

# 中华人民共和国国家军用标准

FL 1610

GJB 10098-2021

## 空间中能粒子探测器规范

Specification for space medium energy particle detector

2021-12-30 发布

2022-03-01 实施

中央军委装备发展部 颁布

## 目 次

前言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 要求	1
3.1 组成	1
3.2 功能	2
3.3 性能	2
3.4 尺寸	2
3.5 重量	2
3.6 外观质量	2
3.7 标志和代号	3
3.8 材料、元器件	3
3.9 接口	3
3.10 环境适应性	3
3.11 电磁兼容性	5
3.12 抗辐照	5
3.13 寿命	5
3.14 可靠性	5
3.15 安全性	5
4 质量保证规定	5
4.1 检验分类	5
4.2 检验条件	5
4.3 鉴定检验	5
4.4 交收检验	6
4.5 包装检验	6
4.6 检验方法	7
5 交货准备	9
5.1 包装与标志	9
5.2 运输	9
5.3 贮存	9
6 说明事项	9
6.1 预定用途	9
6.2 术语和定义	9
附录 A (规范性附录) 性能检验方法	10

## 前 言

本规范附录 A 是规范性附录。

本规范由战略支援部队航天系统部装备部提出。

本规范起草单位：中国科学院国家空间科学中心。

本规范主要起草人：张焕新、孙越强、朱光武、张坤毅、史春艳、荆 涛、孙 莹、余庆龙、王春琴、刘政利。



# 空间中能粒子探测器规范

## 1 范围

本规范规定了空间中能粒子(包括中能电子和中能质子)探测器的要求、质量保证规定和交货准备等。

本规范适用于监测地球轨道航天器空间环境的空间中能粒子探测器(以下简称探测器)的设计、生产与验收等。

## 2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本规范的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包含勘误的内容)或修订版本都不适用于本规范,但提倡使用本规范的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本规范。

GB/T 191 包装储运图示标志

GJB 145 防护包装规范

GJB 150.15 军用装备实验室环境试验方法 第15部分:加速度试验

GJB 150.16 军用装备实验室环境试验方法 第16部分:振动试验

GJB 150.18 军用装备实验室环境试验方法 第18部分:冲击试验

GJB 151 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量

GJB 2998 卫星产品标志

QJ 977 非金属材料复验规定

QJ 1386.2 金属材料复验规定 第2部分:有色金属

## 3 要求

### 3.1 组成

探测器由探头(包括中能质子探头、中能电子探头)、电子学处理系统(简称电子学箱)以及结构三部分组成。探头与电子学箱由结构件组装连接,系统组成框图如图1所示。

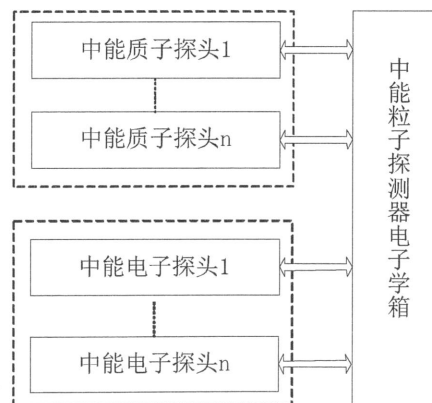


图1 探测器系统组成框图

其中:

a) 探头部分: 探头用于接收一定方位角内的空间粒子并将其转化为电信号。探测器可以包含

1 个或多个中能质子探头和中能电子探头，探测方向不少于 3 个。

- b) 电子学箱部分：电子学箱靠在探头下，为传感器提供偏置工作电压，同时对每个探头的数据进行采集、幅度分析、逻辑分析，经过数据处理后打包通过总线传递给卫星。
- c) 结构部分：包括各传感器的机械结构以及电子学箱结构两部分，用于固定、支撑、防护传感器和电路板。

3.2 功能

探测空间中能质子和中能电子的能谱分布，实时监测航天器运行轨道空间中能粒子辐射环境。

3.3 性能

探测器的主要探测性能为：

- a) 探测能量范围和能道划分：电子：30keV~400keV，能道划分不小于 16 道；质子：30keV~5MeV，能道划分不小于 16 道；
- b) 计数率范围：0 个/秒~10<sup>5</sup> 个/秒；
- c) 能量分辨率：优于 20%@200keV；
- d) 通量偏差：优于 20%；
- e) 采样率：不大于 2s。

