

放射性元素氡 与室内环境

朱立 周银芬 陈寿生 编著



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

放射性元素氡 与室内环境

朱立 周银芬 陈寿生 编著
戴猷元 审核



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

内 容 提 要

室内空气质量对人体健康的影响已经成为社会普遍关注的重要环境问题。一些介绍室内污染检测、控制及防护措施的书藉已先后出现。本书集中介绍了室内氡的危害、控制及防护方面的知识。全书分健康住宅及室内空气品质、放射性元素氡的特性、室内氡的危害、室内氡的控制标准及测量和评价、室内氡的控制及防护和环境氡的研究现状等 6 章。本书可作为高等院校及中等专业学校化工、环境等专业师生的参考书,可供从事建筑业、环境保护业研究、设计和运行的工程技术人员使用,也可作为知识性资料供广大读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

放射性元素氡与室内环境/朱立,周银芬,陈寿生编著. —北京:化学工业出版社, 2004. 10
ISBN 7-5025-5898-5

I. 放… II. ①朱… ②周… ③陈… III. ①住宅-氡-气体辐射-辐射危害②居住环境-环境保护-基本知识 IV. X591

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 102770 号

放射性元素氡与室内环境

朱立 周银芬 陈寿生 编著

戴猷元 审核

责任编辑: 陈 丽 刘俊之

责任校对: 顾淑云

封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行

环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 1 3/4 字数 39 千字

2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5898-5 / X · 541

定 价: 6.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

《放射性元素氡与室内环境》编写人员

朱 立 地球化学博士

清华大学放射性防护研究室常务副主任

卫生部、国家环境保护总局、国土资源部

“氡监测和防治研究领导小组”成员

周银芬 中国建筑材料工业规划研究院高级工程师

陈寿生 教授

展辰达化工集团技术总监

经典防氡墙面漆发明人

广东省涂料工业协会理事

前 言

工作、生活中的室内环境状况与我们的健康息息相关，如何才能使室内的环境水平达到健康、安全的标准，是很多人都非常关心的问题。为了让读者对氡这种放射性气体有更多的了解，从而尽量避免和防范，我们特别撰写了此书。

氡普遍存在于我们的生活环境中，从 20 世纪 60 年代末首次发现室内氡的危害至今，科学研究发现，氡对人体的辐射伤害占人体所受的全部环境辐射 55% 以上，对人体健康威胁极大，其发病潜伏期大多在 15 年以上。

据美国国家安全委员会估计，美国每年因为氡而死亡的人数高达 15 000~25 000 人！

我国也存在着严重的氡污染问题，据不完全统计，我国每年因氡致肺癌 50 000 例以上。因此，氡已被国际癌症研究机构列入室内重要致癌物质，必须引起我们的高度重视。

在本书编写过程中，我们要感谢博士生导师、清华大学副秘书长、北京清华工业开发研究院院长戴猷元教授的悉心指导，感谢展辰化工集团所提供的大量实验数据和研究资料。

由于本书编辑仓促，不足之处，敬请指正。

编著者

2004 年 9 月

目 录 ▶▶▶

第1章 健康住宅及室内空气品质	1
1.1 室内环境的健康性	1
1.2 什么是健康住宅	2
1.3 室内空气品质	5
第2章 放射性元素氡的特性	10
2.1 放射性元素及辐射危害	10
2.2 天然放射性元素——氡	13
2.3 氡的物理化学特性	15
第3章 室内氡的危害	16
3.1 氡危害的特性	16
3.2 室内氡危害的流行病学调查	18
3.2.1 肺癌危险预测模型	19
3.2.2 氡致肺癌的危险系数	19
3.2.3 居室内氡引起居民肺癌的危险	20
第4章 室内氡的控制标准、测量和评价	21
4.1 室内氡的行动水平	21
4.2 对室内氡控制标准的理解	26
4.3 室内氡测量方法的选择	27
4.3.1 连续氡浓度探测器	27
4.3.2 瞬时氡浓度测量	27
4.3.3 累积氡浓度测量	28
4.3.4 氡监测的目的	28
4.4 室内氡测量结果的评价	29
第5章 室内氡的控制及防护	31
5.1 不同类型建筑物室内氡的来源	31

5.2	不同季节室内氡的水平	33
5.3	科学控制室内氡	35
5.4	地面建筑室内氡的防护	37
5.5	地下建筑室内氡的防护	40

第6章	环境氡的研究现状	45
------------	-----------------------	-----------

第1章 健康住宅及室内空气品质

1.1 室内环境的健康性

营造健康的室内微环境，在营造的整个周期内节约材料和能源，淘汰有毒材料，使之对人健康无害，对环境无污染，符合生态要求，形成平衡、开放的生态系统，这就是室内环境健康性的实现途径。

