

# 氚发光化合物的放射卫生学评价

浙江人民卫生实验院 陆龙根 邵庆翔 综述 章仲侯\* 吴德昌\*\*审

## 言 引

放射性发光化合物的生产早在本世纪四十年代之前就已开始,在第二次世界大战期间有了相当大的发展。几十年来,镭是用于放射性发光涂料的主要放射性核素。但自从早期操作镭发光涂料的工人受到严重损伤以来,各国科学工作者进行了大量研究,寻求其它放射性核素代替镭以降低工人和公众的辐射剂量。二十多年来,曾建议采用钍-90、氚、钷-147、镨-241等代替镭。这些放射性核素的优点是不发射 $\gamma$ 射线和具有比镭短的有效半减期<sup>1</sup>。由于种种原因,只有氚和钷-147在工业上得到了应用。本文就有关氚发光涂料工厂的工人和使用氚发光元件的公众的卫生学评价问题作些介绍。

氚发光化合物主要用于发光表盘、制作发光源和发光警报标记、用于航空安全设备、电话盘及夜光钟表等<sup>2,4,8,20</sup>。使用的氚发光化合物可能是由高交联度中等分子量的硅橡胶所组成,它们附着在粒子大小为5~20微米的硫化锌荧光粉上<sup>4,8</sup>,或将氚充在内壁涂以硫化锌的玻璃管中制成氚发光管<sup>12</sup>。

由于发光器件的玻璃管中元素氚和氧化氚的比率、管中气压、管的表面等生产过程的某些细节不同,由于在破碎处存在的各种氧化氚的催化剂数量的不固定性,由于各科研工作

者采用的捕集和测定氚化水的方法各不相同,所以氚发光管破碎时释放的HTO和T<sub>2</sub>O的测定结果各不相同。Knapton 用低温玻璃珠吸附捕集法收集了13个商品氚发光胶囊破碎时HTO和T<sub>2</sub>O的量为器件总放射性的6~25%<sup>12</sup>; McNelis 等人用鼓泡法和冷阱法测定了24毫居里氚发光管在密闭环境中破碎时HTO和T<sub>2</sub>O的量为总氚量的1.5~2.5%<sup>6,8</sup>。一般认为氚发光源中HTO和T<sub>2</sub>O的量为总氚量的1~2%<sup>18</sup>。Gunter 对氚发光器件释放氚的规律性进行研究后指出<sup>14</sup>,氚发光器件的有效半减期为2年,在干湿空气流及在不同温度间仅有微小差别,开始每天的释放量相当于初始放射性的0.2~0.5%,在2周里每天释放量减少到为初始放射性的0.007%并持续在该水平。

## 二、氚发光化合物释放的氚进入机体的途径

Rehnberg 等人指出,机体对氚的吸收与它进入动物(或人)的途径及其化合物的种类有关<sup>4,22</sup>。氚进入机体以氧化氚形式为主,通过消化道,呼吸道和完整皮肤及粘膜等途径都很容易被吸收进入人体,吸收速度很快,吸收的份额亦极高,而且均匀地分布于体液中

\*苏州医学院, \*\*军事医学科学院

(上接第132页)

- [16] Heddle JA等, Radiat Res 61, 305, 1975.
- [17] 朱炳富、邓承宗, 遗传学报 4, 170, 1977.
- [18] 朱炳富等, 遗传学报 5, 61, 1978.
- [19] Coulson AS, Lancet 1, 468, 1964.
- [20] 常世琴等, 卫生部工业卫生实验所资料 1976.
- [21] Countryman PL等, Mutation Res 41, 321, 1976.

- [22] 金放兴等, 安医学报 6, 24, 1979.
- [23] 程文英等, 上海市工业卫生研究所资料, 1979.
- [24] 白玉书等, 卫生部工业卫生实验所资料, 1978.
- [25] Das NK, J Cell Biol 15, 121, 1962.
- [26] Starr TS, Nature 200, 608, 1963.
- [27] Heddle JA等, Mutation Res 44, 63, 1977.
- [28] Jenssen D, Mutation Res 58, 51, 1978.

