高位,相邻出风口处于低位时,进风口处风速适宜,符合空间对风速的要求,为进出风口剖面相对位置的最佳参数。

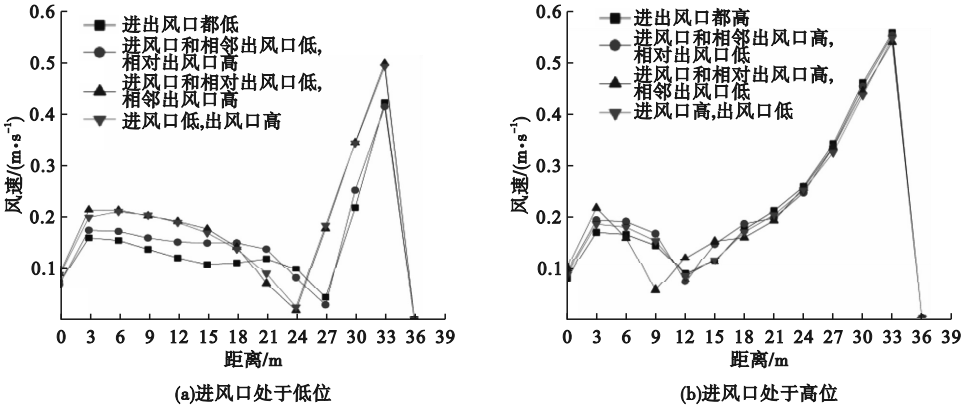


图 9 不同进出风口剖面相对位置的风速变化

Fig. 9 Wind speed variation at relative positions of different inlet and outlet profiles

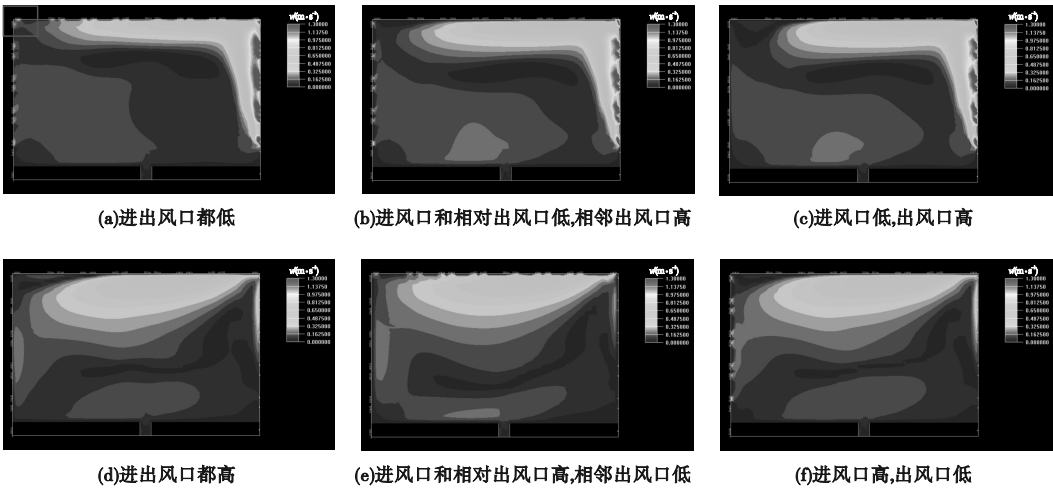


图 10 不同进出风口剖面相对位置的风速云图

Fig. 10 Wind speed nephogram at relative positions of different inlet and outlet profiles

3 天窗对气流组织的影响

原工况未设置天窗,建立典型天窗模型^[14]。典型天窗模型开口面积占屋顶总面积的 10%,长边与面宽同长,尺寸为 60 m × 3.9 m,位置与面宽同向,宽边在进深方向上居中,数量为 1 组。

3.1 天窗开口面积对气流组织的影响

《公共建筑节能设计标准》(GB50189—2005)中规定:甲类公共建筑屋顶透光面积不应大于屋顶总面积的 20%,取 10% 为典型天窗模型的开口面积,在此基础上,增设 5%、15%、20% 三种工况进行模拟。

