

对称零面积变换法找峰

庞巨丰 郑桂芳 侯晓凤

(陕西省预防医学研究所, 西安)

该文报告了用对称零面积变换法寻找 γ 谱峰的基本原理。给出确定对称零面积变换函数的方法。对若干对称零面积离散变换函数作褶积滑动变换的找峰能力进行了比较, 计算出找峰能力最强时的变换函数及其半宽度 H 和褶积的总宽度 W 。计算和实际找峰试验表明, 采用与峰形状函数(高斯函数)一致的零面积高斯函数作变换函数, 可获得最佳的找峰效果。用该法找峰时, 可先用“宽窗”(如 $H=4, W=11$)的零面积高斯函数变换以抑制高基底和统计假峰; 然后, 用“窄窗”(如 $H=4, W=5$)零面积高斯函数或对称零面积“窄”矩形波($H=1, W=5$)变换函数变换以分辨重峰。

关键词 零面积变换, 找峰。

一、前 言

Ge(Li) γ 谱的定量分析(包括NaI(Tl)谱峰的分析), 首先要确定 γ 峰的位置——找峰。识别低基底连续谱上的强峰, 已有许多实用的定峰位的方法^[1-5]。但识别高基底上的弱峰, 则较为困难, 这就要求采用能增强峰体、抑制基底的找峰方法, 对称零面积变换法可以满足这一要求。

常用的找峰方法有一阶、二阶和三阶导数法^[6,7], 我们分析这些方法中的计算公式发现, 所有系数之和为零^[8], 相当于零面积变换, 不过有的变换函数(系数)是对称的, 有的是非对称的(旋转180°对称)。用协方差法^[5]找峰, 当权重因子为1, 与谱数据作滑动拟合的峰形函数为对称函数时, 协方差法也可以并入对称零面积变换法。

基于上述两点, 我们重点研究了对称零面积变换找峰的方法。

二、基本 原 理

一个线性函数的二阶导数为0, 非线性函数在某一点取局部极大值的充分条件是在该点附近二阶导数为负, 即峰的附近二阶导数小于0。因此, 用二阶导数法就有可能抑制近似线性变化的基底, 提高峰识别的能力。实践也证明^[6], 二阶导数法尤其有利于识别大峰旁边的小峰。 γ 谱数据是等距的离散数据, 可近似地用二阶差分来判别峰的存在。定义第 i 点的负二阶差分 $\tilde{y}(i)$ 为:

$$\tilde{y}(i) = - \sum_{j=i-n}^{i+n} [y(j+H) - y(j)] - [y(j) - y(j-H)] \quad (1)$$

其中: $H=2n+1$, “求和号”前加一个“负”号, 是为了使得二阶差分的极值与峰的方向一

致，即峰位置附近的负二阶差分大于 0，存在一极大值。由 (1) 式可推出：

$$\tilde{y}(i) = \sum_{j=-(n+H)}^{n+H} c(j)y(i+j) \quad (2)$$

其中：

$$c(j) = \begin{cases} 2 & -n \leq j \leq n \\ -1 & n < |j| \leq n+H \end{cases} \quad (3)$$

是一个对称的面积为零的“窗”函数，谱数据的二阶差分可化为函数 (3) 的褶积变换。推而广之，并令 $m=n+H$ ，得一般的对称零面积变换的数学表达式：

$$\tilde{y}(i) = \sum_{j=-m}^m c(j)y(i+j) \quad (4)$$

$$\sum_{j=-m}^m c(j) = 0, \quad c(j) = c(-j) \quad (5)$$

其中： $W=2m+1$ 称为“窗”宽，即变换宽度，用道数表示； $y(i)$ 和 $\tilde{y}(i)$ 分别表示实验谱和变换后谱的第 i 道的数据； $c(j)$ 为对称零面积“窗”函数，即变换函数。因此，对称零面积变换就是面积为零的对称“窗”函数与实验谱进行褶积滑动变换。容易证明，满足条件 (5) 的“窗”函数，对线性基底的褶积变换结果将为零，只有存在峰的地方大于零，而变换值最大处为峰址。关键是对称零面积变换函数的选择，我们选择下面一些形式。

1. 方波(包括矩形波)函数

$$c(j) = \begin{cases} -b & -m \leq j < -(H-1)/2 \\ a & -(H-1)/2 \leq j \leq (H-1)/2 \\ -b & (H-1)/2 < j \leq m \end{cases} \quad (6)$$