(4.23~28)。所以在氚摄入后的早期, 尿氚浓度就等于体液或组织液中的氚含量<sup>25, 26</sup>。许多学者一致认为生产氚发光元件的过程中或发光源发生意外破碎时都会释放氚及其化合物, 并以氚化水为主<sup>(5, 6, 14~16)</sup>。

### 1. 氚发光涂料经皮肤的吸收

经皮肤的吸收是发光涂料中氚进入体内的主要途径之一<sup>(2)</sup>。当人的皮肤暴露于含氧化氚空气中时, 氧化氚经由皮肤的吸收与吸入相仿, 皮肤对元素氚的吸收仅为氧化氚的万分之一<sup>(4)</sup>。

Moghissi 等人报导了参加发光涂料工厂监测的二名工作人员体内氚负荷的比较。在调查过程中二名调查者都穿工作服, 但都不戴手套, 工作后和吃饭前洗手, 二人都不吸烟。不同的是其中一名调查者操作空气监督仪, 而另一名取涂抹物样品。由于后者的部分皮肤与氚污染表面接触, 结果氚体负荷比前者有明显的增高, 尿氚浓度后者为 $10^3$ 纳居里/升, 前者为5.0纳居里/升。有的学者报导, 接触被氚污染的表面或容器后氚会通过皮肤进入体内<sup>(18)</sup>。曾报导戴夜光表的人尿氚浓度比不戴氚夜光表明显增高。同一个人, 不戴时尿氚浓度下降, 重新戴上时, 尿氚浓度又上升。

动物实验表明, 氚发光化合物在皮肤上滞留量越多, 进入体内的氚量越大<sup>(4)</sup>。实验者将大鼠分为三组, 每组10只, 将大鼠背部约10平方厘米面积的毛剃去, 用一块涂有氚发光涂料的粘性胶布贴到剃去毛的皮肤上, 作用一定时间后取去胶布。第一组用清洁绷带代之, 不去除皮肤上的发光化合物; 第二组用肥皂和水冲洗大鼠的背部, 除去残留在皮肤上的全部可见的发光涂料; 第三组彻底冲洗且用紫外线监测以完全除去残留在皮肤上的涂料。敷贴氚发光涂料后定期地收集每只大鼠的尿, 观察14天。从测到的尿氚浓度估算得氚发光化合物经大鼠皮肤吸收的百分率分别为: 第一组 $2.4 \pm 1.3$ ; 第二组 $0.24 \pm 0.06$ ; 第三组 $0.14 \pm 0.03$ 。

### 2. 氚化发光源意外破碎时吸入的氚

已经证实, 肺能吸收吸入气体中的全部氧

化氚蒸汽, 而极少被呼出<sup>(17)</sup>。因此对职业工人来说, 吸入是导致氚体负荷增加的另一重要途径。

正常情况下, 商品氚发光源释放的氚极小。但当玻璃管意外破碎时会导致周围环境污染并危害机体。McNelis 和 Skibn<sup>5, 6</sup> 分别观测了在户外环境和不通风帐篷内2支0.12毫居里氚发光管破碎后猪的氚体负荷量。在两种条件下, 猪体内氚水浓度都有不同程度的提高。在户外的3头猪体内氚水浓度平均为 $10 \times 10^{-12}$ 居里/毫升, 帐篷内的3头猪为 $720 \times 10^{-12}$ 居里/毫升, 也就是说通风不良情况下的3头猪的氚体负荷是户外猪的71倍。如果用上述实验结果去估算对人的危害, 则在上述实验条件下(帐篷容积为12立方米, 照射130分), 意外破碎1支1居里的氚化发光源时会导致体内氚水浓度达30微居里/升<sup>(6)</sup>。

实验结果还表明, 在户外实验中猪的氚体负荷与其所处的位置有关, 即与发光管破碎时瞬间的风向有关。如果是西南风, 将使位于东北方向的猪受到较高的剂量。要是一个人在帐篷中(容积为12立方米, 氚源为600微居里, 照射2.17小时), 通过呼吸道吸入的氚约30微居里, 相当于受到5毫雷姆的剂量。在不稳定的气象条件下要是一个人在户外站在离破碎管下风向10米处将接受约6.7微雷姆剂量, 而在稳定气象条件下, 这个人将接受约0.1毫雷姆剂量<sup>(6)</sup>。

### 3. 氚化水经胃肠道的吸收

氚的胃肠道吸收和生物半排期明显地受氚的化学形式的影响。Remy 等人给大鼠口服一种氚发光化合物后, 摄入氚的80%以1.2天的生物半排期排出, 其余以14天的生物半排期排出。

