

CNIC-01434
NSC-0002

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

NaI(Tl)航测谱仪对 ^{137}Cs 模拟面源的刻度
CALIBRATION OF A NaI(Tl) AIRBORNE
SPECTROMETER FOR ^{137}Cs
SIMULATED AREA SOURCES
(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01434, NSC-0002: NaI(Tl) 航测谱仪对 ^{137}Cs 模拟面源的刻度/刘新华等著. —北京: 原子能出版社, 2000. 1

ISBN 7-5022-2134-4

I. 中... II. 刘... III. 核技术-研究报告-中国 IV. TL-2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 57790 号

原子能出版社出版 发行

责任编辑: 李曼莉

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092 mm 1/16 印张 1/2 字数 14 千字

2000 年 4 月北京第一版 2000 年 4 月北京第一次印刷

印数: 1—150

定价: 5.00 元



刘新华: 国家环保总局核安全中心高级工程师。1983 年毕业于复旦大学原子核科学系, 1996 年在中国原子能科学研究院获硕士学位。

LIU Xinhua: Senior engineer of Nuclear Safety Centre, SEPA. Graduated from Department of Nuclear Science, Fudan University in 1983, and received MS degree at China Institute of Atomic Energy in 1996.

NaI(Tl)航测谱仪对 ^{137}Cs 模拟面源的刻度

刘新华 张永兴* 顾仁康** 沈恩升**

(国家环保总局核安全中心, 北京, 100088)

* (中国原子能科学研究院, 北京, 102413)

** (核工业航测遥感中心, 石家庄, 050002)

摘 要

根据数值积分原理, 用有限个 ^{137}Cs 点源模拟了两个有限大(半径为 15 m)和一个无限大 ^{137}Cs 均匀面源, 对一台安装在运五飞机内的 NaI(Tl)航测谱仪进行了地面刻度。对两个有限大 ^{137}Cs 模拟均匀面源, NaI(Tl)航测谱仪的刻度因子平均值为 $2.98 \times 10^{-2} \text{ m}^2$; 对无限大 ^{137}Cs 均匀面源, 其值为 $3.77 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, 估计其不确定度小于 20%。用角响应函数方法, 计算了实验条件下的刻度因子, 结果与实验值在 10% 范围内符合。

Calibration of A NaI(Tl) Airborne Spectrometer for ^{137}Cs Simulated Area Sources

(In Chinese)

LIU Xinhua ZHANG Yongxing* GU Renkang** SHEN Ensheng**

(Nuclear Safety Centre, SEPA, Beijing, 100088)

*(China Institute of Atomic Energy, Beijing, 102413)

**(Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry,
Shijiazhuang, 050002)

ABSTRACT

By using numerical integration method, two limited (radius as 15 m) and a infinite ^{137}Cs uniform area sources are simulated with tens of ^{137}Cs point sources. A NaI(Tl) airborne spectrometer set in Yun-5 airplane is calibrated for the simulated area sources. The mean of calibration factors of the spectrometer is $2.98 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ for two limited sources. The calibration factor of the spectrometer is $3.77 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ for the infinite source. The uncertainty of the calibration factors is estimated, and it is less than 20%. The calibration factors are also calculated by angle response function on the conditions. The results of measurement and calculation are of agreement within 10%.

引言

航空测量技术是在铀矿地质勘探领域内发展、成熟起来的,具有在大范围内快速、灵敏地探测环境中放射性水平分布的优势。近年来,国际上已将 NaI(Tl) 航测谱仪应用于核事故应急监测和寻找丢失的强放射源^[1]。我国从 1992 年开始进行核事故应急航空测量方法的研究,提出了一套结合 HPGe 谱仪高能量分辨率和 NaI(Tl) 航测谱仪高探测效率优势的核事故应急航空测量方法设想,设计了一条切实可行的理论计算与实验刻度相结合的刻度方案^[2]。本文报道的 NaI(Tl) 航测谱仪对 ^{137}Cs 模拟面源的刻度是该刻度方案中几个重要的实验刻度之一。NaI(Tl) 航测谱仪对 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 点源角响应函数的地面刻度^[3]也是该刻度方案中一个重要的实验刻度,可以由此计算出在实际飞行高度下 NaI(Tl) 航测谱仪对 ^{137}Cs 均匀面源的刻度因子,也可以计算出本文报道的实验结果——飞机停放在地面时的刻度因子,因此本工作可对其作部分验证。

