

科技综述

挥发性有机化合物
对室内空气质量影响研究进展^{*}

湖南大学 张国强[☆] 宋春玲 陈建隆
加拿大 Concordia 大学 F. 哈吉格特

提要 系统回顾了近年来一些国家对室内空气环境中挥发性有机化合物(VOC)研究的各个方面,包括 VOC 研究在室内空气质量研究中的地位,建筑物内 VOC 对人体健康的影响,VOC 研究的实验方法、理论方法及主要研究结论,各国政府、学术团体采取的行动等。得出结论:与建筑科学、环境科学及人体健康相关的工作人员,如居住者、建筑业主、建筑科学家、环境科学家、心理学家和生理学家、建筑师与暖通空调设计人员、建筑和装饰材料生产商、供应商,都应重视 VOC 问题。

关键词 挥发性有机物 室内空气质量 人体健康 研究

Volatile organic compounds: a kind of important indoor pollutants

By Zhang Guoqiang, Song Chunling, Chen Jianlong and F. Haghighat

Abstract Reviews systematically aspects of VOC (volatile organic compounds) research, including its role in IAQ (indoor air quality) study, its impacts on human health, the related experimental and theoretical research approaches and major conclusions, actions taken by governments and professional bodies. Concludes that the VOC problem should be given sufficient emphasis by almost every one working in the fields related to architecture, building and environment science and technology, building development, building occupancy, human health physiology and psychology, HVAC system designing, building and decoration material production etc.

Keywords volatile organic compounds, indoor air quality, human health, research

Hunan University, China

0 引言

80 年代以来,室内空气质量(IAQ)问题得到了越来越多的重视。1995 年到 1998 年,美国供暖制冷空调工程师学会(ASHRAE)资助了 100 个研究项目,总经费约 9 亿美元。其中在三个重点领域——制冷剂替代、节能和室内空气质量方面,仅在 1997~1998 财政年度,资助额就达到 3.2 亿美元。另一方面,近 10 年来,在发达国家的有关大学和研究机构进行了几百项 IAQ 方面的试验,发表了几千篇文章,创办了多种国际性学术刊物,召开了许多国际会议^[1]。

为什么人们在 IAQ 问题上花费如此多的精力和研究

经费?主要有三方面的原因:首先,现代建筑大部分装有空调、供暖系统,室内大量采用地毯、墙漆等人工材料,而这些人工材料对室内空气污染相当严重。同时,从节能角度考虑,通过空调系统进入室内的新风量减少;其次,人们在室内停留的时间越来越长,因为室内不仅是人们的生活环境,而且还成为人们的工作环境(办公室工作);另外,人们发现,IAQ 不仅影响人体健康,而且影响工作效率,这就使得

① ☆ 张国强 男,1964 年 10 月生,博士,教授,博士生导师,副院长
410082 湖南长沙市岳麓山湖南大学土木工程学院
(0731) 8821312
E-mail: gqzhang2000@sina.com
收稿日期:2001-03-19
稿件修回日期:2001-10-25

* 国家自然科学基金资助项目(编号 50078020)

公司的雇主也关心 IAQ 问题。

我们知道,室内环境和热舒适的影响因素有 4 个,即室内温度、湿度、风速和空气污染。其中,空气污染,特别是建筑材料散发出的挥发性有机化合物,在近 10 年中得到了极大的重视,因为 VOC 是影响人体健康和工作效率的重要因素,而我们对其机理又知之甚少。

本文对 VOC 研究的诸方面进行了较全面的综述,总结了广大研究人员取得的研究成果,比较了不同研究者之间互相矛盾的结论,同时也介绍了笔者在该方面研究的进展。

1 IAQ 和 VOC 对人体健康的影响

1.1 政府部门和相关机构的行为

从 1980 年左右开始,许多研究人员和相关机构就注意到了 IAQ 问题。Fanger 和 Valbjorn 研究了室内气候对人体舒适的影响^[2]。美国国家研究院的各委员会出版了有关室内空气污染对人体健康影响的报告^[3~6]。美国喉科协会出版了关于空气污染对呼吸道和肺部健康负面影响的论文^[7,8]。美国健康与人类服务部出版了关于被动吸烟的报告^[9]。美国国家环保局主持了有关室内氡污染和建筑材料中 VOC 散发的研究项目^[10,11]。美国国家标准局颁布了有关测定 VOC 的小型环境试验箱的标准^[12]。欧洲共同体进行了关于室内空气品质及其对人体健康影响的合作项目^[13]。加拿大出版了《健康建筑手册》,其中报道了通风空调系统、室内空气流动、室外空气品质、建筑材料、室内污染及居住者对室内空气环境的影响方式^[14]。瑞典国家建筑科学院举办了题为“如何得到健康建筑”的研讨会^[15]。世界气象组织、联合国环境规划署、世界卫生组织联合出版了小册子《气候与人类健康》^[16]。联邦德国环境保护局决定给低污染的油漆产品授以“环保标志”,这一措施使低污染的产品所占的市场份额从 1980 的 1% 增长到 1989 年的 20%^[17];其中,VOC 是确定一种产品能否获得“环保标志”的最重要的指标之一。ASHRAE 国际室内气候学会(International Society of Indoor Air Quality and Climate)及相关科研机构从 1980 年起出版了关于 IAQ 方面的期刊,如《Journal of Indoor Air》,召开了几个系列的国际学术会议,如室内空气品质国际会议(Indoor Air),通风国际会议(Room Vent),健康建筑国际会议(Healthy Building),室内空气品质、通风与建筑节能国际会议(IAQ, Ventilation and Building Energy Conservation)等。

