

第五章 室内空气污染 (Indoor Air Pollution)



Why is the air quality we breathe important?

Category

Survival

Food

1Kg

Weeks

Liquid

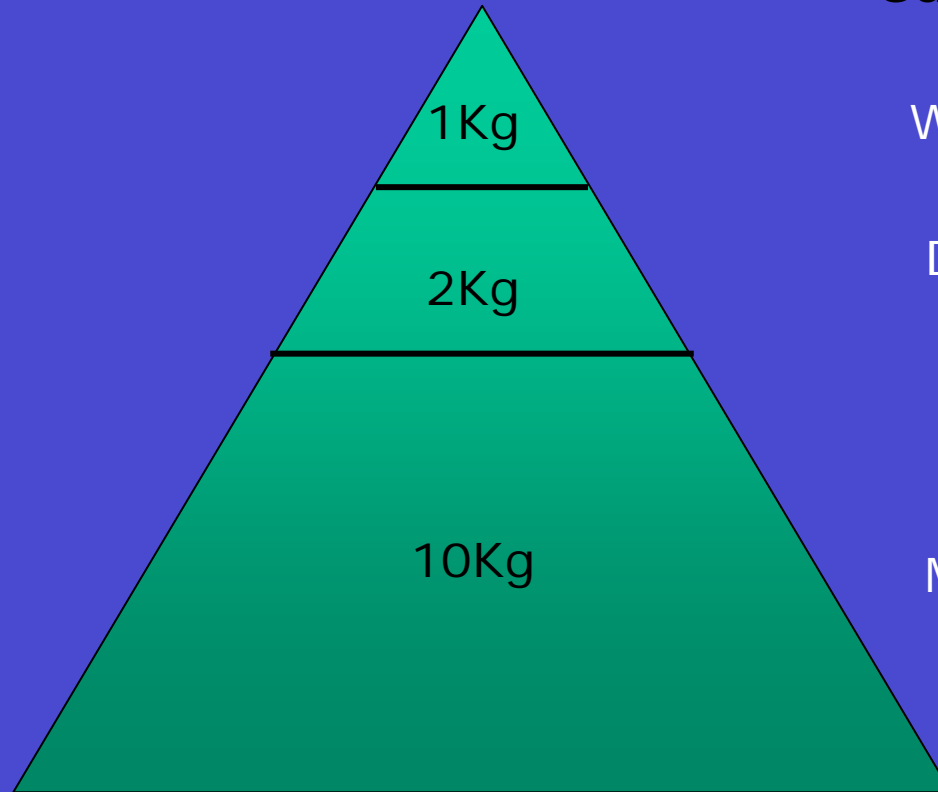
2Kg

Days

Air

10Kg

Minutes



从人体呼吸暴露的角度考虑，可以将人生活的环境分为以下三个最重要的类别（ISIQA, 2005）：

- 建筑室内环境
- 室外大气环境
- 交通工具微环境

时间

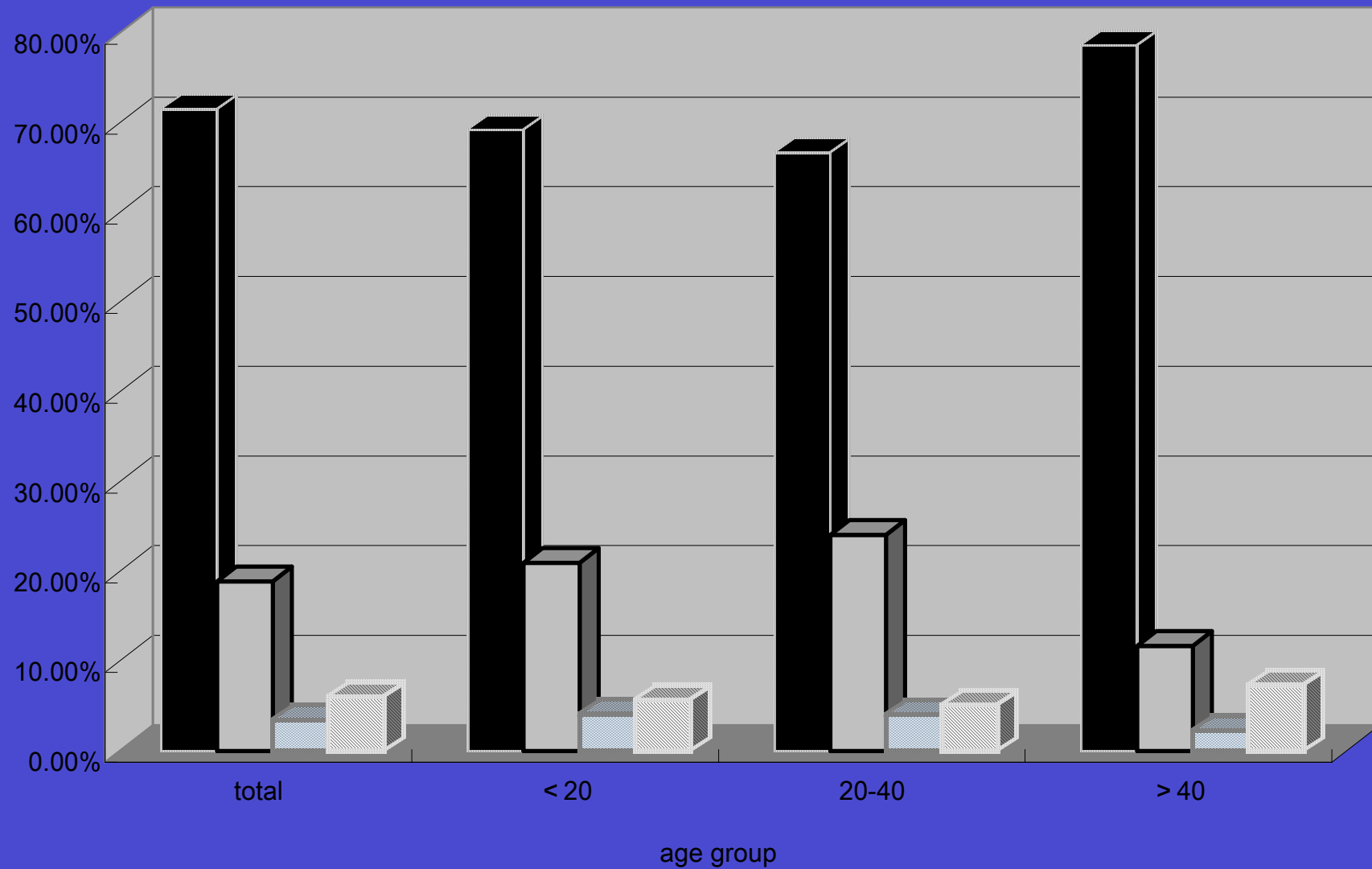
EPA（1989）人群行为活动调查数据显示：

- 建筑室内环境：85%
- 室外大气环境：7%
- 交通工具微环境：8%

北京市交通现状

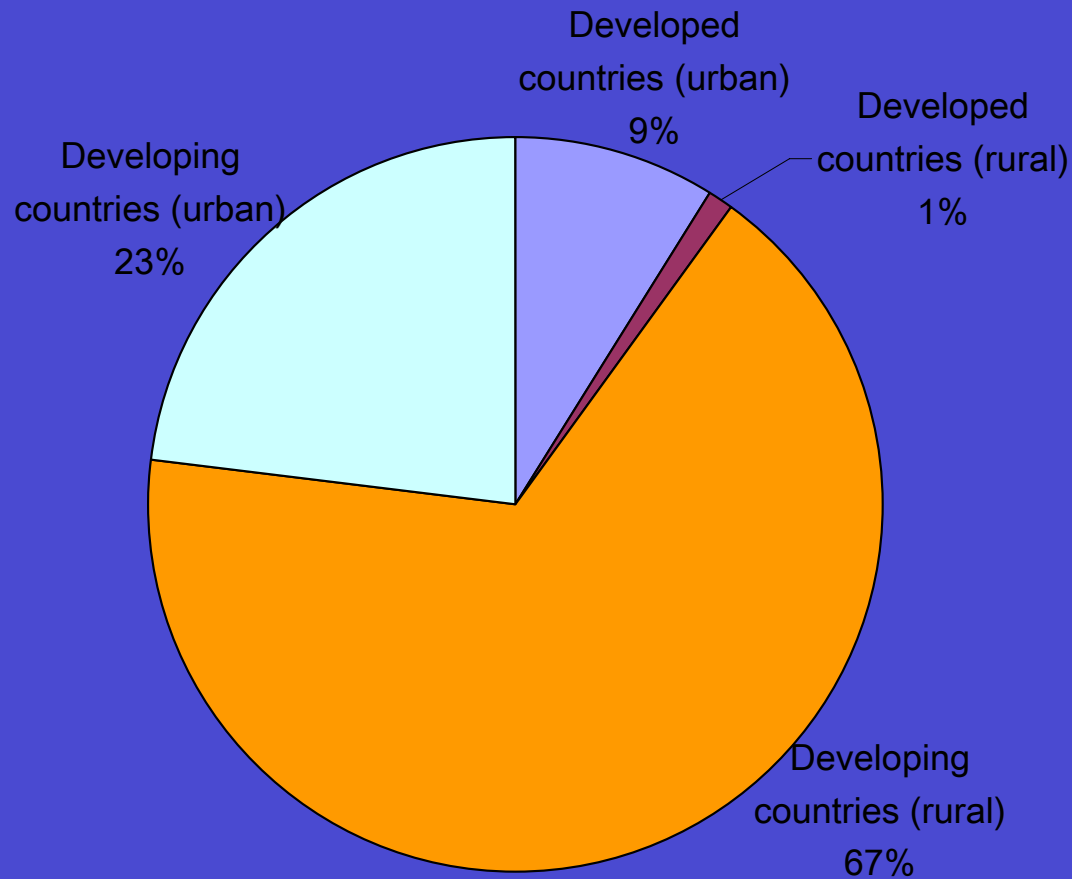
- 2003年底，北京市道路总长19896km，其中城市道路5444km，公路（含高速路）14452km；2004年底汽车保有量达到212万辆，私人机动车达138万辆。有关部门预测，2008年底，北京市汽车保有量将达到350万辆。
- 在北京，每天有超过1000万人次通过各种交通工具奔波于浩大的北京城中，花费在交通系统中的时间为1-2小时，甚至更长。6.3万辆出租车的司机每天在车内度过12小时以上。因此，车内这一微环境的污染状况与我们每个人的健康安全息息相关。

People spend most of their time indoors (>90%)

