

# 车辆通道式放射性检测系统的测试研究

张煜莉<sup>1,2</sup>, 汤彬<sup>1,2</sup>, 苏秀彬<sup>1</sup>, 张雄杰<sup>1</sup>, 瞿金辉<sup>1</sup>

(1. 东华理工大学, 南昌 330013; 2. 核资源与环境教育部重点实验室, 南昌 330013)

**摘要:**通过测试自主研发设计的一套自动化车辆通道式放射性检测报警系统的稳定性、本底计数变化以及结合报警算法测试研究了有源存在时系统是否发生报警。测试结果显示,在实验室条件下系统完全可以达到设计的性能要求。然而在实际应用时还会遇到一些问题,比如车辆通过时会对本底计数产生影响,本底计数至少要降低10%等情况,目前系统还在进一步的测试改进当中。

**关键词:**车辆通道式放射性检测系统;报警算法;测试方法;测试

**中图分类号:** TL 812 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-0934(2011)07-0831-04

废钢是钢铁冶炼的一个重要原料,到2010年我国废钢需求量将达到7000万吨以上,几乎是世界废钢贸易总量的一半。如果这些废钢中含有被放射性污染的废钢或者放射性物质甚至是屏蔽的源,经过炼钢炉的融化将会对钢厂造成严重的污染。影响工厂员工的健康,污染金属产品,带来严重的公众放射性污染等<sup>[1-3]</sup>。而传统的手持式 $\gamma$ 辐射检测仪的检测方式只能检测废料场表面部分的废钢,再加上其检测距离小和灵敏度偏低等情况,实际有效检测率很低,效果极不理想,存在着较大的安全隐患,因此这种传统的检测方式已经不能满足放射性监测工作的需要。

针对钢铁企业的废钢检测需求而自主研发设计出了一套自动化放射性检测报警系统。该系统采用大面积塑料闪烁晶体探测器,由现场嵌入式计算机系统以及全中文文化的后台数据管理计算机共同完成检测数据的快速处理和存储。系统可对货运通道车辆进行实时在线监

测,并自动发出辐射超限的声光报警。

## 1 车辆通道式放射性检测系统的结构及废钢放射性检测原理

### 1.1 车辆通道式放射性检测系统的结构

车辆通道式放射性检测系统主要包括两大部分:(1)入口检测器;(2)远程监控站。入口检测器探测和分析放射性射线,将探测到的计数(每0.1s采集一次计数)与预先设置的报警阈值实时进行比较,如果超过了报警阈值则产生声光报警。远程监控站收集入口检测器和其它系统组件(如车辆识别系统)的数据,向工作人员提供报警信息,存档报警数据,控制入口检测器的运行设置。图1给出了车辆通道式放射性检测系统的设计模型<sup>[4]</sup>。

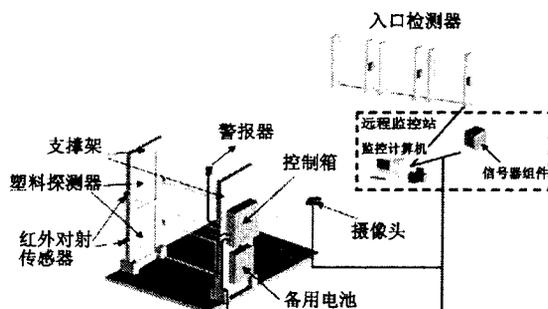


图1 车辆通道式放射性检测系统的设计模型

收稿日期:2011-01-11

基金项目:地球科学学部资助项目(41074078)。

作者简介:张煜莉(1986-),女,硕士研究生,从事核辐射探测技术与智能仪器研究。

## 1.2 放射性检测原理

放射性物质由于其不稳定性而发生衰变,发射的射线有 $\alpha$ 射线、 $\beta$ 射线和 $\gamma$ 射线,其中 $\alpha$ 、 $\beta$ 射线的电离能力强而穿透物质的能力弱,极易被物质屏蔽住,而 $\gamma$ 射线穿透物质能力强<sup>[5]</sup>,废钢中混有放射性物质时,检测系统一般只能检测出能发射 $\gamma$ 射线的放射性物质。

