

doi: 10.7690/bgzdh.2023.02.007

# 基于探测器相邻位置关系的联合测量和沾染区域划分

韩强, 任永, 侯鑫, 曹舟, 牛德青

(中国兵器装备集团自动化研究所有限公司智能测控事业部, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 针对物体表面  $\gamma$  放射性沾污测量, 提出基于探测器相邻位置关系的联合报警和污染区域划分方法。利用对物体测量时的探测数据, 包括测量计数、探测器的相邻位置关系等信息, 充分利用相关信息的关联性, 通过联合探测算法提高探测的灵敏度; 并根据报警探测器区域位置关系对存在污染的区域进行解析, 将存在污染的区域进行显示。结果表明: 该方法使污染显示更直观, 清污更有针对性。

**关键词:** 联合测量; 区域划分; 探测器

中图分类号: TJ99 文献标志码: A

## Joint Measurement and Contaminated Area Partition Based on Adjacent Position Relationship of Detector

Han Qiang, Ren Yong, Hou Xin, Cao Zhou, Niu Deqing

(Department of Intelligent Measurement and Control, Automation Research Institute Co., Ltd. of  
China South Industries, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** Aiming at the measurement of  $\gamma$  radioactive contamination on the surface of object, a method of joint alarm and contamination area division based on the adjacent position relationship of detectors is proposed. The detection sensitivity is improved by making full use of the relevance of the relevant information and the joint detection algorithm by using the detection data when measuring the object, including the measurement count, the adjacent position relationship of the detector and other information; and the polluted area is analyzed according to the position relationship of the alarm detector area, and the polluted area is displayed. The results show that the method makes the pollution display more intuitive and the decontamination more targeted.

**Keywords:** joint measurement; regional division; detector

## 0 引言

针对物体表面  $\gamma$  放射性沾染监测, 国外厂家主要有赛默飞世尔科技公司、Mirion、富士电机等, 国内厂家主要有中国兵器装备集团自动化研究所有限公司、山西中辐院等。国外厂家对核辐射监测技术研究较早, 在  $\gamma$  放射性沾染测量技术方面有着较为深厚的技术积累。

目前, 对表面  $\gamma$  放射性沾染监测, 多采用塑料闪烁体探测方式。Mirion 公司推出的物品监测仪采用数字化多道技术并进行污染点区域划分; 国内多采用单道技术, 对被测量物体是否污染进行测量, 对污染点区域划分技术研究还不够深入。

笔者从辐射测量原理出发, 对利用单道技术进行辐射测量联合报警原理与污染点的区域划分方法进行阐述。

## 1 联合测量算法

### 1.1 塑料闪烁体探测原理

塑料闪烁体探测器<sup>[1-3]</sup>由于其性价比高, 容易加工成不同大小和形状, 被广泛应用于辐射监测<sup>[4]</sup>。入射射线在闪烁体内损耗并沉积能量, 引起闪烁体中原子(或离子、分子)的电离激发, 之后受激粒子退激发出波长接近可见光的闪烁光子。闪烁光子通过光射入光电倍增管的光阴极并打出光电子, 光电子受打拿级之间强电场的作用加速运动并轰击下一打拿级, 打出更多光电子, 由此实现光电子的倍增, 直到最终到达阳极并在输出回路中产生电信号。

### 1.2 联合测量算法原理

在对物体表面  $\gamma$  放射性沾染测量过程中, 通常采用几个塑料闪烁体探测器围绕组成一个探测腔,

收稿日期: 2022-10-16; 修回日期: 2022-11-26

作者简介: 韩强(1986—), 男, 四川人, 硕士, 高级工程师, 从事核辐射监测应用技术研究。E-mail: hanqiang20044708@126.com。

将被测物体或物品放入其中进行物体表面  $\gamma$  放射性沾染测量。 $\gamma$  放射性物质具有  $4\pi$  角特性，其在围绕而成的探测腔内，对所有探测器均有一定的作用，只是由于放射源在探测腔内位置(几何)不同，其作用大小有所区别。探测器输出计数的统计分布  $m$  为泊松分布； $m$  较大时泊松分布可简化为高斯分布<sup>[5]</sup>。采用塑料闪烁体探测器，其计数一般都较大，统计特性服从高斯分布。由于各探测器为独立个体，可视为独立的高斯分布。依据 IEC61098 标准，单个探测器的探测限<sup>[6]</sup>为：

