



团 体 标 准

T/CSMT-YB018—2026

# $\gamma$ 射线成像探测系统检测规范

Specification for gamma radiation imaging detecting system

2026-01-06 发布

2026-02-06 实施

中国计量测试学会 发布  
中国标准出版社 出版



## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义、计量单位 .....	1
3.1 术语和定义 .....	1
3.2 计量单位 .....	3
4 检测项目 .....	3
4.1 能量探测范围 .....	3
4.2 能量分辨率 .....	3
4.3 成像视野范围 .....	3
4.4 成像定位精度 .....	3
4.5 成像角分辨率 .....	3
4.6 $\gamma$ 探测灵敏度 .....	3
4.7 探测效率 .....	4
4.8 连续辐射成像追踪能力 .....	4
4.9 多核素成像能力 .....	4
4.10 抗干扰能力 .....	4
4.11 成像采集时间 .....	4
4.12 辐射报警响应时间 .....	4
5 检测方法 .....	4
5.1 检测环境条件 .....	4
5.2 检测用 $\gamma$ 射线放射源 .....	4
5.3 探测性能 .....	5
参考文献 .....	10



## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—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》的规定起草。

本文件由中国计量科学研究院提出。

本文件由中国计量测试学会归口。

本文件起草单位：中国计量科学研究院、成都永新医疗设备股份有限公司、中国科学院高能物理研究所、清华大学、中国海关科学技术研究中心、海关学院、中山大学、生态环境部核与辐射安全中心、兰州大学、北京师范大学、防灾科技学院、北京金谷远见科技集团有限公司、卡迪诺科技(北京)有限公司。

本文件主要起草人：黄建微、李德红、王艳萧、帅磊、马天子、张璇、陆地、侯永明、徐逸伦、毕远杰、柳加成、张世旭、张耀锋、曹桂荣、肖遥、王宇航、高宗坤。



# γ射线成像探测系统检测规范

## 1 范围

本文件规定了γ射线成像探测系统的检测项目与技术要求。

本文件适用于下列用途的γ射线成像探测系统的性能检测：

——用于排查和监测口岸、出入境通道、仓库、邮局、特殊监管区等监管区域内移动人群、货物、物品中的γ射线放射源；

——用于排查和监测货物、物品、交通工具、邮包等海关监管对象中的γ射线放射源。

本文件不适用于非成像辐射探测设备。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义、计量单位

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**γ射线放射源** **γ radiation source**

通过释放γ光子而引起辐射照射的一切物质和实体。

[来源:GB 18871—2002,定义J1.2,有修改]