当射线进入到探测器内而打到塑料闪烁晶体时,原子被激发,在恢复到稳定态时发光。光子穿过闪烁体、光导,一部分到达光电倍增管的光阴极,在光阴极上打出光电子,光电子经过光电倍增管的倍增,便产生一个电脉冲信号,这些信号经过放大后再经过单道分析器,将能量窗以外的信号甄别掉。通过单道分析器后的信号再被转换成逻辑脉冲,然后被记录,其计数率与 $\gamma$ 射线的强度直接相关<sup>[6]</sup>。因此通过记录此脉冲信号的计数,实时与预先设置的报警阈值进行比较,超过阈值则立即发出声光报警,从而判断废钢中是否含有被放射性污染过的废钢或放射源。

## 2 报警算法

检测器运用了两种报警算法。采用基本的总计数率来确定通过检测器的车辆上是否含有被放射性污染过的废钢或放射源,每0.1 s采集一次计数,1 s为一个时间间隔,1 s后将累积采集的计数与预先收集的平均本底进行比较,在统计上是否有显著的变化。

总计数率是1 s时间间隔内探测到的所有 $\gamma$ 射线的计数:

$$\text{Gross Count rate} = \sum_{k=i}^{1000} S_k / \text{time}$$

对于1 024道的谱, $S_k$ 为谱中第k道对应的值,这里只用到了1 000道。

同样的,检测器第二种算法为能谱段比率法,设能谱任意一段范围内的总计数为:

$$\text{Sum}_j = \left( \sum_{k=\text{start},j}^{\text{end},j} S_k \right)$$

$$\text{Rate}_j = [\text{Sum}_j / \text{time}]$$

这里(start, end)表示能谱第j段的范围。

3种比率定义如下:

$$\text{ratio}_i = \left[ \text{Rate}_i / \sum_{j=1, i \neq j}^4 \text{Rate}_j \right] = \left[ \text{Sum}_i / \sum_{j=1, i \neq j}^4 \text{Sum}_j \right]$$

用来计算用户选择的感兴趣能谱段,因为

在能谱范围内所有的计数率、计数时间相同,于是可以直接用Sum取代。选择与放射源相关的能谱段,依次选取1,2和3非重叠的能谱段,第4段在前三段最高的道与1 023道之间任选一段。

检测器更新本底时,测量30 s本底计数,确定本底的平均值 $\bar{B}$ 和 $\bar{B}$ 的标准方差 $\sigma$ 。通过测量得到的总计数和3种比率,使用下面公式来设置四个警报阈值:

$$A = \bar{B} + N \cdot \sigma$$

N值对应于测量值的累积概率分布上的一点,与检测器的灵敏度和误报率有关。使用时选取合适的M值,在一个可接受的误报率情况下以得到可能的最好的灵敏度。

检测器警报阈值计算方法如下,对于一组M数据:

$$\bar{x} = (1/M) \cdot \sum_{j=1}^M x_j$$

标准差为:

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{j=1}^M (x_j - \bar{x})^2 / (M - 1)}$$

这里x对应总计数率或一种比率。

当任意一个比率或多个比率或总计数超过了阈值则立即响起声光警报,阈值确定公式如下:

$$\begin{aligned} & \text{gross rate alarm level} \\ & = \text{gross count rate}_{\text{background}} + n \cdot \sigma_{\text{gross count rate}} \end{aligned}$$

比率为:

$$\begin{aligned} & \text{ratio alarm level}_j \\ & = \text{ratio}_{\text{background } j} + n \cdot \sigma_{\text{ratio } j} \end{aligned}$$

## 3 车辆放射性检测系统的测试方法和结果分析

### 3.1 测试方法

本次系统测试采用一面探测器来进行,晶体尺寸为150 cm × 50 cm × 5 cm,晶体为国产。首先检测系统开机稳定性,系统从开机到稳定大约需要多少时间;其次检测系统开机运行稳定30 min,以确保系统采集本底数据基本稳定的条件下,收集5 min的本底数据,检验本底数据是否稳定;满足以上两个条件的基础上,使用活度为<sup>137</sup>Cs源来进行检测,在距离探测器表面大约5 m,离地面0.7 m平行步行携源快速通过探测通道,探测通道宽度为6 m,收集整个过

