

第六节 室内空气的污染与评价

越来越多的研究表明，室内空气的污染远高于室外。室内空气质量对人群健康的影响已成为全世界关注的问题。人的一生大部分时间都是在室内渡过的。对于部队官兵来说，还有一些特殊的室内场所如坑道、掩蔽部、舰艇等，其污染更有着特殊性。当人活动出汗、咳嗽、吸烟、烹调、劳动等，特别是人多而通风不良时，室内空气可受到严重污染。人在污染的空气中停留可产生头痛、恶心、食欲减退等症状以及不快感与工作效率降低，长期生活在污染严重的室内空气中还可产生慢性中毒，甚至有患癌的危险。因此，应对室内空气予以高度重视。

一、室内空气污染源及健康危害

1 燃料燃烧：我国家庭的主要燃料是煤，只有少部分使用液化气或煤气，与某些发达国家室内空气污染不同，现阶段我国室内主要是以燃煤为主的污染，燃煤污染物（TSP、SO₂）浓度远高于燃气的污染。

燃料不同，其污染物及其浓度可以有很大不同，而炉灶类型（如有烟囱炉灶和无烟囱炉灶）对污染物的浓度也有很大影响。一般污染情况，燃煤大于燃气；无烟囱炉灶大于有烟囱炉灶；厨房大于卧室；楼房大于平房；采暖期大于非采暖期；人口密度高的地区大于人口密度低的地区。

云南宣威县是室内燃煤污染与肺癌关系的典型例子。宣威是云南主要产煤基地之一，宣威居民多以烟煤、无烟煤和木材为主要生活燃料，并在室内直接挖坑为灶，没有烟道、烟囱，生火做饭时室内烟雾弥漫。调查结果表明，宣威县不同地区肺癌死亡率与其所用燃料构成密切相关，以燃烟煤为主的地区肺癌死亡率高（表 2-25）。

表 2-25 宣威居民生活用燃料与肺癌关系

公社	烧烟煤人数 (%)	烧木材人数 (%)	烧无烟煤人数 (%)	肺癌死亡率 (1/10 万)
城关	100.0	0.0	0.0	174.21
来宾	89.7	8.7	1.6	128.31
榕城	81.9	18.1	0.0	104.09
龙场	76.1	17.9	6.0	39.46
龙潭	78.0	22.0	0.0	22.96
板桥	34.0	16.4	49.6	19.03
落水	2.7	39.0	58.3	9.55
西泽	0.0	90.9	9.1	3.81

2 烹调油烟:

食用油和食物在高温条件下,发生一系列复杂的变化,产生大量的热氧化分解产物,其中部分分解产物以烟雾形式散发到空气中,形成油烟气。油烟气成分复杂,将收集的油烟气作气相色谱—质谱分析,共测出 220 多种组分,主要有醛、酮、烃、脂肪酸、醇、芳香族化合物、酯、内酯、杂环化合物等,其中有 B(a)P、挥发性亚硝胺、杂环胺类化合物等已知致突变、致癌物,如烤鱼、烤肉烟气中含有杂环胺类强致突变物,其致突变性远高于 B(a)P。

较高浓度的油烟气可引起大鼠肺部炎症和组织细胞损伤。一次性吸入油烟气 2 小时,肺灌洗液中肺泡巨噬细胞计数减少。低浓度较长时间吸入油烟气(每天 3 小时,连续 3 个月)可引起实验动物肺部散在细胞结节的形成。

烹调油烟还能影响机体的免疫功能。小鼠吸入菜油油烟后,血液白细胞吞噬活性均比对照明显下降。职业油烟接触人群(无烟酒嗜好的宾馆厨师)外周血 T 淋巴细胞百分率明显低于对照组(服务员)。烹调油烟和煤烟在对机体细胞免疫功能的抑制方面可能还存在协同作用,如小鼠吸入高浓度煤烟气以及煤烟与油烟混合气后,脾脏 T 淋巴细胞转化功能、天然杀伤细胞活性和 T 淋巴细胞诱导白细胞介素 2 活性受到不同程度的抑制,煤气组、煤烟组、煤烟油烟混合组小鼠的免疫指数分别为 0.82、0.71、0.64(对照组为 1.00)。

