

地下工程典型实例氡浓度与防护对策的分析

周 筠¹, 郑天亮²

中图分类号: R146 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2007)02-0191-02

【摘要】 以某地下工程进行了从施工阶段到使用阶段建设全过程的氡浓度监测为典型实例,对氡浓度测量与氡析出率测量、通风空间测量与封闭空间测量等问题进行了分析探讨,提出了地下工程的防氡对策。
【关键词】 地下工程; 氡浓度; 氡析出率; 氡防护

地下工程氡浓度超标率可达 22% 左右,甚至更高。^[1,2]近年来我们对华东地区某地下工程进行了从施工阶段和使用阶段的跟踪测量。目的是期望比较全面地了解该地下工程内部环境中氡浓度的实际状况、来源及其变化规律,并有针对性地提出工程氡污染的防护措施。通过实际工程对施工阶段和使用阶段中的氡水平、析出率和通风影响分析,可以为今后的防氡工程实践提供有价值的经验和借鉴。

1 工程概况

该地下工程是在山体开挖掘进的坑道式工程,建筑面积近万平方米。该工程所处地段的地质结构为黑色炭质灰岩和灰黑色泥质灰岩,还有部分为石灰岩。其岩体节理裂隙比较发育,还有夹层;在雨季时,因节理裂隙发育,故地下水比较丰富,这是工程内高氡浓度的外部潜在因素。

2 测量方法

2.1 大气 ²²²Rn 的累积测量方法 大气 ²²²Rn 采用 LH 径迹杯测量,该探测器是目前进行环境氡浓度调查和职业剂量监测最常用的方法,也是我国国标(环境空气中氡的标准测量方法 GB/T14582-93)推荐方法。测量原理如下:当测量时空气中氡气通过自由扩散穿过渗透膜进入杯中,氡和它的子体衰变产生的 α 粒子碰撞到径迹片上可引起径迹片材料的分子键断裂,即产生损伤径迹。经化学处理,这些径迹能够扩大为可观察径迹,根据在标准氡浓度暴露下的刻度系数计算出被测场所的平均氡浓度。

$$C_{Rn} = \frac{T_{Rn} - n_b}{CF_{Rn} \cdot t}$$

式中: C_{Rn} —暴露 t 期间被测场所的平均 ²²²Rn 浓度, Bq m⁻³; T_{Rn} 和 n_b —暴露片与本底片的径迹密度, Tram⁻²; CF_{Rn} —探测器对 ²²²Rn 刻度系数, Tram⁻²/k·h·Bq m⁻³; t—累积暴露时间, h

2.2 表面 ²²²Rn 析出率测量方法 表面 ²²²Rn 析出率采用 E—PERM 驻极体盒测量,该探测器是在 E—PERM 氡探测器的基础上改进而成,由扩散盒、SI 快速驻极体探测器和静电电压读数仪组成。该方法为美国 EPA 室内氡及氡衰变产物测量装置方案(Indoor Radon and Radon Decay Product Measurement Device Protocols EPA 402-R-92-004)推荐方法。测量系统经南华大学氡析出率标准材料校准。测量原理如下:被测空间或物体表面释放的氡气进入密闭的离子盒收集室,利用驻极体在离子盒中可产生较强的静电场的特性,吸引氡衰变产生的正离子到带相反电荷的驻极体吸收体上,驻极体表面电压的改变值

与离子盒中氡衰变产生的子体浓度成正比。通过在已知氡浓度的刻度室中和已知发射率的材料上得到刻度因子可定量计算出待测场所和待测物体表面氡的析出率。

$$F = V_a / (E_{Rn} \times 9 \times 1000 \text{ V/kBq m}^{-2})$$

式中: E_{Rn} —表面氡发射率, Bq m⁻² s⁻¹; V_a —扣除本底后的电压改变值, $V_a = V_1 - V_0$; CF —标准校正系数, Bq m⁻² V⁻¹; t—测量时间, s

