

文章编号: 1007-4627(2008)04-0362-06

# 基于钚特征 $\gamma$ 谱的核弹头模板技术可行性研究<sup>\*</sup>

王 冰<sup>1</sup>, 张松柏<sup>2</sup>, 伍 钧<sup>2</sup>

(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:** 基于核弹头钚特征 $\gamma$ 谱的模板测量技术是深度核裁军核查的重要技术手段之一。以 Monte Carlo 数值模拟为手段, 计算假想核弹头 $\gamma$ 射线的输运过程, 分析在可能的核查场景中, 通过构建基于特征 $\gamma$ 谱子能区计数的相对测量的比对匹配算法, 分析并建立了由成分匹配和结构匹配组成的核弹头模板测量技术, 该方法较好地消除了绝对测量距离误差和时间误差的影响。

**关键词:** 钚弹头; 特征 $\gamma$ 谱; 匹配距离; 模板

**中图分类号:** TL99      **文献标识码:** A

## 1 引言

在深度核裁军进程中, 认证被测量的核弹头是否与申报物项相符是一项重要的核查工作。随着信息屏障技术在核查技术中的应用, 模板匹配测量技术有可能应用于深度核裁军的核弹头认证中。模板匹配测量技术早期应用于库存武器的管理与维护, 用于确定被测量的弹头为指定的类型<sup>[1]</sup>。美国武器实验室在这方面进行了大量的研究工作, 发展了一些具有模板特征的系统, 如 CIVET<sup>[2]</sup>, TRIS<sup>[3]</sup> 和 NWIS<sup>[4]</sup> 等, 用于核武器的日常管理。随着信息屏障技术的发展, 模板匹配测量技术也可能应用于核裁军核查中的核弹头认证。

模板匹配测量技术是在特征参量的基础上发展起来的, 本文以钚部件的 $\gamma$ 特征谱为基础, 针对不同类型核弹头成分、结构不同的特性, 通过合理的选取 $\gamma$ 特征谱子能区参数, 建立恰当的匹配算法进行比对, 讨论了由成分匹配和结构匹配两步匹配方式有效构建的模板测量技术方法, 通过特征子能区相对量匹配距离的比对方法, 消除了绝对测量距离误差和绝对测量时间误差对于比对结果的影响。

## 2 基于特征 $\gamma$ 谱的模板测量原理

核弹头的模板是由表征核弹头的一系列特征参量组成。通过测量某一类型核弹头的特征参量, 可

建立该类核弹头的标准比对模板。将待核查的物项以同样的测量条件进行一种或几种特征参量的采集, 并与标准比对模板进行比对, 可判断待核查对象是否与申报物项相符。

$\gamma$ 射线是原子核退激过程所发出来的高能电磁辐射, 反映了原子核的内部结构变化和核的部分特征, 同时也能够反映外部物质在构型和组成材料方面的特征。 $\gamma$ 射线的光谱特征对同一种元素的不同同位素也是大不相同的。核材料的自发辐射 $\gamma$ 特征谱是对核材料内所含原子核衰变特性的综合反映。

核弹头的武器级核材料及其衰变子核的同位素可发出特定能量及强度比的 $\gamma$ 射线, 这些 $\gamma$ 谱参数能反映核弹头及其部件的同位素构成、武器级衰变材料的质量、几何形状和结构特征等属性<sup>[5]</sup>。不同类型的核武器与核弹芯的高分辨率特征 $\gamma$ 全能谱数据存有差异<sup>[6]</sup>, 这是核弹头放射性模板比对测量的重要特征依据。

不同核武器的全能 $\gamma$ 谱虽然能够反映不同核武器的特征, 但是由于其数据量极大、受统计涨落影响大、谱结构复杂。考虑选用子能区的 $\gamma$ 特征峰计数进行处理和提取, 同样也能很好地反映不同类型核武器的特征。

