

环境氡的控制原则和限值探讨

辽宁省劳动卫生研究所 孟文斌综述

中国医学科学院放射医学研究所 张景源审

提要:为减少环境氡子体所致一般公众的照射剂量,关于环境氡的控制原则和限值的尚需已受到重视。应根据公众可接受的危险度,个人剂量限值,特别是环境氡水平的实际分布,并考虑经济、社会因素和实际可能性来制定环境氡的限值。

随着核能事业的发展,对广大居民可能受到的辐射危害,特别是长期小剂量,低剂量率的照射在致癌、遗传方面的影响研究,得到越来越多的重视。在对人类电离辐射受照份额的研究中,惊奇地发现,人类受到的大部份辐射剂量约82%来自天然源^[1, 2]。UNSCEAR 1982年报告^[3],人类受到的天然辐射剂量约为2mSv,其中40%来自氡及其子体。氡子体可诱发肺癌,这已被大量的流行病学资料^[4~6]和动物实验资料^[7, 8]所证实。因此环境氡子体对人体健康的效应及有关限值和控制原则受到人们的关注^[9~11],本文着重探讨环境氡及其子体的控制原则和限值问题。

一、控制原则

ICRP39号报告^[10]提出了限制一般公众受天然辐射源照射的原则。指出人的活动经多种途径影响天然辐射的剂量,特别是住宅中氡衰变产物由于新建筑技术、建材或地基中镭的增加,以及通风率的减小等因素可引起其浓度增高。并指出:应着重强调在一定程度上控制和限制天然源的照射是可能的。

ICRP已建议了一套剂量限制的制度,即实践的正当化、辐射防护的最优化和个人剂量当量的限值^[12]。并明确指出,所建议的个人剂量当量的限值,不适用于天然辐射。然而委员会认识到,可能存在也需要控制的天然辐射水平,这种控制大致与控制人工源的方式相同(达到实际上可以做到的程度)。

关于住宅氡的新建议是建立在照射源在一定程度上是可控制的基础上的。因此,需要采取任何补救行动的现有的照射情况,与处于决策和计划阶段的可以限制和控制的将来情况是完全不同的。

对现有照射情况,委员会建议如果补救行动很简单,可以考虑 $200\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 左右的平衡当量氡浓度(年有效剂量当量约20mSv)作为行动水平。对严厉的破坏性的补救行动比上述数值大几倍可能更合适。

为了区分出不需要调查和需要调查的照射,国家有关部门应制定调查水平。调查水平与可能的行动水平有关,不能定得太低,也不能太高。

对将来的照射情况,委员会相信平衡当量氡浓度的合理上限约为 $100\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 。这一数值将能防止氡成为住宅中的主要危害源。

二、限值

ICRP 32号出版物^[13]已对职业工作人员提出了限值,即年摄入量为 0.02J ,相应的平衡当量氡浓度(EEC)为 $1500\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$,年有效剂量当量50mSv,或年暴露量4.8WLM。考虑到矿井其它放射源的照射量,此值应减少到4WLM。虽然这个限值不能直接用于一般公众,但也为考虑非职业照射的限值提供了依据。如个体年暴露量的限值可能估计在 $0.4\sim 4\text{WLM}$,即职业限值的(10~100)%,而一般居民的平均值将根据可接受

的危险度水平和利益代价分析来确定^[14]。O'Riadan曾提出行动水平50 mSv, 设计水平5mSv的年剂量限值建议^[15]。NCRP提出行动水平的年暴露量为2 WLM ($\approx 150\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}\text{EEC}$)^[15, 16]。

加拿大联邦省放射性工作组建立了用于放射性矿山和矿石污染地区的去污标准^[17], 即敦促行动为7 WLM $\cdot\text{a}^{-1}$; 基本标准为1 WLM $\cdot\text{a}^{-1}$; 调查水平为0.5 WLM $\cdot\text{a}^{-1}$ 。

美国为处理科罗拉多大克章江因用铀尾矿使室内氡浓度异常高的问题, 于1970年建议了暴露量限值标准, 即 $<0.5\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$, 无需行动; $0.5\sim 2.5\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$, 可提出补救行动; $>2.5\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$, 需要补救行动。这一标准也被用于回收的佛罗里达磷酸盐土地和用含富镭的废料作建材的情况^[17]。

