

# 贫铀的危害及其测定

高艳辉, 诸洪达, 樊体强, 杨珊珊, 武 权

中图分类号: X837 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2009)04-0505-01

贫铀由于其辐射和化学毒性被用于贫铀武器(包括贫铀弹和含贫铀的脏弹等)的制造,已被应用于中东战争,也应被防范使用于核恐怖活动。其应用、退役处理乃至研制都可能导致释入环境而对人体健康和环境产生不同程度的危害。应成为当今核应急监测内容之一。由于贫铀近年来才开始其武器应用及其危害通常是慢性的,迄今尚未引起人们足够重视。笔者通过阐述贫铀的应用、危害,进而介绍其主要监测方法。

## 1 贫铀的应用

天然铀由 3 种同位素组成,即  $^{234}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$  和  $^{238}\text{U}$  其中只有  $^{235}\text{U}$  才能用于核裂变反应,成为核武器和核电站常用核燃料之一,因此天然铀必须加工分离出  $^{235}\text{U}$  含量高的浓缩铀(Enriched Uranium)。天然铀中  $^{238}\text{U}$  占绝对优势,获取浓缩铀后剩余的铀中  $^{235}\text{U}$  含量更低,这种  $^{235}\text{U}$  含量比天然铀更低的铀称为贫铀。

贫铀作为核燃料加工的副产品,过去相当长时间内被作为核废料,而核废料的管理费用是相当巨大的。因此,生产核燃料国家都为贫铀的利用寻找出路。目前贫铀及其合金在军事工业及民用工业中已获得成功应用。贫铀合金因其高强度和高密度用于穿甲弹的制造,且因具有穿甲后燃烧的特性,可成为不加有其他燃料剂的穿甲燃烧弹。贫铀合金作为高密度和高延展性材料,具有优越的破甲性能,被用于破甲弹的制造。另外,贫铀合金作为装甲后使坦克的防护力大为提高,可防御动能弹和化学能弹的攻击<sup>[1]</sup>。已有不少国家将贫铀用于贫铀弹研制和生产。在美国,有超过 50 个地区从事于发展、生产和试验贫铀弹。2002 年已确定包括英国在内的一些国家,也在生产、使用并出售用贫铀生产的军需品。美国军队首次运用贫铀武器是在 1991 年海湾战争中。在 1994 年~1995 年的波斯尼亚战争,1999 年的科索沃战争,2002 年美国入侵阿富汗和 2003 年的伊拉克战争中也都被应用<sup>[2]</sup>。此外,贫铀在工业中应用也有日益增加趋势。应用最多的是制造乏燃料及高放废液运输容器和放射源屏蔽容器,贫铀合金还用作飞机、船舶配重块、丙烯和氨合成丙烯腈用的催化剂,高性能螺旋桨、惯性飞轮、钢铁冶炼及陶瓷工业的釉彩添加剂等<sup>[1]</sup>。

## 2 贫铀的危害

2.1 对生物体的危害 贫铀是一种放射性物质,其毒性应与铀元素相同,它既有辐射毒性,又有化学毒性<sup>[3]</sup>。

2.1.1 辐射毒性 贫铀对人体的影响分为内照射和外照射两种。贫铀弹爆炸后铀会燃烧产生铀氧化物。悬浮在空气中的贫铀氧化物粉尘,会随大气运动扩散并通过呼吸道进入人体形成内照射。内照射危害主要来自贫铀放出的  $\alpha$  射线。当残留在环境的贫铀进入人体后, $\alpha$  射线可以使体液的水分解产生自由基  $\text{H}^+$  和  $\text{OH}^-$ ,其结果会使附近的细胞大量死亡; $\alpha$  射线还可以打断细胞内的 DNA 脱氧核糖核酸分子链,使基因发生变异从而产生遗传效应。 $\beta$  射线和  $\gamma$  射线的贯穿能力虽较强,

但是不能产生大量电离,对器官的伤害作用较小。贫铀的外照射危害主要来自衰变中  $\beta$  与  $\gamma$  射线辐射。 $\alpha$  射线的射程短,穿透力很弱,仅能穿透人体皮肤角质层, $\alpha$  射线的外照射危害基本上不存在<sup>[4]</sup>。

2.1.2 化学毒性 贫铀(DU)能催化羟基化反应,使 DNA 产生羟基化的胸腺嘧啶和脱氧鸟苷,从而使基因发生突变。研究还证实,DU 引起的羟基化反应产物是辐射分解产物的 6~10 倍。此外,铀还能损伤肾上皮细胞,但机制目前还不很清楚。

2.1.3 生物效应 DU 可通过多种途径进入人体。在小鼠试验中已测到 DU 能蓄积于鼠睾丸、骨、肾脏和大脑,故 DU 作为永久性的粒子辐射体,能对组织正常功能产生慢性损伤。DU 的蓄积不仅可引起生物体基因毒性、细胞毒性和生殖毒性,还可对神经系统造成影响。

