

剂量·防护

若干核素不同活度中值空气动力学直径 放射性气溶胶年摄入量限值

叶常青 沈智渊

(北京放射医学研究所)

《放射卫生防护基本标准》(GB4792)给出的吸入放射性核素的年摄入量限值(ALI)是基于吸入的气溶胶的活度中值空气动力学直径(AMAD)按 $1\mu\text{m}$ 而计算的^[1]。当AMAD不等于 $1\mu\text{m}$ 时,应按沉积在呼吸系统三个部位的放射性气溶胶对靶器官剂量的贡献份额对剂量换算因子(h_{50T} , Sv/Bq)进行修正后再求出不同AMAD放射性气溶胶的ALI^[2]。

已有资料表明,气载放射性微粒的AMAD并不限于GB4792设定的 $1\mu\text{m}$ 。如对天然铀燃料元件加工场所4个采样点上测得的AMAD均值分别为0.97、10、27和 $89\mu\text{m}$ ^[3]。在铀浓缩料岗位旁含铀气溶胶的AMAD初始为 $13\mu\text{m}$,经20分钟后减至 $3\mu\text{m}$;UF₆出料岗位不通风时为 $10-15\mu\text{m}$,通风时为 $8-10\mu\text{m}$ ^[4]。一次含²¹⁰Po废液扩散引起的环境污染事故中释出气溶胶的AMAD= $0.2\mu\text{m}$ ^[5]。氦、氖子体结合在空气中微粒表面而形成的气溶胶,其活度中值直径(AMAD)约为 $0.1-0.2$

 μm ^[6]。

Woods采用国际放射防护委员会第30号出版物(ICRP-30)^[2]给出的方法,计算了含铀、钍系9种核素不同核素的4种矿尘或产品微尘的ALI,证明AMAD= $5\mu\text{m}$ 和 $10\mu\text{m}$ 的ALI多数大于 $1\mu\text{m}$ 的ALI,最高的数值为5倍^[7]。从辐射监测角度,ICRP-54^[8]已对AMAD的影响予以考虑,该报告给出的代谢资料包括了AMAD= 0.2 、 1 和 $10\mu\text{m}$ 三种粒谱的气溶胶。

作者受放射防护标准分委员会的委托,起草《不同活度中值空气动力学直径放射性气溶胶年摄入量限值》国家标准草案。为此,按ICRP-30^[2]给出的方法及其附篇中各项所需的参数,计算了89个元素、719种核素的不同AMAD的ALI,如果考虑同一核素不同化合物或其廓清类别则共计1319核素次。AMAD的范围是 $0.2-10\mu\text{m}$ 内选定6个点。为实用方便起见,本文按ICRP-54^[8]选定的36个核素,共计70个核素次,结果见表1。

表1 不同AMAD放射性气溶胶的ALI, Bq

核素	廓清类别	AMAD					
		$0.2\mu\text{m}$	$0.5\mu\text{m}$	$1\mu\text{m}$	$2\mu\text{m}$	$5\mu\text{m}$	$10\mu\text{m}$
³² P	D	3.0×10^7	3.4×10^7	3.4×10^7	3.1×10^7	2.7×10^7	2.5×10^7
	W	7.7×10^6	1.0×10^7	1.4×10^7	1.8×10^7	2.4×10^7	2.9×10^7
⁵¹ Cr	D	1.7×10^9	1.9×10^9	1.9×10^9	1.7×10^9	1.5×10^9	1.4×10^9
	W	5.0×10^8	6.7×10^8	8.7×10^8	1.1×10^9	1.3×10^9	1.5×10^9
	Y	3.8×10^8	5.2×10^8	7.1×10^8	9.7×10^8	1.4×10^9	1.8×10^9
⁵⁴ Mn	D	2.8×10^7	3.3×10^7	3.4×10^7	3.3×10^7	2.9×10^7	2.8×10^7
	W	1.7×10^7	2.3×10^7	2.9×10^7	3.7×10^7	4.6×10^7	5.3×10^7
⁵⁹ Fe	D	1.1×10^7	1.2×10^7	1.3×10^7	1.2×10^7	1.1×10^7	1.0×10^7
	W	1.2×10^7	1.5×10^7	1.9×10^7	2.2×10^7	2.4×10^7	2.5×10^7
⁵⁷ Co	W	5.2×10^7	7.2×10^7	1.0×10^8	1.5×10^8	2.5×10^8	4.2×10^8
	Y	1.2×10^7	1.7×10^7	2.5×10^7	3.7×10^7	6.5×10^7	1.2×10^8
⁵⁸ Co	W	2.3×10^7	3.2×10^7	4.1×10^7	5.1×10^7	6.3×10^7	7.2×10^7
	Y	1.3×10^7	1.8×10^7	2.6×10^7	3.9×10^7	6.9×10^7	1.3×10^8
⁶⁰ Co	W	3.8×10^6	5.0×10^6	6.3×10^6	7.6×10^6	9.6×10^6	1.0×10^7
	Y	6.1×10^5	8.7×10^5	1.2×10^6	1.8×10^6	3.3×10^6	5.9×10^6
⁸⁵ Sr	D	8.7×10^7	9.7×10^7	9.7×10^7	8.8×10^7	7.5×10^7	7.0×10^7
	Y	2.9×10^7	4.1×10^7	5.8×10^7	8.7×10^7	1.5×10^8	2.8×10^8
⁸⁹ Sr	D	2.8×10^7	3.2×10^7	3.1×10^7	2.8×10^7	2.4×10^7	2.2×10^7
	Y	2.5×10^6	3.5×10^6	5.0×10^6	7.4×10^6	1.3×10^7	2.4×10^7
⁹⁰ Sr	D	5.9×10^5 , B	6.7×10^5 , B	6.9×10^5 , B	6.4×10^5 , B	5.7×10^5 , B	5.3×10^5 , B
	Y	7.2×10^4	1.0×10^5	1.4×10^5	2.2×10^5	3.8×10^5	6.9×10^5

