

文章编号 :1001 - 4810(2002)02 - 0137 - 03

旅游溶洞内氡污染和从业人员的辐射防护^①

吕惠进

(浙江师范大学地理系 浙江金华 321004)

摘 要 :在我国南方许多已辟为旅游景区(点)的溶洞中,氡及其子体浓度严重偏高,有的甚至超过放射性矿区坑道作业面上最大容许浓度,危害旅游从业人员和游客的健康,应引起有关部门的重视。

关键词 :氡污染 溶洞 辐射防护

中图分类号 :X34 **文献标识码** :A

1 概 述

我国的岩溶地貌比较发育,尤其在南方地区。由于溶洞及其沉积物奇特的造型,成为地质遗产的重要组成部分。经长期的开发利用,许多溶洞已成为著名的旅游景区或景点,从而使岩溶洞穴旅游从业人员也不断增加。但由于溶洞所处的地质环境特殊,易发生氡及其子体的富集,尤其在周围岩石或土壤铀、镭等放射性元素含量高、洞内通风不畅的溶洞,浓度更高。有的甚至超过放射性矿区坑道作业面上最大容许浓度,在一定的程度上危害了旅游从业人员的健康和游客的健康。然而由于氡及其子体的物理性质和超量辐射致病的潜伏期较长,不少人对其危害性没有引起应有的重视。本文根据浙江、湖南、贵州等省部分溶洞氡及其子体的浓度特征,在分析其成因的基础上提出了防治措施,以引起有关部门的注意。

2 氡及其子体的危害

氡是由铀、镭等放射性元素衰变产生的一种放射性惰性气体,进一步衰变产生一系列金属子体。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。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,并且氡对肺癌的危险性比烟草还要高。联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)

1982 年报告,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,人体如长期受氡的电离辐射,氡及其子体还能诱发白血病、胃癌、皮肤癌等^[1]。如香港地区每年因氡致癌约占肺癌患者的 30%^[2]。氡污染与肺癌呈明显的相关性。据谈树成等(1997)研究,引起个旧矿工肺癌的病因是他们在工作中长期遭受放射性氡气及其子体照射,尤其是经呼吸作用而形成的“内照射”。据统计,1954-1994 年肺癌患者共达 2492 例,其中有 10 年以上矿坑史的占 2117 例,平均每年死于肺癌的矿工达 586 人,据估计,云南锡矿矿工约 3000 人受到的氡辐射累积剂量超过国际确认的氡致癌剂量标准(600wlm)。肺癌潜伏期长,一般可达 20~35 年,在今后的 15 年内,矿工每年肺癌发病或死亡者可达 95~120 人^[3]。在个旧非铀矿山的矿工中,肺癌发病率与氡累计暴露剂量呈明显的正相关($R = 0.984$),井下工龄越长,发病率越高^[4]。我国根据国际放射防护委员会(ICRP)标准制定了我国的国家标准^[5],即对“已有建筑”室内氡的行动水平定为 $200\text{Bq}/\text{m}^3$ 平衡当量氡浓度(EEC);对于“未来建筑”室内氡水平的上限定为 $100\text{Bq}/\text{m}^3$ (EEC)。

3 旅游溶洞中氡及其子体浓度与剂量

3.1 旅游溶洞中氡的浓度

^① 作者简介:吕惠进(1958-),男,汉族,浙江缙云人,副教授。主要研究方向:环境地质与矿产资源开发利用。
收稿日期:2002-01-07

陈煜有等(1995)对贵州省已开发的20多处旅游溶洞进行了氡浓度调查,大部分溶洞的氡浓度较高。尤其是洞体很长、仅有一个洞口的溶洞(如织金洞、将军洞、打渔洞等),浓度最高,平均值达 $1515.0\text{Bq}/\text{m}^3$,已超过国家规定的普通放射性工作场所空气中最大氡最大容许浓度 $1100\text{Bq}/\text{m}^3$;少数溶洞内最大值达 $5076\text{Bq}/\text{m}^3$,已超过放射性矿区坑道作业面上最大容许浓度 $3700\text{Bq}/\text{m}^3$ 。罗开训等(1996)根据湖南省溶洞的分布状况、结构及主要景点,选择了已开发的4个溶洞进行了 γ 辐射测量和氡及其子体的浓度测量^[7]。结果显示4个溶洞内氡的平均浓度分别比湖南省居室内平均浓度高出约16倍,比居室外高出26.6倍。其中的奇梁洞氡浓度达 $1530.1\text{Bq}/\text{m}^3$,浓度最低的九天洞也达 $360.3\text{Bq}/\text{m}^3$,大大超过ICRP标准和我国的国家标准。郑名寿(1999)对浙江省桐庐瑶琳仙境、建德灵栖洞、霭云洞中的氡浓度进行测量,它们均在 $1300\text{Bq}/\text{m}^3$ 以上^[8]。

