

空调房间室内 CO₂ 浓度实验研究

徐州建筑职业技术学院建筑设备与环境工程系 陈益武*

摘 要 鉴于室内空气质量的要求,建立室内 CO₂ 浓度对比实验,分析造成夏季空调房间室内 CO₂ 浓度累积的影响因素,并分析消除室内 CO₂ 浓度累积的通风换气量,指出较小的室内人员密度和良好的通风换气是提高室内空气品质的有效保证。

关键词 空调房间;室内 CO₂ 浓度;室内空气质量;误差分析;通风换气量

Experimental Study of the Concentration of Carbon Dioxide Indoor Air-conditioning Room

Chen Yiwu

Abstract In view of the requirements of indoor air quality, it is established that the contrast experiment upon the indoor concentration of carbon dioxide. Then analyses the affecting factor that give rise to the cumulative effect of the concentration of carbon dioxide and the ventilation rate that eliminate the cumulative effect of the concentration of carbon dioxide indoor air-conditioning room in summer. Points out that the smaller the density of indoor staff and good ventilation is the pivotal guarantee in improving indoor air quality.

Keywords Air-conditioning room; Indoor concentration of carbon dioxide; Indoor air quality; Error analysis; Ventilation rate

随着生活条件以及工作环境的改善,人们越来越多的时间是在室内度过,良好的室内空气质量对人们的身体健康非常重要。造成室内污染的因素很多也很复杂,一方面室内污染物来源于室外大气污染,借助通风空调系统的新风换气或门窗缝隙渗透进入室内;另一方面,由于有些通风空调房间没有新风引入或新风引入量不足,造成室内污染源(如建筑装饰材料释放的污染物、人体呼出的 CO₂ 等)散发污染物累积,成为室内污染的主要因素之一^[1]。

夏季为了节能需求,采用分散式空调系统(如柜式空调、分体式空调等)的房间往往门窗封闭严实,人体呼出的 CO₂ 是主要的室内污染物,当室内 CO₂ 累积浓度超标时,长时间生活或工作在此环境中,便使人出现头痛加剧、呼吸困难、反应迟钝等症状,从而出现“空调病”和“封闭建筑综合症”(TBS, Tight Building Syndrome),因而需要加

强夏季空调房间 CO₂ 浓度变化实验研究,探讨改进措施。

1 室内空气质量与《室内空气质量标准》

1.1 室内空气质量

对室内空气品质的定义在不断地发展,纯粹以一系列室内污染物含量指标来客观的定义室内空气质量已经不能完全涵盖室内空气质量的内容。ASHRAE-1989标准首次提出了可接受的室内空气质量(Acceptable Indoor Air Quality)和感受到的可接受的室内空气质量(Acceptable Perceived Indoor Air Quality)等概念,最明显的变化是它涵盖了客观指标和人的主观感受两个方面的内容,比较科学和全面。感受到的可接受的室内空气质量定义为:通风空调空间中绝大多数人没有因为气味或刺激性而表示不满^[2]。可接受的室内空气质量定义为:合格的空气品质应当是空气中没有含量达到有关权威机构确定的有害程度指标的已知污染物,并且在这种环境中人群的绝大多数没有对室内空气表示不满意,并且空气中没有已知的污染物达到了可能对人体健康产生严重威胁的浓度。

* 陈益武,男,1974年12月生,硕士研究生,讲师
221116 江苏省徐州建筑职业技术学院
建筑设备与环境工程系 148#
(0516) 83996082
E-mail: ywchen@xzcat.edu.cn
收稿日期:2009-8-10

CO₂ 浓度的影响, 本次实验结果与文献[1]结果类似, 即处于室外空气主导风向的室内 CO₂ 浓度略小于处于非室外空气主导风向的室内 CO₂ 浓度, 但室内 CO₂ 浓度变化与房间是否处于室外空气主导风向的相关性较小。

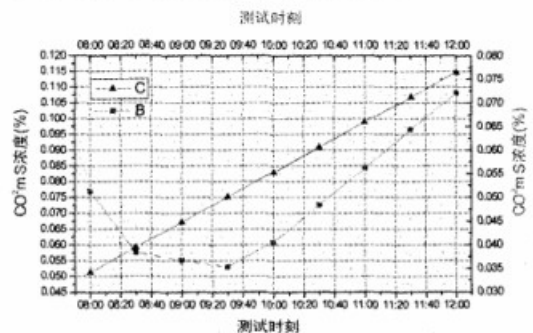
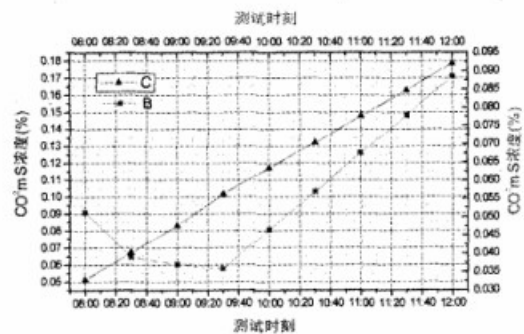
表2 房间检测工况一览表