根据数值积分原理,经过巧妙设计,可用有限个点源在几何上较为精确地模拟均匀面源。这是一种很有用的方法,可以广泛地应用于各类探测器对面源的刻度,但很少被使用。本文详细地介绍了点源模拟均匀面源的原理和方法,并具体地设计了二种点源模拟面源方法,用于 NaI(Tl) 航测谱仪对 ^{137}Cs 模拟面源的刻度。

1 仪器

NaI(Tl) 航测谱仪晶体尺寸为 $10 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$,由 4 块晶体组合而成,接 4 个光电倍增管,密封在铝合金包壳中,带恒温装置,和多道、磁带机等一起组成 NaI(Tl) 航测 γ 谱仪系统,安装在运五飞机的机舱内。谱仪系统对 ^{137}Cs 661.7 keV γ 射线全能峰的能量分辨率约为 9%。通常,三箱 NaI(Tl) 晶体成品字形安装在运五飞机中,本工作对其中一箱晶体进行了刻度。

2 原理

在以晶体中心到地面的垂直对应点为原点的柱坐标系中,晶体的中心坐标为 $(h, 0, 0)$ 。令飞机内航测 NaI(Tl) 谱仪(一箱晶体)对地表某点 $P(0, \rho, \phi)$ 处单位活度某核素某能量 γ 射线的全能峰响应为 $q(h, \rho, \phi)$ (无量纲),则对均匀分布于地表的该核素无限大单位面源的该能量 γ 射线的全能峰响应(即刻度因子) $f(h) (\text{m}^2)$ 为:

$$f(h) = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\infty q(h, \rho, \phi) \rho d\rho \quad (1)$$

根据数值积分中累次积分法的积分原理,式(1)可近似写成:

$$\begin{aligned} f(h) &\approx \sum_j V_j \sum_y V_y q(h, \rho_j, \phi_j) \rho_j \\ &= \sum_y V_y q(h, \rho_j, \phi_j) \end{aligned} \quad (2)$$

式中: ρ_j 为在 ρ 方向的求积节点, m ;

ϕ_j 为在 ϕ 方向的求积节点, 弧度;

$q(h, \rho_j, \phi_j)$ 为谱仪对地表某点 $P(0, \rho_j, \phi_j)$ 处单位活度某核素某能量 γ 射线的全能峰响应, 无量纲;

V'_j 为 ϕ 方向的求积系数, 无量纲;

V''_{ij} 为 ρ 方向的求积系数, m;

V_{ij} 为二重积分的求积系数, 系 V'_j 、 V''_{ij} 和 ρ_i 的乘积, m^2 。

显然, 所谓数值积分点源模拟面源法, 既是找出点源摆放点 $P(0, \rho_i, \phi_j)$, 并计算出求积系数 V_{ij} , 使式(2)成立。

数值积分的方法较多, 在常用的积分方法中, 能用作点源模拟面源的, 主要有复化梯形积分法、高斯-勒让德积分法和高斯-拉盖尔积分法等。

2.1 第一种模拟方法——面积法

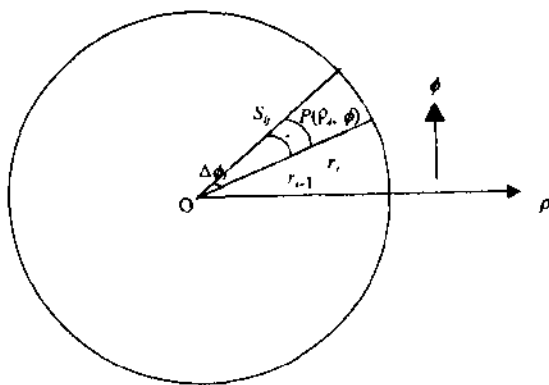


图1 面积法模拟面源实验放射源放置位置示意图

令点 O 为晶体中心在地面的垂直对应点。将以点 O 为圆心半径为 R (m) 的圆形地面 S 均匀地划分为若干个同心扇形区 S_{ij} , 内、外径分别为 r_{i-1} 和 r_i , 所张的平面角为 $\Delta\phi_j$, 如图1所示。则该扇形区的面积 $S_{ij}(\text{m}^2)$ 为:

$$S_{ij} = \Delta\phi_j (r_i^2 - r_{i-1}^2) / 2 \quad (3)$$

设在该扇形区中心点 $P(\rho_i, \phi_j)$ 处放置活度为 A_{ij} (Bq) 的点源, 则晶体对其某能量 γ 射线全能峰的响应 $q'(h, \rho_i, \phi_j)$ (计数 s^{-1}) 为:

$$q'(h, \rho_i, \phi_j) = A_{ij} q(h, \rho_i, \phi_j) \quad (4)$$

根据数值积分法原理, 有:

$$\begin{aligned} f(h) &= \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^R q(h, \rho, \phi) \rho d\rho \\ &\approx \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^R q(h, \rho, \phi) \rho d\rho \\ &= \sum_{ij} q(h, \rho_i, \phi_j) S_{ij} \\ &= \sum_{ij} q'(h, \rho_i, \phi_j) S_{ij} / A_{ij} \end{aligned} \quad (5)$$

和式(2)相比较, 有:

$$V_{ij} = S_{ij} \quad (6)$$

这就是取名面积法的道理。

令:

$$K_y = V_y / (A_y \Delta\phi_j), \quad \text{m}^2/\text{Bq} \quad (7)$$

则有

$$K_y = (r_i^2 - r_{i-1}^2) / 2 A_y \quad (8)$$

若保持 A_y 和 j 无关, 即 $A_i = A_y$, 则有:

$$K_i = K_y \quad (9)$$

根据 A_i 调整 r_i , 可使 K_i 的数值保持恒定, 并令:

$$K = K_i \quad (10)$$

则有:

$$\begin{aligned} f(h) &\approx \sum_y K_y q'(h, \rho_i, \phi_j) \Delta\phi_j \\ &= K \sum_y q'(h, \rho_i, \phi_j) \Delta\phi_j \end{aligned} \quad (11)$$

2.2 第二种模拟方法——高斯-拉盖尔积分法

若在 ρ 方向用高斯-拉盖尔积分法, 求积节点和系数分别为 ρ_i 和 W_i ; 在 ϕ 方向用复化梯形积法, 步长取 $\Delta\phi_j$, 则有:

$$V_y = W_i \rho_i e^{\rho_i} \Delta\phi_j \quad (12)$$

同理, 若保持 A_y 和 j 无关, 并根据 $W_i \rho_i e^{\rho_i}$ 调整 A_i , 可使式(11)成立。这里:

$$K = K_y = V_y / (A_y \Delta\phi_j) = W_i \rho_i e^{\rho_i} / A_i, \quad \text{m}^2/\text{Bq} \quad (13)$$

2.3 第三种模拟方法——高斯-勒让德积分法

对式(1)的 ρ 方向积分作如下近似和变换:

$$\begin{aligned} \int_0^R q(h, \rho, \phi) \rho d\rho &\approx \int_0^R q(h, \rho, \phi) \rho d\rho \\ &= R^2 \int_0^1 q(h, Rx, \phi) x dx \end{aligned}$$

则可在 ρ 方向使用偶数节点的高斯-勒让德积分法, 求积节点和系数分别为 x_i 和 W_i , 且有 $\rho_i = Rx_i$; 在 ϕ 方向同样用复化梯形积法, 步长也取 $\Delta\phi_j$, 则有:

$$V_y = R W_i \rho_i \Delta\phi_j \quad (15)$$

同理, 若保持 A_y 和 j 无关, 并根据 $R W_i \rho_i$ 调整 A_i , 可使式(11)成立。这里:

$$K = K_y = V_y / (A_y \Delta\phi_j) = R W_i \rho_i / A_i, \quad \text{m}^2/\text{Bq} \quad (16)$$

2.4 其它模拟方法

式(1)的积分在直角坐标系中可改写为:

$$f(h) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} q(x, y, h) dx dy \quad (17)$$