因此, 核部件的特征 $\gamma$ 谱子能区射线相对强度可作为构建标准比对模板的特征参量, 由此提取相应的特征参数, 构建合理的匹配距离算法, 建立

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-01-20; 修改日期: 2008-04-07

作者简介: 王 冰(1976-), 男(汉族), 山西太原人, 工程师, 从事核军备控制技术研究; E-mail: kingice1976@yahoo.com.cn

合理的标准比对模板。通过对待测核弹头进行同样条件的子能区的测量、与这些模板比对，以确定被测核弹头类型。

### 3 基于特征γ谱的模板匹配实现过程

为了以数值模拟的方式建立基于特征γ谱的标准模板，需模拟核弹头核材料自发裂变中γ射线的输运过程，建立特征子能区的提取方法和相应的匹配比对算法。

#### 3.1 核弹头γ射线的自发衰变及其输运过程

任何一条来自核材料的特征γ线均可用来确定同位素的质量成分或进行其它无损分析。然而，在实际应用中，将主要取决于其射线的强度和穿透率，其理想强度值应大于 $10^4 \text{ } \gamma / (\text{g} \cdot \text{s})$ ，能量应当大于 $1 \text{ MeV}$ <sup>[7]</sup>。

同一类核弹头中核材料初始核素成分含量固定<sup>[8-10]</sup>，不考虑核素的自发裂变过程，核素随时间的变化满足衰变规律，求解放射性衰变链的Bate-man方程，可得到放射性强度随时间变化规律的关系式：

$$N_i(t) = N_1(0) [C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + \dots + C_i e^{-\lambda_i t}] , \quad (1)$$

$$C_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{i-1}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_i - \lambda_1)} ,$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{i-1}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_i - \lambda_2)} , \quad (2)$$

.....

.....

$$C_i = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{i-1}}{(\lambda_1 - \lambda_i)(\lambda_2 - \lambda_i) \dots (\lambda_{i-1} - \lambda_i)} ,$$

其中， $N_i(t)$ 为第*i*代子体的核子数， $N_1(0)$ 为母体的核子数， $\lambda_i$ 为第*i*代子体的衰变常数。

根据递推关系式(1)，可得到某一库存时间的钚部件武器级裂变材料和贫化铀反射层及其衰变子体的含量及γ射线强度，并以此为初始源项进行输运计算。输运过程可用以下微积分方程描述：

$$\Omega \cdot \nabla \Phi + \mu \Phi = \iint \Phi(r, E', \Omega') \cdot \sigma(\Omega' \rightarrow \Omega, E' \rightarrow E) \times dE' d\Omega' + S_r(r, E, \Omega) , \quad (3)$$

其中， $\sigma$ 为康普顿散射截面， $\mu$ 为微观截面， $\Phi(r, E', \Omega')$ 为光子通量， $S_r(r, E, \Omega)$ 为γ源。

本文使用MCNP程序模拟核弹头γ射线的输运过程<sup>[11]</sup>，计算测量系统中由γ射线在探测器中的能量响应分布，可得到实际探测器探测到的核弹头特征γ谱，如图1所示。

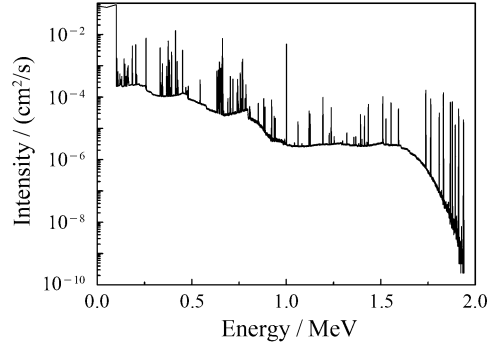


图1 数值模拟探测器所探测到的γ谱数据图例

#### 3.2 γ谱特征子能区数据的提取

特征的γ射线谱是核弹头本身的固有属性，不易被篡改、模仿，能够反映核弹头内部材料的成分和结构，可以作为核弹头的特征指纹。相同条件下，同类型核武器的全能γ谱的形状是大体相同的。