其中： H 为半宽度（在这里为中心方波部分的宽度，即 $H=2n+1, n=0,1,2,\dots$ ），又可以设想三种情况：

(1) 方波 $a=2b$ ；为了保证“窗”函数面积为零，则 $m=(3H-1)/2$ (7)

(2) 矩形波 $a>2b$ ；可令 $a=2kb, k=2,3,\dots$ 。这时 $m=[(2k+1)H-1]/2$ (8)

(3) 矩形波 $a<2b$ ；这时 m 与 H, a, b 的关系为：

$$\begin{cases} m = \frac{aH}{2b} + \frac{(H-1)}{2} \\ m < \frac{3H-1}{2} \end{cases} \quad (9)$$

给定 H （即 n 值）后，则 m 的范围确定； H, m 和 a 确定后，则可由 (9) 式计算 b 。

2. 类峰型函数

这类函数是一个特定的对称函数 $G(j)$ 与一个常数 d 之差，即：

$$c(j) = G(j) - d$$

为了保证条件 (5) 得到满足，

$$d = \frac{1}{W} \sum_{j=-m}^m G(j) \quad (11)$$

$G(j)$ 可以选取：

(1) 高斯函数: $G(j) = \exp[-4 \ln 2 (j/H)^2]$ (12)

(2) 柯西 (Cauchy) 函数: $G(j) = H^2 / (H^2 + 4 j^2)$ (13)

(3) 双曲正割函数: $G(j) = \text{Sech}(2.634 j/H)$ (14)

(4) 余弦平方函数: $G(j) = \cos^2(\pi j/2 H)$ (15)

(5) 高斯函数的二阶导数: $G(j) = (8 \ln 2 / H^4) (8 \ln 2 j^2 - H^2) \cdot \exp[-4 \ln 2 (j/H)^2]$ (16)

为了评价所选择的对称零面积变换函数, 定义一个品质因子:

$$F = \frac{\left[\sum_{j=-m}^m c(j)y(j) \right]^2}{\sum_{j=-m}^m c(j)^2} \quad (17)$$

其中: $y(j)$ 为预期的峰形状函数。峰高相对于基底的改善因子用 \sqrt{F} 来表示。

为了使找峰的灵敏度与实验谱的统计性质无关, 一般用变换谱的标准偏差作为单位来找峰, 即当变换谱与它的标准偏差之比出现正极大值, 并且此极大值超过给定的数值 f 时, 才认为是真峰, 正极大值对应的道址约为峰位置。因此, 找峰的准则为:

$$SR_i = \frac{\tilde{y}_i}{\Delta \tilde{y}_i} = \frac{\sum_{j=-m}^m c(j)y(i+j)}{\left[\sum_{j=-m}^m c(j)^2 y(i+j) \right]^{1/2}} > f \quad (18)$$

其中: f 为给定的正常数, 称为找峰阈值或灵敏因子。

三、结果和讨论

1. 理论计算结果

按 (17) 式所定义的品质因子 F 和改善因子 \sqrt{F} , 理论上假定峰形状函数 $y(j)$ 为高斯函数和柯西函数, 然后计算对称零面积方波、矩形波函数和零面积类峰形函数 $c(j)$ 变换的 F 和 \sqrt{F} 值。零面积方波、矩形波函数的有关参数及其对两种峰形函数变换的 \sqrt{F} 值如表 1 所列。

对于零面积类峰形变换函数, 对高斯和柯西两种峰形谱变换的 \sqrt{F} 值, 随变换函数半宽度 (设峰形函数 FWHM=4) 及“窗”宽的变化分别列于表 2 和表 3。当零面积类峰形变换函数的半宽度一定 ($H=4$) 时, 改变峰形函数高斯和柯西函数的半宽度和褶积的总宽度 W , \sqrt{F} 的计算结果如表 4 所示。这些数据表明: (1) 不管采用什么样的对称零面积变换函数, 对于峰形为高斯型的谱比柯西型 (X 射线谱由于自然线宽的存在, 多为此类型) 的谱, 用零面积变换法找峰的能力强 (\sqrt{F} 值大), 即变换谱与其标准偏差之比值大。(2) 对于 $a=2b$ 的方波函数和 $a>2b$ 的矩形波零面积变换函数, 随着中心宽度 H 和“窗”宽 W 的增大, \sqrt{F} 从小到大再到小。当 $a=2b$ 时, $H=7$ 、 $W=21$ 和当 $a>2b$ 时, $H=5$ 、 $W=25$ 改善因子达到极大值, 即找峰能力最强。对于 $a<2b$ 的矩形波零面积变换函数, 在

