

文章编号: 1671-6612 (2019) 04-437-07

卫生间干湿分区对室内湿环境和 淋浴者舒适性的影响研究

刘柏灼 裴清清 何梓豪 熊松 穆欢

(广州大学土木工程学院 广州 510006)

【摘要】 卫生间湿环境很大程度上决定了室内空气质量和住户的生活质量。对广州某高校及附近小区住户在冬季和冬春交替季节热水淋浴后产生的大量湿气对卫生间及休息区湿环境的影响进行问卷调研和实验监测研究。结果显示,在尚未进行干湿分区的卫生间淋浴期间以及淋浴后 80min,应尽量关闭卫生间窗户和卫生间附近休息区门以减少侵入休息区的湿气象。靠近卫生间的休息区门和窗在此期间如若构成对流状态,则也应在满足舒适性的情况下尽量少同时开启门和窗。通过 CFD 数值模拟分析方法研究淋浴者在不同分区隔板高度下头面部和湿区的温湿环境及气流速度等舒适度指标以及卫生间干区湿环境的变化情况,并在基于有效的调查问卷数据研究基础上采用综合评价指标 E_h 评估 3 种不同权重系数下的隔板设置高度并得出相应的指导建议。

【关键词】 卫生间; 室内湿环境; 干湿分区; 行为模式; 权重系数

中图分类号 TB6/TK0 文献标识码 A

Study on the Influence of Dry and Wet Zone of Bathroom on Indoor Wet Environment and Shower Comfort

Liu Baizhuo Pei Qingqing He Zihao Xiong Song Mu Huan

(Institute of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou, 510006)

【Abstract】 The wet environment of the bathroom largely determines the indoor air quality and the quality of life of the residents. This paper conducts a questionnaire survey and experimental monitoring on the impact of a large amount of moisture generated by a university in Guangzhou and nearby communities during the hot shower in winter and winter and spring seasons. The results showed that during the bathroom shower that had not been subjected to the partition and 80 minutes after the shower, the toilet window and the rest area near the toilet should be closed as much as possible to reduce the amount of moisture invading the rest area. CFD numerical simulation analysis method was used to study the comfort indicators such as the temperature and humidity environment and airflow velocity of the showerheads in the head and face and wet areas under different partition heights, and based on the effective questionnaire data. On the basis of the comprehensive evaluation index E_h , the height of the partitions under three different weight coefficients is evaluated and corresponding guidance recommendations are obtained.

【Keywords】 indoor wet environment; bathroom; wet and dry partition; behavior pattern; comfort

0 引言

0.1 研究背景

大多数民用住宅卫生间承担着淋浴、洗漱、洗衣、大小便等功能,卫生间的湿环境对住户的生活

作者简介: 刘柏灼 (1993-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: gzlxm1@foxmail.com

通讯作者: 裴清清 (1964-), 女, 教授, 博士生导师, E-mail: drpei@126.com

收稿日期: 2019-04-13

质量起着至关重要的影响。国内大部分高校学生宿舍基本上配备了独立卫生间，一般要占到休息区的1/6；造成住宅卫生间恶劣湿环境的主要原因在于大多卫浴间因地理环境或楼宇结构、格局差异等客观条件造成通风不畅，导致水蒸气长时间积聚在卫浴间内对室内环境造成负面影响；水蒸气往往也会随着开启的卫浴间门或门下方的百叶换气孔浸润到室内休息区，影响室内空气品质。

卫生间是住宅湿气最重的地方，热水淋浴后的封闭环境卫生间或梅雨季节的沿海地区民用住宅卫生间湿度可达到99.9%，比回南天的湿度高。在高热湿环境下，人的体温调节中枢兴奋性会增高，长时间则会造人们注意力、反应速度等降低而导致人们工作能力下降^[1]；人体较长时间或长期处于高湿环境中时，人体的松果腺体会分泌出大量的松果激素，使得体内肾上腺素和甲状腺素浓度相对降低而导致细胞“偷懒”，从而人就易无精打采，状态萎靡，对于一些身体状态不佳的住户，长期暴露于极端高湿度环境下易增加呼吸系统疾病的死亡风险^[2]。