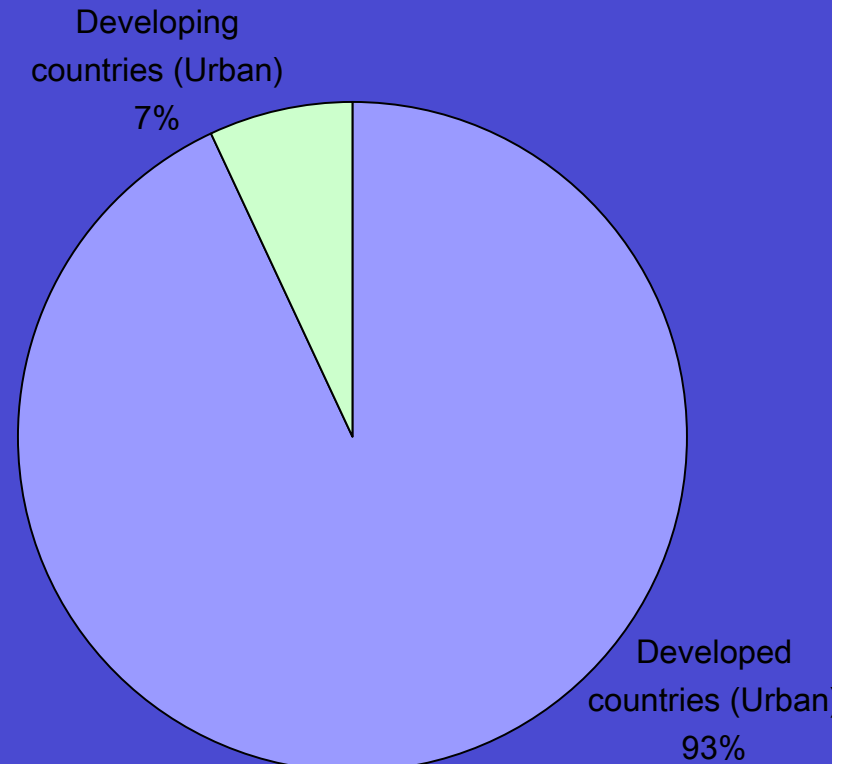


■ home □ office/school ■ other indoor environments ■ outdoor

Estimated annual deaths due to indoor and outdoor pollution exposure



**Total deaths 2.8 million
(indoor exposure)**



**Total deaths 0.2 million
(outdoor exposure)**

[WHO, 2000]

Different housing characteristics and behaviors with vary potential risks



**Change of
life style**



**Increase of daily
time spent**

**environmental tobacco smoke (ETS)
problems**



**Key elements
IAQ problems in
modern society**

**Elevate the
standard of living**

**Airtight of
buildings**



**Due to
Ventilation
decrease**



**Increase of
Consumer
products**

**Emission of new
indoor air pollutants
(HCHO, VOCs)**

**Increase of
Indoor air
pollution**



内容提要

- 研究室内空气污染的重要性与迫切性
- 室内空气污染物的主要来源
- 室内空气中主要污染物及其危害
- 室内空气污染对人体的健康效应
- 防治室内污染的主要措施

适合人生存的室内环境

室内温度:

冬季下限8~10°C

夏季上限28~30°C,

室内舒适温度 (23.5±2)°C

相对湿度:

适宜值40-70%

气流:

新风量达到卫生标准 (30m³/h)

噪声:

人能忍受的最大噪声90dB;

振动:

人体对振动开始产生生理影响值为90dB

照明:

2500Lx对人体比较适宜。

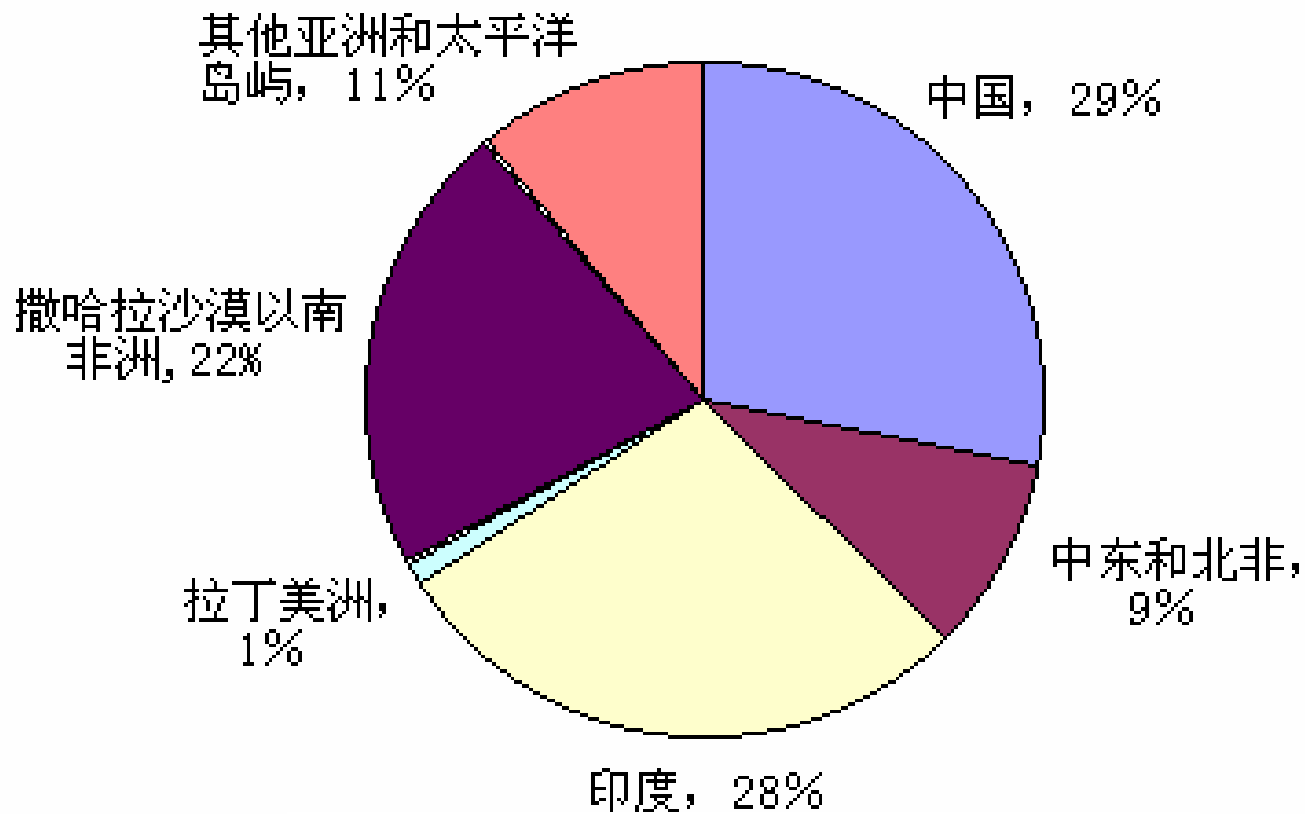
室内空气:

无毒、无害、无臭、污染物不超标。

一、研究室内空气污染的重要性与迫切性

- 经济高速发展，工业化城市化水平急速提高，生活水平不断提高，室内空气污染及其带来的危害越来越显著。
- 在不断美化和改善工作、居住环境的同时，却给室内环境带来各种污染，并对人体健康产生直接的和潜在的危害。
- 室内空气质量的好坏直接影响人们的健康和生活。
- 大气环境继“煤烟型”、“光化学烟雾型”污染后，现代人正进入以“室内空气污染”为标志的第三污染时期。对室内空气污染的研究已成为环境科学领域研究的一个新热点。

发展中国家由于室内空气污染而导致的死亡百分率



(Indoor Air Quality, ESMAP, World Bank, September 2000)

