

文章编号: 1007- 4627(2000)02-0114-03

²³³U 和武器级钚的爆炸产物 放射性衰变过程的比较*

沈姚崧^{1,2}, 刘成安²

1 (中国工程物理研究院北京研究生部, 北京 100088)

2 (北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100088)

摘要: 对²³³U模型和武器级钚模型核爆炸后爆炸产物的放射性活度、生物潜在危害因子和能量沉积等量进行了比较, 分析了武器级钚模型中上述各量的演化情况.

关键词: 武器级钚; 放射性活度; 生物潜在危害因子; 能量沉积

中图分类号: O571.5 文献标识码: A

1 引言

对核爆炸后放射性衰变过程的研究, 已经在文献[1]中给出了详细的结果. 在文献[1]中, 我们选取了以高浓缩²³³U为核炸药物质的模型, 对研究核爆炸后放射性核衰变过程的放射性毒性提供了一些可靠的结果, 这些结果对核爆炸后场地的管理、环境保护以及核爆炸在国民经济中的应用等具有重要的参考价值. 考虑到现有的核裂变物质一般较多地采用武器级钚, 而由于技术上的原因, 采用²³³U作为裂变物质的并不多. 所以本工作是在文献[1]的基础上, 对上述两种物质在爆炸后的放射性衰变过程进行了比较和研究.

本文采用的计算方法和计算程序与文献[1]中的是一样的, 这里不再重复.

2 模型和说明

表1给出了所建立的以²³³U和武器级钚为核心物质的两个模型的构成. 这两个模型都采用球形结构, 由于要对不同物质进行比较, 尽可能采用相同大小的体积, 所以在²³³U模型中采用了与武器级钚差不多密度的²³³U(武器级钚的钚是 α 相钚), 使得这两个模型的核心区体积加上反射层体积保持一致, 有关这两个模型的成分和物质的密度等参数来自文献[2], 表1中的百分比为质量百分比. 包壳、

表1 ²³³U模型和武器级钚模型的构成

模型	核心区		反射层			包壳层			内部土壤层		外部土壤层	
	物质	$\rho / (\text{g} \cdot \text{cm})^{-3}$	r / cm	物质	$\rho / (\text{g} \cdot \text{cm})^{-3}$	K / cm	物质	$\rho / (\text{g} \cdot \text{cm})^{-3}$	K / cm	物质	K / m	
²³³ U	²³³ U (98.2%)	18.64	4.18	²³⁸ U	19.0	1.82	²⁷ Al	2.70	1.50	Mg ₂ SiO ₄ (60%)	20.0	Mg ₂ SiO ₄ (60%)
	²³⁴ U (1.8%)									Ca ₂ SiO ₄ (40%)		Ca ₂ SiO ₄ (40%)
武器级钚	²³⁹ Pu (95.1%)	18.20	3.90	²³⁸ U	19.0	2.10	²⁷ Al	2.70	1.50	Mg ₂ SiO ₄ (60%)	20.0	Mg ₂ SiO ₄ (60%)
	²⁴⁰ Pu (4.9%)									Ca ₂ SiO ₄ (40%)		Ca ₂ SiO ₄ (40%)

* 收稿日期: 1999-01-26, 修改日期: 1999-03-25

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19677201)

作者简介: 沈姚崧(1972-), 男(汉族), 浙江海宁人, 博士, 从事原子核物理研究.

土壤层的结构和物质构成与文献[1] 给出的相同.

由于爆炸当量和放射性活度的关系是线性增长, 和文献[1] 相似, 计算中两个模型的爆炸当量都控制在2 000吨 TNT, 以便比较两个模型在放出同样能量时, 放射性活度、毒性和能量沉积的差异.

3 数值结果和比较

图1给出了表1所示的两个模型在释放当量为2 000吨 TNT 的核材料爆炸后, 核心放射性活度(*R*)、生物潜在危害因子(*B*, 全称为 BHP)、能量沉积(*E*) 随时间演化的比较. 可以看到在图(a)中的放射性活度, 爆炸后的几分钟内, ²³³U模型所产生的放射性活度略高于武器级钚模型, 几分钟后, 两个模型所示的曲线几乎重合在一起, 一直到200天左右, 这时候短寿命的放射性衰变核素基本上衰变完

