

传送带小物品污染监测仪设计及性能测试

乔敏娟^{1,2} 任 熠^{1,2} 王建飞¹ 王 迪^{1,2} 张 菁^{1,2} 荆玥泓^{1,2} 刘 芸^{1,2}

1(山西中辐核仪器有限责任公司 太原 030006)

2(中国辐射防护研究院 太原 030006)

摘要 结合核电现场使用需求及对国外设备使用的反馈意见,设计一款基于传送带式的小物品放射性污染 γ 监测仪。采用半自动化的两路控制设计方案,一路通过电机驱动器控制传送带电机运行模式;另一路通过主控板对探测器数字电路以及相应电气件进行控制;污染监测与物品传送的联动则通过主控板与电机驱动控制器的关联来实现。使用原型样机对本底环境中仪器本底计数率、放射源位于测量腔体中心静止状态下的计数率以及放射源随传送带移动时腔的动态计数率进行测试及分析,结果表明:静止状态下,探测器最小净计数值为平均计数的81.6%;运动状态下,探测器最小峰值净计数值为峰值平均计数的89.3%,最低可探测限可以达到111 Bq,测试性能优于参考标准,满足设计要求。

关键词 传送带, γ 监测, 探测器, 探测限

中图分类号 TL8

DOI: 10.11889/j.0253-3219.2022.hjs.45.100403

A conveyor belt-based small article pollution monitoring instrument and performance test

QIAO Minjuan^{1,2} REN Yi^{1,2} WANG Jianfei¹ WANG Di^{1,2} ZHANG Jing^{1,2} JING Yuehong^{1,2} LIU Yun^{1,2}

1(Shanxi Zhongfu Nuclear Instruments Co. Ltd., Taiyuan 030006, China)

2(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan 030006, China)

Abstract [Background] At present, most of the contamination detection equipments for small items in domestic nuclear power plants are manually putting in and taking out the testing items, and the operation time is long and the steps are relatively tedious. According to the on-site demand of nuclear power and feedback on the use of similar imported equipment, contamination detection equipment based on the conveyor belt can effectively solve these drawbacks. [Purpose] This study aims to design a small item γ pollution measuring instrument that can be used to transmit items with a conveyor belt, hence effectively improve the detection efficiency and save the cost of manual operation. [Methods] Semi-automatic two-channel control design scheme was adopted, one through the motor driver to control the conveyor belt motor running mode, the other control the digital circuit of the radiation detector and the corresponding electrical parts through the main control board. Linkage of contamination monitoring status and item convey was achieved by the status control board associated with the motor drive. The background counting rate of the equipment in the background environment, the counting rate of the radioactive source at rest in the center of the measuring chamber and the dynamic counting rate of the radioactive source moving through the measuring chamber with the conveyor belt were tested and analyzed. [Results] The results show that the minimum net count value of the detector is 81.6% of the average count in the static state. The net value of the minimum peak value of the detector at motion state is 89.3% of the average peak count, and the minimum detectable limit is 111 Bq. [Conclusions] The test

第一作者: 乔敏娟, 女, 1987年出生, 2014年毕业于长春理工大学, 现为研究生, 现主要从事核仪器仪表研发等工作

收稿日期: 2022-06-09, 修回日期: 2022-07-28

First author: QIAO Minjuan, female, born in 1987, graduated from Changchun University of Science and Technology in 2014, master student, focusing on nuclear detection research and development of nuclear instrumentation

Received date: 2022-06-09, revised date: 2022-07-28

performance of prototype is better than the reference standard and meets the design requirements.

Key words Roller conveyor belt, Gamma radiation monitoring, Detector, Detection limit

目前,国内用于核电站出口处的小物品污染监测设备多是由工作人员手动将物品放入,测量完成后根据受污情况再手动取出备用或者去污处理,整个操作时间比较长,而且步骤也比较繁琐,无法实现快速测量。本次设计的传送带式小物品污染监测系统可以实现快速测量:工作人员将物品放入设备的传送带上,物品随着传送带进入测量腔中,无污染时,物品随着传送带继续传送到出口位置直接可以取走备用;有污染时,设备也可快速做出反应,传送带反向传送,将沾污物品传送到入口位置并提示去污处理。这种半自动化设计能有效缩短测量时间,节省人工操作步骤,防止污染扩散,同时也为相关移动监测设备的研究提供了一定的参考。