Irlweck 等人调查了奥地利居民尿和血中氚的浓度时指出, 尿分析结果与饮用水浓度是一致的<sup>(21)</sup>。Moghissi 调查了萨凡那河下游居民饮用水中的氚与6名健康的成年人尿氚后发现, 体液氚浓度一般低于饮用水, 饮用水平均值为5.6纳居里/升, 尿氚平均值为2.4纳居里/升。饮用水和体液中氚浓度之比为1:0.4<sup>(11, 22)</sup>, 他们认为是氚随饮水进入体内后

得到了稀释,并发生了氧化过程。

### 三、氚发光化合物从体内的排出

在涂料中,氚被结合在聚合物中。在涂料生产的多数环节及使用过程中,氚可能与大气水分子中的氢进行交换,涂料分解所产生的元素氚和有机氚一般只占空气中总氚的5%<sup>(1)</sup>。动物实验也证明,经口摄入氚发光涂料后,头一、二天未被吸收的涂料随粪便排出,吸收的氚的生物半排期与氚水的生物半排期相仿<sup>(8)</sup>。氚水在动物体内的生物半排期因动物而异<sup>(4,7~8,23)</sup>。在人体内生物半排期为10~20天<sup>(2,7,10)</sup>。Barth<sup>(7,22)</sup>通过实验发现氚在母山羊体内的生物半排期受哺乳影响。哺乳期山羊的氚平均生物半排期(4天)比非哺乳期(8天)要短,因为哺乳期的山羊饮水和食入的植物量增加,加速了氚与体水的交换和向体外的排泄。Wheeler等人分别给10只大鼠和猫一次口服氚发光化合物,与腹腔内注射氚化水的大鼠和口服氚化水的猫作比较。测得猫和大鼠的生物半排期分别为 $7.8 \pm 1.5$ 天和 $4.6 \pm 0.4$ 天,而用氚化水做实验的猫和大鼠的生物半排期分别为 $8.4 \pm 2.4$ 天和 $4.1 \pm 0.8$ 天<sup>(8)</sup>。由此可见,氚发光化合物被动物吸收的那部分氚的生物半排期与氚化水在动物体内的生物半排期相似。但不同的动物经胃肠道吸收氚发光涂料的量是不同的。例如猫和大鼠平均胃肠道吸收百分数分别占口服氚化水的 $3.0 \pm 1.0$ 和 $19 \pm 4$ 。

对人意外事故的研究<sup>(17)</sup>指出,除了生物半排期与水体循环速率( $T_w$ )相仿的氚组分外,还存在生物半排期较长的氚组分。Sanders等人还发现了生物半衰期为344天的第三种组分。另一作者也报导了生物半排期分别为10~30天和139~230天的二种组分。Moghissi<sup>(10)</sup>等人长期观察了二名曾在氚发光涂料工厂工作过一年或二年但观察时已离开该厂从事其它工作的女工。每天早晨收集她们的尿进行尿氚分析。结果表明,氚体负荷随时间而下降。测得二名女工的中等生物半排期分别为33天和21天,测得一名女工的长生物半排期为280天。

### 四、氚发光涂料工厂的调查及卫生学评价

一般说,对意外事故和发光涂料工厂进行卫生学调查应包括下列内容<sup>(2,3)</sup>。

1. 事故发生时处理的量或综合放射性-时间数据及总投料量; 2. 事故或正常释放的情况说明; 3. 防护设备和防护衣具的使用情况; 4. 人员,设备的相对位置及卫生处理; 5. 排气设备及通风能力; 6. 工作人员的健康状况及饮食习惯; 7. 根据生物学监测数据、空气监测数据、表面污染水平及范围、以及在常规或事故条件下所有的其它监测资料估算工作人员的放射性核素摄入量。

通常假定氚在全身均匀分布,工作人员所受剂量当量率按下式计算<sup>(2,10)</sup>:  $\dot{D}$ (毫雷姆/年) =  $0.17C$ , 式中 $C$ 为体内氚水浓度(纳居里/升)。

实际上,各种有关因素的可变性和无法预测性太大,因此必须重视积累和报导实际事故和正常运转时所提供的资料。Moghissi等人<sup>(2)</sup>对一家发光涂料工厂进行了调查,该工厂有20名工人,每年使用2000居里氚。调查结果为:空气中氚浓度一般低于最大容许浓度(5纳居里氚化水/升),其值通常为2~3纳居里氚化水/升。涂料分解所产生的微粒状氚一般只占空气活性的5%,最高10%。空气中被收集到的主要是氚化水。在装有手套箱的小房间里观测到空气中氚总浓度为6~8纳居里/升,这是因为大量的发光涂料是从这小房间里分发给工人的。