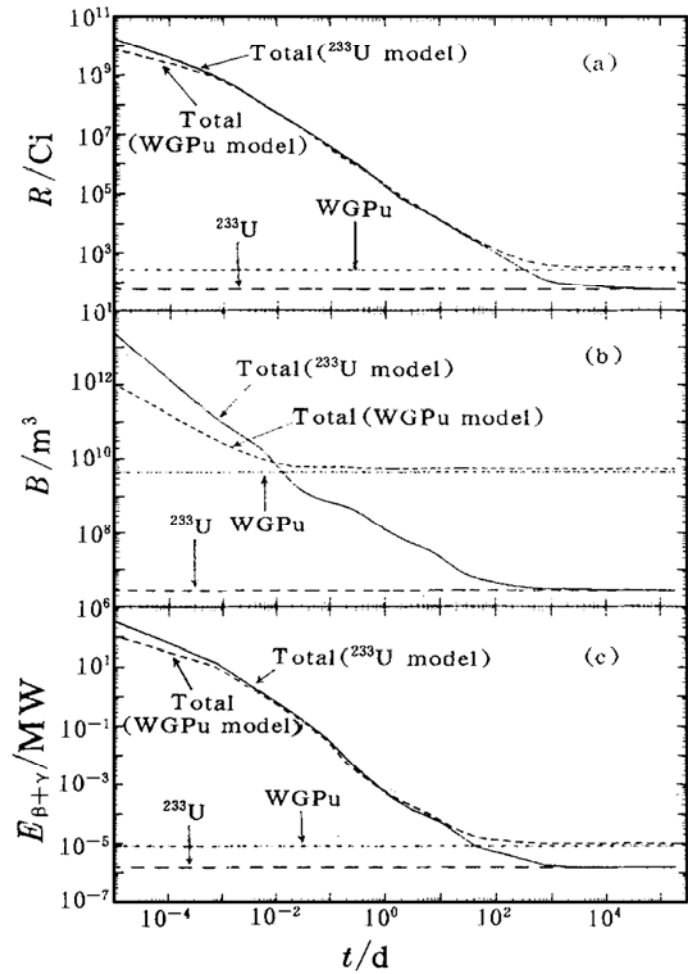


图1 当量为2 000吨 TNT 的²³³U模型和武器级钚(WGPu)模型爆炸后核心的爆炸产物的放射性活度、生物潜在危害因子、能量沉积随时间演化的比较
(a) 放射性活度; (b) BHP 值; (c) β 和 γ 的能量沉积. 实线和短划线分别表示²³³U模型和武器级钚模型的核心区总的放射性活度、生物潜在危害因子和能量沉积.

了, 对总的放射性活度的贡献分别来自核心区残余的爆炸物质²³³U和²³⁹Pu. 另外, 表示²³³U和武器级钚的放射性活度曲线几乎是直线, 这主要是它们的半衰期很长, 在几百年内密度没有太多的变化. 从放射性活度的比较来看, 在释放相同当量下, 这两个模型爆炸后生成放射性活度的总量几乎差不多, 仅在极短期(≤ 1 min)和短期(1 min~ 1 h)内有一点差别, ²³³U生成的要多一些.

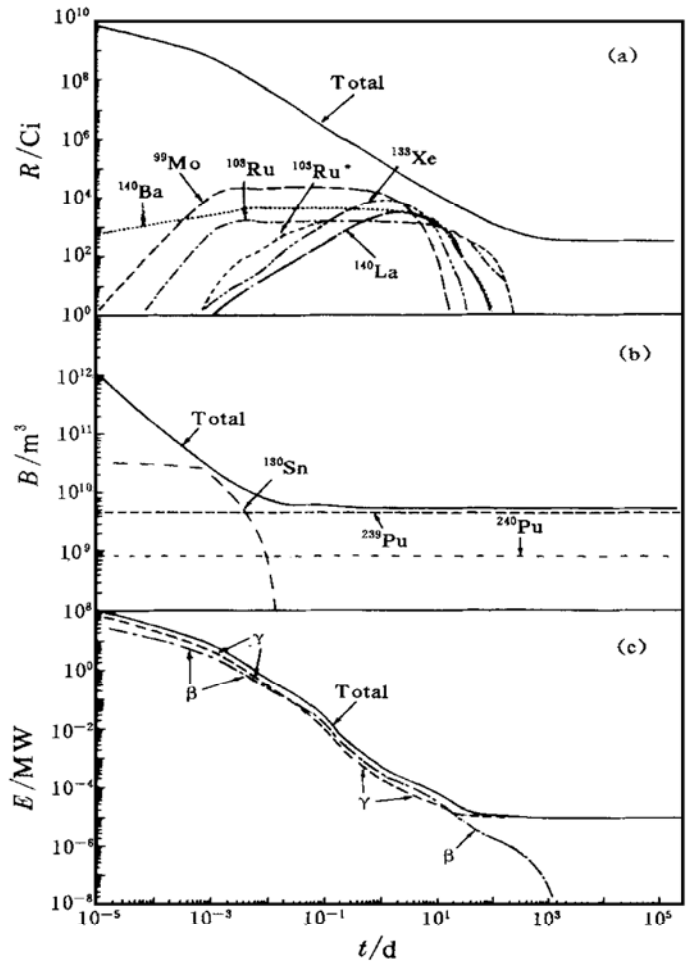


图2 当量为2 000吨 TNT 的武器级钚模型爆炸后核心的爆炸产物的放射性活度、生物潜在危害因子、能量沉积随时间的演化
(a) 图中给出了10年内6个主要同位素放射性核(一些时刻内超过总放射性的20%)的贡献; (b) 图中给出了100年内3个主要同位素放射性核(一些时刻内超过总的 BHP 值的20%)贡献; (c) 图给出了 β 和 γ 的能量沉积.