(续表 1)

核素	廓清类别	A M A D					
		0.2 μ m	0.5 μ m	1 μ m	2 μ m	5 μ m	10 μ m
⁹⁵ Zr	D	4.0 $\times 10^6$, B	4.7 $\times 10^6$, B	5.0 $\times 10^6$, B	4.9 $\times 10^6$, B	4.5 $\times 10^6$, B	4.3 $\times 10^6$, B
	W	8.5 $\times 10^6$	1.1 $\times 10^7$	1.4 $\times 10^7$	1.7 $\times 10^7$	1.8 $\times 10^7$, B	1.7 $\times 10^7$, B
	Y	5.1 $\times 10^6$	7.2 $\times 10^6$	1.0 $\times 10^7$	1.5 $\times 10^7$	2.7 $\times 10^7$	4.9 $\times 10^7$
¹⁰⁶ Ru	D	2.7 $\times 10^6$	3.1 $\times 10^6$	3.3 $\times 10^6$	3.1 $\times 10^6$	2.8 $\times 10^6$	2.6 $\times 10^6$
	W	1.0 $\times 10^6$	1.4 $\times 10^6$	2.0 $\times 10^6$	2.9 $\times 10^6$	4.9 $\times 10^6$	8.2 $\times 10^6$
	Y	2.1 $\times 10^5$	2.9 $\times 10^5$	4.2 $\times 10^5$	6.3 $\times 10^5$	1.1 $\times 10^6$	2.0 $\times 10^6$
^{110m} Ag	D	4.0 $\times 10^6$	4.6 $\times 10^6$	4.9 $\times 10^6$	4.7 $\times 10^6$	4.2 $\times 10^6$	4.0 $\times 10^6$
	W	4.2 $\times 10^6$	5.5 $\times 10^6$	6.9 $\times 10^6$	8.3 $\times 10^6$	9.6 $\times 10^6$	1.1 $\times 10^7$
	Y	1.7 $\times 10^6$	2.5 $\times 10^6$	3.5 $\times 10^6$	5.2 $\times 10^6$	9.3 $\times 10^6$	1.7 $\times 10^7$
¹²⁴ Sb	D	3.2 $\times 10^7$	3.5 $\times 10^7$	3.4 $\times 10^7$	3.0 $\times 10^7$	2.5 $\times 10^7$	2.3 $\times 10^7$
	W	4.8 $\times 10^6$	6.6 $\times 10^6$	9.0 $\times 10^6$	1.2 $\times 10^7$	1.7 $\times 10^7$	2.3 $\times 10^7$
¹²⁵ Sb	D	7.5 $\times 10^7$	8.9 $\times 10^7$	8.8 $\times 10^7$	8.0 $\times 10^7$	6.8 $\times 10^7$	6.3 $\times 10^7$
	W	9.5 $\times 10^6$	1.3 $\times 10^7$	1.9 $\times 10^7$	2.8 $\times 10^7$	5.1 $\times 10^7$	9.1 $\times 10^7$
¹²⁵ I	D	2.3 $\times 10^6$, T	2.4 $\times 10^6$, T	2.3 $\times 10^6$, T	2.0 $\times 10^6$, T	1.6 $\times 10^6$, T	1.5 $\times 10^6$, T
¹²⁹ I	D	3.1 $\times 10^5$, T	3.3 $\times 10^5$, T	3.1 $\times 10^5$, T	2.7 $\times 10^5$, T	2.2 $\times 10^5$, T	2.0 $\times 10^5$, T
¹³¹ I	D	1.8 $\times 10^6$, T	1.9 $\times 10^6$, T	1.7 $\times 10^6$, T	1.5 $\times 10^6$, T	1.2 $\times 10^6$, T	1.1 $\times 10^6$, T