卫生间的湿气主要来源于两个部分，一是淋浴时外溅的水和产生的水蒸汽，二是马桶、地漏等水封水分蒸发或住户日常活动产生的外溅水蒸汽；卫

生间的湿环境最恶劣的时段一般是在大量产生湿气且短时间难以有效排除时段，防止高湿度气体浸润最有效的措施是在源头和传播途径上予以隔绝，尽量减小湿气的浸润范围。干湿分离最核心的一点就是把淋浴区独立划分出去，通过干湿分区隔板的被动式隔湿控制让如厕区，包括洗衣区、洗脸区域不至于被浸润太多从住户淋浴后的卫生间湿区扩散的高湿度气体。

本文分别从主观与客观两方面对宿舍卫生间存在的环境湿度、热舒适问题进行调查分析，再通过实验实时监测淋浴后卫生间的相对湿度，结合实际问题研究有效可行的调控措施和优化住户行为习惯以在特殊室内外环境下改善宿舍卫生间及室内湿环境。

0.2 问卷调查情况

本次问卷调查的对象主要是该校的部分卫生间建筑格局相似的研究生楼和附近居民小区。对于本次调查有约67.8%的研究生对于干湿分区不了解，有约32.2%的研究生对干湿分区比较了解或家里卫生间有干湿分区，说明大多数被调查者对卫生间空气质量控制的认识匮乏，为了有利于提高住户的生活品质和学习工作效率，应提高这方面的认识和采取相应的措施。