实现室内环境的健康性必须遵循五个原则。

 **生态化原则。**室内环境是人为的，可以认为是人工生态系统，是可持续发展环境整体的一部分。室内空气环境质量的改善，必须遵循生态化原则，实现一个有益于健康、有益于生态的建筑环境。

 **和谐自然的原则。**坚持自然化的环境就是在体现人性化的基础上尊重自然。人与自然的结合表现为：通过室内与室外的视觉流通，使人能眺望自然景物，室内设置绿化，选用自然的装饰材料，达到视觉的自然化；通过自然通风使室内保持空气的清新，使人嗅觉自然化；通过自然采光接受沐浴，感觉自然光的变幻，达到光效应自然化；通过视、嗅、感觉最终达到感情的自然化。室内的自然化就是将人与自然融合，保持人与自然直接与间接的联系，达到“天人合一”的境界。

 **节能高效的原则。**选用耐久、低蓄能、隔热的建筑材料，以低能耗维持室内环境的舒适性。采用被动式方法为建筑提供制冷、供热、通风和照明。采用高效的材料与采光设施，运用建筑的自身循环与生态效应达到高效节能。高效节能的目的是减少对资源的需求，减小环境的负荷。

 **资源再生的原则。**优先利用可再生的建筑材料，将不可再

生资源的利用率降到最低，体现可持续发展的原则。大量的建筑材料主要源于再生材料，这是对废弃材料的最佳处置，如装饰板材、再生塑料等是再生的资源。另外，建筑材料具有重复利用的价值，许多建筑在改建中拆卸的部件具有利用的价值。

 **健康无毒的原则。**现代室内的装修材料许多是化学产品，能引起有毒物质的扩散。建立无害化室内环境的途径是利用无危害材料，在室内与室外清除有害物质，不用具有污染的材料，避免铅、汞、石棉和挥发性气体、二氧化碳等的影响。正确施工和合理利用材料以减少有害物质的散发，减小对人体和环境的影响，保证室内空气质量。

1.2 什么是健康住宅

根据世界卫生组织的定义，“健康住宅”是指能够使居住者在身体上、精神上、社会上完全处于良好状态的住宅，具体标准有：

- (1) 会引起过敏症的化学物质的浓度很低；
- (2) 为满足第一点的要求，尽可能不使用含易挥发的化学物质的胶合板、墙体装修材料等；
- (3) 设有换气性能良好的换气设备，能将室内污染物质排至室外，特别是对高气密性、高隔热性建筑的室内来说，必须采用具有风管的中央换气系统，进行定时换气；
- (4) 在厨房灶具或吸烟处要设局部排气设备；
- (5) 起居室、卧室、厨房、厕所、走廊、浴室等要全年保持在 $17\sim 27^{\circ}\text{C}$ （摄氏度）之间；
- (6) 室内的湿度全年保持在 $40\%\sim 70\%$ 之间；
- (7) 二氧化碳要低于 1000ppm ；
- (8) 悬浮粉尘浓度要低于 $0.15\text{mg}/\text{m}^2$ ；
- (9) 噪声要小于 50 分贝；
- (10) 一天的日照确保在 3 小时以上；
- (11) 设足够亮度的照明设备；

(12) 住宅具有足够的抗自然灾害的能力;

(13) 具有足够的人均建筑面积,并确保私密性;

(14) 住宅要便于护理老龄者和残疾人;

(15) 因建筑材料中含有有害挥发性有机物质,所有住宅竣工后要隔一段时间才能入住,在此期间要进行换气。

微小气候是指室内的气温、气湿、气流等的一种综合指标。它们除了直接作用机体外,还可以作用于人体周围的生活环境,影响人类的生活条件,从而间接影响人体健康。

🌀 气温是微小气候的重要因素,气温对传染病的发生和流行有一定影响,过冷和过热的气温还导致机体免疫能力的降低。室内适宜温度因季节不同而异,夏季为 $24\sim 28^{\circ}\text{C}$,冬季为 $19\sim 22^{\circ}\text{C}$ 。同时,还要尽量做到各点温度均匀并保持时间上的恒定。平均温差(外墙内壁的温度与室内任何一处的温度差)不大于 2°C ,垂直温差(高度每米相差的度数)不大于 3°C 。