表 1 零面积方波、矩形波函数对两种峰形变换的改善因子值

变换函数	参 数				峰 形 函 数**	
	H/道	W/道	a*	b*	高 斯	柯 西
					\sqrt{F}	\sqrt{F}
方 波 a = 2 b	1	3	2	1	0.1299	0.1633
	3	9	2	1	0.8999	0.7506
	5	15	2	1	1.239	1.015
	7	21	2	1	1.212	1.098
	9	27	2	1	1.146	1.109
矩 形 波 a > 2 b	1	5	4	1	0.2948	0.3131
	3	15	4	1	1.181	1.002
	5	25	4	1	1.415	1.235
	7	35	4	1	1.374	1.289
	9	45	4	1	1.258	1.278
矩 形 波 a < 2 b	5	13	3	1.875	1.165	0.9360
	7	15	3	2.625	1.095	0.9156
	9	15	3	4.5	0.8815	0.7748
	11	15	3	8.25	0.6604	0.6113
	13	15	3	19.5	0.4399	0.4162

* a 和 b 同时乘以一个相同的数时, 不影响 \sqrt{F} 值; ** FWHM=4 道。

表 2 峰形函数为高斯函数并 FWHM=4 时, 不同零面积变换函数的改善因子随其半宽度及“窗”宽的变化

“窗”宽 W/道	变换函数 H/道	改 善 因 子 \sqrt{F}				
		高 斯	柯 西	双曲正弦	余弦平方	高斯函数的二阶导数
5	2	0.4355	0.4183	0.4269	0.4401	0.3217
	3	0.4498	0.4423	0.4463	0.4506	0.4397
	4	0.4507	0.4487	0.4500	0.4505	0.4496
	5	0.4505	0.4503	0.4506	0.4502	0.4506
	6	0.4503	0.4506	0.4506	0.4500	0.4506
	7	0.4501	0.4506	0.4505	0.4499	0.4504
	8	0.4500	0.4505	0.4503	0.4498	0.4502
9	2	0.9024	0.9178	0.9229	0.1659	0.3431
	3	0.9946	0.9856	0.9938	0.8925	0.7019
	4	1.0124	1.0071	1.0108	1.0115	0.9303
	5	1.0059	1.0118	1.0109	0.9984	1.0031
	6	0.9957	1.0098	1.0058	0.9856	1.0119
	7	0.9870	1.0052	0.9994	0.9771	1.0054
	8	0.9803	0.9998	0.9932	0.9714	0.9969
13	2	1.1211	1.1660	1.1594	0.1705	0.3431
	3	1.2430	1.2461	1.2519	0.2081	0.7067
	4	1.2714	1.2665	1.2692	1.0776	1.0002
	5	1.2560	1.2644	1.2601	1.2543	1.1857
	6	1.2266	1.2527	1.2422	1.2142	1.2591
	7	1.1974	1.2374	1.2224	1.1740	1.2633
	8	1.1727	1.2213	1.2035	1.1460	1.2419