3.2 旅游溶洞中氡的子体浓度及所致剂量

氡子体浓度与氡浓度呈正相关,即溶洞内氡浓度越高,其子体浓度也越高。贵州溶洞中氡的子体浓度为 $(0.5 \sim 16.2) \times 10^{-7}\text{J}/\text{m}^3$ 。湖南省溶洞中氡子体浓度为 $(8.9 \sim 44.2) \times 10^{-7}\text{J}/\text{m}^3$ 。假设从业人员每天在溶洞内工作8小时,在地面停留11小时,室外活动5小时,三处的呼吸率分别为 $10\text{m}^3/\text{d}$ 、 $5.5\text{m}^3/\text{d}$ 、 $10\text{m}^3/\text{d}$,溶洞内、室内和室外三处年呼吸率分别为3560、2190和 1825m^3 。根据UNSCEAR1982年报告推荐的吸入单位氡子体潜能所致的年有效剂量当量系数(居室内外、溶洞(取矿井)分别为2.0、3.0和2.5)计算,溶洞及室内外氡子体可致年均有效剂量当量为 $(9.14 \sim 41.63) \times 10^{-7}\text{J}/\text{m}^3$ 。平均有效剂量当量超过我国《放射卫生防护基本标准》规定的公众个人全身受到年当量剂量限值的2.3倍。

3.3 旅游溶洞中氡和子体浓度大小的影响因素

旅游溶洞中氡和子体的浓度大小主要取决于地质因素和溶洞的特征(溶洞的大小、类型、深度、通风条件等)和观测时间。

溶洞的岩石、土壤中放射性元素的丰度和洞内地下水中氡的含量是影响氡浓度的主要因素。如湖南奇梁洞岩石中镭的含量较高($411.9\text{Bq}/\text{kg}$),相应的氡和子体浓度也较高(氡平均值为 $1530.1\text{Bq}/\text{m}^3$);而九天洞岩石中镭的含量较低($27.6\text{Bq}/\text{kg}$),相应的氡和子体浓度也较低(氡平均值为 $360.3\text{Bq}/\text{m}^3$)。氡溶于

水的能力很强,其溶解度约为50%。地下水在高压下氡的浓度很高,当地下水沿断裂运移至溶洞中,由于温度增高、压力降低及溶解度减小,因而氡从地下水中逸出,增加了溶洞中氡和子体的浓度。例如生活中用水中氡浓度为 $103\text{Bq}/\text{l}$ 时,对室内氡浓度的贡献达 $100\text{Bq}/\text{m}^3$ 。

其次是断裂的发育程度。研究表明,断层破碎带深部储存大量的氡气,它向上以气流运动及扩散迁移方式释放到溶洞空间,使溶洞内氡和子体浓度增加。如梁致荣等(2000)在地面采用静电 α 卡测氡法垂直断层走向测得NE向断层对地表释放氡的高浓度曲线,其中最高异常区向地表释放氡的量为背景值的206倍。

第三是溶洞的通风条件。通风不畅,溶洞内浓度增高。溶洞的通风条件取决于溶洞的类型、大小、埋深、洞口数量。在相同的地质背景下,只有一个洞口且埋深较大、洞内体积较小的溶洞,浓度最高。

由于受溶洞内温度和气压及其温差和压差的影响,在不同的季节浓度有所变化。谈树成等(1998)对云南个旧矿山井下氡及氡子体浓度的研究表明,夏季氡浓度比冬季高出2.95倍之多。认为这种变化特点与季节性气候变化引起的空气压差变化有关,夏季压差大,冬季压差小,氡气流也随之发生变化。溶洞与矿井的条件相近。程业勋等^[9]研究表明,地下1m以下土壤中氡浓度的日变化不明显,年变化中1-2月份浓度最低,6-7月份浓度最高。而每年5-10月份是旅游的黄金季节,游客如织,洞内的旅游从业人员长时间滞留在洞内,氡及其子体污染构成的危害更大。