3.4 尺寸

尺寸按照航天器型号总体的要求，典型探测器的结构尺寸示意图如图 2 所示：

- a) 安装尺寸不大于 217mm×192mm (公差：±0.1mm)；
- b) 最大包络尺寸不大于 240mm×208mm×242mm (公差：±2mm)。

单位为毫米

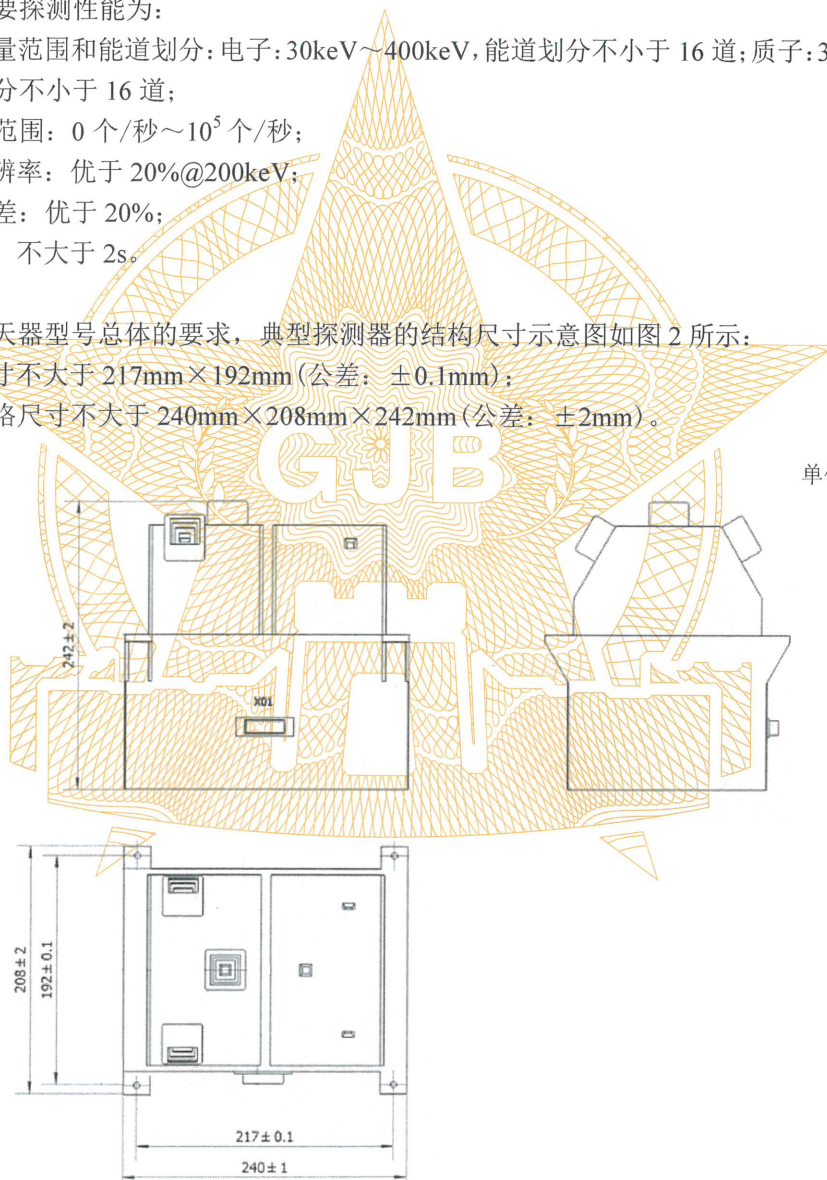


图 2 探测器结构尺寸示意图

3.5 重量

探测器重量应不大于 6.0kg。

3.6 外观质量

探测器外观应无毛刺、无锈蚀、无裂痕、无机械损伤，表面热控层完好。

### 3.7 标志和代号

标志和代号应符合 GJB 2998 的规定。

### 3.8 材料、元器件

材料、元器件要求如下：

- a) 金属材料的选用按 QJ 1386.2 规定的范围执行；
- b) 非金属材料的选用按 QJ 977 规定的范围执行；
- c) 元器件的选用根据航天器型号规定的元器件选用目录选用，目录外元器件的选用按型号电子元器件申报要求和审批程序的规定执行。