表 3 峰形函数为柯西函数并 FWHM=4 时, 不同零面积变换函数的改善因子随其半宽度及“窗”宽的变化

“窗”宽 W/道	变换函数 H/道	改善因子 \sqrt{F}				
		高 斯	柯 西	双曲正割	余弦平方	高斯函数的二阶导数
5	2	0.4276	0.4158	0.4219	0.4303	0.3365
	3	0.4334	0.4315	0.4331	0.4323	0.4301
	4	0.4317	0.4336	0.4333	0.4394	0.4334
	5	0.4304	0.4330	0.4321	0.4294	0.4321
	6	0.4296	0.4320	0.4311	0.4289	0.4309
	7	0.4291	0.4311	0.4304	0.4286	0.4301
	8	0.4288	0.4306	0.4298	0.4283	0.4295
	9	2	0.7703	0.7797	0.7834	0.9510
3		0.8215	0.8192	0.8226	0.7499	0.6276
4		0.8218	0.8261	0.8252	0.8182	0.7824
5		0.8092	0.8228	0.8184	0.7996	0.8220
6		0.7970	0.8163	0.8098	0.7861	0.8190
7		0.7876	0.8091	0.8016	0.7775	0.8082
8		0.7807	0.8022	0.7945	0.7719	0.7981
13		2	0.9566	0.9919	0.9852	0.2249
	3	1.0365	1.0453	1.0468	0.1638	0.6316
	4	1.0512	1.0552	1.0544	0.8686	0.8406
	5	1.0372	1.0499	1.0444	1.0281	0.9767
	6	1.0143	1.0388	1.0290	1.0027	1.0338
	7	0.9920	1.0257	1.0130	0.9735	1.0391
	8	0.9732	1.0124	0.9980	0.9527	1.0241

允许的范围内, 当 W 一定时, H 越小, 改善因子越大; 当 H 一定时, W 越大, 改善因子 \sqrt{F} 也越大, 即在统计涨落中或高基底上找出真峰的能力越强。(3) 对于类峰形的零面积变换函数, 变换函数与谱峰形状函数相同, 半宽度也一致时, 找峰能力最强。如果峰形状为高斯型, 找峰能力由强到弱的变换函数为: 零面积高斯、零面积双曲正割、零面积柯西、零面积高斯二阶导数、零面积余弦平方。如果峰形状函数为柯西型, 只是零面积柯西和零面积高斯函数的位置调换一下, 其它顺序不变。可见, 双曲正割函数总是占第二位, 余弦平方函数最差。当零面积变换函数和峰形函数的半宽度 H 和 FWHM 一定时, “窗”宽 W 越大, \sqrt{F} 值越大。当变换函数的半宽度 H 一定时, \sqrt{F} 随峰形函数半宽度 FWHM 的变化是: 于 $W < 7$ 区间, 随 FWHM 的增大, \sqrt{F} 值变小; 于 $W > 9$ 区间, 随 FWHM 的增大, \sqrt{F} 由小到大再变小, 于某个 FWHM 值处达最大。当 “窗”宽 W 和 FWHM 一定时, 随着变换函数半宽度 H 的增大, \sqrt{F} 值从小到大再变小, 依据不同的变换函数, 于某一 H 处 \sqrt{F} 达到最大值。(4) 峰形函数为高斯函数及其 FWHM=4 时, \sqrt{F} 最大值所对应的零面积变换函数之半宽度 H 值如表 5 所示。可见, 对于不同的变换函数, W 不同时, \sqrt{F} 达最大值的变换函数之半宽度也不同。但是, 与峰形状一致的变换函数, \sqrt{F} 于同一个 H 处达最大; 而其它变换函数, 随 W 的增大 \sqrt{F} 值达最大时的 H 值或者减小 (双曲正割和柯西) 或者增大 (高斯二阶导数和余弦平方)。表 5 的结果还说明, 不管变换函数的 “窗”宽为多大, 当谱峰为高斯形时, 零面积高斯函数是最佳的变换函数, 其次是双曲正割