1 系统设计

传送带式小物品 γ 污染监测仪设备^[1-2]主要由 γ 探测模块、I/O控制板、电机及其驱动器^[3]、电气器件等组成,系统设计框图如图1所示。

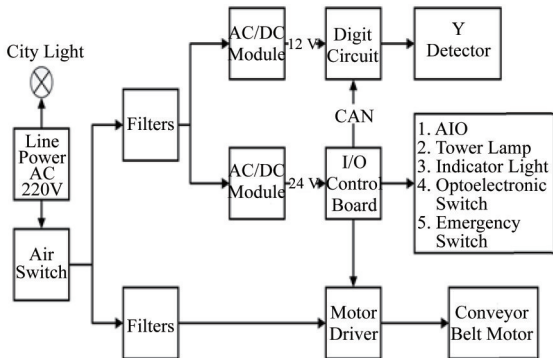


图1 硬件系统框图
Fig.1 Block diagram of hardware system

1.1 探测模块设计

探测模块主要由探测器和探测电路(数字道盒)^[2-4]构成,数字道盒功能为:射线粒子通过塑闪探测器产生的光经光电倍增管放大而产生脉冲信号,信号经两级放大电路后进入甄别电路将噪声过滤,过滤后的信号经过整形电路输出到单片机,这一过程完成了射线的探测测量。数字道盒选用负高压供电,探测器电路组成及结构设计框图如图2所示。

1.2 I/O控制板设计

控制板作为设备连接各组件与上位机枢纽,具有数据解析、信号控制^[5-6]、向上位机发送状态指令及各项数据参数等功能,I/O控制板性能的确可进

一步提高系统可靠性与稳定性,设计框图见图3。

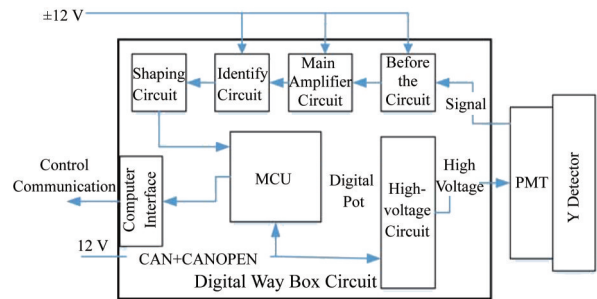


图2 探测器电路模块设计框图
Fig.2 Block diagram of detector circuit design

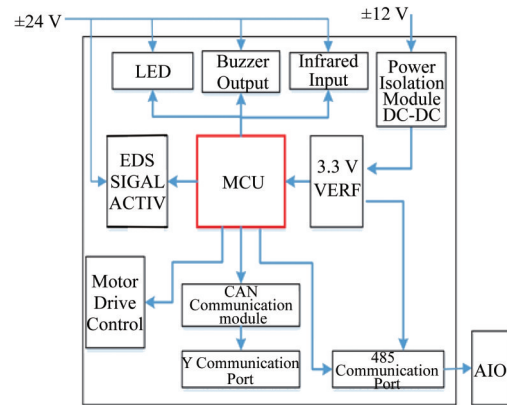


图3 I/O控制板设计框图
Fig.3 Block diagram of I/O control board design

控制板单片机选用高性能控制芯片,功耗低,可有效提高控制算法执行速度,同时输入输出均采用标准模块接线,输入接口有红外信号与应急信号;输出I/O信号为四路灯控信号与一路蜂鸣器输出信号;通过RS485接口与上位机通讯,接收传送一体机主程序指令;通过CAN总线与探测模块实时通讯,接收探测信号并进行数据处理;同时还有一路CAN^[7]总线与电机驱动控制器进行通讯来控制皮带电机运行^[4,8-9]情况,包括正转、反转、急停以及不同档位调节。

2 性能测试及分析

2.1 物理测试

参考相关行业标准^[10-12]中关于大面积表污监测设备以及移动传送设备等的测试要求进行相关测试。

2.2 本底测试

设备开机后预热 30 min 以上,设备表面无任何污染,周围 γ 辐射处于本底水平。通过设备监测界面监测设备的本底读数 10 次,计算本底平均计数率,测试结果见表 1。

表 1 本底测试数据
Table 1 Background test data

计数率 Counting rate / s^{-1}	数据 Data
1	750
2	743
3	746
4	755
5	745
6	749
7	745
8	748
9	747
10	751
平均值 Average rate / s^{-1}	748

