

CNIC-01859

CAEP-0177

辐射监控门系统研制

储诚胜

(中国工程物理研究院核物理与化学研究所, 绵阳, 621900)

摘 要

辐射监控门系统采用功能模块的设计思路, 将整个系统设计为辐射探测模块、控制模块、机械模块和选用模块, 每个模块完成独立的功能。该系统有效集成了辐射检测技术和门禁控制技术, 是一种高灵敏度的出入口辐射检测设备, 有望为国家核安全事业提供技术支持。

关键词: 辐射监控 门禁控制技术 变异系数

The Design of Radiation Monitor Passageway System

(*In Chinese*)

CHU Chengsheng
(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, CAEP, Mianyang, 621900)

ABSTRACT

The Radiation Monitor Passageway System is designed as four modules, the radiation detection modules, the control modules, the mechanism modules and the optional modules. This system integrate the radiation detection technology and door ban control technology. It is a effective radiation monitor equipment with high detect sensitiveness, it will be hopeful devoted to national nuclear safeguard.

Key words: Radiation monitor, Door ban control technology, Coefficient of variation

引言

辐射监控门采用被动探测放射性物质发射的 γ 射线,对携带放射性物质(尤其是核材料)通过事件给出报警,是核材料库房出入口监控的重要技术产品。在此方面,国外开展了大量的研究工作,美国堪培拉公司开发了人员辐射检测系统,俄罗斯军方也开发了辐射监控门。国内中国原子能科学研究院也开发了相关产品^[1];中物院核物理与化学研究所将辐射检测报警技术与门禁控制技术有效结合,开发了新一代辐射监控门系统。以下简称系统。本文将对此系统进行介绍。

1 系统组成

系统采取功能模块的设计方法,将整个系统分为辐射探测模块、控制模块、机械模块和选用模块,如图1所示。其中辐射探测模块包括:探测器模块、供电模块和电子学模块;控制模块包括:门禁模块、处理模块和软件模块;选用模块包括:视屏监视模块和语音提示模块;机械模块包括:金属立柜、宽度调节机构。每个模块完成相对独立功能,模块化方法使得整个系统线路简单,易于故障排除,易于安装和维修。