表 4 不同零面积变换函数($H=4$)的改善因子随峰形函数半宽度及“窗”宽的变化

峰形函数 FWHM/道	“窗”宽 W /道	改善因子 \sqrt{F}				
		高 斯	柯 西	双曲正割	余弦平方	高斯函数的二阶导数
高 斯 2	5	0.7514	0.7669	0.7613	0.7456	0.7632
	7	0.8487	0.8862	0.8721	0.8284	0.9051
	9	0.8932	0.9344	0.9164	0.8778	0.9802
	11	0.9249	0.9600	0.9416	0.9285	1.0075
	13	0.9493	0.9760	0.9589	0.8911	1.0131
	15	0.9683	0.9871	0.9721	0.7012	1.0138
高 斯 4	5	0.4507	0.4487	0.4509	0.4503	0.4496
	7	0.7737	0.7685	0.7719	0.7726	0.7550
	9	1.0124	1.0071	1.0108	1.0115	0.9303
	11	1.1688	1.1642	1.1672	1.1467	0.9887
	13	1.2714	1.2605	1.2692	1.0776	1.0002
	15	1.3424	1.3363	1.3392	0.7719	1.0017
高 斯 6	5	0.2437	0.2417	0.2428	0.2439	0.2425
	7	0.4959	0.4866	0.4912	0.4982	0.4716
	9	0.7559	0.7415	0.7495	0.7576	0.6403
	11	0.9809	0.9689	0.9785	0.9290	0.7081
	13	1.1582	1.1540	1.1630	0.8432	0.7232
	15	1.2927	1.2973	1.3047	0.4822	0.7252
柯 西 2	5	0.6072	0.6273	0.6197	0.6003	0.6222
	7	0.7229	0.7554	0.7430	0.7065	0.7663
	9	0.8039	0.8369	0.8228	0.7915	0.8526
	11	0.8648	0.8930	0.8790	0.8581	0.8845
	13	0.9112	0.9339	0.9209	0.8160	0.8912
	15	0.9471	0.9649	0.9535	0.6132	0.8920
柯 西 4	5	0.4317	0.4336	0.4333	0.4304	0.4334
	7	0.6520	0.6564	0.6556	0.6472	0.6519
	9	0.8218	0.8261	0.8252	0.8182	0.7824
	11	0.9515	0.9552	0.9544	0.9298	0.8303
	13	1.0512	1.0552	1.0544	0.8686	0.8406
	15	1.1292	1.1344	1.1336	0.5915	0.8420
柯 西 6	5	0.2764	0.2753	0.2761	0.2762	0.2759
	7	0.4883	0.4842	0.4867	0.4881	0.4745
	9	0.6794	0.6730	0.6770	0.6792	0.6063
	11	0.8386	0.8334	0.8381	0.8053	0.6575
	13	0.9680	0.9672	0.9716	0.7387	0.6691
	15	1.0734	1.0787	1.0822	0.4432	0.6708

函数。对于 $a > 2b$ 的零面积矩形波函数，只有总宽度 $W=25$ 时才比较好，而总宽度比较窄时，矩形波函数就比较差。方波函数 ($a=2b$) 在总宽度较窄时比矩形波函数好。而 $a < 2b$ 的零面积矩形波函数总是最差的。

上述的一系列计算说明，如果希望加强抑制统计假峰（信号/噪声比高）的能力，那么零面积变换函数及其半宽度应该选取与实验谱的峰形状及其实测半宽度相一致，并且适当

表 5 各种零面积变换函数不同“窗”宽时 \sqrt{F} 达最大值的半宽度
(峰形函数为高斯函数,FWHM=4)

变换函数	$W (\sqrt{F})_{max} H$			$W (\sqrt{F})_{max} H$			$W (\sqrt{F})_{max} H$		
高 斯	9	1.012	4.0	15	1.342	4.0	25	1.512	4.0
双曲正割	9	1.012	4.5	15	1.339	3.9	25	1.507	3.7
柯 西	9	1.012	5.0	15	1.336	4.2	25	1.499	3.7
高斯二阶导数	9	1.012	5.8	15	1.331	7.0	25	1.435	8.6
矩形波($a>2b$)	/	/	/	15	1.181	3	25	1.415	5
余弦平方	9	1.012	4.0	15	1.306	5.5	25	1.299	6.4
方波($a=2b$)	9	0.8999	3	15	1.239	5	21	1.242	7
矩形波($a<2b$)	9	0.8944	5	15	1.095	7	25	1.123	9

选取大一些的“窗”宽(褶积宽度)。

2. 实际 γ 谱试验结果

为了试验对称零面积变换法找峰的功能,我们分别采用弱放射性 γ 谱段、高基底(或本底)上弱 γ 峰谱段以及重峰谱段进行试验。

(1) 实际的弱 γ 射线谱段:该谱段含有三个峰,峰位分别为1782、1867和1900道,峰位的最大计数分别为78、14和11。用对称零面积褶积变换,求得变换谱中真峰和若干主要统计涨落假峰的极大值 \tilde{y}_{imax} 和 $S R_{imax}$ 列于表6。最小的真峰这两个值与最大的假峰这两个值之比 S_{min}/N_{max} (即最小“信号”与最大“噪声”比)也示于表中最后一列。

结果表明,一般来说,总宽度 W 大时,对统计涨落假峰的抑制能力强。但从表6 S_{min}/N_{max} 值来看,对于方波变换函数, $H=7$ 、 $W=21$ 最佳;对零面积高斯变换函数, $H=4$ (近似实验谱峰的半宽度)、 $W=11$ 最好。这时真峰位置的变换谱更加突出,而统计假峰却受到强的抑制。

