第 15 卷 第 12 期 2015 年 4 月
1671—1815(2015)12-0149-04

科 学 技 术 与 工 程
Science Technology and Engineering

Vol. 15 No. 12 Apr. 2015

医药卫生

装修居室内挥发性有机物(TVOCs)浓度特征及来源分析

张建美
(长江大学地球环境与水资源学院油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 武汉 430100)

摘 要 室内装修材料是引起室内污染的主要污染源,可长期向室内空气释放大量的有害物质,给室内环境造成严重的污染,采集装修过程中以及装修完工的居室内空气样品,用 Tenax 树脂吸附-热解吸/色谱-质谱法定量测定室内空气中挥发性有机物(TVOCs),分析其浓度特征及其影响因素。结果显示,新装修居室内 TVOCs 平均浓度要远高于室外对照点,苯系物及含氧化合物为其主要污染物,通风对室内空气质量有明显的改善作用。
关键词 装修 室内空气污染 挥发性有机污染物 苯系物
中图法分类号 R122.1; **文献标志码** A

近年来,随着生活水平的提高,办公和居住场所的装修档次也越来越高,各种新型建筑材料被广泛使用,这些材料可长期向室内空气释放大量有害物质,给室内环境造成严重的污染,引起了社会的广泛关注[1—4]。挥发性有机物(TVOCs)浓度水平是室内空气质量的重要衡量标准之一,虽然仅为痕量,但其成分复杂繁多,对人体呼吸系统、神经系统以及皮肤均有较强的毒性,可引起许多不适症状,甚至会诱发癌症,是产生病态建筑物综合症(SBS)的主要原因之一[5—7],鉴于此,世界卫生组织强调 TVOCs 是一类重要的室内空气污染物,控制 TVOCs 浓度是提高室内环境质量的重要手段之一。另外资料表明,人的一生大约有 70% ~90% 的时间是在室内度过的,室内环境对人们的生活和工作质量以及身体健康都有重要的影响[8—12],因此探究新装修居室内 TVOCs 污染情况对于提高居民居住环境质量,保证人民身体健康有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 仪器及试剂

气体采样泵(QC-2,西安大成仪器仪表有限公司);Tenax GC 采样管(3 mm × 120 mm,O. I. 公司);液 - 固气态有机物吹脱捕集仪(4560,O. I. 公司);色谱质谱联用仪(SSQ710,菲尼根)。

2014 年 12 月 8 日收到 高等学校博士学科点专项科研基金(20030425007)资助
作者简介:张建美(1976—),山东潍坊人,博士研究生。研究方向:环境修复。E-mail:wf-zjm@163.com。

苯、甲苯、正癸烷均为色谱纯,二氯甲烷为分析纯,使用前纯化,并经气相色谱检验不出现杂峰方可使用。

1.2 样品采集

选取三个采样点对新装修居室进行采样分析,其中 Z1 为刚刚干完木工活,油漆活还未进行,而 Z2、Z3 已经装修完 3 个月,新购置家具,未入住,其中 Z2 在采样前一直开窗通风,而 Z3 在采样前 12 h 内将门窗关闭。在采集室内样品同时,采集室外大气样品作为对照。每个采样点采集平行样品 3 个,最终取其平均浓度。

将 Tenax GC 采样管(3 mm × 120 mm)在200 ℃的温度下用 30 mL/min 的氦气吹扫 20 min,在通氦气的情况下冷却采样管至室温,取出后立即用锡箔纸包好放入储存管内,放入零度以下的清洁冰箱内保存。用气体采样泵以 0.2 L/min 的流速将室内空气抽过采样管,采集样品 40 min。采样泵距离地面 1.5 m,样品采集完后立即将采样管密封保存。

1.3 分析方法

将吹脱捕集仪与色谱-质谱联用仪连接进样分析样品。采用二次热解吸技术进样,采样管吹扫解吸条件:冷阱温度:26 ℃;吹扫时间:11 min;吹扫气体(He)流量:30 mL/min,采样管加热温度:180 ℃。冷阱加热解吸条件:冷阱温度:220 ℃;解吸时间:5 min;冷阱升温速率 900 ℃/min。色谱分析条件:采样 HP-5 毛细管柱(30 m × 0.32 mm × 0.25 μm)分析,程序升温:40 ℃保留 5 min,8 ℃/min 升温至 250 ℃,保留 2 min;载气 He,流速 45 mL/min;柱前压力

