

室内装饰装修材料和家具 VOC 释放标识体系述评

刘巍巍^①, 张寅平^{①*}, 姚远^①, 李景广^②

^① 清华大学建筑技术科学系, 北京 100084;

^② 上海市建筑科学研究院(集团)有限公司, 上海 201108

* 联系人, E-mail: zhangyp@mail.tsinghua.edu.cn

2012-01-06 收稿, 2012-03-01 接受

北京市科技计划(D09050603750802)和国家科技支撑计划(2012BAJ02B01)资助

摘要 室内装饰装修材料和家具释放的挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOC)是造成室内空气质量低劣的主要原因之一. 室内空气质量低劣已造成了严重经济损失, 为改善室内空气质量, 欧美发达国家已建立室内装饰装修材料和家具 VOC 释放标识体系, 并取得了良好效果. 本文综述了国际上已有标识体系, 介绍了标识基本原理, 并分别对标识体系的技术、政策和操作环节进行了探讨, 重点对技术环节中目标污染物及其阈值和样品测试方法进行了研究, 指出了发达国家典型标识体系中存在目标污染物种类过多、阈值制定方法的科学性还可商榷、样品测试时间过长等问题. 我国作为世界第一大人造板、涂料和家具生产国, 应学习国外建立标识体系的经验, 但不能完全照搬, 应探索符合我国国情的室内装饰装修材料和家具 VOC 释放标识体系.

关键词

室内空气质量(IAQ)

VOC

甲醛

散发

标识

装饰装修材料

家具

室内装饰装修材料和家具等释放的挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOC)是室内空气污染的主要来源, 在刚装修建筑内甲醛和多种 VOC 浓度很高^[1-5], 尤其我国大陆室内 VOC 浓度明显高于境外(图 1 和 2)^[6,7]. 由于室内空气污染能够引起病态建筑综合症(sick building syndrome, SBS)^[8,9]、建筑相关疾病(BRI)^[10]以及多种化学污染物过敏症(MCS)^[11], 从而造成了严重经济损失, 美国每年因室内空气质量问题造成的经济损失高达 400 亿美元^[12], 中国因同样原因造成的经济损失也高达 107 亿美元^[13].

解决室内空气质量问题有 3 种主要途径: 源头控制、通风和空气净化, 其中源头控制是最经济和环保的做法^[14]. 为了控制污染源, 世界上许多国家建立了低 VOC 释放标识体系(表 1)^[15-20]. 其中最早的产品环保标识德国蓝天使(Blue Angel)始于 1978 年(http://www.blauer-engel.de/en/blauer_engel/index.php), 目前该标识覆盖了 90 类 11500 种产品, 在环保和消费导向方面取得了巨大成功, 它的经历表明“一个标

识胜过千言万语”.

目前, 中国的人造板和涂料等室内装饰装修材料以及家具产量已跃居世界第一^[21-23], 装饰装修材料和家具作为室内主要污染源已引起关注. 为改善室内空气质量, 中国可借鉴和学习欧美建立家具标

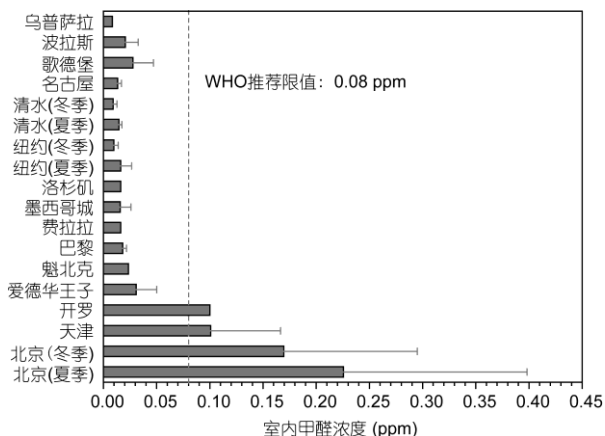


图 1 各城市家庭中甲醛浓度^[6]

表 1 各国污染物释放标识体系

地区	标识名称(发起时间)
欧洲	德国 Blue Angel(1978), GUT(1990), EMICODE(1997), AgBB(2000), Natureplus(2002)
	法国 NF Environment(1991), CESAT(2003), AFSSET(2004)
	瑞典 Good Environmental Choice(1992), TCO(1992)
	北欧 Swan(1989) 奥地利 Umweltzeichen(1990) 欧盟 EU Flower(1992) 荷兰 Milieukeur(1992)
	捷克 Environmentally Friendly Products(1993) 克罗地亚 Environmental Friendly (1993)
	西班牙 Aenor(1993) 丹麦 ICL(1994) 匈牙利 Environmentally Friendly(1994) 芬兰 M1(1995)
	斯洛伐克 Environmental Friendly Product(1996) 波兰 Eco Mark(1998) 葡萄牙 LQAI(2000)
美洲	美国 Green Seal(1989), CRI Green Label Plus(1992), LEED(2000), Section 01350(2001)
	Greenguard(2001), CHPS(2002), SCS Indoor Advantage(2004), BIFMA(2005), Floorscore(2005), CARB(2008), Indoor airPLUS(2009)
	加拿大 Environmental Choice(1988) 巴西 Environmental Quality(1993)
大洋洲	澳大利亚 Environmental Choice(1991) 新西兰 Environmental Choice(1992)
亚洲	中国台湾 Green Mark(1992) 中国香港 Eco-label(1995) , Green Label(2000)
	日本 Eco Mark(1989) 印度 Ecomark(1991) 韩国 Eco-label(1992)
	新加坡 Green Label(1992) 以色列 Green Label(1993) 泰国 Green Label(1993)
	马来西亚 Eco-label(1996) 菲律宾 Green Choice(2001)

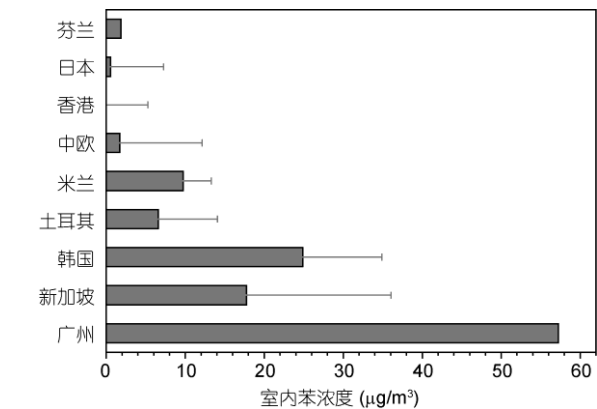


图 2 一些国家或地区室内苯浓度

识制度的经验,但不能照搬,须充分考虑中国国情特点. 藉此,本文对国际上已有标识体系进行了述评,以期达到如下目的: (1) 弄清开展标识需要做什么以及怎么做; (2) 结合中国国情,指出国外的哪些做法对中国不适合,为在中国建立室内装饰装修材料和家具 VOC 释放标识体系提供参考.