2.3 直读测氡仪的转换方法 NR667A 和 DOSPRO 为直读式氡气和氡子体测量装置,仪器示值与实测浓度的转换方法如下:

(1) 实测浓度的转换:

$$C_{Rn} = N_n \times K$$

式中: C_{Rn} —空气中 ²²²Rn 或 ²²²Rn 子体浓度, Bq m⁻³; N_n —仪器示值, Bq m⁻³; K—修正因子,由标准氡室校正后给出。

(2) 实测平均浓度的计算

$$C_{Rn\text{平均}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{Rni}}{n}$$

本工作所用仪器经南华大学标准氡室校准,检测项目和仪器设备的基本情况见表 1。

表 1 检测项目和仪器

项目	仪器设备	检测目的	研制厂家和单位
大气 ²²² Rn	NR667A 氡气测量仪	瞬时氡浓度的测量	广州全成电子公司
	LH 径迹杯	累积氡浓度的测量	CDC 辐射安全所
²²² Rn 子体	DOSPRO 氡子体测量仪	连续氡子体的测量	德国 SARAD 公司
表面析出率	驻极体氡气测量仪	氡发射率	美国 Rad E lec 公司

3 结果与讨论

3.1 氡析出率测量 选择工程中不同岩性的围岩和不同位置的水泥被覆墙面进行了氡表面氡析出率(E_{Rn})的测量,表 2 为采用驻极体法对墙面和岩壁氡析出率的测量结果。

表 2 氡析出率检测结果 (mBq m⁻² s⁻¹)

围岩与墙体	样品数	范围	均值
黑泥质灰岩	4	6.7~9.3	7.7±1.2
黄色岩石	4	0.5~2.4	1.3±0.8
水泥被覆	4	3.3~7.3	5.2±2.1

据文献[3]报道混凝土材料氡析出率世界典型值为 1.6

作者单位: 1 北京外交人员服务局基建处,北京 100027;
2 北京航空航天大学。
作者简介: 周筠(1977~),女,工程师。

各单位领导的培训和宣传,另外,还要充分利用各种方法渠道加强对公众的宣传教育,在今后的工作中我们要加大宣传力度,普及防护知识,提高全民意识。

参考文献:

[1] 闫满亮.邢台市放射卫生现状及监督管理对策[J].中国辐射卫生,2006,15(1):35-36
[2] 刘栋峰,郝文源,匡彦.莱芜市医用射线装置放射防护监督管理与体会[J].中国辐射卫生,2006,15(1):34-35
(收稿日期:2007-01-04)

$\text{mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; 水泥地板的 E_{Rn} 典型值为 $0.8 \text{ mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。该工程水泥被覆墙氡析出率的均值 (5.2 ± 2.1) $\text{mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; 黑泥质灰岩氡析出率的均值 (7.7 ± 1.2) $\text{mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; 分别为世界典型值的 3 倍和 4.8 倍, 洞体围岩和建筑材料可以成为工程中氡的重要源。

3.2 施工阶段氡浓度测量

(1) 瞬时氡浓度的测量 在工程现场裸露岩石疏松灰质岩地区测量氡浓度在 $18.8 \text{ Bq m}^{-3} \sim 28.8$ 之间, 平均值为 23.8 Bq m^{-3} ; 在工程现场水泥被覆段连续测量 3 h 氡浓度在 $62 \text{ Bq m}^{-3} \sim 114 \text{ Bq m}^{-3}$ 之间, 平均值为 95.5 Bq m^{-3} ; 在工程现场水泥被覆段连续氡监测仪测量 25 个多小时, 其氡浓度为 $54 \text{ Bq m}^{-3} \sim 160 \text{ Bq m}^{-3}$ 之间, 平均值为 110 Bq m^{-3} , 呈夜间高的趋势。