2.3 设备随源不同位置响应变化

测试物品一般位于设备测量腔体中心进行测试,在测量腔体中两个探测器形成的探测灵敏区域内,以几何形状正中心 O 点建立一个虚拟测试平面模拟探测面,该平面到两个探测器的垂直距离相同,测试面与探测器探测场景模拟示意图见图 4,根据标准 EJ/T 1155—2002 中的测量要求采用 ^{60}Co 放射源对设备进行相应测试^[13-15]。

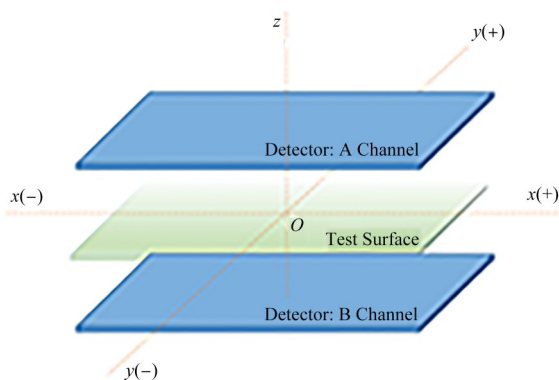


图 4 测试用探测场景模拟图
Fig.4 Simulation diagram of the probe scenario for testing

2.3.1 静态测试

设备静止状态下,在建立的虚拟测试平面上,以 O 点为坐标原点,分别沿着测试面的 $X(+)$ 、 $X(-)$ 、 $Y(+)$ 和 $Y(-)$ 方向,间隔 5 cm 设置测量点,测量点示意图见图 5。

将检验源 ^{60}Co 点源(活度为 $4.21 \times 10^4 \text{ Bq}$)随源架

依次放置在虚拟测试平面的各个测量点上进行测试,测试面测量点及净计数三维图如图 6 所示。

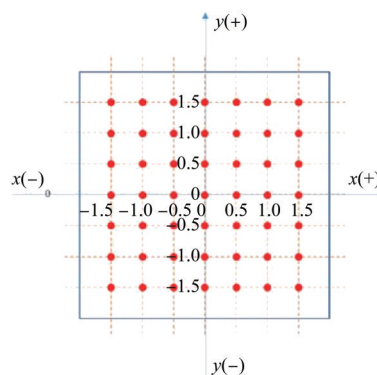


图 5 静止状态下测试平面测量点示意图
Fig.5 Schematic diagram of measuring points on the test plane at static state

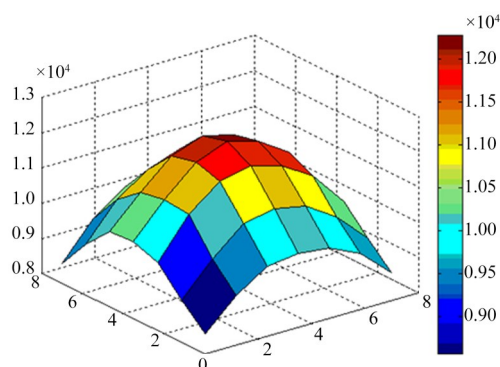


图 6 静止状态下测试平面不同测量点计数三维图
Fig.6 Three-dimensional graph of countings at different measuring points on the test plane at static state

测试数据分析可知,设备探测面边缘角处计数最小,中间位置计数最大,所有测量位置的净计数平均值为 $10\,497 \text{ s}^{-1}$,净计数最小值为 $8\,564 \text{ s}^{-1}$,最小读数为平均值的 81.6%。满足标准中“最小读数应至少为该平均值的 50%”要求。

2.3.2 动态测试

在建立的虚拟测试平面上,以传送带运行方向 X 轴为中心线,间隔 5 cm 设置条状带测量位置,动态状态测量示意图见图 7。

将待测试检验源置于源架上,依次放置在虚拟测试平面对应的条状带上,随着系统传送带以设定速度通过测量腔,记录监测系统读数。随着时间的变化(点源相对于探测器的位置变化)监测系统的计数产生变化,根据测试结果画出不同虚拟通道内设备计数响应与时间的变化关系曲线,见图 8。