1 标识原理简介

产品标识,就是声明产品质量达到了特定标准要求. 建立室内装饰装修材料和家具 VOC 释放标识体系的首要任务是确定目标污染物,即选定标识应当关注哪些污染物. 不同标识体系关注的目标污染物种类差别很大,少则几种,多则上百种. 接下来便

是制定目标污染物阈值,阈值是目标污染物不能超过的限量值. 阈值的形式也有不同,有些标识考察的是特定面积承载率的样品散发的污染物浓度,有些标识考察的则是样品单位可散发面积的散发速率. 样品测试结果可与阈值进行比较从而判断其能否达标. 有了目标污染物及其阈值,接下来是确定测试方法,即采用何种方法来获得样品 VOC 散发结果. 国际上已有标识普遍采用环境舱法(图 3),其测试原理为: 将样品置于温湿度恒定的环境舱中,以恒定通风量向环境舱送入洁净空气,洁净空气与样品释放的 VOC 混合后从排风口排出,可在排风口处检测 VOC 浓度.

当舱内空气混合均匀、舱内除额定送风外无其他空气交换、舱内无化学反应、送风为洁净空气、舱壁

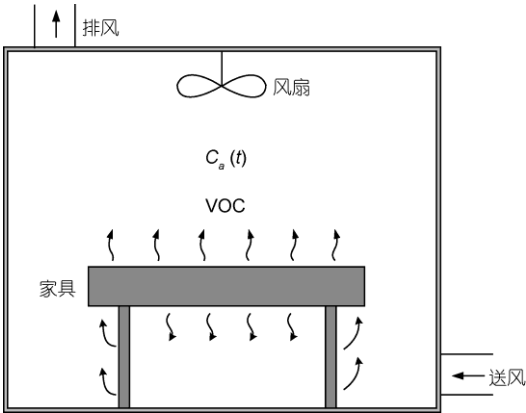


图 3 环境舱测试示意图

VOC 吸附量可忽略时, 舱内 VOC 的质量平衡方程为

$$V \frac{dC_a}{dt} = EA - QC_a, \quad (1)$$

其中, V 是环境舱体积(m^3), t 是测试进行的时间(h), C_a 是舱内 VOC 浓度(mg/m^3), E 是样品单位散发面积的散发速率($\text{mg}/(\text{m}^2 \text{h})$), A 是样品散发面积(m^2), Q 是洁净空气流量(m^3/h).

在稳态或样品散发速率随时间变化很小情况下, 样品单位散发面积的散发速率可由下式计算

$$E \approx \frac{Q}{A} C_a. \quad (2)$$

一些标识体系在获得样品散发速率 E 后, 利用(3)式计算标准房间中污染物浓度 C_s , 以 C_s 作为标识依据.

$$C_s = \frac{A_s E}{Q_s}, \quad (3)$$

其中, C_s 是标准房间中 VOC 浓度(mg/m^3), A_s 是标准房间中被测样品散发面积(m^2), E 是样品单位散发面积的散发速率($\text{mg}/(\text{m}^2 \text{h})$), Q_s 为标准房间通风量(m^3/h).

2 标识体系组成部分

依据标识基本原理, 许多国家建立了室内装饰装修材料和家具 VOC 释放标识体系, 其共性特征为包括 3 个组成部分: 技术、操作和政策环节, 图 4 展示了各环节的具体内容和相互关系. 以下将根据图 4 所述要点对发达国家典型标识体系开展研究.

2.1 技术环节

(i) 目标污染物. 建立标识首先必须确定目标污染物, 目标污染物为标识体系中规定需检测的有害物质. 已有标识体系中的目标污染物大致可分为两类: 致癌物质和 VOC(包括 TVOC 和醛类).

国际上不同组织对致癌物质进行过分类, 例如

欧盟(EU)和国际癌症研究所(IARC), 他们将致癌物质分成多组以表达其对人体潜在的不同危害程度. 欧盟将致癌物质分成了 3 个等级^[24]: 1 级致癌物表示其对人体致癌作用非常确定, 2 级致癌物表示应被视为人体致癌物, 3 级致癌物表示对人体可能有致癌作用. 欧洲标识体系均采用欧盟的分类方法. 在德国 AgBB^[25]标识中, 要求测试欧盟指令 67/548/EEC 中指定的 1 级和 2 级致癌物, 蓝天使^[26]和 EMICODE^[27]标识中也对致癌物的阈值有规定. 美国标识体系则没有对致癌物质进行明确归类要求.

在欧洲标识体系中, 引起注意的最小浓度 (lowest concentration of interest, LCI) 为最常使用的指标, 它是建材 VOC 释放健康评估的专用值^[25]. LCI 源自有关机构关注和评估过的 VOC. 最早的 LCI 列表由 ECA 报告^[24]给出, 其中列出了 163 种 VOC. 德国 AgBB^[25]和法国 AFSSET^[28]对其进行了一定程度的修改, 并形成了各自的 LCI 列表, 其中 AgBB 包含 170 种 VOC, AFSSET 包含 164 种 VOC. 蓝天使和 GUT 均采用了 AgBB 的 LCI. 丹麦 ICL^[29]并没有明确规定目标污染物, 标识关注气味和刺激性超标的 VOC, 芬兰 MI^[30]标识只规定了 TVOC、甲醛、氨和致癌物质, 并没有对其他单种 VOC 进行限制. 在美国标识体系中, 长期暴露参考水平(chronic reference exposure levels, CREL)被广泛采用, 它由加州环保局环境卫生危害评估办公室(Cal/EPA OEHHHA)提出. CREL 是一般人群包括敏感性个体长期暴露(10 年以上)而不产生严重不良反应的吸入浓度, 其中不包括致癌作用. 在加州 Section 01350^[31]中, 采纳了环境卫生危害评估办公室新发布的 CREL, 其中包括 35 种 VOC(含甲醛). SCS^[32]直接引用加州 Section 01350 作为标识依据. GREENGUARD^[33]除了引用加州 Section 01350 中的 CREL 以外, 还使用了工业场所阈值(threshold limit value, TLV), 其中共覆盖 355 种 VOC.