¹³⁴ Cs	D	3.9 $\times 10^6$	4.1 $\times 10^6$	3.9 $\times 10^6$	3.4 $\times 10^6$	2.8 $\times 10^6$	2.6 $\times 10^6$
¹³⁷ Cs	D	5.7 $\times 10^6$	6.1 $\times 10^6$	5.8 $\times 10^6$	5.0 $\times 10^6$	4.2 $\times 10^6$	3.8 $\times 10^6$
¹⁴⁴ Ce	W	6.4 $\times 10^5$	8.1 $\times 10^5$	9.5 $\times 10^5$	1.1 $\times 10^6$	1.2 $\times 10^6$	1.2 $\times 10^6$
	Y	2.6 $\times 10^5$	3.7 $\times 10^5$	5.3 $\times 10^5$	7.9 $\times 10^5$	1.4 $\times 10^6$	2.5 $\times 10^6$
²⁰³ Hg, aD		2.9 $\times 10^7$	3.1 $\times 10^7$	2.9 $\times 10^7$	2.5 $\times 10^7$	2.1 $\times 10^7$	1.9 $\times 10^7$
	bD	3.9 $\times 10^7$	4.5 $\times 10^7$	4.7 $\times 10^7$	4.4 $\times 10^7$	3.9 $\times 10^7$	3.7 $\times 10^7$
	W	2.2 $\times 10^7$	3.1 $\times 10^7$	4.1 $\times 10^7$	5.5 $\times 10^7$	7.7 $\times 10^7$	9.8 $\times 10^7$
²²⁶ Ra	W	1.2 $\times 10^4$	1.7 $\times 10^4$	2.3 $\times 10^4$	3.3 $\times 10^4$	4.9 $\times 10^4$, B	4.8 $\times 10^4$, B
²²⁸ Ra	W	2.5 $\times 10^4$	3.4 $\times 10^4$	4.4 $\times 10^4$	5.6 $\times 10^4$	6.1 $\times 10^4$, B	5.7 $\times 10^4$, B
²²⁸ Th	W	3.0 $\times 10^2$, B	3.4 $\times 10^2$, B	3.6 $\times 10^2$, B	3.5 $\times 10^2$, B	3.2 $\times 10^2$, B	3.1 $\times 10^2$, B
	Y	3.0 $\times 10^2$	4.3 $\times 10^2$	6.0 $\times 10^2$	9.1 $\times 10^2$	1.6 $\times 10^3$	2.9 $\times 10^3$
²³² Th	W	3.8 $\times 10^1$, B	4.3 $\times 10^1$, B	4.6 $\times 10^1$, B	4.5 $\times 10^1$, B	4.2 $\times 10^1$, B	4.1 $\times 10^1$, B
	Y	5.4 $\times 10^1$, B	7.4 $\times 10^1$, B	1.0 $\times 10^2$, B	1.4 $\times 10^2$, B	2.0 $\times 10^2$, B	2.6 $\times 10^2$, B
²³⁴ U	D	3.7 $\times 10^4$, B	4.3 $\times 10^4$, B	4.6 $\times 10^4$, B	4.4 $\times 10^4$, B	4.0 $\times 10^4$, B	3.8 $\times 10^4$, B
	W	1.3 $\times 10^4$	1.8 $\times 10^4$	2.6 $\times 10^4$	3.9 $\times 10^4$	6.9 $\times 10^4$	1.3 $\times 10^5$
	Y	6.9 $\times 10^3$	9.8 $\times 10^3$	1.4 $\times 10^4$	2.1 $\times 10^4$	3.7 $\times 10^4$	6.7 $\times 10^4$
²³⁵ U	D	4.1 $\times 10^4$, B	4.8 $\times 10^4$, B	5.0 $\times 10^4$, B	4.8 $\times 10^4$, B	4.4 $\times 10^4$, B	4.2 $\times 10^4$, B