1.2 VOC 在室内空气品质研究中的地位

在所有影响室内空气品质的因素中,VOC 已经越来越受重视。这里要指出的一点是人们过去错误地认为人是室内惟一的污染源,实际上,建筑材料所散发的 VOC 是产生“病态建筑综合症”(SBS)的主要因素^[18]。

表 1 列出了从 1992 年到 1998 年发表在《Journal of Indoor Air》上与 VOC 有关的论文篇数和发表的总论文篇数。

在非工业环境中,VOC 通常是空气中的重要污染源。世界卫生组织的一个工作小组将所有室内有机污染物分成 4 类,如表 2 所示^[19]。

表 1 《Journal of Indoor Air》上发表的论文篇数统计

年份	与 VOC 有关的论文数	总论文数	百分数/%
1992	4	26	15
1993	10	23	30
1994	7	28	25
1995	8	27	19
1996	2	28	7
1997	13	28	46
1998	7	28	25

表 2 室内有机污染物分类

描 述	缩写	沸点范围/℃
易挥发有机化合物	VVOC	< 0 至 50~100
挥发性有机化合物	VOC	50~100 至 240~264
半挥发有机化合物	SVOC	240~260 至 380~400
与某种特殊物质或特殊有机物相关的有机化合物	POM	50~100 至 240~260

1.3 VOC 对人体健康的影响

1.3.1 症状和原因

关于 VOC 对人体健康影响的表现和原因,人们众说纷纭,世界卫生组织将健康定义为“一种完全的生理、心理、社会意义上的良好状态,并不只是没有疾病或身体虚弱”。同时,关于各种 VOC 在高浓度下对人体健康的影响已有许多较成熟的研究成果。

由于非工业建筑中的 VOC 浓度较低,研究的主要内容是在低浓度下 VOC 对人体健康的影响:一方面是 VOC 对人体功能的干扰,另一方面是人对环境的一种不良感受。

在低 VOC 浓度下最常见的影响可分为 3 大类^[19]:

① 人体感官受到强烈刺激时对环境的不佳感受;

② 暴露在空气中的人体组织的一种急性或亚急性的炎性反应;

③ 由于以上感受引起的一系列反应:一般可认为是一些亚急性的环境紧张反应。

一般认为,人们通过鼻腔前部的嗅觉器官、舌头的味觉器官以及化学感知器官中的一种,或者它们的综合作用,有时包括从其它器官接受的额外信号,如视觉、对热环境的感知等,来感觉 VOC 的存在。这种刺激称为“感知室内空气质量”(PIAQ)^[19]。化学感知器官既包括皮肤表面的三叉神经也包括眼、鼻、嘴或其它部位的黏膜。这些神经有多种形式的感应器,通过感应蛋白质的化学反应或物理吸附感知环境中的化学物质。感知器官的活动将导致诸如流泪、呼吸频率改变、咳嗽或打喷嚏等保护性反应。

1.3.2 现场分析研究

人们已经用多种方法来研究各种 VOC 对人体健康的影响。许多案例分析表明高浓度 VOC 对人体健康有害^[20~22],已经观察到的对人体的危害包括黏膜发炎、中枢神经系统的改变^[20],头痛、异味、疲倦及怕冷怕热、吹风感、儿童的哮喘和支气管炎等^[22]。但也有些学者得出相反的结论,即人们抱怨的程度与 VOC 的浓度,甚至 VOC 的存在性并没有必要联系^[23~25]。

对空气温度和 VOC 对人的综合影响的研究表明,鼻腔

断面面积和鼻腔容积随着温度的降低和 VOC 浓度的增加而减小。同时发现温度变化和污染物同时出现,影响空气品质,影响前额皮肤温度及引起流汗、流泪等,导致人们对通风提出更高要求。

2 室内空气中 VOC 的分类、量化指标和测量方法

2.1 室内空气中的 VOC

近年来,研究人员进行了现场实测研究,从而了解 VOC 在不同种类的建筑物中的类型和浓度。

研究表明各种建筑中都存在 VOC,但是不同研究人员测得的浓度存在较大差异。按照常用的量化指标——总挥发性有机物浓度(TVOC)大小计算,不同研究人员得到的结果是从 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 到 $1\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 不等^[24, 29]。