#### 3.1.2

**[粒子]注量率** **[particle] fluence rate**

$\dot{\phi}$

在某时间间隔内粒子注量的增量除以该时间间隔之商。

$$\dot{\phi} = \frac{A\eta}{4\pi d^2}$$

式中：

$A$ ——放射源活度；

$\eta$ ——分支比；

$d$ ——参考位置距源的距离。

注：单位为每平方厘米秒( $\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )。

#### 3.1.3

**探测器** **detector**

探测系统中,由可见光成像组件、γ射线探测组件以及其配套电路等组成的用于采集可见光和γ射线的部件。

3.1.4

**成像定位 image positioning**

在成像探测系统的显像画面中对 $\gamma$ 辐射源方位进行成像显示。

3.1.5

**$\gamma$ 射线成像探测系统  $\gamma$  radiation imaging detecting system**

能实现成像定位的 $\gamma$ 射线探测系统,由 $\gamma$ 射线探测组件以及其配套的控制、数据处理组件和显示组件等组成。

注:简称探测系统。

3.1.6

**静态监测 static monitoring**

针对与 $\gamma$ 射线成像探测系统相对静止的 $\gamma$ 辐射源进行的监测活动。

3.1.7

**动态监测 dynamic monitoring**

针对与 $\gamma$ 射线成像探测系统之间产生相对位移的 $\gamma$ 辐射源进行的监测活动。

3.1.8

**能量探测范围 energy detection range**

$\gamma$ 射线成像探测系统对辐射能量的探测限值范围。

3.1.9

**能量分辨率 energy resolution**

针对不同能量的入射粒子, $\gamma$ 射线成像探测系统所能够测定最小的能量间隔,以全能峰半高宽(FWHM)与峰位能量的比值表示。

3.1.10

**成像视野范围 image field of vision; FOV**

表示 $\gamma$ 射线成像探测系统能实现辐射/放射成像定位功能所覆盖的空间范围角度。

注:也被称作成像视场范围。

3.1.11

**成像定位精度 imaging positioning accuracy**

$\gamma$ 射线成像探测系统标示的放射源方位与其实际方位之间的夹角大小。

3.1.12

**成像角分辨率 imaging angular resolution**

成像定位灵敏度 image positioning sensitivity

在一定的测量条件下, $\gamma$ 射线成像探测系统能够分开特定强度的两个点源的最小间距。

3.1.13

**$\gamma$ 探测灵敏度  $\gamma$ -ray detection sensitivity**

$\gamma$ 射线成像探测系统检测到的 $\gamma$ 射线放射源的最小活度,采用空气比释动能率和测量时间的乘积表示。

3.1.14

**探测概率 detection probability**

$\gamma$ 射线成像探测系统对 $\gamma$ 射线放射源实现探测并报警的概率。

3.1.15

**连续辐射成像追踪能力 continuous radiation image tracing ability**

成像探测系统对放射源定位成像的更新速率,以每秒钟更新的辐射成像图像帧数表示。

## 3.1.16

**多核素成像能力 multiple nuclide imaging capabilities**

成像探测系统对成像视野范围内多个不同能量的放射性核素同时成像的能力。

## 3.1.17

**抗干扰能力 anti-jamming capability**

周围有一定条件的放射源干扰情况下,成像探测系统实现对目标放射源的标示成像能力。使用干扰放射源和目标放射源在成像探测系统处产生剂量率的比值进行表征。

## 3.1.18

**成像采集时间 image acquisition time**

成像探测系统对 $\gamma$ 辐射源实现成像定位所需经历的最小时间。

## 3.1.19

**辐射报警响应时间 radiation alarm response time**

成像探测系统从超出辐射的阈值出现到系统发出报警信号之间经历的时间。

## 3.2 计量单位

3.2.1 活度的计量单位是贝可勒尔,符号:Bq,  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ 。

3.2.2 注量率的计量单位是每平方米秒,符号: $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

3.2.3 空气比释动能率的计量单位是微戈瑞每小时,符号: $\mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

3.2.4 本文件所用到的其他量均采用国际单位制(SI)单位。

## 4 检测项目

## 4.1 能量探测范围

$\gamma$ 射线成像探测系统应明确其可实现探测成像的 $\gamma$ 辐射因子能量范围。

## 4.2 能量分辨率

$\gamma$ 射线成像探测系统应明确其在 $^{137}\text{Cs}$ 或 $^{60}\text{Co}$ 等典型放射源情况下的能量分辨率。

## 4.3 成像视野范围

$\gamma$ 射线成像探测系统应明确其在 $^{137}\text{Cs}$ 源情况下的成像视野范围。

## 4.4 成像定位精度

$\gamma$ 射线成像探测系统应明确其在空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 应为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 情况下的成像定位精度。

## 4.5 成像角分辨率

$\gamma$ 射线成像探测系统应明确其在空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 应为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 情况下的成像角分辨率。

4.6  $\gamma$ 探测灵敏度

$\gamma$ 射线成像探测系统应明确其在空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 应为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 情况下的探测灵敏度。

#### 4.7 探测效率

$\gamma$ 射线成像探测系统应明确其在空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 应为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 情况下的探测效率。

#### 4.8 连续辐射成像追踪能力

$\gamma$ 射线成像探测系统应明确其在空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 应为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 的 $^{137}\text{Cs}$ 源情况下的连续辐射成像追踪能力。

#### 4.9 多核素成像能力

$\gamma$ 射线成像探测系统应明确其在空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 应为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 情况下的多核素成像能力。

#### 4.10 抗干扰能力

$\gamma$ 射线成像探测系统应明确其在空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 应为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 情况下的抗干扰能力。