累积性：室内环境是相对密闭的空间，污染物进入室内后，若不采取必要措施会导致浓度逐渐升高，因此具有累积性。

长期性：人在室内暴露时间长，许多室内污染源长期向室内释放污染物。

复杂性：在室内微观环境中，污染源种类繁多，释放污染物成分非常复杂，各种污染物的迁移转化频繁发生，加上室外污染对室内的影响，使室内空气污染具有明显的复杂性。



室内空气污染 的特点

二、室内空气污染物的主要来源

室外污染源： 室外空气； 房基地； 人体带入

室内污染源： 燃料燃烧产物

厨房烹调油烟

香烟烟雾

建筑、装饰装修材料

日用化学品

家用电器

人群活动

家具、室内装饰装修材料

- 油漆、地毯排放 VOCs、甲醛及各种有毒有害物质
- 衣服/梳理的产物

吸烟

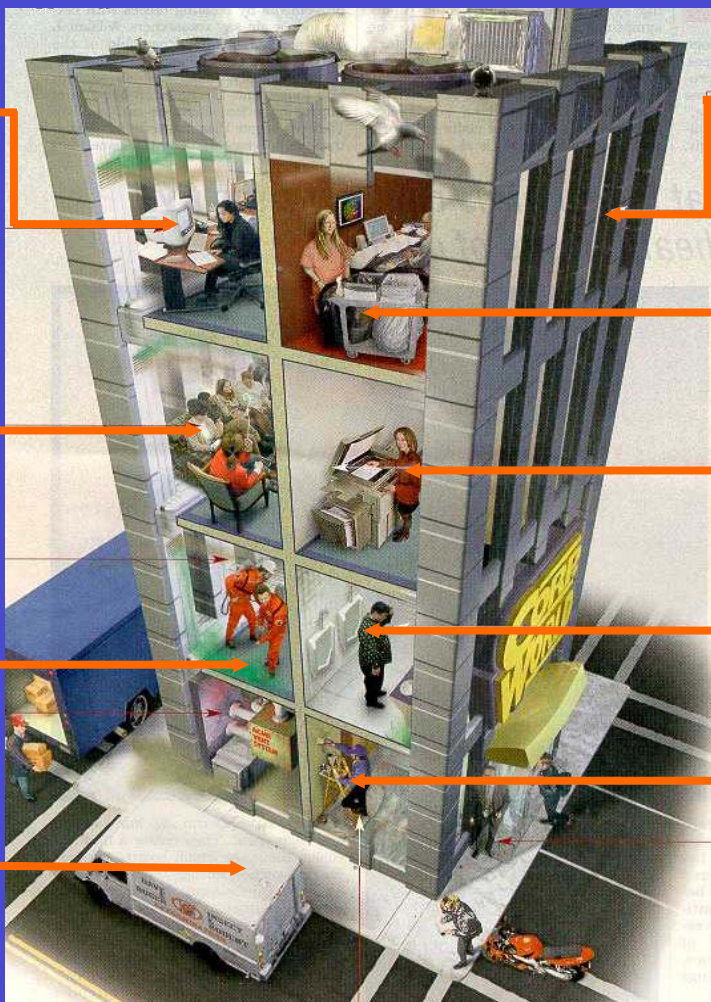
- 香烟烟雾通过通风系统

灭火剂及消防器材

- 农药等含有致癌剂

室外有新鲜空气吗？

- 城市笼罩在汽车尾气等有毒气体当中



封闭的窗户

- 无新鲜空气进入室内

致癌产品

- 市场上有近70,000种化学清洁剂等产品释放毒物

复印机和打印机产生臭氧

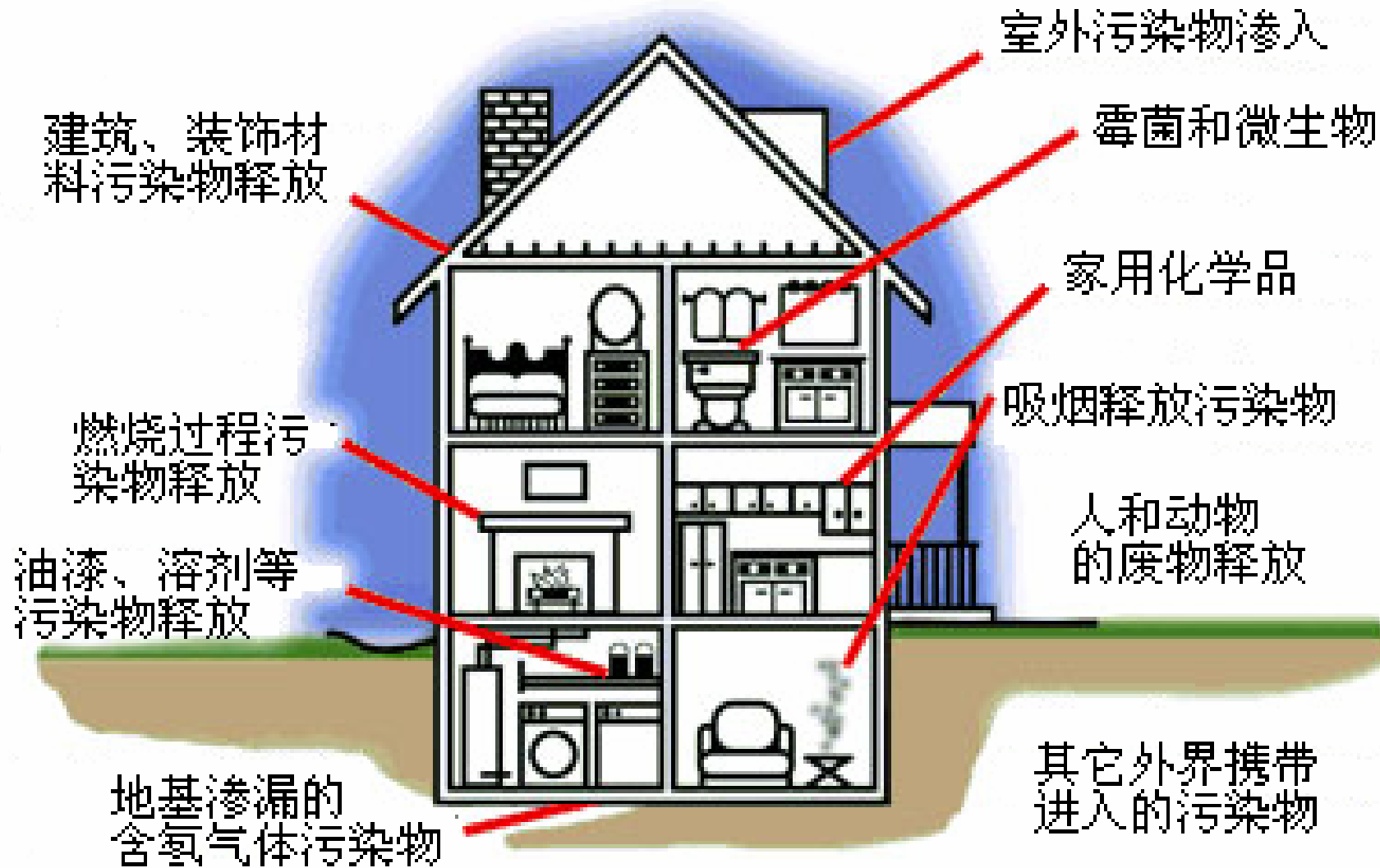
办公楼中的卫生间—霉菌发生源

办公楼修理、储藏间

- 油漆蒸汽、灰尘、气味发生源

生活和工作在现代城市的人们，完全暴露在污染空气当中，几乎无处藏身

室内污染物的来源



Modern buildings v.s. Health



室内环境污染来源分类

化学污染源 { (1) 挥发性有机物 (VOC), 来源于建材及日用化学品。
(2) 无机化合物, 如NH₃、CO等来源于燃烧产物及化学品和建材。

物理污染源 { (1) 放射性氡及其子体, 来源于建材、地基、水井等。
(2) 噪声与振动, 电磁污染: 家用电器, 照明设备等。

生物污染源 { (1) 细菌、真菌、霉菌等, 产生于垃圾, 湿霉墙体。
(2) 人为活动、烹饪、吸烟、宠物、代谢产物。

室外污染源: 室外空气污染物进入室内。

室内燃料燃烧产物

- **固体燃料**如原煤、蜂窝煤和煤球，用于炊事和取暖；
- **气体燃料**主要有天然气、煤制气和液化石油气，气体燃料是我国城市居民的主要家用燃料。
- 另外少数农村地区，还有使用**生物燃料**作为家庭取暖和烧饭的燃料。

煤燃烧产生：

- 大量悬浮颗粒物，其中含有多环芳烃 (PAH) (苯并(a)芘 (B(a)P) 等是强致癌物)；
- CO、SO₂、HCHO 等有毒有害气体；
- 金属非金属氧化物，有些氧化物具有极强毒性和致癌性，如贵州部分地区高砷煤，砷含量高达9600mg/kg，平均876mg/kg，造成砷中毒。

室内燃煤释放的颗粒物污染

地点	城市/ 农村	颗粒物 mg/m ³	地点	城市/ 农村	颗粒物 mg/m ³
上海	城市	500~1000	云南	农村	270~5100
北京	城市	17~1000	北京	农村	400~1300
沈阳	城市	125~270	吉林	农村	1900~2500
太原	城市	300~1000	河北	农村	1900~2500
哈尔滨	城市	390~610	内蒙	农村	400~1600
广州	城市	460			
承德	城市	270~700			



室内标准：0.6mg/m³

气体燃料

管道煤气 由原煤制成，其组成主要是CO和H₂，以及NO_x和颗粒物；

液化石油气 主要成分3-5个碳的链烃，例如丙烷、丙烯、正丁烷和异丁烯。液化石油气的燃烧颗粒物是燃烧不完全产物，可吸入颗粒物占93%以上，其中含有大量直接或间接致突变物质，潜在的致癌性更强。

天然气 是多种气体的混和物，主要成分是甲烷，约占总体积的80-90%。天然气燃烧比较完全，污染较轻，但燃烧产物也含有一定量CO和NO₂。

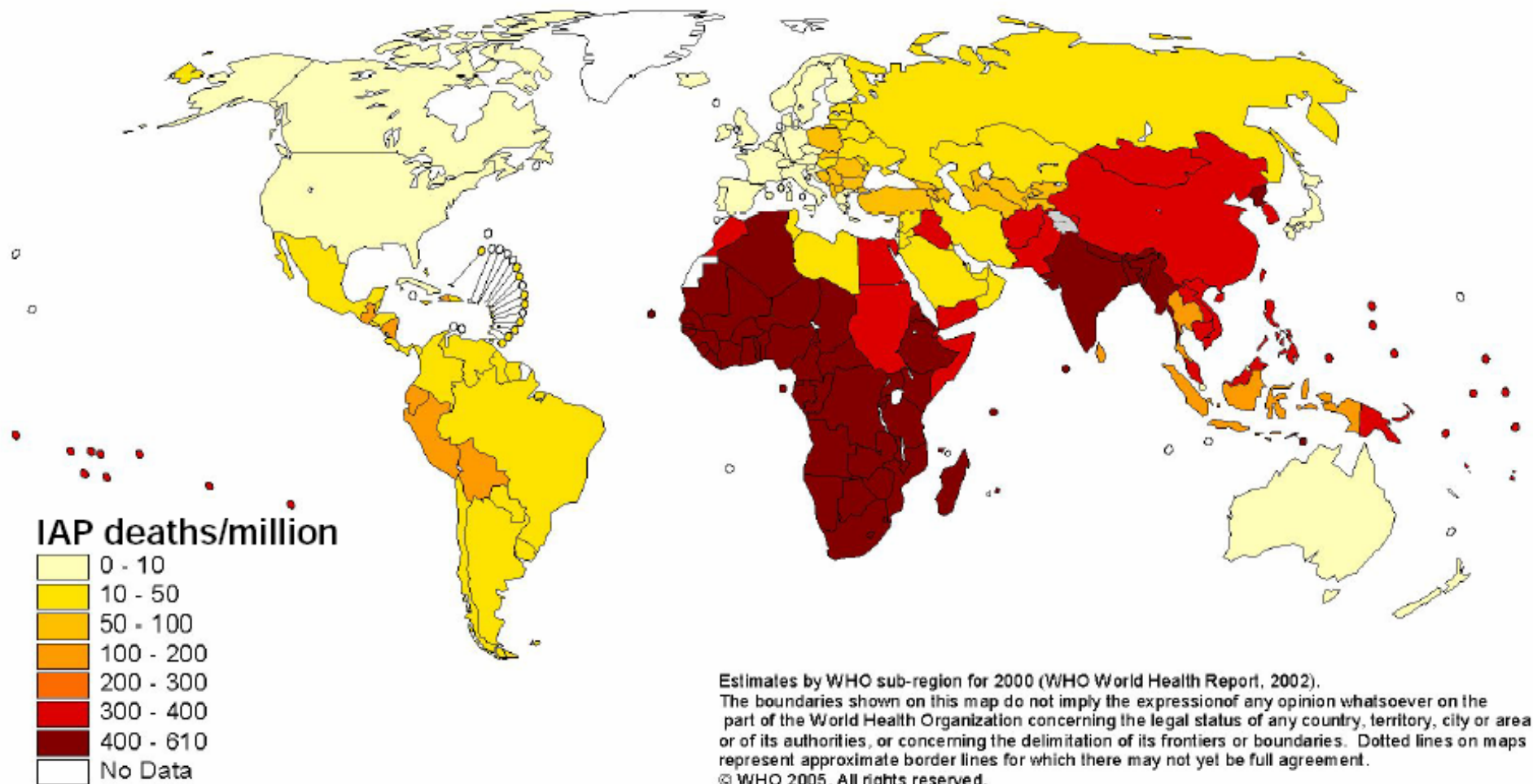
生物燃料



- 生物燃料主要指木材、植物秸秆及牲畜粪便。
- 世界上约1/2的人口使用这种燃料。我国广大农村尤其是经济欠发达地区家庭烧柴及生物秸秆十分普遍。
- 燃烧时产生大量烟雾，含有大量悬浮颗粒物和有机污染物以及多种致癌物及可疑致癌物，如苯并[a]芘等多环芳烃以及CO和HCHO等气态污染物。

全球固体燃料燃烧引发的年死亡数

Deaths from indoor smoke from solid fuels



烹调油烟。

食用油加热后产生，通常炒菜温度250°C以上。

厨房油雾（油烟凝聚物）约有200多种成分，多种为致突变性物质，具有潜在的致癌性，主要引起呼吸系统疾病及癌症。（如上海中年妇女肺癌高发人群）

菜油、豆油含不饱和脂肪酸较多，具有致突变性；猪油中含量少，无致突变性。由于我国习惯上采用高温油烹调，而且随着生活水平的提高，食用油的消耗量不断上升，厨房油雾污染应予以足够重视。

