

# 长沙市住宅建筑室内外 VOC 浓度的实测与分析\*

湖南大学 李念平<sup>☆</sup> 朱孔敏 潘尤贵 李小华 付峥嵘  
(日本)东北大学 吉野博 持田灯 重野贵之  
(日本)东京大学 倪悦勇 柳泽幸雄

**摘要** 根据 10 户住宅建筑的 VOC 浓度现场测试及问卷调查结果,分析了长沙市住宅室内外 VOC 浓度及个人暴露量的状况。分析了环境温湿度、住宅装修时间、空调气流组织方式等对住宅 VOC 散发及分布的影响。

**关键词** VOC 浓度 个人暴露量 问卷调查 现场测试

## Field measurement and analysis of indoor and outdoor VOC concentration for Changsha residential buildings

By Li Nianping<sup>★</sup>, Zhu Kongmin, Pan Yougui, Li Xiaohua, Fu Zhengrong, Yoshino Hiroshi, Akashi Mochida, Shigeno Takayuki, Ni Yueyong and Yukio Yanagisawa

**Abstract** Based on the results of field measurement and questionnaire from ten households, presents the status of indoor and outdoor VOC concentration and personal exposure. Analyses the influences of environment temperature and humidity, hours of residence decoration and air flow distribution mode of air conditioning on the emission and distribution of VOC in residences.

**Keywords** VOC concentration, personal exposure, questionnaire, field measurement

★ Hunan University, Changsha, China

①

### 0 引言

据调查,我国目前使用的大部分装饰材料不同程度地含有有毒的挥发性有机化合物,如甲醛、苯等;另外,空调的普遍使用要求建筑围护结构有良好的密封性以达到节能的目的。在这种情况下势必造成室内空气品质的恶化。

人们发现挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOC)不但影响人体健康而且影响人的工作效率。资料显示,人们在家中的时间平均占 58%~78%,特别是一些儿童、老人几乎全天呆在居室内<sup>[1]</sup>。因此有必要了解住宅室内的 VOC 状况,从而提出相应的措施以改善人们的居住环境。基于此,本文作者分别于 2002 年 8 月 11~15 日

及 2003 年 1 月 8~12 日对长沙市 10 户住宅进行了详细的 VOC 现场测试及相应的问卷调查。

### 1 实验介绍

#### 1.1 问卷调查

为使测试结果有一定的代表性,所选的 10 户住宅(记作 R1, R2, ..., R10)分别位于长沙市的东南西北及中心位置,住宅建成时间为 1 年以上,室内装修完成后时间为 3 个月以上。每户住宅各发一份问卷调查表,其内容主要包括六大部分,详见表 1。

①<sup>☆</sup> 李念平,男,1962 年 4 月生,博士,教授,博士生导师,(日本)东北大学大学院工学研究科特别研究员  
410082 湖南大学土木工程学院  
(0731)8823115  
E-mail: linianping@sina.com  
收稿日期:2003-04-22  
修回日期:2004-04-29

表 1 问卷调查表主要内容

主要项目	主要内容
住宅情况	住宅建成及装修完成后时间
个人暴露量测定者	个人年龄、职业、是否吸烟、上班交通工具、单位装修情况
测试房间装修材料	地板及墙壁材料、有无地毯、使用溶剂情况
测试房间家具情况	家具材料、个数、使用年数、测试前 1 年内有无购入新家具
测试房间生活记录	有意图换气次数、有无吸烟
非测试房间情况	有无驱除白蚁、有无使用溶剂(场所、名称)

## 1.2 VOC 的测试

采样器利用吸附原理采集 VOC, 将采样器分别置于各住户的客厅及窗外, 另一采样器佩带在各户主胸前, 测试其个人暴露量。并将 3 个温湿度自动记录仪 (TR-72S) 分别置于客厅、卧室、室外北侧, 测试室内外温湿度, 并记录室外风速、风向、日照等气象参数 (由长沙市气象台提供)。连续测试 5 天后, 收回采样器, 并加以密封。样品送至日本东京大学 Y. Yanagisawa 研究室进行分析。