对14处不同氚工艺岗位所做的摄入分数的估算表明<sup>(3)</sup>,除一次氚化水事故可能通过皮肤吸收外,工人摄入的氚都不超过生产过程中总氚量的 $10^{-6}$ 。因此,尽管在挥发性较大的条件下,如能采取防止皮肤吸收氚的有效防护措施,则摄入氚的系数一般不高于其它放射性物质。

各种发光元件释放氚后机体可能受到的氚负荷量和辐射剂量当量见下表。表中值都低于ICRP推荐的最大容许值(氚的最大容许体负荷为1毫居里,尿氚为23纳居里/毫升,年剂量

表 各种发光元件释放氚后机体可能受到的氚负荷量和辐射剂量当量

氚 的 来 源	研究对象及条件	体液中含氚量 (居里/毫升)	体内总氚量 (微居里)	人体可能接受到的 剂量当量(毫雷姆)	参考文献
破碎24毫居里氚发光源	猪. 1. 户外(气象条件稳定)	$10 \times 10^{-12}$	0.7		〔5〕
	2. 帐篷内(气象条件稳定)	$720 \times 10^{-12}$	15		
破碎24毫居里氚发光源	1. 帐篷内			5*	〔6〕
	猪 2. 户外(气象条件不稳定)			0.0067*	
	3. 户外(气象条件稳定)			0.1*	
破碎1居里氚发光源	居 民	$30 \times 10^{-8}$		230	〔5〕
戴氚夜光表	居 民	$3.4 \times 10^{-9}$		0.6	〔10〕
每年操作104居里氚发光涂料	职 业 工 人	$20.4 \times 16^{-6}$		3400	〔2〕

\* 从动物实验模型推算到人

当量为5雷姆<sup>[27]</sup>)。由此可见,对于用氚发光涂料制作发光元件的操作工人或正常使用发光元件的公众都是安全的。

### 五、降低职业性内照射和公众接受剂量的措施

氚进入人体内均匀分布于体液,形成全身照射。在估算氚的内照射剂量当量时不仅要考虑它的 $\beta$ 辐射能量和相对生物效应(RBE),而且要考虑氚的能量转换对剂量当量的贡献。氚以氚化水形式进入体内后,它主要以体内游离水的形式参与代谢,迅速自体内排出。然而在有机分子中氚可与其中的氢进行交换,形成有机化合物的非交换部分,即组织结合氚,这样它的代谢和更新就缓慢得多了<sup>[25,28]</sup>。为生物大分子DNA相结合的氚通过转换作用对基因的有效照射可导致基因的突变<sup>[19]</sup>。Moghissi等人<sup>[27]</sup>对后期从事氚发光涂料制备的数例病人经过调查分析,充分说明由于他们长期接触氚气或氚蒸汽,使后期监测到的尿氚为ICRP推荐的氚最大容许体负荷的2.2~49倍,引起严重损伤。致死二病例是由于氚慢性摄入使部分氚与体内组织牢固结合从而给机体以较大剂量照射之故。

第六届国际辐射研究会议和国际远期效应小组(IALEG)报导的资料中,除了对裂变产物中主要核素、感生放射性核素、钷等进行

研究外,突出地重视氚的毒理学、剂量学和危害分析的研究<sup>[28]</sup>。因此为了确保在职工体内的氚低于最大容许体负荷并尽量降低或消除体内氚的辐照剂量,许多科学工作者提出了安全防护措施,归纳如下:

1. 应向全体职工讲明氚发光涂料对人体的危害,讲明与放射生物学部门密切配合做好生物学监测和环境调查的重要性,要求职工按规定提交尿样等。
2. 工厂应对安全设施和工序作出合理布局和精心设计,应具备良好的通风排气和防护设备以及发放和正常使用防护用品。
3. 必须保持存放氚化合物的容器具有高度密封的性能。经常监测贮藏氚化合物的环境中的污染程度,以确定密封性能<sup>[1]</sup>。
4. 保持工厂的清洁,经常清除工作表面的污染。氚发光表盘涂料工厂的调查表明,每周清洗一次工作面可使工人氚体负荷下降为未清除时的20~40%<sup>[2]</sup>。
5. 工厂内保持良好的通风,以防空气的污染,发生意外事故时应采取应急措施。如发生氚发光源意外破碎时,应立即避开下风向并离开发光源。
6. 及时认真洗手。动物实验证明<sup>[4]</sup>发光涂料通过皮肤扩散在几天后才达到氚的最大体负荷,不像氚水只要几小时就达到。因此及时认真洗手很重要,并用紫外线检查洗手的效果,这样可大大降低氚的体负荷。
7. 对全体人员每月进行一次尿氚分析。据Vennart<sup>[1]</sup>报导,对操作发光涂料的工人作