环境烟草烟雾污染

- 常见的室内空气污染物，成分非常复杂，目前已鉴定出3000多种化学物质，在空气中以气态（90%）、气溶胶状态存在。
- 气态污染物中有CO、CO₂、NO_x、氰化氢、氨、甲醛、烷烃、烯烃、环芳烃、含氧烃、亚硝氨和联氨等；
- 气溶胶中主要成分是焦油和烟碱（尼古丁），每只香烟可产生0.5—3.5mg尼古丁。焦油中含有大量致癌物质，如100多种环芳烃、砷、镉、镍等。

香烟烟雾—烟草一般介绍

- 烟草属茄科植物，栽培最多为“**红花种**”，
- 原产墨西哥和西印度群岛，
- **1492年哥伦布到达南美洲的圣萨尔岛，发现当地土著人吸“和平烟”，传入欧洲，**
- 1550年法国驻葡萄牙大使让·尼科传入法国，治皮肤病，为女王治偏头疼，
- 瑞典植物学家将其命名为“Nicotiana”，在欧洲广为流传。
- 香烟是在我国明朝后期，由葡萄牙商人传入我国。迄今已有 300多年历史，

香烟烟雾的组成

一支400–500mg的香烟含有：

总悬浮粒子36200 μ g/支（侧流烟25800）、

焦油 500 – 29000 μ g/支（侧流烟44100）、

尼古丁100–2500 μ g/支（侧流烟2700–6750）、

总酚228 μ g/支（侧流烟603）、

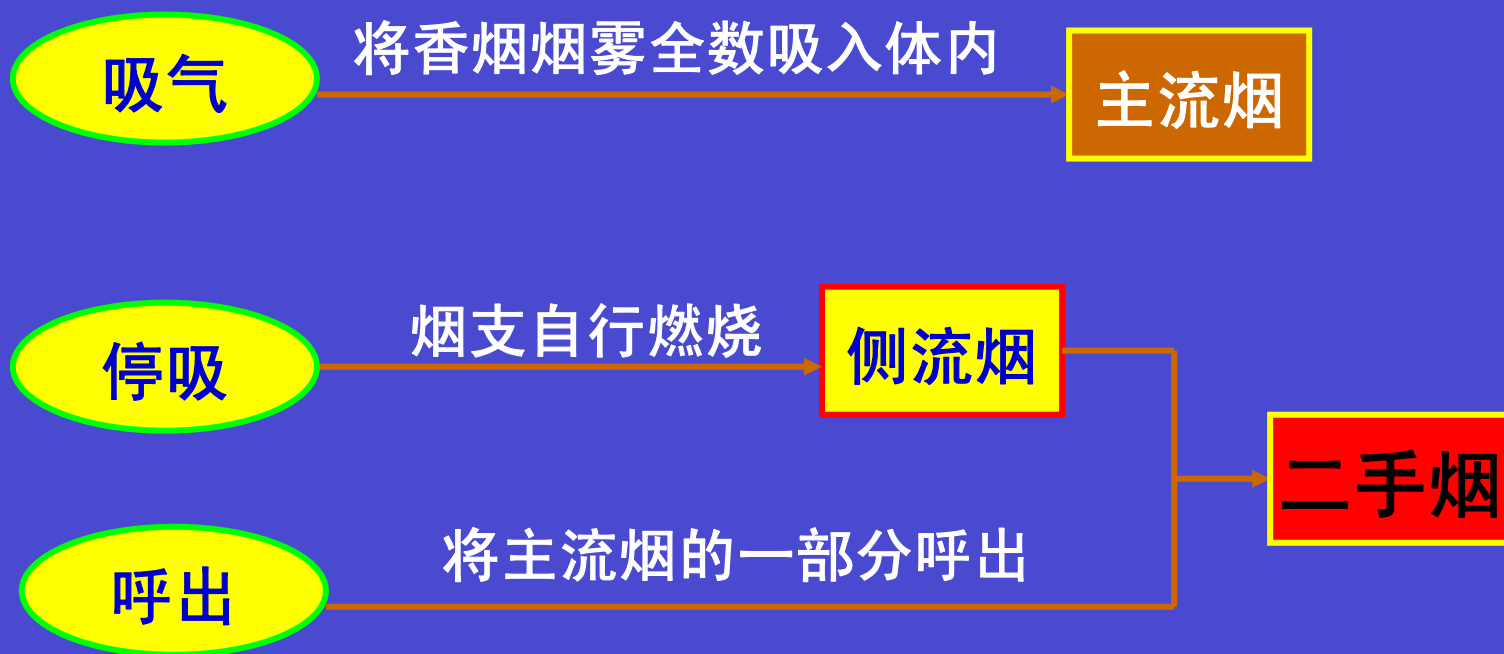
苯并[a]芘20~40（侧流烟68~136） μ g/支，

许多重金属、醛类、多种挥发性有机物。

香烟烟雾—潜在致癌物

- 1993年，美国环保局（EPA）经过广泛调查研究，将香烟烟雾列入“**人群A级致癌物**”。
- 世界卫生组织从1989年起将每年的**5月31日**定为**世界无烟日**。
- 在新世纪第一年（2001年）无烟日提出的口号是“**清洁空气，拒绝二手烟**”。
- 吸烟者吸一口烟分为**吸、停、呼**三步，造成主动吸烟和被动吸烟。

二手烟的产生过程



长期吸烟者比不吸烟者:



肺癌发病率高10—20倍

疾病	发病率高
肺癌	10—20倍
喉癌	6—10倍
冠心病	2—3倍
循环系统	3倍
气管炎	2—8倍



喉癌发病率高6—10倍



冠心病发病率高2—3倍



循环系统发病率高3倍



气管炎发病率高2—8倍

我国是烟草大国

- 香烟是在我国明朝后期，由葡萄牙商人传入我国。迄今已有 300多年历史，
 - 现全国有烟民约3.2亿，并以3%/年的速率递增，4亿以上被动吸烟人群，青少年吸烟人群5000万。
- 卷烟总产量及烟草消费均占世界同项的1/3
 - 烟草行业的利税占中国财政收入的1/10左右。
- 现在我国每年有73万人（美国总计43万人）因患与吸烟相关疾病而死亡。全球平均每10s就有1人因吸烟而提早离开人世。

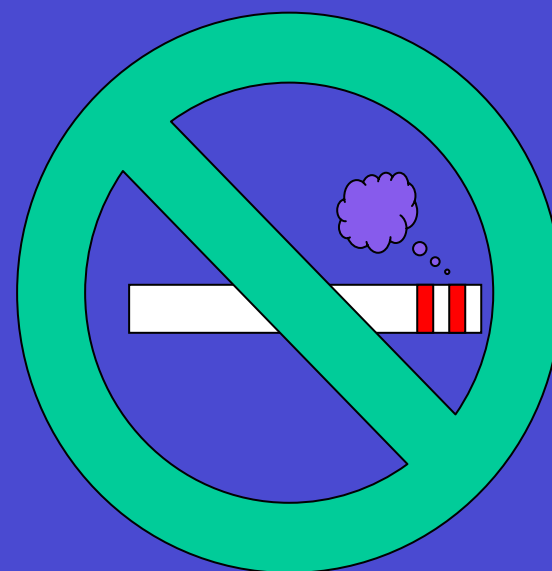
2005年2月27日，全球首个反吸烟公约生效。到目前为止，共有167个国家在公约上签字，共有57个国家批准了公约。2003年11月10日中国签署了该公约

•全球烟民13亿人，每年500万人死于吸烟，烟草已成为继高血压之后的第二大杀手！

25年内，中国将减少烟民1.1亿。

预计2010年以前我国中年人患心脏病的几率将和美国人持平

预计一二十年后，我国中风发病率是西方国家的四倍



室内建筑、装修材料污染源

- **无机和再生材料**—放射性污染，石棉纤维污染和氨气等。
- **合成绝热板材、人造板材、人造家具**，使用聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚氨脂和脲醛树脂泡沫塑料—释放甲醛、氯乙烯、苯系物等500多种有机物，其中有20多种有致癌或致突变作用。
- **壁纸、地毯，纯毛制品**是致敏源；化纤制品释放甲醛等有机物，尘螨滋生地。
- **涂料和粘合剂**，释放大量有机污染物。

日用化学品污染

- 洗涤产品、清洁产品、染料脱色剂、化妆品、发胶、家用农药和化肥等，分别含有数量不等的**重金属**，**有机化合物如醛类产品、芳烃系列**等。
- 对皮肤有刺激性，腐蚀性、具有潜在毒性，污染严重时伤害皮肤。
- 挥发出的各种有机气体，污染室内空气。

家用电器污染

- 电视、微机产生电磁辐射，荧光屏在高温作用下可产生一种叫溴化二苯并呋喃的有毒气体，具有致癌作用。
- 烤箱、微波炉是较强辐射源，对人体产生危害，主要表现为头昏、乏力、记忆力减退，还可引起眼睛角膜损害和白内障等。
- 空调因新风量不够，使污染物聚集，产生空调病。燃气热水器，可产生CO、CO₂、NO_x、SO₂等污染。

室内人群活动产生的污染

- **吸烟**是室内重要污染源。吸烟烟雾中成分复杂，有上千种化合物以气态（占90%以上）和气溶胶状态存在，气态物质中许多是致癌、致畸、致突变物质。
- **人体代谢**：大量排泄物产生气味；室内活动，增加室温，促使细菌、病毒等大量繁殖；增加CO₂浓度，使人头昏眼花，影响工作学习效率。
- **饲养宠物**：宠物身上寄生虫，诱发疾病；代谢产物含有真菌、病源体，传染疾病；特殊气味、皮毛、抖落尘埃也是致病因素。

公共场所的污染

- 商场、旅馆、歌舞厅、美容美发厅、浴室、公共游泳池、饭店、食堂餐厅、医院、诊疗所、影剧院、商场、候车室等，**人员复杂，流动性大，特殊场所，特殊污染物，各种污染复合交叉，环境污染包罗万象。**
- 室外污染对室内的影响

三、室内主要污染物 及国家质量标准



室内空气质量国家标准（2002.12.18）

化学污染物（除*为日均值外，指小时均值）：

二氧化硫	0.50 mg/m ³	甲醛	0.10 mg/m ³
二氧化氮	0.24 mg/m ³	苯	0.11 mg/m ³
一氧化碳	10 mg/m ³	甲苯	0.20 mg/m ³
二氧化碳	0.10 %	二甲苯	0.20 mg/m ³
氨	0.20 mg/m ³	苯并[a]芘*	1.0 mg/m ³
臭氧	0.16 mg/m ³	可吸入颗粒物*	0.60 mg/m ³
总挥发性有机物（TVOC）	0.60 mg/m ³ （8小时均值）		

室内主要的污染物

1. 甲醛 (Formaldehyde, HCHO)

- 甲醛是具有强烈刺激性的气体，是一种挥发性有机化合物，对人体健康影响表现在刺激眼睛和呼吸道、造成肺、肝、免疫功能异常。国外报导，浓度为0.12mg/m³的甲醛，使儿童易发生气喘。
- 在1995年，甲醛被国际癌症研究机构（IARC）确定为可疑致癌物。
- 2004年6月15日甲醛被国际癌症研究机构（IARC）确定为A类致癌物。