## 2 实验数据分析

### 2.1 长沙市住宅 VOC 浓度概况

VOC 是居室内常见的主要污染物之一, 主要来源于建筑装饰装修材料、家具、室内吸烟等。图 1 描述了所测 VOC 的最高质量浓度值, 包括室内、外及个人暴露量。从图 1 可以看出除壬烷外, 所测

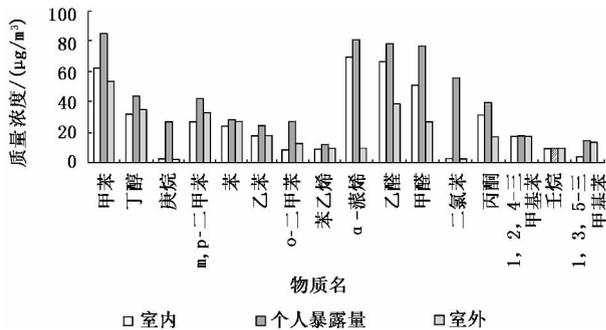


图 1 16 种 VOC 最高质量浓度

室内、外 VOC 质量浓度的最高值均小于个人暴露量最大值且均未超过表 2 所示的 WHO 标准。

表 2 现行三种 VOC 质量浓度标准 μg/m³

	苯	甲苯	乙苯	m,p-二甲苯	苯乙烷	二氯苯	甲醛
WHO 标准		260	22 000	870	260		100
日本标准	3	260	3 800	870	220	240	100
中国标准	87			300			100

### 2.2 住宅室内外 VOC 质量浓度比较

图 2 为住宅 R1 的夏季和冬季室内外测试数据。从图中可以看出, 无论是夏季还是冬季, 室内甲醛、乙醛、α-萜烯、丙酮质量浓度明显高于室外相

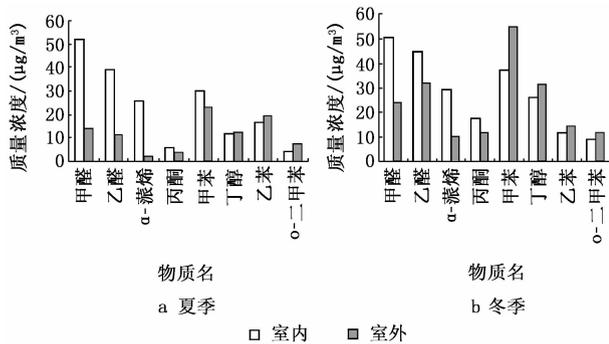


图 2 住宅 R1 冬夏季室内外 VOC 质量浓度比较

应浓度, 其中夏季室内甲醛、乙醛、α-萜烯质量浓度甚至是室外相应浓度的 3 倍多, 这是由于甲醛、乙醛、α-萜烯的主要来源是室内装饰装修材料如油漆、地毯黏合剂等, 丙酮则主要由人体呼吸和体表蒸发散出, 而测试期间又是人呆在室内最多的时间。另外还可以看出丁醇、乙苯、o-二甲苯的室外质量浓度却高于室内相应浓度。在夏季室内甲苯质量浓度为 29.9 μg/m³, 室外为 23.3 μg/m³; 在冬季室内为 37.4 μg/m³, 而室外却达 54.6 μg/m³, 室内外差值远远大于夏季室内外差值。结合对其他 9 户住宅的分析, 发现甲苯的室外质量浓度一般高于室内质量浓度。这说明室外新风由于工业废气、汽车尾气及燃烧产物等排放量的增大而遭到了严重污染, 有些物质如乙醛, 其质量浓度甚至远远超过了表 3 所示居住区大气有害物质的一次最高容许含量<sup>[2]</sup>。开窗换气确实降低了室内许多物质的浓度, 但也可能提高了少数物质的浓度。

表 3 居住区大气中部分有害物质一次最高容许含量 μg/m³

乙醛	二甲苯	丙酮	甲醛	苯
10	300	800	50	2 400

### 2.3 温湿度对 VOC 散发率的影响

研究表明, 环境因素对材料 VOC 的散发特性有一定影响, 其中温度是最引人注目的因素, 随着温度的升高, VOC 散发率增大, 但另一些研究人员则认为温度的影响完全取决于 VOC 种类<sup>[3]</sup>。