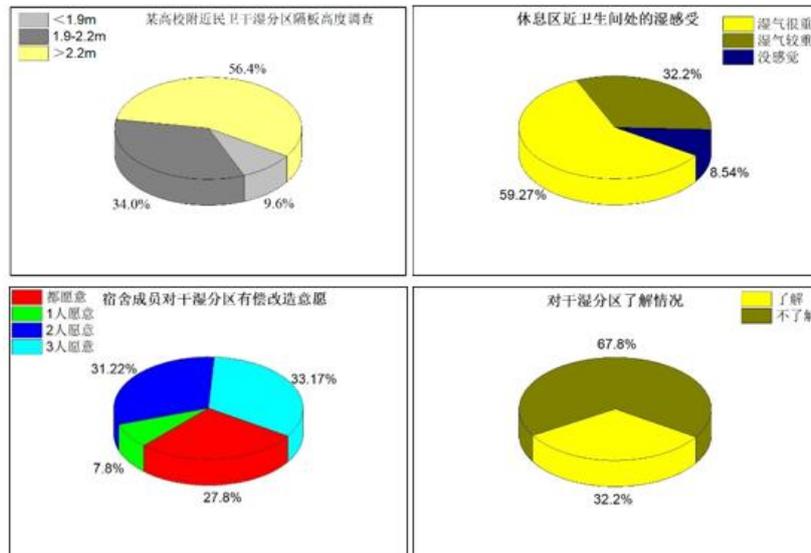


图1 调查对象主要基本情况

Fig.1 The main basic situation of the respondents

由图1可知，对于在进行日常洗漱活动和洗热水澡后近卫生间处的休息区湿感受，约59.3%的被调查者认为湿气很重，约32.2%的被调查者认为湿

气较重，约8.54%的被调查者认为没有感觉。其中感觉湿气很重和较重的被调查者认为在冬春交替季节和“回南天”时节洗热水澡后最为明显。大部

分居民表示对卫生间进行干湿分区改造所用的钢化玻璃隔板过高, 淋浴时舒适性降低, 尤其是在春夏季部分被调查者会开着分区隔板门洗澡。大部分被调查者无论是洗冷水澡或是洗热水澡后会把卫生间窗户打开。在卫生间尚未干湿分区时, 这样的行为模式更易导致淋浴后的高湿气体直接吹入休息区或通过卫生间门百叶通风孔吹去休息区, 在室外湿环境较恶劣的天气洗热水澡后影响更大, 缪智昕^[3]等人长期实测期间, 被调查住宅室内含湿量受室外含湿量显著影响。应考虑给卫生间进行干湿分区, 目前市场上对卫生间干湿分区隔板高度的设置大多是根据厂家和顾客的偏好进行设计安装, 国内外也尚未有相关文献对干湿分区挡板高度进行实验研究并得出指导性意见, 在进行干湿分区设计时缺乏相关的参考和标准, 故本文尝试对此进行研

究。

1 卫生间干湿分区后, 淋浴后室内湿环境变化实验研究

1.1 实验主要内容

如图 2 所示, 在对宿舍楼卫生间进行干湿分区改造后, 对相邻两间构造相同的卫生间干湿区各监测点进行以分区隔板高度 H 为单一变量条件的重复监测实验, 研究分区隔板高度 H 对淋浴后卫生间湿区高湿度气体向干区及休息区扩散的程度, 和相应条件下常见的行为模式对卫生间干区和室内休息区湿环境的影响, 并根据实验数据绘制出卫生间及临近休息区相对湿度随时间变化的关系图, 测试的时间主要选择在晚上住户淋浴的时间段进行。

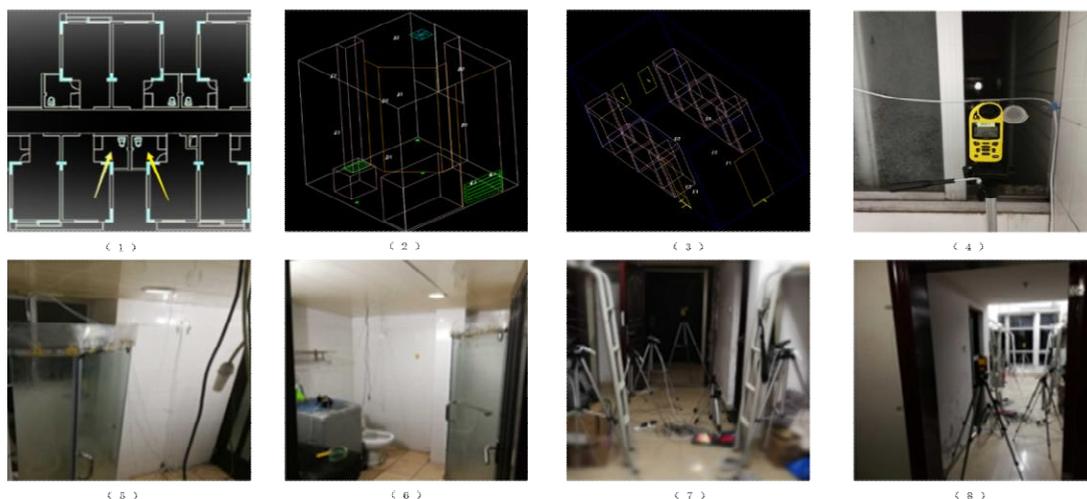


图 2 各测点模型图 (1~3) 和实验现场图 (4~8)

Fig.2 Model of each measuring point (1~3) and experimental site map(4~8)