甲醛的理化特征

- 甲醛又称蚁醛，无色、有强烈刺激味的气体， $d=1.06$ ，易溶于水、醇和醚，30~40%水溶液为福尔马林液。
- 甲醛是一种广泛的空气污染物，自然界中甲醛是甲烷循环的一个中间产物。其环境背景值一般低于 $0.03\text{mg}/\text{m}^3$ ，城市空气中甲醛年均浓度约为 $0.005\sim 0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- 我国公共场所标准规定空气中甲醛最高允许浓度 $0.12\text{mg}/\text{m}^3$ ，
- 居室空气中，甲醛的卫生标准为 $0.08\text{mg}/\text{m}^3$ (GB/T16127-1995)。国家标准为 $0.10\text{mg}/\text{m}^3$

室内空气中甲醛的主要来源

- **建筑材料：** 各种含尿醛树脂的建筑材料和泡沫绝缘材料。
- **装饰材料：** 墙壁材料、木质胶合板、纤维板、油漆、黏合剂，化纤织品如地毯、壁布。
- **生活用品：** 液化石油气、化妆品、清洗剂、消毒剂、香烟烟雾和书刊杂志（油墨印刷）
- **室外源：** 自然界植物排放，工业生产和汽车尾气排放。

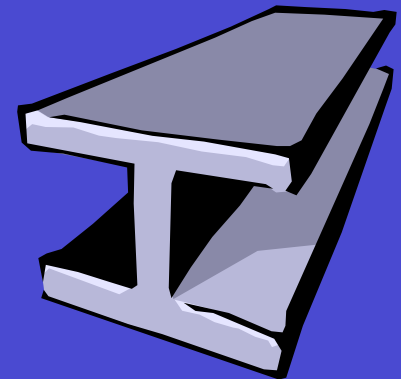
甲醛的年产量和用途

1. 全世界现有甲醛生产厂（公司）540多家，年生产能力约为28Mt/年。
2. 中国有232家，主要集中在山东、河北、江苏和广东。总生产能力为4.7 Mt/年。
3. 1994年甲醛的生产量99万吨，2001年达234万吨，2003年国内需求量295万吨，2004年大约为320万吨，发展速度惊人。

甲醛的主要用途

1. **胶粘剂**消耗甲醛所占比重最大，约占甲醛总量的33%，塑料市场消耗甲醛占总量的15%，涂料在甲醛消费中所占的比例大约为5%。
2. 胶粘剂总量的80%用于木材加工。建筑及装潢材料每年以27.1%增长；家具类每年增长21.8%。
3. 用甲醛制造胶粘剂包括：**酚醛树脂胶、脲醛树脂胶和三聚氢胺甲醛树脂胶**等。

- **脲醛树脂**（以甲醛为主要成分）是室内各种板材的主要原料。因合成时甲醛过量，故板材中残留不少甲醛。
- **合成织物**等为了改善纤维性能使用**甲醛树脂整理剂**，故使用过程中释放甲醛。
- **燃料、烟叶不完全燃烧时会排放大量甲醛**。如香烟烟雾中含有甲醛 $14\sim 24\text{mg}/\text{m}^3$ ，每吸一口烟，最多可吸入 $81\mu\text{g}$ 甲醛。一本2cm厚的新书，一小时可释放出 $1\mu\text{g}$ 甲醛。
- **化妆品、清洁剂**等可释放大量甲醛。



脲醛树脂与酚醛树脂制作方法

脲醛树脂:

HCHO (37%) 50g + NaOH (30%溶液) 适量
+ 脲素40g 在 90°C 加热一小时。

酚醛树脂:

苯酚100g + NaOH10.6g + HCHO (37%) 29.2g +
水适量加热。

甲醛用于食品加工

1. 北京市对35个农贸市场和33个大中型超市、商业的水发食品突击监督检查，现场对虾仁、百叶、鱿鱼、海参、鸭掌等水发食品926件，查出有32.2%的水发食品掺入了甲醛。
2. 北京市海淀区几家超市和农贸市场的血豆腐里检出了甲醛300mg/kg。从鸭血豆腐中测出了甲醛388 mg/kg。

3. 广州、江西、江苏等地卫生检测部门还在**米粉、粉丝、腐竹、蜜枣**等食品中查出掺入甲醛。
4. 甲醛作为反应剂广泛应用于各种纺织整理助剂中，如**树脂整理剂、固色剂、柔软剂、粘合剂**等都有游离甲醛的释放，因此，床上用品、服装、窗帘等纺织品中甲醛含量有的超标高达3500 mg/kg，是**国家标准限量的50倍**。

甲醛的其他
用途

HCHO

无色、具有刺激性的气体

小于
 $1.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，对
眼、鼻、喉、
上呼吸道刺激
较小

大于 $65\text{mg}/\text{m}^3$ ，引起肺
炎、肺水肿，甚至死亡
长期接触高浓甲醛，鼻
腔、口、咽喉部癌，消
化系统癌，肺癌、皮肤
癌和白血病

长期接触低浓度
甲醛（ $0.017 \sim$
 $0.068 \sim 3\text{mg}/\text{m}^3$ ），
症状强度较弱，
但症状与急性症
状一致。

2004年被国际癌症研究机构（IARC）列为第一类致癌物；
2005年1月31日，美国健康和公共事业部及公共卫生局发布的
致癌物质报告中，将甲醛列入一类致癌物质

2. 氨 (Ammonia, NH_3)

- 氨 (NH_3) 为无色而有强烈刺激气味的气体，极易溶于水、乙醇和乙醚， 0°C 时每升水可溶解1176升，即907g氨。
- 大气中氨主要来源于自然界或人为的分解过程，**氨是含氮有机物质腐败分解的最后产物。**
- 氨是化学工业的主要原料，应用于化肥、塑料、制药等行业，合成尿素、合成纤维等。

氨的室内来源

- 在建筑施工中为了加快混凝土的凝固速度和冬季施工防冻，在混凝土中加入高碱混凝土膨胀剂和含尿素与氨水的混凝土防冻剂。随着环境变化而从墙体释放出。
- 木制板材在加压成型中使用了大量粘合剂，此粘合剂主要是甲醛和尿素聚合而成。在室温中易释放甲醛和氨。
- 室内装饰材料，家具涂饰时所用添加剂和增白剂大部分都用氨水。但释放较快。

氨对人体危害

- 对口、鼻粘膜上呼吸道有强烈刺激作用。
- 浓度过高时可通过三叉神经末梢的反射作用而引起心脏停搏和呼吸停止。
- 氨被吸入肺后容易通过肺泡进入血液，与血红蛋白结合，破坏运氧功能。
- 我国洗发店、美容店卫生标准规定，空气中氨的浓度 $\leq 0.5\text{mg}/\text{m}^3$ ，室内空气中氨的浓度为 $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 。

氨污染防治

- 冬季建筑施工中，严格限制使用含尿素的防冻剂。北京从2000年3月1日起，**严格限制使用这类防冻剂。**
- 装修时应减少采用人工合成板型材。**尽量少用或不用含添加剂和增白剂的涂料。**
- **通风换气**是消除室内空气污染的有效手段，**空气新风机。**
- **利用光催化技术净化室内空气，TiO₂光催化剂。**

3. 装潢材料中的放射性污染

- 自然界中的花岗岩或大理石在形成过程中捕获了大量放射性元素如钍、铀等，如在装修中大量使用，其中的放射性元素会衰变成一种无色无味的子体元素即惰性气体—氡，它弥散在大气中。
- 氡（Rn）是元素周期表中第86号元素（84号以后都是放射性元素），在地壳中的含量约 4×10^{-13} mg/kg，是作为地壳中所含放射性铀、钍的子体存在。

放射性污染—氡 (Radon)

- 氡气是世界卫生组织确认的19种重要环境致癌物之一。

假如室内通风不良，人体长期受到高浓度氡的辐射，可导致肺癌、白血病及呼吸道方面的疾病。人们称之为“**红颜杀手**”。

- 我国预测氡及其子体所致肺癌占公众肺癌的3%~20% (约5万人)，美国权威机构统计，美国每年肺癌死者之中，约8%~20%是氡所致 (约2万人)。

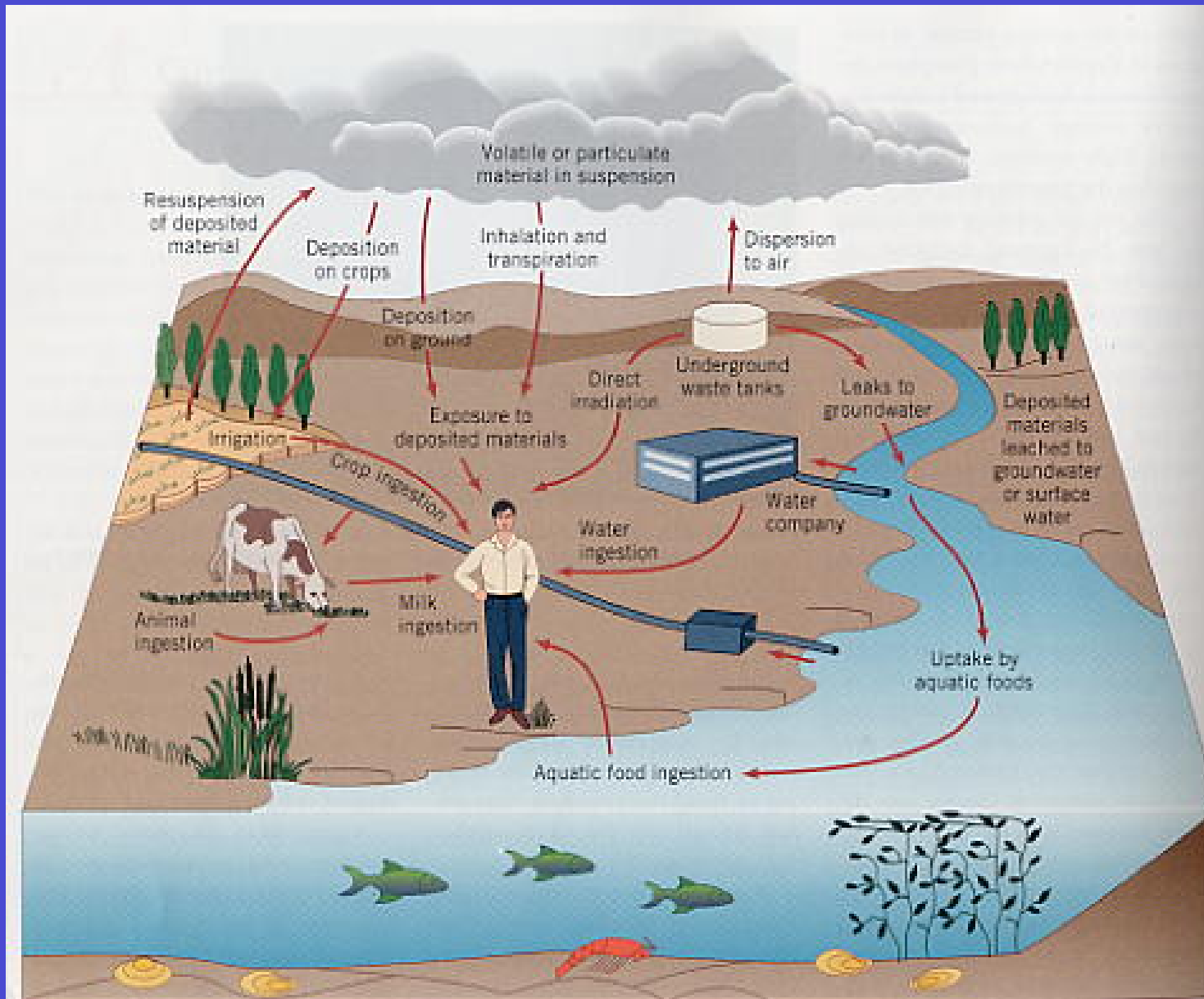


FIGURE 18.11 How radioactive substances reach people. (Source: E. Schroyer, ed., 1985, *Radioactive Waste*, 2nd printing, American Institute of Professional Geologists.)

