

某企业办公室室内空气质量及其健康风险评估

李华亮¹, 李丽¹, 熊德甫², 樊晓鹏¹, 陈敏¹, 邓倩¹

摘要: [目的] 评估某企业办公室室内空气质量变化及其健康风险。[方法] 于2011—2013年, 选择某企业办公室进行空气中甲醛和苯浓度的检测, 对2011年发现空气中甲醛及苯浓度超标的办公室采取通风、放置吸附剂等空气净化干预措施, 应用健康风险评估方法对苯和甲醛的致癌和非致癌风险进行评估。[结果] 从2011年至2013年, 除部分办公室因新购置的办公用品中甲醛和苯的释放导致浓度上升外, 其余办公室甲醛和苯浓度水平整体下降。对于甲醛或苯浓度超出GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》限值的办公室, 采取干预措施后, 在次年的检测中, 其甲醛和苯浓度均低于检出限。办公室职业人群3年中的甲醛和苯致癌风险最大值分别为 12.54×10^{-5} 和 11.0×10^{-5} 。另有1间办公室苯的非致癌风险达到1.0275, 超出非致癌风险安全值1, 但随着办公室采取干预措施后, 甲醛和苯的致癌风险和非致癌风险明显下降。[结论] 该企业部分办公室内甲醛和苯的浓度较高, 其健康风险较大, 采取干预措施能有效改善空气质量并降低职业人员健康风险。

关键词: 办公室; 空气质量; 健康风险; 干预

Assessment on Indoor Air Quality in Offices of a Corporation and Related Human Health Risk LI Hua-liang¹, LI Li¹, XIONG De-fu², FAN Xiao-peng¹, CHEN Min¹, DENG Qian¹ (1. Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Corporation, Guangdong 510080, China; 2. Guangdong Huianhengda Management Consulting Co., Ltd, Guangdong 510080, China) • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To assess indoor air quality and human health risk in offices of a corporation. [Methods] Formaldehyde and benzene concentrations of indoor air in the offices of a corporation were detected in 2011–2013. Interventions such as ventilation and using absorbents were conducted in the offices with unqualified indoor air quality. The carcinogenic and non-carcinogenic risks of benzene and formaldehyde were evaluated by the human health risk assessment methods. [Results] From 2011 to 2013, the concentrations of benzene and formaldehyde in most offices decreased except where new appliances contributed to the increased formaldehyde and benzene concentrations in air. After ventilating and adsorbing, the concentrations of benzene and formaldehyde in the offices with unqualified concentrations according to the *Indoor air quality standard* (GB/T 18883–2002) at the baseline were all below the detectable limit in the following year. The maximum carcinogenic risks of benzene and formaldehyde were 12.54×10^{-5} and 11.0×10^{-5} , respectively. The highest non-carcinogenic risk of benzene was 1.0275, which exceeded the safety limit of 1. The carcinogenic and non-carcinogenic risks were lowered after the interventions. [Conclusion] The indoor air concentrations of benzene and formaldehyde in some offices are high and suggest high health risks. Appropriate interventions could effectively improve air quality and reduce the health risks of office workers.

Key Words: office; air quality; health risk; intervention

随着社会发展, 室内空气污染问题也日益严重。办公室工作职业人群每天有长达60%以上的时间处于室内办公环境之中, 其健康风险不容忽视^[1-3]。办公环境中可能存在的甲醛、苯等空气污染物已经被世界卫生组织确定为1类致癌物质, 可引起室内办

公职业人群不良建筑综合征^[4]。本文拟研究某企业办公室空气质量的变化规律, 利用健康风险评估模型, 评估办公室职业人群的健康风险, 为改善办公室空气质量采取相应的干预措施, 提升职业人群的健康提供参考。