1.2 实验流程图和现场图

本节现场图和实验流程图如图 2、图 3 所示。

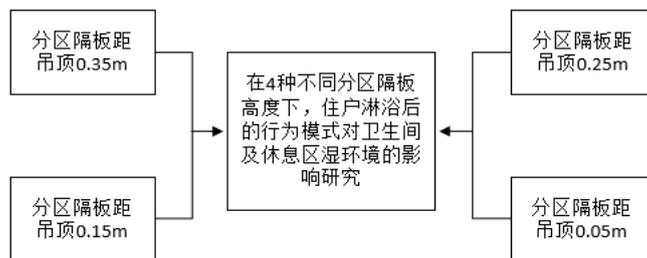


图 3 实验流程图

Fig.3 Experimental flow chart

1.3 实验结果

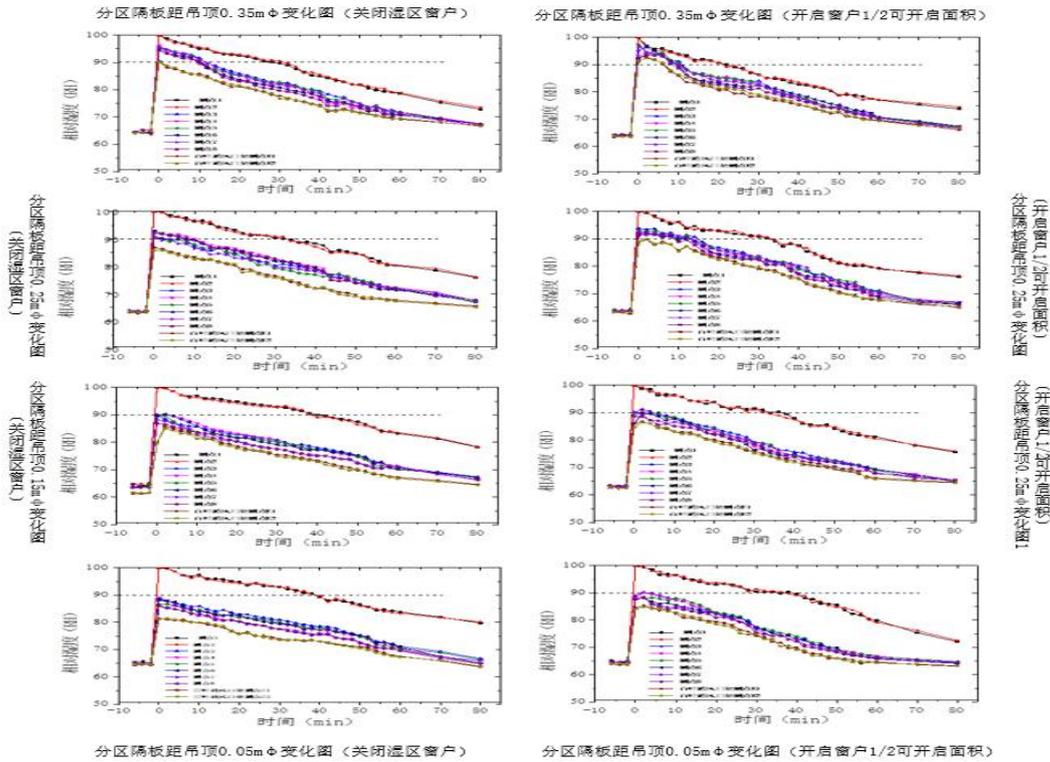


图4 组不同分区隔板高度实验数据图

Fig.4 Sets of different partition height test data

由图4可知，随着隔板和吊顶之间距离的减小，卫生间湿区和干区的相对湿度监测值差距逐渐增大。对于开启1/2卫生间窗户可开启面积实验组，随着隔板和吊顶之间距离的减少，卫生间湿区的相对湿度值较关闭湿区窗户实验组下降的更快，这是因为室外新风吹入卫生间湿区，使得湿区的高湿气体较快的液化和在紊流运动的作用下被新风从窗户带出室外；卫生间干区和休息区的相对湿度值较关闭湿区窗户实验组也是下降更快，各开启1/2卫生间窗户可开启面积实验组在约第10min后，干区和休息区测点的相对湿度值明显比关闭时区窗户实验组下降的快。

结果表明干湿分区隔板距吊顶0.05m实验组对湿区高湿气体和“污染气体”向干区及休息区扩散时的阻隔作用更好，浸润程度和浸润范围也越小。在分区隔板的被动式控制下开启湿区约1/2可开启窗户面积 ($S_{开} \leq \frac{1}{2} S_{可开启}$) 反而对湿区高浓度湿气的排除效果更好，通过开启部分湿区窗户引导室外新风吹入卫生间湿区能加速淋浴时在湿区

