

人体接触空气污染的评价

姚志麒

(上海第一医学院环境卫生学教研室)

多年来,为了评价人体接触的空气污染,均以室外大气监测数据为根据。问题在于单凭室外固定监测点的数据,能否代表人体接触的空气质量。当人们漫步或驱车街头时,其接触的大气污染也不一定是监测点所反映的大气质量。何况人们在室内度过的时间远多于在外室的时间,而住宅、公共建筑和机动车辆内部的空气质量更不同于室外的大气质量。故对人体健康而言,室内空气质量远较室外重要。

1979年4月世界卫生组织在荷兰召开“室内空气质量与健康”会议,有13个国家24名科学家参加。会议讨论了室外污染物对

室内空气的影响,室内浓度的影响因素,室内由于人们的活动和建筑材料释放的污染物,以及吸烟对室内空气影响等问题^[1]。

世界卫生组织、联合国环境规划署和一些国家的专家,制定了一项与健康联系的空气质量监测计划。其目的是:检验人体接触空气污染的各种评价方法,并收集世界各城市人体接触水平的资料。目前,该计划已列为全球环境监测系统(GEMS)的一项内容,正在世界各地进行^[2,3]。南斯拉夫和加拿大已发表执行此项全球计划的研究报告^[4,5]。

1981年10月,美国环保局等单位召开“国际室内空气污染讨论会”。今年8月瑞

典将召开“国际室内空气质量会议”室内空气污染问题,已引起有关部门和科学家的日益关注;人体接触空气污染的评价,成为发展中的一个研究领域。

一、人体接触空气 污染的概念

所谓接触,是指人体内外表面接触的任何物理或化学因子的定量计量。空气污染的接触评价,即确定人吸入空气中的污染物浓度。通过某种边界(如鼻和肺部的上皮)进入人体的污染物数量,称为剂量。

人体接触的空气污染分为四级:1.住宅、公共建筑、车辆等微环境;2.工作场所、办公室、学校等环境;3.当地室外环境;4.区域环境,它反映较大范围气候区和地理特征对空气污染的影响。前两级通称室内空气污染,后两级为室外大气污染。

室外大气质量评价,是区域环境质量评价主要内容之一。为了研究空气质量与健康的关系,尤应评价人体接触的空气污染。在有关空气污染的流行病学调查中,接触是一个重要变量。人们有较长时间在室内度过,故24小时总接触中室内接触水平占较大权重。某些污染物由于室内存在污染源,因而室内浓度高于室外浓度,则室外监测点获得的这些污染物浓度数据常低估人体接触的空气污染。相反,有些污染物的浓度室内低于室外,则室外监测点数据过高估计人体实际接触的污染。在进行流行病学调查和研究大气质量基准时,这些问题应予考虑^[6,7]。此外,为了比较各地或各时期的大气污染程度,或探讨区域大气污染治理方案给人群健康带来的效益,结合室内外污染浓度的关系来评价人体实际接触的空气质量,将有更直接的意义。

评价人体接触的空气污染时,可用个人监测仪直接测定,或按室内外浓度关系数学模式推算室内浓度,再根据人们在室外和室内各种微环境中度过的时间,计算其加权

平均接触。

二、室内空气污染

人们在室内从事各项活动,常释放某些污染物。有些建筑材料能散发污染物。室内空气质量显然又与室外有关,存在于室外空气中的污染物,一般也都存在于室内。国外把室内空气污染物按产生来源分为三类(表1)。

