室内空气采样及几种重要污染物的监测分析方法探讨

程 希, 羌 宁, 季学李
(同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 随着人们对室内空气质量重视程度的提高, 室内空气监测技术近年来也不断得到发展。采样是监测中最重要的环节, 采样时间、位置选择的正确与否直接影响测定的成功与否。采样目的是确定采样方案过程中的指导原则, 一个成功的采样应具备明确的目的性。氡、气溶胶、VOCs、甲醛是重要的室内污染物, 其采样和测定技术逐步走向成熟。

关 键 词:监测;采样;氡;气溶胶;VOCs;甲醛
中图分类号:X831 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-3644(2001)04-23-03

Indoor Air Sampling Strategies and the Measurement Technique of Some Important Indoor Air Pollutants

CHENG Xi, QIANG Ning, JI Xue-li
(*State Key Lab. of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai*, 200092, *China*)

Abstract: With the increasing regard about indoor air quality, the indoor air measurement technique is under developing. The most important step of measurement is sampling. The choice of sampling time and position influences the whole measurement. So a successful sampling should have a specific objective to determine the strategy. Radon, aerosols, VOCs, formaldehyde are important indoor air pollutants. Their sampling and detecting techniques are introduced.

Key words: Measurement; sampling; radon; aerosols; VOCs; formaldehyde

1 前 言

经济的高速发展使人们在室内活动的时间日益增长,对生活和工作环境质量要求也越来越高,选择合适的监测方法对室内空气质量进行定性和定量的测定已成为现代人保健的迫切需求。室内测定方法与室外测定有共通之处,但两者之间也存在区别。室外污染物浓度是根据污染物在环境中的阈值浓度进行评定的,而室内污染物浓度则是根据居住者主观感受的可接受性评定的,与人的关系更加密切。室内监测采样方案的选定是至关重要的,本文将对此作详细讨论,然后介绍几种重要室内污染物的采样和分析方法。

2 室内空气采样

2.1 采样方案的分类及其优缺点

室内空气测定的采样方案根据采样时间、采样目的的不同,可分为长期测定和短期测定,区域采样和个人采样,测定设备可选用主动型或被动型。不同的方式各有其优缺点。

长期测定由于采样量大,对分析灵敏度要求不高,得到的数值为时间平均值,具有综合性,这往往是评估污染物对人体健康影响最重要的数据。但长期测定对采样和监测仪器的稳定性要求苛刻,而且环境背景值的波动会带来一系列的问题。短期测定的优点在于它能记录瞬时波动值,这对详细了解污染物浓度变化情况很有帮助,特别是间歇释放源,如煤气炉。而且短期测定时间短,受外界的影响不大,但其对仪器或技术灵敏度的高要求限制了应用范围,而且在将短期测定与日浓度变化、季浓度变化或其它长期浓度浓度变化相结合方面还有一定的困难。

采用个人接触浓度测定还是区域监测是确定所采用仪器类型和监测方法的重要因素。适于区域监测的设备往往体积庞大,需要供给动力,而用于个人监测的则小巧方便,且监测时可将人们活动的干扰减到最小。

选择采样方案还需考虑是进行主动还是被动采样。被动采样是根据扩散原理进行,一般用于长期测定。气

收稿日期:2001-07-30
作者简介:程 希(1977-),女,湖南长沙人,现为同济大学环境科学与工程学院 99 级在读硕士研究生。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

流导致的采样速率变化会使被动采样设备受到影响,所以应尽量减少环境因素的干扰。主动型采样设备又可分为实时采样现场读数分析和泵抽样后送至实验室分析两种类型。前一种更为常见。采样时要注意泵抽气速率和其它设备参数以保证主动采样的高精度。实时测定的一个最大的缺点就是它的高成本,而测定设备的笨重和需要较多操作训练及维护也限制了它的应用。

2.2　采样时间、位置的确定

在实际测定室内污染物时,采样是成败的关键。而选择采样时间、位置又是确定采样方案的关键步骤,所以必须仔细斟酌。污染物的浓度会随时间而变化,人类的活动也会对污染物浓度产生影响,这些因素在选择采样时间时都应该考虑。晚上在空无一人的房间进行测定是毫无意义的。每次采样持续时间和采样频率与测定目的和污染源特征有关。如要得到平均值就要用相对较长的时间(大于 24 小时),而测峰值时间则应尽可能短(小于 1 小时)。持续时间的最小值由所选择测定方法的检出限决定。

采样的最佳位置在测定目标附近,但实际情况却很少做到。位置的选择依测定目的而定。如测定 NO_2 时,要得到最大浓度应在厨房采样,而要评估其对小孩或病人的影响则以卧室更为合适。一般来说,采样器或探测器应置于房间中心 1.5～2m 高处。除非有特殊原因,应尽量避免在墙角或靠近家具处进行被动采样。