图 3 为住宅 R9 室内外冬夏季 VOC 质量浓度的比较。从图 3 可以看出, 无论是室内还是室外, 夏季乙醛、甲醛等物质质量浓度高于冬季相应浓度, 特别是在室内, 乙醛夏季质量浓度达 41.3 μg/m³, 而冬季质量浓度仅 6.4 μg/m³, 夏季是冬季的 6 倍多, 甲醛夏季浓度也是冬季浓度的 3 倍多。从

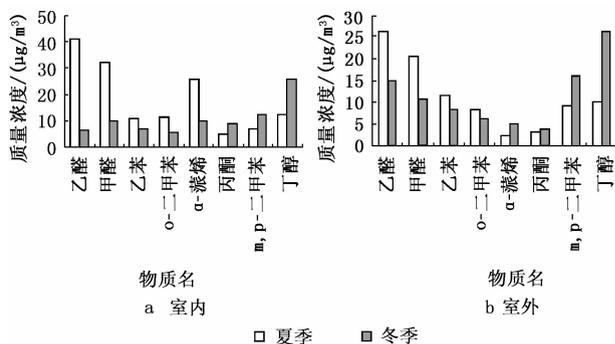


图3 住宅R9室内外冬夏季VOC质量浓度比较

前面的分析中已知室内乙醛和甲醛浓度高于室外浓度, 尽管夏季室内换气时间较长, 但甲醛、乙醛等夏季浓度值还是大于冬季浓度值, 因此可以认为温湿度对乙醛、甲醛、乙苯等的散发影响很大。温湿度越高散发率越大。但对于丁醇、m, p-二甲苯等物质而言, 夏季浓度反而低于冬季浓度, 丁醇室外冬季浓度甚至是夏季的2倍多。这可能是由于其受温湿度影响较小, 甚至温湿度越低散发率越大。通过以上分析可以看出温湿度对VOC散发率的影响程度与VOC种类有关。

#### 2.4 住宅装修完成后时间长短与VOC散发率的关系

近年来, 多数研究表明不同种类的建筑物中, 新建筑物中VOC质量浓度比旧建筑物中高得多<sup>[3]</sup>。本文选取住宅R1(3个月前装修)与住宅R3(4年前装修)进行了室内VOC质量浓度比较分析, 见图4。

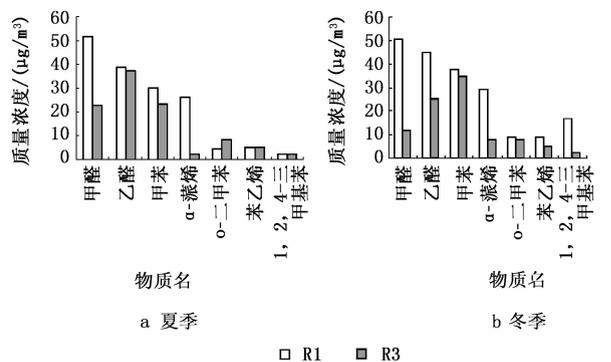


图4 住宅R1和R3冬夏季室内VOC质量浓度比较

尽管问卷调查表明住宅R1地板为木质板, 住宅R3地板为瓷砖, 住宅R1与住宅R3家具均是天然木和复合板, 住宅R3在夏季测试期间使用过杀虫剂、户主每天要抽3~4支烟, 但由于住宅R1是新装修住宅, 家具均是3个月前(以夏季测试时间为准)购买, 因此从图4中可以看出, 住宅R1室内

