

地下公用建筑防氡分析

徐文珊^{1,2}, 陈英民¹

中图分类号: R145 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2009)04-0503-02

氡是放射性元素铀经过一系列衰变产生的一种放射性气体, 无色无味。铀广泛分布在整个地壳, 所以氡在自然界无处不在。联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) 2000年报告书中, 天然辐射对公众的年有效剂量为 2.4 mSv 氡 (^{222}Rn) 及其子体的贡献就占 52% ^[1]。早在 1988 年, 国际癌症研究机构 (IARC) 就已将氡及其子体划归为 I 类致癌因素^[2]。

近年来随着经济的迅速发展, 地下空间开发利用已成为我国都市发展趋势。据不完全统计, 国内仅地下商场面积就已在 $1\,000$ 多万 m^2 以上, 氡浓度超标率可达 22% 左右^[3]。越来越多的从业人员和流动人员进入地下建筑工作、居住、购物和娱乐, 他们承受着比其他公众更高的辐射危害。因此掌握地下建筑氡的来源, 从根本控制民用地下建筑内氡及其子体浓度是十分必要的。

1 地下建筑中氡的主要来源

由于地下建筑的特殊性, 其室内氡的主要来源途径与地面建筑有所不同。①岩石和土壤。气态放射性元素氡主要由岩石、土壤中的铀、钍不断衰变生成。地下建筑所有六个界面均有岩石和土壤被覆, 四周皆可释放氡气^[4], 并通过墙面、管线周围的裂隙进入室内, 成为地下建筑内氡的最主要来源。②地下水。地球表生环境中, 铀的化学性质活泼, 可与氡一起溶于

水, 随地下水迁移^[5]。地下水位在地下建筑使用期间可随补给、降雨和排水条件的变化而上升, 若地下建筑所处地段岩体裂隙比较发育, 形成地下水循环通道和储水构造, 将成为工程内高氡浓度的外部潜在因素。③建筑材料。随着工业技术的发展, 一些掺工业废渣, 如粉煤灰、煤矸石、钢渣、尾矿石等的新型建筑材料, 因其天然放射性核素含量较高, 成为了影响地下建筑氡浓度的又一重要来源。④室外空气。室外空气中的氡随通风而进入地下建筑内, 进入率与室内外空气中氡浓度及地下建筑空气交换率成正比。

2 地下公用建筑防氡对策

地下建筑内氡及其子体国家控制标准中明确规定: 地下建筑分为已用和待建两种情况, 根据氡及其子体的可控制程度, 已用地下建筑行动水平为 $400\text{ Bq} \cdot \text{m}^3$ (平衡当量氡浓度), 待建地下建筑设计水平为 $200\text{ Bq} \cdot \text{m}^3$ (平衡当量氡浓度)^[6]。根据地下建筑室内氡的来源以及国家标准, 针对地下建筑的具体情况分阶段制定防氡措施。

2.1 建筑阶段

2.1.1 建筑选址 各地区环境中氡浓度值与当地的地质结构、岩石类型、所处地域等因素密切相关。其中花岗岩放射性铀含量最高, 处于不同山体岩性的地下建筑, 其内氡浓度也以花岗岩最高^[7]。而在断裂与构造发育区, 即使岩石、土壤中铀含量不高, 由于氡的气体性质, 容易随断层带中破碎岩体裂隙运移、汇集, 导致这些地带的地下建筑室内空气氡浓度相对偏高^[8]。因此在项目工程开始之前, 详细查阅区域地质构造特征, 具体掌握与该地区氡浓度密切相关的断裂带、破碎带及

[20] 杨娟娟, 官庆超, 陈跃, 等. 山东省地下商场氡浓度的监测结果与分析[J]. 中国辐射卫生, 2000 9(1): 18-19

[21] 李晓燕, 郑宝山, 王燕, 等. 我国部分城市地下工程空气中的氡水平[J]. 辐射防护, 2007 27(6): 368-394

[22] 孙全富, 床次真司, 侯长松, 等. 窑洞内氡、钍射气水平及致肺癌的危险评价[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2005 25(1): 1-5

[23] 潘自强. 有必要注意钍及其子体对居民产生的照射[J]. 辐射防护, 1997 17(3): 188-191

[24] 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): 257-268

[25] Bing Shang, Jochen Tschiersch, Hongxing Cui. Radon survey in dwellings of Gansu, China: the influence of thorium[J]. Radiation and Environmental Biophysics, 2009 47: 367-373

[26] 张林, 尚兵. 广州市室内 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 浓度调查[J]. 中国辐射卫生, 2004 13(1): 36-37