富集的高湿度气体的排出和液化，且基本不会对卫生间干区和休息区不良影响。有部分学生表示，淋浴香波有时候也会变成一种“污染气体”，这是因为个体差异而对淋浴时使用淋浴露产生的挥发性香精具有不同的感受，甚至有些住户还会因呼吸了具有挥发性的特殊气味香精而引起呼吸系统过敏反应^[4]，干湿分区后的卫生间对这种情况也有所改善。

2 卫生间干湿分区后热湿环境数值模拟分析

2.1 理论分析

通过第二节的实验结果得知，对卫生间进行干湿分区被动式湿环境控制能有效改善卫生间湿环境，且干湿分区隔板距吊顶越近效果越好，但技术创新的一个主要目的是增进人类福祉，让人们生活得更美好，因此还要考虑到住户淋浴时的舒适性问题。舒适性问题要进行舒适性评估，气温、相对湿度、风速三个环境要素对人体感觉的影响比较大，体表温度、体内温度、皮肤湿润度以及人体的生理

过程都会影响到人对环境的舒适感^[5]。淋浴舒适度评估可帮助人们对卫生间淋浴环境有一个更直观的认识, 对减少因不适感和不良情绪而造成的工作、生活决策失误等具有积极意义。胡敏^[6]等从热湿平衡角度应用相应的数学模型对空气湿度与人体舒适感的关系做出量化评价, 研究湿度对人体的舒适性影响。

田元媛针对热湿环境对人体舒适感的影响研究发现, 呼吸散热在很大程度上直接影响人体的热舒适水平, 当环境温湿度较高时。若能使人体呼吸区的空气保持较低的温湿度, 整个人体的热舒适水平可以得到很大的改善^[7]。除了舒适性方面, 从生命安全方面考虑, 部分住户也是不能接受淋浴时的高温高湿环境的, 过高的温湿度环境易对心脑血管疾病的发生、加重有较大的影响^[8]。这也说明了完全封闭式的湿区不适用, 因此有必要对隔板高度在问卷调查数据的基础上量化影响因素权重进行综合分析并取得各权重系数下的优化区间。

2.2 物理模型及边界条件

卫生间模型以 1:1 的比例进行仿真建模, 长×宽×高为 2.23m×2.2m×2.4m。主要模拟卫生间干湿分区后淋浴时卫生间干湿区的热湿梯度分布、卫生间气流环境和水蒸气扩散情况。根据问卷调查的数据统计, 默认居民淋浴时卫生间的活动窗户是关闭的, 故窗户侧风速均设置为 0, 排气扇进风口速度根据气象仪实测情况设定, 湍流参数设为湍流强度 5%, 速度壁面边界条件设置为无滑移边界条件流速为 0; 壁面和地面温度采用恒定温度。人员身高参考《中国居民营养与慢性病状况报告 (2015 年)》的全国男女性平均身高数据, 广州地区男/女性平均身高取 1.68m、1.58m; 人体体温设置为 36.6℃, 男女平均淋浴时间按有关研究文献设置为 18min。网格划分的好坏影响数值计算的精确度、速度、收敛性, 对计算区域高质量的网格划分时数值模拟成功的基本条件, 尽量避免生成过密过疏的网格^[9]。

