

# 地下工程中氡气的危害与防护措施

廉国斌 廖韩林 金华 薛红民

解放军 73921 部队 江苏 南京 210044

中图分类号: TL75<sup>+</sup>2 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2014)02-0143-02

**摘要:** 目的 控制氡的危害, 确保地下工程有关人员的身体健康。方法 从氡的理化特性、衰变方式揭示地下工程环境中的氡污染对人的辐射危害。结果 分析地下工程内部环境中氡的主要来源, 介绍人防工程氡水平的实测数据, 提出地下工程建筑防氡设计的原则和措施。结论 应加强对地下建筑中氡污染状况的监测, 防止并控制氡的危害。

**关键词:** 氡气; 氡危害; 控制措施

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2014.02.017

进入现代社会以后, 人防工事、地铁、城市公共事业管道等地下空间利用已成为城市地下空间利用的主流, 人们广泛地采用地下设施来支持地表、地上的人类生活与生产活动, 以促进城市集聚, 增加城市活力和效率。在城市超高密度化发展的今天, 地下空间的特殊优点更加突出, 因而更增加了其开发利用的必要性和迫切性。然而, 地下建筑由于受到土壤或岩石的包围, 空间狭小封闭, 通风条件差与地面空气交换率低的特点, 使得地下空间的环境质量问题不能令人满意, 污染物在密闭性高的地下空间中得以聚集, 并能积累至较高浓度, 难以通过自然风有效降低和排除。其中, 氡的危害尤为严重, 不可避免产生氡及其子体导致的辐射污染问题。

## 1 氡的特性及辐射危害

**1.1 氡的基本特性** 氡气, 放射性惰性气体, 无色无味, 对人的危害具有终身性, 是世界卫生组织( WHO) 认定的 19 种致癌主要因素之一<sup>[1]</sup>。氡-222( 氡的同位素中对人体造成辐射危害的主要是氡-222) 是放射性核素铀衰变系列的衰变产物。其衰变母体铀-238 广泛存在于地壳中, 半衰期长达 44.7 亿年。铀-238 经过一系列过程衰变为镭-226, 其半衰期为 1602 年。接下来的衰变产物是惰性气体氡-222, 半衰期是 3.82 天。随后继续衰变为钋-218、铋-214、铅-214 等氡子体, 它们的半衰期从 26.78 min 至 164  $\mu$ s 不等<sup>[2]</sup>。

**1.2 氡的危害** 氡的存在是造成居民所受天然辐射年有效剂量主要是来源见表 1。氡对人体的危害主要有两种: 体外辐射和体内辐射, 其中以体内辐射为主。

**1.2.1 体外辐射** 氡给人带来的体外辐射的危害是较小的。因氡的衰变以  $\alpha$  衰变为主, 而  $\alpha$  射线的电离作用大, 穿透能力较差, 所以难以穿透人体的皮肤对人体造成较大的危害。但它也能对人体的造血器官、神经系统和消化系统造成一定的损伤。但总的来说危害相对不大。

**1.2.2 体内辐射** 由于氡存在于空气中, 因此很容易通过呼吸道进入人体。当氡及其子体经呼吸道进入肺部后, 衰变形成的一系列氡子体不再是气体而是以固体微粒沉积在肺部。此时, 氡及其子体在体内发生衰变, 形成对人体致命的内照射, 可导致肺癌。高浓度氡会导致机体血细胞出现变化, 氡对人体脂肪有很高的亲和力, 特别是氡与神经系统结合危害更大。

表 1 我国居民所受天然辐射年有效剂量<sup>[3, 4]</sup>

可控制程度	辐射源	年有效剂量( mSv)	百分比( %)
不可控制的	室外宇宙射线	0.07	3.0
	室外氡及其子体	0.137	5.0
	<sup>40</sup> K( 内照射)	0.17	7.4
难以控制的	室内宇宙射线	0.247	10.7
	室外陆地 $\gamma$ 照射	0.074	3.2
	除 <sup>40</sup> K 外的其他核素	0.17	7.4
可以控制的	室内陆地 $\gamma$ 照射	0.466	20.3
	室内氡及其子体	0.964	41.9

## 2 地下工程内部环境中氡的来源和氡的污染状况

氡在室内外空气中广泛存在, 大气中的氡来源于大地海洋的释放、核工业和磷酸盐工业开采与使用、植物的新陈代谢和地下水的作用、以及煤和天然气的燃烧等, 其中大地氡的释放约占 77%, 因此氡与地质条件密切相关, 也可以说“氡是一种地质灾害”。地下工程内部环境中氡的主要来源是工程周围的岩石、土壤、

作者简介: 廉国斌( 1979 - ) 男, 山西运城人, 硕士, 工程师, 从事辐射防护工作。

地下水和构成地下工程本身的建筑材料等。

2.1 从地基中析出的氡 在地层深处含有铀、镭、钍的土壤和岩石中人们可以发现高浓度的氡。这些氡可以通过地层断裂带,进入土壤,并沿着地的裂缝扩散到室内,这是地下工程内部环境中氡的最主要的来源。