	W	1.4 $\times 10^4$	2.0 $\times 10^4$	2.8 $\times 10^4$	4.2 $\times 10^4$	7.4 $\times 10^4$	1.3 $\times 10^5$
	Y	7.4 $\times 10^3$	1.1 $\times 10^4$	1.5 $\times 10^4$	2.2 $\times 10^4$	4.0 $\times 10^4$	7.1 $\times 10^4$
²³⁸ U	D	4.1 $\times 10^4$, B	4.9 $\times 10^4$, B	5.1 $\times 10^4$, B	4.9 $\times 10^4$, B	4.5 $\times 10^4$, B	4.3 $\times 10^4$, B
	W	1.5 $\times 10^4$	2.1 $\times 10^4$	3.0 $\times 10^4$	4.5 $\times 10^4$	7.9 $\times 10^4$	1.4 $\times 10^5$
	Y	7.7 $\times 10^3$	1.1 $\times 10^4$	1.5 $\times 10^4$	2.3 $\times 10^4$	4.1 $\times 10^4$	7.4 $\times 10^4$
²³⁸ Pu	W	1.9 $\times 10^2$, B	2.2 $\times 10^2$, B	2.3 $\times 10^2$, B	2.2 $\times 10^2$, B	2.1 $\times 10^2$, B	2.0 $\times 10^2$, B
	Y	3.2 $\times 10^2$	4.4 $\times 10^2$	6.0 $\times 10^2$, B	8.2 $\times 10^2$, B	1.1 $\times 10^3$, B	1.5 $\times 10^3$, B
²³⁹ Pu	W	1.7 $\times 10^2$, B	1.9 $\times 10^2$, B	2.0 $\times 10^2$, B	2.0 $\times 10^2$, B	1.8 $\times 10^2$, B	1.8 $\times 10^2$, B
	Y	2.8 $\times 10^2$, B	3.9 $\times 10^2$, B	5.3 $\times 10^2$, B	7.1 $\times 10^2$, B	1.0 $\times 10^3$, B	1.3 $\times 10^3$, B
²⁴⁰ Pu	W	1.7 $\times 10^2$, B	1.9 $\times 10^2$, B	2.0 $\times 10^2$, B	2.0 $\times 10^2$, B	1.8 $\times 10^2$, B	1.8 $\times 10^2$, B
	Y	2.8 $\times 10^2$, B	3.9 $\times 10^2$, B	5.3 $\times 10^2$, B	7.1 $\times 10^2$, B	1.0 $\times 10^3$, B	1.3 $\times 10^3$, B
²⁴¹ Am	W	1.7 $\times 10^2$, B	1.9 $\times 10^2$, B	2.0 $\times 10^2$, B	2.0 $\times 10^2$, B	1.8 $\times 10^2$, B	1.8 $\times 10^2$, B
²⁴² Cm	W	7.5 $\times 10^3$	9.4 $\times 10^3$	1.0 $\times 10^4$	9.5 $\times 10^3$, B	8.6 $\times 10^3$, B	8.2 $\times 10^3$, B
²⁴⁴ Cm	W	3.2 $\times 10^3$, B	3.7 $\times 10^3$, B	3.9 $\times 10^3$, B	3.8 $\times 10^3$, B	3.6 $\times 10^3$, B	3.4 $\times 10^3$, B
²⁵² Cf	W	8.6 $\times 10^2$, B	9.8 $\times 10^2$, B	1.0 $\times 10^3$, B	1.0 $\times 10^3$, B	9.2 $\times 10^2$, B	8.9 $\times 10^2$, B
	Y	6.9 $\times 10^2$	9.8 $\times 10^2$	1.4 $\times 10^3$	2.1 $\times 10^3$	3.7 $\times 10^3$	6.7 $\times 10^3$