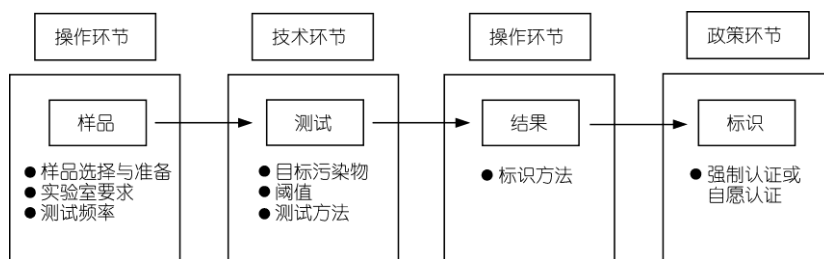


图 4 标识体系框架

美国办公家具协会(BIFMA)^[34]针对家具及座椅规定了TVOC、甲醛、醛类总和以及4-苯基环己烯,该要求引自美国绿色建筑协会(USGBC)的绿色建筑商业室内分级系统LEED^[35]. 综上可知,大部分标识涵盖了上百种目标污染物,如AgBB, AFSSET、蓝天使和GREENGUARD,这对于我国而言,污染物要求种类过多. 我国对于室内空气品质的关注仍处于初级阶段,原材料和生产工艺差异可能导致装饰装修材料和家具VOC散发状况不同,因此我国装饰装修材料和家具VOC散发状况可能与欧美不同,应根据市场上装饰装修材料和家具的散发状况来选定需要关注的目标污染物,即需要对市场上销售的装饰装修材料及家具能够散发哪些VOC进行测试,通过大量测试统计其散发的主要污染物,据此建立目标污染物.

另外一个很重要的概念是TVOC (total volatile organic compounds, TVOC), 此概念在学术界存在一定争议. ISO 16000-6^[36]对TVOC的定义为Tenax TA管采集的出峰时间在正己烷到正十六烷之间的挥发性有机化合物总和. 一些研究者^[37]认为不能将TVOC作为健康危害和室内舒适的评价标准,因为在相同的TVOC浓度下,如果污染物成分不同则其对健康的影响可能相差很大,因此还没有足够的科学依据来建立TVOC阈值. TVOC可作为感官刺激评价指标^[38]. 另外一些研究者^[39,40]认为尽管TVOC用来描述室内空气中存在的VOC很笼统,但它仍可有效用于材料测试和作为通风设计的评价指标. 除了丹麦ICL以外,欧洲其他标识体系仍在使用TVOC. 在美国,加州Section 01350不包含TVOC,但BIFMA, LEED和GREENGUARD等标识中包含TVOC.

(ii) 阈值. 阈值是VOC释放结果不能超过的限量值,目标污染物测试结果应与阈值进行比较,从而判断被测样品是否满足要求. 少数标识的阈值以样品单位面积散发速率的形式给出,例如芬兰M1、葡萄牙LQAI和奥地利Umweltzeichen^[15]. 大部分标识规定的是样品散发的污染物浓度,图5和图6分别展示了不同标识体系中甲醛和TVOC的阈值^[15,33,34],可以看出阈值之间的差异很大.

造成此现象的第一个原因是对测试时间的要求不同,图5中甲醛的考核时间有第1天、第3天、第7天和第28天;第二个原因是测试对象不同, GUT标识仅针对地毯类产品, AgBB, CESAT, Natureplus, LQAI和Blue Angel针对多种建材和室内用品,

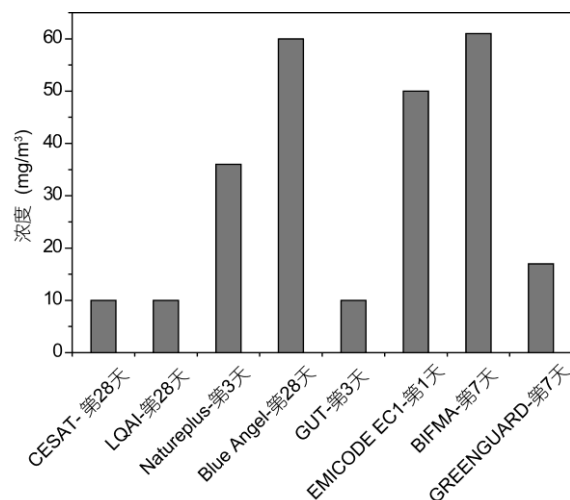


图5 各标识体系甲醛浓度阈值比较

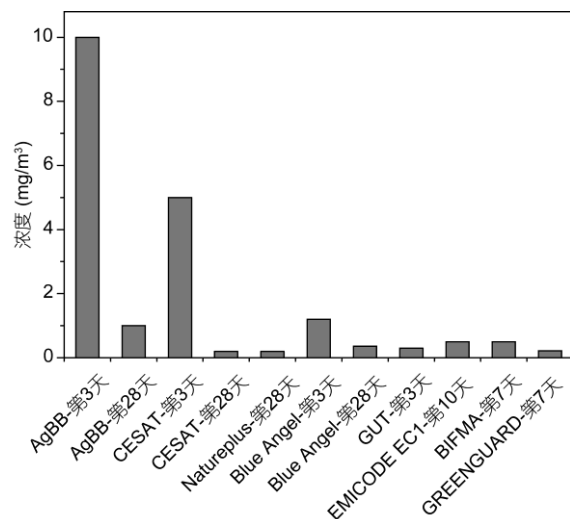


图6 各标识体系TVOC浓度阈值比较

BIFMA仅针对办公家具, GREENGUARD针对办公家具和儿童、学校用室内材料和物品; 原因三, 不同标识采用的VOC风险评估数据库不同并且各自进行过个性化处理, 以AgBB标识中的LCI值为例^[25], LCI值源自工作场所职业暴露限值(occupational exposure limit values, OELVs)和欧盟指令(Directive 67/548/EEC)中的3级致癌物质阈值, 因为要考虑一般人群的各种暴露时间和各种敏感程度, 相关OELVs通常除以100作为安全系数(欧盟3级致癌物质除以1000), 为评价污染物*i*, 定义比值 R_i 如下

$$R_i = C_i / LCI_i, \quad (4)$$

其中, C_i 是环境舱测试的污染物*i*的浓度, LCI_i 为污染物*i*的引起注意的最小浓度.

