

地下建筑物内氡的控制

张 林 李亚丽

(广州市卫生防疫站, 广州市 510080)

中图分类号: R145; X591

文献标识码: B

文章编号: 1004-714X(1999)03-0151-02

1 前言

随着国民经济的发展, 各地纷纷开发地下建筑物用作旅馆、餐厅、商店等, 而且现在建设的高层建筑多数附有地下部分, 地下建筑的开发使用给人们带来了显著的经济效益和社会效益, 但同时也伴随着放射性氡及其子体污染问题, 若达到危害健康水平而未能即时采取防范措施, 将会对工作人员的身体健康造成危害, 因此控制地下建筑物内的氡及其子体浓度是十分必要的。

2 氡及其子体的危害

氡及其子体通过呼吸等方式进入人体, 从而对人体产生内照射。氡是由 ^{226}Ra 衰变产生的一种放射性惰性气体, 氡再进一步衰变产生一系列金属子体。室内氡及其子体被认为是空气最危险的污染物, 大量流行病学资料和实验室研究表明, 氡子体可以诱发肺癌^[1], 联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)1982 年报告^[2], 人类生活在环境中(室内)吸入氡及其子体所受内照射剂量约占全部天然辐射所致有效剂量当量的一半。近年来发现氡及其子体还能诱发白血病、胃癌、皮肤癌等。对于地下建筑物来说, 氡的卫生学问题更加重要, 因为地下建筑物置于地表之下, 四周均可释放氡气, 一般地下建筑物内氡浓度较地面建筑物高。

以前由于人们未对地下建筑物中的氡及其子体给予足够重视, 导致一些地下建筑物空气中氡浓度水平过高, 空气受到氡及其子体污染较为严重, 以致对工作人员健康造成了不可忽视的危害。综合有关科学文献, 表 1 列出不同地方地下建筑物中氡平均浓度及其对工作人员的剂量当量贡献:

表 1 地下建筑物中氡浓度及其剂量当量贡献

地点	平衡当量氡浓度(Bq/m^3)		剂量当量 (mSv/a)
	范围	均值	
北京 ^[3]	5.9~848.8	80.7	3.6
湖南 ^[4]		840.0	13.0
辽宁 ^[5]	5.6~4935.2	168.0	13.4
河南 ^[6]		797.2	13.2
深圳 ^[7]		108.2	5.9
全球室内 ^[2]		16.0	1.2

可见, 地下建筑物中氡浓度明显高于地面建筑物, 部分工作人员受照射剂量当量已超过国家《放射卫

生防护基本标准》(GB4792-84)规定的非放射工作人员年有效剂量当量 $5\text{mSv}/\text{a}$ 的限值。因此为保障地下建筑物内工作人员的身体健康, 有必要采取适当手段, 遵循辐射防护最优化原则, 考虑到经济和社会因素后, 把地下建筑物内氡及其子体浓度控制在可以接受的尽可能低的水平。

3 地下建筑物内氡的来源及其影响因素

地下建筑物内氡的来源主要有建筑材料、周围土壤、室外空气和供水:

3.1 来源于建筑材料: 建材中的 ^{226}Ra 衰变产生的氡通过扩散到墙壁表面而释放到空气中, 氡的进入率与建材 ^{226}Ra 含量、氡的析出能力、多孔性以及氡在建材中的体积扩散系数密切相关。

3.2 来源于周围土壤: 土壤中氡的产生取决于土壤中 ^{226}Ra 的含量, 氡从土壤颗粒释放到孔隙中, 土壤的湿度和温度影响氡的释放。然后孔隙中的氡通过扩散和对流两种方式进入室内, 影响扩散的主要因素有土壤的密度、空隙率、墙壁的厚度及密度等, 但墙壁中的小洞和裂缝大大有利于氡的进入, 墙壁中1%的裂缝可使20%来自土壤的扩散氡得以通过。土壤中的载氡气体通过对流进入室内是由室内空气同土壤气之间存在压差引起的, 影响对流的因素很多, 它取决于土壤密度、孔隙率、温度、湿度、建筑物结构及建造质量等, 还有气象参数诸如气压、风向、风速等因素, 土壤气与空气压差越大, 由对流产生的氡进入率就越大。

3.3 室外空气: 室外空气中的氡随空气交换而进入室内, 进入率与室外空气中氡浓度及空气交换率成正比。

3.4 供水: 用水过程中, 水中氡通过脱气进入空气, 进入率与水中氡含量和脱气系数成正比。

4 地下建筑物内氡的控制水平

目前, 室内氡污染引起了世界各国政府及组织的重视, 相继规定了建筑物内允许的氡水平, 使预防氡害有了一个具体目标。我国也制定了国家标准《地下建筑物氡及其子体控制标准》和《住房内氡浓度控制标准》。表 2 列出了部分国家和组织建议的现有住房行动水平和新建住房的设计水平。