序号	检测时间	室内人员数	门窗开启状况	备注
1	8:00	无人员	关闭	门窗始终关闭
2	8:30	1人	关闭	门窗始终关闭
3	8:30	1人	开启	8:05时刻门窗开启
4	8:30	2人	关闭	门窗始终关闭
5	8:30	2人	开启	8:05时刻门窗开启
6	9:00	1人	关闭	门窗始终关闭
7	9:00	1人	开启	8:05时刻门窗开启
8	9:00	2人	关闭	门窗始终关闭
9	9:00	2人	开启	8:05时刻门窗开启
10	9:30	1人	关闭	门窗始终关闭
11	9:30	1人	开启	8:05时刻门窗开启
12	9:30	2人	关闭	门窗始终关闭
13	9:30	2人	开启	8:05时刻门窗开启
14	10:00	1人	关闭	门窗始终关闭
15	10:00	1人	关闭	9:35时刻门窗关闭
16	10:00	2人	关闭	门窗始终关闭
17	10:00	2人	关闭	9:35时刻门窗关闭
18	10:30	1人	关闭	门窗始终关闭
19	10:30	1人	关闭	9:35时刻门窗关闭
20	10:30	2人	关闭	门窗始终关闭
21	10:30	2人	关闭	9:35时刻门窗关闭
22	11:00	1人	关闭	门窗始终关闭
23	11:00	1人	关闭	9:35时刻门窗关闭
24	11:00	2人	关闭	门窗始终关闭
25	11:00	2人	关闭	9:35时刻门窗关闭
26	11:30	1人	关闭	门窗始终关闭
27	11:30	1人	关闭	9:35时刻门窗关闭
28	11:30	2人	关闭	门窗始终关闭
29	11:30	2人	关闭	9:35时刻门窗关闭
30	12:00	1人	关闭	门窗始终关闭
31	12:00	1人	关闭	9:35时刻门窗关闭
32	12:00	2人	关闭	门窗始终关闭
33	12:00	2人	关闭	9:35时刻门窗关闭

3.2 房间门窗开启与否对室内 CO₂ 浓度的影响

在图2、图3中, C曲线为空调房间门窗始终关闭的室内 CO₂ 浓度变化曲线; B曲线为空调房间门窗在8:05开启、在9:35关闭的室内 CO₂ 浓度变化曲线。通过两图中室内 CO₂ 浓度变化曲线可以看出: (1) 当夏季空调房间是密闭时, 而且没有独立的新风系统或有组织的新风引入, 无法完成新风

对室内 CO₂ 浓度的有效稀释, 从而使室内 CO₂ 浓度急剧累积上升, 最终超过《室内空气质量标准》的要求, 如图中C曲线所示; (2) 当夏季早晨室外温度较低时, 开启空调房间门窗进行通风换气, 可以完成新风对室内 CO₂ 浓度的有效稀释, 从而保证在较长的时间内控制室内 CO₂ 浓度满足《室内空气质量标准》的要求, 如图中B曲线所示; (3) 夏季早晨室外温度较低时开启空调房间门窗, 在室外温度不断升高后关闭门窗, 当门窗关闭后, 室内 CO₂ 浓度会急剧累积上升, 最终也会超过《室内空气质量标准》的要求, 如图中B曲线在9:35时刻以后曲线变化趋势所示, 这说明夏季空调房间有效的新风引入是非常必要的; (4) 当夏季空调房间室内 CO₂ 浓度的日均值满足《室内空气质量标准》的要求时, 可能有更多的时间段室内 CO₂ 实际浓度超过《室内空气质量标准》的要求, 应该建立合理的室内 CO₂ 浓度时刻评价标准, 同时也说明夏季空调房间有效的新风引入和保证最小新风量是非常必要的; (5) 独立办公室的夏季空调房间, 在午间等无人时间段, 可以考虑打开窗户实现有效的通风换气 (以财物安全有保障为前提), 以保证室内 CO₂ 浓度满足《室内空气质量标准》的要求。