归根结蒂,采样方案都是根据测定目的和环境空气流动状况确定的,所以采样前明确测定目的十分重要。目的不同,采样方案也就不同。室内空气测定目的多种多样,大多数情况下最终都是评价污染物对人体健康潜在的负面影响,采样方案也就随之而确定。如正在使用的房间需测定的是室内污染物平均浓度,建筑材料化学风险评价需测定最大浓度;前者在室内中央采样,后者则要将门窗紧闭,待污染物浓度达到平衡后再采样。

3　几种重要室内污染物的采样和分析方法

3.1　氡

氡是一种惰性气体,形成于岩石和土壤中,通过房间墙壁上的裂缝渗透出来,放射性衰变时产生大量的放射性同位素,对人体健康有极大的危害。井水和建筑材料也是其释放源。氡的浓度随时间与空间变化波动幅度大,与房间通风速率有很大关系,需仔细考虑采样时间;而且采样后其组分还将发生变化,因此对氡的监测与分析较复杂。氡的测定可在采样时与其衍生物分离后再测定,或知道其平衡比后直接测定。早期平衡比法用 Lucas 室进行采气,然后用光电倍增管测定。这种方法灵敏度低,一般只用于室内空气质量调查[1]。柱状离子室也是一种用于连续监测的仪器[2]。Perdue P. T. 报道的低温采样器利用被收集气体液化后的压差作为集气动力,液化后的气体用 NaI 或 Ge 检测器进行 γ 光谱测定[3]。氡的衍生物可通过用泡沫乳胶拦截去除,随后用 ZnS(Ag)闪烁仪或蚀刻轨迹检测器或热致计量剂法分析[3]。Conthern 等报道,用相应的仪器测定氡及其衍生物产生的 α、β 粒子和 γ 射线可得到浓度值,如安装在光电倍增管上的闪烁体仪、电离室、热致计量剂等[4]。用活性炭吸附的氡通常用 γ 光谱测定器或热致计量剂测定其释放的 γ 射线来得到氡的浓度。蚀刻轨迹检测器由于其经济性越来越受到重视。α 轨迹探测器则用于长期的监测[4]。

确定室内污染源及其释放浓度也是一个重要的方面,为完善建筑设计和及时采取补救措施提供了基础。如用 NaI 探测器收集氡进行 γ 光谱分析可测定深井水中释放氡的浓度[5]。其它发生源(如砖和混凝土)的释放能力应在实验室中模拟分析。

3.2　气溶胶

气溶胶的来源很多,吸烟、燃烧、矿物纤维、人造纤维、生物污染及室外气溶胶等因素共同导致室内气溶胶浓度高于室外。收集方法主要是过滤,然后进行重量分析。由于气溶胶活动时间短,变化快,因此需采用连续测定仪对颗粒物浓度进行现场质量测定。有的采样设备利用颗粒物的空气动力学性质可以根据粒径的不同进行选择性采样,以防止粒径大于 3μm 的碱性粒子与粒径小于 1μm 的酸性粒子中和,且为随后的化学分析或元素分析提供了方便[6]。除此之外颗粒物的物理性质也是分离采样的依据,尤其对于纤维类气溶胶。显微技术特别是电子显微技术对分析颗粒物很有用,但只能用于少量样品的测定。生物分析则揭示气溶胶对人体潜在的健康威胁。有机或无机化学分析也是常用的方法。元素分析法不仅可确定气溶胶的组成,还可确定其来源。高压液相色谱和高分辨度气相色谱质谱法可分析样品中被萃取的微量有机物。多核芳香化合物由于其具有致癌性而被重视,除了用 HPLC 和 GC/MS 外,它的测定还可用红外荧光法[7]。

以气态或固态形式存在的 ETS(*Environmental Tobacco Smoke*)是众所周知的气溶胶,含有 4500 种以上的化合物,而尼古丁是其主要成分。研究表明 90 % 以上的是尼古丁以气态存在。室内尼古丁浓度很低,约

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

为 1.8～83.0μg/m^3,这使得分析的过程和设备复杂化。常用过滤器收集后进行溶剂萃取或 XAD - 4 吸附管收集,用 GC/NSD 测定[8]。H. Van Vunakis 曾对尼古丁进行放射性免疫测定[9]。

石棉也是一种重要的气溶胶,对于空气中石棉的研究大部分只限于工作环境和公共建筑,但同样的方法也适用于居住环境。石棉纤维非常细小而难于与其它天然或人造纤维区分开来。通常石棉用纤维素酯或聚碳酸酯过滤器采样,然后用高倍的相差显微镜术(PCM)或扫描电子显微术(SEM)或传输电子显微术(TEM)对载片上随机选定的区域进行视觉测定[4]。