47 kPa；氢气流速 40 mL/min；空气流速 450 mL/min；进样口温度 200 ℃；检测器温度 250 ℃。

2 实验结果

2.1 总挥发性有机物(TVOCs)浓度分析

由数据分析可知，Z1 采样点 TVOCs 浓度为 433.7 μg/m^3，Z2 采样点 TVOCs 浓度为 130.3 μg/m^3，Z3 采样点 TVOCs 浓度为 1 470.1 μg/m^3，室外对照点 TVOCs 浓度为 19.8 μg/m^3。Z1 点样品为正在装修过程中采样，木工活已经完工，油漆活还未开始，其 TVOCs 浓度为室外对照的 22 倍，污染严重，表明装修过程中所使用的木工装修材料会释放出大量的 TVOCs，引起室内空气污染。Z3 采样点为装修完工 3 个月，且新购置的家具已经搬入的卧室，在采样前 12 h 关闭门窗，由数据对比可知，样品 TVOCs 浓度为室外对照的 74 倍，污染尤为严重，表明该居室内具有强烈的室内污染排放源，挥发性有机物含量远远高于国标规定的 600 μg/m^3 的限值。而同样为新装修的 Z2 内 TVOCs 浓度仅为 130.3 μg/m^3，比 Z3 小 90% 之多，没有超出国标限值，这主要是因为采样前 Z2 未关闭门窗，充分表明通风换气对室内空气质量的重要性，但是其浓度水平仍然远远高于室外对照点浓度水平。

2.2 不同系列挥发性有机化合物浓度水平

如图 1 所示，不同采样点苯系物、烷烃、卤代烃、含氧化合物含量均存在比较明显的差别。苯系物是密闭环境中的主要污染物，是一类严重危害人体健康的有机污染物[13,14]。由图 1 可知，相对于室外对照点，各采样点苯系物浓度水平较高，其中 Z3 采样点苯系物含量最高，达到 674.5 μg/m^3，为室外对照点的 77 倍，Z1，Z2 同样高于室外对照点，浓度分别为 180.5 μg/m^3，39.4 μg/m^3。图 2 为 Z1、Z2、Z3 样品中不同苯系物浓度对比情况，由图可知，Z1 样品苯、甲苯含量较高，分别为 87.2 μg/m^3，73.4 μg/m^3；Z3 样品中，苯为 210.6 μg/m^3，超过国标中所规定 110 μg/m^3 的浓度限值；甲苯为 197.9 μg/m^3，接近国标规定的 200 μg/m^3 的浓度限值，乙苯为 96.4 μg/m^3，二甲苯为 169.6 μg/m^3，也都远远超过室外浓度水平。而同为新装修居室的 Z2 苯系物浓度要明显小于 Z3 样品中苯系物含量，这与通风情况有密切的关系。

烷烃含量相对较低，各采样点均低于 30.0 μg/m^3，且差别不是很大，这说明新装修居室内排放源不是非常明显，但相对来说，Z3 采样点比其他室内环境含量略高，为 28.3 μg/m^3；而对于卤代烃，未装修完工的 Z1 采样点比其他环境高，为 80.0 μg/m^3；新装修居室内含氧化合物的浓度要明显高于室外对照点，其中 Z3 采样点达到 480.0 μg/m^3，表明其中有明显的污染源。

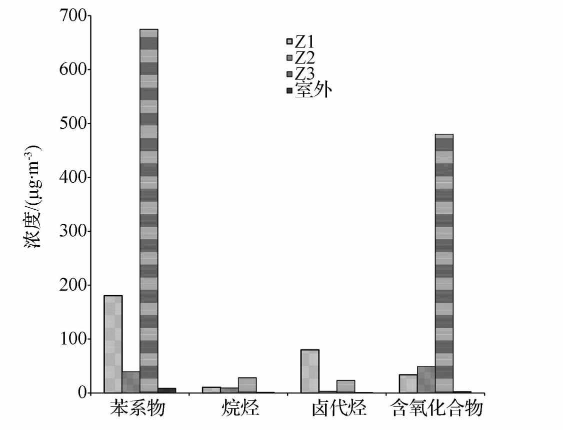

图 1 各采样点不同系列化合物浓度对比

Fig. 1 Concentrations of different series of compounds in different sampling point