烹调油烟气中的一些致突变物同时也具有致癌性,小鼠分别自然吸入 200℃ 高温加热而产生的菜籽油、豆油、棉油油烟气 4 个月,各组动物病理检查都发现支气管粘膜上皮细胞异型增生。在异型鳞化的组织中,发现部分癌前病变。人群流行病学调查表明,烹调油烟是肺鳞癌和肺腺癌共同的危险因素,人群归因危险度分别为 51.56% 和 60.99%。从事烹调工作的人群鼻咽癌发病率高于其它职业。

3. 建筑、装饰材料和家具:近年来由于室内广泛使用各种建筑装饰材料如绝缘材料、防火材料、胶合板、各种涂料、地毯等等,室内空气面临新的化学污染,如氡及其子体、石棉、玻璃纤维、甲醛、铅、有机溶剂等污染物,地毯还可滋生尘螨等变态反应原物质。

(1) 氡及其子体:氡是天然放射性气体。氡气再衰变生成子代产物如²¹⁴铅, ²¹⁴铋, ²¹⁸钋等放射性气溶胶。室内氡气主要来源于房屋地基、岩石和多孔建筑材料(水泥预制板、砖等)。氡在大气中很快扩散、释放,而室内因空气流通受限,氡浓度可变得很高。

室内氡浓度受建筑类型、建筑层高、气象条件及季节等变化影响,如地下高于地面,夜间高于白天,冬天高于夏天等。据监测统计,地下人防工程氡浓度可高达 3592BQ/m³,一般花岗石块为主建造的石混房屋为 78.48BQ/m³,砖混房屋为 24.4BQ/m³,竹木平房为 7.58BQ/m³。

氡气吸入后会被呼出,它本身对人体健康的危害并不十分严重。造成人体危害的主要是其衰变子体²¹⁴铅, ²¹⁴铋, ²¹⁸钋等放射性重金属微粒,它们粘附在支气管壁或沉淀于肺组织,然后对周围组织进行内辐射,引起肺癌等。

(2) 甲醛：常温下是气体，易溶于水。室内主要来源于脲醛树脂，后者是制造胶合板、刨花板和纤维纸板最常用的胶粘剂；脲醛泡沫绝缘保温材料和一些装饰涂料也含有相当多的甲醛。由于甲醛的室内来源很多，造成室内污染日益严重。调查发现，使用脲醛树脂隔热材料的室内甲醛一般可达 $3.35\text{mg}/\text{m}^3$ ，有时可达 $13.4\text{mg}/\text{m}^3$ ，有的室内甚至高达 $42.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。我国大宾馆新装修后，峰值可达 $0.85\text{mg}/\text{m}^3$ 左右，使用一段时间后可降至 $0.08\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。一般住宅在新装饰后的峰值在 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 左右，使用一段时间后可降至 $0.04\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。燃料燃烧时可有大量甲醛形成。

甲醛主要是刺激作用，人体受甲醛刺激的敏感部位是眼睛、咽喉、气管及支气管、皮肤等。主要能引起眼红、眼痒、流泪、咽喉干燥发痒、喷嚏、咳嗽、气喘、声音嘶哑、胸部发闷、皮肤干燥发痒、皮炎等。

甲醛还能引起变态反应，主要是过敏性皮炎、哮喘。暴露量大时可产生急性过敏性紫癜。

甲醛还是一种被确认了的致癌物质。甲醛能引起大鼠鼻腔扁平细胞癌。甲醛的遗传毒性主要表现在能引起哺乳动物细胞株的基因突变、DNA 单链断裂、DNA 链内交链和 DNA 与蛋白质交联，抑制 DNA 损伤的修复，影响 DNA 合成和转录。

(3) 挥发性有机化合物 (volatile organic compounds, VOCs)：是一类重要的室内空气污染物，目前已鉴定出 300 多种。它们各自的浓度往往不高，但若干种 VOCs 共同存在于室内时，其联合作用是不可忽视的，由于它们单独的浓度低但种类多，故总称为 VOCs，一般不予以逐个分别表示。

此外，苯类等环烃化合物还可来自燃料和烟叶的燃烧。当燃烧温度超过 200°C 时，直链烃可发生环化而形成环烃化合物。

据报道，室内铺设地板革后 1 周内，苯浓度最高达 $0.059\text{mg}/\text{m}^3$ 以上、甲苯达 $0.22\text{mg}/\text{m}^3$ 以上，二甲苯在铺后半个月最高达 $0.091\text{mg}/\text{m}^3$ 以上。