不同种类的建筑物中,新建筑中 VOC 浓度比旧建筑中大得多,而旧的住宅建筑中 VOC 和 TVOC 的浓度要比公共建筑中的大得多^[24]。一项调查表明室内空气中发现的 VOC 有 188 种^[27]。另一项研究发现在 76 种化合物中,有 47 种是碳氢化合物,大部分已知的 VOC 化合物浓度很低,比人体嗅觉阈值低 50 倍以上,比目前的住宅建筑规定最小允许浓度低 3 倍或更多^[29]。研究表明,甲醛的浓度与家具陈设、居住者停留情况和室外温度有关^[28]。研究人员分析了常见的污染物多环芳香烃(PAH)的粒子大小分布^[29],不同类型的建筑中含有的 VOC 种类和浓度不同^[30],许多 VOC 是从发霉的材料或建筑中散发出来的^[31, 32]。

2.2 VOC 量化指标,室内空气质量中化学物质的有关标准或规范

2.2.1 量化指标 TVOC

为了将 VOC 对室内空气质量的影响从其它影响因素中分离出来,有必要对不同种类的 VOC 进行测试。但是由于以下两个原因,使得这种测试十分费时和昂贵。首先,由于人类对许多 VOC 十分敏感,但其浓度太低,难以测试;其次,许多 VOC 是混合在一起的。

因此,常常采用三种方案,方案一是使用人作为探测器,例如测试一组人的感觉,常见的 Olf/Decipol 理论就是一个例子;方案二是使用示踪气体;方案三是使用空气总污染水平,或称为 TVOC。

TVOC 是一种人体神经对非特异性刺激的一种量化指标,对它的定义和使用是有一定条件的^[19]。

迄今为止,研究人员相当广泛地使用 TVOC 作为人体对 VOC 反应的一种量化指标,但同时还存在很大的争议。

一些研究人员指出,虽然 TVOC 不是一种有效的预测指标,但它对确定室内空气质量状况,从健康、舒适、节能和可持续发展角度改善室内污染源的控制是相当有效的^[33]。有人认为,TVOC 必须与生物学评价同时使用,来研究建筑材料中污染物的发散^[34]。

也有人认为 TVOC 是一种模糊的概念,并且不能证明火焰离子检测法(FID)得到的 TVOC 数据和生物学影响有联系^[36];似乎没有足够的科学基础表明 TVOC 能作为非工业建筑中 VOC 对人体健康和舒适影响的危险性量化指标^[37]。研究人员比较了 TVOC 的不同确定方法,如火焰

离子检测法,气相色谱/质谱测定法(GC/MS)等^[38]。

虽然仍然存在许多争议,TVOC 已经较广泛地被接受为室内环境中 VOC 浓度的量化指标^[39]。

2.2.2 室内空气质量中化学物质的有关标准或规范

基于 VOC 对人体的作用受温度的影响这一事实,有人建议未来可接受的 VOC 浓度的标准应随室内温度而变化^[39],也有人给出了三种情况下选择不同标准或规范的方法^[35]。但是一些研究人员主张化学方法和主观感觉方法同时使用^[40, 41]。

一些研究人员建议只有现场测试而不是实验室测试,才能用于建立标准^[42]。

迄今为止,还没有出现被广泛接受的标准或规范。

2.3 测量方法

测量方法对确定 VOC 研究十分重要。测量过程包括实验装置和采样方法。目前广泛采用的实验装置是小型环境实验室,已经成为美国国家标准。丹麦和加拿大的研究人员还研究了其它装置,如 CLIMPQ 和 FLEC^[28, 43, 44]。这些设备在一定范围内被广泛接受,但还是存在许多问题。例如,有研究表明,由于忽视实验初期实验空间内气流的不充分混合,采用这些设备的实验结果可能导致很大的误差^[45]。

广泛采用的采样方法是 FID, GC/MS。基于这些方法,研制了各种采样设备^[45, 46]。也有人研究了被动采样方法^[47-50],针对不同种类的 VOC 研制了专用的采样器^[51-55]。同时还研究了其它采样方法,例如用于测定 IAQ 的“电子鼻”^[56],半导体气体采样器^[46]和光电谱仪^[57]。

3 VOC 散发特征的实验研究

3.1 VOC 的来源

室内 VOC 可能来自于建筑材料和家具,室外环境,通风系统,人类的活动,办公设备诸如复印机、打印机,粘合剂、喷雾器等^[19],但是不同污染源散发的 VOC 量有很大的差别。VOC 最主要的来源是建筑材料^[58-61],每种材料散发的 VOC 从 $0.000\,4 \text{ mg}/\text{m}^3$ 至 $5.2 \text{ mg}/\text{m}^3$ 不等^[62]。欧洲^[59]、美国^[60]、加拿大^[61]都建立了建筑材料 VOC 散发量特性的数据库。有人建议使用一种特殊指标——时间值 t (C_m)来确定新建筑物中 VOC 散发的强度,在 $t(C_m)$ 时间内, VOC 浓度达到 C_m ^[63]。