图2 室内为1人时不同测试状态室内 CO₂ 浓度变化曲线图3 室内为2人时不同测试状态室内 CO₂ 浓度变化曲线

3.3 房间人员密度对室内 CO₂ 浓度的影响

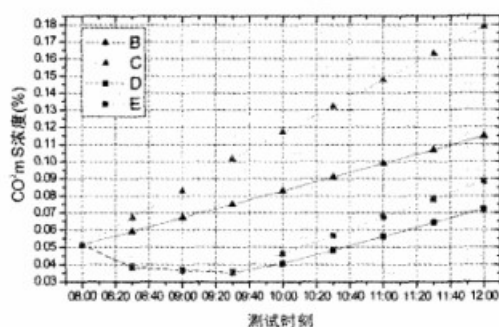


图4 室内人员密度不同、测试状态不同的室内 CO₂ 浓度变化曲线

在图4中, B曲线为空调房间内1人、门窗始终关闭的室内 CO₂ 浓度变化曲线; C曲线为空调房间内2人、门窗始终关闭的室内 CO₂ 浓度变化曲线; D曲线为空调房间内1人、门窗在8:05开启并在9:35关闭的室内 CO₂ 浓度变化曲线; E曲线为空调房间内2人、门窗在8:05开启并在9:35关闭的室内 CO₂ 浓度变化曲线。通过图4中室内 CO₂ 浓度变化曲线可以看出: (1) 当夏季空调房间是密闭时, 在办公房间内的人员密度是影响室内 CO₂ 浓度变化的最根本原因, 室内 CO₂ 浓度变化随房间内人员密度的增大而呈现线性增长, 如图中B、C曲线所示, 因而在办公条件允许的条件下, 应尽可能减少多人集体办公, 一方面可以实现室内 CO₂ 浓度满足《室内空气质量标准》的要求, 保障卫生、舒适的工作环境, 另一方面可以减少人员之间的相互干扰, 提高工作效率; (2) 当夏季早晨室外温度较低时, 开启空调房间的门窗进行通风换气, 可以完成新风对室内 CO₂ 浓度的有效稀释, 适当的办公房间内人员密度可以保证室内 CO₂ 浓度满足《室内空气质量标准》的要求, 如图中D、E曲线在9:35时刻以前所示, 室内 CO₂ 浓度呈现下降趋势是因为房间内人员密度较小, CO₂ 的排放量较小造成的; (3) 在夏季空调房间内, 当人员密度较小时, 即使房间的密闭性较好, 也可以保证在较长的时间内室内 CO₂ 浓度满足《室内空气质量标准》的要求, 如图中B曲线在11:00时刻以前和C曲线在9:30时刻以前所示; (4) 当夏季早晨室外温度较低时, 开启空调房间的门窗进行通风换气, 可以有效地减缓室内 CO₂ 浓度的累积, 较小的人员密度能够保证在较长的时间内控制室内 CO₂ 浓度满足《室内空气质量标准》的要求, 如图中D、E曲线在9:35时刻以后所示。

3.4 实验检测室内 CO₂ 浓度的误差分析

针对密闭办公房的实验, 以图4中C曲线为例, 实验实测数据见表3所列。

表3 室内 CO₂ 浓度实测值

检测时间	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00
二氧化碳体积含量 (%)	0.0513	0.0671	0.0829	0.1016	0.1171	0.1321	0.1476	0.1630	0.1786

正常人从事较轻工作时的 CO₂ 发生量约为 0.014 m³/ (人·h)^[5]; 在实验房间内室内温度控制在 28 ± 1℃ 时, CO₂ 的密度约为 1.173 kg/m³, 单位时间内室内 CO₂ 的发生量为:

$$m = 0.014 \times 1.173 \times 2 = 0.032844 \text{ kg} = 32.844 \text{ g} \quad (1)$$

实验实测房间有效容积为:

$$S = (7.14 - 0.24) \times (4.50 - 0.24) \times 3 = 88.182 \text{ m}^3 \quad (2)$$

单位时间内室内 CO₂ 质量浓度的增加值为:

$$\Delta \rho_m = \frac{32.844}{88.182} \times 1000 = 372.456 \text{ mg/m}^3 \quad (3)$$

单位时间内室内 CO₂ 体积浓度的增加值为:

$$\Delta \rho_v = \frac{372.456}{1.173} \times 10^{-6} = 317.52 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^3 = 317.52 \times 10^{-6} \quad (4)$$