室内 VOCs 对人体健康影响的深入研究还不多，因难度较大。目前认为，VOCs 可有臭味，有一定刺激作用，能引起机体免疫水平失调，影响中枢神经系统功能，出现头晕、头痛、嗜睡、无力、胸闷等自觉症状；还可能影响消化系统，出现食欲不振、恶心等；严重时甚至可损伤肝脏和造血系统，出现变态反应等。国外曾报道，有一 38 岁男性，于 8 年前因燃烧聚氨酯包装材料而发生支气管痉挛，后来该症状已消失。但事过 8 年，在家中窗户上安装聚氨酯泡沫隔热装置时，立即又发生哮喘。经用该泡沫材料和甲撑二苯基二异氰酸酯 (MDI) 进行皮肤斑贴试验，呈强阳性。说明对此已产生特异性变态反应。

(4) 不良建筑物综合征 不良建筑物综合征 (sick building syndrome, SBS) 亦称病态建筑物综合征，是近年来国外有关专家提出的。某些建筑物内由于空气污染、空气交换率很低，以致在该建筑物内活动的人群产生了一系列自觉症状，而离开该建筑物后，症状即可消退。这种建筑物被称为不良或病态建筑物，这一系列症状称为“不良(病态)建筑物综合征”。SBS 是暴露者出现的一系列自觉症状，其原因尚不十分确定，离开该建筑物后，暴露者症状能很快消退。

SBS 的主要症状表现为：眼、鼻、咽、喉部位有刺激感，头疼，易疲劳，呼吸困难，皮肤刺激，嗜睡，哮喘等非特异症状。

目前认为，SBS 是多因素综合作用而成。除污染和通风以外，还可能由于温度、湿度、采光、声响等舒适因素的失调，还可包括情绪等心理反应。

4. 家用电器、日用品及化妆品:生活水平的提高，使得家用电器、日用品、化妆品的种类明显增多，但许多对室内空气环境造成危害。如电视机屏幕可产生臭氧和放射线污染；电冰箱、空调器的致冷剂泄漏可导致氟里昂污染；电吹风使用过程中可排出石棉。另外，某些日用品如蚊香在燃烧过程中产生可吸入性飘尘和 B(a)p；卫生香、干洗剂、杀虫剂等都含有一些有害成份及有机溶剂；化妆品中摩丝、发胶等皆含有一定浓度的氟里昂和甲醛。

5. 燃气热水器:以天然气为燃料，使用时(洗澡)由于天然气的不完全燃烧和溢出，大量CO、CO₂及未燃烧的天然气进入室内，可导致室内人员的不适、昏倒甚至死亡。我国的燃气热水器事件屡屡发生，80年代热水器多安装于浴室内，因此往往是洗澡者本人中毒；90年代热水器装于浴室外，但由于冬天铝合金门窗关闭严密，没有通风，造成室内缺氧和CO高浓度蓄积，因此一出事往往是全家人受害。

二、预防措施

1. 炉灶改革:

建造有烟囱，有排污装置的炉灶。使用烟囱及排污装置，可使厨房内SO₂的超标率从100%降到36%，烹调时段内空气飘尘致突变活性降低97~98%，非烹调时段降低68~77%。这主要是煤烟及Bap等致癌物浓度降低所致，人口集中区采用集中式取暖对室内外空气质量都有好处。

2. 改革燃料结构

生活用煤应选用污染程度轻的种类，不用含硫、砷、氟及放射性有害元素的煤。例如高硫煤经精选或其他净化过程后使用，对散煤，应使用固硫剂生产煤制品。

使用沼气，对于改善空气质量十分有效。使用沼气的农村居室空气中CO、SO₂，飘尘较燃煤村下降74~84%，居民唾液溶菌酶活性升高。血中COHb含量降低。城市燃料则应尽量向煤气化、天然气化、电气化发展。