对于新建地下建筑物来说, 把平衡氡浓度限制在 $200\text{Bq}/\text{m}^3$ 以下, 相应的工作人员年有效剂量当量

为 5.4mSv (按一年工作 300 天每天停留 8 小时计算)。

表 2 室内氡的控制水平

国家或组织	现有住房行动 水平平衡氡浓度 (Bq/m ³)	新建住房设计 水平平衡氡浓度 (Bq/m ³)
中国(住宅) ^[8]	200	100
中国(地下建筑) ^[9]	400	200
美国 ^[10]	150	
英国 ^[11]	200	200
德国 ^[10]	200	100
ICRP ^[12]	200	100
WHO ^[10]	100	100

5 地下建筑物氡及其子体的防治和监控

我国《辐射防护规定》(GB8703—88)^[13]规定:对今后可能产生的照射应在计划设计和作出决定的阶段,就按最优化原则制订适当的限值。对于如何控制地下建筑物内氡及其子体浓度,保护工作人员的健康,首先应在设计和施工过程中加以考虑;其次在使用过程中对其内氡及其子体浓度进行监测,根据其变化规律对使用进行科学管理,把氡及其子体浓度控制在尽可能低的水平。

地下建筑物内氡的来源主要是地层土壤和建筑材料中氡的发射、富氡地下水的渗入与氡的释放等。控制、减少氡的方法有两种:一是消除氡源,避免氡的进入,在设计和施工过程中实施;二是采取通风等各种净化技术将氡去除,在使用过程中实施。

5.1 消除氡源

在设计和施工过程中,对地层土壤²²⁶Ra 含量进行监测,应尽量避免²²⁶Ra 含量高的区域,另外采用符合国家《建筑材料放射卫生防护标准》(GB6566—86)^[14]的建筑材料,尽量选用²²⁶Ra 含量低且氡不易析出的建材。在建材监测过程中,要特别注意花岗岩、粉煤灰等²²⁶Ra 含量较高的建材。

根据土壤和建材中²²⁶Ra 含量估算地下建筑物内的氡浓度,据此设计降氡措施。应根据氡源的实际情况,有针对性的采取各种措施,一般可遵循以下步骤:首先密封明显的氡进入通道,特别是断裂带,因为它能使地层深处的氡析出而产生高浓度的氡,如果有断裂带通过,应先对其进行填充密封处理;防止墙壁出现裂隙和开口。经测试氡仍高时,可进一步密封其它细微空隙,采取密封地面和墙壁表面等其它有效方法。

墙壁可采用高标号混凝土结构,在施工过程中注意质量,切实防止出现空隙和裂缝。采用有机物表面密封材料可以有效防止氡从墙壁细小裂隙中渗入室内,对表面密封材料的要求是气密性好、耐腐蚀

老化等,例如聚氯乙烯(PVC)、聚乙烯(PE)、聚酰胺(PA)、专用防氡涂料均具有良好的隔氡效果。地下建筑物在设计过程中一般考虑了防水因素,所使用的防水混凝土结构、氯丁胶乳防水砂浆、改性沥青等防水涂料,同时具有防氡效果。

5.2 使用过程中氡及其子体的监测和控制

在地下建筑物使用过程中,应遵循辐射防护最优化原则,考虑到社会及经济效益后,把氡及其子体浓度控制在尽可能低的水平。氡及其子体浓度随通风率、气压、湿度、温度以及室外气候等因素变化而变化,因此在地下建筑物使用过程中,对其内氡及其子体浓度进行连续监测,了解其日变化和季节变化规律。

监测方法有累积法和瞬时法两种,可同时选择这两种方法。累积法可较准确估算对工作人员的累积剂量,瞬时法可反映氡及其子体时间变化规律。

根据氡及其子体变化规律,科学地组织使用管理,采取净化技术把氡及其子体浓度降到尽可能低的水平。净化方法很多,以下列出几种:

5.2.1 增加通风

室内氡及其子体浓度与通风率成反比,因此通风可有效降低氡及其子体浓度。但通风方式最好选择由室外向室内鼓风的方法,这样可同时增加室内的空气压力,从而减少周围土壤和建材中的氡向空气中对流,反之如果选择抽气方式,则增加氡的对流。

5.2.2 织物过滤

无纺布、人造纤维等可有效去除氡子体,在安装通风设备时可同时安装初效过滤装置。

5.2.3 静电

利用静电与尘粒带电或感应尘粒带电后产生相互作用而清除氡子体。

5.2.4 负离子法

利用负离子发生器产生的负离子与带正电的氡子体相互中和而清除氡子体。

对于地下建筑物来说,增加通风是既经济又切实可行的措施。

6 结论

综上所述,在地下建筑物设计、施工、使用过程中,完全有必要、而且可以采取适当措施,把其内的氡及其子体浓度控制到可以接受尽可能低的水平,从而保护工作人员的身体健

参考文献:

- [1] ICRP publication 50. Lung cancer risk from indoor exposure to radon daughters, 1987.
- [2] UNSCEAR Report. Ionizing radiation sources and biological effects, 1982.