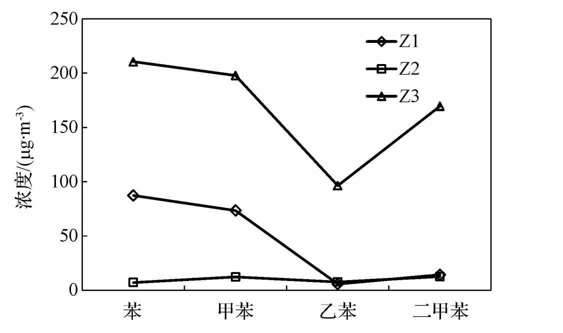

图 2 各采样点室内苯系列化合物浓度对比

Fig. 2 Concentrations of aromatic hydrocarbons in different sampling point

表 1 列出了各装修室内不同系列化合物在总挥发性有机物中所占的比例，可见，苯系物、含氧化合物在 Z2、Z3 环境 TVOCs 中所占的比例很大，两者之和占 TVOCs 总量的 67%，79%，这说明新装修居室内挥发性有机物主要为苯系物及含氧化合物。而 Z1 采样点环境中苯系物所占的比例最大，达到 42%，而含氧化合物所占的比例较 Z2，Z3 小，仅为 8%。这表明油漆、涂料、木工活所用的装饰材料以及家具材料中都会释放出苯系物，而木工活所用的装修材料中含氧化合物含量较低。

表 1 装修居室中各系列化合物占 TVOCs 的百分比/%

Table 1 Percentage of different series of compounds in TVOCs in decorated houses/%

采样点	苯系物	正烷烃	卤代烃	含氧化合物
Z1	42	2	18	8
Z2	30	7	2	37
Z3	46	2	2	33

3　讨论

3.1　通风对 TVOCs 浓度水平的影响

在污染源背景环境固定的情况下,空气交换率为影响室内 VOCs 浓度的决定性因素[15]。在本研究中,采样前通风情况不同,所测挥发性有机物浓度差别很大,Z3 采样点在采样前门窗关闭 12 h,而 Z2 采样点采样前没有长时间关闭门窗。由表 1 可以发现,Z3 的 TVOCs 浓度是 Z2 的 10 倍之多,苯系物为 Z2 的 17 倍,含氧化合物为 Z2 的 9. 8 倍,卤代烃为 Z2 的 7. 7 倍,烷烃为 Z2 的 3 倍,可见在通风较好的条件下,有机污染物浓度比关闭不通风时低很多。王菲凤[16]研究表明,在同等污染源的条件下,门窗敞开等普通通风条件下的有机污染物浓度一般要比关闭不通风时降低 50% ~100%,并且室内污染物浓度与室外相差越大,降低越明显。左晨等[17]研究认为,装修后室内空气中的苯和甲苯浓度随着时间的延长和开窗通风程度逐渐降低,其中开窗通风的影响比较明显,每天开窗时间越长,污染物浓度下降速度越快。刘建磊,等[7]研究发现新装修居室封闭 12 h 后浓度较封闭 1 h 的增幅接近 50%;封闭 1 h 的 B 级装修房间装修完毕 9 个月后 TVOCs 的浓度值已在国标限值之下,但如果封闭时间延长仍会出现超标现象。

由上面的分析可知,通风有利于建筑装修后室内空气中挥发性有机物的扩散,对改善室内空气质量至关重要。

3.2　各系列挥发性有机物来源分析

室内材料中 TVOCs 的释放过程包含很复杂的物理和化学现象,包括材料内部扩散、从材料表面到周围空气的挥发等过程[18]。由表 1 发现,尽管由于通风条件的差异,Z2、Z3 采样点处各不同系列挥发性有机物的绝对量相差很大,但各系列化合物所占的比例很相近,这反映了 Z2、Z3 室内环境内各系列化合物的同源性。而 Z1 环境有所不同,其苯系物含量最高,而含氧化合物较低,这表明油漆、涂料及木工活所用的装饰材料都会释放出苯系物,而含氧化合物主要是由油漆、涂料及家具释放出来的。