2.2 从建筑材料中析出的氡 1982 年联合国原子辐射效应科学委员会的报告指出,建筑材料是室内氡的最主要来源,如花岗岩、砖沙、水泥及石膏之类,特别是含有放射性元素的天然石材,易释放出氡。各种石材由于产地、地质结构和生成年代不同,其放射性也不同。国家质量技术监督局曾对市场天然石材进行了监督抽查,从检测结果看,其中花岗岩超标较多,放射性较高<sup>[5]</sup>。

2.3 从户外空气带入室内的氡 在室外空气中氡的辐射剂量是很低的,可是一旦进入室内,就会在室内大量地积聚。室内氡还具有明显的季节变化:通过实验可得,冬季最高,夏季最低。可见,室内通风状况直接决定了室内氡气对人体危害性的大小。从日常用水以及用于取暖和厨房设备的天然气中释放出的氡。

地面建筑底层只有地板一面直接置于土壤之上,而地下工程其周围六面均处于岩石土壤的包围之中,来自土壤、岩石中释放的氡气向地下空间内析出的表面积要比地面建筑增加好几倍,加上地下工程内部空间密闭,通风条件较差,因此,地下工程内部环境中的氡污染要比地面建筑严重得多。近几年,我们对几个城市的部分地下工程(人防工程)进行了内部环境氡浓度的测试,也说明了人防工程内部环境中的氡污染的问题不容乐观。见表 2、表 3。

表 2 部分人防工程氡浓度瞬时测量结果

地点	测点数量	氡浓度范围( Bq/m <sup>3</sup> )	平均氡浓度( Bq/m <sup>3</sup> )
南京	15	65 ~ 458	168
杭州	8	50 ~ 576	200
上海	13	78 ~ 659	175
福州	10	48 ~ 2 230	294
南昌	9	44 ~ 620	185
合计	55	0 ~ 2 600	

从表 3 可以看出瞬时测量方法的数据普遍偏低,人防工程的实际氡浓度水平可能高于表 2 瞬时测量的结果。

### 3 地下工程中的氡污染的防护措施

过量存在着的氡子体是地下住所或活动场所对人

体最主要的危害。据测算,一般的地下活动场所中所含的氡子体平均比地面活动场所高出 40 倍左右。对这些地下建筑物进行防氡可以加强机械通风、用塑料材料封闭墙壁、在墙壁上和地板上涂抹防氡材料、地下场所的工作人员要定期与地面工作人员轮换积等<sup>[6]</sup>。

表 3 人防工程瞬时与累积法氡测量结果比较

工程地点	瞬时测氡法		累积测氡法	
	测点氡气浓度 ( Bq/m <sup>3</sup> )	平均氡气浓度 ( Bq/m <sup>3</sup> )	测点氡气浓度 ( Bq/m <sup>3</sup> )	平均氡气浓度 ( Bq/m <sup>3</sup> )
南京	450	440	1 007	975
	358		734	
	512		1 185	
杭州	352	485.7	670	870
	616		1 104	
	489		845	
福州	490	812.67	1 480	1 160
	1 096		900	
	852		1 100	

3.1 消除氡源 远离高放射性地质背景地区。地下工程在设计建造选址时,首先要对该区域进行有关的氡污染的论证和评价,应尽量避免土壤或岩石中镭含量高的地区。在岩石、土壤中含放射性物质不高的地段,也要查明隐藏的或被揭露的地下断裂构造、裂隙发育程度、滑坡体缝隙、岩溶系列的洞穴和破碎带等氡气污染状况,尽量避开断裂带中可能含放射性物质较高的地区。

3.2 选用符合放射性要求的建筑材料 选用合格辐射水平的建筑材料,尽量少用或不用放射性水平高的石材。同时,选择适当的涂料可以封堵建材的气孔,降低氡的析出率,从而达到降低室内氡含量的目的。

3.3 隔离氡气渗入途径 对地下工程的地板和混凝土墙体在施工中应尽量选择高密度的建筑材料,合适的水灰比,外加添加剂加强振捣施工方法等,使混凝土更加致密,切实防止出现空隙和裂缝,减少氡进入室内的渗透途径。

3.4 通风排氡 通风是降低室内氡气浓度、提高空气质量最简单最有效的方法。地下工程四周被土壤和岩体包围,氡从工程的墙壁、顶部和地面析出,向外扩散,其扩散需要一定时间,通风能加速其均匀化,从而使氡浓度降低。通过加大新风换气量可以把室内的氡及其子体排至室外,用室外空气稀释室内空气的氡浓度。通风应使新鲜空气直接送到人员活动场所为宜,风源应是地面清洁空气。通风方式最好选择由室外向室内鼓风的方法,这样可以增加室内空气的空气压力,从而减少周围土壤和建材中的氡向空气中(下转第 147 页)

区,也伴生了其他多种重金属,因此增加了该地水样的放射性活度。与 GB 5749 - 2006 中水的放射性标准比较,仍在正常范围内,所以当地水体尚未受到人工放射性核素污染。