#### 4.11 成像采集时间

$\gamma$ 射线成像探测系统应明确其在空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 应为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 情况下的成像采集时间。

#### 4.12 辐射报警响应时间

$\gamma$ 射线成像探测系统应明确其在被屏蔽的 $\gamma$ 射线放射源正前方2 m处的辐射报警响应时间。

### 5 检测方法

#### 5.1 检测环境条件

本文件中除气候环境试验和可靠性试验以外,其他试验应在下述环境下进行:

- 温度:  $15\text{ }^\circ\text{C} \sim 25\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- 相对湿度:  $25\% \sim 75\%$ ;
- 大气压:  $8.60 \times 10^4\text{ Pa} \sim 1.06 \times 10^5\text{ Pa}$ ;
- 除了“抗干扰能力”试验项目外,其余试验项目的试验环境周围无除试验用 $\gamma$ 射线放射源外的其他放射源。

#### 5.2 检测用 $\gamma$ 射线放射源

检测用 $\gamma$ 射线放射源应按表1中的要求选择。

表1  $\gamma$ 射线放射源与放射源的活度

序号	放射性核素	试验源活度/Bq
1	$^{241}\text{Am}$	$2.4 \times 10^8$
2	$^{60}\text{Co}$	$4.2 \times 10^8$
3	$^{137}\text{Cs}$	$7.4 \times 10^8$

注: 每个试验源的实际活度在表中规定值的 $(1 \pm 20\%)$ 的范围内。

### 5.3 探测性能

#### 5.3.1 能量探测范围

使用表1中的 $\gamma$ 射线放射源分别置于 $\gamma$ 射线成像探测系统的探测器正前方的视野内,距离探测器4 m,探测器系统应能准确成像定位。观察探测器系统中的能谱曲线图,检查其是否能明显显示对应59.5 keV、662 keV、1.17 MeV、1.33 MeV的能峰。

#### 5.3.2 能量分辨率

使用4.2要求的 $\gamma$ 射线放射源进行试验,获得对应的能谱曲线,从中获取全能峰部分曲线,见图1。

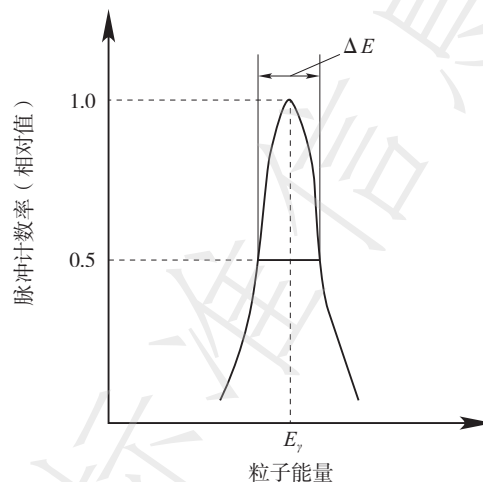


图1 全能峰能谱曲线

通过公式(1)计算出探测器的能量分辨率 $R$ :

$$R = \frac{\Delta E}{E_{\gamma}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\Delta E$  ——探测系统测得全能峰曲线在其半幅高处的能量宽度,即全能峰半高宽(FWHM),单位为千电子伏(keV);

$E_{\gamma}$  ——探测系统测得全能峰的峰值能量,单位为千电子伏(keV)。

#### 5.3.3 成像视野范围

将 $^{137}\text{Cs}$  $\gamma$ 射线放射源成像监控设备放置于具备角度测量功能的转台上,使放射源放置于其探测器前方4 m远测试点处,通过控制转台角度调整 $\gamma$ 射线成像探测系统与放射源的方位角,使得放射源成像定位在 $\gamma$ 射线成像探测系统视野的一侧边界处[图2(左)],记录此时的转台角度为定义 $\theta_1$ ;再逐渐调节转台,调整成使得放射源成像定位在 $\gamma$ 射线成像探测系统视野的另一侧边界处[图2(右)],记录此时的转台角度为定义 $\theta_2$ ;那么转台所转过的角度(也就是 $\theta_1$ 与 $\theta_2$ 的角度差值)就是 $\gamma$ 射线成像探测系统的水平方向的成像视野范围 $\text{FOV}_H$ ,即:

$$\text{FOV}_H = |\theta_1 - \theta_2|$$

同样地,可以得到其垂直方向的成像视野范围 $\text{FOV}_V$ :

$$\text{FOV}_V = |\theta_3 - \theta_4|$$

式中：

$\theta_3$ ——放射源成像定位在 $\gamma$ 射线成像探测系统的上/下边界处时的转台角度；

$\theta_4$ ——放射源成像定位在 $\gamma$ 射线成像探测系统的下/上边界处时的转台角度。

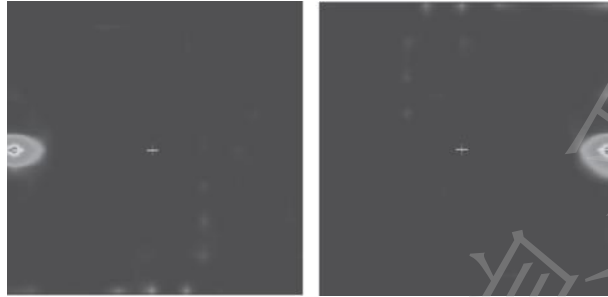


图2 成像视野范围左侧边界成像(左),右侧视野边界成像(右)

### 5.3.4 成像定位精度

记录 $\gamma$ 射线成像探测系统的探测器中心为原点 $O$ ,将 $\gamma$ 射线放射源放置于 $\gamma$ 射线成像探测系统的参考位置 $A$ ,参考位置的空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ,使用 $\gamma$ 射线成像探测系统对此放射源进行放射源成像定位,并记录其定位方向与 $OA$ 直线在参考位置的垂直面的交点为 $B$ ,见图3。通过公式(2)计算出 $\gamma$ 射线成像探测系统的成像定位偏离角度 $\Delta$ ：

$$\Delta = \arccos \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \dots\dots\dots (2)$$

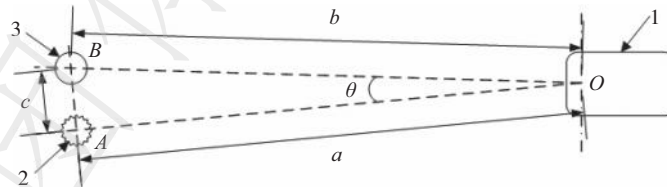
式中：

$\Delta$ —— $\gamma$ 射线成像探测系统的成像定位精度；

$a$ ——原点 $O$ 点到参考位置 $A$ 点的距离；

$b$ ——原点 $O$ 点到成像位置 $B$ 点的距离；

$c$ ——参考位置 $A$ 点到成像位置 $B$ 点的距离。



标引序号说明：

1——探测器；

2—— $\gamma$ 射线放射源；

3——参考物的位置,即 $\gamma$ 射线放射源在探测系统中检测到的映射位置。

图3 成像定位精度试验示意图

### 5.3.5 成像角分辨率

将2枚活度相近的 $^{137}\text{Cs}$ 射线放射源放置于离 $\gamma$ 射线成像探测系统前方远视野中心参考位置,每一枚放射源在 $\gamma$ 射线成像探测系统探测器中心的空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ,进行成像角分辨率测试,记录试验结果数据,逐渐增大2枚放射源之间的间距,重复进行成像角分辨率探测,记录试验结果数据,如图4所示,当2枚点源的热点之间谷值小于2枚点源的热点峰的较小峰值的90%,或者放射源成像定位图像中能够明显区分2枚点源的热点峰时,认为此时能分辨2枚放射源,测量记录此时2

枚放射源的间距值  $d$  和探测距离  $h$ , 双源分别与成像探测系统连线形成的夹角  $\theta$  就是成像角分辨率。计算方法如下:

$$\theta = 2 \times \arctan (d/2h) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\theta$  —— $\gamma$  射线成像探测系统的成像角分辨率;

$d$  ——2 枚放射源的间距值;