图 11 为不同天窗开口面积的风速变化

模拟结果。当开口面积为5%时,坐席区风速最大,达到0.21 m/s;当开口面积为10%时,泳池区风速最大,达到0.30 m/s。图12为不同天窗开口面积的风速云图。从图12中可以看出,随着开口面积的增大,空间整体风速提高,低风速区域面积减少,当开口面积增大到一定程度时,空间内风速开始减小,低风速区域面积明显增加。因此,当天窗开口面积为10%时,室内整体风速较为适宜,为天窗开口面积的最佳参数。

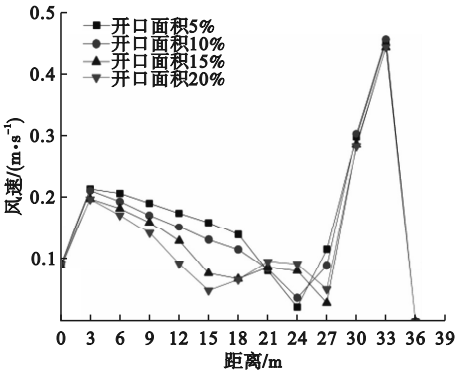


图 11 不同天窗开口面积的风速变化

Fig. 11 Wind speed variation of different skylight opening areas

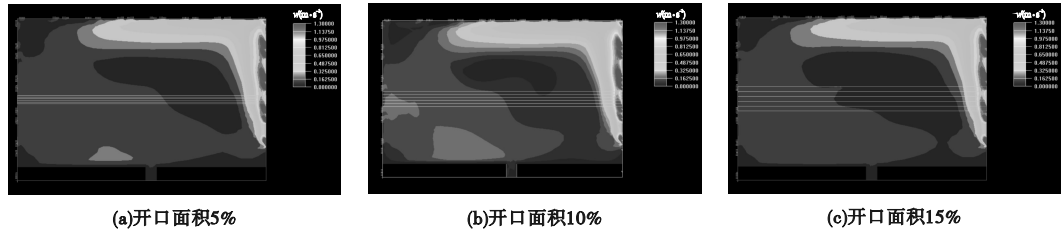


图 12 不同天窗开口面积的风速云图

Fig. 12 Wind speed nephogram of different skylight opening areas

3.2 天窗相对位置对气流组织的影响

典型天窗相对位置模拟分两种情形 10 种工况。天窗与面宽同向,宽边在进深方向 1/2 处,偏相邻出风口 1/3 处、1/6 处,偏内墙 1/3 处、1/6 处;天窗与进深同向,宽边在面宽方向 1/2 处,偏进风口 1/3 处、1/6 处,偏相对出风口 1/3 处、1/6 处。图 13 为不同天窗相对位置的风速变化模拟结果。当天窗与进

深同向,宽边在面宽方向偏进风口 1/6 处时,坐席区风速最大,达到0.23 m/s;当天窗与面宽同向,宽边在进深方向偏相邻出风口 1/6 处时,泳池区风速最大,达到 0.32 m/s。图 14 为不同相对位置天窗的风速云图。当天窗与面宽同向,宽边在进深方向 1/2 处和偏相邻出风口 1/6 处时,空间内整体风速较高,低风速区域面积较小,但气流分布不均匀;