另外,对空调系统的过滤器,甚至通风管道散发的 VOC 也有人进行了研究^[64, 65]。

3.2 不同材料 VOC 散发特征

这种特性在 VOC 研究领域是最重要的基础研究,许多研究人员在这一方面进行了大量研究,表 3 列举了近年发表论文上的部分数据。

3.3 影响材料中 VOC 散发的因素

环境条件对材料 VOC 散发特性有一定影响。当在室内环境中使用某种建筑材料后,通过研究不同参数对材料中 VOC 散发特性的影响,有助于采取措施,在建筑环境中使用具有污染物的材料后,降低它对人体健康的不良影响。

表 3 关于材料中散发 VOC 的有关论文的简要描述

文献	实验环境	采样手段	实验对象	涉及的 VOC	简要描述
[66]	环境实验室 (动态试验箱) 和静态试验箱	G C/MS	家用品		对静态试验箱结果进行比较, 建立经验公式
[67]	环境实验室		地毯	TVOC	通过环境实验室测试建立模型以进行 TVOC 评估
[68]	环境实验室		木材着色剂	4 种 VOC	从木材着色剂散发出的 4 种 VOC 的特性
[69]	环境实验室		家用品	几种 VOC	测试对象对 VOC 的吸附性能
[70]	环境实验室	G C/MS	纸、复印机、打印机		从测试对象散发的 VOC 的种类
[71]	现场测试	G C/MS	垃圾站和轮胎焚烧场	PAH	从垃圾堆和燃烧的轮胎散发的多环芳烃
[72]	现场测试	G C/MS			使用美国 EPA/ERF 采样和分析程序
[27]	静态试验箱	G C/MS		188 种 VOC	鉴定室内 VOC 种类, 分析污染源, 比较不同的分析方法
[73]				MVOC ^① /VOC	来自水基油漆 (WBP) 的 MVOC 以及 MVOC 和 VOC 的关系
[74]	环境实验室			甲苯	比较现场测试和环境实验室测试的结果
[75]	环境实验室	G C /FID/MS	地板材料	VOC	ECA ^② 中从地板散发的 VOC
[76]	现场测试	G C/MS	家用产品	VOC	住宅建筑中 VOC 浓度和污染源
[77]	环境实验室		家具涂料	150 种 VOC	含量高的 VOC 及其浓度
[78]					通过人员测试研究 VOC 浓度与主观感觉的空气品质之关系
[31]		Tenax -TA &GC /MS	松木		研究松木上霉菌的示踪化合物
[79]	环境实验室		软木产品	苯酚	软木合成产品散发的 VOC
[80]	环境实验室和 人员测试				主观感受与环境实验室实验的关系, 某些建筑产品的污染对人类主观感受的影响不能通过通风的方法来降低
[32]					发霉的建筑物灰尘中散发的 VOC
[81]	环境实验室	拍照	羊毛地毯等	甲苯	不同建筑产品对 VOC 的吸附效果

① M VOC: microbial VOC, 即微生物 VOC。
② ECA: European Collaborative Action, 即欧洲合作项目。

温度是最引人注目的影响因素^[82~87]。许多研究表明随着温度的升高 VOC 的散发率也增长, 这就使得利用“烘烤” (bake-out) 来加速 VOC 的散发具有可行性。

但是也有一些研究表明材料 VOC 总散发量仅与 VOC 的种类有关, 而与温度无关^[85], 另一些研究人员则认为温度的影响完全取决于 VOC 的种类^[84], 甚至指出“烘烤”过程结束后, 温度的升高并没有明显地降低 VOC 的总浓度^[82]。

污染物浓度对 VOC 的散发的影响随材料而异^[40]。对

此, 不同的研究方法, 诸如采用化学测量和主观调查, 得出的结果不同^[40, 41]。采用主观调查方法时, 没有观察到污染物浓度和空气流速对 VOC 散发的影响。

温度、空气流速和相对湿度对 VOC 散发的综合影响的程度和方式取决于材料类型^[84]。

通风效率和室内隔断布置对 VOC 的散发有显著影响^[88]。

实验初期环境内空气的不完全混合^[45] 和环境的湿度^[89] 分别对小室测试和气相色谱/ 质谱测定法分析结果有十分强烈的影响。

关于油漆, 它的厚度^[90] 和被涂油漆的材料种类^[91] 对其中 VOC 散发都有影响。

有研究表明大气压力和通风系统的运行策略对室内材料的 VOC 散发均有重大影响^[92, 93]。

4 降低 VOC 对人体健康和生产效率影响的措施

人们对 VOC 进行研究的目的是要降低 VOC 对人体健康的不良影响。有几种方法可以达到这个目的: 首先是选用污染物含量低的材料制作家具和用作建材, 当然, 如果可能的话这种方法是最安全和最节省的。但至今为止, 公众, 甚至专业技术人员都没有对此引起足够的重视。另一个众所周知的方法是通风或对空气进行稀释, 在这种方法中有一种控制通风量的方法, 即“需求控制通风” (DCV) 具有很高的效率^[18]。还有一种方法是“烘烤”法, 也就是加热新建建筑室内环境使 VOC 迅速散发, 从而避免对日后进入的居住者产生不良影响。但如上所述, 它对 VOC 散发是否有影响及影响方式还不十分确定。