3. 通风换气

四季通风、清扫、晾晒，对消除霉菌、细菌、病毒的污染很有必要。

三、室内空气的卫生学评价

空气中污染物多种多样，一般在评价室内空气卫生状况时，多采用二氧化碳、微生物和空气离子作为评价指标。

(一) 二氧化碳

一般室内二氧化碳浓度不会升高到对人体产生影响的程度。但对密闭的场所如坑道则可能升高到3%以上，因为测定污染空气的各个因素比较麻烦，而且二氧化碳浓度是随空气污浊程度增加而增高，测定亦较容易，故以二氧化碳浓度作为判断室内污染程度的指标。

最早曾有学者建议以二氧化碳浓度0.7%为居室空气卫生标准，因为超过此浓度对敏感的人已有不快感觉，现在仍有的学者以0.7%作为幼儿园、医院空气的卫生标准，以后又有学者建议以1%作为居室空气卫生标准，我国亦采用此标准，经常处于高于此浓度空气中部份人即可有上述头昏、疲劳、食欲减退，工作效率降低等表现。这并不是二氧化碳本身的作用，而是由于人多，通风不良，因人的呼吸、出汗、散热结果(成人安静时散热69.8卡/时，重劳动散热840-1200卡/时，蒸发水份安静时40-50克/时，劳动时70-200克/时)使空气温度和湿度增加，微小气候恶化，同时汗液的酸败，身体排泄有机物散发的臭气等作用而造成的。

但用二氧化碳浓度作为评定室内空气卫生状况指标时，除考虑居住场所的容积，人数外，应还注意有无其他产生二氧化碳的来源如油灯、火炉等。

(二) 微生物

空气中可发现近百种细菌，大多为球菌，有芽胞杆菌和真菌，主要来源于地表尘埃与土壤。室内空气尤其是通风不良时，则呼吸道排出的细菌就可以积聚起来，因此有的学者认为可以口腔和鼻腔的链球菌作为空气的卫生指标微生物最为合适。据试验没有人居住的房屋，空气中也没有链球菌，房屋内住人越多，链球菌的含量亦越高。一般用草绿色链球菌与溶血性链球菌合起来计算。

空气中细菌虽多，但如非病原菌，就不会引起传染病，然而空气中细菌增多，总说明空气不清洁。据试验，在人多拥挤室内，当温度、相对湿度、二氧化碳含量增高时，空气中细菌数必定也大大增高，即使温度、湿度、二氧化碳含量变化不大，但只要空气中细菌数增高，也能说明空气的卫生情况恶化。故空气中细菌总数也可作空气卫生评价指标之一。

有学者建议下列数据作为评定通风不良居住场所空气清洁或污秽的标准。

表 2-26 室内空气细菌和灰尘污染状况的卫生评价

	夏季	冬季	
--	----	----	--

		细菌总数 (个/m ³)	绿色溶血性链 球菌(个/m ³)	细菌总数 (个/m ³)	绿色溶血性链 球菌(个/m ³)	灰尘 (个/m ³)
室内	清洁	<1500	<16	<4500	<36	<100
	污染	>2500	>36	>7000	>124	>500
室外	清洁	<750	-	<150	-	<50
	污染	>2000	-	>400	-	>1000

空气中细菌总数也可用简便的平皿法测定，方法是将装有培养基的平皿在室内打开 5 分钟，再培养 48 小时，计算菌落数。30 个菌落以下为最清洁，31-74 个为尚好，75-151 个为一般，151 个以上为不好。

(三)空气离子

空气离子化可以作为空气清洁度指标，空气恶化离子化状况的变动是很灵敏的有许多学者提出不同的评价方法，然而至今仍无确定标准。

1. 相对密度 以重离子数与轻离子数的比值作为指标。此数不超过 50 被认为空气是清洁的。

$$\text{相对密度} = \frac{\sum N_{\pm}}{\sum n_{\pm}}$$

2. 安倍空气离子评议指数 CI，日本学者安倍提出此指数

$$CI = \frac{\text{负离子浓度}}{1000} \times \frac{1}{\text{轻离子比}}$$

式中轻离子比即 $q = n^+ / n^-$ ，空气污染时 $q > 1$ ，空气清洁时， $q \leq 1$

日本用 CI 评价空气清洁的卫生标准：

A > 1.0 高度清洁

- B 1.0-0.70 一般清洁
- C 0.69-0.50 中等清洁
- D 0.49-0.30 允许度
- E 0.29- 临界限度