但是，全能γ谱在低能区和部分高能区，由于康普顿散射、反散射峰、X射线和湮没光子的逃逸等因素的影响，使测量得到的全能γ谱构成更加复杂化，噪声干扰严重，且数据量很大，直接进行相似性度量会产生较大困难。从而使直接选取全能γ谱作为基于钚部件特征γ谱的模板面临难题。因此，必须通过预处理来提取γ谱特征数据集作为模板的特征参量。

γ谱的特征峰反映了不同核材料的主要特征，选择若干包含特征γ峰的子能区 $E_i$ ，计算子能区的计数和 $M_i$ ，并以此构成一个特征数据集 $M = (M_1, M_2, \dots, M_n)$ ，此特征数据集包含了特征γ谱的重要特征参量。同时，在子能区的选择上应该考虑本底对特征射线的影响，选取最能反映该类型核材料特征的γ射线。

为了消除特征子能区计数统计误差和能量刻度误差的影响，提高统计精度，降低数据分析对误差的敏感性，本文采用对特征子能区计数直接求和的方法，即不对非常敏感的核弹头特征γ谱数据进行细致的处理<sup>[12]</sup>，将可能更有利于被核查方接受。

#### 3.3 匹配程度比对算法

匹配程度是指待测核弹头特征参量与模板的特

征参量的相似程度，若相似程度在可接受的范围内，则认为待测核弹头与模板类型相符，反之则认为不符，从而实现核弹头的认证与识别。

即便在相同测量条件下，全能峰的净计数仍受统计误差的影响，这要求匹配比对算法有足够的识别能力和误差带，以保证分析结果的正确性。同时，为了消除绝对测量过程中测量距离和测量时间的误差对相似程度判断结果的影响，本文对 $\gamma$ 谱以选定的某一特征能峰计数为基准进行归一处理，在绝对测量的 $\gamma$ 谱基础上得到针对该特征能峰计数的归一化特征 $\gamma$ 谱。定义匹配距离 $D$ 来衡量待测核弹头与模板类型的匹配程度。匹配距离 $D$ 可表达为

$$D = \frac{1}{n} (D_1 + D_2 + \dots + D_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i}{Y_c} - \frac{X_i}{X_c} \right|, \quad (4)$$

式中， $X_i$ 为模板第 $i$ 个特征子能区计数(个)， $Y_i$ 为待识别物项第 $i$ 个特征子能区计数(个)， $X_c$ 为模板基准特征子能区计数(个)， $Y_c$ 为待测核弹头基准子能区计数(个)， $n$ 为所选特征子能区的数目， $D_n$ 为第 $n$ 个特征子能区的匹配距离。

### 3.4 钚部件模板匹配比对流程图

核弹头的衰变 $\gamma$ 谱受到多种因素的共同影响，很难由一个或几个特征子能峰直接建立比对模板所需的所有特征参量。考虑到不同类型的核弹头其区别为同位素成分和几何结构的变化，本文分别针对成分和几何结构的变化，选取了合适的特征子能峰，建立基准比对子模板，分别独立进行匹配算法比对，再综合判断给出比对结果。若两个子模板的相似性比对结果都在匹配程度的可接受范围内，则认为被测量的核弹头与模板的类型相符。具体推荐流程如图2所示。