$h$  ——2 枚放射源与  $\gamma$  射线成像探测系统探测器中心的距离。

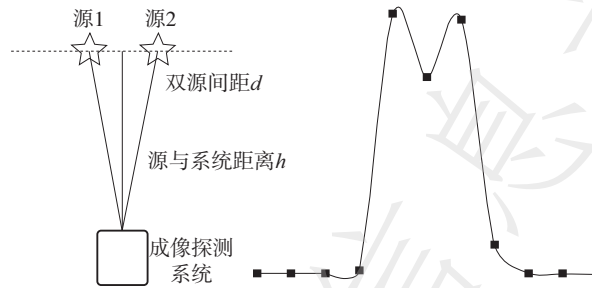


图4 双单点源成像角分辨率示意图

若无法获得 2 枚活度相近的  $^{137}\text{Cs}\gamma$  射线放射源, 可使用以下方法替代。

将  $^{137}\text{Cs}\gamma$  射线放射源放置于离  $\gamma$  射线成像探测系统前方远视野中心参考位置, 在  $\gamma$  射线成像探测系统位置的空气比释动能率  $\dot{K}_a$  应为  $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ , 进行成像角分辨率测试, 记录试验结果数据, 计算点源重建图像的 FWHM 所占像素数, 根据公式(4)计算系统角分辨率:

$$\theta = \text{FOV} \times \frac{\text{FWHM}}{X_{\text{pixel}}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

FOV ——成像视场范围;

FWHM ——点源重建图像的 FWHM 所占像素数;

$X_{\text{pixel}}$  ——水平方向总像素数。

### 5.3.6 $\gamma$ 探测灵敏度

将  $\gamma$  射线放射源放置在成像探测系统的参考位置处, 其在  $\gamma$  射线成像探测系统位置的空气比释动能率  $\dot{K}_a$  为  $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 测量并记录其成像时间  $t$ 。  $\gamma$  探测灵敏度  $K$  计算公式见公式(5):

$$K = \dot{K}_a \cdot t \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$K$  —— $\gamma$  探测灵敏度;

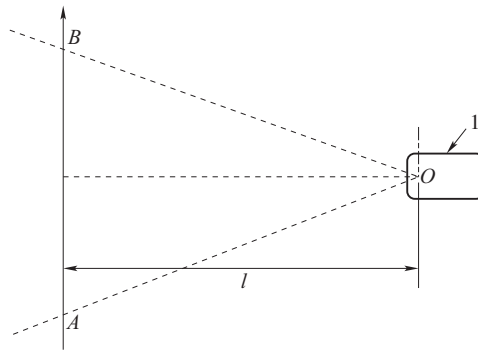
$\dot{K}_a$  —— $\gamma$  射线成像探测系统位置的空气比释动能率;

$t$  —— $\gamma$  射线成像探测系统对  $\gamma$  射线放射源的成像时间。

### 5.3.7 探测概率

$\gamma$  射线放射源在  $\gamma$  射线成像探测系统的参考位置处通过, 如图 5 所示, 通过速度为  $1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\gamma$  射线放射源在  $\gamma$  射线成像探测系统的参考位置时, 其在  $\gamma$  射线成像探测系统位置的空气比释动能率  $\dot{K}_a$  为  $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 采用耳闻或目测的方法观察并记录探测系统产生的报警信号; 对每一种放射源, 重复上述操作, 重复 50 次, 并记录试验结果。

注: 在 50 次测试中至少有 49 次报警即可满足不小于 90% 的探测概率(置信度 95%)的要求。



标引序号说明：

1—— $\gamma$ 射线成像探测系统。

图5 探测概率示意图

### 5.3.8 连续辐射成像追踪能力

使用 $^{137}\text{Cs}$ 试验源从 $\gamma$ 射线成像探测系统探测器有效探测视野范围外开始,在距离探测器正前方 $l=3\text{ m}$ 处,沿图5所示 $AB$ 方向以 $1.2\text{ m/s}$ 的速度匀速经过探测器的有效探测区域,确定 $\gamma$ 射线成像探测系统在有效探测期间的单位时间(1 s)内的准确成像定位图片数量。