如图 8 所示,物品移动过程中,监测系统的净计数随进入测量腔时间变化先增高后减小,符合探测实际过程。经过数据分析处理,监测系统峰值读数



图7 运动状态下测量带示意图

Fig.7 Schematic diagram of measuring band in motion state

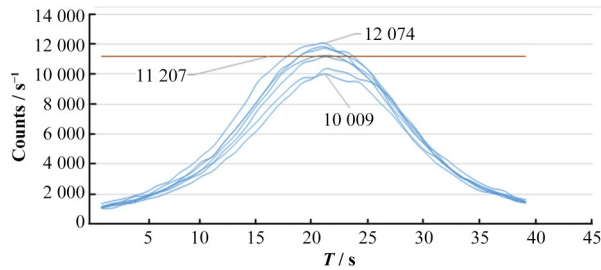


图8 运动状态下设备计数响应随时间变化曲线

Fig.8 Change curve of equipment counting response with time in motion state

的平均值为 $11\ 207\ \text{s}^{-1}$, 最小峰值读数为 $10\ 009\ \text{s}^{-1}$, 为平均值的 89.3%。最高峰值读数为 $12\ 074\ \text{s}^{-1}$, 平均值与最高峰值读数的比值为 92.8%, 满足标准中“最小峰值读数应至少为该平均值的 75%”。

2.4 探测限(最低可探测活度)

设备系统采用自动扣除本底的方式进行工作, 根据测量数据计算运动状态下的探测限, 采用标准 EJ/T 1155-2002 中的计算公式如下:

$$\text{MDA} = \frac{B_0 + P \sqrt{\frac{B}{t} + \frac{B}{T}}}{E} \quad (1)$$

式中: MDA (Minimum Detectable Activity) 为最低可探测活度; B 为本底计数率, s^{-1} ; B_0 为用已启动对存储的本底值进行更新所要求的本底变化, 此处 B_0 取值 10; P 为标准偏差数; t 为本底更新时间; T 为监测时间; E 为平均效率。

根据动态状态下所有条状带测试结果, 按照以下动态平均效率公式进行计算:

$$E = \frac{N_{\max} \times \bar{R}}{A \times R_{\max}} \quad (2)$$

式中: N_{\max} 为两个计数周期内最大计数的平均值, s^{-1} ; \bar{R} 为峰值读数平均值, s^{-1} ; A 为放射源活度, Bq ; R_{\max} 为峰值读数最大值, s^{-1} 。

根据本底测量结果, 本底平均值 B 为 $748\ \text{s}^{-1}$ 。本底更新时间 t 选值为 $100\ \text{s}$, 监测时间 T 为 $12\ \text{s}$ 。通过计算可知, 运动状态下, 按照 95% 置信度计算, 设

备的探测限(最小可探测活度)为 $111\ \text{Bq}$, 可达到国外同类产品的测量水平。

3 结语

本次设计的传送带式污染监测设备系统, 设计组装后, 按照标准要求对其静态以及动态下不同位置进行测试, 静态下测量腔体不同测量点测试数据最小计数为所有计数平均值的 81.6%, 优于标准要求; 动态下进入测量腔的不同道的峰值数据平均值与最大值比值为 92.8%, 优于标准要求。根据标准探测限计算公式测试, 计算得知其整机探测限比较低。综上所述, 整个设备性能稳定, 响应良好, 较低的探测限更好地提升了设备可靠性, 此次整个设备的完整设计实施实现了我国核电站辐射监测系统国产化的既定目标^[6]。

作者贡献声明 乔敏娟: 设备调研, 完成方案设计, 进行仪器性能测试及数据分析, 构思并撰写论文; 任熠、王建飞: 提供理论基础, 进行指导; 王迪: 参与实验具体测试及数据记录; 张菁、荆玥泓、刘芸: 资料收集及整理。

参考文献

- 张佳, 邓长明, 宋称心, 等. 地表污染监测仪的硬件设计[J]. 核电子学与探测技术, 2010, 30(8): 1111 - 1114. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2010.08.026. ZHANG Jia, DENG Changming, SONG Chengxin, et al. The design of floor contaminant monitor[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2010, 30(8): 1111 - 1114. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2010.08.026.
- 申小玲. 基于 PLC 的传送带控制系统设计[J]. 科技创新与应用, 2018(30): 86 - 88. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2945.2018.30.036. SHEN Xiaoling. The design of conveyor belt control system based on PLC[J]. Technology Innovation and Application, 2018(30): 86 - 88. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2945.2018.30.036.
- 杜向阳, 饶贤明, 韩淑萍, 等. GFM-II 型大面积 α 、 β 污染测量仪[J]. 核电子学与探测技术, 2002, 22(4): 357 - 359. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2002.04.021. DU Xiangyang, RAO Xianming, HAN Shuping, et al. GFM-II large area surface monitor for α/β contamination [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2002, 22(4): 357 - 359. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2002.04.021.