美国环保局(EPA)曾提出关于减少建筑在矿化地面上住宅室内氡子体浓度的行动水平, 即当室内氡子体年平均浓度超过0.02

WL时($>1\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$), 需要采取补救行动。这种行动是强制性的, 而且, 费用合理时, 可自觉地将补救行动用于典型本底(0.004WL)以上 0.005WL ($0.5\sim 1\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$)的情况^[17]。这样, EPA似乎提出了对所有情况下的标准, 约为 $1\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

瑞典于1980年颁布了临时法规, 认为室内平衡当量氡浓度超过 $400\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 即受到污染, 相应的年暴露量为5 WLM; 补救行动后, 或建筑物改建后, 年暴露量不应超过2.5 WLM, 相当于 $200\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (EEC); 新建的建筑物, 最大年平均浓度为 $70\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (EEC), 相当于 $1\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$ ^[9]。而瑞典氡委员会最终报告建议对现有房屋指导采取措施的行动水平为 $(100\sim 400)\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$; 对将来房屋(设计水平)为 $<100\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ^[18]。

苏联、波兰等国也提出了有关限值, 各国限制室内氡暴露量的行动水平、调查水平、设计水平详见表1。

表1 各国室内氡浓度的限值($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, EEC)

	现 有 房 屋		将来房屋 设计水平	文 献
	行动水平	调查水平		
美国科罗拉多	200(2.5WLM) ^a	40(0.5WLM)	56	[11, 17]
美国佛罗里达	70(1WLM)	40	75	
美国EPA	>70	...	...	[17]
美国健康教育福利部	>190	...	<40	
NCRP	150(2WLM)	...	...	[16]
Auxier建议	37~185	...	...	[19]
加 拿 大	b { 70 550(7WLM)	40	75	[11, 17]
瑞 典 ^c	400(5WLM)	...	70	
芬 兰	360	...	70	
波 兰	...	...	20	
苏 联	...	...	70	
英 国	200(20mSv)	...	50(5mSv)	[20]
关切科学家同盟 (Union of Concerned Scientists)	74~185 ^d	...	...	[21]
ICRP	200	...	<100	[10]

a. 括号内数字为相应的年暴露量或年有效剂量当量, 以90%居留时间计;

b. 70为推荐调查(Investigation recommended), 550为紧急行动水平;

c. 暂时限值, 氡委员会最终报告推荐指导采取措施的范围为 $100\sim 400\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$;

d. $74\sim 185(0.074\sim 0.185\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1})$ 为建议行动水平, >185 为指示行动水平。

由表1可知,对将来房屋,设计水平除波兰外,都是相似的,即 $<190\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$,或 $70\sim 75\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$,相应的年暴露量为 $1\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$ 。对现有房屋,虽有些差别,但如果用简单方法和较低费用能够降低水平,也应降低,即保持尽可能合理达到的低水平($70\sim 200\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$),这一原则是通用的。

三、讨论与建议

NCRP77号报告^[16]根据Harley和Pasternack提出的预示氡子体照射危险度的模型,从危险度、剂量限值和暴露量的实际分布三个方面,详细地讨论了氡子体照射的限值问题。与可接受的职业危险度 $1\times 10^{-4}\cdot\text{a}^{-1}$ 相应的暴露量大约为 $0.5\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$;与一般公众可接受的危险度 $10^{-5}\cdot\text{a}^{-1}$ 相应的暴露量为 $0.05\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$,只有平均本底的1/4,显然这是行不通的。由各种暴露水平估算的肺癌死亡率见表2。可知,平均本底暴露量 $0.2\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$ 相应的年危险为 $4\times 10^{-5}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

表2 公众受不同水平氡子体暴露量预期的超额肺癌死亡率

条 件	氡子体暴露量 ($\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$)	终生危险 (例/ 10^6 人)	年危险* [例/(10^6 人·年)]
平均本底	0.2	1 800	40
可能的限制水平	0.5	4 600	100
	1.0	9 100	200
	2.0	18 000	400
职业限值	4.0	36 000	800

* 40年以后

假如NCRP39号报告提出的器官和组织不超过 $5\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ 的标准用于支气管上皮,那么其所相应的氡子体年暴露量将低于 0.036WLM ,只是平均本底值的1/6,也是不能达到的。