式中, $q(x, y, h)$ 为谱仪对地表某点 $P(x, y, 0)$ 处单位活度某核素某能量 γ 射线的全能峰响应, 无量纲;

由于 x, y 方向性质完全相同, 都可使用上述三种一重数值积分法。两两组合, 可得到 6 种点源模拟面源的方法。

特别的是, 对空中点源模拟面源实验^[2], 使用的就是直角坐标系。

为了得到第 7 节的均匀面源角响应分布数据, 本工作没有使用这些模拟方法。

3 实验

式(11)可改写成:

$$f(h) = K \sum_j \Delta\phi_j \sum_i q'(h, \rho_i, \phi_j) \quad (18)$$

如果在 ρ 方向能一次测出 $q'(h, \rho, \phi)$, 使得:

$$q'(h, \rho, \phi) = \sum_i q'(h, \rho_i, \phi_j) \quad (19)$$

则式(18)可改写成:

$$f(h) = K \sum_j q'(h, \rho, \phi_j) \Delta\phi_j \quad (20)$$

这样, 测量次数仅取决于 ϕ 方向所取步长的大小, 将大大缩短测量时间。

本工作共借用了几十个 ^{137}Cs 点源, 分别根据式(8)、(13) 和 (16), 选择 A_i (或调整 r_i), 使得 K_i 保持常数, 即 $K = K_i$ 。表 1~3 分别列出了三种积分模拟法在 ρ 方向的放射源活度 A_i 、摆放点位置 ρ_i 以及有关的求积系数和 K_i 值, 其中两个高斯积分法的求积节点和求积系数取自文献[4]。由这三个表可以看出, 本实验选择的 A_i 使得 K_i 非常接近。

本工作借用的 ^{137}Cs 点源有塑膜源和圆柱形不锈钢封装源两种形式。圆柱形不锈钢封装源屏蔽效应复杂, 使得源的 γ 射线出射率非各向同性。因此, 本工作用低本底 HPGe γ 谱仪测量了源的不同 θ 方向的 γ 射线出射率。表 1~3 所列的 A_i 都经过了这种源封装材料屏蔽效应的修正。 A_i 的不确定度为 5%。

表 1 面积法的放射源摆放节点 ρ_i 、小扇形区外径 r_i 、活度 A_i 和 K_i 值。

模拟的面源半径 $R = 15 \text{ m}$

ρ_i / m	R_i / m	$A_i / 10^4 \text{ Bq}$	$K_i / 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ Bq}$	ρ_i / m	R_i / m	$A_i / 10^4 \text{ Bq}$	$K_i / 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ Bq}$
0.00	0.621	0.722	2.67	13.258	15.000	181.3	2.68
0.748	0.856	0.648	2.68	6.834	7.137	15.87	2.68
1.375	1.746	4.33	2.67	7.432	7.715	16.02	2.68
2.141	2.473	5.74	2.67	8.057	8.385	20.17	2.68
2.775	3.047	5.92	2.68	8.714	9.031	21.02	2.68
3.511	3.920	11.36	2.68	9.409	9.773	26.01	2.68
4.304	4.656	11.80	2.68	10.166	10.545	29.30	2.68
5.004	5.328	12.54	2.68	10.936	11.313	31.38	2.68
5.640	5.935	12.77	2.68	13.258	15.000	181.3	2.68
6.232	6.515	13.51	2.68	平 均			2.68

在 ρ 方向的实验方法是: 在一根长为 15 m 的皮尺上, 按 ρ_i 的位置, 固定上活度为 A_i 的源。皮尺上的 0 m 刻度线放在探测器中心在地面的垂直对应点上。沿 ϕ_j 方向拉直皮尺, 即可一次测出 $q'(h, \rho, \phi)$ 。

在 ϕ 方向, 采用复化梯形积分法模拟, 布线如图 2 所示。在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内, 取 $\Delta\phi_j = 11.25^\circ$, 在 $180^\circ \sim 360^\circ$ 范围内, 取 $\Delta\phi_j = 22.5^\circ$, 共布了 24 条测线。