2.3 数值模拟结果分析

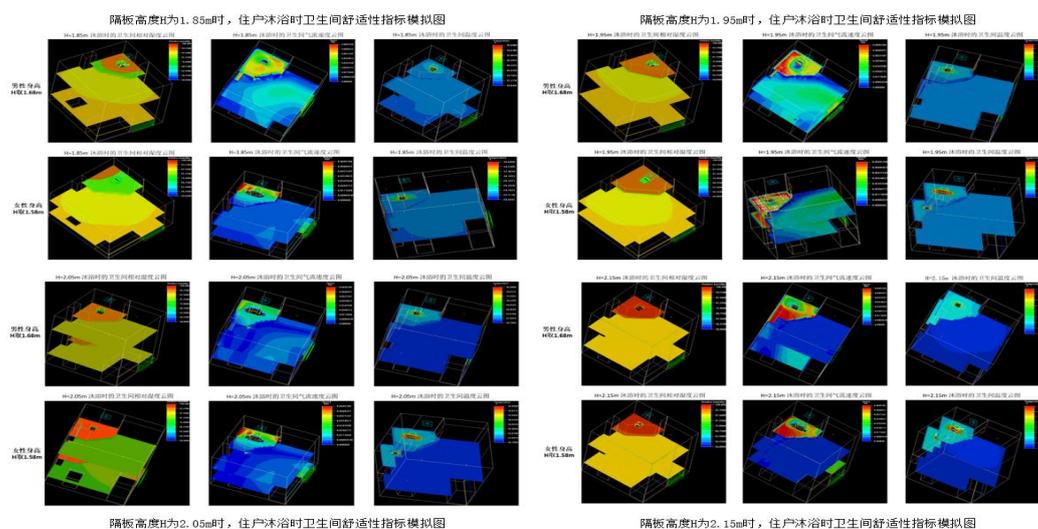


图 5 4 组不同分区隔板高度下卫生间舒适性指标模拟图

Fig.5 Simulation diagram of bathroom comfort index under 4 sets of different partition heights

表 1 实测与模拟数据对比

Table 1 Comparison between measured and simulated values

实验组	测点坐标 (X, Y, Z)	参数类型	实测值	模拟值
隔板高度 H=1.85m	(0.2,0.5,0.5)	相对湿度 (RH)	98.3%	96.1%
	(0.2,1.6,0.5)		98.9%	96.3%
	(0.2,1.5,0.5)		98.6%	95.8%
湿区环境	(0.2,0.5,0.5)	温度 (t)	27.9℃	27.1℃
	(0.2,1.6,0.5)		27.3℃	26.4℃
	(0.2,1.5,0.5)		27.9℃	26.8℃

表 2 实测与模拟数据对比

Table 2 Comparison between measured and simulated values

实验组	测点坐标 (X, Y, Z)	参数类型	实测值	模拟值
隔板高度 H=1.95m 湿区 环境	(0.2,0.5,0.5)	相对湿度 (RH)	98.6%	97.2%
	(0.2,1.6,0.5)		98.7%	96.8%
	(0.2,1.5,0.5)		98.3%	96.4%
	(0.2,0.5,0.5)	温度 (t)	28.1℃	27.8℃
	(0.2,1.6,0.5)		28.4℃	27.3℃
	(0.2,1.5,0.5)		28.3℃	28.1℃

表 3 实测与模拟数据对比

Table 3 Comparison between measured and simulated values

实验组	测点坐标 (X, Y, Z)	参数类型	实测值	模拟值
隔板高度 H=2.05m 湿区 环境	(0.2,0.5,0.5)	相对湿度 (RH)	99.2%	97.6%
	(0.2,1.6,0.5)		98.9%	97.3%
	(0.2,1.5,0.5)		98.4%	97.1%
	(0.2,0.5,0.5)	温度 (t)	28.3℃	28.1℃
	(0.2,1.6,0.5)		28.2℃	27.8℃
	(0.2,1.5,0.5)		28.4℃	28.4℃

表 4 实测与模拟数据对比

Table 4 Comparison between measured and simulated values

实验组	测点坐标 (X, Y, Z)	参数类型	实测值	模拟值
隔板高度 H=2.15m 湿区环境	(0.2,0.5,0.5)	相对湿度 (RH)	99.6%	99.7%
	(0.2,1.6,0.5)		99.4%	99.4%
	(0.2,1.5,0.5)		99.8%	99.2%
	(0.2,0.5,0.5)	温度 (t)	27.9℃	29.1℃
	(0.2,1.6,0.5)		27.3℃	28.4℃
	(0.2,1.5,0.5)		27.9℃	28.8℃