$$MDA = P(B/t + B/T)^{0.5} / \text{Eff}。$$

式中： $t$  为测量时间； $T$  为本底测量时间；Eff 为探测器探测效率； $B$  为探测器本底测量时间  $T$  内测量到的本底计数平均值。

由于各探测器统计特性服从独立的高斯分布，各探测器的组合也均服从高斯分布；因此，在塑料闪烁体探测器联合测量过程中，可进行数据联合处理。联合处理后的探测限：

$$MDA = P(B/t + B/T)^{0.5} / \text{Eff}。$$

式中： $t$  为测量时间； $T$  为本底测量时间；Eff 为联合探测器探测效率，即探测器效率之和； $B$  为联合探测器本底测量时间  $T$  内测量到的本底计数平均值，即联合探测器本底之和； $P$  为误报警率。

### 1.3 联合测量算法污染判断阈值

由于塑料闪烁体探测器的输出为泊松分布，因此其统计特性的均方根偏差  $\sigma = \sqrt{m}$ 。在输出计数较大时可简化为高斯分布，依据高斯分布的判断域，可得探测器污染判断域为  $R > k\sqrt{N}$ ，其中， $R$  为净计数， $N$  为本底值， $k$  为动态报警参数。联合报警即将联合的探测器作为一个独立探测器，即净计数相加与本底计数相加，然后再使用判断阈进行判断。

## 2 污染区域划分方法

### 2.1 测量探测器排布

测量探测器排布有其位置特性。如图 1 所示，最左面探测器编号为 1，上探测器编号为 2，右探测器编号为 3，下探测器编号为 4，前探测器编号为 5，后探测器编号为 6。

1) 2 个探测器相邻如下：

(1, 2), (1, 4), (1, 5), (1, 6), (2, 3), (2, 5), (2, 6), (3, 4), (3, 5), (3, 6), (4, 5), (4, 6)。

2) 3 个探测器相邻如下：

(1, 2, 5), (1, 2, 6), (1, 4, 5), (1, 4, 6), (2, 3, 5), (2, 3, 6), (3, 4, 5), (3, 4, 6)。

3) 4 个探测器相邻如下：

(1, 2, 4, 5), (1, 2, 4, 6), (1, 4, 5, 6), (2, 3, 4, 5), (2, 3, 4, 6), (3, 4, 5, 6)。

4) 5 个探测器相邻如下：

(2, 3, 4, 5, 6), (1, 3, 4, 5, 6), (1, 2, 4, 5, 6), (1, 2, 3, 5, 6), (1, 2, 3, 4, 6), (1, 2, 3, 4, 5)。

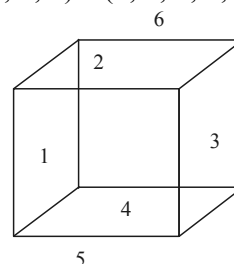


图 1 测量探测器排布

### 2.2 测量空间区域划分

当放射源靠近探测器 1，则在探测器 1 与探测器 3 效率相同条件下，对探测器 1 的作用大于对探测器 3 的作用，依此类推。将探测器组成的探测器内腔分为 8 个区域，如图 2 所示。

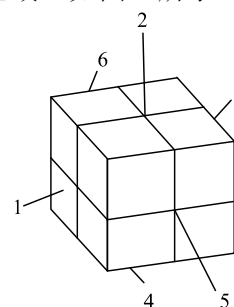


图 2 测量空间 8 区域划分

如上图所示，6 个探测器围绕形成探测腔：

1) 探测器编号分别为：1—6；

2) 各探测器的本底计数分别为： $N_1$ — $N_6$ ；

3) 放射源放在测量腔几何中心点，各探测器效率分别为： $\varepsilon_1$ — $\varepsilon_6$ ；

4) 在测量过程中，各探测器净计数为： $R_1$ — $R_6$ 。

### 2.3 联合报警工作原理

基于探测器相邻位置关系联合报警方法的工作原理：

1) 在对物体表面  $\gamma$  放射性沾染测量过程中，通常采用几个探测器围绕组成一个探测腔，将被测物体或物品放入其中进行物体表面  $\gamma$  放射性沾染测量。

2) 表面  $\gamma$  放射性沾染具有  $4\pi$  角特性，其在围

绕而成的探测腔内,对所有探测器均有一定的作用,只是由于放射源在探测腔内位置(几何)不同,其作用大小有所区别。

3) 探测器输出计数服从统计分布规律,当计数的数字期望值  $m$  较小时,服从泊松分布;当计数的数字期望值  $m$  较大时,服从高斯分布。本文中所涉及的探测器均采用塑料闪烁体探测器,塑料闪烁体探测器探测效率高,计数一般都较大,统计特性服从高斯分布。