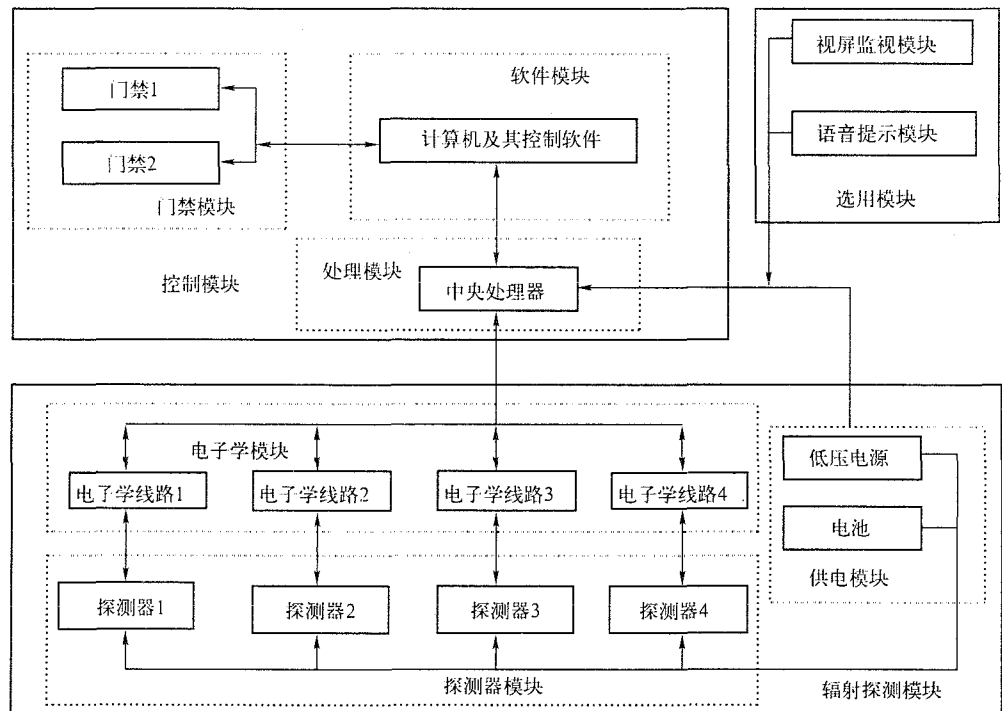


图1 系统逻辑关系图

图中没有画出机械模块,机械模块是用来放置控制模块之外其他模块的矩形金属立柜。

2 辐射探测模块

辐射探测模块主要实现监控区域辐射强度实时探测,将辐射信号变成电脉冲信号。

2.1 供电模块

供电模块由 UPS 电源和蓄电池组成。UPS 电源由朝阳电源厂设计加工,输入交流电压 220 V,输出三组 12 V 直流电压,同时留有一个 13.8 V 充电电压给蓄电池充电;总功率:60 W;纹波系数: $<1.0\%$;工作环境: $0\sim+50\text{ }^{\circ}\text{C}$;外形尺寸: $220\text{ mm}\times 120\text{ mm}\times 50\text{ mm}$,是一体化不间断稳压电源,带有备电输入和充电电压,它具有开关电源的诸多优点,交直流可实现零秒切换。蓄电池为德国生产的阳光牌胶体蓄电池,型号:A412/20G5,输出:12 V;容量: $20\text{ A}\cdot\text{h}$;外形尺寸: $145\text{ mm}\times 165\text{ mm}\times 175\text{ mm}$ 。

2.2 探测器模块

探测器模块由塑料闪烁体、光电倍增管、分压圈、前置放大器及相关固定件组成。

塑料闪烁体一共有四块,型号为 ST-401,由北京核仪器厂生产,在其周裹有防光层,在每个闪烁体两个短边的中间各留有一个透光窗口,用来连接两个光电倍增管,塑料闪烁体的相对发光效率为 40% ,其几何尺寸为 $50\text{ mm}\times 250\text{ mm}\times 1\ 000\text{ mm}$ 。

光电倍增管一共有八个,型号为 CR120,结构为盒栅型,能量响应范围: $300\sim 650\text{ nm}$ 。

分压圈、前置放大器和固定件由中国辐射防护研究院设计加工。

2.3 电子学模块

电子学模块由放大、成形、甄别及符合电路组成,主要功能是给四个光电倍增管提供高压,并对两个探测器的四路电脉冲信号进行放大、甄别,将每个探测器的两路信号符合后输出 5VTTL 电平。

辐射探测模块每路直流高压在 $200\sim 1\ 100\text{ V}$ 可调;最大输出电流为 1 mA ;高压最大电源纹波及噪声电压为: 30 mV ,稳定性 $\pm 0.03\%/h$;符合线路的符合时间在 $1\sim 3\ \mu\text{s}$ 可调;电子学模块外壳体积是: $(300\times 200\times 42)\text{ mm}^3$ 。

2.4 辐射探测模块的性能考核

将放射源放置于探测器表面中心位置测量其计数,求出了探测效率(见表 1)。测量时间: 10 s ; ^{137}Cs 源强度: 45 kBq ;甄别阈: 1 V 。

表 1 辐射探测模块符合计数及效率测试数据

探测器编号		测量计数					平均值	净计数	效率
1	本底	6 662	6 488	6 493	6 432	6 497	6 504	16 196	7.2%
		6 522	6 559	6 418	6 513	6 443			
	带源	22 700	22 927	22 614	22 868	22 038	22 699		
		22 690	22 900	22 962	22 757	22 531			
2	本底	6 099	5 973	6 180	6 117	6 153	6 126	14 588	6.5%
		6 060	6 187	6 187	6 080	6 223			
	带源	20 894	20 591	20 650	20 780	20 740	20 713		
		20 647	20 678	20 553	20 739	20 862			

续表

探测器编号		测量计数					平均值	净计数	效率
3	本底	6 324	6 376	6 272	6 176	6 297	本底	14 979	6.7%
		6 296	6 196	6 339	6 234	6 443			
	带源	21 109	21 142	21 294	21 226	22 038	带源		
		21 243	21 441	21 415	21 212	22 531			
4	本底	6 329	6 546	6 473	6 415	6 430	6 433	15 063	6.7%
		6 518	6 374	6 402	6 445	6 223			
	带源	21 460	21 443	21 276	21 846	20 740	21 496		
		21 591	21 455	21 571	21 272	20 862			

抽样考核了 4# 探测器运行 7 天的稳定性, 计算了其计数的变异系数。变异系数需多次测量求得, 测量对象为实验室环境本底。变异系数 V 按式(1)计算。

$$V = \left[\frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^K (N_i - \bar{N})^2 \right]^{1/2} / \bar{N} \quad (1)$$

式中: N_i ——第 i 次测量的净计数;