标识要求目标污染物的 R_i 值之和 R 不大于 1.

$$R = \sum R_i \leq 1. \quad (5)$$

AFSSET 标识的 LCI 与 AgBB 类似, 但 AFSSET 中的一些目标污染物选择了不同标准的阈值并使用了不同的安全系数, 因此 AFSSET 中 LCI 值与 AgBB 不同. 在美国, 加州 Section 01350 选择使用 CREL 值的 1/2 作为阈值. 至于 AgBB 为何使用安全系数 100 或 1000, 加州 Section 01350 为何使用安全系数 1/2, 标识并没有给出科学依据. 图 7 展示了 AgBB 的 LCI 值, AFSSET 的 LCI 值和加州 Section 01350 文件中 CREL 值的 1/2 之间存在的巨大差别. 另外, 加州 Section 01350 中甲醛的阈值浓度为 $16.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 并将于 2012 年改为 $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 我国室内空气质量标准 GB/T 18883-2002^[41] 中甲醛阈值为 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 可见加州标准对于我国来说过于严格. 一些标识需依据式 (3) 计算标准房间浓度, 然后与阈值作比较. 丹麦 ICL 定义了标准房间 (表 2), 该标准房间在 ISO 16000-9^[42] 和芬兰 M1 标识中得到了应用. 美国标识体系也建立了标准房间^[43,44] (表 2), 包括办公室、教室和家庭房间. 综上所述, 欧美标识目标污染物阈值之间存在差异, 阈值制定的普遍做法为选择某个暴露评估阈值并乘以特定系数作为产品阈值, 而有些暴露评估值使用的是工业场所暴露阈值, 并且系数的选取没有科学依据, 因此科学性还可商榷. 我国在制定标识目标污染物阈值时, 应依据室内空气质量标准 GB/T 18883-2002, 即要保证在装饰装修材料和家具进入室内后室内空气质量达标. 由于室内 VOC 浓度与装

饰装修材料和家具的使用量有关, 因此需要对我国家庭室内装饰装修材料和家具使用量开展调查.

(iii) 客观测试. 在欧美标识体系中, 测试甲醛释放通常有两种方法: 含量测试和环境舱测试. 人造板因使用了大量的脲醛胶而成为甲醛散发源^[45]. 北欧天鹅(Swan)标识^[46]对于人造板甲醛含量的测试采用穿孔萃取法, 该法依据欧洲标准 EN 120^[47]. 穿孔萃取法是很原始的方法并且不科学, 因为穿孔萃取法测得的含量远大于样品在室温下的可散发含量, 而样品的可散发含量才是我们应该关心的参数^[48,49]. 我国密度板和刨花板甲醛含量测试也同样在使用穿孔萃取法^[50,51], 应该进行方法改进. 环境舱法已成为标识体系使用的主流方法, 它能提供真实的散发数据用于评估样品对室内空气品质的影响. 环境舱测

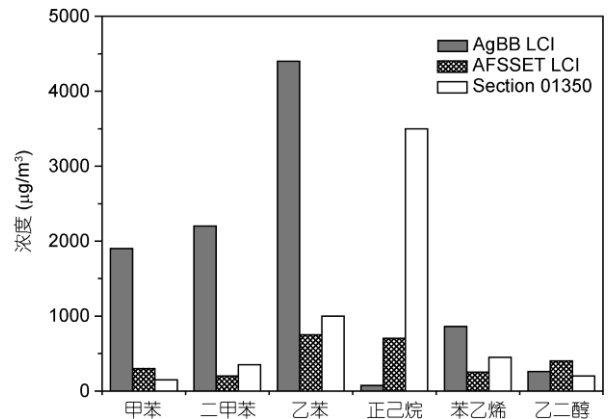


图 7 AgBB LCI, AFSSET LCI 和 Section 01350 中部分污染物浓度阈值比较

表 2 欧美标准房间参数

参数	ICL ^[29]	加州 CA 01350 文件 ^[31]			BIFMA ^[43]		GREENGUARD ^[33,44]			
		办公室	教室	家庭	单人办公室	开敞工位	办公室	教室	卧室	起居室/餐厅
房间体积(m^3)	17.42	30.6	231	547	65.2	16.3	32	231	32	213
换气次数(h^{-1})	0.5	0.68	0.82	0.23	0.53	0.92	0.72	0.9	0.45	0.45
地板/天花板	7	11.1	89.2	211/217	23.78	5.94	13.1	89.2	13.02	77.6
墙面	24	33.4	94.6	562	-	-	28.1	94.6	-	-
门	2	1.89	1.89	7.56/37.2/44.6 ^{a)}	-	-	1.89	1.89	-	-
窗	0.2 ^{b)}	1.49	4.46	38	-	-	4.1	4.46	-	-
面积(m^2)										
墙座	-	1.27	9.68	-	-	-	2.7	9.68	-	-
家具	-	-	c)	-	24.92	21.76	d)	e)	-	-
其他	0.2/4 ^{d)}	-	11.9 ^{g)}	779/284/343 ^{h)}	-	-	3.0 ^{g)} /5.5 ⁱ⁾	9.9 ^{g)} /39.1 ⁱ⁾	-	-

a) 外门/内门/壁橱门; b) 窗框; c) 桌椅 27 套; d) 置物架/书架/柜台台面 20 m^2 , 工作台面 3.2 m^2 , 办公家具 1 套; e) 学生桌椅 27 套, 老师桌椅 1 套, 置物架/书架/柜台台面 7.81 m^2 , 工作台面 12.3 m^2 ; f) 密封剂/固定设施; g) 演示板; h) 内墙板涂料/隔热材料/隔音材料; i) 空调管道

试有专门的标准, 美国标识体系一般参照美国材料与试验协会(ASTM)标准, 欧洲标识体系一般参照欧洲标准(EN)或国际标准(ISO), 表 3 总结了目前普遍采用的环境舱标准^[42,52~57].

环境舱测试法应指定空气样品采集分析系统. 试验需采集醛类和 VOC 样品, 并进行定性和定量分析. 各标识体系采用的方法基本相同, VOC 采用 Tenax 管采样, 然后热解析至气相色谱/质谱联用系统(GC/MS)进行定性和定量分析. 醛类采用 DNPH (2,4-二硝基苯肼) 管采样, 采用高效液相色谱(HPLC)-紫外检测仪分析, ISO 和 ASTM 均有具体分析方法标准, ISO 16000-6^[36]和 ASTM D6196^[58]为 VOC 分析方法标准, ISO 16000-3^[59]和 ASTM D5197^[60]为醛类分析方法标准.

用于 VOC 释放测试的环境舱需满足相应的性能要求. 为了评价环境舱的整体测试性能, Zhang 等人^[61]研制了标准散发样品, 它的散发速率可独立于环境舱测试法单独测定, 具体做法为将液态 VOC 注入无盖的培养皿中, 将培养皿置于环境舱中, 通过电子天平监测其由 VOC 挥发所致质量损失来获得散发速率, 即为标准散发速率, 该标准散发速率可用于评价环境舱测试结果. ASTM D6670^[56]采纳了此法, 并规定环境舱测试相对误差 δ 应在 $\pm 15\%$ 之间, δ 由下式计算

$$\delta = \frac{R}{R_r} - 1, \tag{6}$$

其中, R 为根据环境舱测试浓度得到的散发速率, R_r 为由电子天平监测得到的散发速率.