根据图 5 可知,对于在湿区沐浴的女性用户来说,干湿分区隔板高度从 1.85m 逐次升到 2.15m,相对湿度从 98.6%上升到 99.8%;温度从 27.3℃上升到 27.9℃,风速从 0.04m/s 上升到 0.07m/s。从有效的调查问卷统计结果来看,被调查沐浴者普遍表示沐浴时湿区的相对湿度值过高,感到压抑;也有部分被调查表示淋浴时吊顶排气扇风速过大,而模拟显示,相同的初始条件下,隔板高度 H 越高,湿区沐浴者体表感受到风速有所增大,温度也有所增高。针对宿舍或家用卫生间有进行干湿分区的被调查者的问卷统计结果显示,有约 57%调查者表示比较注重淋浴时的舒适性,有 30%调查者表示更注重卫生间干区及休息区的湿环境影响,还有约 13%的被调查者表示会根据室外环境情况而进行调整。为了能更准确的量化对室内湿环境和人体舒适性起主要影响作用的相对湿度φ和干湿分区隔板高度 H,并根据不同的用户需求得出相应的建议,本节

引入综合评价指标 E_h 。

综合评价指标 E_h 定义如下:

$$E_h = w_1 \frac{\bar{H}_s - \text{Min}(H_s)}{\text{Max}(H_s) - \text{Min}(H_s)} + w_2 \frac{\bar{\varphi} - \text{Min}(\varphi)}{\text{Max}(\varphi) - \text{Min}(\varphi)}$$

其中, w_1 、 w_2 分别为淋浴时淋浴者头面部舒适高度 H_s 和卫生间湿区高浓度湿气向干区扩散指标 φ 的权重系数。 $\text{Max}(H_s)$ 和 $\text{Min}(H_s)$ 、 $\text{Max}(\varphi)$ 和 $\text{Min}(\varphi)$ 分别表示模拟得出的舒适高度上下限值和干区 6 个测点的相对湿度, \bar{H}_s 为淋浴者头面部模拟舒适区间均值,包含淋浴者对湿区环境相对湿度、风气流速度、温度的综合表征; $\bar{\varphi}$ 为干区上下层共 6 个测点的相对湿度均值。

权重系数的选择是基于对长期在干湿分区卫生间淋浴的被调查者的调查数据分析归纳而得出的比例,对最终的优化结果有很大影响。权重系数加起来等于 1,其数值的大小代表相对湿度φ和干湿分区隔板高度 H 在综合评价指标 E_h 中所占的比

重,若 w_1 较大,则说明相对湿度 ϕ 的重要性大于隔板高度 H 。

表5 不同权重系数下隔板高度 H 方案优化结果

Table 5 Optimization of the height H of the diaphragm under different weight coefficients

方案	权重系数 $w_1:w_2$	分区隔板 高度 H (m)	男性综合 评价指标	女性综合 评价指标
			$E_{h男}$	$E_{h女}$
1	0.4:0.6	1.85	0.61	0.58
		1.95	0.54	0.49
		2.05	0.48	0.45
		2.15	0.49	0.51
		1.85	0.57	0.51
2	0.5:0.5	1.95	0.52	0.48
		2.05	0.49	0.53
		2.15	0.51	0.58
		1.85	0.52	0.49
		1.95	0.48	0.51
3	0.6:0.4	2.05	0.5	0.56
		2.15	0.57	0.63

由表5可以看出,对于方案1当权重系数 $w_1:w_2$ 为 0.4:0.6 时,分区隔板高度 H 为 2.05m 时男性综合评价指标 $E_{h男}$ 和女性综合评价指标 $E_{h女}$ 最小;也就是说,相对于淋浴时的舒适度而更注重室内湿环境的前提下,广州地区男性住户选择卫生间干湿分区隔板高度区间在 2.05~2.15m 较优;同样情况,女性住户选择 1.95~2.05m 较优。