## 2.2.2 不同采样时段水体放射性水平的分析

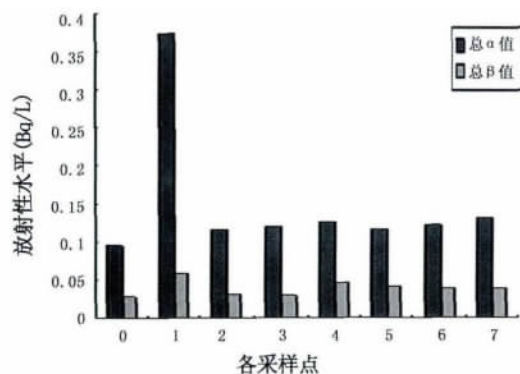


图3 枯水期各水样的总α、β活度

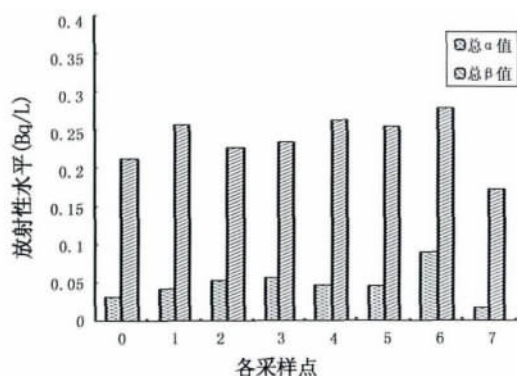


图4 丰水期各水样的总α、β活度

枯水期与丰水期的总α、总β放射性活度值的比较见图3、图4。丰水期由于降水丰富,水量增大,水体中的放射性物质被稀释,因而总α、总β放射性活度(浓度)要低于枯水期。枯水期内总α、总β放射性水平属于国标正常范围,处于自然无污染状态。

## 3 结论

湖南省素有“有色金属之乡”之称,而且大多数有色金属的开采冶炼也集中分布在湘江流域,有色金属矿大多伴生一些放射性元素<sup>[7]</sup>。因此,进行湘江衡阳段水总α、β放射性水平的调查和评价对保护环境,了解该地区环境放射性水平,制定本地区经济发展规划都具有十分重要的意义。

由以上结果分析知衡阳段湘江水总α放射性水平为0.0012~0.058 Bq/L,总β放射性水平为0.013~0.3742 Bq/L,均低于GB 5749 - 2006生活饮用水卫生标准中总α比活度0.5 Bq/L和总β比活度1.0 Bq/L的放射性标准;所以衡阳段湘江水体未受到人工放射性核素的污染。

## 参考文献

- [1] 闵锐. 电离辐射的原发和继发效应及危害评价[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2013, 31(4): 1-6.
- [2] 吴丽慧, 吴炎栋. 浦阳江(浦江段)水体污染问题及其防治对策分析[J]. 资源节约与环保, 2013, 5: 51-52.
- [3] 黄立洪, 高雷, 陈卓. 黎河水体污染原因分析及治理措施探讨[J]. 水利建设与管理, 2013, 7: 63-65.
- [4] 中华人民共和国卫生部. GB 5749 - 2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [5] 张耀玲, 赵峰, 吴梅桂, 等. IAEA 2008 年国际比对水体样品中总α/β放射性分析[J]. 核化学与放射化学, 2011, 33(1): 42-47.
- [6] 许平. 饮用水中总α、β样品源存放测量的异常变化[J]. 福建分析测试, 2004, 13(3-4): 2034-2038.
- [7] 张雷, 张奇志, 李先福. 湖南省生活饮用水总α、总β放射性水平[J]. 中国辐射卫生, 2002, 11(02): 93-97.

收稿日期: 2013-12-20

(上接第144页)析出,如果选择抽气方式,则增加氡的对流,加速氡进入地下工程中。

综上所述,地下建筑中存在着严重的氡污染问题,必须要加强对地下建筑中氡污染状况的监测,以便采取措施进行防治。

氡由于无色无味,并且对人体健康危害的潜伏期较长,所以它对人体的伤害也是不知不觉的。因此,人们必须对室内氡要有足够的认识和重视,控制室内氡的浓度,既要从源头进行控制,又要积极采用其他的降氡措施,从而使我们生活的空间始终处于安全健康的状态<sup>[7]</sup>。

## 参考文献

- [1] 李宝刚. 室内氡污染及控制分析[J]. 中小企业管理与技术, 2008(29): 195-196.
- [2] 丘寿康. 有关氡危害与评价的认识问题[J]. 辐射防护通讯, 2001, 21(6): 3-7.
- [3] 郭秋菊, 许寿元. 氡的危害及剂量估算[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004, 24(1): 85-87.
- [4] 潘自强. 我国天然辐射水平和控制中一些问题的讨论[J]. 辐射防护, 2001, 21(5): 257-263.
- [5] 任天山. 室内氡来源、水平及控制[J]. 辐射防护, 2001, 21(5): 25-28.
- [6] 马淑英. 北京市东城区公共场所的氡浓度水平[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1999, 19(2): 17-21.
- [7] 尚兵, 贺青华, 王作元, 等. 中国室内氡行动水平的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2003, 23(6): 462-466.

收稿日期: 2013-09-29