### 3.9 接口

#### 3.9.1 机械接口

机械接口要求如下：

- a) 安装孔数量、孔径、固定凸耳和插头的方位，按照专业技术文件(或图样)执行；
- b) 安装面平面度优于 0.1mm/(100mm×100mm)。

#### 3.9.2 热控接口

热控接口如下：

- a) 温度贴点位于探测器内部靠近传感器的位置；
- b) 探测器的表面处理按航天器型号总体要求执行。

#### 3.9.3 电接口

##### 3.9.3.1 电源

供电接口如下：

- a) 适应航天器提供的一次电源接口，纹波不大于 600mV；
- b) 探测器总功耗不大于 10W，浪涌电流不大于 2A，上升斜率小于  $10^5$ A/s，且峰值持续时间不大于 5ms。

##### 3.9.3.2 遥控

遥控指令一般包括：探测器电源开、探测器电源关指令和数据注入指令。

##### 3.9.3.3 遥测

探测器遥测数据一般为 3 路工程参数，包括 +5V、+12V 电源电压检测各 1 路，温度检测 1 路；模拟量遥测接口输出形式为 0V~5V 的模拟量，输出阻抗不大于 5kΩ。

##### 3.9.3.4 探测数据

探测数据包括中能质子、电子的方向监测和能谱测量两种，输出形式为数字量探测数据包，通过接口总线下行，数据率一般不大于 5kbps。

数据下行总线接口和通信协议满足航天器型号总体要求，可适应 422 接口、1553B 接口、CAN 接口。

### 3.10 环境适应性

#### 3.10.1 总要求

探测器经下列条件的环境适应性试验后应满足 3.3 要求。

#### 3.10.2 力学环境

##### 3.10.2.1 加速度

加速度试验条件见表 1。

##### 3.10.2.2 冲击

冲击试验条件见表 2。

##### 3.10.2.3 正弦振动

正弦振动试验条件见表 3。

表 1 加速度试验条件

类别	纵向加速度 g	横向加速度 g	试验时间 min	加载速率 g/min
鉴定检验	12	12	2	5
交收检验	8	8	2	5

表 2 冲击试验条件

类别	频率范围 Hz	冲击量级	加载方向	每轴向次数
鉴定检验	100~400	9dB/oct	X、Y、Z 向	2
	400~3500	1000g		
交收检验	100~400	9dB/oct	X、Y、Z 向	1
	400~3500	1000g		

表 3 正弦振动试验条件

类别	频率范围 Hz	振动量级	扫频方向	加载速率
鉴定检验	5~15	16.7mm	X、Y、Z 向	2oct/min
	15~100	15g		
交收检验	5~15	11.0mm	X、Y、Z 向	4oct/min
	15~100	10g		

## 3.10.2.4 随机振动

随机振动试验条件见表 4。

表 4 随机振动试验条件

类别	频率范围 Hz	加速度功率谱密度	总均方根值 grms	方向	振动时间
鉴定检验	10~150	+6dB/oct	12.69	X、Y、Z 向	120s/每个方向
	150~800	0.1125g <sup>2</sup> /Hz			
	800~2000	-3dB/oct			
交收检验	10~150	+6dB/oct	8.46	X、Y、Z 向	60s/每个方向
	150~800	0.05g <sup>2</sup> /Hz			
	800~2000	-3dB/oct			

## 3.10.3 热环境

## 3.10.3.1 热循环

热循环试验条件见表 5。

表 5 热循环试验条件

类别	压力	温度	循环次数	平均温变速率	极端温度停留时间
鉴定检验	正常环境 大气压力	-25℃~50℃	25.5	3℃/min~5℃/min	连续工作 5h, 首末循环开关机 各 3 次
交收检验		-20℃~45℃	12.5		