程的数据,运用两种算法分别分析废钢车辆放射性检测系统的整体性能。

### 3.2 测试结果分析

在硬件和软件正常的情况下,系统开机运行不到 10 min,系统计数就基本稳定,重复测试几次结果基本相同,稳定之后计数变化没有大的波动,说明系统开机稳定时间已经达到 IAEA 的标准<sup>[7]</sup>。

系统稳定运行之后,采集 5 min 的本底计数数据,采集更新本底时每 1 s 传输给中心控制计算机一个计数,收集整理数据得到前 250 s 的总本底计数率,如图 2 所示。从图中可以发现高低能段的本底计数率基本稳定,高低能段的相关性也很好,可以用于警报算法来进行检测。

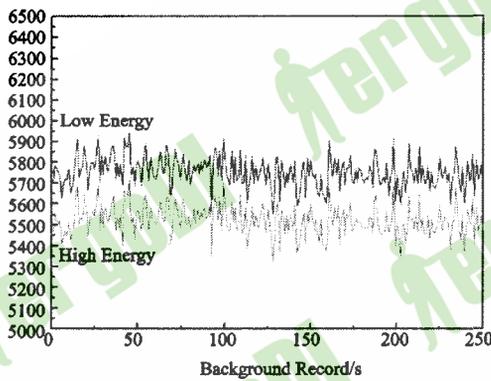


图 2 本底计数变化

在系统硬软件和本底计数比较稳定的情况下,使用<sup>137</sup>Cs 源来进行检测,在距离探测器表面大约 5 m,离地面 0.7 m 水平步行携源快速通过探测通道。探测通道宽度为 6 m,收集整个过程的数据,整理数据得到如图 3 所示。可以明显发现在 175 s 与 200 s 之间有一个较大的计数峰,远高于本底计数。

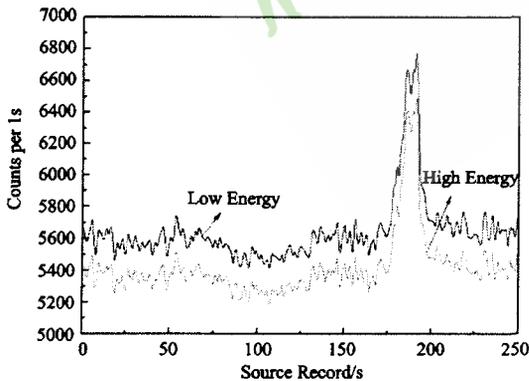


图 3 携源通过时的计数变化

首先,利用总计数报警算法计算。选取本底和有源存在时低能段 250 s 内的计数,计算得到本底低能段计数率的平均值为 5 753 (每 s),标准偏差为 73.5,通过选取不同的  $N$  值确定不同阈值,这里依次选取的  $N$  的为 3,4.5,5,10,45,如图 4 所示。图中可以发现只有  $N = 15$  时才会产生漏报,而其它  $N$  值都会产生辐射警报,说明有源存在。 $N$  值的大小与探测器的灵敏度、误报率和漏报率的大小有关, $N$  越大灵敏度降低,漏报率变大, $N$  越小灵敏度提高,误报率变大,漏报率减少。因此确定报警阈值选取合适  $N$  值,尽量提高灵敏度的同时减少误报率。我们选取的  $N$  值为 4.5,具体的灵敏度效果和误报率正在做进一步测试,目前测试结果为:活度为 1.2 MBq 的 5 cm 铅屏蔽的<sup>137</sup>Cs 源放入 3 m 长空载车辆正中,通过检测通道都会产生声光报警。同样我们采用高低能段比率算法,采用低能段比高能段,得到如图 5 所示。比率归一化之后可以发现也有一个很高的峰,说明有源存在。总之,结合两种算法可以完全达到系统的报警要求,得到较高的灵敏度和很低的误报率。