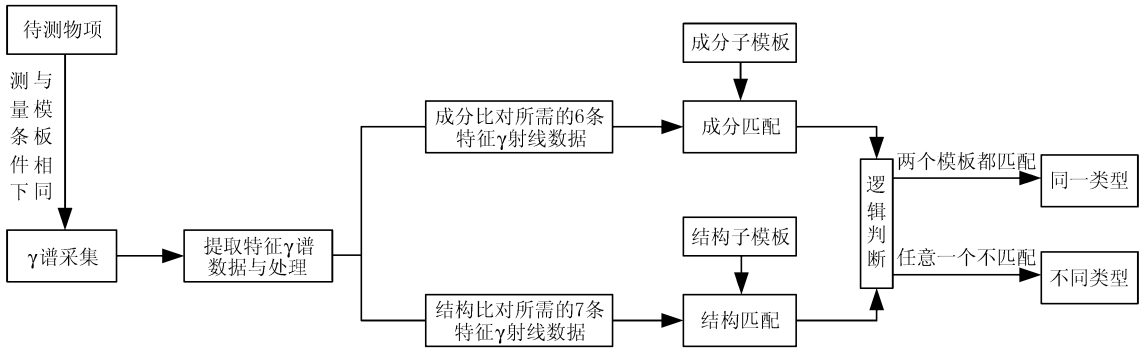


图2 基于钚部件特征 $\gamma$ 谱模板匹配比对流程图

## 4 特征 $\gamma$ 谱钚部件模板验证

### 4.1 钚部件模板测量数值模拟验证实验模型

为了验证上述方法构建模板比对测量方法的可行性，本文以密封容器(Fe)中待测核弹头为例，

以高纯锗为探测器(活性区半径为2.817 cm)，探测距离为80 cm，测量时间为1 000 s作为数值模拟实验验证模型(如图3所示)。其中，模板假想的基准核弹头主要材料及几何结构参数见表1，假定其库存时间为50 a。

表1 模板假想的基准核弹头主要参数<sup>[9]\*</sup>

材料	内半径/cm	外半径/cm	质量/kg	密度/(g/cm <sup>3</sup> )
空腔	0	4.25	0.0	0.000
武器级钚(WgPu)	4.25	5.0	4.0	19.798
铍(Be)	5.0	7.0	2.0	2.19
贫化铀(DU)	7.0	7.5	6.243	18.895
炸药	7.5	18.0	43.282	1.909 9
铝(Al)	18.0	19.0	11.4	2.650

\* 武器级钚(WgPu)的成分含量分别为：<sup>238</sup>Pu 0.005%，<sup>239</sup>Pu 93.3%，<sup>240</sup>Pu 6.0%，<sup>241</sup>Pu 0.44%，<sup>242</sup>Pu 0.215%；贫化铀(DU)的成分含量分别为：<sup>238</sup>U 99.8%，<sup>235</sup>U 0.2%；炸药的成分含量分别为：H 2.723%，C 16.213%，O 43.223%，N 37.84%。

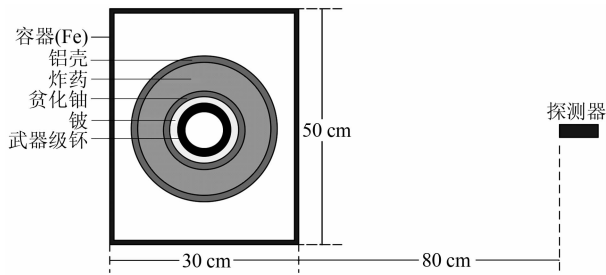


图3 数值模拟实验验证模型示意图

## 4.2 钚部件成分特征匹配距离比对结果及分析

假定钚部件成分特征的变化为核素成分的相对变化，其质量和几何结构不变，来验证钚部件成分特征匹配距离比对方法。以假想模板核弹头核素成分为基准，对 $^{239}\text{Pu}$ 和 $^{240}\text{Pu}$ 的含量进行逐量变化形成4个新的核弹头，其中 $^{239}\text{Pu}$ 含量由93.3%—94.1%等量增加， $^{240}\text{Pu}$ 由6%—5.2%等量减少，其它参数不变。通过这几个新的核弹头与模板基准核弹头成分特征匹配程度，考察该方法建立成分分子模板匹配对比方法的可行性。

提取4个新核弹头特征 $\gamma$ 谱中最能反映成分变化的6条子能区特征峰，其中 $^{239}\text{Pu}$ 的5个子能区特征 $\gamma$ 射线能量分别为0.375 1, 0.380 3, 0.413 8, 0.422 6和0.451 5 MeV， $^{240}\text{Pu}$ 的1个子能区特征 $\gamma$ 射线能量为0.642 5 MeV。将它们的计数与 $^{239}\text{Pu}$ 能量为0.393 1 MeV的特征子能峰的比值作为成分变化子模板的特征数据集 $M$ 。由于选取的特征能峰对应的 $\gamma$ 射线不同，这里考虑对不同的 $\gamma$ 射线计数分别两两组合，先求出每一特征能区的匹配距离 $D_n$ ，然后再代入公式(4)求出匹配距离，以便消除特征 $\gamma$ 射线选取不均衡对匹配距离的影响。即

$$D_i = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 \left| \frac{Y_{ij}}{Y_c} - \frac{X_{ij}}{X_c} \right|, \quad (5)$$