1989~1999 年的巴尔干半岛战争,对卷入其中的瑞典士兵进行过调查,调查显示那些接触 DU 的士兵,如:处于户外的、护送弹药的、弹药清理员,患双丸块癌(睾丸疾病)的几率高于普通人。尽管流行病学调查显示,53000 海湾战争中士兵无超额的癌症死亡率,未发现因双丸块癌死亡病例,但睾丸疾病是无致死性的疾病,它给受害者带来的痛苦是巨大的<sup>[5]</sup>。

2.2 对环境的危害 贫铀弹爆炸后燃烧产生的铀氧化物及铀尘埃可以随火焰升到高空,假如遇到合适的风向,就会越境传播,造成大面积贫铀污染。贫铀弹爆炸后形成的铀氧化物及铀尘埃会沉降污染土壤、农作物、地面水及食物,贫铀就可能经过食物链进入人体。由于贫铀氧化物带电,可以非常容易地与缺乏流动性的沙土相结合,再慢慢地飘散到空气中。这样就会使贫铀弹爆炸地区面临更长期贫铀污染<sup>[4]</sup>。

## 3 贫铀的监测方法

贫铀武器虽然不具有原子弹那样的巨大杀伤力,生物也不一定在短时间内产生放射性影响,但其远后效应还是不应低估,在生产、储存、运输、训练和实战使用时,都可能对人员和生态环境造成一定危害,因此对于当前核应急,建立贫铀的测定方法是必要且急需的。由于贫铀、天然铀和浓缩铀的理化和生物学性质都是相同的,贫铀监测的意义主要在于污染物种类的判定,这在应对核应急事件时尤为重要。其实质是测定  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  比值以确定污染物性质,而测定铀元素含量就可以确定污染物污染程度。测定  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  比值当前主要有电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)和  $\alpha$  能谱法。

3.1 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS) ICP-MS 是一种近年来新发展起来的多元核分析技术,具有极好的灵敏度和高效的样品分析能力。在 ICP-MS 中,ICP 作为质谱的高温离子源,样品在通道中进行蒸发、解离、原子化、电离等过程。离子通过样品锥接口和离子传输系统进入高真空的质谱(MS)部分,MS 部分为四级快速扫描质谱仪,通过高速顺序扫描分离测定所有离子,扫描元素质量数范围从 6 到 260 并通过高速双通道分离后的离子进行检测,浓度线性动态范围达 9 个数量级。因此,与传统无机分析技术相比,ICP-MS 技术提供了最低的检出限、最宽的动态线性范围、干扰最少、分析精密度高、分析速度快、可进行多元素同时测定以及可提供精确的同位素信息

作者单位:中国医学科学院放射医学研究所,天津

作者简介:高艳辉(1982~),女,河北石家庄人,硕士研究生在读,放射医学专业。

通讯作者:诸洪达教授

等分析特性。其中同位素比测定是 ICP-MS 的一个重要功能,可用于地质学、生物学及中医药学研究追踪来源的研究及同位素示踪。其中,四极杆 ICP-MS 加入了动态反应池,通入氧气,使特异性较低的类型质谱仪中也可以测出  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ <sup>[6]</sup>,这样就使高灵敏的的仪器同时获得了较高特异性,并使利用 ICP-MS 监测贫铀更为经济有效。基于 ICP-MS 的特点,用于监测贫铀是可操作的。首先经过元素化学分离纯化还能大大提高测定灵敏度和结果准确性。

质谱法是测量同位素丰度最常用的方法。经过样品分离后,用 ICP-MS 扫描方式可测得  $^{235}\text{U}$  和  $^{238}\text{U}$  的丰度比值,另采用 ICP-MS 跳峰方式采集数据,可直接获得  $^{234}\text{U}/^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  之间的丰度比值<sup>[7]</sup>。我国已有实验室应用 ICP-MS 技术测定铀钍元素浓度<sup>[8-9]</sup>,刘英进行过水和生物样品的检测<sup>[10]</sup>,国家食品进口检验中心也尝试用 ICP-MS 技术测定铀钍同位素含量。美国日本等发达国家都先后建立了用 ICP-MS 测定环境中铀和钍含量及同位素比值的标准方法。如日本的 Shiraiishi 等研究应用于测定铀同位素比<sup>[11-15]</sup>。