(2) 实际的高基底弱峰谱段:是天然 ^{214}Bi 的三个弱 γ 峰(1217、1231和1263道)叠加在强 ^{152}Eu 的康普顿连续基底和自然本底上构成的基底与净峰高之比约为30:1。由变换谱求得真峰和若干主要统计涨落假峰的极大值 \tilde{y}_{imax} 和 $S R_{imax}$ 如表7所列。表7的结果再次说明,“窗宽” W 大时,零面积变换对高基底及统计假峰有强烈的抑制能力,其中又以零面积高斯变换函数最佳。 $H=4$ 、 $W=11$ 的高斯函数甚至比 $W=25$ 的矩形波变换函数所获得的“信号”-“噪声”比还高,即抑制假峰的能力更强。

(3) 重峰的分辨:对于重叠峰的情况,用零面积高斯函数和零面积方波、矩形波函数

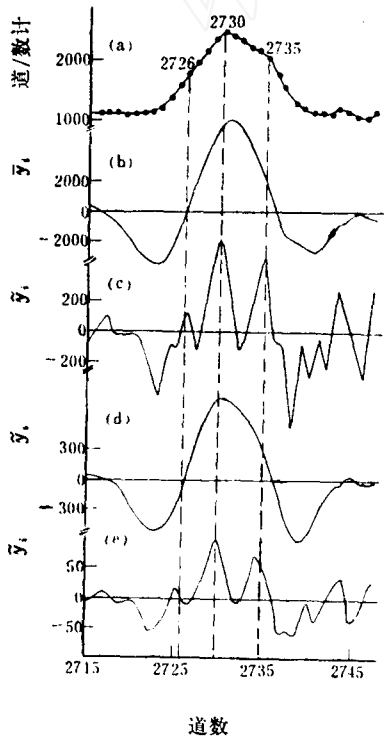


图 1 重峰谱段的对称零面积变换谱
(a)——原始谱;(b)—— $H=5$, $W=15$, $a=2$, $b=1$ 的方波变换;(c)—— $H=1$, $W=5$, $a=4$, $b=1$ 的矩形波变换;(d)—— $H=4$, $W=11$ 的高斯变换;(e)—— $H=4$, $W=5$ 的高斯变换。