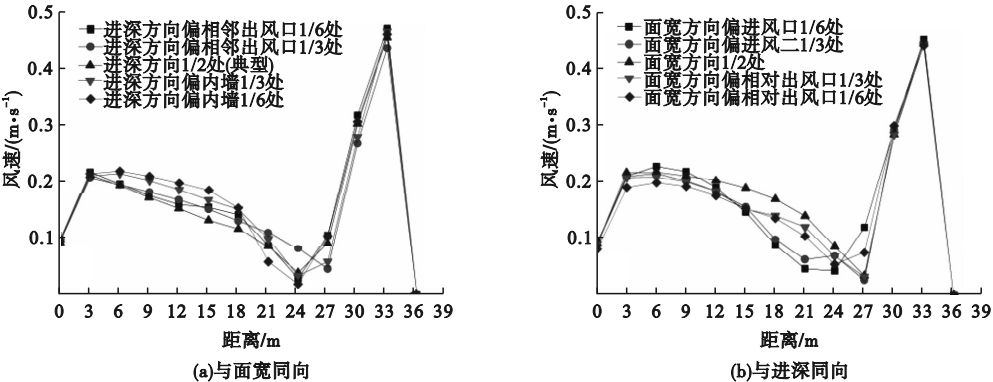


图 13 不同天窗相对位置的风速变化

Fig. 13 Wind speed variation at different relative positions of skylights

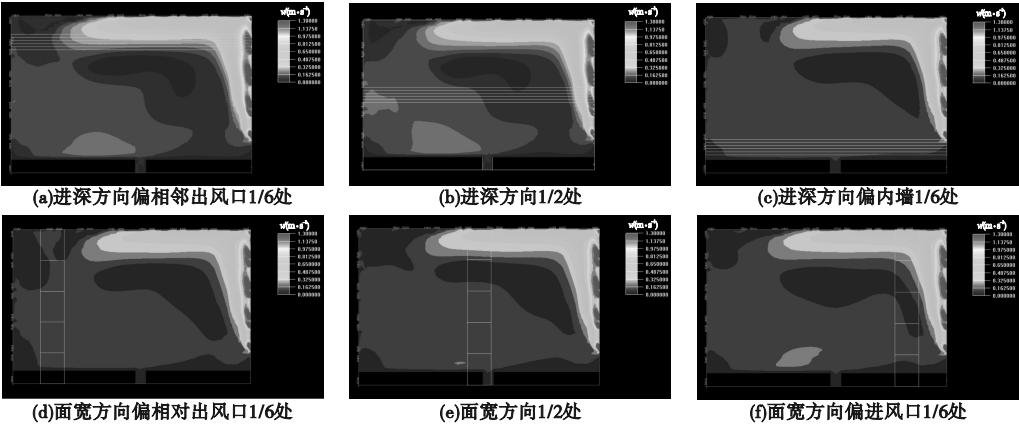


图 14 不同天窗相对位置的风速云图

Fig. 14 Wind speed nephogram at different relative positions of skylights

与进深同向时,各工况间变化较小,空间内整体风速较低,气流分布较为均匀。因此,当天窗与面宽同向,宽边在进深方向 1/2 处时,室内气流分布合理,为天窗相对位置的最佳参数。

3.3 天窗数量对气流组织的影响

保持天窗总面积不变,天窗位置与面宽同向,且宽边在进深方向等分处。把天窗拆分成 2 组、3 组、4 组三种工况进行模拟分析^[15]。

图 15 为不同天窗数量的风速变化模拟结果。当天窗数量为 3 组时,坐席区风速最大,达到 0.22 m/s;当天窗数量为 1 组时,泳池区风速最大,达到 0.30 m/s。图 16 为不同数量天窗的风速云图。各工况气流分布情况相似,当天窗数量为 1 组时,局部气流速度较大,空间内低风速区域面积较小。随着天

窗数量越多,气流越分散,空间内整体风速也越低。因此,当天窗数量为 2 组时,局部气流速度和室内气流分布都较为合理,为天窗数量的最佳参数。

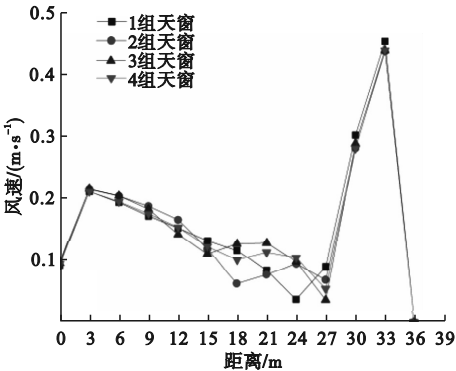


图 15 不同天窗数量的风速变化

Fig. 15 Wind speed variation with different number of skylights

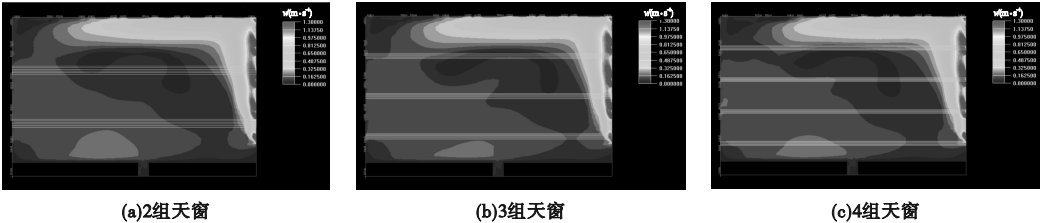


图 16 不同天窗数量的风速云图

Fig. 16 Wind speed nephogram with different number of skylights

4 综合优化分析

4.1 综合优化方案

由于游泳馆建筑要求观众坐席区风速略高

于泳池区,可将气流向内墙方向坐席区引导,设置立转窗入射风角度为 150°;原工况侧窗通风面积过小不满足规范要求,适度增加通风面积,将其扩大到原工况的 3 倍,即占外墙面积的