3.3 VOCs

VOCs 具有毒性,测定室内 VOCs 浓度对于评估其对人体健康的影响十分必要。由于 VOCs 常以 ppm 级存在,为了准确检测分析其浓度,必须用高灵敏度、高精度的分析方法和仪器,还应能根据需要便于调整和校准。测试室内 VOCs 浓度过程中,采样是关键的一步,一般采用固体吸附法或空罐采样法。固体吸附法最常用的是 Tenax 吸附管,适用范围广,热稳定性好,可在高温下进行解吸,吸附效率受湿度的影响不大。其方法是将空气通过捕集管,采集样品加热脱附后用毛细管柱 GC/MS 系统测定。XAD 树脂也是一种不错的有机聚合吸附剂[10]。若采用粒状活性炭吸附,则用二硫化碳洗脱后 GC 法测定[11]。空罐采样法的空罐必须使用化学惰性且不释放挥发性物质的材料制成,而且不吸附(解吸)VOC_s。一般多采用不锈钢或玻璃制造。样品被收集后先去除水蒸气,再用高分辨度的 GC 法测定[10]。

甲醛是 VOCs 中最重要的室内污染物之一,主要来自于建筑材料和脲醛树脂的家具制品,近年来越来越受到重视,采样和分析方法都有了较大的进展。采样方式不同,所用仪器也不一样。现有被动采样器有扩散管采样器、微孔过滤采样品、渗透控制膜采样器等。液体或固体吸着剂则被广泛地用于主动采样的甲醛收集。衡量吸着剂好坏的标准包括其在潮湿的环境中的采集效率和能力,吸着剂的稳定程度,解吸和分析操作过程的复杂性。常用的一种吸收剂是 1%的 $NaHSO_3$ 溶液,具有较好的吸收效率和稳定性。用此种方法采集的样品只能用变色酸法进行分析[12]。分子筛具有几乎 100%的采集效率和高稳定性,采样后将去离子水洗出的滤出液先用 PRA 试剂和亚硫酸钠溶液处理,再用比色法测定[13]。目前应用较多的甲醛测定方法为化学法和仪器法。化学法测定范围一般为 ppm 级,主要有变色酸法,付品红法、乙酰丙酮法和酚试剂法[14]。仪器法包括气相色谱法,液相色谱法,离子色谱法,极谱法,红外光谱法等,精度可达到 ppb 甚至 ppt 级[14]。仪器法的特点是首先需要能与甲醛反应的萃取剂将甲醛从吸着剂中萃取出来才能进行测定。如将甲醛样品收集于涂上一层 DNPH(避免背景值的影响)的硅胶套筒中后用乙腈萃取,再用反相的高压液相色谱紫外检测法测定[15]。高压液相色谱法具有 ppb 级的精度,可精确测定室内甲醛浓度。污染源测定也不可或缺,有助于控制室内空气质量。最普遍的测定方法有化学萃取、简单稳定室测试及动力环境室测试法。化学萃取法用以测定恶劣环境条件下甲醛的总释放量;稳定室测试可得到稳态甲醛浓度数据。环境室法则是最接近真实条件的测定[12]。

4 结　　语

采样目的决定采样时间、位置、对象,采样前一定要明确采样目的。每种污染物都有不同的采样和测定方法,扩散过滤和吸着剂吸收(吸附)采样后再进行化学或仪器分析是最常用的方法。具体应用中应根据被测组分的性质、浓度高低、干扰因素的大小等方面来制定最适于被测组分的采样、分析方法和条件。80 年代后新型检测器的出现,又给仪器分析带来新的功能,加上各种联用技术的应用,室内空气监测分析技术将日益成熟,为人类健康提供强有力的保障。

参考文献

[1] Mc Gregor P. G. ,et al. Background concentrations of radon and radon daughters in Canadian homes[J]. Health Phys. ,1980 ,39 :285.

[2] Standen E. ,et al. A study of radon in dwellings[J]. Health Phys. ,1979 ,36 :413.

[3] Perdue P. T. Radon monitoring instrumention[J]. Health Phys. ,1980 ,18 :113.

[4] M. R. Peterson ,et al. Methods of analysis for environmental carcinogens. Environmental Carcinogens methods of analysis and exposure measurement ,1993 ,126.

[5] G. A. Swedjemark ,et al. Measurement of radon and radon daughters in indoor air. Environmental Carcinogens methods of analysis and exposure measurement ,1993 ,118.

[6] William T. Winberry. Methods for determination of indoor air pollutants[M]. 1992 ,759.

[7] Lee M. L. ,et al. Anatical Chemistry of Polycyclic Aromatic Compounds[M]. 1981.

[8] William T. Winberry. Methods for determination of indoor air pollutants[M]. 1992 ,189.