表 6 弱放射性 γ 谱段对称零面积变换谱的 $\tilde{y}_{i,max}$ 和 $SR_{i,max}$

变换函数	总宽度 W	半宽度 H	参 量	峰 位 置								S_{min}/N_{max}
				1782	1827	1837	1853	1867	1881	1900	1910	
高 斯	5	4	$\tilde{y}_{i,max}$	2.13	0.84	0.79	0.92	16.99	1.45	2.84	0.71	1.47
			$SR_{i,max}$	1.50	1.11	1.01	1.35	5.58	1.86	2.55	1.07	0.81
	7	4	$\tilde{y}_{i,max}$	4.84	1.97	1.62	2.04	47.58	2.72	6.48	2.14	1.78
			$SR_{i,max}$	2.07	1.56	1.29	1.56	9.90	2.02	3.56	2.07	1.00
	9	4	$\tilde{y}_{i,max}$	8.97	2.84	2.26	2.62	75.33	3.71	9.51	3.42	2.42
			$SR_{i,max}$	3.07	1.70	1.38	1.49	11.95	2.07	3.87	2.54	1.21
	11	4	$\tilde{y}_{i,max}$	12.66	3.84	2.34	3.42	96.99	2.92	12.04	3.54	3.14
			$SR_{i,max}$	3.79	2.11	1.21	1.89	13.07	1.81	4.17	2.08	1.80
	15	4	$\tilde{y}_{i,max}$	16.35	3.66	2.14	2.21	125.53	3.08	15.74	3.70	3.00
			$SR_{i,max}$	4.31	1.63	0.98	2.27	14.16	1.19	4.62	1.78	1.90
	7	2	$\tilde{y}_{i,max}$	6.21	2.82	2.39	2.54	50.48	3.41	6.97	2.24	1.82
			$SR_{i,max}$	2.02	1.39	1.36	1.42	7.80	1.92	2.76	1.60	1.05
4		$\tilde{y}_{i,max}$	4.84	1.97	1.62	2.04	47.58	2.72	6.48	2.14	1.78	
		$SR_{i,max}$	2.07	1.56	1.29	1.56	9.90	2.02	3.56	2.07	1.00	
6		$\tilde{y}_{i,max}$	3.00	1.24	0.98	1.29	30.49	1.67	4.18	1.38	1.80	
		$SR_{i,max}$	2.05	1.56	1.26	1.58	10.27	1.98	3.74	2.16	0.95	
方 波 $a=2b$	3	1	$\tilde{y}_{i,max}$	9	2	6	4	52	3	9	3	1.50
			$SR_{i,max}$	1.63	0.43	1.22	0.78	2.55	0.58	1.19	0.77	0.98
	9	3	$\tilde{y}_{i,max}$	32	12	9	11	303	17	37	12	2.67
			$SR_{i,max}$	2.48	1.63	1.26	1.48	10.22	2.18	3.31	1.85	1.14
	15	5	$\tilde{y}_{i,max}$	61	13	8	19	468	12	62	15	3.21
$SR_{i,max}$			4.05	1.48	0.96	2.17	14.32	1.31	4.90	1.89	1.87	
21	7	$\tilde{y}_{i,max}$	87	13*	14*	13	522	22*	65	8*	2.95	
		$SR_{i,max}$	5.27	1.26	1.44	1.22	15.46	1.90	4.68	1.08	2.46	
27	9	$\tilde{y}_{i,max}$	98	5*	8*	/	541	26*	56	/	2.15	
		$SR_{i,max}$	5.62	0.44	0.70	/	15.70	2.06	3.83	/	1.86	
矩 形 波 $a>2b$	5	1	$\tilde{y}_{i,max}$	22	5	12	9	140	9	25	6	1.83
			$SR_{i,max}$	1.37	0.58	1.28	0.94	3.72	0.94	1.79	0.82	1.07
	15	3	$\tilde{y}_{i,max}$	82	22	18	26	685	26	84	21	3.15
			$SR_{i,max}$	3.41	1.56	1.33	1.87	12.01	1.70	3.93	1.67	1.82
25	5	$\tilde{y}_{i,max}$	141	19	12	12	963	29*	108	/	3.72	
		$SR_{i,max}$	4.93	1.13	0.76	0.73	14.94	1.43	4.30	/	3.01	
35	7	$\tilde{y}_{i,max}$	181	20	13*	/	1038	21*	116	/	5.52	
		$SR_{i,max}$	5.67	1.03	0.70	/	15.47	0.94	4.25	/	4.13	

* 峰位置向右移动了3—6道。

表 7 高基底弱 γ 峰谱段对称零面积变换谱的 $\tilde{y}_{i,max}$ 和 $SR_{i,max}$

变换函数	总宽度 W	半宽度 H	参 量	峰 位 置								S_{min}/N_{max}
				1202	1217	1231	1254	1263	1277	1289	1295	
方 波 $a=2b$	15	5	$\tilde{y}_{i,max}$	387.1	1668.3	981.7	660.8	850.8	261.3	349.5	343.4	1.29
			$SR_{i,max}$	1.05	4.48	2.67	1.81	2.33	0.73	0.96	0.95	1.29
矩 形 波 $a>2b$	25	5	$\tilde{y}_{i,max}$	433.0	3119.6	1458.4	857.2	1180.8	648.3	854.2	922.4	1.28
			$SR_{i,max}$	0.64	4.58	2.17	1.29	1.77	0.98	1.29	1.39	1.27
	5	1	$\tilde{y}_{i,max}$	146.3	256.6	213.9	150.3	295.3	108.1	241.9	248.6	0.86
			$SR_{i,max}$	0.48	0.84	0.71	0.50	0.98	0.26	0.81	0.84	0.85
高 斯 函 数	11	4	$\tilde{y}_{i,max}$	93.3	322.8	200.7	145.7	214.2	38.6	98.8	96.9	1.38
			$SR_{i,max}$	1.18	4.06	2.56	1.87	2.75	0.50	1.27	1.25	1.37
	5	4	$\tilde{y}_{i,max}$	21.6	40.0	32.3	22.2	44.6	16.2	35.4	38.1	0.85
			$SR_{i,max}$	0.71	1.30	1.07	0.74	1.48	0.54	1.18	1.28	0.84