然而该法还有一些不足, 由于培养皿在测试过程中是敞开的, 因此周围气流扰动会对 VOC 挥发速率产生影响, 从而导致散发速率不稳定^[62]. Cox 等

人^[63,64]通过将甲苯溶入聚 4-甲基-1-戊烯(PMP)基材而制得了新的标准散发样品, 并将环境舱测试结果与散发模型进行了比对. 然而该方法模型本身的不确定性导致标准散发样品产生的误差难以估计, 另外, PMP 基材的散发速率是随时间变化的, 不适合于长时间测试^[62].

不同标识体系测试时间进程也不同(图 8), 欧洲标识体系的测试周期大都为 28 天, 在这 28 天期间, 安排在第 1 天、第 3 天、第 10 天或第 28 天进行采样. 美国标识体系测试周期通常为 7 天或 14 天. 可见已有标识体系测试周期均较长(7 天或 28 天). 欧洲标识普遍以环境舱标准 EN 13419-1(已被 EN ISO 16000-9 取代)为基础^[15], 该标准中规定测试周期为 28 天, 以至于欧洲标识测试周期大都为 28 天. 而 EN 13419-1 标准为何选定 28 天, 标准中并无解释. 美国 BIFMA 对测试时间安排作出了解释, 文献[65]中指出家具从完成安装到最终使用最快要 16 天, 因此推荐测试周期为 14 天, 然而通过对家具散发特性和以往数据进行分析发现 7 天测试数据能够预测第 14 天结果, 故将测试周期定为 7 天. 7~28 天的测试时间对于我国来说过长, 带来的高成本问题将会增加企业的经济负担, 进而影响标识推广.

为将测试周期缩短为 7 天, BIFMA 标识^[65]提出了使用幂函数模型进行预测的方法, 通过第 3 天和第 7 天的测试结果, 使用如下模型预测第 14 天的散发速率

$$E = at^{-b}, \tag{7}$$

其中, E 是样品在 t 时刻的散发速率, 系数 a 和 b 由下式计算

$$b = \frac{\ln E_1 - \ln E_2}{\ln t_2 - \ln t_1}, \tag{8}$$

表 3 环境舱测试标准

标准号	目标污染物	样品	环境舱体积(m ³)	温度(℃)	湿度(%)	换气次数(1/h)	承载率(m ² /m ³)
ISO 12460-1 ^[52]	甲醛	人造板	1	23	50	1	1
ISO 16000-9 ^[42]	甲醛和 VOC	建材或家具	-	23	50	a)	a)
EN 717-1 ^[53]	甲醛	人造板	0.225/1/≥12	23	45	1	1
ASTM E1333 ^[54]	甲醛	木制品	≥22	25	50	0.5	0.95/0.43/0.26
ASTM D6007 ^[55]	甲醛	木制品	0.02~1	25	50	b)	b)
ASTM D6670 ^[56]	甲醛和 VOC	室内材料/物品	c)	23 ^{d)}	50 ^{d)}	0.5 ^{d)}	-
ASTM D5116 ^[57]	甲醛和 VOC	室内材料/物品	≤5	e)	e)	e)	e)

a) ISO 16000-9 附录 B 中给出: 地板承载率 0.40, 墙体承载率 1.38, 密封材料承载率 0.011; b) 换气次数/承载率=0.526/1.173/1.905/3.846 m/h; c) 房间大小; d) 仅为其中之一例; e) ASTM D5116 中表 1 给出了一系列测试条件

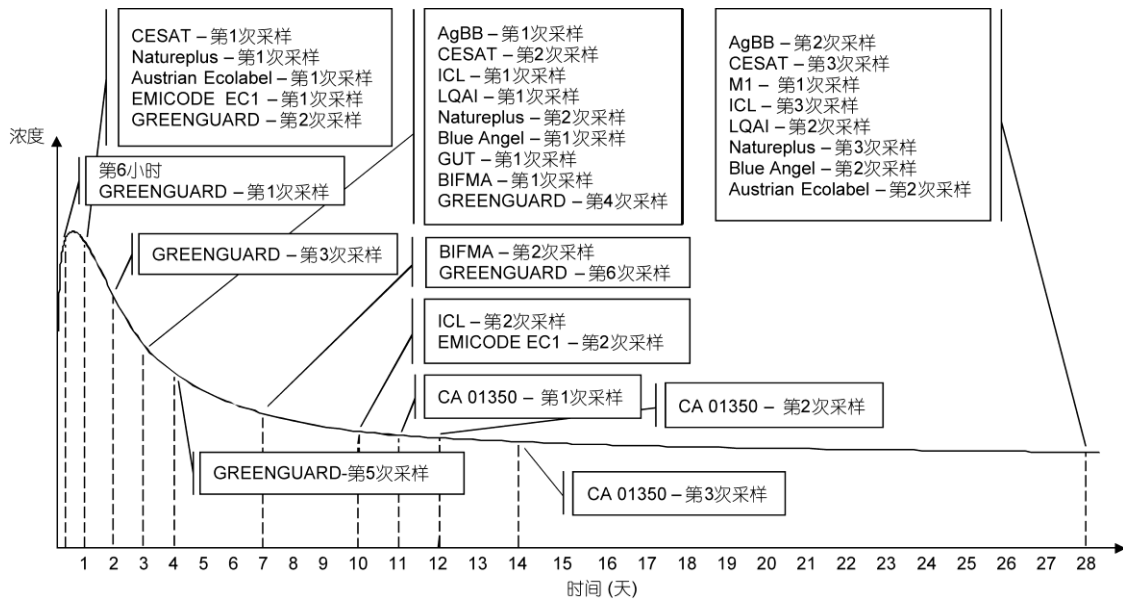


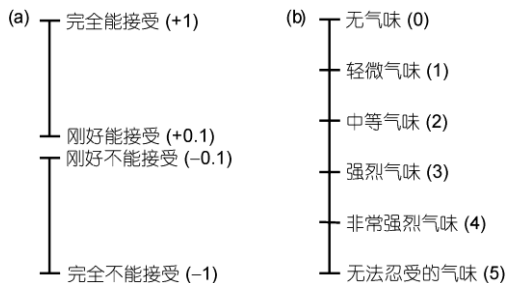
图 8 各标识测试时间安排

$$a = E_1 t_1^{-b} = E_2 t_2^{-b}, \quad (9)$$

其中, E_1 和 E_2 分别是对应于 t_1 和 t_2 时刻的散发速率。

但是, 该幂函数模型为经验模型, 标准中指出该模型仅用于预测第 14 天或更短时间内的散发速率, 可见经验模型的使用受到了一定的限制, 可否利用传质理论模型来达到实现缩短测试时间的目的是值得进一步研究的。