- 4 郭强, 任熠, 郭喜荣, 等. ZF-102S 工具污染监测仪的硬件设计[J]. 核电子学与探测技术, 2019, **39**(5): 573 - 577. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2019.05.006.
GUO Qiang, REN Yi, GUO Xirong, *et al.* Hardware design of ZF-102S tool contamination monitor[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2019, **39**(5): 573 - 577. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2019.05.006.
- 5 靳磊, 彭燕燕, 闫麟辉. 移动式 γ 辐射监测系统[J]. 电子技术, 2020, **49**(12): 18 - 19.
JIN Lei, PENG Yanyan, YAN Linhui. Study on mobile gamma radiation monitoring system[J]. Electronic Technology, 2020, **49**(12): 18 - 19.
- 6 黄博伦, 徐兵. 移动物体 γ 辐射污染监测系统设计[J]. 核电子学与探测技术, 2020, **40**(2): 303 - 308. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2020.02.020.
HUANG Bolun, XU Bing. Design of gamma radiation pollution monitoring system for mobile objects[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2020, **40**(2): 303 - 308. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2020.02.020.
- 7 余松科, 方方, 林宇, 等. γ 辐射监测智能节点设计[J]. 核电子学与探测技术, 2015, **35**(10): 1023 - 1025. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2015.10.018.
YU Songke, FANG Fang, LIN Yu, *et al.* Design on intelligent node of gamma radiation monitor[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2015, **35**(10): 1023 - 1025. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2015.10.018.
- 8 刘丕亮, 武金东. 基于图像处理的传送带监测系统设计[J]. 电工技术, 2021(20): 45 - 47. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2021.20.015.
LIU Piliang, WU Jindong. Design of conveyor belt monitoring system based on image processing[J]. The Electrotechnics, 2021(20): 45 - 47. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2021.20.015.
- 9 李雪峰, 庄健培, 高燕, 等. 一种机器人的传送带动态跟踪算法[J]. 机床与液压, 2021, **49**(17): 65 - 67. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3881.2021.17.011.
LI Xuefeng, ZHUANG Jianpei, GAO Yan, *et al.* A dynamic tracking algorithm of robot conveyor belt[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2021, **49**(17): 65 - 67. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3881.2021.17.011.
- 10 固定式X和 γ 辐射个人表面污染监测装置: EJ/T 709—2014[S]. 北京: 国家国防科技工业局, 2015.
Installed personnel surface contamination monitoring assemblies for X and gamma emitters: EJ/T 709—2014 [S]. Beijing: State Administration of Science, Technology and Industry for National Defence, 2015.
- 11 李忠良, 李晨, 曾国强. 移动式辐射监测平台及终端设计[J]. 核电子学与探测技术, 2013, **33**(7): 813 - 815. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2013.07.008.
LI Zhongliang, LI Chen, ZENG Guoqiang. The mobile radiation monitoring platform and terminal design[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2013, **33**(7): 813 - 815. DOI: 10.3969/j.issn.0258-0934.2013.07.008.
- 12 洗衣房用固定式放射性污染监测仪: EJ/T 1155—2002 [S]. 北京: 国防科学技术工业委员会, 2002.
Installed monitors for the detection of radioactive contamination of laundry: EJ/T 1155—2002[S]. Beijing: Commission of Science, 2002.
- 13 商洁, 杨柳, 韦应靖, 等. 固定式 γ 表面污染检测设备性能测试与分析[J]. 核电子学与探测技术, 2020, **40**(2): 200 - 204.
SHANG Jie, YANG Liu, WEI Yingjing, *et al.* The testing and analysis of installed γ personnel surface contamination monitoring assemblies[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2020, **40**(2): 200 - 204.
- 14 冯梅, 唐智辉, 韦应靖, 等. 通道式车辆放射性监测系统的性能测试研究[J]. 中国测试, 2021, **47**(S1): 193 - 198.
FENG Mei, TANG Zhihui, WEI Yingjing, *et al.* Performance test and study of channel vehicle radioactivity monitoring system[J]. China Measurement & Test, 2021, **47**(S1): 193 - 198.
- 15 韦应靖, 孟艳俊, 柯海鹏, 等. 国内常见的用于辐射防护监测的 γ 辐射监测仪性能评价[J]. 辐射防护, 2014, **34**(3): 162 - 167.
WEI Yingjing, MENG Yanjun, KE Haipeng, *et al.* Performance assessment of gamma-ray monitors for radiation protection monitoring in China[J]. Radiation Protection, 2014, **34**(3): 162 - 167.