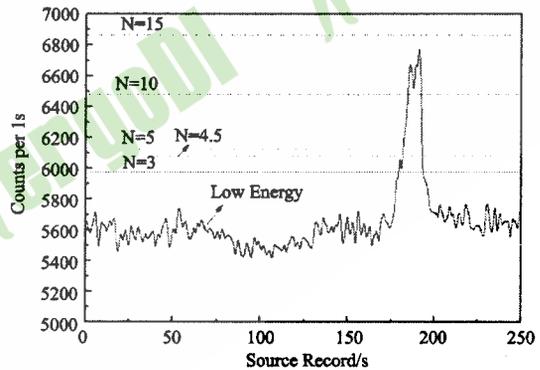


图 4 不同报警阈值的设置

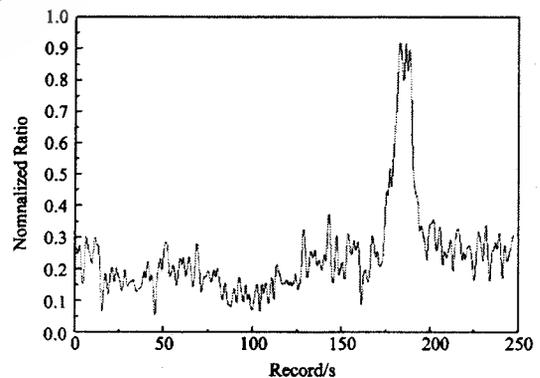


图 5 高低能段的比率变化

#### 4 结论

针对钢铁企业的废钢检测需求而自主研发设计出的一套自动化车辆通道式放射性检测报警系统,结合有效的报警算法,其基本性能已经达到可以探测到 5 cm 铅屏蔽的<sup>137</sup>Cs 源(活度为 1.2 MBq),其性能完全可以满足实际检测的应用。但实际测试的环境与实验室有很大的不同,同时车辆本身也会对探测器有影响,车辆通过检测道时本底计数至少降低 10%,为了更好地实现系统的实际应用,整个系统测试还要经过很多次测试和改进。

#### 参考文献:

- [1] E. R. Siciliano, J. H. Ely, R. T. Kouzes, et al. Comparison of PVT and NaI(Tl) scintillators for vehicle portal monitor applications[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2005, 550: 647 - 674.
- [2] F. Campi, A. A. Porta. Sensitivity tests and risk evaluation for steelworks portal systems[J]. Radiation Measurements, 2005, 39: 161 - 173.
- [3] James Ely, Richard Kouzes, John Schweppe, et al. The use of energy windowing to discriminate SNM from NORM in radiation portal monitors[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2006, 560: 373 - 387.
- [4] The Department of Homeland Security. Advanced Spectroscopic Portal (ASP) Performance Specification. USA, 2005.
- [5] 杨波, 刘义保, 顾金虎, 等. 蒙特卡罗方法对 TH2 PPL CT 屏蔽铅罐辐射防护的模拟分析[J]. 东华理工大学学报: 自然科学版, 2009, 32(1): 72 - 77.
- [6] 赵荣生, 张文良, 吕钊, 等. 人员出入口核材料检测装置的研制[J]. 原子能科学技术, 2005, 39(5): 455 - 457.
- [7] IAEA. Technical and Functional specifications for Border Monitoring Equipment[Z]. Vienna, 2006.

### Study on Testing of Radiation Vehicle Portal Monitor System

ZHANG Yu-li<sup>1,2</sup>, TANG Bin<sup>1,2</sup>, SU Xiu-bin<sup>1</sup>, ZHANG Xiong-jie<sup>1</sup>, QU Jin-hui<sup>1</sup>

(1. East China Institute of Technology, Nanchang, 330013, China,

2. Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, Ministry of Education, Nanchang, 330013, China)

**Abstract:** The tests have been done to study the independent designed automatic vehicle portal monitor system. Through testing the stability of the system, background count rate and also when there is a radiation source whether the system causes an alarm with alarm algorithms. The test results show that the system can achieve the design requirements on the conditions of the laboratory, even better. But it will encounter some actual problems in actual application, as the vehicle occupies the portal, background count rate can reduce the average baseline count by least 10% for vehicles. Currently the system is still in the tests for further improvement.

**Key words:** Radiation vehicle portal monitor system, Alarm algorithms, Test methods, Testing