VOC质量浓度在冬季均高于住宅R3室内浓度, 特别是甲醛, 住宅R1内的质量浓度为 $50.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 而住宅R3内甲醛质量浓度只有 $11.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 在夏季, 住宅R3内除o-二甲苯质量浓度稍高于R1内浓度外, 其他物质质量浓度均等于或低于住宅R1内相应物质的浓度。由此可以得出, 室内VOC污染主要是由建筑装饰装修材料引起的, 而这些材料内VOC散发率与材料新旧程度有关, 装修完成后时间越短, 家具越新, VOC散发率越大, 相反就越小。日本东京大学也曾用CFD方法模拟过材料VOC散发率与时间的关系(如图5所示)<sup>[4]</sup>。其中

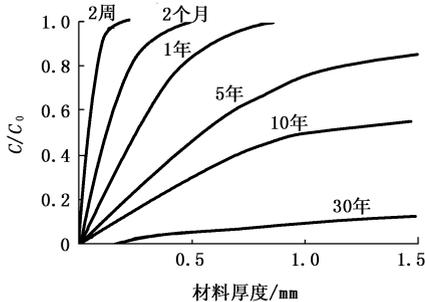


图5 材料内VOC浓度与时间的关系

其中C为材料内部VOC浓度,  $C_0$ 为材料内VOC初始浓度。从图5可以看出在第一年内材料内VOC浓度减少量最大, 但即使10年以后, 材料内VOC浓度值仍然很大。

#### 2.5 空调气流组织与VOC浓度分布关系

通过对本次实验数据分析发现, 空调气流组织方式是影响室内VOC浓度分布的一个重要因素。图6与图7分别是住宅R6与R7的平面图, 在图上

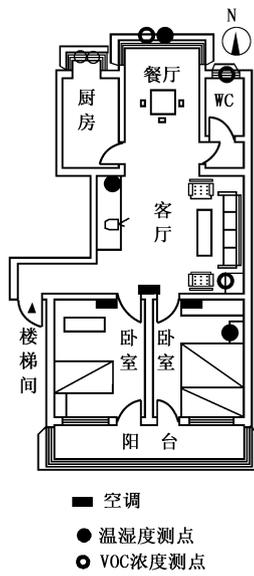


图6 住宅R6平面图

标出了空调位置及VOC测点位置等, 住宅R6内VOC测点在空调送风侧近地面处一角, 而住宅R7内VOC测点正对空调送风口。图8是住宅R6及R7室内所测VOC浓度的比较。

问卷调查表明两户住宅室内装修完成时间及装修材料基本相同, 住宅R7户主平均每天吸5支烟, 每天平均换气时间只有3.5h; 住宅R6户主不吸烟, 且平均每天换气时间为23.5h, 但由于两户住宅VOC测点与空调位置关系不同, 结果住宅R6中除甲苯浓

度稍低于住宅 R7 外,其他 VOC 浓度均高于住宅 R7 内相应物质浓度,住宅 R7 内乙醛质量浓度为  $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,而住宅 R6 内乙醛质量浓度为  $53.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,是住宅 R7 内的 16 倍多(见图 8)。可以看出空调安装位置及气流组织方式对室内污染物浓度分布有很大影响。如果空调系统设计不当,使人的主要活动区处于 VOC 高浓度区,就会提高 VOC 个人暴露量。