(下转第 154 页)

3 防护效果

在这套防护装置安装前后我们请卫生部射线防护器材防护质量监测中心测量了手术者操作位置的辐射剂量。

3.1 测试条件

美国产 OEC WORKSTATION USA (801)9600C 形臂 X 射线机, 模拟介入手术条件与操作位置, 患者平躺于床上, 开启 X 射线机, 管电压 70kV, 管电流 1.5mA。测试仪器为美国 450 P 型电离室型巡测仪。

3.2 测试结果 见附表。

附表 介入防护装置防护效果测试结果

测试位置	测试部位	测试结果($\mu\text{Sv/h}$)		
		无防护	有防护	屏蔽效率(%)
手术医生 操作位	头部	140	1.33	99.0
	胸部	223	1.95	99.0
	手部	267	11.80	96.0
	腹部	210	0.51	99.8
	下肢	52	1.91	96.0
护士操作位 (1)	头部	26	0.52	98.0
	胸部	132	0.42	99.7
护士操作位 (2)	头部	162	1.83	99.0
	胸部	263	3.0	99.0
观测屏位	头部	4.5	0.19	96.0

注: (1) 防护盾帘之防护效果; (2) C 形臂后部操作台防护屏之防护效果。

3 评价

上述测试结果表明, 该防护装置的总体屏蔽效率达 95% 以上, 所测数据远低于我国《医用诊断 X 线卫生防护标准》^[4] 中所规定的立、卧位透视防护区不得超过 5mR/h 和 15mR/h (约相当于 43 $\mu\text{Sv/h}$ 和 130 $\mu\text{Sv/h}$) 的限值, 并且低于我国规定的医用 X 线机控制室内的剂量限值^[5] 2.5mR/h (约相当于 21 $\mu\text{Sv/h}$)。对介入手术操作的各类人员均达到有效的防护目的。

4 讨论

4.1 介入手术操作形式多样, 对防护装置的设计, 既要考虑防护效果, 又要兼顾适用性能, 即对手术医生之操作无明显影响。本套防护装置虽有七部分组成, 却对医生操作均无明显影响, 经数月之运用, 医生反映良好。

护士在盾帘后欲按操作台的按钮时略有不便, 为此, 我们专门为护士配置了长 100cm 的不锈钢操作杆, 解决了这一问题。

在防护厚度的设计上, 我们根据操作位置与 X 射线束的方向, 采取 0.6、0.7、1.0、1.4mm 不同铅当量的防护厚度, 既达到防护要求, 又尽可能减轻重量, 节约开支, 符合防护设计最优化的原则。

4.2 在使用 OEC-9600C 型臂 X 射线机进行介入手术时, 在医生操作位置的对面, 有护士在曝光期间调整射线的剂量与角度, 并操作控制台上的按钮, 掌握适当的曝光条件。因此, 对这类 X 射线机, 必须考虑全方位的防护问题。为此, 我们专门研制了护士用防护盾帘和护士用 C 形臂后部操作台防护屏。并将床上覆盖防护板加宽, 使诊视床两侧 (即手术医生侧和对面护士侧) 均有 300mm 的屏蔽防护, 从而达到良好的防护效果。

参考文献:

[1] 孙作忠, 等. 介入放射诊断与治疗中的一种简易防护吊帘. 中国辐射卫生, 1998, 7(3): 166.
[2] 金振祥. 介入放射学与辐射防护. 中国辐射卫生, 1998 7(1): 60.
[3] 中华人民共和国国家标准. 医用诊断 X 线机卫生防护标准. (GB8279-87).
[4] 李学成, 宋玉芳. 放射防护监督员手册. 北京: 中国科学技术出版社, 1991, 49.

收稿日期: 1999-03-13

(上接 152 页)

[3] 齐万彪, 等. 北京市地下人防工程中氡浓度及其所致内照射剂量估算. 中华放射医学与防护杂志, 1990, 10(2): 263.
[4] 曾新元, 等. 地下建筑物内氡和氡子体浓度. 中华放射医学与防护杂志, 1985, 5(3): 194.
[5] 孟文斌, 等. 辽宁省地下建筑物内氡及其子水平调查. 中华放射医学与防护杂志, 1988, 8(4): 247.
[6] 孟繁卿, 等. 河南省地下建筑物内氡及氡子体浓度与内剂量评价. 中华放射医学与防护杂志, 1991, 11(2): 114.
[7] 任天山, 等. 深圳特区室内氡水平及影响因素. 中华放射医学与防护杂志, 1988, 8(3): 247.
[8] 中华人民共和国国家标准. 住房内氡浓度控制

标准(GB/T 16146-1995).

[9] 中华人民共和国国家标准. 地下建筑氡及其子体控制标准(GB16356-1996).
[10] Jacobi W. Radiation exposure from natural sources. The radon problem risk estimates for radiation carcinogenesis. Proceedings of the International Workshop, September 28/29 1989, 21-31.
[11] NRPB: Radiological Protection Standards ASP 10 1987.
[12] ICRP: ICRP Publication 39, Oxford, 1984.
[13] 中华人民共和国国家标准. 辐射防护规定 (GB8703-88).
[14] 中华人民共和国国家标准. 建筑材料放射卫生防护标准(GB6566-86).

收稿日期: 1998-07-17 修回日期: 1998-10-10