其中：当 $j=1$ 时， $Y_{ij}$ 为 $^{239}\text{Pu}$ 对应的第 $i$ 个特征子能峰计数；当 $j=2$ 时， $Y_{ij}$ 为 $^{240}\text{Pu}$ 对应的第 $i$ 个特征子能峰计数。

将式(5)代入匹配距离的计算公式(4)，即得到成分变化的匹配距离公式(6)：

$$D = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 \left| \frac{Y_{ij}}{Y_c} - \frac{X_{ij}}{X_c} \right|. \quad (6)$$

根据成分特征匹配距离公式(6)计算出成分变化时相似性程度的匹配距离比对结果(如表2所示)。若考虑实际测量，由于统计涨落对匹配距离的影

响，当统计误差为1%时，模板基准核弹头成分特征的匹配距离为0.007 8；当统计误差为3%时，模板基准核弹头成分特征的匹配距离为0.029 8。

表2 6条子能区特征峰钚部件成分特征匹配距离和特征修正匹配距离的比对结果\*

钚部件	匹配距离 $D$	修正匹配距离 $D'$
$^{239}\text{Pu}$ -93.3-1	0.007 8	0.001 1
$^{239}\text{Pu}$ -93.3-3	0.029 8	0.003 2
$^{239}\text{Pu}$ -93.5	0.002 8	0.001 6
$^{239}\text{Pu}$ -93.7	0.003 2	0.002 9
$^{239}\text{Pu}$ -93.9	0.004 8	0.004 3
$^{239}\text{Pu}$ -94.1	0.007 5	0.005 8

\* 钚部件命名说明：样品名称-富集度-计数统计误差，例如，钚部件名“ $^{239}\text{Pu}$ -93.3-1”表示：(1)部件名称 $^{239}\text{Pu}$ ；(2)富集度93.3%；(3)计数统计误差1%。没有标注计数统计误差的部件名表示就是无误差的计算结果。

由表2中匹配距离的计算结果可知：较基准核部件 $^{239}\text{Pu}$ 成分变化小于或等于0.8%时，匹配距离值均小于测量误差为1%和3%的模板基准核弹头匹配距离计算值，即当测量误差小于1%时，这种比对方法无法识别成分较模板基准核弹头 $^{239}\text{Pu}$ 含量变化在0.8%以内范围的核弹头；当统计误差产生的匹配距离远大于成分变化的匹配距离时，无法识别核弹头，这种直接匹配比对算法受统计误差的影响较大。

为此，对匹配比对算法进行修正，增加 $^{240}\text{Pu}$ 的权重，对其特征子能峰计数比乘以93.3%；减少 $^{239}\text{Pu}$ 的权重，对其特征子能峰计数比乘以6%，以此对匹配距离计算公式(6)进行修正，得到修正匹配距离如下：

$$D' = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 \left( \left| \frac{Y_{ij}}{Y_c} - \frac{X_{ij}}{X_c} \right| \cdot F_j \right), \quad (7)$$

其中 $F_j$ 为富集度修正因子(当 $j=1$ 时， $F_j = 6\%$ 为 $^{239}\text{Pu}$ 富集度修正因子；当 $j=2$ 时， $F_j = 93.3\%$ 为 $^{240}\text{Pu}$ 富集度修正因子)。

由修正匹配距离 $D'$ 的计算公式(7)可以得到修正后的成分特征匹配距离比对结果，如表2中所示。

由表2看出：核部件的成分变化0.2%时与统计误差为1%的情况相比，修正匹配距离大于统计误差造成的匹配距离；成分变化0.6%时与3%的计数统计误差的情况相比，亦是如此。即当统计误差为1%和3%时，修正匹配比对算法可以识别核部件