4) 各探测器为独立个体,可视为独立的高斯分布。

5) 探测器的探测限:

$$MDA = P(B/t + B/T)^{0.5} / \text{Eff}。$$

式中:  $t$  为测量时间;  $T$  为本底测量时间; Eff 为探测器探测效率;  $B$  为探测器本底测量时间  $T$  内测量到的本底计数平均值;  $P$  为误报警率。

6) 由于各探测器统计特性服从独立的高斯分布,各探测器的组合均服从高斯分布<sup>[7]</sup>;因此,在计算探测器动态报警过程中,可进行数据联合处理。联合处理后:

$$MDA = P(B/t + B/T)^{0.5} / \text{Eff}。$$

式中:  $t$  为测量时间;  $T$  为本底测量时间; Eff 为联合探测器探测效率,即探测器效率之和;  $B$  为联合探测器本底测量时间  $T$  内测量到的本底计数平均值,即联合探测器本底之和;  $P$  为误报警率。

7) 探测器报警的判断阈为  $R > k\sqrt{N}$ , 其中,  $R$  为净计数,  $N$  为本底值,  $k$  为动态报警参数。联合报警即将联合的探测器作为一个独立的探测器,即净计数相加与本底计数相加,然后再使用判断阈进行判断。

8) 利用  $\gamma$  放射性与探测器的位置关系,离放射源距离远的探测器在测量过程中可能存在作用很小的情况,甚至不起作用,但是本底贡献大;因此,在使用数据过程中将测量值作用小的探测器予以排除,以提高探测器数据的利用率,降低探测限。

### 3 数据验证

本实施例的技术效果,将弱放射源放入测量腔,6个探测器的检测数据如下:

探测器 1 的本底计数为 610,净计数为 60;

探测器 2 的本底计数为 600,净计数为 55;

探测器 3 的本底计数为 605,净计数为 10;

探测器 4 的本底计数为 612,净计数为 15;

探测器 5 的本底计数为 607,净计数为 5;

探测器 6 的本底计数为 609,净计数为 4。

在动态报警参数  $k=3$ ,采用单个探测器和所有探测器联合数据处理方式,均检测不到沾污。但是采用 1 和 2 探测器联合数据处理方式,  $R_1+R_2 > 3\sqrt{N}$ , 即  $115 > 104.355$ , 其触发报警。1、2 探测器联合测量污染区域如图 3 所示。

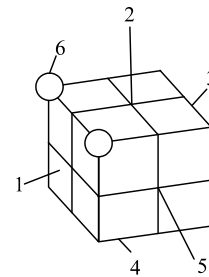


图 3 1、2 探测器联合测量污染区域

### 4 结束语

笔者在各探测器单独和所有探测器联合报警以外,加入探测器相邻位置关系维度,对相邻探测数据进行联合报警处理,对所有相邻探测器的组合进行处理,充分利用相邻探测器的组合进行动态联合处理,提高了设备探测灵敏度;并根据报警探测器区域位置关系对存在污染的区域进行解析,使得污染显示更直观,清污更有针对性。

### 参考文献:

- [1] 卢希庭. 原子核物理[M]. 北京: 原子能出版社, 2001: 73-79.
- [2] 姜英轩, 田焯, 孙侃, 等. 基于双探测器的水中放射性实时在线监测装置研制[J]. 兵工自动化, 2022, 41(12): 58-60.
- [3] 田华明, 于辉, 刘云飞. 一种基于 AI 机器人的海底探测网阵[J]. 兵工自动化, 2021, 40(9): 92-96.
- [4] 曹琳, 亢武, 储诚胜, 等. 大面积塑料闪烁体  $\gamma$  探测技术研究[J]. 核电子学与探测技术, 2009, 29(1): 52-54.
- [5] 汲长松. 核辐射探测器及其实验技术手册[M]. 北京: 原子能出版社, 1990: 538-539.
- [6] IEC 61098, Radiation protection instrumentation-Installed personnel surface contamination monitoring assemblies[S]. ES-AENOR, 2007.
- [7] 藤素珍, 冯敬海. 数理统计学[M]. 4 版. 大连: 大连理工大学出版社, 2005: 32-34.