(iv) 主观测试. 某些 VOC 的存在可能会使人们呼吸时感受到异味, 从而影响空气质量^[66-69], 因此一些标识体系中规定了主观感知测试. 例如, 丹麦 ICL^[29]中规定, 将样本置于 CLIMPAQ^[70]中, 由嗅觉正常且未经训练人员通过鼻子感知被测样本散发的气味, 并对其可接受度和气味强度作出判断, 标记于图 9 中, 标准规定空气质量应满足可接受程度大于 0、气味强度小于 2, 其它标识如芬兰 M1 也规定了主观测试. 美国标识体系均无主观测试。

图 9 感知测试标记图^[29]

(a) 可接受度; (b) 气味强度

2.2 政策环节

各标识体系的法律地位不同, 大部分标识对于生产商来说都是自愿申请的, 市场需求是低 VOC 散发建材发展的主要驱动力. 这些自愿性标识当中, M1、ICL 和 Blue Angel 是政府推出的; Natureplus 是零售商推出的; BIFMA 是行业协会推出的; 还有一些是第三方认证机构推出的, 例如 SCS 和 GREENGUARD. 也存在少量强制性标识, 例如建材的 CE 标识在欧洲经济区是必需的, AgBB 标识对于地板材料也已发展为强制认证^[15], 美国加州空气资源委员会(CARB)关于人造板甲醛释放量认证已成为法规。

在中国产品认证有两种类型: 强制认证和自愿认证, 认证工作统一由国家认监委(CNCA)管理. 强制认证又叫 3C 认证或 CCC 认证. 目前 3C 认证已覆盖 273 类产品, 包括溶剂型木器涂料、瓷质砖、电插座、电风扇等 (http://www.xmciq.gov.cn/wsbs/jyjj/rzjg/3crz/201003/t20100315_30933.htm), 凡列入 3C 认证目录内产品, 没有获得认证, 一律不得进口、不得出厂销售和在经营服务场所使用. 其他室内装饰装修材料和家具产品能否开展强制认证, 尚需进一步研究。

2.3 操作环节

(i) 样品选择与准备. 被测样品应能代表典型

生产线生产的产品。如果测试结果用于代表整组产品或材料的质量,则应从整组产品中选择潜在 VOC 释放量最多的产品作为代表性样品,生产商应会同检测机构和认证机构一起通过预测试或其他分析来确定代表性样品^[65]。ISO 16000-11^[71]中给出了详细的取样、存储和备样程序。取样完毕样品应立即进行密封防潮处理以防止被污染、防止 VOC 释放。

(ii) 测试频率。如果产品的原料、生产过程和包装方式没有发生变化,则可以认为散发测试结果始终有效。如果其中某些环节发生了改变,则应对该因素对散发特性造成的影响进行评估,如果认为某环节改变可能导致产品释放结果增大,应进行新一轮测试^[65]。生产商或认证机构应建立实验室再次测试的时间安排,通常情况下再次测试的时间间隔为 1~2 年^[31]。

(iii) 实验室要求。实验室应遵照一定的质量管理体系开展工作^[31],实验室质量管理体系及其应用测试程序应参照 ISO/IEC 17025 开展^[72]。实验室 VOC 测试能力最好的证明是该实验室已通过标识测试方法验证或至少开展过实验室间比对测试。欧美多家实验室开展过规模较大的对比试验^[73,74],采用的测试样品为 PVC 地板、地毯、油漆和水性液态地板蜡。BIFMA 也组织过实验室间测试比对^[75],测试样品为椅子,测试依照 ANSI/BIFMA M7.1. VOC 标准散发样品在实验室间比对测试中也用到过^[76]。

(iv) 标识方法。产品标识有 3 种方法。第 1 种是“是/否”评价法,如果产品能够满足标识的各项要求,则该产品将被认为合格并得到标识,否则将得不到标识,大部分标识采用该法;第 2 种是分级标识法,例如,芬兰的建材共分 3 个等级: M1 级、M2 级和 M3 级, M1 级产品污染物释放速率最小, M3 级产品污染物释放速率最高^[77],分级标识将产品分为不同等

级从而满足不同环境的使用要求,因此更能方便用户根据自身情况选购产品;第 3 种方法为丹麦的 LCI 法,该法基于测试结果给出室内相关时间(indoor-relevant time-value),室内相关时间为产品释放的污染物能够达到室内空气质量标准所需要的时间^[78]。

3 结论

为改善室内空气品质,欧美发达国家建立了室内装饰装修材料和家具 VOC 释放标识体系并取得了显著成效。中国作为世界第一大人造板、涂料和家具生产国,应当借鉴和学习欧美建立标识体系的经验,但不能完全照搬,须充分考虑中国的国情特点。欧美的一些做法对中国并不合适,总结如下:

(1) 一些标识体系选取了上百种 VOC 作为目标污染物,对于我国而言,目标污染物种类过多。原材料和生产工艺差异会导致材料和物品散发状况不同,因此,欧美标识体系规定如此多的目标污染物未必适用于我国,我们应通过测试总结我国室内装饰装修材料和家具散发的目标污染物。

(2) 目标污染物阈值定值方法的科学性尚待商榷,一些标识采用工作场所职业暴露阈值并乘以特定系数作为标识阈值,系数的选取并无科学依据,我们在制定阈值时应同时考虑室内空气质量标准和室内装饰装修材料和家具的使用量。

(3) 样品测试时间长达 7~28 天,测试时间过长带来的高测试成本问题会增加企业的经济负担,不利于标识推广,可借助理论模型预测来达到缩短测试时间的目的。

(4) 将液态 VOC 注入培养皿制得的标准散发样品散发速率易受周围气流干扰,将甲苯溶于 PMP 基材制得的标准散发样品散发速率随时间变化,均不利于开展环境舱性能测定。

参考文献

- 1 Chan C S, Lee S C, Chan W, et al. Characterization of volatile organic compounds at hotels in southern China. *Indoor Built Environ*, 2011, 20: 420–420
- 2 Guo H, Kwok N H, Cheng H R, et al. Formaldehyde and volatile organic compounds in Hong Kong homes: Concentrations and impact factors. *Indoor Air*, 2009, 19: 206–217
- 3 Brown S K. Volatile organic pollutants in new and established buildings in Melbourne, Australia. *Indoor Air*, 2002, 12: 55–63
- 4 Yu C W F, Kim J T. Building pathology, investigation of sick buildings-VOC emissions. *Indoor Built Environ*, 2010, 19: 30–39
- 5 Lim S, Lee K, Seo S, et al. Impact of regulation on indoor volatile organic compounds in new unoccupied apartment in Korea. *Atmos Environ*, 2011, 45: 1994–2000