褶积变换结果如图 1 所示。其中 (a) 是含有间距为一个半宽度左右的三个峰重叠在一起的原始 γ 谱段；(b) 是中心宽度 $H=5$ 、总宽度 $W=15$ 的方波函数变换谱；(c) 是 $H=1$ 、 $W=5$ 的矩形波函数变换谱；(d) 和 (e) 分别为半宽度 $H=4$ ，“窗宽” $W=11$ 和 $W=5$ 的零面积高斯函数变换谱。结果表明：无论是零面积方波、矩形波函数还是零面积类峰型（高斯型等）函数变换，函数的“窗” W 越宽，对重峰的分辨能力就越差； W 窄对重峰的分辨能力强。这种情况与对统计涨落假峰的抑制能力发生了矛盾。因此，用对称零面积变换法找峰时，可以首先用较大的 W 值（ W 又不能太大，否则有可能把真峰也抑制掉，导致峰的误失）计算变换谱找峰，然后用很小的 W 值，计算变换谱以分辨重峰。

四、结 论

由计算和实际的 γ 谱试验结果证明，对称零面积变换法是一种比较好的找峰方法。具体使用时应该遵循：

1. 采用与实际 γ 谱峰形状相同、并且半宽度与实验谱计算的结果一致的对称零面积变换函数，可以获得最强的“信号”-“噪声”比，即抑制统计假峰的能力强。反过来，用不同变换函数试验求得的 $SR_{i,max}$ 和 S_{min}/N_{max} 值，有助于我们判断峰形状的主要成分。

2. 确定零面积变换函数（一般用高斯型）后，首先用适当大的 W 值计算变换谱。最好用 $H=4$ 、 $W=11$ 的零面积高斯函数变换，并取灵敏因子 $f=2.5$ 以抑制高基底和统计假峰。由变换谱的正值区两边过零点所截的距离估计重峰的可能性。一般来说，两过零截距近似等于或略大于峰的半宽度。若超过半宽度较多，就可能是重峰。然后，用“窄窗”（如 $H=4$ 、 $W=5$ ）零面积高斯函数或对称零面积“窄”矩形波（如 $H=1$ 、 $W=5$ 、 $a=4$ 、 $b=1$ ）函数，在该峰区及其附近计算变换谱以分辨重峰。变换谱的“正峰”数则为重叠峰的个数；“正峰”址约为重峰中各个峰的峰址。

参 考 文 献

- [1] Mariscotti M. A., *Nucl. Instrum. Methods*, **50**,309(1967).
 [2] Routti, J. T. et al., *Nucl. Instrum. Methods*, **72**,125(1969).
 [3] Robertson, A. et al., *Nucl. Instrum. Methods*, **100**,317(1972).
 [4] Meerwall, E. V. et al., *Computer. Phy. Commun.*, (5),309(1973).
 [5] Blok, H. P. et al., *Nucl. Instrum. Methods*, **128**,545(1975).
 [6] 庞巨丰, 放射医学, (1),38(1977).
 [7] Achterberg, E., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 10(1972).
 [8] Savitzky, A. et al., *Anal. Chem.*, **36**,1627(1964).
 [9] Rowson, J. W. et al., *Nucl. Instrum. Methods*, **154**,541(1978).

(编辑部收到日期: 1985年7月12日)

THE SYMMETRIC ZERO-AREA CONVERSION METHOD FOR PEAK SEARCH

FANG JUFENG ZHENG GUIFANG HOU XIAOFENG

(*Shaanxi Provincial Research Institute of Preventive Medicine, Xian*)

ABSTRACT

In this paper, basic philosophy of peak finding by symmetrical zero-area conversion method is described. We gave a method, in which the symmetrical zero-area functions were defined. The effects of finding peaks were compared for some symmetrical zero-area functions. The computation and experiment results show that the effect of finding peaks is best if the conversion function is the same as the peak shape function (e. g. Gaussian). Finding peaks with this method, first, the conversion of the zero-area Gaussian in "wide window" (e.g. $H=4$ $W=11$) is used to suppress the high background and the false peaks such as the statistical fluctuations. Then, the conversion in "narrow window" (e.g. $H=4$ $W=5$) is used to resolve the multiplets.

Key words Zero-Area Conversion, Peak Search.