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2015.14420

[作者简介] 李华亮(1983—), 男, 博士, 工程师; 研究方向: 电力行业环境保护和职业卫生; E-mail: li-hualiang@163.com

[作者单位] 1. 广东电网公司电力科学研究院, 广东 510080; 2. 广东汇安恒达管理顾问有限公司, 广东 510080

1 对象与方法

1.1 调查对象

采用分层抽样的方法选择某企业3栋办公楼为调查现场, 抽取其中17间办公室于2012—2013年连

续检测其室内空气中的甲醛和苯浓度,观察其变化情况,以研究干预措施的1年期效果;另外抽取该企业9间办公室于2011—2013年连续检测其室内空气中甲醛和苯浓度的变化情况,并对这9间办公室内的职业人群进行健康风险评估,以研究较长时间的干预措施效果及其健康风险的变化。研究过程中采用现场调查和访谈的方式分析办公室办公用具配置及装修等变化;对于2011年检测时发现办公室空气中的甲醛或苯浓度超过空气质量限值时,均采取多项综合干预措施,包括上班期间集中式空调通风,下班期间自然通风,并在办公室放置碳纳米管固体吸附剂用以吸附室内污染物^[5]。

1.2 检测方法

依据GB/T 18204.26—2000《公共场所空气中甲醛测定方法》测定甲醛浓度,检测仪器为DR5000型紫外/可见分光光度计(美国哈希公司);依据GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》测定苯浓度,检测仪器为GC-2010Plus气相色谱仪(日本岛津公司)。

1.3 评估方法

依据GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》规定的空气甲醛和苯的浓度限值(分别为0.10 mg/m³和0.11 mg/m³)进行空气质量限值评价。依据美国EPA健康风险评估方法^[6],苯和甲醛的健康风险分为两类:致癌风险(Cancer Risk, CR)和非致癌风险(Hazard Index, HI)。若CR>10⁻⁴,即表示存在较显著的风险,CR在10⁻⁶~10⁻⁴之间,即表示存在可以接受的风险,CR<10⁻⁶,即表示风险不明显;若HI≥1,即说明污染物对身体健康造成影响,若HI<1,即说明污染物浓度对身体健康没有大的影响。

1.3.1 致癌风险评估

$$CR = SF \times CDI \quad (1)$$

$$SF = (URF \times BW \times CF) / (IR \times AR) \quad (2)$$

$$CDI = (C \times IR \times ED) / (BW \times AT) \quad (3)$$

式中Cancer Risk—致癌风险;CDI—平均日暴露剂量,mg/(kg·d);SF—斜率因子,kg·d/mg;URF—单位风险因子^[7],m³/μg,甲醛1.3×10⁻⁶ m³/μg,苯7.8×10⁻⁶ m³/μg;BW—标准成人体重,70 kg;CF—单位转换因子,1000 μg/mg;IR—呼吸速率,20 m³/d;AR—吸收率,除特殊情况外均为1;C—污染物浓度,mg/m³;ED—暴露持续时间,按照人群平均时间进行计算(天数),d;AT—终生时间(天数),d,对于致癌风险,为人群平均寿命,取70年(25 500 d),而对于非致癌风

险,则取30年(10 929 d)。

1.3.2 非致癌风险评估 非致癌风险评估主要计算危害系数(HI)和风险商(Hazard Quotient, HQ):