12.42%;为了增加室内整体风速,减少低风速区面积,适当增加侧窗进风口面积,减少出风口面积,设置进出风口面积比为1:2;侧窗进风口位置的高低对空间内气流分布会造成较大影响,为了防止进风口处风速过大,将进风口设置

于高位,根据空间对风速的要求,将相邻出风口设置于低位,相对出风口设置于高位。再增设两组面积各为5%的天窗,即天窗总面积占屋顶的10%,与面宽同向,平均分布在进深方向上,得出最终优化方案(见表1)。

表1 优化方案参数汇总

Table 1 Summary of optimization plan parameters

工况	侧窗				天窗		
	入射风	通风面积比/%	进出风口面积比	剖面相对位置	开口面积比/%	相对位置	数量
原工况	上悬窗 30°	4.14	1:2.5	进出风口全低	—	—	—
优化工况	立转窗 150°	12.42	1:2	相邻出风口低	10	与面宽同向	2

4.2 综合优化结果

优化后室内自然通风有很大改善,坐席区最大风速由0.16 m/s 提升至0.91 m/s,泳池区最大风速由0.22 m/s 提升至0.47 m/s (见图17)。

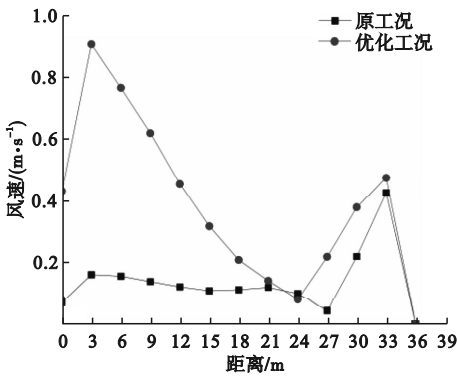
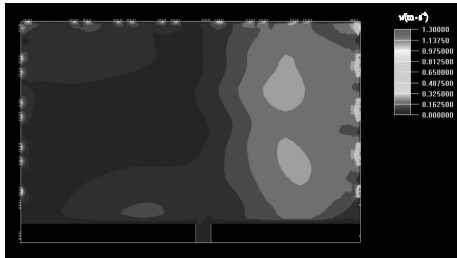


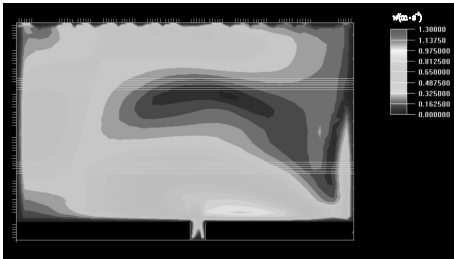
图17 优化前后的风速变化

Fig. 17 Wind speed variation before and after optimization

优化后整体风速呈中间低四周高的趋势,即泳池区风速较低,泳池四周风速较高,坐席区风速最高,符合游泳馆设计要求(见图18)。



(a)原工况风速云图



(b)优化工况风速云图

图18 优化前后的风速云图

Fig. 18 Wind speed nephogram before and after optimization

5 结 论

(1)改变入射风角度,气流向坐席区方向流动,坐席区风速高于其他位置;增加通风面积使整体风速提高,低风速面积减少;调整进出风口面积比,气流分布更均匀;进风口处于高位且相邻出风口错开布置于低位,解决了进风口风速过大问题,相邻出风口处于低位减少了通风死角。

(2)保持侧窗入射风与进风口形成一定角度,可以避免形成穿堂风、导致风速过大;通风面积不宜过大或过小,选择合适的通风面积,既保证自然通风又不会给使用者带来不适感;进出风口面积比不宜过大或过小;进风口不宜设在较低位置,相邻出风口、相对出风口的位置可根据具体要求进行调整。