4 辐射防护措施

4.1 降低洞内氡及其子体的浓度

氡及其子体对人的剂量贡献主要来自氡子体,所以清除氡及其衰变产物,也就能降低氡对健康的危害。据于水等^[10]研究,使用Turbo-88R净化器采用静电集尘技术,收集空气中粒径大于 $0.01\mu\text{m}$ 粒子的效率可达99.9%。经试验,在 35m^3 房间内开启Turbo-88R净化器10min(大约相当室内空气交换一次),氡子体浓度即可下降约50%。2h后下降约70%。两台同时开启1h,氡子体浓度下降80%以上。在通风不畅、体积不大、浓度特高的部位可以采用。利用防

氡性能好的复合砂浆、涂料和油漆等处理其表面,防止氡气析出,减少氡的来源,也是氡辐射防护一种很效的方法。例如,高秀峰等^[1]用复合砂浆降低楼房内混凝土材料所释放的氡气浓度,从 2500Bq/m³ 减至 200Bq/m³。因此在不影响景观的前提下可采用复合砂浆封闭断裂破碎带的裂隙。

4.2 加强溶洞内氡及其子体浓度的监测

在溶洞旅游资源评价和规划中,应把溶洞中氡及其子体的浓度作为评价和规划指标,请有关部门对溶洞进行氡及其子体浓度进行调查。对浓度严重超标,开发利用前景不大、经济效益一般的溶洞应不予以开发。对已开发利用的溶洞,各地的环保、质监部门也应根据有关的国家标准对溶洞内氡及其子体浓度进行监测,对严重超标的应责令其设立监测点,采取相应的降氡措施。建立对从业人员定期体检和健康档案制度,以保证从业人员和游客的健康。

4.3 改善洞内的通风条件

多数溶洞氡及其子体浓度过高主要是由于通风不畅所致。对洞口少尤其是只有一个洞口的通道式溶洞,应利用各种勘察手段,寻找新的洞口。对洞体长、埋深大的溶洞,应增加通风设备,以降低氡的浓度。据报道机械通风可使氡浓度下降 25% ~ 75%。

4.4 合理安排洞内工作时间,减少工作人员氡的吸入剂量

旅游企业和行业主管部门应重视洞内从业人员

的健康,合理安排,尽可能减少在洞内的滞留时间,以减少吸入剂量。

参考文献:

- [1] 张林,李亚丽.地下建筑物内氡的控制[J].中国辐射卫生,1999,8(3):151-154.
- [2] 梁致荣,刘彝筠,黎烈均,等.居室氡污染的环境因素及防治方法研究[J].中山大学学报论丛,2000,20(4):239-243.
- [3] 谈树成,薛传东.云南个旧城区突出的几个环境地质问题[A].云南地球物理文集(二)[C].昆明:云南大学出版社,1997:153-160.
- [4] 谈树成,薛传东,王学琨,等.云南个旧矿山环境氡污染研究[J].云南环境科学,1998,17(4):3-5.
- [5] 王作元.氡的防护和氡照射流行病学研究[J].辐射防护,1998,18(5-6):481-485.
- [6] 陈煜有,李镇照.旅游溶洞内氡及其子体辐射防护的探讨[J].贵州医药,1995,19(4):251-252.
- [7] 罗开训,高益群,周朝玉,等.湖南省溶洞中氡及其子体浓度与剂量估算[J].中国辐射卫生,1996,1(1):36-37.
- [8] 郑名寿.居室环境放射性危害与防治[J].浙江地质,1999,15(2):67-70.
- [9] 程业勋,王南萍,侯胜利,等.空气氡的大地来源理论研究[J].辐射防护通讯,2001,21(2):15-18.
- [10] 于水,王功鹏,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):195-200.
- [11] 高秀峰,谭志明,高文帆,等.用复合砂浆防止来自楼房建筑物内混凝土氡污染的研究[J].辐射防护通讯,2001,21(1):15-19.

STUDY ON RADON POLLUTION IN TOURIST KARST CAVES AND PROTECTION FROM THE RADIATION

Lü Hui-jin

(Geography Department of Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China)

Abstract: The harmfulness of radon and its daughter to human health has been attached importance to gradually in many karst caves which have been developed into tourist caves. For tourist landscape in southern China, the consistency of radon and its daughter are high obviously. Some of them have exceeded the allowed maximum in gallery of radioactive mining area. It damages the health of human there. This situation should be attached importance to.

Key words: Radon pollution; Karst caves; Protection from the Radiation