定期尿氚测定,在未达到氚的最大容许体负荷的情况下容许工人继续操作氚化合物,当发现工人体内达到最大容许体负荷后就由体内含氚量低的工人代替他们,这样可减少工人遭受氚照射的危害。8. 体内氚的促排。为了加速氚自体内的排除,降低对机体的危害,可应用呼吸刺激剂,特别是利尿剂和大量饮水,必要时采用适当升高环境的温度等办法,以促进机体水的代谢,达到促排氚的目的<sup>[26]</sup>。

### 参 考 文 献

- Vennart J: Health phys 13: 959, 1967
- Moghissi AA et al: Health phys 18:255, 1970.
- Brodsky AE: Health phys 33:94, 1977.
- Rehnberg BF et al: Health phys 22:31, 1972.
- McNelis DN et al, Health phys 22:161, 1972.
- Skibn D: Health phys 25: 184, 1973.
- Barth J: Health phys 22: 396, 1972.
- Wheeler JK et al: Health phys 22: 35, 1972.
- Moghissi AA et al: Health phys 21: 57, 1971.
- Fitzsimmons CK et al: Health phys 22: 514, 1972.
- Moghissi AA et al: Health phys 22: 509, 1972.
- Knapton JD: Health phys 20:345, 1971.
- Guthrie DG et al: Health phys 22:522, 1972.
- Günther E: Health phys 27: 139, 1974.
- Handley TH et al: ORNL-TM-1478, 1966.
- Jones HG et al: Assessment of Radioactivity in Man Vol. I pp419-430, IAEA Vienna, 1964.
- Pinson EA et al: J Appl physiol:10 108, 1957.
- Hutchin ME et al: Health phys 11: 1047, 1965.
- 吴德昌: 国外医学放射医学分册 1:37, 1980.
- Lambert BE et al: Health phys 22: 23, 1972.
- Irlweck k et al: Health phys 30: 407, 1976.
- 宋妙发译, 国外医学放射医学分册 1:14, 1978.
- Osborne RV: Health phys 15:155, 1968.
- Osborne RV: Health phys 12: 1527, 1966.
- 朱寿彭综述, 国外医学放射医学分册1:9, 1978.
- Takeda H et al: J Radiat Res 20: 174, 1979.
- 孙金锴摘译, 国外医学放射医学分册 4: 279, 1979.
- 魏履新, 国外医学放射医学分册 1:41, 1980.

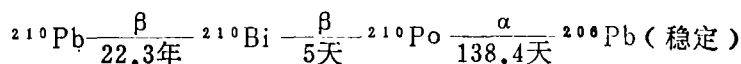
## 环境样品的铅-210 分析方法

中国医学科学院放射医学研究所 黄星辉综述

卫生部工业卫生实验研究所 朱昌寿 审

由于核工业和环境科学的发展,近年来 $^{210}\text{Pb}$ 及其子体引起人们广泛兴趣和重视。

$^{210}\text{Pb}$ 是铀镭系一个重要成员,它与RaE( $^{210}\text{Bi}$ )、RaF( $^{210}\text{Po}$ )构成衰变链



$^{210}\text{Pb}$ 广泛分布于自然界,是人类天然辐射本底的重要组成。它又是一个嗜骨性核素,人体内的 $^{210}\text{Pb}$ 有70%浓集在骨骼中<sup>[1]</sup>,铀矿工骨骼 $^{210}\text{Pb}$ 含量是普通居民的六十六倍。一些作者<sup>[2~4]</sup>试图通过测定人体组织器官样品中 $^{210}\text{Pb}$ 含量估算矿工的氡子体累积暴露量,已取得较大进展。这就要求我们建立灵敏、简

便和快速的分析方法。本文讨论了环境样品的各种 $^{210}\text{Pb}$ 分析方法,现分述如下。

### 一、样品的预处理

环境样品的成分是十分复杂的, $^{210}\text{Pb}$ 也以多种形式出现。预处理是将样品中铅转变成可溶解的无机盐离子。对 $^{210}\text{Pb}$ 来说,大多数环