🌀 相对湿度过高或过低,对居民身体健康和生活条件均有重要影响。一般在 $30\%\sim 70\%$ 之间,不超过 70% 为宜。

🌀 不同的气流速度对人体有着不同的影响,夏季空气流动可促进人体散热,冬季空气流动会使机体感到寒冷,因此风速对机体热平衡起重要的作用。

1996年6月联合国第二届人居会议的中心主题就是“人人享有适当的住房”和“日益城市化进程中人类住区的可持续发展”。中国政府向大会提交了《中华人民共和国人类住区发展报告》,提出了1996~2010年中国人住区发展的“行动计划”,这标志着我国人居环境的发展进入追求“绿色住宅”阶段。有关统计显示,未来10年我国城镇将增加住宅需求36.68亿平方米。必须从三个方面关注“绿色”问题。

🌀 首先,必须尽可能选择绿色建材。联合国卫生组织调查统计,世界上30%的新建和重修建筑物中发现有害健康的室内空气,这些有害气体已经引起全球性的人口发病率和死亡率的增加。目

前,室内空气污染已经被列入对公众健康危害最大的5种环境因素之一。因此,许多发达国家提出严格的室内污染规定。

其次,新开发的建筑必须有利于与生态环境间建立良性循环系统,即要建设“绿色”建筑。绿色建筑应尽量减少对生物圈的破坏,关心使用者,便于人与自然环境沟通,具有足够的弹性以包容未来科技的应用与发展。这一系统应具有节地、节水、节能、减少环境污染、延长建筑寿命及改善生态环境等特点。

第三,建筑还应有“绿色”规划。随着“绿色文化”对我国居民衣、食、住、行全方位影响的深入,“绿色规划”是必然选择。

绿色建筑是综合运用当代建筑学、生态学及其他技术科学的成果,把住宅建造成一个小的生态系统,为居住者提供生机盎然、自然气息浓厚、方便舒适并节省能源、没有污染的居住环境。这里所说的“绿色”并非一般意义的立体绿化、屋顶花园,而是对环境无害的一种标志,是指这种建筑能够在不损害生态环境的前提下,提高人们的生活质量及当代与后代的环境质量。其“绿色”的本质是物质系统的首尾相接,无废无污、高效和谐、开放式闭合性良性循环。通过建立起建筑物内外的自然空气、水分、能源及其他各种物资的循环系统来进行“绿色”建筑的设计,并赋予建筑物以生态学的文化和艺术内涵。

绿色建筑是指能充分利用环境自然资源,并以不触动环境基本生态平衡为目的而建造的一种住宅,所以,生态专家们一般又称其为环境共生建筑。

绿色建筑不仅有利于小环境及大环境的保护,而且将十分有益于人类的健康。为了达到既有利于环境,又有利于人体健康的目的,绿色住宅在设计和建造上都具有自己独特的一些特点。

① 绿色住宅对坐落的地理条件有特殊的要求,土壤中不存在有毒的物质,地温相宜,地下水纯净,地磁适中;

② 绿色住宅完全采用天然材料如木材、树皮、毛竹、石头、石灰来建造,对这些建筑材料还必须经过检验处理,以确保无毒无害,具有隔热绝热功能,有利于实行供暖、供热水一体化,以提高

热效率和充分节能。在炎热地区，还减缓户外高温向户内传递；

③ 绿色住宅将根据所处地理环境的具体情况而设置太阳能装置或风力装置等，以充分利用环境提供的天然再生能源，达到既减少污染又节能的目的；

④ 绿色住宅内要尽量减少废物的排放。

可见，绿色建筑的诞生，标志着世界建筑业正面临着一场新的革命，这一革命以有益于生态、有益于健康、有益于节省能源和资源、方便生活和作为宗旨，对建筑业的设计、材料、结构等方面提出了新的思路。绿色建筑不再是生态环境专家们的美好的设想，在一些国家开始变成现实。

1.3 室内空气质量

室内空气质量是指室内空气与人体健康有关的物理、化学及微生物指标。室内空气应无毒、无害、无臭、无味，各种污染物浓度不应超过表 1-1 和表 1-2 所规定的限值。

表 1-1 民用建筑工程室内环境污染浓度限量

污染物	I 类	II 类	配套测试方法	备 注
氡/(Bq/m ³)	≤200	≤400	GB/T 14582—1993 四种方法	不限于这四种方法，其他方法不确定度≤25%，探测下限≥10Bq/m ³
游离甲醛/(mg/m ³)	≤0.08	≤0.12	GB/T 18204.26—2000 酚试剂分光光度法	同步测定室外空白，可用现场方法，不确定度≤5%
苯/(mg/m ³)	≤0.09	≤0.09	GB 11737—89 气相色谱法	同步测定室外空白
氨/(mg/m ³)	≤0.2	≤0.5	GB/T 18204.25—2000 靛酚蓝分光光度法	同步测定室外空白
TVOC/(mg/m ³)	≤0.5	≤0.6	ISO 16017-1 热解吸气相色谱法	同步测定室外空白