$$HI = \sum HQ_i \quad (4)$$

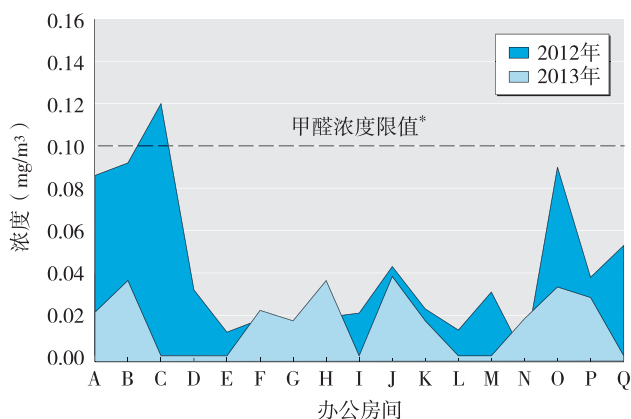
$$HQ_i = CDI / RfD \quad (5)$$

RfD—参考剂量,mg/(kg·d),甲醛2×10⁻¹ mg/(kg·d),苯4×10⁻³ mg/(kg·d);i—污染物质i。

2 结果

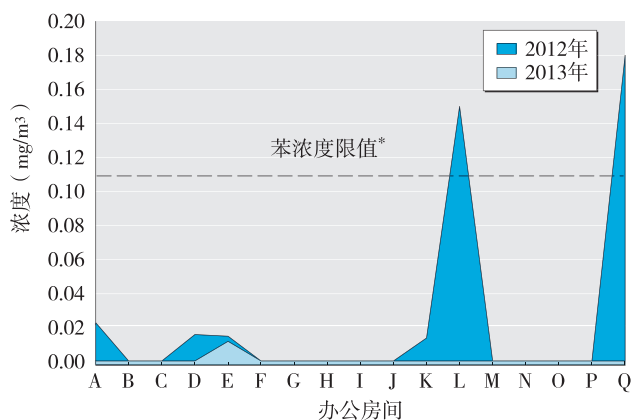
2.1 2012—2013年间某企业17间办公室空气质量变化

选取17间办公室,对其2012年和2013年同一月份的室内空气中甲醛和苯浓度进行了监测。从2012年的监测数据看,17间办公室内的甲醛浓度均在0.12 mg/m³以下,苯浓度在0.182 mg/m³以下。其中办公室C的甲醛浓度和办公室L、办公室Q的苯浓度超过国家标准限值,我们立即采取干预措施,当2013年再次检测时,3间办公室的甲醛和苯的浓度均下降到检出限以下(<0.01 mg/m³,下同)。见图1和图2。



[注]*: 甲醛浓度限值参见GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》。

图1 甲醛浓度变化

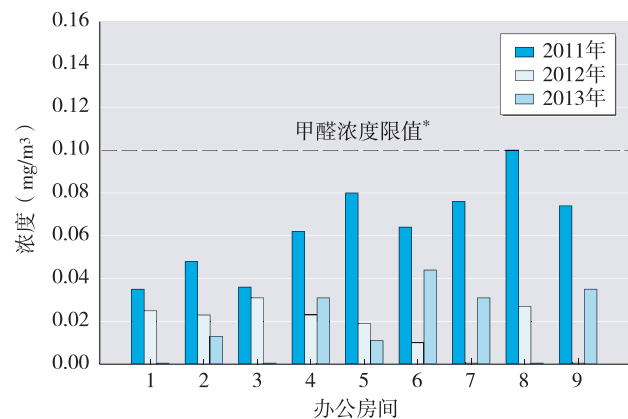


[注]*: 苯浓度限值参见GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》。

图2 苯浓度变化

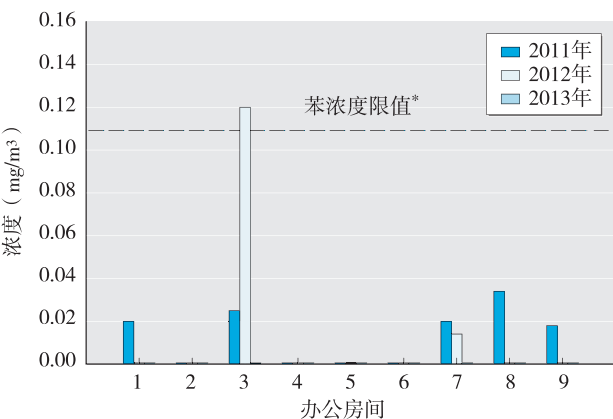
2.2 2011—2013年某企业9间办公室空气质量变化

同时跟踪了另外9间办公室2011年至2013年的甲醛和苯浓度变化,如图3、图4所示。可以看出,2011—2013年,随着办公室自然通风及污染物的排出,9间办公室的甲醛和苯浓度呈总体下降趋势。其中,办公室3在2012年的苯浓度出现突升并超出标准限值,经采取干预措施后,2013年浓度下降至检出限以下。经调查,其浓度突升原因与其在2012年新购入大量办公室用具有关。