则每半个小时室内 CO₂ 体积浓度的增加值为:

$$\Delta \Phi_v = \frac{317.52}{2} = 158.76 \times 10^{-6} \quad (5)$$

由表(3)和式(5)可以得到室内 CO₂ 浓度检测误差的理论值与实际值, 见下表4所列和图5所示。

表4 室内 CO₂ 浓度检测的误差分析

检测时间	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00
理论绝对误差 (×10 ⁻⁶)	158.76								
实际绝对误差 (×10 ⁻⁶)	—	158	158	187	155	150	155	154	156
相对误差 (%)	—	0.48	0.48	17.79	2.37	5.52	2.37	3.00	1.74

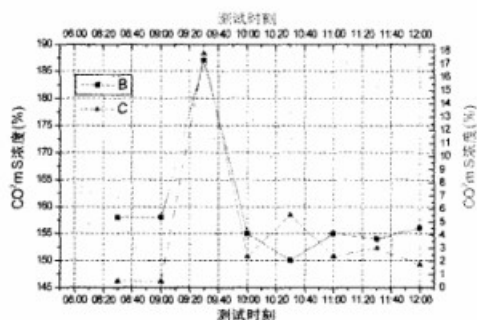


图5 室内 CO₂ 浓度检测的误差分析

通过表4和图5的误差可以看出:(1)在9:30时刻的检测数据出现突变,分析其原因应该是其他人员进入室内和室内人员走动形成的气流扰动,从而影响到检测数据的准确性;(2)除在9:30时刻的检测数据出现突变外,其它时刻的检测数据误差均小于6%,在工程允许的误差范围内,应该说明本次实验的检测数据具有较高的可信度,实验检测总体成功;(3)除在9:30时刻的检测数据出现突变外,其它时刻的检测数据误差均小于6%,分析其原因应该这是由于空调房间的密闭性不够,受到一定的室外气流侵入和渗透的影响,从而影响到检测数据的准确性。

4 消除室内CO₂浓度累积的通风换气量分析

通过上述分析,从消除密闭办公房间内CO₂浓度累积的角度出发,根据全面通风的基本微分方程式,当夏季密闭空调房间系统通风换气处于稳定状态时,则系统所需要的通风换气量为:

$$L = \frac{kx}{(y_p - y_s)} \quad (6)$$

式中: L 为通风换气量, m³/h; k 为室内人员系数,人; x 为每人单位时间CO₂散发量, g/(人·h); y_p 为《室内空气质量标准》中CO₂的最高允许浓度(可以通过体积浓度转换成质量浓度), g/m³; y_s 为送风中CO₂的浓度, g/m³。

由式(6)可以看出: y_p 是《室内空气质量标准》要求的确定数值, y_s 在一定区域、一定季节时期也是确定数值,因而通风换气量 L 只与室内人员数 k 和每人单位时间CO₂散发量 x 有关,均是成正比关系变化,即消除夏季房间内CO₂浓度累积的通风换气量与室内人员密度、人员性别、人员年龄和工作状态等有关。

5 结论

(1)夏季空调房间门窗的适时开启与关闭,可以有效地减少室内CO₂浓度累积,保证在较长的时间内控制室内CO₂浓度满足《室内空气质量标准》的要求;同时也说明夏季空调房间有效的新风引入和保证最小新风量是非常必要的。因而对夏季空调房间实施有效的通风换气,可以保障室内人员卫生、健康、舒适地生活和工作,提高生活质量和工作效率。

(2)夏季密闭的空调房间,室内人员密度是造成室内CO₂浓度累积的最根本原因,而且室内CO₂浓度累积随房间内人员密度的增大而呈现线性增长;并且室内CO₂浓度累积与室内人员性别、年龄和工作状态等因素有关。因而尽量减小夏季密闭空调房间内的人员密度,一方面可以实现卫生、舒适的生活与工作环境,另一方面可以提高生活质量和工作效率。

(3)夏季空调房间所处室外空气主导风向与否对室内CO₂浓度的影响较小,即夏季空调房间室内CO₂浓度变化与房间是否处于室外空气主导风向的相关性较小。

参考文献

- [1] 陈益武. 徐州地区采暖教室内CO₂污染影响因素分析[J]. 洁净与空调技术, 2008(4)
- [2] ASHRAE Standard 62-1989[S]. Ventilation for acceptable indoor air quality. ASHRAE, 1989
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T18883-2002室内空气质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002
- [4] 刘国丹, 张长兴, 胡松涛, 等. 室内空气质量影响因素实验研究[J]. 暖通空调, 2006(2)
- [5] 陈信, 袁修干. 人-环境系统工程生理学基础[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002