(2) 累积氡浓度测量 在工程现场不同地点布放 L.H 径迹杯, 一般布放 3 个月左右, 个别最短时间 2 d 最长时间在半年以上。测得的平均氡浓度在 $151 \text{ Bq m}^{-3} \sim 2184$ 之间, 这些数据的算术平均值为 560 Bq m^{-3} 。结果见表 3。

表 3 工程内累积测量的平均氡浓度(施工阶段)			
探测器编号	暴露时间(h)	径迹密度(Tr cm ⁻²)	氡浓度(Bq m ⁻³)
1	1 680	16 032	2 184
2	1 680	1 142	156
3	1 680	1 500	204
4	1 680	1 111	151
5	3 576	6 416	470
6	5 616	8 048	296
7	45.5	77	388
8	45.5	126	632

此后, 对正在施工的工程内部环境每 3 个月继续采用 L.H 径迹杯进行了累积氡浓度的测量, 取得了氡浓度数据 29 个, 氡浓度范围值 $96 \text{ Bq m}^{-3} \sim 1495$, 平均 402 Bq m^{-3} 。

3.3 使用阶段氡浓度测量 工程建成投入使用后, 从 2006 年 5 月至 2006 年 9 月, 对工程使用阶段的内部环境采用 L.H 径迹杯进行了为期 4 个月的累积氡浓度的测量, 取得了氡浓度数据 14 个, 氡浓度范围值 $2933 \text{ Bq m}^{-3} \sim 18040$, 平均 6350 Bq m^{-3} 。测量数据详见表 4。

表 4 工程内累积测量的平均氡浓度(使用阶段)		
测氡杯号	布放时间(月)	氡浓度(Bq m ⁻³)
1	4	6 931
2	4	6 023
3	4	5 555
4	4	5 337
5	4	3 227
6	4	6 088
7	4	5 555
8	4	5 887
9	4	6 126
10	4	6 063
11	4	18 040
12	4	2 933
13	4	5 876
14	4	5 261

4 问题与讨论

4.1 氡的来源与室内进入模型 建筑物内氡浓度主要来源于建筑材料和土壤渗透, 它们之间的关系可用下式表示:

$$R = \frac{\sum E_i S_i / V + R_{n\alpha} \lambda_v}{\lambda + \lambda_v}$$

式中: R 为室内平均氡浓度 (Bq m^{-3}); E_i 为氡的析出率 ($\text{Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); S_i 为 i 种材料的表面积 (m^2); V 为房间体积 (m^3); $R_{n\alpha}$ 为室外氡浓度 (Bq m^{-3}); λ 为氡的衰变常数 ($2.1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$); λ_v 为自然通风率 (s^{-1}), 一般情况采用 0.5 h^{-1} 。

地下工程修建好后, 为了防潮通常比较密封, 室内与室外的空气交换率非常低, 自然通风率接近于 0.01 h^{-1} 。室外氡的贡献可忽略, 上式可简化为:

$$R_{n\alpha} = \frac{\sum E_i S_i / V}{(0.01 + \lambda)}$$

根据地下工程的房间墙地顶的表面积和房间体积, 采用测

量的建筑材料的析出率可以用来估算室内氡的浓度。

4.2 岩体和混凝土被覆氡的释放 该地下工程房间长宽高为 $4 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 通道的长宽高为 $20 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 2.2 \text{ m}$ 大厅的长宽高为 $10 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 3.2 \text{ m}$ 。利用上述模型, 假定房间的墙地顶面的析出率是均匀的常数, 我们可以探讨房间中氡析出率和氡浓度及通风率的关系。见表 5。