[27] 张述林, 罗启芳, 张军, 等. 掺废渣墙体材料建筑物室内放射性水平[J]. 中国辐射卫生, 1999 8(3): 163-164

[28] 侯祖洪, 杨想军, 秦俊, 等. 武汉市居室内放射性水平调查及控制[J]. 中国辐射卫生, 2005 14(4): 294-295

[29] 刘汉钦, 曾新元. 石煤渣碳化砖建材住房的放射性水平[J]. 环境科学丛刊, 1981 7(9): 37-39

[30] 张政国, 张亮, 李纯秀. 湖南省煤渣砖建筑物内含镭量

较高矿区周围室内、外氡浓度的调查研究[J]. 辐射防护, 1992 12(5): 340-350

[31] 李素云. 石煤渣砖建房所致居民集体有效剂量当量的估算[J]. 辐射防护, 1989 235-239

[32] 陈英民, 李福生, 杨珂. 掺工业废渣新型墙体材料建筑室内 ^{222}Rn 浓度的研究[J]. 中国辐射卫生, 2006 15(3): 334-335

[33] 张士成, 王鹤龄. 枣庄矿区 24 所煤矿井下氡浓度水平[J]. 中国辐射卫生, 2005 14(1): 49-50

[34] 李舟, 杨忠, 魏涛, 等. 贵州省部分煤矿氡浓度及放射性水平水平的研究[J]. 中国辐射卫生, 2007 16(1): 22-24

[35] 刘福东, 尚兵, 王春红, 等. 河北省地下煤矿 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 水平及 γ 剂量率的调查[J]. 中国辐射卫生, 2007 16(1): 14-16

[36] 王教义, 赵清林, 王治国, 等. 煤矿井下氡及其子体浓度调查与剂量估算[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004 24(2): 157-159

[37] 张洪, 王红海, 梁波, 等. 皖苏两省地下煤矿环境中的放射性水平研究[J]. 中国辐射卫生, 2006 15(3): 260-262

[38] 王治国, 房殿奎, 王教义, 等. 金矿井下空气中氡及其子体浓度调查[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1999 19(6): 431-432

(收稿日期: 2009-06-19)

岩石类型等地质特征分布的背景情况^[9]。全面进行有关氡污染的论证和评价,采取治本措施,避开断裂带、破碎带和富铀区建造地下工程,将来自土壤和岩土中氡进入室内这一途径减至最少。

2.1.2 防水措施 地下工程是在含水的岩土环境中修建的建筑物,随时可受到地下水的浸透和侵蚀。地下水中的氡浓度,根据其赋存岩石性质不同有很大变化^[10],美国 Maine 花岗岩地区地下水的平均氡浓度为 $8\,200 \times 10^3 \text{ Bq/m}^3$ ^[11,12],我国南方花岗岩地区地下水的氡浓度可高于 $1\,000 \times 10^3 \text{ Bq/m}^3$ ^[13]。因此必须遵循《地下工程防水技术规范》进行地下建筑防水的设计和施工。地下建筑的钢筋混凝土结构应采用防水混凝土,各种变形缝、施工缝、墙基和管线周围的裂隙要加强防水措施,避免含氡地下水的渗入。

2.1.3 建筑材料 由于氡的析出率与建筑材料中 ^{226}Ra 的比活度成正比,地下建筑建筑材料的选择至关重要,必须使用符合 GB 6566 的建筑材料。然而即使是符合国家标准,掺工业废渣的新型建筑材料放射性水平明显高于普通建材,上海建材放射性核素监测分析,用相对 γ 放射性平均镭当量来评价常用建材,最低值为石灰 25.8 Bq/kg ;最高值为煤渣砖 209.9 Bq/kg ^[14]。以煤渣砖建造的房屋,氡进入室内的速率可以高达 $10 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ^[15]。常用的工业废渣镭当量浓度从高到低依次为粉煤灰 (279.13 Bq/kg)、炉渣 (235.34 Bq/kg)、煤矸石 (144.35 Bq/kg)。即使粉煤灰来源于同一家电厂,不同时间采集,其放射性核素活度浓度都会有很大差异,最大值可达到最小值的 2 倍以上^[16]。地下建筑置于地表之下,室内空气流通慢,建筑主体材料符合国家标准,也要进行选择 and 监测。尽量选用 ^{226}Ra 含量低且氡不易析出的建材,有效控制室内氡的建材来源。

2.1.4 装修材料 各类民用地下建筑为了美观,选用了不同的装修材料铺设地面,主要有花岗岩、大理石、釉面砖、水磨石等。它们也会不同程度地增加室内放射性氡浓度。对我国某省部分城市地下商场不同的地面材料进行统计分析。结果见表 1。由表中可以看出墙体相同,地面装修材料不同,其室内氡浓度以花岗岩构造地面最高,大理石较低^[17],是地下建筑装修的最理想材料。

表 1 不同地面建材对氡浓度的影响

建材 种类	测量 点数	氡浓度 ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)				
		范围	均值	±标准差	几何均值	几何标准差
花岗岩	30	13.4~52.9	31.49	±10.01	28.16	1.43
大理石	25	6.4~29.7	16.03	±7.22	28.16	1.33
釉面砖	19	11.2~46.3	25.18	±8.96	28.16	1.61
水磨石	30	8.1~87.9	26.21	±13.64	28.16	1.57
其他	9	9.4~67.4	22.74	±17.71	28.16	7.15