### 3.10.3.2 热真空

热真空试验条件见表6。

表6 热真空试验条件

类别	压力	温度	循环次数	平均温变速率	极端温度停留时间
鉴定检验	不高于	-25℃~50℃	6.5	≥1℃/min	连续工作 5h, 首末循环开关机各 3 次
交收检验	1.3×10 <sup>-3</sup> Pa	-20℃~45℃	3.5		

### 3.10.4 静电放电环境

试验条件如下:

- a) 电弧放电电压: 10kV;
- b) 脉冲间隔: 1s;
- c) 试验时间: 30s。

### 3.11 电磁兼容性

按照航天器型号电磁兼容性要求执行。

### 3.12 抗辐照

按照航天器型号空间辐射环境适应性要求执行。

### 3.13 寿命

探测器在轨运行寿命不少于 5a。

### 3.14 可靠性

在置信度 0.7 的情况下, 探测器在轨运行 5a 可靠度优于 0.95。

### 3.15 安全性

探测器的电源、遥测接口均应采取保护措施, 以使探测器的任何故障均不影响航天器其他设备的正常工作。

## 4 质量保证规定

### 4.1 检验分类

本规范规定的检验分类如下:

- a) 鉴定检验;
- b) 交收检验。

### 4.2 检验条件

#### 4.2.1 检验环境条件

除另有规定外, 应在下述条件下进行所有检验:

- a) 温度: -20℃~35℃;
- b) 相对湿度: 20%~60%;
- c) 洁净度: 优于 100000 级。

#### 4.2.2 检验仪器及设备

检验用的仪器、设备应符合国家和行业标准的规定, 应由计量部门检定合格, 并在有效期内使用。仪器、设备的量程和精度应满足探测器的量程和精度要求。

### 4.3 鉴定检验

#### 4.3.1 检验项目

检验项目按表 7 的规定执行。

#### 4.3.2 检验顺序

除另有规定外, 检验顺序按表 7 的规定执行。

## 4.3.3 检验数量

鉴定检验数量为一台。

## 4.3.4 合格判据

表 1 规定的所有检验项目符合第 3 章要求，则判定鉴定检验为合格。

## 4.4 交收检验

## 4.4.1 检验项目

检验项目按表 7 的规定执行。

## 4.4.2 检验顺序

除另有规定外，检验顺序按表 7 的规定执行。

## 4.4.3 检验数量

全数检验。

## 4.4.4 合格判据

若探测器的交收检验项目全部符合第 3 章要求，则判探测器合格。只要有一项检验项目不符合要求，则应找出原因，采取纠正措施并排除故障后复检，复检仍未通过的，判定探测器不合格。

表 7 检验项目、要求和方法

序号	项目	鉴定检验	交收检验	要求章条号	检验方法章条号	
1	性能	●	●	3.3	4.6.1	
2	尺寸	●	●	3.4	4.6.2	
3	重量	●	●	3.5	4.6.3	
4	外观质量	●	●	3.6	4.6.4	
5	标志和代号	●	●	3.7	4.6.5	
6	材料、元器件	●	●	3.8	4.6.6	
7	接口	●	●	3.9	4.6.7	
8	环境适应性	加速度	●	—	3.10.2.1	4.6.8.1
		冲击	●	—	3.10.2.2	4.6.8.2
		正弦振动	●	●	3.10.2.3	4.6.8.3
		随机振动	●	—	3.10.2.4	4.6.8.4
		热循环	●	●	3.10.3.1	4.6.8.5
		热真空	●	●	3.10.3.2	4.6.8.6
		静电放电	●	—	3.10.4	4.6.8.7
9	电磁兼容性	●	—	3.11	4.6.9	
10	抗辐照	●	●	3.12	4.6.10	
11	寿命	●	●	3.13	4.6.11	
12	可靠性	●	●	3.14	4.6.12	
13	安全性	●	●	3.15	4.6.13	
注：“●”必检项目；“—”不检项目。						