### 5.3.9 多核素成像能力

在 $\gamma$ 射线成像探测系统视野内前方不同方位角位置同时放置表3中的3枚不同能量的放射性核素点源,每一枚放射源在 $\gamma$ 射线成像探测系统位置的空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ,进行多核素成像能力试验,观察系统是否连续、稳定、准确地成像定位到视野中的目标核素数量及种类,测试时长应不少于1 min,记录试验测试结果。

### 5.3.10 抗干扰能力

如图6所示,将 $^{137}\text{Cs}\gamma$ 试验射线放射源放置于 $\gamma$ 射线成像探测系统前方参考位置处作为参考源,位置处的空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ,在 $\gamma$ 射线成像探测系统侧面 $90^\circ$ 处放置 $^{137}\text{Cs}$ 进行抗干扰能力试验测试。调整干扰 $\gamma$ 射线放射源与成像探测系统的距离,至成像探测系统无法对目标 $\gamma$ 射线放射源进行成像定位,记录此时干扰 $\gamma$ 射线放射源与成像探测系统的距离,并分别计算干扰放射源和目标放射源在成像探测系统处产生的剂量空气比释动能率 $K_b$ ,并根据公式(6)计算抗干扰能力 $S$ :

$$S = \frac{\dot{K}_b}{\dot{K}_a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中：

$S$  —— $\gamma$ 探测灵敏度；

$\dot{K}_a$  ——参考源在 $\gamma$ 射线成像探测系统位置的空气比释动能率；

$\dot{K}_b$  ——干扰源在 $\gamma$ 射线成像探测系统位置的空气比释动能率。

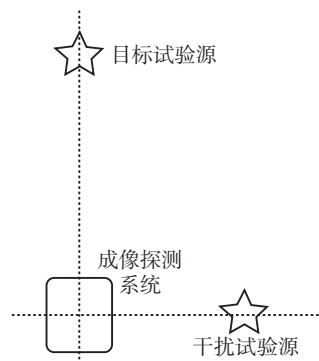


图6 抗干扰能力示意图

### 5.3.11 成像采集时间

将<sup>137</sup>Cs $\gamma$ 射线放射源放置于成像探测系统前方参考位置处,  $\gamma$ 射线成像探测系统位置的空气比释动能率 $\dot{K}_a$ 为 $30 \times (1 \pm 20\%) \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ , 并将试验源处于屏蔽状态, 解除 $\gamma$ 放射源的屏蔽并记录时刻为 $T_0$ , 将 $\gamma$ 射线成像探测系统准确成像的时刻记为 $T_1$ , 成像采集时间 $\delta T$ 见公式(7):

$$\delta T = T_1 - T_0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

$\delta T$ ——成像采集时间;

$T_0$ ——解除 $\gamma$ 放射源的屏蔽时刻;

$T_1$ —— $\gamma$ 射线成像探测系统准确成像的时刻。

### 5.3.12 辐射报警响应时间

将 $\gamma$ 射线成像探测系统放置于被屏蔽的 $\gamma$ 射线放射源正前方2 m处, 使探测器的有效探测区域正面对 $\gamma$ 射线放射源, 解除 $\gamma$ 射线放射源的屏蔽并记录时刻为 $t_0$ , 使用秒表记录解除 $\gamma$ 射线放射源屏蔽到 $\gamma$ 射线成像探测系统发出报警的时刻记为 $t_1$ , 辐射报警响应时间 $\delta t$ 见公式(8):

$$\delta t = t_1 - t_0 \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中:

$\delta t$ ——成像采集时间;

$t_0$ ——解除 $\gamma$ 放射源的屏蔽时刻;

$t_1$ —— $\gamma$ 射线成像探测系统发出报警的时刻。

参 考 文 献

- [1] GB 18871—2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
  - [2] GB/T 24246—2009 放射性物质与特殊核材料监测系统
  - [3] JJF 1035—2006 电离辐射计量术语与定义
  - [4] Gong K, Cherry SR, Qi J. On the assessment of spatial resolution of PET systems with iterative image reconstruction. *Phys Med Biol.* 2016 Mar 7;61(5):N193-202. doi:10.1088/0031-9155/61/5/N193.
-