2.2 使用阶段 对于已用地下建筑,遵循辐射防护最优化原则,科学的根据氡及其子体的物理性质、变化规律,采取多种方法经济有效的将氡及其子体浓度控制在尽可能低的水平。

2.2.1 通风 氡子体 ^{222}Rn 半衰期较长 (3.825 d),从墙体缝隙或装修材料表面析出后,在相对密闭的地下建筑内累积,5 h 左右就可达较高水平^[18]。经过内蒙古一地下工程内试验发现,通风对降氡十分重要。该地下工程通风设备有排风机一台,进风机一台。通风方式共有四种,进风、排风、进排同时和进排轮流。研究发现,进排风同时效果最好,此种方法连续通风 8 h 氡浓度可降低 91.4%。若每天坚持通风 2 h 即可保证 8 h 工作期间氡浓度符合国家有关标准规定的水平。每天通风 3 h 就可接近地面环境^[19]。同时由于氡在空气中的浓度随高度增加而减少,以地面浓度为 100%,则地面向上 10 m 高度处只有 60%,

对于污染严重区域的地下建筑,其通风进气口应高置。地下建筑建立完善的通风系统,此为最经济有效的降氡方法。

2.2.2 其他 防氡涂料既可以对地下建筑被覆层的裂隙进行密闭性堵漏,还可以有效屏蔽建材中的氡向室内环境扩散,其防氡效率可达到 93%~99%,并且有很好的耐老化性能^[20]。

地下工程局部,可根据具体条件采用不同的空气净化技术,例如高压静电过滤、静电织物净化、电离式负离子净化等,试验证明,这些方法既能净化地下工程建筑环境中的尘埃,也能有效净化氡及其子体。

综上所述,民用地下建筑,从开始的设计、施工到使用,都可以采取适当的措施,将其内的氡及其子体浓度控制在尽可能低的水平,有效的保护工作人员的身心健康。

参考文献:

[1] UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes[R]. UN New York 2000 97-105

[2] 孙世荃. 人类辐射危害评价[M]. 北京: 原子能出版社, 1996 157-168

[3] 周筠, 郑天亮. 地下工程典型实例氡浓度与防护对策的分析[J]. 中国辐射卫生, 2007 16(2): 191-192

[4] 贺少辉. 地下工程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006 23

[5] 章晔, 程业勋, 刘庆成, 等. 环境氡的来源与防治对策[J]. 物探与化探, 1999 4(2): 81-83

[6] GB16356-1996 地下建筑氡及其子体控制标准[S].

[7] 李晓燕, 王燕, 郑宝山等. 我国不同类型地下工程中的氡水平[J]. 地球与环境, 2006 34(04): 61-65

[8] 戴鸿贵, 郑正. 地下工程中的氡异常及其治理对策[J]. 南京大学学报, 1999 35(2): 222-228

[9] 王燮华, 张景源. 环境氡的来源及其危害与治理[J]. 国外医学·放射医学核医学分册, 1999 23(3): 102-105

[10] 陈迪云, 陈智营, 李志辉. 家庭生活用水与室内氡浓度研究与进展[J]. 城市环境与城市生态, 2000 13(5): 57-60

[11] Bank S D, Royset Q, Strand T et al. Radon concentration (U Th Rn) concentrations in Norwegian bedrock groundwaters[J]. Environmental Geology, 1995; 25: 165-180

[12] Cotham C R. Development of regulations for radionuclides in drinking water Radon in groundwater[M]. Chelsea Michigan, Lewis Publishers 1987 1-11.

[13] 广东省地方史志编委员会. 广东省志(地质矿产志)[M]. 广州: 广东人民出版社, 1994 290-298

[14] 吴锦海, 王力, 裴永法等. 常用建筑材料中辐射水平与剂量评价[J]. 复旦学报(医学版), 2003 3(2): 178-179

[15] 陆继根, 夏元复. 活性炭法测定地下建筑中的氡[J]. 环境监测管理与技术, 2005 17(2): 30-32

[16] 陈英民, 李福生, 许家昂, 等. 新型墙材用工业废渣中天然放射性核素分布研究[J]. 中国辐射卫生, 2006 15(1): 20-22

[17] 杨娟娟, 官庆超, 张连平, 等. 地下商场氡浓度影响因素的探讨[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2000, 20(2): 130-131.

[18] 许家昂, 李福生, 卢峰, 等. 有效通风降低室内氡水平的研究[J]. 中国辐射卫生, 2008 17(3): 330-331.

[19] 李晓燕, 王燕, 郑宝山, 等. 我国地下工作环境氡浓度现状及防护措施[J]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所.

[20] 郑天亮, 李英波, 杨青, 等. 建筑防氡涂料防氡效果的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2005 25(4): 389-390