## 4.5 包装检验

所有探测器在交付时应应对包装与标志进行目视检查。满足 5.1 的要求，判定为合格。

## 4.6 检验方法

### 4.6.1 性能

按照附录 A 规定的方法进行检验。

可采用标定报告审核或现场标定验收的方式进行该项目检验。

### 4.6.2 尺寸

用游标卡尺检测探测器的本体尺寸、安装尺寸、安装孔。

### 4.6.3 重量

用精度不低于 5g 的衡器称量探测器的重量。

### 4.6.4 外观质量

目测检查探测器的外观质量，用放大镜对探测器的电连接器进行有无多余物的检查。

### 4.6.5 标志和代号

目测检查探测器标志和代号。

### 4.6.6 材料、元器件

查验探测器使用材料的合格证明及相关材料。

查验探测器使用元器件的相关证明材料。

### 4.6.7 接口

#### 4.6.7.1 机械接口

机械接口测试方法如下：

- a) 用游标卡尺检测探测器的安装尺寸、孔径；
- b) 用塞尺测试平面度。

#### 4.6.7.2 热控接口

查验设计图样和探测器表面处理的相关证明材料。

#### 4.6.7.3 电接口

电接口测试的原理框图见图 3。



图 3 探测器功能测试框图

电接口测试包括对供电测试和遥控遥测测试，测试方法如下：

#### a) 供电：

- 1) 根据图 3 连接测试设备和探测器，通过地面测试盒给探测器加电；
- 2) 用万用表测量探测器的电源电压及电流，计算探测器的功耗；
- 3) 用浪涌测试仪和示波器测量浪涌电流；
- 4) 用示波器测量探测器母线反射纹波；
- 5) 根据总体要求的供电电压范围测试，探测器正常工作。

#### b) 遥控遥测：

- 1) 依次开启稳压电源和测试盒开关，用万用表测量模拟量遥测数据；
- 2) 开启计算机采集系统，数字量遥测通过计算机界面进行显示和判读；
- 3) 通过地面软件发送数据注入指令，通过计算机界面判读指令是否正常。

c) 探测数据:

对采集的数据包进行判读,判断探测数据是否在正常值范围。

4.6.8 环境适应性

4.6.8.1 加速度

在 3.10.2.1 规定的条件下按 GJB 150.15 规定的方法进行试验。

4.6.8.2 冲击

在 3.10.2.2 规定的条件下按 GJB 150.18 规定的方法进行试验,并符合以下要求:

- a) 冲击试验控制点应选在探测器与试验夹具或冲击试验设备的对接面上,探测器固定方式与在航天器上一致;
- b) 探测器在试验前后进行功能测试。

4.6.8.3 正弦振动

在 3.10.2.3 规定的条件下按 GJB 150.16 规定的方法进行试验。

4.6.8.4 随机振动

在 3.10.2.4 规定的条件下按 GJB 150.16 规定的方法进行试验。

4.6.8.5 热循环

在 3.10.3.1 规定的条件下,按以下方法进行试验:

- a) 探测器放入温控试验箱内;
- b) 试验时采取防止探测器受潮或挠性变形的措施;
- c) 试验前后进行性能测试和比对。

4.6.8.6 热真空

在 3.10.3.2 规定的条件下,按以下方法进行试验:

- a) 探测器在进真空罐后,先通电检查,确认工作正常后,开始抽真空;
- b) 真空度达到要求条件后,降温,温度达到最低试验温度后,探测器加电,开始计时;
- c) 探测器在低温条件下停留规定时间后,升温,达到最高试验温度且平衡后,停留规定的时间,降温至最低试验温度,构成一个温度循环;
- d) 条件要求完成温度循环次数;
- e) 在高温、低温阶段至少做一次探测器热启动和冷启动;
- f) 探测器加电期间进行功能参数测试。

4.6.8.7 静电放电

在 3.10.4 规定的条件下,按以下方法进行试验:

- a) 试验采用专用的电弧放电装置进行试验;
- b) 试验时,专用电弧放电装置的电极距离探测器 30cm;
- c) 试验时,探测器处于工作状态,并监视其功能参数变化。