实验前用 ^{137}Cs 检验源调整 ^{137}Cs 峰位在 55 道, 能量刻度因子为 12.0 keV/道。实验中

间多次测量本底谱,以减少本底的统计不确定度。

表2 高斯-拉盖尔积分法的放射源摆放节点 ρ_i 、积分系数 $W_i e^{\rho_i^2}$ 、活度 A_i 和 K_i 值

ρ_i / m	$W_i e^{\rho_i^2}$	$A_i / 10^4 \text{ Bq}$	$K_i / 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ Bq}$
0.323	0.82374	2.64	1.01
1.75	2.04810	35.0	1.02
4.54	3.63114	162	1.02
9.04	6.48715	568	1.03
平 均			1.02

表3 高斯-勒让德积分法的放射源摆放节点 ρ_i 、积分系数 W_i 、活度 A_i 和 K_i 值
模拟的面源半径 $R = 15 \text{ m}$

ρ_i / m	W_i	$A_i / 10^3 \text{ Bq}$	$K_i / 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ Bq}$
2.75	0.36268	1.20	1.25
7.88	0.31371	2.93	1.27
11.95	0.22238	3.23	1.23
14.40	0.10122	1.78	1.23
平 均			1.25

由于 ^{137}Cs 只发射一条能量为 661.7 keV 的射线,峰形很好,并且在地面测量,可以较长时间测量本底谱和刻度谱,因此可以开较宽的窗口。本实验开宽窗和窄窗各一个,窗宽分别为 582~726 keV 和 618~702 keV^[3]。

由于 NaI(Tl) 晶体能量分辨率较差,宽窗中可能包含了部分散射光子,也受到天然放射性核素 U、Th 系的 609 keV, 583 keV 等本底峰的干扰,窄窗受上述因素的影响较小,并因航测晶体带有恒温装置,峰漂移的影响也较小,因此在实际应用中,建议使用窄窗。

4 结果

表4列出了 NaI(Tl) 航测谱仪在 ϕ_j 方向对用面积法模拟的 ^{137}Cs 均匀面源的 661.7 keV γ 射线全能峰的响应 $q'(h, \rho, \phi_j)$ 的窄窗测量结果及其不确定度 $\sigma_{q'}$ 。由于测量的这一箱 NaI(Tl) 晶体在机舱内偏于 $\phi_j = 90^\circ$ 一侧,因此,该侧的 $q'(h, \rho, \phi_j)$ 比另一侧的 $q'(h, \rho, \phi_j)$ 大。

$f(h)$ 由式(20)计算,结果列在表5中。

由表5可见,面积法和高斯-勒让德积分法模拟的两个有限大面源 ($R = 15 \text{ m}$) 的刻度结果 $f(h)$ 符合较好,可计算出其对宽窗和窄窗的 $f(h)$ 的平均值分别为 $(3.51 \pm 0.18) \times 10^{-2}$ 和 $(2.98 \pm 0.16) \times 10^{-2} \text{ m}^2$ 。高斯-拉盖尔积分法模拟的无限大面源的 ($R \rightarrow \infty$) 刻度结果 $f(h)$ 则高得多,宽窗和窄窗均偏高约 26%,主要原因是模拟的面源半径 R 不同。通常就地 γ 谱仪对均匀体源的响应在 $R = 10 \text{ m}$ 时已趋于饱和,但对均匀面源的响应函数收敛速度较慢,有效响应半径也较大,航测谱仪的晶体尺寸比就地谱仪大得多,有效响应半径就更大。

5 不确定度

刻度因子 $f(h)$ 的不确定度有下面几项来源:

(1) 刻度源不确定度, 为 5%;

(2) 能谱测量不确定度, 可根据表 4 计算, 较小, 与(1)项合成后列在表 5 中;

(3) $K = K_0$ 的不确定度, 由表 1~3 可见, 小于 2%。该不确定度分量反映的是在几何上点源模拟均匀面源的精度;