由前面的数据可知,不同采样点的 TVOCs 中苯系物所占的比例很大,为主要污染物,油漆、涂料和胶黏剂是室内装修必不可少的材料之一,在家具以及细木工等装饰过程中都要大量使用。芳香烃溶剂难于做到绝对无苯系物,据调查,市售涂料中苯系物的含量是非常可观的,其中不仅含有大量的甲苯、二甲苯,而且含有对人体高毒、致癌物质苯,另外壁纸、地板革、油漆、胶合板这四种室内装修材料均含大量苯系物[[19,20]。由此可以判断,装修过程中所用的油漆、涂料不可避免地向空气中挥发出苯系物。另外在地面、墙面等室内装修过程中往往要用到大量胶黏剂,它是建筑装饰工程中不可缺少的辅助材料,其中主要有害物质是甲苯,一般溶剂型的胶黏剂中甲苯占胶黏剂总量的 30% ~70%[21]。综合上面的分析,新装修居室内苯系物主要来源于装修过程中所用的油漆、涂料及胶黏剂等化学品。含氧化合物含量在刚做完木工活时并不大,但在装修后含量明显增加,含氧化合物通常作为溶剂或者添加剂等存在于装饰材料中。何振宇等[22]对 9 种涂料进行检测分析,除检出芳香烃外,还检出醛类、醇类、酯类等一些含氧化合物。因此可以判断,室内装修所产生的含氧化合物多为油漆、涂料或是新家具等释放出来。

4　结论

(1) Z1 采样点 TVOCs 浓度为 433. 7 $\mu g/m^3$,Z2 采样点 TVOCs 浓度为 130. 3 $\mu g/m^3$,Z3 采样点 TVOCs 浓度为 1470. 1 $\mu g/m^3$,均高于室外对照点 TVOCs 浓度。不同采样点苯系物、烷烃、卤代烃、含氧化合物含量均存在比较明显的差别,苯系物及含氧化合物为新装修居室内的主要挥发性有机物。

(2) 采样前通风情况不同,所测挥发性有机物浓度差别很大,Z3 采样点在采样前门窗关闭 12 h,其 TVOCs 浓度是 Z2 的 10 倍以上,可见通风有利于建筑装修后室内空气中挥发性有机物的扩散,对改善室内空气质量至关重要。

(3) 苯系物主要来自油漆、涂料以及木工活所用的胶黏剂等化学品,而含氧化合物主要来自于油漆、涂料以及新家具等。

参　考　文　献

1　Chen D M, Yang D, Wang Q, *et al.* Effects of boron doping on photocatalytic activity and microstructure of titanium dioxide nanoparticles. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2006; 45(12): 4110—4116

2　黄燕娣,赵寿堂,胡　玢. 室内人造板材制品释放挥发性有机化合物研究. 环境监测管理与技术,2007;19(1):38—40
Huang Y D, Zhao S T, Hu B. Study on VOCs emitted from indoor man-made wood products. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2007; 19(1):38—40

3　徐东群,董小艳,王桂芳,等. 北京市装修居室空气有机物污染状况调查. 中国卫生检验杂志,2006;16(11):1281—1282
Xu D Q, Dong X Y, Wang G F, *et al.* Investigation of indoor air organic pollution in decorated house in Beijing. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2006; 16(11):1281—1282

4　张　浩,赵江平,王智懿,等.　环境安全中光催化技术的应用. 中国安全科学学报, 2008; 18(9):172—176

Zhang H, Zhao J P, Wang Z Y, *et al.* Applications of photocatalytic technology to environmental safety. China Safety Science Journal, 2008; 18(9): 172—176

5 Hoffman R E. Building-related asthma Denver office worker. American Journal of Public Health, 1993; 83(1): 89—101

6 Molhave L, Clausen G, Berglund B, *et al.* Total volatile organic compounds (TVOC) in indoor air quality investigations. Indoor Air, 1997; 7: 225—240

7 刘建磊,白 鸽,陈 洁,等. 城市新装修家庭TVOC的污染现状以及影响因素分析. 科学通报,2011;56(20):1605—1611
Liu J L, Bai G, Chen J, *et al.* Total volatile organic compound concentration and its influencing factors in urban indoor air after decoration. Chinese Science Bulletin, 2011; 56(20):1605—1611

8 Levy J I, Lee K, Spengler J D, *et al.* Impact of residential nitrogen dioxide exposure on personal exposure: an international study. Journal of the Air & Waste Management Association, 1998; 48: 553—560

9 Ilgen E, Karfich N, Levsen K, *et al.* Aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment: part Ⅰ: indoor versus outdoor sources, the influence of traffic. Atmospheric Environment, 2001; 35(7):1235—1252

