

Q/NSSC

中国科学院国家空间科学中心标准

Q/NSSC 012-2025

空间 X 射线探测载荷地面定标规范

Ground calibration specifications of space X-ray detection payload

2025-05-15 发布

2025-05-15 实施

中国科学院国家空间科学中心

批准

目 次

前 言	II
1. 范围	1
2. 规范性引用文件	1
3. 术语和定义	1
4. 一般要求	1
4.1 操作人员要求	1
4.2 定标环境要求	2
4.3 定标设备要求	2
5. 定标方法	3
5.1 设备连接图	3
5.2 定标流程	3
5.3 数据处理方法	4
附录 A （资料性附录） 定标试验记录表格样例	6
附录 B （资料性附录） 定标试验总结报告样例	7

前 言

本文件按照《空间中心标准管理办法》和GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分: 标准化文件的结构和起草规则》的规定给出的规则起草。

本文件由中国科学院国家空间科学中心空间环境探测室提出。

本文件由中国科学院国家空间科学中心质量管理处归口。

本文件起草单位和部门: 中国科学院国家空间科学中心空间环境探测室。

本文件主要起草人: 王庆、彭松武、韦飞、冯鹏远、冷双。

空间 X 射线探测载荷地面定标规范

1. 范围

本文件定了空间 X 射线探测载荷的定标环境、定标设备和定标方法及数据处理方法。

本文件用于 X 射线光谱仪、X 射线成像仪和 X 射线光学元件等仪器或部件的地面定标试验。

2. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过本文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，标注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不标注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 4075-2009 密封放射源一般要求和分级；

GB/T 30114.1 空间科学及其应用术语 第 1 部分：基础通用

3. 术语和定义

GB/T 30114.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

X 射线 X-rays

波长范围在 0.01nm-10nm 范围的射线。

3.2

载荷地面定标 Payload ground calibration

在地面搭建的实验室中对载荷进行检验、校准、修正，得到相应的输入和输出关系，完成对载荷标定的过程。

3.3

放射源 Radiation source

采用放射性物质制成的辐射源。

注：常见的放射源如： ^{56}Fe , ^{241}Am 等。

4. 一般要求

4.1 操作人员要求

定标试验对操作人员的要求如下：

- a) 操作人员应该参加过培训，并熟练使用实验室设备；
- b) 操作人员应该持证上岗。

4.2 定标环境要求

实验室环境应满足待标定载荷和其他参试设备对使用环境的要求。要求如下：

- a) 温度： $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：35%~65%；
- c) 洁净环境：满足待标定载荷对洁净度的要求；
- d) 真空环境：定标装置的极限真空度 $\leq 5 \times 10^{-5}\text{Pa}$ ；
- e) 防静电环境：划分防静电区域，使用防静电台操作。

4.3 定标设备要求

4.3.1 通则

用于空间 X 射线探测载荷定标的装置，包括 X 射线光机、放射源、无谐波 X 射线单色仪、真空室、地面检测设备，为空间 X 射线探测载荷定标试验提供必要的环境。

4.3.2 X 射线光机

X 射线光机通过电子打靶产生试验所需的特征 X 射线或连续 X 射线，应满足如下要求：

- a) 具有警示标志，在工作期间避免靠近；
- b) 具有靶材更换功能，根据试验要求进行匹配；
- c) X 光管内部真空度 $\leq 5 \times 10^{-5}\text{Pa}$ ；
- d) X 射线的曝光时间可控。

4.3.3 无谐波 X 射线单色仪

无谐波 X 射线单色仪主体主包括单色仪腔体，镜架，狭缝，光阑及支撑架等结构。单色仪可以将前端 X 射线光机的连续 X 射线谱通过衍射转化为试验所需的单色谱，，装置可满足如下要求：

- a) 具有调节入光口和出光口尺寸的功能；
- b) 具有更换滤光片和光栅的功能；
- c) 具有调节反射镜倾斜角、光栅线密度的功能；
- d) 能够显示单色仪系统内的真空度，真空度应 $\leq 5 \times 10^{-5}\text{Pa}$ 。

4.3.4 地面检测设备

地面检测设备要求如下：

- a) 地面 X 射线检测设备应满足定标实验要求；
- b) 地面载荷检测设备应满足空间 X 射线探测载荷专用地面检测设备的技术要求；
- c) 地面检测设备应按要求进行周期检定，确保在检定有效期内。

4.3.5 真空室

真空室应满足如下要求：

- a) 试验压力 $\leq 1 \times 10^{-5}\text{Pa}$ ；
- b) 能提供满足试验要求的观察窗、测量和供电通道；

- c) 应能监测热沉表面温度和真空室压力；
- d) 真空室内提供多个温度传感器探头；
- e) 可控制转台。

5. 定标方法

5.1 设备连接图

空间 X 射线探测载荷定标实验应在真空室进行，空间 X 射线探测载荷连接框图如图 1 所示。X 射线光机装上测试靶材或者将待测放射源放在扩束管道中，通过无谐波 X 射线单色仪控制软件选取光栅的参数，便可以输出相应能量谱线，通过地面检测设备进行相应的数据保存处理。