4.6.9 电磁兼容性

按照 GJB 151 的规定进行电磁兼容性试验。

4.6.10 抗辐照

检查探测器的可靠性设计报告。

4.6.11 寿命

检查探测器可靠性设计报告。

4.6.12 可靠性

检查探测器的可靠性设计报告。

4.6.13 安全性

检查探测器的可靠性与安全性分析和评估报告。

## 5 交货准备

### 5.1 包装与标志

#### 5.1.1 包装

交付的探测器应有完好的包装箱，包装箱内应有减震、防潮、防静电措施，并符合 GJB 145 的规定。

#### 5.1.2 装箱文件

探测器装箱文件应包括：产品证明书、产品质量履历书和产品定标报告。

#### 5.1.3 标志

包装箱外应标明产品名称、代号、重量、体积、制造厂家、出厂日期及防压、易碎、防潮等标志，包装储运图示标志应符合 GB/T 191 的规定。

### 5.2 运输

包装合格的探测器可用汽车、火车或飞机等运输，在运输过程中应小心轻搬、轻放，避免碰撞、敲击、日晒和雨淋。

### 5.3 贮存

#### 5.3.1 贮存环境

贮存环境条件如下：

- a) 温度：15℃～35℃；
- b) 相对湿度：20%～70%；
- c) 洁净度：优于 100000 级。

#### 5.3.2 贮存期

探测器从验收合格之日起，贮存期不超过 5a。在贮存期内，每半年对探测器进行一次电接口复测。贮存期超过 1a，使用前，应对探测器的所有性能进行复测。

## 6 说明事项

### 6.1 预定用途

本规范规定的探测器预定用于各类地球轨道空间的辐射环境监测。

### 6.2 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

#### 6.2.1 中能粒子 **medium energy particle**

能量介于传统定义的高能粒子和等离子体之间的粒子，电子能量范围一般为 30keV～400keV，质子能量范围一般为 30keV～5MeV。

#### 6.2.2 计数范围 **counting range**

在固定时间间隔内，探测器可测试得到的空间中能电子和中能质子的最大数量。

#### 6.2.3 粒子通量 **particle flux**

以探测器的几何因子为参考元，将探测器的直接探测测量计数  $N$ (个/s) 归一化，即将计数除以探测器的几何因子  $G(\text{cm}^2\text{sr})$ ，得到的单位时间内入射到单位立体角和单位面积上的粒子数  $M(\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1})$ 。

#### 6.2.4 几何因子 **geometry factor**

探测器的计数输出归一化到全向通量的比例系数，取决于探测器的几何结构参数。

附录 A  
(规范性附录)  
性能检验方法

### A.1 探测能量范围和能道划分

测试设备包括中能电子加速器、中能质子加速器(或模拟信号源)、地面测试盒、直流稳压电源、万用表、计算机采集设备及相关电缆。探测能量范围和能道划分测试原理框图见图 A.1。

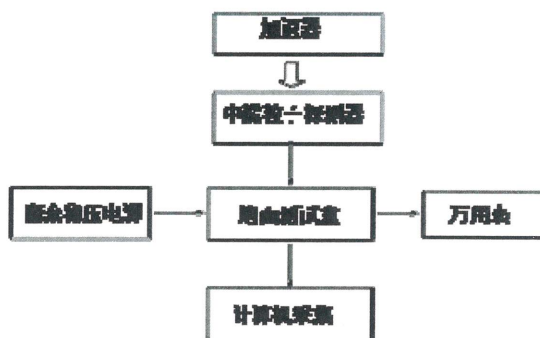


图 A.1 探测能量范围和能道划分测试原理框图

探测能量范围和能道划分定标原理：

首先需要编写定标所需的地面专用软件,可对 AD 采集数据进行多道划分(256 道/512 道/1024 道),以及计算机数据获取软件,对多道数据进行显示、保存。

然后利用中能电子/质子加速器输出不同能量的单能粒子束照射探头,使各个能量通道输出对应沉积能量的脉冲幅度谱,将每一能量通道获得的脉冲幅度谱进行高斯拟合,得到峰值位置所在多道道址,并结合 AD 每一道对应的电压值转化为脉冲幅度  $V$ ;通过蒙特卡洛仿真计算可以获得不同能量的电子束流在各能量通道对应传感器中的沉积能量  $\Delta E$ ,再结合输出的脉冲幅度  $V$ ,进行线性拟合,即可计算出各能量通道的能量响应关系式  $V=a\Delta E+b$ 。根据探测器的逻辑工作方式和阈值设置,可以计算出每一个阈值对应的脉冲幅度,写入软件并固化,完成探测器的能道划分和探测能量范围的确定。探测能量范围和能道划分检验测试步骤如下:

- a) 将探测器放置在加速器靶室内,调整方向将被测探头对准束流出口;
- b) 靶室抽真空至  $10^{-4}\text{Pa}$ (或更高真空度),探测器加电;
- c) 根据能道分界点选择加速器束流能量,利用相邻两个能道的分界点能量作为初始入射能量入射到探测器中,记录这两个能道的计数;
- d) 对束流能量进行调整,对于每一个能量点,选择附近的至少 5 个能量点分别获取相邻两能道的计数值;
- e) 对分界点附近 5 个能量点获得相邻能道计数比值进行高斯拟合,可以得到每一个能量分界点的精确位置;
- f) 对于能量边界值,选取能道计数值为理论计数值的一半时对应的加速器束流能量为能量测量边界;
- g) 比较能量边界值、各能道能量分界点实测值与探测能量范围、规定能道分界点的关系。

### A.2 计数范围

计数范围测试在仪器研制过程的电子学定标中完成。

计数范围定标原理：使用脉冲信号发生器代替图 A.1 中的加速器，产生不同频率的脉冲，输入到电子学线路前放，测试电路能够正确响应的最大计数值。

### A.3 能量分辨率

能量分辨率的测试与探测能量范围和能道划分测试同步进行。测试原理框图见图 A.1。

能量分辨率测试原理：利用中能电子/质子加速器输出不同能量的单能粒子束照射探头，使各个能量通道输出对应沉积能量的脉冲幅度谱，将每一能量通道获得的脉冲幅度谱进行高斯拟合，得到峰值位置所在多道道址，计算幅度谱半高宽所对应的能道数，该能道数除以峰值道址，即得到测试能量的能量分辨率。

能量分辨率检验测试方法：与探测能量范围和能道划分检验测试同步进行。

- a) 将探测器放置在加速器靶室内，调整方向将被测探头对准束流出口；
- b) 靶室抽真空至  $10^{-4}$ Pa (或更高真空度)，探测器通电；
- c) 调整加速器束流能量至 200keV，入射到探测器中，记录该点两侧相邻两个能道的计数；
- d) 对束流能量进行调整，选择附近的至少 5 个能量点 (例如 190keV、195keV、200keV、205keV、210keV) 入射到探测器窗口，分别获取相邻两能道的计数值；
- e) 对此 5 个能量点获得相邻能道计数比值进行高斯拟合，根据拟合曲线得到实测峰值位置能量以及半高宽对应的能量范围，能量半高宽除以峰值能量即得到能量分辨率。

### A.4 通量精度

由于通量精度与探测器几何因子、计数误差直接相关，几何因子通过仿真计算获得，计数误差根据电子学系统信号处理死时间经过随机信号模拟仿真得到，二者均不能直接进行测试。

通量精度检验方法：检查探测器定标报告检验。检查方法如下：

- a) 几何因子仿真：定标报告中需根据实际的探测器建立模型、定义材料、粒子源、物理过程，运行仿真计算程序，获取几何因子误差；
- b) 计数标定：定标报告中根据探测器电子学信号处理死时间仿真计数响应，应模拟空间粒子源的特性，时间上随机输入，获得计数误差；
- c) 通量偏差的计算根据误差传递函数获得。

### A.5 采样率

采样率检验方法：通过读取相邻两组探测数据包的时间码，计算出时间码差值。

中华人民共和国  
国家军用标准  
空间中能粒子探测器规范  
GJB 10098—2021

\*

国家军用标准出版发行部出版  
(北京东外京顺路7号)  
国家军用标准出版发行部印刷车间印刷  
国家军用标准出版发行部发行  
版权专有 不得翻印

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1¼ 字数 32 千字  
2022 年 2 月第 1 版 2022 年 2 月第 1 次印刷

\*

军标出字第 13440 号