成分特征分别为0.2%和0.6%以上的变化。修正匹配距离比对算法弱化了统计误差的影响,取得了较好的核弹头识别效果。

### 4.3 钚部件结构特征的匹配距离比对结果及分析

假定钚部件结构特征变化为核材料内半径发生变化,成分特征不变,来验证钚部件结构特征匹配距离比对方法。以假想模板核弹头武器级材料内半径为基准,通过改变其内半径大小:由4.25 cm等间隔变化到4.45 cm,其他参数不变,变化形成4个新核弹头,考察并验证结构特征的匹配距离比对方法。

针对钚部件结构变化的情况,选择7个最能反映结构特征变化的子能峰与<sup>239</sup>Pu能量为0.393 1 MeV特征子能峰的比值作为结构特征的数据集,<sup>239</sup>Pu的7个子能区特征 $\gamma$ 射线能量分别为0.163 4, 0.633 1, 0.654 9, 0.662 5, 0.717 9, 0.756 5和0.769 5 MeV,由匹配距离计算公式(4)计算出比对结果,如表3所示。

表3 钚部件结构特征匹配距离比对结果\*

钚部件	匹配距离D
Pu-4.25-1	0.006 4
Pu-4.25-3	0.019 1
Pu-4.3	0.003 4
Pu-4.35	0.009 8
Pu-4.4	0.018 8
Pu-4.45	0.021 9

\* 钚部件命名说明: 部件名称-内半径-计数统计误差,例如,钚部件“Pu-4.25-1”表示:(1)部件名称钚部件;(2)内半径4.25 cm;(3)计数统计误差1%。没有标注计数统计误差的文件名表示就是无误差的结果。

由于钚部件结构变化时对特征 $\gamma$ 谱的影响因素较为复杂,与统计误差为1%相比,较基准模板核弹头内半径变化小于0.05 cm时的匹配距离计算结果小于统计误差造成的匹配距离,即匹配比对算法不能识别与模板基准钚部件内半径变化为0.05 cm以内的核弹头,较基准模板核弹头内半径变化大于0.1 cm的匹配距离大于统计误差造成的匹配距离。换句话说,被测钚部件内半径与模板基准钚部件半径变化达到0.1 cm时,才能识别。在统计误差为3%时,较基准模板核弹头内半径变化小于0.2

cm的匹配距离小于统计误差造成的匹配距离,匹配比对算法不能识别与模板基准钚部件内半径变化为0.2 cm以内的核弹头。由此可以看出,结构特征匹配方法受统计误差的影响较大。

## 5 总结与讨论

通过数值模拟的形式,验证了提取钚部件特征子能区数据比值作为核弹头类型相似程度比对的特征数据集方法,分别建立了钚部件成分特征、结构特征变化的匹配比对算法,分析该方法在核查场中的识别能力。分析结果显示:(1)在识别成分特征变化时,应提取子能区0.375 1, 0.380 3, 0.413 8, 0.422 6, 0.451 5和0.642 5与0.393 1 MeV特征子能峰的比值作为成分特征数据集,进行成分特征识别;(2)修正匹配距离比对算法能提高模板识别核弹头成分特征的能力;(3)在识别结构特征变化时,应提取子能区0.163 4, 0.633 1, 0.654 9, 0.662 5, 0.717 9, 0.756 5, 0.769 5和0.393 1 MeV特征子能峰的比值作为结构特征数据集,进行结构特征识别;(4)成分、结构特征的识别均受统计误差的影响,但仍可区分超过一定限度的特征变化;(5)子能峰相对比值特征数据提取方法有效地消除了测量距离、时间误差因素对识别能力的影响。因此,基于特征 $\gamma$ 谱的模板测量技术能够在一定范围内,识别被测核部件与模板基准核部件的差异。