放射性污染基本知识

- 天然本底辐射的照射，不会给人类带来什么危害。
- 危害主要通过两种途径，一种是铀、钍等核素在衰变过程中放射出的 α 、 β 、 γ 射线直接照到人体所致，称之为**外辐射**。另一种是核素通过食物、水、大气等媒介摄入人体后自发衰变放射出电离辐射所致，称之为**内辐射**。**建材主要危害是内辐射**。
- **铀（U）** 是一重要的放射性元素，共有三种同位素，即： $^{238}\text{U}_{92}$ 、 $^{235}\text{U}_{92}$ 、 $^{234}\text{U}_{92}$ ，天然铀矿中三种同位素的分配比率是：99.27%、0.72%、0.0056%，可见 $^{238}\text{U}_{92}$ 是铀系大家族中的第一代，在其衰变过程中，不断放射出 α 、 β 、 γ 射线，共有18代子体。

α 、 β 、 γ 射线简介

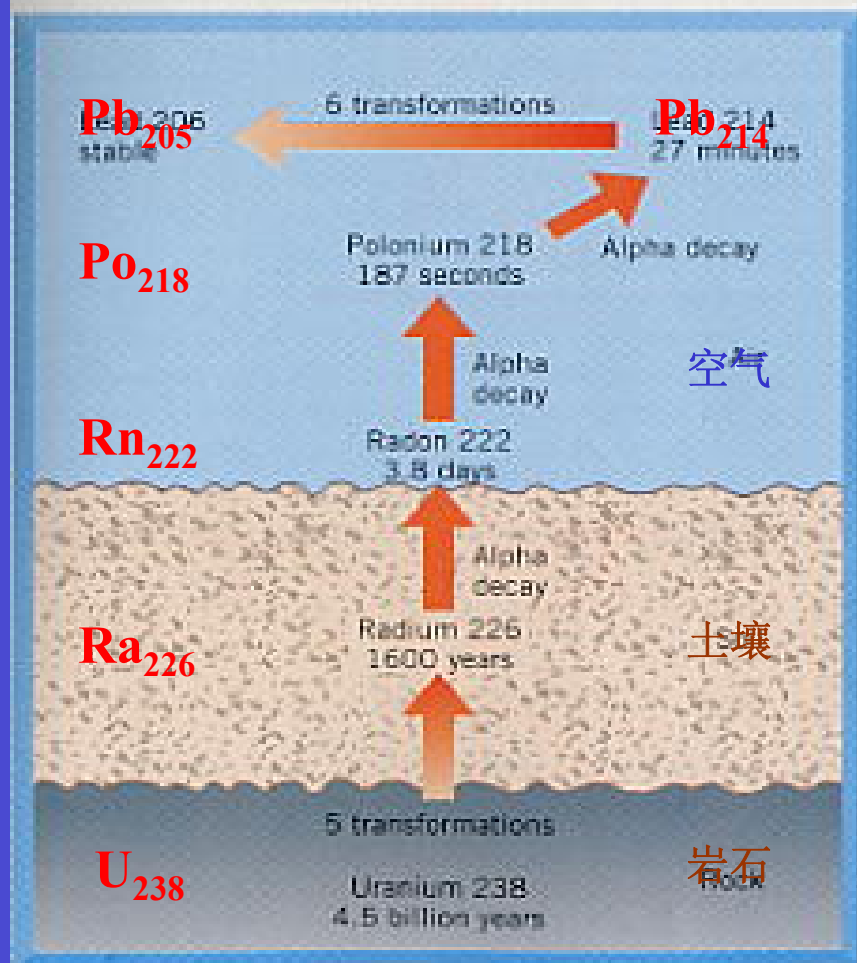
α 粒子即氦原子核 (${}^4\text{He}_2$)，能量4~10百万电子伏特 (MeV)，电离作用很强但穿透性很弱，空气中只5~8cm，人体内只能穿透0.005~0.008cm，离机体很近才有伤害。

β 粒子即电子，质量是质子的1/1840， β 射线即高速电子流，接近光速，电离作用较弱但穿透性比 α 粒子强，空气中射程几到几十米。

γ 射线是一种波长极短的电磁波，即不带电的光子流，能量几十万eV，电离作用极弱但穿透力极强，空气中射程可达几百米。人体受到其外照射，伤害作用较大。

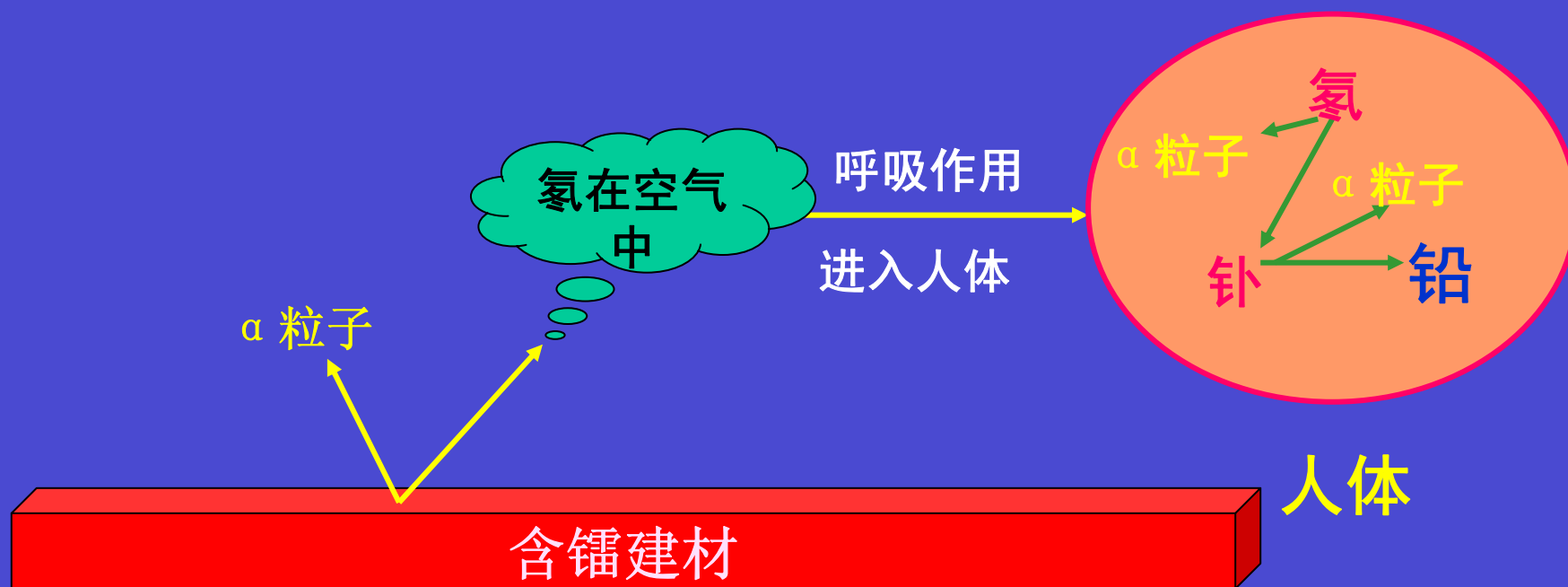
装潢材料中的放射性污染

FIGURE 25.2 Simplified diagram showing the radioactive decay chain for radon. Not all isotopes are shown. Half-lives and type of decay are shown for some.



- 镭的半衰期可达1600多年，含镭建材一旦选定，其释放到空气中的氡气量在几百年内可视为一个稳定值。
- 因此，慎选建材，免受放射性伤害。
- 放射性含量：花岗岩、页岩等岩石建材 > 沙子、水泥、混凝土、红砖 > 石灰、大理石 > 天然石膏、木材。
- 工业废渣建材如粉煤灰砖放射性含量较高。