10 潘小川. 室内空气污染与健康危害评价. 中国预防医学杂志,2002;3(3):167—169
Pan X C. Evaluation of indoor air pollution and health hazards. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002; 3(3):167—169

11 Jo W, Moon K. Housewives' exposure to volatile organic compounds relative to proximity to roadside service stations. Atmospheric Environment, 1999; 33: 2921—2935

12 Lee K, Yang W, Bofinger N D. Impact of micro environmental nitrogen dioxide concentrations on personal exposure in Australia. Journal of the Air & Waste Management Association, 2000; 50: 1739— 1744

13 Schneider P, Gebefugi I, Richter K, *et al.* Indoor and outdoor BEX levels in German cities. The Science of the Total Environment, 2001; 267: 41—51

14 冯 利,黄 慧,Chul-ho Shin,等. 学校园室内BTEX浓度水平变化规律及健康风险. 环境科学与技术,2012;35(11):191—194
Feng L, Huang H, Chul-ho S, *et al.* Concentration, variation and risk assessment of BTEX in indoor air of a university campus. Environmental Science and Technology, 2012; 35(11):191—194

15 袁 静,施介宽. 室内空气污染影响因素箱模式及应用. 环境保护科学,2000;26(2):4—5
Yuan J, Shi J K. The Box Model of Affecting Factors and Use of Indoor Air Pollution Environmental Protection Science, 2000;26(2): 4—5

16 王菲凤. 现代装饰材料所致居室空气污染及防治对策. 福建师范大学学报(自然科学版),2000;16(3):65—67
Wang F F. The investigation and countermeasures of indoor air pollution caused by modern ornamental material. Journal of Fujian Teachers University (Natural Science), 2000;16(3):65—67

17 左 晨,唱 斗,王 生,等. 开窗时间对装修后室内空气中苯和甲苯浓度的影响. 环境与职业医学,2004;21(5):408—410
Zuo C, Chang D, Wang S, *et al.* The concentrations of benzene and toluene in indoor air after decoration influenced by window's opentime. Journal of Environmental & Occupational Medicine, 2004; 21(5): 408—410

18 徐东群,韩克勤. 室内材料中挥发性有机物释放模式的研究进展. 卫生研究,1998;27(3):167—171
Xu D Q, Han K Q. Development of emission models for volatile organic compounds from indoor materials. Journal of Hygiene Research, 1998; 27(3):167—171

19 韩克勤,井海宁. 室内化学品中挥发性有机化合物的挥发特征. 卫生研究,1997;26(1):65—67
Han K Q, Jing H N. Characterization of volatile organic compounds from indoor materials. Journal of Hygiene Research, 1997; 26(1): 65—67

20 张 林,戴树桂,宋丽香. 室内空气中芳香烃的测定与污染源模拟. 环境科学,1998;19(5):63—65
Zhang L, Dai S G, Song L X. Determination and simulated research of some aromatic hydrocarbons in indoor air. Environmental Science. 1998;19(5):63—65

21 张文渊. 室内有毒化学物质污染及其治理. 家具与室内装饰,2000;2:50—52
Zhang W Y. Poisonous chemical pollution of interior and its control. Furniture & Interior Design. 2000;2:50—52

22 何振宇,梁高道,杨其富,等. 油漆、涂料中的挥发性有机化合物的监测. 中国公共卫生,2001;17(10):905
He Z Y, Liang G D, Yang Q F, *et al.* Monitoring of volatile organic compounds in paints. Chinese Journal of Public Health, 2001; 17(10):905

Concentrations and Sources of Volatile Organic Compounds (TVOCs) in Indoor Air of Decorated House

ZHANG Jian-mei
(Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education,
School of Earth Environment and Water Resources, Yangtze University, Wuhan 430100, P. R. China)

[**Abstract**] The harmful substances released from interior decoration materials cause severe pollution to the indoor environment. The samples were collected in the house being decorated and after the decoration. The concentrations of volatile organic compounds (TVOCs) were determined by Tenax adsorption-thermal desorption /GC-MS, and the factors influencing the concentrations of TVOCs were analyzed. The result shows that the average concentrations of TVOCs in the new decorated room is much higher than that of the outdoor control spot. The mainly composition of TVOCs were the aromatic hydrocarbons and oxygen compounds. Additionally, ventilation can obviously improve the quality of indoor air.

[**Key words**] decoration indoor air pollution volatile organic compounds aromatic hydrocarbons