5 材料中 VOC 散发过程的数学模拟研究

越来越多的研究人员通过数学模拟对材料中 VOC 散发过程进行研究。使用的模型常可分为经验模型和物理模型。

通常使用的经验模型是一阶衰减模型。该模型通过对指数方程选用不同指数和系数构成不同模型, 用以描述并预测不同材料、不同 VOC 种类和不同环境条件的 VOC 散发过程。指数和系数通过实验确定。所使用的物理模型是以质传递过程和边界层理论为基础的。

对 VOC 的散发过程建立数学模型是将散发过程视为理想的物理或化学过程, 如多孔材料中水蒸气的质传递过程、化学反应过程或它们的组合过程。由于散发过程实际上不可能是理想过程, 因此, 必须对材料的特性、VOC、室内气流和其它环境参数进行大量假设。然而, 这种方法十分重要, 因为它有助于我们了解散发过程的机制, 从而使得我们可能对这种过程进行一般性描述。另外, 如果在工程中可以接受, 毫无疑问, 和实验方法相比, 数学模拟方法可以节省大量的人力物力。

6 结论

过去 10 年中, 发达国家不同领域的工作人员, 包括政府官员、建筑科学家、环境科学家、心理学家、生理学家、医生、建筑师、分析化学家、建筑材料和建筑产品的生产供应商、居民、室内工作人员及其雇主、办公人员等, 都对解决材

料中 VOC 散发对室内空气造成污染的问题作出了努力。然而仅在很少结论上达成共识,如:室内环境中存在 VOC, VOC 对人体健康有害和许多建筑材料和产品散发 VOC。而在其它细节方面,如 VOC 如何影响人体健康和生产率,材料散发特性和如何确定那些特性,影响 VOC 散发的因素, VOC 散发机理及如何减少 VOC 对人体健康的负面影响等方面,研究结果并不一致,甚至得出完全相反的结论。因此,在发达国家,这方面的研究方兴未艾。而在中国,这方面的研究才刚刚开始,随着人民生活水平的提高,生活方式和工作方式的改变以及科学技术进步,室内环境质量将成为我国社会发展的一个重大课题,有关部门和人员应当对此予以高度重视。

参考文献

- Haghighat, F., et al. Material emission rates; Literature review and the impact of indoor air temperature and relative humidity. *Building and Environment*, 1998, 33(5): 261—277
- Fanger P O., Valbjorn O. Indoor climate; Effects on human comfort, performance and health in residential, commercial, and light-industry buildings. Copenhagen, Danish Building Research Institute, 1979
- National Research Council Committee on Indoor Pollutants. Indoor pollutants. Washington DC, National Academic Press, 1981
- National Research Council Committee on the Institutional Means for the Assessment in the Federal Government. Managing the process. Washington DC, National Academic Press, 1983
- National Research Council Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. Health risks of radon and other internally deposited alpha-emitters; BEIR IV, Washington DC, National Academic Press, 1988
- National Research Council. Panel on dosimetric assumptions affecting the application of radon risk estimates; comparative dosimetry of radon in mines and homes. Companion to BEIR IV Report, Washington DC, National Academic Press, 1983
- American Thoracic Society. Guidelines as to what constitutes an adverse respiratory health effect, with special reference to epidemiologic studies of air pollution. *American Review of Respiratory Disease*, 1985; 666—669
- American Thoracic Society. Environmental control and lung disease. *American Review of Respiratory Disease*, 1990; 915—939
- U S Department of Health and Human Services. The health consequences of involuntary smoking, a report of the surgeon general. Rockville, MD, U S Government Printing Office, 1986
- U S Environmental Protection Agency. Environmental equity; reducing risk for all communities. Report to the Administrator from the EPA Environmental Equity Workshop. Draft, Publication, No 230-DR-92-002.
- EPA Report No EPA-600/ R-94-141. Characterization of emissions from carpet samples using a 10 gallon aquarium as the source chamber. Prepared by Acurex Environmental Corporation for the U S Environmental Protection Agency Office of Research and Development, 1994
- American Society of Testing and Materials (ASTM). Standard guide for small-scale environmental chamber determinations of organic emissions from indoor material/products. ASTM, Philadelphia, 1990
- Bortoli M D., et al. Determination of VOCs emitted from indoor materials and products interlaboratory comparison of small chamber measurement. Report No 13. Commission of European Communities Joint Research Center, European Collaborative Action; Indoor Quality and its Impact on Man. Luxembourg, 1993
- Engg Interfact Limited. Healthy building manual, systems, parameters, problems and solutions. Canada, 1998
- Swedish Council for Building Research. How do we get healthy building? 1987
- World Meteorological Organization, United Nations Environment Program and World Health Organization. Climate and human health, 1987
- Plehn W. Solvent emission from paints. *Proc Indoor Air '90*, 1990; 563—568
- Haghighat F., et al. Emissions of indoor pollutants from building materials—state of the art review. *Architectural Science Review*, 1993, 36; 13—22
- Molhave L. VOCs, indoor air quality and health. *Proc Indoor Air '90*, 1990; 15—33
- Bloeman HJ. Indoor pollution after the application of moisture repellents. *Proc Indoor Air '90*, 1990, 3; 569—574
- Sundell J., et al. VOCs in ventilating air in building at different sampling points and their relationship with the prevalence of occupant symptoms. *J of Indoor Air*, 1993(3); 82—93
- Garrett M H., et al. Low levels of formaldehyde in residential homes and a correlation with asthma and allergy in children. *Proc Indoor Air '96*, 1996, 3; 617—622
- Bortoli M D., et al. Investigation on the contribution of VOCs to air quality complaints in office buildings of the European parliament. *Proc Indoor Air '90*, 1990, 2; 695—700
- Brown S K., et al. Concentrations of VOCs in indoor air—a review. *J of Indoor Air*, 1994(4); 123—134
- Wolkoff P., et al. Are we measuring the relative indoor pollutants? *J of Indoor Air*, 1997(7); 92—106
- Bernhard C A. VOCs in 56 European office buildings. *Proc healthy buildings '95*, 1995; 1347—1352
- Wolkoff P., et al. Indoor VOCs from household floor dust; comparison of headspace with desorbed VOCs. *J of Indoor Air*, 1994(4); 248—254
- Gunnarsen L., et al. Design and characterization of the CLIMPAQ chamber for laboratory investigations of materials, pollution and air quality. *J of Indoor Air*, 1994(4); 56—62
- Sugita K., et al. Particle size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the air. *Proc of Indoor Air '96*, 1996, 3; 391—396
- Shields H C. Comparisons among VOCs measured in three types of US commercial buildings with different occupant densities. *J of Indoor Air*, 1996(6); 2—17
- Björman J., et al. Growth-phase-related production of potential volatile organic tracer compounds by moulds on wood. *J of Indoor Air*, 1997(7); 2—7
- Wilkins, K., et al. Patterns in VOCs in dust from moldy buildings. *J of Indoor Air*, 1997(7); 128—134
- Molhave L., et al. TVOC in indoor air quality investigations. *J of Indoor Air*, 1997(7); 225—240
- Nielsen G D., et al. Chemical and biological evaluation of building material emissions. 1. A screening procedure based on a closed