含镭建材放射性释放过程



α 和 β 衰变

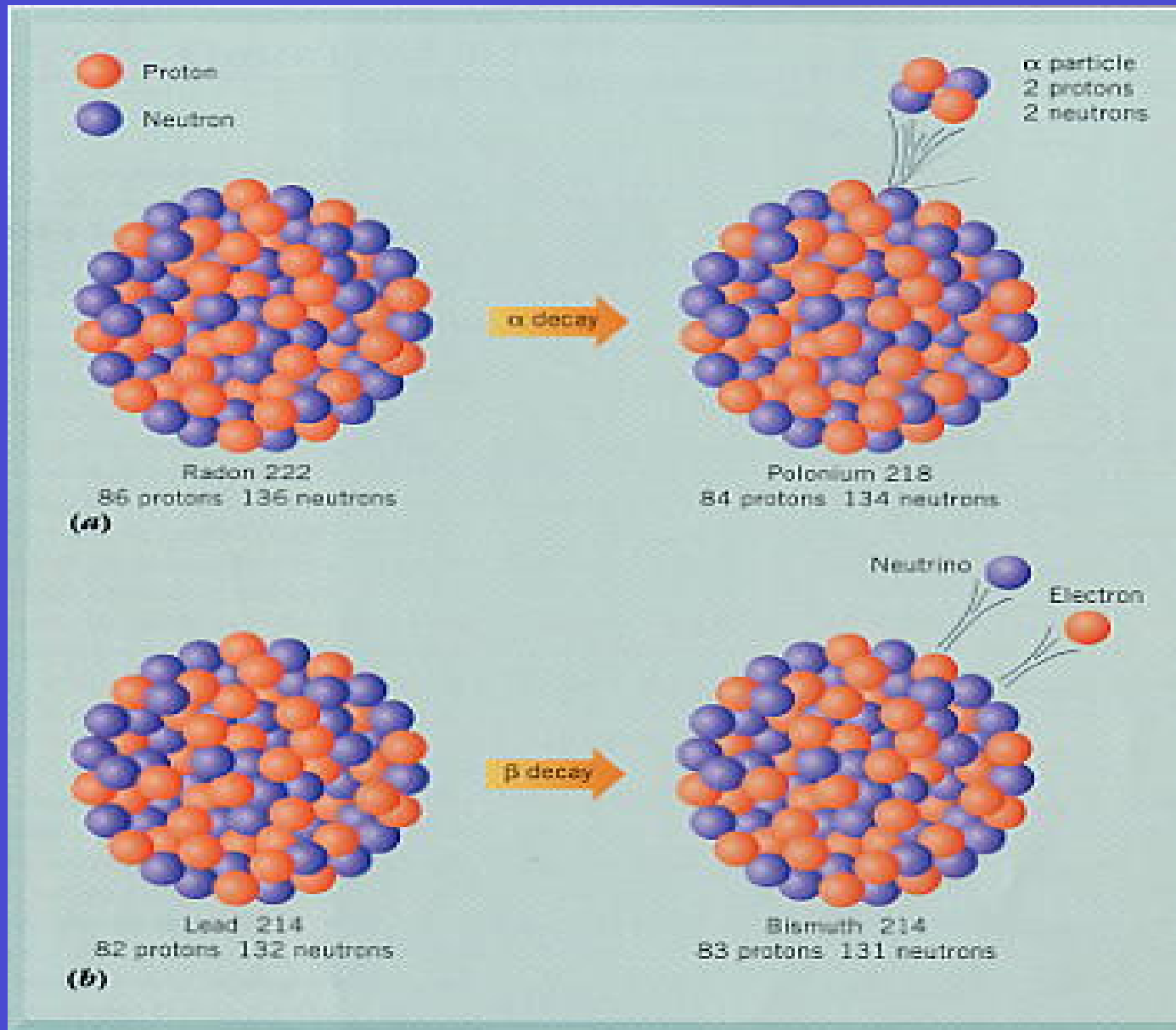
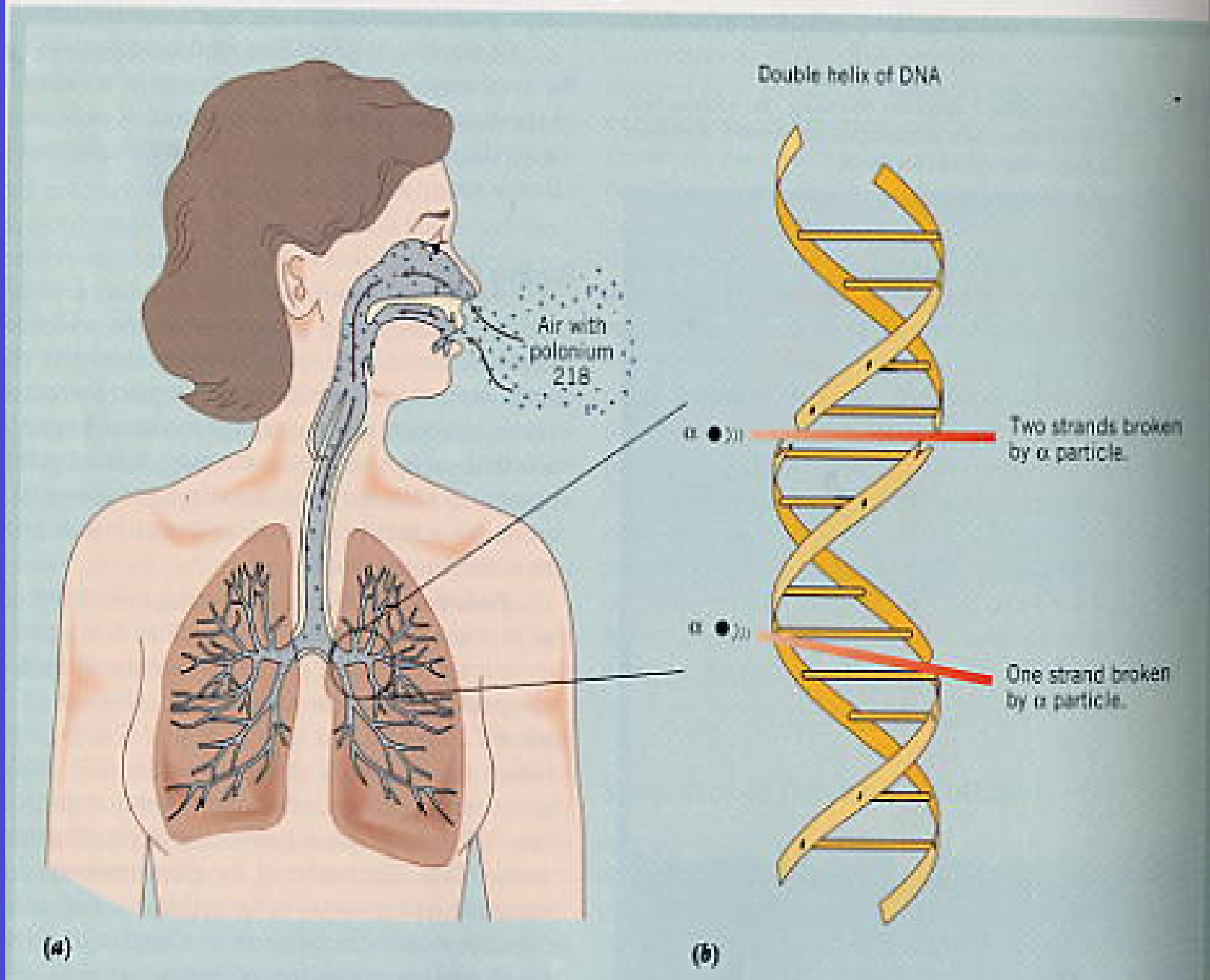


FIGURE 23.5 (a) Deposition of polonium 218 in the lungs. (b) Alpha radiation (particle) breaking one or both DNA strands at the cell level. (Source: Modified after D. J. Brenner, 1989, *Radon: Risk and Remedy*, W.H. Freeman & Co., New York. Reprinted with permission.)



氡的来源

- 地基、地层间隙及地质断裂带，氡高本底地区析出。
- 铀矿开采过程
- 从土壤、岩石表面析出。
- 燃煤、燃气过程中产生。
- 地下水中析出。
- 地下建筑、氡高本底地区泥、土、沙、石
- 使用矿渣水泥灰渣砖的建筑。
- 不合格建材。

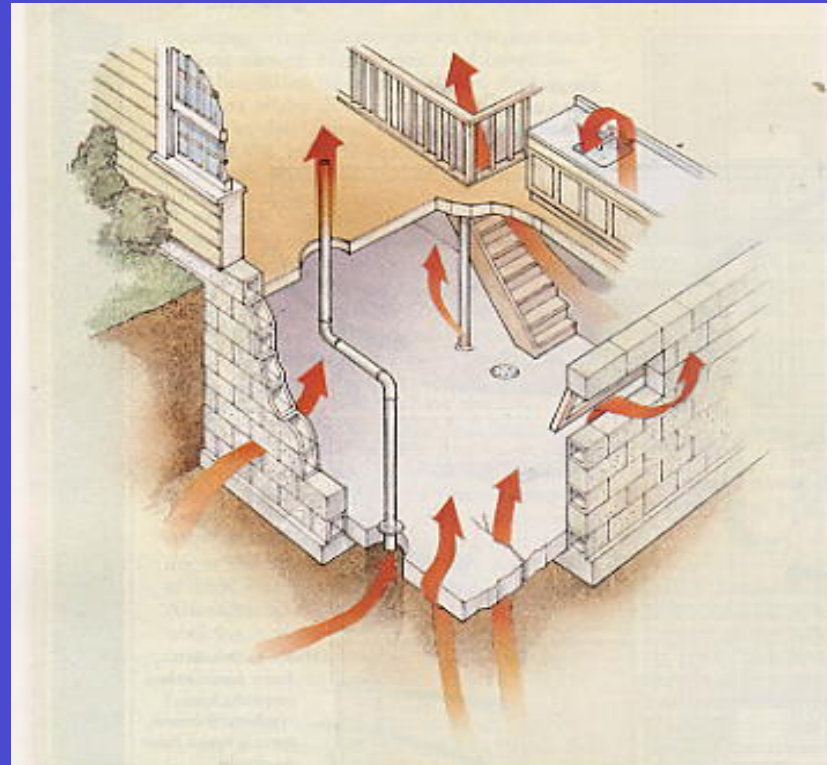


Figure 19-11

How radon infiltrates a house. Cracks in basement walls or floors, openings around pipes, and pores in concrete blocks provide some of the entries for radon.

氡的危害

- 氡是一种无色、无味、无臭又没有化学反应的气体，所以它对人体基本上不产生化学毒性。又由于它比空气重6.5倍，所以居室中氡多积聚在底层或地下室。
- 短时大剂量或长时间小剂量都可引起氡气中毒的事故。
- 1922年11月19日，英国探险家卡那封勋爵在埃及图特（图坦卡蒙）法老墓（已在地下沉睡了3300年）进行考古研究。

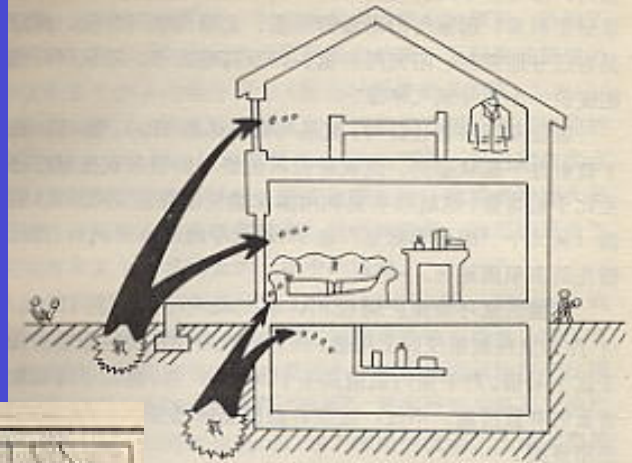


图1 地下的氡气逸入室内

中国肺癌死亡率地图，1979



氡浓度随楼层的变化—北大园区

地点 (Bq/m ³)	楼层	氡浓度
燕北园	4	25.5
学生宿舍	1	41.2
	3	14.0
图书馆书库	1	56.9
	2	39.0
新地学楼	1	75.0
	2	25.3
	地下室	75.1

室内氡污染控制

- 选房址。美国有全国铀分布图。
- 不使用不合格建材和装饰材料。
- 安装空气净化器。
- 喷涂防氡涂料，效果一般80%左右。
- 防止土壤气体进入生活区。封锁氡进入室内渠道。

4. 挥发性有机化合物（VOC）

室内VOCs主要有苯系物，脂肪烃，多环芳烃，有机酸，碱，脂胺，醇，酮，醛，杂环化合物，其中多环芳烃主要以两环的萘类化合物为主。

在室内空气污染物种类中，VOCs占绝大多数，国外文献报道，在室内空气中检测出350多种浓度超过1ppb的VOCs。

室内VOCs主要来自燃气、燃煤、烟草烟雾、建筑材料、装饰材料及人类活动等。国外研究表明，室内一些常见的VOCs的浓度会达到室外相应VOCs浓度的2—5倍。

挥发性有机化合物（VOC）

- VOC主要来源于有机溶剂（稀释剂），多种涂料溶剂含量不同：
- 传统低固含量溶剂型涂料有机溶剂~50%。
- 乳胶漆溶剂是水，VOC<5%。
- 新型乳胶漆，VOC <2%。
- u-v 固化漆，VOC <2%。