(4) 求积节点数目的有限性引入的不确定度。由于航测谱仪安装在飞机中, NaI(Tl) 晶体外的屏蔽体结构相当复杂, 再加上晶体自身的复杂的非均匀响应特性, 使得被积函数 $q(h, \rho, \phi)$ 的变化趋势也相当复杂。在某一点上摆放的点源, 在几何上可以做到精确地反映所代表的特定区域的面活度, 但对 NaI(Tl) 谱仪来说, 不一定能较好地反映该特定区域的均匀面源的面活度, 亦即不一定能较好地反映被积函数 $q(h, \rho, \phi)$ 的特性。在理论上可以通过改变节点的位置和点源的源强来修正, 但需要精确地了解被积函数 $q(h, \rho, \phi)$ 的特性, 而这在目前的情况下很难做到, 并且很难精确估计引入的不确定度。如果求积节点的数目足够大, 可减小这项不确定度。

(5) 积分限的近似。面积法和高斯-勒让德积分法模拟的面源半径 R 只有 15 m, 如用米代替无限均匀面源的 $f(h)$, 引入的不确定度约为 20%。

表 4 NaI(Tl) 航测谱仪对用面积法模拟的 ^{137}Cs 均匀面源 γ 射线窄窗全能峰的响应

$\phi_1/\text{度}$	$q'(h^1, \rho, \phi)/\text{s}^{-1}$	$\phi_1/\text{度}$	$q'(h, \rho, \phi)/\text{s}^{-1}$	$\phi_1/\text{度}$	$q'(h, \rho, \phi)/\text{s}^{-1}$
0.0	137.7 $\pm$ 2.3	90.0	239.9 $\pm$ 2.7	180.0	123.1 $\pm$ 3.1
11.25	137.5 $\pm$ 3.2	101.25	253.0 $\pm$ 3.8	202.5	127.7 $\pm$ 3.2
32.5	126.3 $\pm$ 3.2	112.5	238.2 $\pm$ 3.8	225.0	156.2 $\pm$ 3.3
33.75	167.3 $\pm$ 3.4	123.75	227.8 $\pm$ 3.7	247.5	175.2 $\pm$ 3.4
45.0	180.8 $\pm$ 3.5	135.0	213.2 $\pm$ 3.6	270.0	168.8 $\pm$ 3.4
56.25	199.0 $\pm$ 3.6	146.25	191.6 $\pm$ 3.5	292.5	140.5 $\pm$ 3.2
67.5	223.1 $\pm$ 3.7	157.5	164.7 $\pm$ 3.4	315.0	131.5 $\pm$ 3.2
78.75	229.4 $\pm$ 3.7	168.75	140.2 $\pm$ 3.2	337.5	121.3 $\pm$ 3.1

1) $h = 1.22 \text{ m}$ 。

表 5 ^{137}Cs 点源模拟面源的刻度因子和由角响应函数计算的刻度因子 ($h = 1.22 \text{ m}$)

		点源模拟面源			计算	
		面积法	高斯-拉盖尔积分法	高斯-勒让德积分法		
面源半径/m		15	∞	15	15	∞
$f(h)$	宽窗	3.33 $\pm$ 0.16	4.41 $\pm$ 0.22	3.69 $\pm$ 0.19		
10^{-2} m^2	窄窗	2.82 $\pm$ 0.14	3.77 $\pm$ 0.19	3.13 $\pm$ 0.16	3.23	3.66

因此,若不考虑模拟面源半径 R 的大小,或对特定的模拟面源半径 R ,估计数值积分法点源模拟面源的方法引入的不确定度小于 20%。如对其它探测器使用这种点源模拟面源的方法进行刻度,因其自身的非均匀响应特性和周围屏蔽体结构均较航测谱仪简单,不确定度会较小。

6 对刻度因子的验证

用文献[3]报道的角响应函数测量值和刻度因子计算方法,计算了飞机停在地面上 ($h = 1.22$ m) 一箱 NaI(Tl) 晶体对均匀 ^{137}Cs 面源的刻度因子 $f(h)$,也列在表 5 中。

由表 5 可以看出,计算的和实验的刻度因子 $f(h)$ 基本符合。对有限面源 ($R = 15$ m),计算的刻度因子比两种实验方法的刻度因子的平均值偏高约 9%;对无限面源,比实验的刻度因子偏低约 3%。