3.2  $\alpha$ 能谱法  $\alpha$ 能谱仪原理是利用不同核素所发射  $\alpha$ 射线的能量差异,通过测定不同核素特征能量峰射线强度,进而测定样品中相应  $\alpha$ 放射性核素的含量,如  $\alpha$ 能谱法测定土壤样品中的  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ <sup>[16]</sup>和环境及生物样品中钍同位素<sup>[17]</sup>。由于不同放射性核素所发射能量接近的  $\alpha$ 射线会引起能峰叠加或覆盖,加之,样品中  $\alpha$ 射线自吸收严重,测量样品不仅必需与大量基质,而且还需与发射能量接近  $\alpha$ 射线的放射性元素分离,并通常电镀于金属片制备成无限薄的测样。采用  $\alpha$ 能谱法首先必须经过元素化学分离纯化和电镀制备无限薄的测量样品。

#### 4 对今后贫铀防护的看法

- 4.1 提高公众的防范意识 要加强宣传,开展“国防科普”教育,普及核放射常识和有关法规,普遍提高公众的知识水平、防范意识,使公众正确了解贫铀武器的特点及危害,一旦发生贫铀危害事件能有效应对。
- 4.2 建立完善的防护手段 贫铀弹在科索沃战争和海湾战争中已被大量使用,其危害也越来越多地被发现,因此,必须在生产、储存和运输贫铀的过程中注意加强防护,减少污染<sup>[3]</sup>。
- 4.3 加强监测方法的研究,制定核应急的检验方法标准 生物、化学和核袭击是最可能发生的核应急事件,必需准备应急预案,其中应包括贫铀监测。当前应加强监测方法的研究,尽快制定核应急的检验方法标准。其后,应加强对铀或贫铀污染地区进行长期的环境样品监测和对已经或未来可能受铀或贫铀污染的人员进行迅速检测。这可以使研究者获得第一手的资料,同时也能对贫铀产生的危害做出迅速的反应<sup>[18]</sup>。

#### 参考文献:

[1] 葛鹏. 贫铀材料的工业应用[J]. 稀有金属快报, 2004 23 (2): 36-37  
 [2] Rita Hindin Doug Brugge Bindu Panikkar Teratogenicity of depleted uranium aerosols: A review from an epidemiological perspective[J]. A G bbal Access Science Source, 2005 4 17.

[3] 刘琼,王海军,范正平. 贫铀弹的危害及其防护[J]. 海军医学杂志, 2004 25(2): 170-173  
 [4] 潘本兴,叶锦韶. 核弹和贫铀弹的环境污染[J]. 暨南大学学报(自然科学版), 2003 24(1): 31-35  
 [5] Gustavsson P Talha ck M Lundin A et al Incidence of cancer among Swedish military and civil personnel involved in UN mission in the Balkans 1989-99[J]. Occup Environ Med 2004 61: 171-173  
 [6] Enk John W Todonov Todor I Mullick Fbrabel G et al Uranium analysis in urine by inductively coupled plasma dynamic reaction cell mass spectrometry[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry 2005 382(1): 73-79  
 [7] 吉艳琴,李金英,罗上庚. TOPO 萃取色层分离 - ICP-MS 法测定土壤中痕量铀的同位素丰度比[J]. 核化学与放射化学, 2004 26(2).  
 [8] 诸洪达,张永保,王松君,等. 52 例中国人主要器官、组织中 37 种元素浓度和负荷量研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004 24(2).  
 [9] 诸洪达. 中国人镭系元素膳食摄入量和主要器官或组织负荷量研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004 24(1): 1-5  
 [10] 刘英,白石久二雄. ICP-MS 在核事故应急监测中的应用[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2001 21(4): 238-239  
 [11] K Shiraiishi Y Igarashi Concentrations of thorium and uranium in freshwater samples collected in the former USSR[J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Articles 1994 185(1): 157-165  
 [12] Chang-Kyu R ki Siki Application of a high Resolution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer to the Measurement of Long-lived Radionuclides[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry 1991 6 205-209  
 [13] Shiraiishi K Igarashi Y Daily Intakes of  $^{232}\text{Th}$  and  $^{238}\text{U}$  in Japanese Males[J]. Health Phys 1992 63(2): 187-191  
 [14] Holmes L. Determination of Thorium by ICP-MS and ICP-OES[J]. Radiation Protection Dosimetry 2001 97(2): 117-122  
 [15] Shiraiishi K Mcbray James F Simultaneous Multielement Analysis of Human Tissues by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer[J]. The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine 1991 4 191-202  
 [16] 梁志荣,陈琦,刘学军.  $\alpha$ 能谱法测定土壤样品中的  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ [J]. 核化学与放射化学, 2007 29(1): 57-59  
 [17] 侯庆梅,李文元,吕慧敏,等. 环境样品和生物样品中钍同位素联合分析方法的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1990 10(4).  
 [18] Mo D Report of a visit to develop an enhanced environmental monitoring programme in the British Med Sector in Kosovo Rj . UK Minis of Defence 2001.

(收稿日期: 2009-05-18)