5. 室内空气中的颗粒物

- 颗粒物是一类重要的大气污染物，颗粒在 $30\mu\text{m}$ 以上的颗粒，由于重力引起的沉降作用，会很快从大气中去除，故对人体健康的危害较小；颗粒在 $10\mu\text{m}$ 以下的颗粒物（可吸入颗粒物），受气体动力学作用，可长期飘留在空气中，随呼吸进入人体肺部。
- 空气中的悬浮颗粒物具有很强的吸附能力，因此可吸入颗粒物成分复杂，往往是多种有害物质进入人体的载体。包括多种金属，如铅、镉、汞及其氧化物，有害气体和致癌性很强的苯并[a]芘等多环芳烃类化合物，从而可诱发人类眼睛、呼吸道、肺等器官的多种疾病。
- 近年来有关计量一响应研究表明，可吸入粒子的浓度每增加10%，人类年死亡率（事故除外）将增加4%。可见，可吸入颗粒物对人体危害很大。

6. 一氧化碳和二氧化碳

- CO是燃料不完全燃烧的产物，是无色、无味、无臭气体，是一种侵害血液、神经的毒物。CO由于能与血红蛋白肌红蛋白等迅速结合而抑制它们的活性，常时间接触低浓度CO会造成慢性中毒，对心血管系统、神经系统等产生不良影响；而高浓度CO可导致中毒死亡。
- CO₂是一种无毒气体，但居室内CO₂浓度增高室内空气中的含氧量会相对降低，CO₂含量过高，会导致头痛、头晕、耳鸣、昏睡等症状。

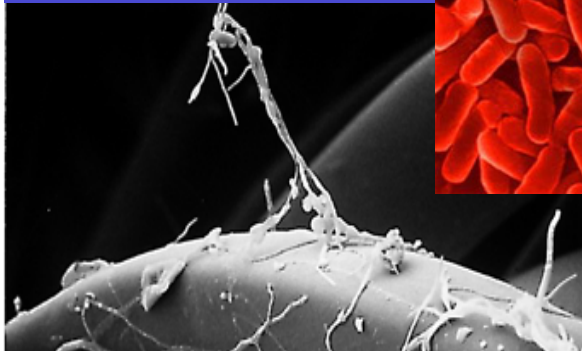
7. 微生物污染

- 室内空气中的微生物成分极其复杂，除了一些菌类（如真菌等），还包括一些致敏性的孢子、病原体、螨等危害性物质。它们对人体的作用也很复杂，流行病学的调查表明，室内空气污染物中的病原体可以导致流感、流脑、白喉、猩红热等疾病，2002—2003年在我国、南亚地区及加拿大广泛流行的恶性传染病“非典型肺炎”（又称sars），就是由冠状病毒这种微生物传染造成。

Bio-contamination in indoor environments



Legionella spp.



Fungi grown on the carpet fibers



室内空气污染所致人体健康效应

室内空气污染对呼吸系统的作用

- 空气污染物直接作用于人体的呼吸系统，室内空气污染暴露与多种呼吸系统健康效应有关。主要包括肺功能的急慢性改变，呼吸道症状率的增加，气管炎和哮喘以及呼吸道感染性炎症等。主要临床表现为咳嗽、咳痰、呼吸短促和喘息；气道炎症和粘液过度分泌，气道狭窄等。
- 二氧化氮、环境烟草烟雾、病原微生物和甲醛污染是室内引起呼吸系统健康效应的主要因子。

室内空气污染所致过敏及其他免疫效应

- 过敏性哮喘和过敏性鼻炎是室内空气中过敏源和刺激源所致的最严重的过敏性疾病。
- 复合化学物质敏感症，又称为“**总过敏综合症**”，也可以由装修型化学性室内空气污染引起，
- 室内环境中的尘螨、宠物、昆虫和霉菌是过敏性哮喘和鼻炎的主要过敏源，室外过敏源如花粉和霉菌也可通过开启的门窗或通风系统进入室内。

室内空气污染的致癌作用

- 室内空气污染暴露相关的主要癌症是肺癌，已经明确的致癌物有环境烟草烟雾、氡和家庭燃煤（多环芳烃）。其他室内空气污染物，例如石棉、苯、甲醛、某些杀虫剂等，在非工业区居室内空气污染水平，是否有致癌作用，以及癌症的种类，目前还没有得到人群资料的确证。

室内空气污染对心血管系统的作用

- 环境烟草烟雾和一氧化碳是对心血管系统有作用的主要室内空气污染物。环境烟草烟雾和室内一氧化碳会引起心血管症状、心血管疾病，导致心血管疾病的发病率和死亡率增加。
- 一氧化碳主要通过血液中的血红蛋白（Hb）结合发挥作用。主动吸烟可导致心血管疾病，并导致心血管疾病死亡率增高。

室内空气污染所致刺激作用和 不良建筑物综合症

- 主要原因：为节约能源使房间密闭；使用节能空调，新风量少，室内的空气污染物反复地在室内循环；除了污染和通风以外，还可能由温度、湿度、采光、声响等舒适因素的失调，包括情绪等心理反应引起。解决办法：绿色建筑，少用空调，通风换气。

6. 病态建筑综合症（SBS） Sick Building Syndrome

- 美国职业安全和卫生研究所（NIOSH）对病态建筑综合症的定义：

在处于同一室内空间中有20%以上的人有不舒适感；其症状很难被归入任何一类疾病；当人们离开这一空间后，症状会自然消失或减轻。

病态建筑综合症（SBS）的特征

- 由于室内环境条件所造成的人体不健康的症状。
- 在室内时间约长，症状越明显，离开缓解
- 主要症状：头痛、眩晕、恶心、甚至罹患癌症。
- WHO指出，~30%建筑有SBS。
- 主要原因：为节能房间密闭，使用节能空调，新风量少，室内的空气污染物反复地在办公室内循环。
- 解决办法：绿色建筑，少用空调，通风换气。

病态建筑综合症 (SBS)

Sick Building Syndrome



Figure 13-A For some people indoor air pollution can be a significant risk. When buildings are not adequately ventilated, pollutants can build up. (Photo by Jon Feingersh/The Stock Market)

五. 使用绿色建材建绿色建筑

绿色建筑

- 绿色建筑：资源有效利用（Resource Efficient Buildings）的建筑。有人把绿色建筑归结为具备“4R”的建筑，
- 即“Reduce”，减少建筑材料、各种资源和不可再生能源的使用；
- “Renewable”，利用可再生能源和材料；
- “Recycle”，利用回收材料，设置废弃物回收系统；
- “Reuse”，在结构允许的条件下重新使用旧材料。因此，绿色建筑是资源和能源有效利用、保护环境、亲和自然、舒适、健康、安全的建筑。

绿色建材

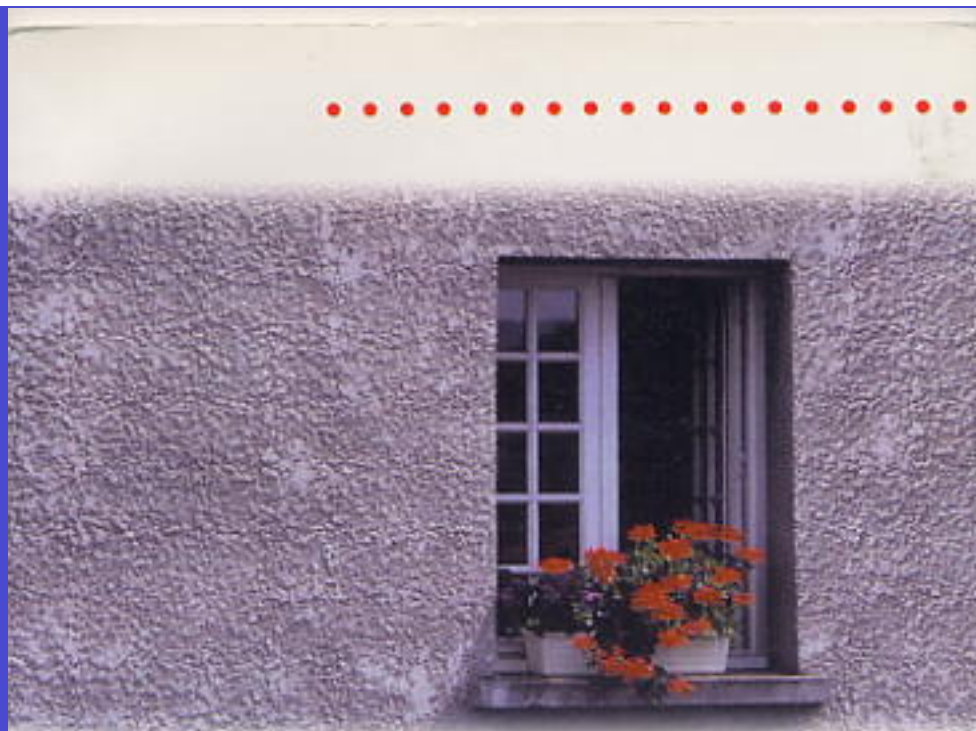
- **绿色建材 (Green Building Materials)**：采用清洁生产技术，少用天然资源的能源，大量使用工业或城市固态废弃物生产的无毒害、无污染、有利于人体健康的建筑材料。它是对人体、周边环境无害的健康、环保、安全（消防）型建筑材料，属“绿色产品”大概念中的一个分支概念，国际上也称之为生态建材 (Ecological Building Materials)、健康建材 (Healthy Building Materials) 和环保建材 (Re-cyclic Building Materials)。1992年，国际学术界明确提出绿色材料的定义：**绿色材料是指在原料采取、产品制造、使用或者再循环以及废料处理等环节中对地球环境负荷量最小和有利于人类健康的材料，也称之为“环境调和材料”。**绿色建材就是绿色材料中的一大类。

不豪华装修



我国室内空气污染研究情况

- 80年代至今，预防医学科学院等卫生口许多单位从人体卫生学角度进行了较深入的研究。
- 1997年，北京大学技物系对北大园区进行了综合观测，产生一定影响。
- 此后，室内监测队伍如雨后春笋。优劣不一。
- 2000年底出台了室内空气质量标准。



室内环境质量调查

— 北京大学园区室内空气污染综合评价

白郁华 陈旦华 等 编著
原 子 能 出 版 社





UNDP贵阳室内空气污染研究项目

- 到目前为止，尚无在一个城市进行全面室内空气污染调查研究的先例，
- UNDP贵阳室内空气污染研究项目将在全国第一次开展这方面的工作，起到示范作用。
- 工作量大、调查的范围广，是本次工作重要特点
- 在质量保证和质量控制的前提下，大家齐心协力、艰苦工作，一定能顺利完成任务。
- 为贵阳室内空气污染研究的能力建设起到促进作用。

谢谢大家!