- emission system. J of Indoor Air, 1997(7); 8—16
- 35 Nielsen G D, et al. Chemical and biological evaluation of building material emissions. 2 Approaches for setting indoor air standards or guidelines for chemicals. J of Indoor Air, 1997(7); 17—32
- 36 Otson R, Fellin P. TVOC measurement; relevance and limitations. Proc Indoor Air '93, 1993; 281—286
- 37 Andersson K, et al. TVOC and health in non-industrial indoor environments. J of Indoor Air, 1997(7); 79—91
- 38 Hodgson A T. A review and a limited comparison of methods for measuring TVOCs in indoor air. J of Indoor Air, 1995(5); 247—257
- 39 Brinke J T, et al. Development of new VOC exposure metrics and their relationship to “sick building syndrome” symptoms. J of Indoor Air, 1998(8); 140—152
- 40 Andersen T E, et al. Air pollutant concentration effects on VOC emission rates of building and furnishing materials. Proc Indoor Air '96, 1996, 1; 559—564
- 41 Knudsen H N, et al. Characterization of emissions from building products; long-term sensory evaluation, the impact of concentration and air velocity. Proc Indoor Air '96, 1996, 3; 551—556
- 42 Hoskins J A, et al. The construction and evaluation of a data-base of indoor air pollutants; VOCs. Proc Indoor Air '93, 1993, 2; 63—67
- 43 Wolkoff P, et al. Application of the field and laboratory emission cell “FLEC”. J of Indoor Air, 1995(5); 196—230
- 44 Zhang J S, et al. Performance evaluation of a full-scale chamber for material emission tests and studies. Proc Indoor Air '96, 1996, 3; 373—378
- 45 Yang X, et al. Impact of early stage incomplete mixing on estimating VOC emissions in small test chambers. J of Indoor Air, 1998(8); 180—189
- 46 Hori M, et al. Application of semiconductor gas sensors to IAQ monitoring; ETS and VOC coexisting with ozone. Proc Indoor Air '96, 1996, 3; 367—372
- 47 Namiesnik J, et al. Investigations on the applicability of some commercial polyethylene films to permeation-type passive samplers for organic vapours. J of Indoor Air, 1992(2); 115—120
- 48 Osade E, et al. Development of a passive sampler of formaldehyde and its application to exposure measurement. Proc Indoor Air '93, 1993, 2; 317—322
- 49 Matsumura T, et al. Development of passive sampler of volatile organic compounds and its application to personal exposure measurement of P-Dichlorobenzene. Proc Indoor Air '93, 1993, 2; 311—316
- 50 Soreau S, et al. Comparison of VOCs measurement in an experimental chamber by active and passive samplers. Proc Indoor Air '96, 1996, 3; 361—366
- 51 Bortoli M D, et al. Comparison of Tenax and carbotrap for VOC sampling in indoor air. J of Indoor Air, 1992(2); 216—224
- 52 Pannwitz K H, et al. Monitoring of VOC in the air of indoor environments by diffusive sampling systems. Proc Indoor Air '93, 1993, 2; 323—326
- 53 Liu L J S, et al. Use of a personal monitoring technique to assess indoor ozone concentrations - a pilot study. Proc Indoor Air '93, 1993, 2; 305—310
- 54 Schirch O. The bio-check strategy; easy to use indoor air measurement systems. Proc Indoor Air '96, 1996, 3; 339—344
- 55 Matsumura T, et al. Development of continuous analyzer of formaldehyde in indoor air. Proc of Indoor Air '96, 1996; 379
- 56 Reichel C, et al. Indoor air quality and electronic noses. Proc Indoor Air '96, 1996, 3; 351—356
- 57 Knuger U, et al. Determination of indoor TVOC concentrations by photoacoustic spectroscopy. Proc Indoor Air '96, 1996; 309
- 58 Tucker W G. Building with low-emitting materials and products; where we stand? Proc Indoor Air '90, 1990, 3; 251—256
- 59 Lagoudi A, et al. Identification of pollution sources that emit VOCs. Proc Healthy Building '95, 1995, 3; 1341—1346
- 60 Shah J J., Indoor and ambient air VOCs; a summary of the national VOC data base. Proc Indoor Air '90, 1990, 2; 753—757
- 61 Figley D, et al. Development of a VOC emission database for building materials. Proc Indoor Air '96, 1996, 3; 53—58
- 62 Eugstrom K. Building materials; a source of indoor air pollution. Proc Indoor Air '90, 1990, 3; 677—681
- 63 Wolkoff P. Indoor climate labeling of building products chemical emission testing, modeling and indoor relevant odor thresholds. Proc Healthy Building '94, 1994, 1; 231—236
- 64 Pasanen P, et al. Emissions of VOCs from air conditioning filters of office buildings. Proc Indoor Air '90, 1990, 2; 183—188
- 65 Valbjørn O, et al. Dust in ventilation ducts. Proc Indoor Air '90, 1990, 3; 361—364.
- 66 Colombo A, et al. Determination of VOCs emitted from household products in small test chambers and comparison with headspace analysis. Proc Indoor Air '90, 1990, 3; 599—604
- 67 Black W. Environmental chamber technology for the study of volatile organic compound emissions from manufactured products. Proc Indoor Air '90, 1990, 3; 713—719
- 68 Chang J C S, et al. Characterization of organic emissions from a wood finishing products-wood stain. J of Indoor Air, 1992(2); 146—153
- 69 Colombo A, et al. Adsorption of selected VOCs on a carpet, a wall coating, and a gypsum board in a test chamber. J of Indoor Air, 1993(3); 276—282
- 70 Wolkoff P, et al. Comparison of VOCs from processed paper and tones from office copies and printers. J of Indoor Air, 1993(3); 113—123
- 71 Lin Y H, et al. Determination of polynuclear aromatic hydrocarbons in air. Proc Indoor Air '93, 1993, 3; 339—344
- 72 Losurdo A, et al. Determination of VOCs in air. Proc Indoor Air '93, 1993, 2; 269—274
- 73 Norback D, et al. Exposure to MVOC during indoor application of water-based paints. J of Indoor Air, 1995(5); 166—170
- 74 Nagda N L, et al. Small chamber and research-house testing of tile adhesive emissions. J of Indoor Air, 1995(5); 189—195
- 75 Molhave L. Evaluation of VOC emissions from material and products solid flooring materials. Proc Healthy Buildings '95, 1995; 145—162
- 76 Li Y. Determination of VOCs in residential buildings. Proc Indoor Air '96, 1996, 3; 601—606
- 77 Salthammer T. Emissions of VOCs from furniture coatings. J of Indoor Air, 1997(7); 189—197
- 78 Knudsen H N, et al. Sensory characterization of emissions from materials. J of Indoor Air, 1997(7); 107—115
- 79 Horn W, et al. VOC emissions from cork products for indoor use. J of Indoor Air, 1998(8); 39—46
- 80 Knudsen H N, et al. Determination of exposure-response