(3)大空间建筑增设天窗,利用热压来改善通风,可使空间整体风速提高,有利于空间内气流流动。

参考文献

- [1] 王清勤,孟冲,李国柱. T/ASC 02—2016《健康建筑评价标准》编制介绍[J]. 建筑科学, 2017, 33(2): 163–166.
(WANG Qingqin, MENG Chong, LI Guozhu. Brief introduction of architectural society of China standard entitled with assessment standard for healthy building [J]. Building science, 2017, 33(2): 163–166.)
- [2] 中国建筑学会. 健康建筑评价标准: T/ASC 02—2021 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
(The Architectural Society of China. Assessment standard for healthy building: T/ASC 02—2021 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2021.)
- [3] 王清勤,邓月超,李国柱,等. 我国健康建筑发展的现状与展望[J]. 科学通报, 2020, 65(4): 246–255.
(WANG Qingqin, DENG Yuechao, LI Guozhu, et al. The current situation and trends healthy building development in China [J]. Chinese science bulletin, 2020, 65(4): 246–255.)
- [4] 程征,李玲玲,亓晓琳,等. 通风口形状对体育馆风压通风效果的影响研究[J]. 建筑科学, 2020, 36(6): 106–111.
(CHENG Zheng, LI Lingling, QI Xiaolin, et al. Research on the influence of ventilation opening shape on the wind pressure ventilation effect of gymnasium [J]. Building science, 2020, 36(6): 106–111.)
- [5] OCHOA C E, ARIES M B C, LOENEN E J V, et al. Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort [J]. Applied energy, 2012(95): 238–245.
- [6] 郝红,张广渊,张海龙,等. 家用车内空气品质动态变化研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2023, 39(1): 185–192.
(HAO Hong, ZHANG Guangyuan, ZHANG Hailong, et al. Air quality dynamic change and purification in household [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2023, 39(1): 185–192.)
- [7] 钱锋. 基于 Airpak 的体育馆室内热环境数值模拟分析[J]. 建筑学报, 2012(增刊2): 1–4.
(QIAN Feng. Numerical simulation and study on gymnasium indoor thermal environment [J]. Architecture journal, 2012(S2): 1–4.)
- [8] 杨义. 基于 Airpak 的某高校阶梯教室改善空气品质措施的模拟分析[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2018.
(YANG Yi. A simulation analysis of the measures to improve air quality in a university step classroom based on Airpak [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2018.)
- [9] 时辰. 寒地高校图书馆中庭热环境优化策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
(SHI Chen. Research on library atrium design strategy in severe cold region based on thermal comfort [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018.)
- [10] 于歌. 多功能游泳馆比赛厅微气候 CFD 模拟与设计对策研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
(YU Ge. CFD simulation of microclimate and design strategy of multifunction swimming hall [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.)
- [11] 王亮,卢军,赵娟,等. 窗户开启方式对居室内自然通风的影响分析[J]. 重庆大学学报, 2011, 34(增刊1): 75–79.
(WANG Liang, LU Jun, ZHAO Juan, et al. Impact of windows' forms on indoor natural ventilation [J]. Journal of Chongqing university, 2011, 34(S1): 75–79.)
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 公共建筑节能设计标准: GB50189—2015 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
(Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Design standard for energy efficiency of public buildings: GB50189—2015 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.)
- [13] 于沈尉,王金奎. 不同热工分区下窗墙比对住宅能耗差异性分析[J]. 建筑节能, 2019, 47(10): 146–150.
(YU Shenwei, WANG Jinkui. Analysis of sensitivity difference of residential consumption caused by window-to-wall ratio in different thermal divisions [J]. Building energy efficiency, 2019, 47(10): 146–150.)
- [14] 游媛. 基于过渡季室内通风环境的体育馆可动界面研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
(YOU Yuan. Research on the movable interface of gymnasium based on inner wind environment in transitional season [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.)
- [15] 洪天驹. 基于热舒适目标的“沈阳市全民健身中心”羽毛球馆自然通风优化设计研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2018.
(HONG Tianju. Optimization design of natural ventilation in badminton hall of the "Shenyang national fitness center" based on thermal comfort target [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2018.)
- (责任编辑: 王国业 英文审校: 唐玉兰)