[9] H. Van Vunakis. Radioimmunoassay for nicotine and cotinine [J]. Environmental Carcinogens methods of analysis and exposure measurement ,1993 ,293.

[10] William T. Winberry. Methods for determination of indoor air pollutants[M]. 1992 ,7.

(下转第 29 页)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在整个社会关注环保的背景下，必然使环保产业具有广阔的市场，在环保产业有利可图的情况下，会有部分企业自动转入环保产业。这样，即使政府资金投入不足，也可以通过企业追逐利益的行为来促进环保产业的发展。

4.3 个人参与是解决中国环境问题的根本途径之一

环境保护不只是政府和企业的行为，因为环境污染的另一个源头是生活型环境污染，这涉及社会上每一个成员。

据国家环保总局公告，1999 年我国污染物排放的废水量、废水 COD、SO_2、烟尘这四个指标中，生活型污染分别占了排放总量的 50.8 %、50.2 %、21.4 % 和 17.7 %（数据来源：国家环保总局公告，2001 年 3 月）。中国是一个拥有 12 亿多人口的大国，年经济增长率 9 %左右，资源和环境面临着前所未有的压力，在此情况下，能否确保中国社会经济的可持续发展，其关键是保护环境，这需要全社会每个公民参与。特别是生活污染问题的解决，光靠政府的政策、企业的投入是远远不够的。因此，加强环境宣传和教育，提高公民环境意识，教育公民善待环境，只有这样，才能保证人与自然共生存，实现可持续发展之路。

5 结束语

在中国目前的资源状况下，必须走可持续发展的道路。而资源与环境是互为依存、相互影响的；发展经济与保护环境又是相互制约、相辅相成的。要实施可持续发展的战略，必须以发展经济为中心保护环境；环境污染的外部不经济性和现代企业制度的建立，要求在使环境污染外部性内在化的过程中，政府管制和市场激励同时进行。为了使环境得到更好的保护和使污染减低到最低限度，个人的参与也很重要。

参考文献

[1] 国家环保局监管司．中国环境影响评价培训教材[M]．北京：化工出版社，2000.

[2] 张 剑．当代中国经济概述[M]．广东：广东人民出版社，1989.

[3] 孙炳彦．九十年代初期中国污染损失估算与思考．环境与可持续发展论文集[C]．北京：气象出版社．1998：112-116.

[4] 国家统计局．中国统计年鉴[M]．北京．1997.

[5] 宋瑞祥．对我国资源、环境现状与可持续发展战略总的思考[J]．环境保护，1998，7：9-11.

[6] [日]岩松茂．环境的思想(韩立新等译)[M]．北京：中央编译出版社，1998.

[7] [美]保罗．萨缪尔森．经济学(萧琛等译)[M]．北京：华夏出版社，1999.

[8] 程 远，吴敏辉．排污权市场交易理论研究[J]．环境保护，1998，3：25-28.

[9] 王玉振．美国的环保产业政策．环境与可持续发展论文集[C]．北京：气象出版社．1998：255-258.

[10] 夏 光．中国的环保经济政策．环境与可持续发展论文集[C]．北京：气象出版社．1998：8-13.

[11] 田春秀．环保 —一个大产业．环境与可持续发展论文集[C]．北京：气象出版社．1998；110-111.

[12] 周国梅．清洁生产的环境经济学分析．环境与可持续发展论文集[C]．北京：气象出版社．1998：57-61.

[13] Eldon. D. Enger. Environment Science[M]．北京：清华大学出版社，2000.

[14] 中国 21 世纪议程[M]．北京：中国环境科学出版社，1994.

[15] 刘成武，杨志荣等．自然资源概论[M]．北京：科学出版社，1999.

[16] 李克国．环境经济学[M]．北京：科学技术出版社，1993.

(上接第 25 页)

[11] 孙宗光等．化学物质对室内空气的污染[J]．环境监测管理与技术，2000，12(5)．

[12] Phillip J. Walsh. Indoor air quality[M]. 1984，16.

[13] P. E. Georghiou，et al. determination of formaldehyde in indoor air by a solid sorbent technique[J]. Environmental Carcinogens methods of analysis and exposure measurement，1993，251.

[14] 朱丽芳．空气中甲醛测定方法综述[J]．环境污染与防治，1991，13(3)．

[15] William T. Winberry. Methods for determination of indoor air pollutants[M]. 1992，472.

[16] 荣海琴等．室内空气中挥发性有机化合物及多孔炭材料在其脱除中的应用[J]，环境科学进展，1999，7(6)．

[17] Christopher M. Long，et al. Characterization of indoor particle sources using continuous mass and size monitors[J]. Air and Waste Manage，Assoc. 50，1236-1250.

[18] Linda S. Sheldon，et al. Review of analytical methods for volatile organic compounds in the indoor environment[J]. Indoor Air and Human Health，335-358.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net