### 参考文献(References):

- [1] Mattingly J K, Valentine T E, Mihalcz J T. Use to the NMIS for Enhanced Receipt Confirmation Measurements at the Oak Ridge Y-12 Plant, Y/LB-16, 025. Tennessee, USA, 2000.
- [2] Peter E, Peter Z, Cynthia A. Study of the CIVET Design of a Trusted Processor for Non-intrusive Measurements. The Annual Meeting of the Institute of Nuclear Materials Management. Indian wells, CA, USA, 2001.
- [3] Kevin D S, Dean J M, Thomas W L, *et al.* Trusted Radiation Inspection System. The 42th Annual Meeting of the Institute of Nuclear Materials Management, Albuquerque, New Mexico, USA, 2001.
- [4] Mihalcz J T, Mullens J A, Valentine T E, *et al.* Physical Description of Nuclear Weapons Identification System Signatures, Y/LB-15, 946 R6, Oak Ridge Y-12 Plant. 1998.
- [5] Walter R K, James R L, Leon F. The Application of

- High-resolution Gamma-ray Spectrometry to Nuclear Safeguards, BNL-64032. Nonproliferation and Arms Control Activities. The 38th Annual Meeting of the Institute of Nuclear Materials Management, Phoenix, AZ, 1997.
- [6] Committee on International Security and Arms Control, National Research Council. Monitoring Nuclear Weapons and Nuclear-Explosive Materials, 2005.
- [7] Tian Dongfeng, Gong Jian, Wu Jun, *et al.* The Techniques of Detecting and Analyzing the Characteristic  $\gamma$  Ray from Nuclear Material. Beijing: National Defense Industry Press, 2005(in Chinese).  
(田东风, 龚健, 伍钧等. 核材料 $\gamma$ 特征谱的探测和分析技术. 北京: 国防工业出版社, 2005.)
- [8] Liu Yunzuo. Decay Schemes of Radioactive Nuclides in Common Use. Beijing: Atomic Energy Press, 1982(in Chinese).  
(刘运祚. 常用放射性核素衰变纲图. 北京: 原子能出版社, 1982.)
- [9] Wu Jun. Numerical Simulation on the Technology of Detecting Nuclear Warhead. Beijing: Ph. D. Thesis of Chinese Academy of Engineering Physics, 2003(in Chinese).  
(伍钧. 核弹头探测技术模拟研究. 北京: 中国工程物理研究院博士论文, 2003.)
- [10] Doug Reilly, Norbert Ensslin, Hastings Smith, *et al.* Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, USA, 1991, 221—243.
- [11] Briesmeister J F. MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code System, Los Alamos National laboratory, Los Alamos, USA, 2000.
- [12] Zhao Wuwen. Study on the Template Detecting Technology based on Matching Distance. Beijing: Ph. D. Thesis of Chinese Academy of Engineering Physics, 2007(in Chinese).  
(赵武文. 基于匹配距离的模板测量技术研究. 北京: 中国工程物理研究院博士论文, 2007.)

## Investigation of Template to Authenticate Plutonium Warhead based on $\gamma$ -ray Spectrum<sup>\*</sup>

WANG Bing<sup>1, 1)</sup>, ZHANG Song-bai<sup>2</sup>, WU Jun<sup>2</sup>

(1 *Graduation School of China Academy of Engineering Physics, Beijing 100088, China;*

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

**Abstract:** The nuclear warhead detecting technology based on a template with  $\gamma$  spectrum of Plutonium is an important verification means in the deep-irreversible nuclear disarmament. In order to obtain the  $\gamma$ -ray spectra,  $\gamma$ -ray transportation processing for the hypothesis nuclear warhead model has been simulated. In a possible nuclear disarmament verification case, the template matching algorithm based on the relative counts of the explored  $\gamma$  spectrum of Plutonium in sub-energy region is built up, and the template technology of nuclear warhead composed of element matching and structure matching is established. This method could eliminate the effect of the error caused by the detecting distance and time.

**Key words:** plutonium warhead; characteristic  $\gamma$  spectrum; matching distance; template

\* Received date: 20 Jan. 2008; Revised date: 7 Apr. 2008

1) E-mail: kingice1976@yahoo.com.cn