- relationships for emissions from building products. J of Indoor Air, 1998(8): 246—275
- 81 Jørgensen R B, et al. The influence on IAQ of adsorption and desorption of organic compounds on materials. Proc Indoor Air '93, 1993, 2: 383—388
- 82 Bayer C W. An investigation into the effect of "building bake-out" conditions on building materials and furnishings. Proc Indoor Air '90, 1990, 3: 581—586
- 83 Hicks J, et al. Building bake-out during commissions; effects on VOC concentrations. Proc Indoor Air '90, 1990, 3: 413—418.
- 84 Wolkoff P. Characterization of emission from building products; long-term chemical evaluation. Proc Indoor Air '96, 1996, 1: 579—584
- 85 Bluyssen P M, et al. The effect of temperature on the chemical and sensory emission of indoor materials. Proc Indoor Air '96, 1996, 3: 619—624
- 86 Girman J, et al. Bake-out of an office building, a case study. Environmental International, 1989, 15: 449—452
- 87 Hirvonen A, et al. Thermal desorption of organic compounds associated with settled household dust. J of Indoor Air, 1994(4): 225—264
- 88 Haghighat F, et al. The impact of ventilation rate and partition layout on the VOC emission rate; time-dependent contaminant removal. J of Indoor Air, 1994(4): 267—283
- 89 Hung C K, et al. Humidity effects on GC/MS analysis of VOCs on indoor air. Proc Indoor Air '96, 1996, 3: 315—320
- 90 Clausen P A. Emission of volatile and SVOCs from Waterborne paints—the effects of the film thickness. J of Indoor Air, 1993(3): 269—275
- 91 Chang J C S. Substrate effects on VOC emission from a latex paint. J of Indoor Air, 1997(7): 241—247
- 92 Eckerbom G, et al. Variation in volatile organic compounds and radon in buildings caused by change in barometric pressure. Proc Indoor Air '96, 1996, 3: 563—566
- 93 Gunnarsen L. The influence of area-specific ventilation rate on the emissions from construction products. J of Indoor Air, 1997(7): 116—120