注：I 类民用建筑工程：住宅、医院、老年建筑、幼儿园、学校教室等民用建筑工程；II 类民用建筑工程：办公楼、商店、旅馆、文化娱乐场所、书店、图书馆、展览馆、体育馆、公共交通等候室、餐厅、理发店等民用建筑工程；Bq 为贝可勒尔，是放射性活度单位。

表 1-2 室内空气质量标准

参数类别	参 数	标准值	备 注
物理性	温度/℃	22~28 16~24	夏季空调 冬季采暖
	相对湿度/%	40~80 30~60	夏季空调 冬季采暖
	空气流速/(m/s)	<0.3 <0.2	夏季空调 冬季采暖
	新风量/[m ³ /(h·人)]	30 ^①	
化学性	二氧化硫 SO ₂ /(mg/m ³)	0.50	1 小时均值
	二氧化氮 NO ₂ /(mg/m ³)	0.24	1 小时均值
	一氧化碳 CO/(mg/m ³)	10	1 小时均值
	二氧化碳 CO ₂ /%	0.10	日平均值
	氨 NH ₃ /(mg/m ³)	0.20	1 小时均值
	臭氧 O ₃ /(mg/m ³)	0.16	1 小时均值
	甲醛 HCHO/(mg/m ³)	0.10	1 小时均值
	苯 C ₆ H ₆ /(mg/m ³)	0.11	1 小时均值
	甲苯 C ₇ H ₈ /(mg/m ³)	0.20	1 小时均值
	二甲苯 C ₈ H ₁₀ /(mg/m ³)	0.20	1 小时均值
	苯并[a]芘 B(a)P/(ng/m ³)	1.0	日平均值
	可吸入颗粒 PM ₁₀ /(mg/m ³)	0.15	日平均值
	总挥发性有机物 TVOC/(mg/m ³)	0.6	日平均值
生物性	细菌总数/(cfu/m ³)	2500	依据仪器定 ^②
放射性	氡 Rn/(Bq/m ³)	400	年平均值 (行动水平 ^③)

① 新风量要求≥标准值，除温度、相对湿度外的其他参数要求≤标准值；

② 见标准 GB/T 18883—2002 附录 D；

③ 达到此水平建议采取干预行动以降低室内氡浓度。

随着人们生活水平的提高，室内空气质量对人体健康的影响已成为社会普遍关注的重要环境问题之一。世界各国政府都在努力完善有关的法律法规和管理措施，加强该领域的理论研究和技术开发，进一步提高人们的生活质量。

然而，一个绝对安全，毫无危险的环境是不存在的，人们在日常生活或生产环境中自觉或不自觉接触各种室内空气污染物，始终都处在某种程度的危险中。对室内空气质量的管理也不可能做到彻底清除污染物。因此，防治室内空气污染，保护人民健康，就十

分重要。

室内环境涉及的面很广，包括建筑物地基选择和不同设计、建筑材料和装修材料的挑选、建筑物的施工工艺、居住新房的合适时间等等。室内环境质量好坏直接涉及建筑学、材料学、地质学、环境科学和生命科学等学科。

环境污染物主要是通过空气、水和食物侵入人体的。我们可以选择无污染的水和食物，却无法选择所呼吸的空气。不管空气污染程度如何，我们每时每刻都在呼吸，一个成年人平均每天吸入 15kg 空气，与每天摄入 1.5kg 食物和 2kg 水相比，吸入空气是接触环境污染物的主要途径。人的一生有 80% 以上的时间生活、工作在室内，室内空气污染是造成人群健康危害的主要途径之一。

室内空气污染主要是人为污染，其中又以化学性污染最为突出。尽管化学污染物的浓度较低，但多种污染物共同存在于室内，长时间联合作用于人体，涉及面广，接触人多，包括老弱病幼等敏感人群，并可通过呼吸道、皮肤等途径进入机体，其健康危害不容忽视。

室内空气污染是由于室内引入能释放有害物质的污染源或室内环境通风不佳而导致室内空气中有害物质不断增加的。室内空气化学污染来源于室内和室外两部分。据统计，至今已发现的室内空气化学污染物约有 500 多种，其中挥发性有机化合物达 307 种。室内来源包括消费品和化学品的使用以及个人造成的污染。室外来源包括室外空气工业排放、机动车废气、污染的地下水等。