若氡子体的平均暴露量为 $0.2\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$,则据美国预测超过 $0.5\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$ 的居民约6%,超过 $1\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$ 的约1.2%,超过 $2\text{WLM}\cdot\text{a}^{-1}$ 的约0.14%。

由各种暴露水平估算的肺癌死亡数分布资料表明,居民的死亡率主要在低水平暴露量的人群中。因此,任何关于氡子体暴露量的限值只能减少少数人中的个体危险,而不能明显地减少整个居民的危险。

综上所述,正当化和最优化原则可适用于环境氡的暴露,而剂量限值不适用。因天然的非天然的辐射不易鉴别,可按可控制程度区分为现有照射和将来照射。应根据公众可接受的危险度,个人剂量限值,特别是环境氡水平的实际分布,并考虑经济、社会因素和实际可能性来制定环境氡的限值。

为了减少环境氡所致一般公众的暴露量,建议对现有房屋的行动水平和将来房屋照射的上限值(设计水平)分别为 150 和 $75\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (EEC)。此值与大多数国家和权威机构的建议基本一致。考虑到儿童的剂量换算因子和辐射致癌危险性均比成人大,行动水平比ICRP建议稍严些。从辽宁、北京、湖北等省市室内氡水平的调查结果来看,超过 $100\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (EEC)的只占1%左右,上述建议的限值是不难实现的。

对于用作工作场所的各种地下设施,包括人防工程的开发利用,一般居留因子不大于40%,其限值的导出空气浓度可加倍,即行动水平为 $300\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (EEC)。150 $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (EEC)可作为调查水平。根据辽宁等省市的调查结果,有7%的人防工程和12%的岩洞内氡浓度大于 $300\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (EEC)^[22]。有些工程,特别是岩洞都缺乏通风设备,如通风设备不断完善,氡浓度便可进一步降低,超过 $300\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (EEC)的百分数也将大大下降,因此,所建议的限值是可以预期实现的。

参 考 文 献

1. NCRP Report No.93, 1987
2. Sinnaeve J et al; Radiat Protect Dosimet 1984, 7 (1~4): 15

3. UNSCEAR: Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects 1982, p141~210, United Nations, New York
4. Victor E and Archer MD: J Occ Med 1981, 23(7):502
5. BEIR IV, Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha Emitters 1988, National Academy, Washington
6. Sevc J et al, Health Phys 1988, 54(1): 27
7. Chameaud J et al, Proc Int Conf Radiation Harzards in Minig 1981, p222-227, New York
8. NCRP Report No. 78, 1984, Bethesda Maryland
9. ICRP Publication 50, 1986, Oxford
10. ICRP Publication 39, 1984, Oxford
11. Swedjemark GA: Health Phys 1986, 51(5):569
12. ICRP Publication 26, 1977, Oxford
13. ICRP Publication 32, 1981, Oxford
14. Nero AV: Health Phys 1983, 45(2): 277
15. Sinnaeve J, Radiat Protect Dosimet 1984, 7(1~4):427
16. NCRP Report No. 77, 1984, Bethesda Maryland
17. O'Riordan MC, Radiol Prot Bull 1982, 46:7
18. National Institute of Radiation Protection, Radon in Housing, 1984, Stockholm Sweden
19. Auxier JA, Health Phys 1976, 31(2): 119
20. National Radiological Protection Board, Radiological Protection Standards ASP 10, 1987
21. Hilemam B, Environ Sci Technol 1983, 17(10):469A
22. 孟文斌等: 中华放射医学与防护杂志 1988, 8(4):247

读者信息

北京国际核医学大会于1988年10月14日闭幕。本刊下期将报道大会发言。

会议所录文章已整理成英文摘要集, 中国医学科学院学报特出增刊, 有意者请与北京协和医院核医学科联系。

* * *

中华医学会核医学会拟于1989年5月在沈阳召开第三次全国核医学学术会议。

* * *

由中华医学会放射医学与防护学会组织的国际放射与防护讨论会, 将于1989年11月20~22日在北京举行。大会主席为魏履新研究员。会议语种为英语。

* * *

中华医学会放射医学与防护学会第三届全国学术会议将于1989年第二季度在成都举行。