室内污染物按来源分类 表 1

污 染 物 来 源		
第 一 类	来源主要在室外 硫氧化物(气体、颗粒) O ₃ 花粉 铅 钙、氯、硅、镉 有机物	燃烧燃料、冶炼厂 大气光化学反应 树和其它植物 汽车、工业排放 土壤悬浮体、工业排放 石油化学溶剂、自然来源、未燃烧燃料的汽化
	第 二 类	室内外均有产生源 NO, NO ₂ CO CO ₂ 多环烃 悬浮颗粒物 水蒸汽 有机物 芽孢
第 三 类	来源主要在室内 氡 甲醛 石棉、矿物和合成纤维 有机物 氯 汞 气溶胶 活生物体 变态反应原	建筑材料(混凝土、石等)、水 碎料板、隔热材料、装饰、吸烟废气 防火、隔声、隔热或绝缘用材料 胶合剂、化妆品、溶剂、炊事 代谢活动、清洁剂 油漆中的杀菌剂、牙科设备或实验室的溢出物、温度计破损 日用化学品 感染 室内灰尘、动物皮屑

污染源主要在室外而室内无产生源的污染物,室内浓度一般低于室外,且一日间的变化与室外相似,唯出现峰值和谷值的时间较室外稍推迟,而变幅较室外小。Yacom等调查发现,住宅内悬浮颗粒物、CO和SO₂浓度多数情况下与室外接近,室内外浓度比0.76~1.32。Moschandreas等报导,室内SO₂、O₃和铅的浓度通常比室外低。

室内外均产生的污染物,室内外浓度关系稍复杂些。由室内污染源释放的污染物,主要靠自然通风或机械通风排至室外。这些污染物的室内浓度受污染物释放量、通风量或换气次数等因素的影响;通风量愈大,愈有助于稀释室内浓度。除稀释外,室内污染物还由于沉降和室内表面吸附等过程而浓度降低。

厨房炉灶是重要的室内污染源。据Sterling调查,使用煤气灶的厨房在点燃煤气后20分钟CO由3.5毫克/立方米升至9毫克/立方米。由于吸烟和炉灶,萨格勒布市居民室内接触的CO达闹市十字路口交警的接触水平。新几内亚简屋内,由于炉灶使CO高峰浓度达172毫克/立方米,煤烟达4860微克/立方米,引起居民慢性呼吸道疾病患病率增高。Yacom等发现住宅使用煤气灶频繁时,室内CO达9毫克/立方米,NO达400微克/立方米,NO₂达500微克/立方米,均远高于相应的室外浓度。

吸烟是造成室内污染的又一主要原因。Spengler等发现室内有吸烟者时,可吸入悬浮颗粒浓度通常高于室外,且随吸烟人数增多而室内浓度增高。据Elliot等报导,公共会场如不限制吸烟可使室内空气质量极差。高浓度CO和致癌物质使被动吸烟者健康受损害,醛类、NO₂、和微细悬浮颗粒可引起眼睛刺激、咳嗽、和恶心。世界卫生组织鉴于各国计划减少换气次数,感到现在比以往更需提倡减少吸烟(尤其在公共场所),认为允许吸烟的地方应安装吸出式通风或空

气净化系统。

对建筑材料释放的污染物,国外注意较多的是甲醛和石棉。用脲醛加工的碎料板等材料可释放甲醛。丹麦有些采用碎料板的房屋,室内甲醛浓度超过允许的职业接触值。国外建筑中广泛应用的石棉制品,不断向室内释放石棉纤维。小于5微米的石棉纤维可引起石棉肺或支气管癌,对吸烟者尤有协同作用。有的建筑材料以及某些地区的地基和地下水,能向室内空气释放氡,可能导致支气管癌。各种日用化学品(包括化妆品、个人卫生用品、消毒喷雾剂、窗户清洁剂、除臭剂、家具擦光油等)也能释放各种挥发性污染物和悬浮颗粒物。这类化学品品种不断增多,成分复杂,国外开始注意其对室内空气的影响。

三、个人监测仪

用个人监测仪直接测定呼吸带的污染物浓度,是确定接触的最可靠方法。国外从七十年代开始研制一般室内用个人监测仪。有的监测仪附有动力电池,能在现场采样和分析。有的监测仪采样后送实验室分析;有的“被动检测器”采样时使污染物与另一种化学物质起反应,然后再行分析。个人监测仪一般可背在使用者身上,有的则是便携式监测仪,可带至测定地点使用。