从图(b)中 BHP 衰变曲线的变化来看, 在爆炸后的几分钟内, ²³³U模型的 BHP 比武器级钚模型要大, 特别是极短期间内的²³³U模型的 BHP 值比武器级钚大一个量级. 由于武器级钚中²³⁹Pu和²⁴⁰Pu的毒性都是比较大, 残余的武器级钚的 BHP 值很高(比²³³U高3个量级), 所以几分钟后, 武器级钚模型的 BHP 值主要来自残余的武器级钚的贡献, 该模

型的 BHP 值比²³³U模型的高3个量级以上. 在²³³U模型中, 由于²³³U的毒性较低, 一直到1 000天以后, 总的 BHP 曲线才和²³³U曲线相重合.

图(c)中, β 和 γ 能量沉积的变化类似放射性活度的变化, 开始时²³³U模型的能量沉积高一些, 随后两个模型几乎相同, 在几百天后, 总曲线主要是由残余的爆炸物质所决定, 其中武器级钚的能量沉积比²³³U的要高1个量级.

图2给出了武器级钚模型核心爆炸产物的放射性活度、BHP 和能量沉积的衰变过程. 图(a)中6个同位素核都是裂变产物核, 与文献[1]图2(a)相比, 发现仅有¹⁴⁰La这个核是相同的, 其它不同, 这主要是铀和钚裂变产物的不同导致的.

对总的 BHP 值的贡献, 文献[1]图2(b)中表明²³³U模型的 BHP 主要来自爆炸生成的裂变产物核, 本文图2(b)表明武器级钚模型的 BHP 除了在开始的几分钟是由裂变产物核¹³⁰Sn 决定以外, 在以后的时间内总的 BHP 值的贡献主要来自核心残余的²³⁹Pu和²⁴⁰Pu两个核, 这也使得武器级钚爆炸后的 BHP 值比²³³U模型爆炸后的 BHP 值高许多.

武器级钚爆炸后核心的能量沉积在图2(c)中给出, 可以看到, 在爆炸后的20天内, β 和 γ 的能量沉积基本在同一数量级. 开始 γ 能量沉积多一些. 然

后 β 能量沉积多一些. 大约在20天以后, β 能量沉积有一个大的衰减, 总能量沉积曲线主要由 γ 能量沉积曲线决定. 这种趋势和文献[1]图2(c)给出的²³³U模型的能量沉积的变化相似, 不同之处在于20天以后总的能量沉积曲线在武器级钚模型中基本保持水平, 在²³³U模型中一直在衰减, 这是残余的武器级钚造成的.

两个模型对核爆炸后产生的中子对周围土壤和岩石的诱导核反应的结果类似, 武器级钚模型爆炸后所产生的中子诱导反应对土壤和岩石的放射性活度、BHP 值和能量沉积的变化与文献[1]图3给出的²³³U模型的变化趋势是一致的, 数值上有约10%的差别, 在对数坐标下两模型曲线几乎是重合的, 可参考文献[1]图3.

经上述分析可知, ²³³U模型和武器级钚模型在释放相同的能量当量下, 武器级钚模型的爆炸产物在短寿命的放射性核素中要比²³³U模型的少; 对于武器级钚模型来说, 生物毒性主要来自核心残余的武器级钚, 武器级钚中的²³⁹Pu有较大的放射性和毒性, 使得在爆炸后的几分钟内, 残余武器级钚的毒性成为爆炸产物的重要来源; 和²³³U模型相比, 武器级钚模型产生较大的 γ 能量沉积.

参 考 文 献:

[1] 沈姚崧, 刘成安. 核爆炸产物放射性衰变过程的研究 [J]. 原子核物理评论, 1998, 15(2): 103~ 109.

[2] Paxton H C. Los Alamos Critical Mass Data [Z], LA-3067-Ms Rev, 1976.

Comparison on Decay Process of Explosive Products for ²³³U and Weapon-grade Plutonium*

SHEN Yao-song^{1,2}, LIU Cheng-an²

1 (Beijing Department of Graduate School, China Academy of Engineering Physics, Beijing 100088, China)

2 (Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088, China)

Abstract: Comparison on the nuclear explosive products' radioactivity, biological hazard potential, energy deposition after nuclear explosion between the model of ²³³U and the model of weapon-grade plutonium was made. The detail analysis of the process of above physics quantities in the model of weapon-grade Plutonium was also given.

Key words: weapon-grade plutonium; radioactivity; biological hazard potential; energy deposition

* Foundation item: NSFC(19677201)