对于方案2,当权重系数 $w_1:w_2$ 环境的影响;此时分区隔板高度 H 为 2.05m 时男性综合评价指标 $E_{h男}$ 最小,而 H 为 1.95m 和 2.05m 时 $E_{h男}$ 差值很小,结合实际情况可认为这两个高度都符合要求,故广州地区男性住户选择卫生间干湿分区隔板高度参考区间为 1.95~2.15m;同样情况,隔板高度 H 为 1.95m 时女性综合评价指标 $E_{h女}$ 最小,此方案下女性住户选择 1.95m 左右较优。

当权重系数 $w_1:w_2$ 为 0.6:0.4 时,此时住户相对于室内湿环境影响而更注重淋浴时的舒适度,此时分区隔板高度 H 为 1.95m 时男性综合评价指标 $E_{h男}$ 最小,广州地区男性住户选择卫生间干湿分区隔板高度参考区间为 1.95~2.05m;同样情况,隔板高度 H 为 1.85m 时女性综合评价指标 $E_{h女}$ 最小,此方案下女性住户选择 1.85~1.95m 较优;一般在非冬春交替季节和“回南天”这样室外环境很潮湿的时期方案3较合适。

3 结论

根据上述实验和模拟结果可以得到以下结论:

(1) 卫生间干湿分区隔板距吊顶越近,对淋浴时向干区及休息区扩散的湿区高湿气体和“污染气体”的阻隔作用越好,浸润程度和浸润范围也越小。在分区隔板的被动式控制作用下,开启湿区约 $1/2$ 可开启窗户面积 ($S_{开} \leq \frac{1}{2} S_{可开启}$) 对湿区高湿度气体的排除效果更好,通过开启部分湿区窗户引导室外新风吹入卫生间湿区能提高淋浴时在湿区富集的高湿度气体的排出和液化效果,此时对卫生间干区和休息区的湿环境影响可以忽略。

(2) 当淋浴时淋浴者头面部舒适高度 H_s 和卫生间湿区高浓度湿气向干区扩散指标 ϕ 的权重系数 $w_1:w_2$ 为 0.4:0.6 时,广州地区男性住户选择隔板高度 H 的区间在 2.05~2.15m 较优;同样情况,女性住户选择 1.95~2.05m 较优。

(3) $w_1:w_2$ 为 0.5:0.5 时,广州地区男性住户选择隔板高度 H 的区间为 1.95~2.15m 较优,女性住户选择 1.95m 左右较优。

(4) $w_1:w_2$ 为 0.6:0.4 时,广州地区男性住户选择隔板高度 H 的区间为 1.95~2.05m 较优,女性住户选择 1.85~1.95m 较优。

参考文献:

- [1] 孙于萍.基于敏感参数的高温高湿环境人体生理响应研究[D].天津:天津大学,2012.
- [2] 袁长焕.空气湿度对健康的影响[N].中国气象报,2004(4).
- [3] 缪智昕,连之伟,张晓静,等.上海地区住宅冬季湿环境调查与实测[J].制冷与空调,2017,(1):28-33.
- [4] 陈捷,焦红,叶弘毅,等.化妆品中24种过敏原的气相色谱-质谱法测定[J].分析测试学报,2012,(3):261-266.
- [5] R H Mole. The relative humidity of the skin[J]. Journal of Physiology, 1948,(4): 399-411.(出版年)
- [6] 胡敏,陈友明,郭兴国,等.空气湿度对人体舒适感的影响[J].制冷与空调,2007,(3):111-115.
- [7] 田元媛.热湿环境下人体热反应的研究[D].北京:清华大学,2001.
- [8] 高霞,李素芹,张大辉.心脑血管疾病与气象条件关系分析研究[J].河北医学,2012,18(2):161-163.
- [9] 刘建军.用多块多网格方法数值模拟三维粘性流动[J].工程热物理学报,2004,35(6):932-935.