CO监测仪可用电化学原理,使CO在溶液中转变成CO₂,放出电子产生弱电流,从而读得浓度。国外曾用一包香烟大小的监测仪测定车辆内和街头交警接触的CO。

监测NO₂可用被动监测仪。使用时佩于胸前,空气中NO₂进入扩散管,与吸收层(预涂三乙醇胺的不锈钢网格或聚酯,或用滤纸浸渍三乙醇胺)反应。

采集可吸入悬浮颗粒的个人监测仪,空气通过旋风分离器后收集于Fluoropore滤纸上。还有用压电晶体法原理的便携式监测仪,它有几个空气进口,可根据所需收集的

颗粒粒径选择使用。

有一种胸章式 SO_2 监测仪, 以二甲硅作渗透膜, 以四氯汞钠作吸收剂。

四、室内外空气污染 浓度关系数学模式

室内空气污染与室外污染、建筑物通风换气、以及室内有无污染源等条件有关。在某些假设的简化条件下, 可建立室内外污染浓度关系的数学模式。这些模式可用于估计人体接触的室内污染, 以预测其对人体健康的影响, 或用于探讨各个输入参数改变(如减少通风量)时对室内空气质量的影响。

推导下列各模式时, 假设污染物不发生化学反应, 且室外浓度恒定。

1. 室内无污染源, 也不考虑污染物由于吸附和沉降等过程引起的衰减

这时污染物的室内浓度变化率决定于室内外浓度差和通风换气情况:

$$\frac{dC}{dt} = S(C_{\text{外}} - C) \quad (1)$$

式中 C ——任何时间 t 的室内浓度;

S ——有效换气次数, $S = k \frac{F}{V}$;

F ——单位时间的通风量;

V ——室容积;

k ——混合系数, 充分混和时 $k=1$ 。

式(1)的解为: $C = C_0 e^{-St} + C_{\text{外}}(1 - e^{-St})$

(2)

或 $C = C_{\text{外}} - (C_{\text{外}} - C_0)e^{-St}$ (2)'

式中 C_0 ——时间 $t=0$ 时的室内起始浓度。

由式(2)'可见, 室内浓度呈指数曲线变化, 逐渐趋近室外浓度。换气次数与室内外温差、风速、房屋的结构和使用情况有关。

S 可用氟利昂-12 示踪剂等实测。

2. 室内有污染源, 但不考虑污染物的衰减

此时室内浓度变化率应增加考虑一项源强:

$$\frac{dC}{dt} = S(C_{\text{外}} - C) + \frac{Q}{V} \quad (3)$$

式中 Q ——室内源强, 即室内污染源在单位时间内释放的污染物数量。

解式(3)得:

$$C = C_0 e^{-St} + \left[C_{\text{外}} + \frac{Q}{VS} \right] (1 - e^{-St}) \quad (4)$$

当 $t \rightarrow \infty$ 达稳定条件时, $C = C_{\text{外}} + \frac{Q}{VS}$ 。

可见为了减低室内浓度, 应增大有效换气次数或减小源强。Jones 等曾以此式计算室内有人逗留和吸烟时, 为维持室内安全的 CO 浓度而必需的有效通风量。

3. 室内有污染源, 并考虑污染物的衰减或消除量

$$\frac{dC}{dt} = S(C_{\text{外}} - C) + \frac{Q}{V} - \frac{E}{V} \quad (5)$$

式中 E ——室内污染物由于沉降或被吸附等过程引起的单位时间内污染物消除量。

解之得:

$$C = C_0 e^{-St} + \left[C_{\text{外}} + \frac{Q-E}{VS} \right] (1 - e^{-St}) \quad (6)$$