图 1 空间 X 射线探测载荷连接图

5.2 定标流程

5.2.1 定标准备

空间 X 射线探测载荷定标准准备工作如下：

- a) 完成定标大纲和定标细则的编写；会签认可
- b) 完成辅助设备（支架、夹具等）的加工；
- c) 完成待定标载荷在真空靶室内的安装测试，并抽真空至要求真空度；
- d) 连接待定标载荷与地面检测设备，并通电检查，确保工作正常；
- e) 使用地面检测设备将待定标载荷调整至测量状态。
- f) 完成试验前准备状态检查。

5.2.2 实验步骤

空间 X 射线探测载荷定标步骤如下：

- a) 将待定标载荷安装于真空罐中的转台上，调整转台位置，使得 X 射线的出射方向对准待定标载荷的入射窗口，抽真空直至达到要求；
- b) 与真空室外控制计算机连接好，以完成试验件传感器等的控制，在 X 射线光机控制面板上设置相应参数；
- c) 使用待定标载荷采集数据，并记录参数；
- d) 定标数据采集后，确认采集数据的有效性。

5.3 数据处理方法

5.3.1 能量分辨率

仪器的能量分辨率是考察仪器对单一能量的粒子的测量重复性的好坏评价，仪器的能量分辨率越高，仪器的测量精度也就越高。探测器对 X 射线测量的能量分辨率定义见式 (1)：

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_x} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

式中：

E_x ——入射 X 射线的能量；

ΔE ——测量谱 E_x 全能峰中最高计数一半处的能量宽度(半峰全宽)，如图 2 所示。通过试验时得到探测器对 X 射线源的能谱，从测量能谱中求出 ΔE ，按照式(1)求出能量分辨率。

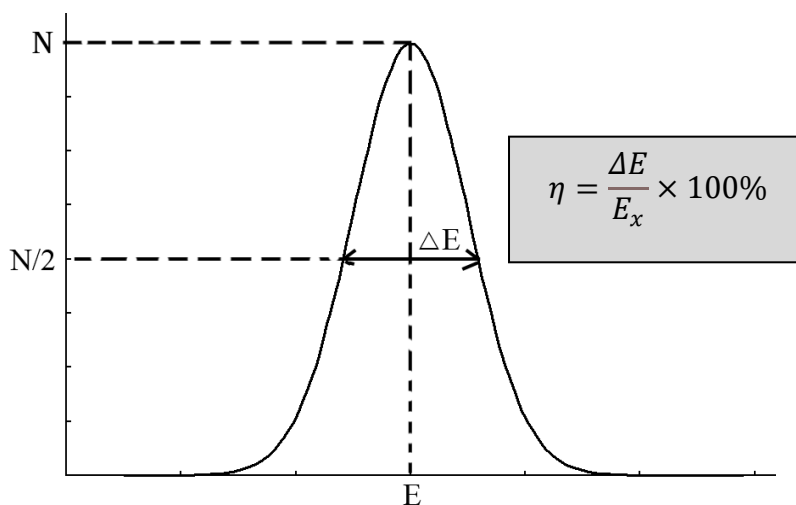


图 2 探测器能量分辨率的示意图

5.3.2 能道定标

探测器测量能谱信号的流程见图 3：

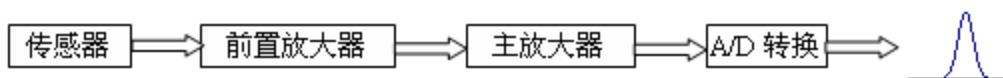


图 3 探测器测量能谱信号流程

X 射线入射到传感器在其中沉积能量并产生自由电子，自由电子的数目 n 和 X 射线沉积能量 E_x 的大小成正比，见式 (2)：

$$n = \frac{E_x}{W_0} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

W_0 ——传感器材料的电离能。

这些自由电子被电极收集后经前置放大器和主放大器进行线性放大，转化为电压脉冲信号，信号的幅度 V 见式 (3)：

$$V = k_0 \times n \times q_e \times \frac{1}{C_0} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

k_0 ——主放大器的放大倍数;

q_e ——电子电荷;

$\frac{1}{C_0}$ ——前置放大器的电荷-电压转换能力。

把(2)式代入(3)式得到:

$$V = k_0 \times q_e \times \frac{E_x}{C_0 \times W_0} = k_1 \times E_x \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$$k_1 = k_0 \times q_e \times \frac{1}{C_0 \times W_0} , \text{ 为常数。}$$

在实际中, 由于电子学噪声、电子收集不完全和统计误差等影响, (4)式存在一个小的偏移量 d_0 , 见式(5):

$$V = k_1 \times E_x + d_0 \dots\dots\dots (5)$$

从(5)式, X射线探测器主放大器输出电压脉冲信号的幅度 V 与 X射线沉积能量大小 E_x 呈线性关系。这个电压脉冲信号通过 A/D 转换为道址, 输入到计算机, 统计得到能谱。由此可见, X射线探测器测量的能谱中, 道址 N 与 X射线能量呈线性关系, 见式(6):

$$N = k \times E_x + d \dots\dots\dots (6)$$

通过用 X射线探测器测量几种能量的 X射线, 得到各能量 X射线对应的道址, 线性拟合得到(6)式的系数 k 和 d , 即可得到 X射线探测器测量谱的能道道址和入射 X射线能量的关系。如图 4 所示:

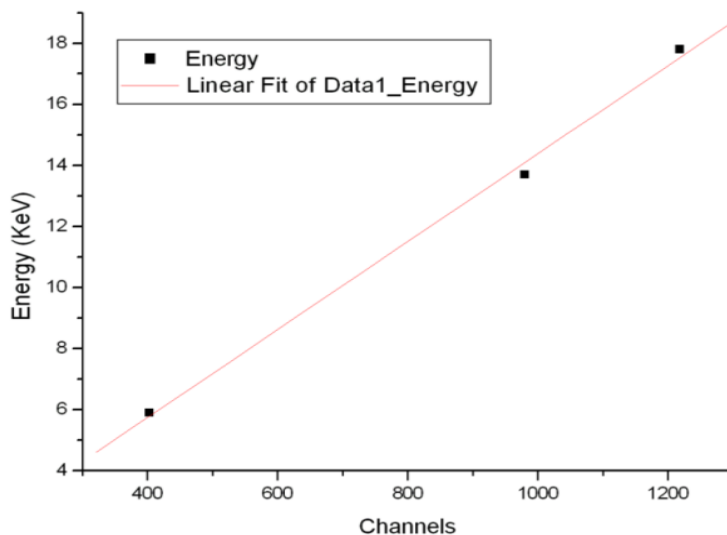


图 4 根据放射源已知能量-能道响应关系确立线性函数示例

附录 A
(资料性附录)
定标试验记录表格样例

定标试验的记录表格见表 A.1。

表 A.1 空间 X 射线探测载荷定标试验记录表

地点:		时间:		
序号	能量	均匀度	测试人	备注
1				
2				
3				
4				
5				

附录 B
(资料性附录)
定标试验总结报告样例

一、试验目的

空间 X 射线探测载荷地面定标试验目的是利用地面标准定标系统，通过一系列基本的地面定标试验，获得仪器的特性参数和技术指标，检验样件技术指标是否满足任务书要求，为物理量反演提供依据。

二、试验条件



图 1 定标系统整体框架图

- X 射线能量范围 $10\text{eV}\sim 1000\text{eV}$;
- 能量分辨率 $E/\Delta E > 40$;
- 高次谐波占比: $< 0.3\%$;
- 极限真空度: 优于 $4 \times 10^{-5}\text{Pa}$;
- 真空腔体应用柱段有效尺寸: $\phi 1520 \times 1500\text{mm}$;
- 准直扩束段有效尺寸: $\phi 200 \times 7000\text{mm}$; $\phi 200 \times 9000\text{mm}$;
- 真空室内导轨长度: 1400mm ;
- 真空室内支撑架负载: $> 12\text{kg}$ 。

三、试验过程及结果

3.1 试验过程:

使用定标系统进行定标试验。具体试验安排详见表 1。

表 1 定标试验统计表

序号	时间	能量	仪器状态 (方向)	备注
1				
2				
3				
4				
5				
6				

3.2 结果:

在以上定标试验环境中, 采用 X 射线探测器测量 ^{55}Fe 的能谱, X 射线探测器的能量分辨率为 $310\text{eV}@5.9\text{keV}$ (5%)。图 2 给出了 ^{55}Fe 能谱测量结果。

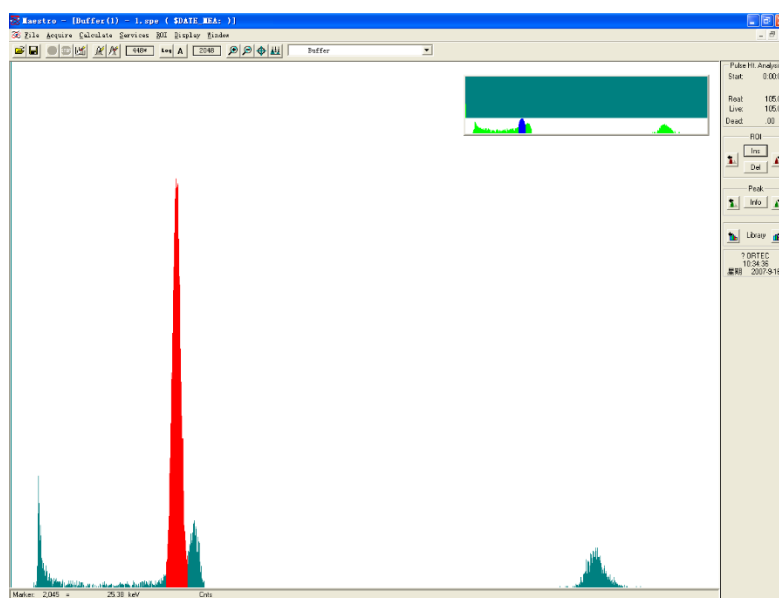


图 2 能量 5.9KeV 时的能谱曲线