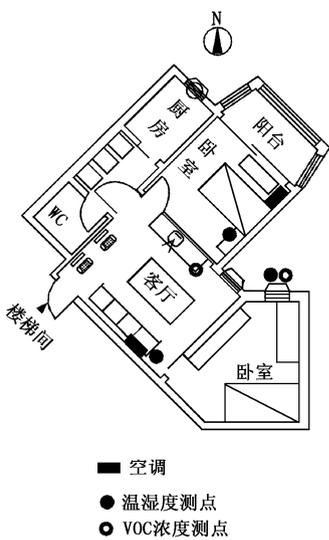


图7 住宅 R7 平面图

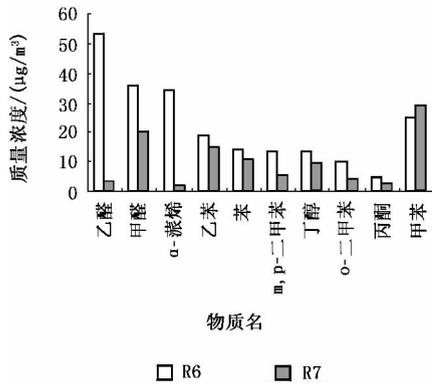


图8 住宅 R6 与 R7 室内 VOC 质量浓度比较

## 2.6 影响个人暴露量的因素

图 9 显示了住宅 R1 的室内外 VOC 浓度与个

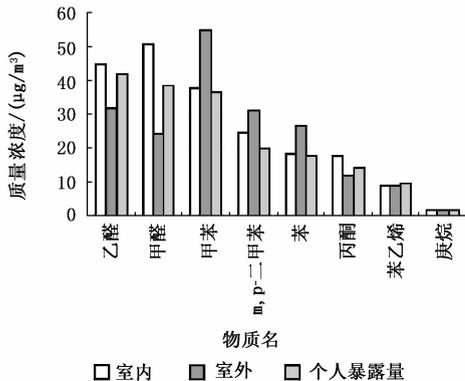


图9 住宅 R1 的 VOC 质量浓度与个人暴露量

人暴露量。从图中可以看出,个人暴露量大小与室内外 VOC 浓度有关,室内外 VOC 浓度越高则个人暴露量越高,反之则越低。如乙醛室内质量浓度

为  $44.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,室外浓度为  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,个人暴露量为  $41.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;丙酮则因室内外浓度都很低,因而其个人暴露量也较低。但从图中可以看出苯乙烯个人暴露量却高于室内外浓度,因此个人暴露量还与个人生活习惯有很大关系。图 10 是住宅 R1 和 R9 冬季 VOC 室内外浓度及个人暴露量的详细比较。

从图中可以看出,住宅 R9 室内外 VOC 浓度均低于住宅 R1 室内外相应浓度,但 R9 户主相应的各项物质(除苯乙烯外)暴露量均高于 R1 户主的

个人暴露量。这主要是由于住宅 R9 户主每天吸烟量较大,坐公交车上班且单位刚作过装修(见表 4),而这些又是影响 VOC 浓度的主要因素。因此可以说个人暴露量不但与住宅室内外物质浓度有关,而且与个人生活习惯及工作环境有很大关系。

表4 住宅 R1 与 R9 的户主个人生活习惯比较

	平均每天抽烟数/支	上班交通方式	单位有无装修
R1	0	步行	无
R9	16	乘公交车	有

## 3 结论及建议

3.1 长沙市住宅内 VOC 污染属于低浓度污染,许多污染物主要来自室内装饰装修材料。

3.2 温湿度对 VOC 散发率的影响与 VOC 种类

(下转第 34 页)

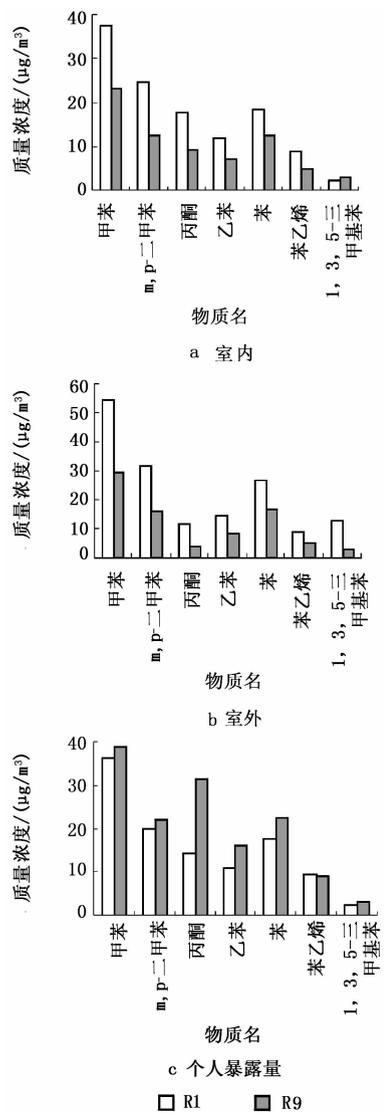


图10 住宅 R1 与 R9 的室内外 VOC 质量浓度及个人暴露量比较