[注]*: 甲醛浓度限值参见 GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》。

图3 甲醛浓度变化



[注]*: 苯浓度限值参见 GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》。

图4 苯浓度变化

2.3 致癌风险评估

根据公式(1)、(2)和(3),对这9间办公室办公的职业人群进行致癌风险评估,结果见表1。2011年甲醛的致癌风险较高,其中办公室5的致癌风险达到了 12.54×10^{-5} 。同样,在2012年,由于办公室3新购入桌椅及其他用具,苯的致癌风险值也上升至 11.0×10^{-5} 。两者均略高于美国EPA制定的 1.0×10^{-4} 的显著致癌风险值。随着相应干预措施的采取,苯和甲醛

的癌症风险值分别大幅下降,均低于 1.0×10^{-6} 的安全限值。

表1 不同办公室职工的癌症风险($\times 10^{-5}$)

办公室	甲醛			苯		
	2011年	2012年	2013年	2011年	2012年	2013年
1	5.49	3.92	—	1.84	—	—
2	7.53	3.60	2.04	—	—	—
3	5.64	4.86	—	2.30	11.0	—
4	9.72	3.60	4.86	—	—	—
5	12.54	2.98	1.72	—	—	—
6	10.03	1.57	6.90	—	—	—
7	11.91	—	4.86	1.84	1.29	—
8	15.67	4.23	—	3.13	—	—
9	11.60	—	5.49	1.66	—	—

[注]“—”表示风险低于 1.0×10^{-6} 。

2.4 非致癌风险评估

由公式(4)和公式(5),分别计算9间办公室员工的非致癌风险,结果见表2。2012年除了办公室3中的苯非致癌风险达到1.0275外,其余8间办公室的甲醛和苯的单项风险和总体风险均小于美国EPA制定的非致癌风险安全值。采取干预措施后,2013年办公室3的风险也随即降低。

表2 空气污染物的非致癌风险

办公室	污染物	2011年		2012年		2013年	
		HQ _i	HI	HQ _i	HI	HQ _i	HI
1	甲醛	0.0060	0.1763	0.0043	0.0043	—	—
	苯	0.1704	—	—	—	—	—
2	甲醛	0.0082	0.0082	0.0039	0.0039	0.0022	0.0022
	苯	—	—	—	—	—	—
3	甲醛	0.0061	0.2191	0.0053	1.0275	—	—
	苯	0.2130	—	1.0222	—	—	—
4	甲醛	0.0106	0.0106	0.0039	0.0039	0.0053	0.0053
	苯	—	—	—	—	—	—
5	甲醛	0.0136	0.0136	0.0032	0.0032	0.0019	0.0019
	苯	—	—	—	—	—	—
6	甲醛	0.0109	0.0109	0.0017	0.0017	0.0075	0.0075
	苯	—	—	—	—	—	—
7	甲醛	0.0129	0.1833	—	0.1193	0.0053	0.0053
	苯	0.1704	—	0.1193	—	—	—
8	甲醛	0.0170	0.3067	0.0046	0.0046	—	—
	苯	0.2896	—	—	—	—	—
9	甲醛	0.0126	0.1659	—	—	0.0060	0.0060
	苯	0.1533	—	—	—	—	—

[注]“—”表示风险低于0.0001。

3 讨论

近年,人们对办公室内装修的需求随着企业经济条件的改善变得越来越高。由于大量装修材料含有甲醛、苯等有机污染物,办公室空气质量也严重影响到室内职业人群的身体健康^[8]。本研究对某企业办公环境进行多年追踪,对室内空气质量进行检测,对空气质量超标的办公室采取干预措施,研究空气质量以及办公人员健康风险的变化规律。