4. 室内有污染源, 并假设污染物的衰减为室内浓度的函数

$$\frac{dC}{dt} = S(C_{\text{外}} - C) + \frac{Q}{V} - DC \quad (7)$$

式中 D ——衰减系数或消除率 [T^{-1}]。

式(7)的解为:

$$C = C_0 e^{-(S+D)t} + \frac{SC_{\text{外}} + \frac{Q}{V}}{S+D} [1 - e^{-(S+D)t}] \quad (8)$$

Moschandreas 等用上式计算, 认为当换气次数 S 减至每小时 0.2 次时, 则使用煤气灶的住宅内空气污染将超过美国大气质量标准。

五、积分接触和平均接触

在评价人体接触的空气污染时,还应考虑接触的持续时间,求得接触浓度与持续时间结合的积分接触(integrated exposure)。设某时段内浓度恒定,则积分接触等于浓度乘时间。将某时段的积分接触除以时间,可得平均接触。按取用的平均时间,可得24小时平均的“总接触”(total exposure),或8小时工作时间的“职业接触”,或长期平均的“年接触”(annual exposure)。

根据个人监测仪实测结果,或上述模式计算的室内浓度,设已知某人一日间的活动环境和时间,则可如下计算积分接触:

$$E_i = \sum_{j=1}^J C_j t_{ij} \quad (9)$$

式中 E_i ——某人(i)在时间 $\sum t_{ij}$ 中的积分接触;

C_j ——在某微环境(j)内的接触浓度;

t_{ij} ——在某微环境(j)内度过的时间;

J ——某人(i)在时间 $\sum t_{ij}$ 中所处微环境的总数。

如接触浓度随时变化,则计算时可取接触浓度大致恒定或变化不大的较短时间作为 t_{ij} 。

总时间内的加权平均接触按下式计算:

$$\bar{E}_i = \sum_{j=1}^J C_j t_{ij} / \sum t_{ij} \quad (10)$$

如以某地的人群为对象,通过调查也可计算人群的平均接触。但人群中各人各日活动状况不同,接触浓度各日也有变化,故各人的实际平均接触可能与按典型条件计算的全人群平均接触有所出入。国外有人研究模拟人体接触空气污染的计算机程序,以计算人群中各种接触水平的频率分布。

六、小结

从保护人体健康出发,评价人体接触的空气污染比评价区域的室外大气质量更为重要。在研究大气污染对健康的影响,并据此拟订大气质量基准时,必须注意室内外污染浓度的差别和人群的活动状况。目前我国能源结构以燃煤为主,民用煤气或液化石油气使用还不普遍。千家万户烧煤做饭和取暖是室内空气的重要污染源,在炉灶简单、居住拥挤、通风不良等情况下,炉灶对室内空气污染影响尤其不容忽视。个人监测仪、室内外污染浓度关系模式、吸烟的污染影响、通风条件对减轻室内空气污染的作用、以及人体健康与室内空气污染的关系等问题。都还有待继续研究。

参考文献

- [1] World Health Organization, Health Aspects Related to Indoor Air Quality. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 1979.
- [2] World Health Organization, Report of a Consultation on the Pilot Project on the Assessment of Human Exposure to Air Pollutants. WHO Report EHE/ETS/79.5, Geneva, March 1979.
- [3] World Health Organization, Estimating Human Exposure to Air Pollutants. WHO Offset Publication NO.69, Geneva, Switzerland, 1982.
- [4] World Health Organization, Human Exposure to Carbon Monoxide and Suspended Particulate Matter in Zagreb, Yugoslavia. WHO Report EFP/82.38, Geneva, 1982.
- [5] World Health Organization, Human Exposure to SO_2 , NO_2 and Suspended Particulate Matter in Toronto, Canada. WHO Report EFP/82.38, Geneva, 1982.
- [6] Ferris, B.G., J Air Pollu Control Assoc, 28(5), 482 (1978).
姚志麒译, 国外医学卫生学分册, (1), 29 (1980).
- [7] Spengler, J.D., et al., Environ Sci Tech, 13(10), 1276 (1979).
姚志麒译, 国外医学卫生学分册, (3) 169 (1981).