7 角响应

文献[3]角响应函数 $F(\phi, \theta)$ 刻度实验对 ϕ 方向只测量了 12 条线,而本实验在 ϕ 方向测量了 24 条线(见图 2),因此本实验的数据能更清楚的反映谱仪对均匀面源在 ϕ 方向的角响应特性。

令:

$$\omega(\phi) = \frac{q'(h, \rho, \phi)}{q'(h, \rho, 90^\circ)} \quad (21)$$

显然,是表征谱仪对均匀面源在 ϕ 方向的角响应特性的一个量,无量纲。图 2 画出了面积法模拟面源的窄窗玫瑰图。

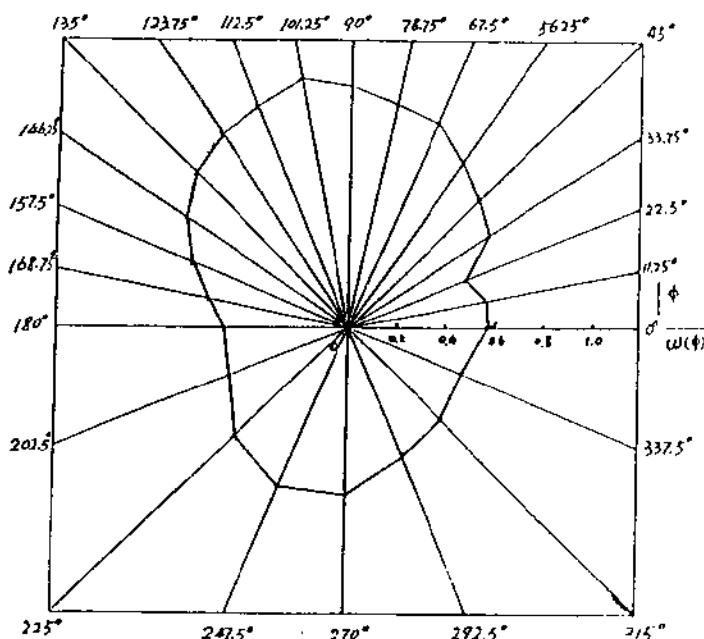


图 2 ^{137}Cs 点源模拟面源测线图和角响 $\omega(\phi)$ 玫瑰图

8 结论

(1) 本工作根据数值积分原理, 用有限个 ^{137}Cs 点源模拟了两个有限大 (半径为 15 m) 和一个无限大均匀面源, 对一台安装在运五飞机内的 NaI(Tl) 航测谱仪进行了地面刻度。对两个有限大 ^{137}Cs 模拟均匀面源, NaI(Tl) 航测谱仪的窄窗刻度因子 $f(h)$ 平均值为 $2.98 \times 10^{-2} \text{ m}$; 对无限大 ^{137}Cs 均匀面源, 其值为 $3.77 \times 10^{-2} \text{ m}$ 。

(2) 刻度因子 $f(h)$ 的不确定度主要来源于刻度源和刻度方法的不确定度, 测量的统计不确定度较小。估计其不确定度小于 20%。

(3) 用文献[3]报道的 ^{137}Cs 角响应函数测量值和刻度因子计算方法, 计算了实验条件下的刻度因子, 于实验值在范围内符合。

本工作是在李德平先生的直接指导下完成的, 还得到了胡逢全、何振云、李瑞香、岳清宇以及任晓娜等同志的帮助和支持, 在此表示衷心的感谢。

参加实验工作的还有核工业航测遥感中心的侯振荣等同志, 在此一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 IAEA. Airborne Gamma Ray Spectrometer Surveying, Technical Reports Series No. 323, IAEA, Vienna, 1991
- 2 刘新华, 张永兴, 顾仁康等. 核事故应急航空测量方法. 中国核科技报告, CNIC-01227, 1997
- 3 刘新华, 张永兴, 顾仁康等. NaI(Tl) 航测谱仪对 ^{137}Cs , ^{60}Co 点源角响应的地面刻度. 辐射防护, 1998, 18(3): 175
- 4 数学手册. 《数学手册》编写组. 人民教育出版社, 1987

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-2134-4



9 787502 221348 >