结果显示,调查的17间办公室中,有3间办公室的甲醛或苯浓度超出室内空气质量国家标准,其中办公室Q的苯浓度达到 0.182 mg/m^3 。其余办公室的甲醛和苯浓度随着自然通风逸散排出,而不断降低^[9]。另外9间办公室3年空气质量变化规律与此相似。对于超标的办公室,当采取干预措施后,在第2年的检测中,苯和甲醛的浓度下降明显,均下降至检出限以下。说明采取通风、放置吸附剂等干预措施,能快速有效地降低办公室内污染物的浓度^[10],此外,利用美国EPA的健康风险评估模式对办公室职业人群进行致癌风险分析,结果显示,9间办公室的致癌风险较高,职业人群2011年甲醛的致癌风险值最高达到 12.54×10^{-5} ,2012年苯的致癌风险值达到 11.0×10^{-5} ,略高于致癌风险安全限值(1.0×10^{-6}),与国内其他相关文献报道的风险值接近^[11-12]。说明该企业办公人群存在一定的致癌风险。另外,所研究的办公室人群非致癌风险值则相对较低,除了办公室3由于新购置办公用品导致苯非致癌风险达到1.0275外,其余办公室的甲醛和苯的单项风险和总体风险均小于美国EPA的安全限值。同样,随着干预措施的实施,办公室甲醛和苯的致癌和非致癌风险逐年降低,并最终低于其相应的风险安全值。由此说明,通风换气、吸附剂吸附等干预措施是消除室内污染物快速有效的方式,可广泛应用于办公室空气质量的改善^[13]。

•作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

- [1]陈寰,马振邦.深圳市室内空气的健康风险评价[J].环境科学与技术,2012,35(12J):360-364.
- [2]高翔,白志鹏,游燕,等.不同室内环境空气中挥发性有机物的暴露水平及其对健康的影响[J].环境与健康杂志,2006,23(4):300-303.
- [3]郭艳,何伦发,李玉,等.2007—2011年中山市新装修家居和办公场所室内空气质量分析[J].环境卫生学杂志,2012,2(5):211-213.
- [4]戴昌芳,金晓玲,张建鹏,等.装修居室空气中苯系物污染状况调查[J].环境与健康杂志,2008,25(6):550.
- [5]刘展华,唐振柱.室内空气甲醛污染危害与控制[J].环境与健康杂志,2007,24(6):463-465.
- [6]USEPA. Risk assessment guidance for superfund volume i-human health evaluation manual(Part A)[R]. Washington, DC. USEPA, Office Of Emergency and Remedial Response, 1989.
- [7]USEPA. Integrated risk information system(IRIS)[EB/OL]. [2014-01-08]. <http://www.epa.gov/iris>.
- [8]钱华,戴海夏.室内空气污染与人体健康的关系[J].环境与职业医学,2007,24(4):426-430.
- [9]刘芳,景盛翱,徐斗,等.房屋装修过程中室内空气污染物的动态变化[J].环境与职业医学,2011,28(7):435-438.
- [10]贾如升.我国室内苯及苯系污染物危害与防制现状[J].环境与职业医学,2010,27(1):56-57.
- [11]李国强,卢新卫.西安市娱乐场所室内空气中苯与甲醛的健康风险评价[J].上海环境科学,2012,31(3):112-115.
- [12]李淞淞,程艳丽,颜敏,等.贵阳市室内空气中苯和甲醛的健康风险评价[J].环境与健康杂志,2008,25(9):757-759.
- [13]原福胜,宫斐,梁瑞峰.居室装修后室内空气污染及变化趋势[J].环境与职业医学,2009,26(5):441-443.

(收稿日期:2014-06-16)

(英文编辑:汪源;编辑:郑轻舟;校对:洪琪)