由室内建筑材料和建筑装饰材料（以下简称“建材”）所致的室内空气污染以及由此引起的人体健康问题已成为现代环境卫生领域的重要热点之一。由建材释放的空气污染物主要包括室内有机污染物（Indoor Organic Pollutants）、氡和氡子体（Radon and Radon Progeny）、石棉（Asbestos），所致的主要危害见表 1-3。

表 1-3 室内建筑材料和建筑装饰材料释放的污染物的主要人体健康效应

污染物种类	主要人体健康效应 ^①
室内有机污染物	
甲醛	不良建筑物综合征、建筑相关性哮喘
挥发性有机化合物	不良建筑物综合征、多种化学物质敏感症
氡和氡子体	肺癌
石棉	肺间质瘤

① 不良建筑物综合征 (Sick Building Syndrome, SBS)、多种化学物质敏感症 (Multiple Chemical Sensitivity, MCS)、建筑相关性哮喘 (Building Related Asthma, BRA)。

不良建筑物综合征 (Sick building syndrome, SBS) 亦称为病态建筑物综合征, 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, 而离开了该建筑物后, 症状即可消退。这种建筑物被称为“不良(或病态)建筑物”, 产生的系列症状被称为“不良建筑物综合征”。不良建筑物综合征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, 不良建筑物综合征是多因素综合作用而成。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参与。

尽管不良建筑物综合征是一种非致死和非致残性病态综合征, 脱离“不良建筑物”之后, 有关症状亦可以消失。但是, 一方面它可能长期困扰在“不良建筑物”中工作或生活的人, 降低他们的工作效率以及健康和舒适水平; 另一方面, 不能排除那些导致不良建筑物综合征的危险因素的其他危害, 例如, 甲醛和醛类化合物诱发的过敏性皮炎、哮喘; 醛类和苯系物的潜在的三致作用等等。因此, 如何控制建材和室内用品释放的化学性和生物性污染, 防治不良建筑物综合征, 保证室内活动和生活者的健康水平是环境医学和建筑卫生学所面临的一项重要的挑战。

*

*

*

今天的住宅建设要确保居住者广泛意义上的健康, 包括生理的

和心理的，社会的和人文的，近期的和长期的多层次的健康。人类居住健康问题引起了全世界居住者和舆论的关注，人们越来越迫切地追求拥有健康的居住环境。

现代科技的发展，一方面让我们享受了当代文明，同时又使我们容易忽视大自然赐予人类的阳光、空气和水。过分依赖于现代科技的生活方式，又容易削弱人与自然和谐共存的亲密关系。回归自然，亲和自然的健康生活方式已成为当今人类共同的心声。

第 2 章 放射性元素氡的特性

2.1 放射性元素及辐射危害

原子核自发地发射出 α 、 β 、 γ 等各种射线的现象称为放射性。放射性是由不稳定的原子衰变产生的。某些核素的原子核自发地放出 α 、 β 等粒子而转变成另一种核素的原子核，或是原子核从它的激发态跃迁到基态时，放出光子 (γ 线)，这些过程称为核衰变。具有放射性的核素称为放射性核素。放射性物质能自发地产生电离辐射，电离辐射的能量高于非电离辐射，能对人体产生损害。表 2-1 说明了常见电离辐射的特性。图 2-1 表明了各种射线的穿透能力。

表 2-1 常见电离辐射的特性

辐射类型	符号	电荷 (相对值)	静止质量 /u	静止质量的 等效能量/MeV	平均寿命 /s
中子	n	0	1.008982	939.507	1.073×10^3
质子	p	1	1.007593	938.213	稳定
α 粒子	α	2	4.002777	3727.16	稳定
正电子(β^+ 粒子)	β^+ 或 e^+	1	0.000549	0.510976	稳定
电子(β^- 粒子)	β^- 或 e^-	-1	0.000549	0.510976	稳定
γ	γ	0	0	0	稳定
X	X	0	0	0	稳定

各种辐射照射对人类的健康危害是在人类不断利用和研究各种辐射源的过程中认识的。X 射线的发现给当时的世界带来很大刺激，很快出现了 X 射线管的研制和 X 射线研究的高潮。X 射线可以穿透物质的特性，很快被人们应用于 X 射线透视和 X 射线照片，开辟了 X 射线诊断的新天地。然而，操作人员手部皮肤炎症的发