表 5 通风对室内氡浓度影响的测算						
E_{Rn} ($\text{mBq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	房间 $S=4 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$		通道 $S=20 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$		大厅 $S=10 \text{ m} \times 6 \text{ m}$	
	5.2	7.7	5.2	7.7	5.2	7.7
C_{Rn} 计算值 (Bq m^{-3})	$\lambda_v=0.00$ 5 h^{-1}					
	2 401	3 555	3 491	5 169	1 726	2 556
	$\lambda_v=0.0$ 1 h^{-1}					
	1 717	2 543	2 497	3 697	1 235	1 828
	$\lambda_v=0.1$ h^{-1}					
	280	414	407	603	201	298
	$\lambda_v=0.5$ h^{-1}					
	59	88	91	128	43	63

通过推算, 可以看出氡浓度与通风率的关系十分密切, 氡浓度与通风率呈反比, 当通风率增加时, 氡浓度降低。这也相应合理地解释了在施工阶段氡浓度显著低于使用阶段氡浓度的现象。因为工程施工阶段和使用阶段是两种不同的状态。工程施工阶段其内部空间是长隧洞、大空间、自然通风和局部机械排风解决爆破时的烟尘, 使工程内部的氡浓度不容易积聚。工程使用阶段, 大空间根据需求被分隔成一间间相对封闭的小空间, 加上测试期间一直处于工程维护状态, 没有启动机械通风系统, 使得氡浓度在密闭小空间内积聚到了惊人的数值, 平均水平超过地下建筑氡标准规定的限值^[5] (800 Bq m^{-3}) 6 倍, 个别点达 22 倍。因此在使用时要特别加强通风, 以保护工作人员的健康。

另外应注意材料表面氡的析出, 对于析出率较高的围岩, 要选用密致材料加以屏蔽, 尽量减少氡的来源。地下建筑往往不易通风, 选择辐射水平较低的建筑材料尤为重要。

4.3 测量时间的影响 氡浓度测量受工程区域温度、湿度、大气压力、通风条件和工程地质状况等环境因素的影响, 随昼夜、周、月、季的变化而变化。地面日变化规律为: 每天气温最高时间 12~14 时氡浓度最低, 夜间温度最低的 2~3 时氡浓度最高。其年变化规律为: 每年温度最高的 6~8 月份氡浓度最低, 温度最低的 12~1 月份氡浓度最高。而地下空间内氡浓度的年变化差不多比地面滞后半年, 正好与地面氡浓度变化相反^[4]。作为对工程中氡水平的评价, 我国绝大多数的控制标准指的是氡的年均浓度。本工程快速瞬时测量时间短, 还不足以反映工程的年均氡浓度值; 而累积测量时间长、数据多、比较接近氡的实际年均浓度; 氡析出率的测量数据同样随昼夜、周、月、季的变化而变化, 表 2 测试的数据是 3 个月的平均值, 尚不能反映年均值, 数据量也偏少, 有一定的参考价值。

5 结论

在对地下工程进行氡浓度评估时, 氡析出率是重要指标。在施工过程中, 由于处于通风状态, 氡浓度的测量结果不能简单地作为判定地下工程是否需要防氡工程处理的判据。针对该工程使用阶段内部环境氡浓度严重超标的实际状况, 可以采用建筑防氡涂料来降低混凝土被覆表面的氡析出率, 屏蔽岩体与被覆表面对地下空间的氡释放; 也可以采用加强通风换气的办法降低地下工程内部环境的氡浓度。

参考文献:

[1] 于水, 王幼鹏, 骆亿生, 等. 部分住宅和地下空间氡浓度的监测及防护措施研究[J]. 辐射防护, 1999, 19(3): 196.

[2] 郑天亮, 周竹虚, 尚兵. 建筑工程防氡技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006. 6: 165-67.

[3] UNSCEAR2000 年报告. 电离辐射源与效应[M]. 太原: 山西科学技术出版社.

[4] 程业勋. 空气氡的大地来源理论研究[Z]. 全国天然辐射照射与控制研讨会论文集汇编, 2000. 11.

[5] GB16356-1996 地下建筑氡及其子体控制标准[S].

(收稿日期: 2007-03-05)