- 6 Zhang L P, Steinmaus C, Eastmond D A, et al. Formaldehyde exposure and leukemia: A new meta-analysis and potential mechanisms. *Mutat Res*, 2009, 681: 150–168
- 7 Adamkiewicz G, Choi H, Saborit J M D. WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. Technical Report, WHO regional office for Europe, Copenhagen, Denmark. 2010. 15–39
- 8 Reitzig M, Mohr S, Heinzow B, et al. VOC emissions after building renovations: Traditional and less common indoor air contaminants, potential sources, and reported health complaints. *Int J Indoor Air Qual Clim*, 1998, 8: 91–102
- 9 Brinke J T, Selvin S, Hodgson A T, et al. Development of new volatile organic compound (VOC) exposure metrics and their relationship to "sick building syndrome" symptoms. *Int J Indoor Air Qual Clim*, 1998, 8: 140–152
- 10 Dotgan C B, Dorgan C E, Kanarek M S, et al. Health and productivity benefits of improved indoor air quality. *ASHRAE Trans*, 1998, 104: 658–666
- 11 朱颖心, 张寅平, 李先庭, 等. 建筑环境学. 第2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005. 146–148
- 12 Haymore C, Odom R. Economic effects of poor IAQ. *EPA J*, 1993, 19: 28–29
- 13 张舵. 全球近一半人遭受室内空气污染. 人民日报, 2004-12-30
- 14 Spengler J D, Samet J M, McCarthy J F. *Indoor Air Quality Handbook*. New York: McGraw-Hill Companies Press, 2001
- 15 Kephelopoulous S, Koistinen K, Kotzias D. Report No.24-Harmonisation of Indoor Material Emissions Labelling Systems in the EU: Inventory of existing schemes. Technical Report, European Collaborative Action, European Commission. 2005
- 16 Müller B, Dahms A, Bitter F, et al. Material labelling: Combined material emission tests and sensory evaluations. In: Strøm-Tejse P, Olesen B W, Wargocki P, et al, eds. *Proceedings of the 11th international conference on indoor air quality and climate*, 2008 Aug 17–22, Copenhagen. Denmark: Technical University of Denmark, 2008. 1066
- 17 Neuhaus T, Oppl R. Comparison of emission specifications in the US and in Europe. In: Strøm-Tejse P, Olesen B W, Wargocki P, et al, eds. *Proceedings of the 11th international conference on indoor air quality and climate*, 2008 Aug 17–22, Copenhagen. Denmark: Technical University of Denmark, 2008. 954
- 18 Crump D, Däumling C, Winther-Funch L, et al. Report No.27-Harmonisation framework for indoor material labelling schemes in the EU. Technical Report, European Collaborative Action, European Commission. 2010
- 19 姚远. 家具化学污染物释放标识若干关键问题研究. 博士学位论文. 北京: 清华大学, 2011
- 20 Wolkoff P. Trends in Europe to reduce the indoor air pollution of VOCs. *Indoor Air*, 2003, 13: 5–11
- 21 康勇军, 王莹莹, 迟诚. 我国人造板总产量稳居世界第一. 中国绿色时报, 2008-12-30
- 22 张红. 我国涂料产量首次位居世界第一. 中国建材报, 2010-4-8
- 23 Pelizzari S, Finzi U. *World Furniture Outlook 2009/2010*. Technical Report, Centre for Industrial Studies, Milano, Italy. 2010
- 24 Bluysen P, Cochet C, Fischer M, et al. Report No.18-Evaluation of VOC emissions from building products-Solid flooring materials. Technical Report, European Collaborative Action, European Commission. 1997
- 25 German Committee for Health-related Evaluation of Building Products (AgBB). A contribution to the construction products directive: Health-related evaluation procedure for volatile organic compounds emissions (VOC and SVOC) from building products. 2010
- 26 RAL German Institute for Quality Assurance and Certification. RAL-UZ 38, Low-emission wood products and wood-base products. 2002
- 27 German Association for the Control of Emissions in Products for Flooring Installation (GEV). GEV-Testing method-Determination of volatile organic compounds for control of emissions from products for flooring installation. 2004
- 28 French Agency for Environmental and Occupational Health Safety (AFSSET). Procédure de qualification des émissions de composés organiques volatils par les matériaux de construction et produits de décoration (in French), 2009
- 29 Danish Society of Indoor Climate. Standard test method for determination of the indoor-relevant time-value by chemical analysis and sensory evaluation. 2003
- 30 The Building Information Foundation RTS, Finland. Emission classification of building materials: Protocol for chemical and sensory testing of building materials. 2004
- 31 California Department of Public Health. Standard method for the testing and evaluation of volatile organic chemical emissions from indoor sources using environmental chamber. 2010
- 32 Scientific Certification Systems (SCS), US. Environmental certification program-Indoor air quality performance. 2007
- 33 GREENGUARD Environmental Institute, US. GGTM.P066, Standard method for measuring and evaluating chemical emissions from building materials, finishes and furnishings using dynamic environmental chambers. 2007
- 34 American National Standards Institute (ANSI). ANSI/BIFMA X7.1, Standard for formaldehyde and TVOC emissions of low-emitting office furniture systems and seating. 2007
- 35 U.S. Green Building Council (USGBC). Green building rating system for commercial interiors. 2005