注: (1)a-有机化合物, b-无机化合物; (2)非随机效应靶器官: B-骨表面, T-甲状腺。

由表1可知,同一核素次由于AMAD的不同而使ALI有所改变。可以用极限比(LR)和差值比(DR)这两个比值来描述变化的程度,它们的定义是:

$$LR = ALI(\text{最大}) / ALI(\text{最小})$$

$$DR = [ALI(X) - ALI(1)] / ALI(1)$$

式中, X和1是AMAD的大小, μm 。

在表1所列的70个核素次中, LR的变动范围为1.2—9.6。不同AMAD时, DR的变动范围列于表2。可见各AMAD的ALI最高可大于1 μm 相应数值的4倍左右, 最低约为1 μm 相应数值的1/2。这说明此时AMAD对ALI的影响是不可忽视的。

表2 70核素次中DR的变动范围

DR	A M A D(μm)					
	0.2	0.5	1	2	5	10
最大值	0.03	0.09	0	0.50	1.7	3.8
最小值	-0.50	-0.30	0	-0.14	-0.30	-0.37

表3 各肺清类别气溶胶ALI随AMAD变化类型的例次分布

ALI 变化类型	气溶胶肺清类别			合计
	D	W	Y	
升型	0	16	20	36
凸型	22	12	0	34
合计	22	28	20	70

ALI随AMAD的变化趋势分二种类型, 一是随AMAD而增加(升型), 另一是先增后减(凸型)。70核素次中, 两者各占一半。由表3的分布表明, D类气溶胶均为凸型, Y型则均为升型, 而W类二型均有。凸型ALI变化曲线中, 其峰位在0.5、1、2和5 μm 处各占9、18、4和3个核素次。

由表1亦可知, 有5个D类、12个W类和4个Y类核素的ALI是以骨表面的受照剂量当量而计算

的, 3个碘核素的ALI均以甲状腺的受照剂量当量而计算的, 其他核素则以全身有效待积剂量当量而求得ALI。可见上述这两个器官或组织在内照射中占有重要位置。

(郑京琴、赵家香两同志参加了部分技术工作, 谨致谢意。)

参考文献

1. 中华人民共和国卫生部. 放射卫生防护基本标准 (GB4792-84), 1984.
2. ICRP. Publication 30, Part 1, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers Annals of the ICRP 2 (3/4), 1979.
3. 吕顺光. 佩戴防尘口罩对吸入气溶胶粒度影响的实验研究. 辐射防护 1985; 5(4): 2.
4. 梁鸿富, 等. 用串级离心分离器测定放射性气溶胶粒度分布. 辐射防护 1983; 3(4): 276.
5. 方军, 等. 五例 ^{210}Po 人体内污染事故报告. 辐射防护 1982; 2(6): 407.
6. ICRP. Publication 50, Lung Cancer Risk from Indoor Exposures to Radon Daughters, Annals of the ICRP, 17(1), 1987.
7. Woods DA. The Variation of Annual Limits on Intake and Derived Air Concentrations with Activity Median Aerodynamic Diameter for Uranium Mine and Mill Dusts, Radiation Protection 1985; 12(3): 269.
8. ICRP. Publication 54, Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers: Design and Interpretation, Annals of the ICRP 1988; 19(1-3). (1990年10月10日收稿)

• 短篇报道 •

X线管室橡皮胀缩器砂眼渗油的检查与应急修补

丁书芳 朱春生

(解放军159医院放射科)

X线管室一端的橡皮胀缩器经使用数年后, 如出现裂纹、压合处不紧等原因造成渗油现象比较常见, 但因砂眼渗油还是比较少见的, 而且一旦出现这种现象, 不论在检查或修理上都比较麻烦, 有时区别不清到底是胀缩器本身渗油或是其他原因所致。近年来我们在检查修理工作中遇到了几例这类故障, 也摸索了一些简单可靠的检查与应急修补的方法, 现作一介绍。

一、检查方法: 1. 油漆检查法: 将管室装有胀缩器的一端向上立放, 打开外套壳亮裸露胀缩器, 然后用手下压胀缩器底面, 这样如果有砂眼时, 油会透过砂眼而往上渗出。2. 对光检查法: 将胀缩器取出, 把表面所粘之绝缘油擦干净, 然后对着光线(灯光或阳光)观察底面, 如果有砂眼即会在该处看到光亮。

二、修补方法: 1. 502胶粘合法: 剪一块大于砂眼的橡皮(耐油橡皮更好), 把两者的粘合面均匀的涂粘后, 再将两粘合面处按压数秒钟即粘牢。2. 热补法: 用在市场上易买到的胶质热补成品(我们称热补丁), 将热补丁放在砂眼处固定牢, 点火, 等火燃完后补丁即牢固的粘在砂眼处。

近年来我们用以上两种方法所修补的几例中, 有的已达三年余, 一直还未再出现此种故障。

(1989年8月15日收稿)