· 会讯 ·

2001 年全国热泵和空调技术交流会

中国建筑学会暖通空调专业委员会和中国制冷学会第五专业委员会联合主办的 2001 年全国热泵和空调技术交流会于 2001 年 10 月 28 日至 10 月 30 日在浙江省宁波市举行。来自全国 18 个省市自治区的 204 名代表出席了会议。本届空调专题会应征论文 84 篇, 汇集成论文集, 超过了往届空调专题会。另外全国暖通学会空调学组与开利公司联合主编了《热泵文摘》, 收集了近年来分别刊登在各类杂志、论文集中有关空气源热泵、水环热泵、地下水地表水水源热泵、土壤源热泵以及其他类型热泵的论文共 366 篇, 作了详细摘要。同时将部分大会报告印成大会报告集。大会还散发了《现代空调》第 3 辑(空调热泵设计方法专辑)。这些资料深受代表们的欢迎。

第一天在开幕式后进行大会报告, 清华大学彦启森教授作了《地下水源热泵》报告, 提出了地下水源热泵的经济性、特点、地下水资源利用、水源热泵机组等问题。哈尔滨工业大学马良教授作了《水环热泵空调系统在我国应用中应注意的几个问题》报告, 提出了合理选择水环热泵应用场所、引入外部低温热源、采用混合系统、水环热泵系统设计等问题。南京师范大学动力学院黄虎博士作了《风冷热泵冷热水机组的使用与性能改进》报告, 提出了风冷热泵的使用和性能改进问题。美国美意公司吴展豪先生作了《地源热泵》报告, 提出了土壤热泵各种环路形式、优越性、设计步骤、介绍了国外的一些工程实例。合肥通用机械研究所任金禄高工作了空气源热泵标准的报告, 提出了户用空调机组标准中的一些重点问题。空调所郎四维所长作了《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》报告, 介绍了节能设计指标, 供暖空调能耗应节约 50%, 介绍了基础能耗值、规定性指标与性能性指标、动态模拟方法的应用、系统节能设计、各种供暖空调方式的比较。吴元炜副理事长作了《变革

创新、与时俱进》的报告, 提出当前面临的形势是城市化、信息化、现代化, 面对能源结构变化与环保要求, 对我们专业目标提出了 16 字方针: “系统观念、集成方法、动态工作、长期保障”。同时提出了能源选用、工厂技术的使用、集成工作方法、系统战略的思路等问题。新世纪暖通专业在设计、生产、教学科研等方面都必须勇于变革、积极创新, 才能有所作为。

大会第二天分两个小组进行分组交流, A 组为空气源热泵组, B 组为水源热泵组, 两个组都介绍了各单位的一些研究成果、国外工程实例与经验。发言十分热烈, 交流了大量信息, 提高了认识。

大会第三天上午, 两个组组长作了小组技术交流总结报告, 使代表们能了解两个小组交流的概况。最后举行了闭幕式, 李志浩教授致闭幕词, 总结了大会概况。吴元炜副理事长作了讲话。代表们十分重视会议交流, 参加闭幕式十分踊跃。下午参观河姆渡古迹和宁波帅康集团空调设备公司。

这次会议准备工作充分, 动员大家把热泵的科研成果、使用经验总结出来进行交流。论文集汇集了各地的研究成果, 论文集的许多文章, 大家认为还是比较有水平的, 说明大家在热泵的各个领域作了许多深入研究和工程实践工作。《热泵文摘》起到了索引作用, 便于大家更好地吸取这几年热泵的发展经验。大会报告和小组交流也是作了认真深入的准备, 使代表们对热泵技术发展近况有一个深入全面的了解。虽然才两天半时间, 但代表们觉得收获不小。这次会议得到了 13 家企业的大力支持。会议的会务工作由浙江省暖通制冷两委会、浙江省建筑设计院承担, 特别是省院赵桐年院长、徐伟民高工作了很大努力, 为会议作出了贡献。

(李志浩)