- 36 International Organization for Standardization (ISO). ISO 16000-6, Indoor air-Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID. 2004
- 37 Andersson K, Bakke J V, Bjorseth O, et al. TVOC and health in non-industrial indoor environments—Report from a Nordic scientific consensus meeting at Langholmen in Stockholm, 1996. *Indoor Air*, 1997, 7: 78–91
- 38 Molhave L. Organic compounds as indicators of air pollution. *Indoor Air*, 2003, 13: 12–19
- 39 Berglund B, Clausen G, Ceaurriz J D, et al. Report No.19-Total volatile organic compounds (TVOC) in indoor air quality investigations. Technical Report, European Collaborative Action, European Commission. 1997
- 40 Molhave L, Clausen G, Berglund B, et al. Total volatile organic compounds (TVOC) in indoor air quality investigations. *Int J Indoor Air Qual Clim*, 1997, 7: 225–240
- 41 国家质量监督检验检疫总局, 卫生部, 国家环境保护总局. GB/T 18883-2002, 室内空气质量标准. 2002
- 42 International Organization for Standardization (ISO). ISO 16000-9, Indoor air-Part 9: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing-Emission test chamber method. 2006
- 43 Carter R D, Zhang J S. Definition of standard office environments for evaluating the impact of office furniture emissions on indoor VOC concentrations. *ASHRAE Trans*, 2007, 113: 466–477
- 44 GREENGUARD Environmental Institute, U.S.. GGPS.001, GREENGUARD indoor air quality standard for building materials, finishes and furnishings. 2010
- 45 He Z K, Wei W J, Zhang Y P. Formaldehyde and VOC emissions at different manufacturing stages of wood-based panels. *Build Environ*, 2012, 47: 197–204
- 46 Nordic Ecolabelling Board. Swan labelling of panels for the building, decorating and furniture industry, version 4.4. 2010
- 47 European Committee for Standardization (CEN). EN 120, Wood-based panels-Determination of formaldehyde content-Extraction method called perforator method. 1992
- 48 Wang X K, Zhang Y P. A new method for determining the initial mobile formaldehyde concentrations, partition coefficients, and diffusion coefficients of dry building materials. *J Air Waste Manage Assoc*, 2009, 59: 819–825
- 49 Xiong J, Zhang Y. Impact of temperature on the initial emittable concentration of formaldehyde in building materials: Experimental observation. *Indoor Air*, 2010, 20: 523–529
- 50 国家质量技术监督局. GB/T 17657-1999, 人造板及饰面人造板理化性能试验方法. 1999
- 51 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 18580-2001, 室内装饰装修材料 人造板及其制品中甲醛释放限量. 2001
- 52 International Organization for Standardization (ISO). ISO 12460-1, Wood-based panels-Determination of formaldehyde release-Part 1: Formaldehyde emission by the 1-cubic-metre chamber method. 2007
- 53 European Committee for Standardization (CEN). EN 717-1, Wood-based panels-Determination of formaldehyde release-Part 1: Formaldehyde emission by the chamber method. 2004
- 54 American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM E1333, Standard test method for determining formaldehyde concentrations in air and emission rates from wood products using a large chamber. 2002
- 55 American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM D6007, Standard test method for determining formaldehyde concentration in air from wood products using a small scale chamber. 2002
- 56 American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM D6670, Standard practice for full-scale chamber determination of volatile organic emissions from indoor materials/products. 2007
- 57 American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM D5116, Standard guide for small-scale environmental chamber determinations of organic emissions from indoor materials/products. 1997
- 58 American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM D6196, Standard practice for selection of sorbents, sampling, and thermal desorption analysis procedures for volatile organic compounds in air. 2003
- 59 International Organization for Standardization (ISO). ISO 16000-3, Indoor air-Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds-Active sampling method. 2001
- 60 American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM D5197, Test method for determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in air (active sampler methodology). 2003
- 61 Zhang J S, Nong G, Mason M, et al. Assessing the performance of full-scale environmental chambers using an independently measured emission source. In: Raw G, Claire A, Peter W, eds. *The 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, 1999 Aug 8–13, Edinburgh. London: Construction Research Communications Ltd, 1999. 5081–5086
- 62 Wei W J, Zhang Y P, Xiong J Y, et al. A standard reference for chamber testing of material VOC emissions: Design principle and performance. *Atmos Environ*, 2012, 47: 381–388

- 63 Cox S, Little J, Marand E. Developing a standard reference VOC emissions source. In: Strøm-Tejsen P, Olesen B W, Wargocki P, et al, eds. *Proceedings of the 11th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Denmark: Technical University of Denmark, 2008. 611
- 64 Cox S S, Liu Z, Little J C, et al. Diffusion-controlled reference material for VOC emissions testing: Proof of concept. *Indoor Air*, 2010, 20: 424–433
- 65 American National Standards Institute (ANSI). ANSI/BIFMA M7.1, Standard test method for determining VOC emissions from office furniture systems, components and seating. 2007
- 66 Bluysen P M, Fernandes E D, Groes L, et al. European indoor air quality audit project in 56 office buildings. *Int J Indoor Air Qual Clim*, 1996, 6: 221–238
- 67 Nielsen G D, Hansen L F, Wolkoff P. Chemical and biological evaluation of building material emissions .2. Approaches for setting indoor air standards or guidelines for chemicals. *Int J Indoor Air Qual Clim*, 1997, 7: 17–32
- 68 Knudsen H N, Kjaer U D, Nielsen P A, et al. Sensory and chemical characterization of VOC emissions from building products: Impact of concentration and air velocity. *Atmos Environ*, 1999, 33: 1217–1230
- 69 Berglund B, Bluysen P, Clausen G, et al. Report No.20-Sensory evaluation of indoor air quality. Technical Report, European Collaborative Action, European Commission. 1999
- 70 Gunnarsen L, Nielsen P, Wolkoff P. Design and characterization of the CLIMPAQ, chamber for laboratory investigations of materials, pollution and air quality. *Int J Indoor Air Qual Clim*, 1994, 4: 56–62
- 71 International Organization for Standardization (ISO). ISO 16000-11, Indoor air - Part 11: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing - Sampling, storage of samples and preparation of test specimens. 2006
- 72 International Organization for Standardization (ISO). ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. 2005
- 73 Bortoli M D, Kephelopoulou S, Kirchner S, et al. Report No.21-European inter-laboratory comparison on VOC emitted from building materials and products. Technical Report, European Collaborative Action, European Commission. 1999
- 74 Boroli M D, Colombo A. Report No.13-Determination of VOCs emitted from indoor materials and products-Interlaboratory comparison of small chamber measurements. Technical Report, European Collaborative Action, Commission of the European Communities. 1993
- 75 Zhang J, Mason M, Hodgson A, et al. An inter-laboratory comparison study of the ANSI/BIFMA standard test method M7.1 for furniture. In: Santanam S, Bogucz E A, Peters C, et al., eds. *Proceedings of the 9th International Healthy Buildings Conference and Exhibition*, 2009, Sep 13-17 Syracuse, NY, USA. Syracuse: Syracuse Center of Excellence in Environmental and Energy Systems, 2009. 799
- 76 Howard-Reed C, Liu Z, Benning J, et al. Diffusion-controlled reference material for volatile organic compound emissions testing: Pilot inter-laboratory study. *Build Environ*, 2011, 46: 1504–1511
- 77 Sariola L, Kukkonen E. Principles and new developments of the emission classification of building materials in Finland. In: Yang X, Zhao B, Zhao R, eds. *Proceedings of the 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. 3481–3485
- 78 Danish Society of Indoor Climate. General Labelling Criteria. 2004