\bar{N} —— K 次测量的平均值。

对辐射探测模块的长期稳定性测试结果列于表 2。实验日期: 2005 年 10 月 12 日至 2005 年 10 月 18 日。

表 2 辐射探测模块长期稳定性测试

测量日期	符合本底计数										平均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10-12	4 974	4 937	5 099	5 150	5 009	5 094	5 130	5 107	5 118	5 125	5 074.3
10-13	5 010	5 084	5 135	5 076	4 957	5 052	4 945	5 011	4 972	5 248	5 049
10-14	5 015	5 077	5 081	5 059	5 071	5 147	4 951	5 062	4 994	5 168	5 062.5
10-15	5 088	5 171	5 181	5 130	5 216	5 092	5 160	5 156	5 186	4 924	5 130.4
10-16	5 226	5 241	5 129	5 251	5 269	5 246	5 188	5 213	5 145	5 234	5 214.2
10-17	5 001	5 123	5 192	5 072	5 115	5 109	5 069	5 105	5 060	5 134	5 098
10-18	5 262	5 285	5 233	5 201	5 298	5 270	5 277	5 245	5 199	5 278	5 254.8
平均值											5 126.17
变异系数											1.55%

由表 1 和表 2 可以看出, 该探测模块具有很高的探测效率, 并且其变异系数小于 5%, 该模块的长时间工作稳定性很高。

3 控制模块

控制模块主要完成对辐射数据的处理,对携带放射性通过事件报警,通过门禁系统对非法携带放射性通过人员进行扣留,此外还有身份识别、数据记录查看和测量参数设置等功能。

3.1 处理模块

处理模块功能是对从符合线路出来的脉冲进行计数,并对四路计数进行加和,然后将计数核对一定的关系式(报警判据),当关系式成立,就给出报警信号,并对各类数据进行存储,如图2所示。处理模块由单片机及其相应的软件组成,是辐射监控门系统的核心。

3.2 门禁模块

门禁模块使用简易门禁系统(即工业道闸),采用刷卡通过的原则。门禁模块的功能包括身份识别,对携带放射形物质通过的人员进行扣留。其工作流程如图3所示。

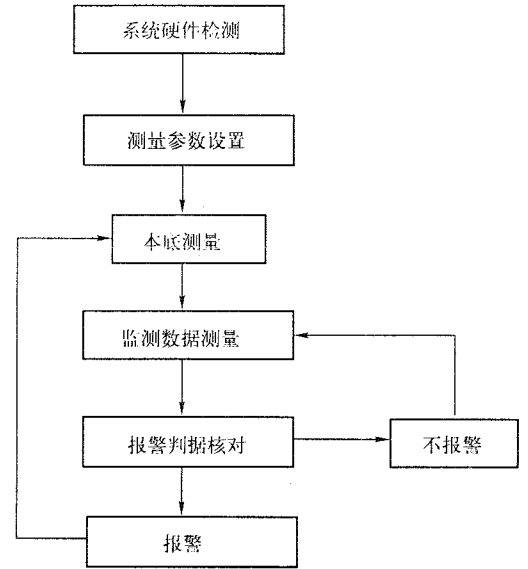


图2 处理模块的功能

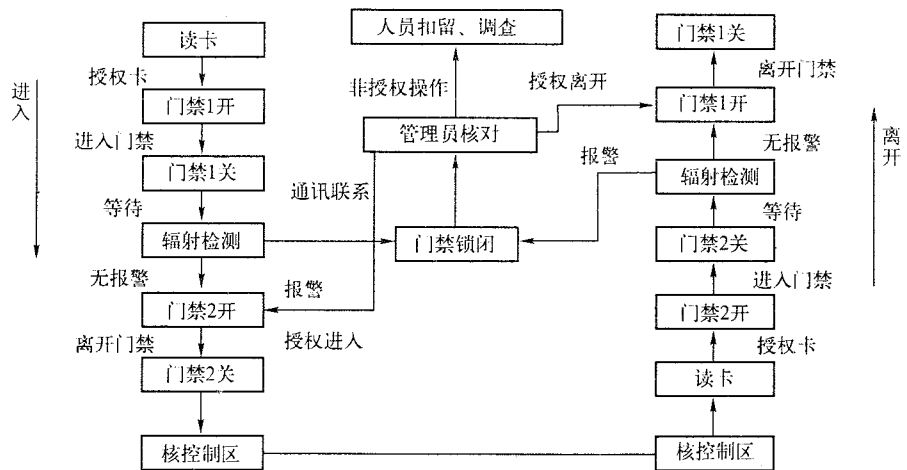


图3 门禁模块工作流程

3.3 软件模块

软件模块由计算机及其相应的软件组成,主要功能是实现门禁模块和处理模块的关联,在远端显示辐射监控门的工作状态,并对数据进行记录,以及辐射监控门各类参数的输入。软件界面如图4所示。

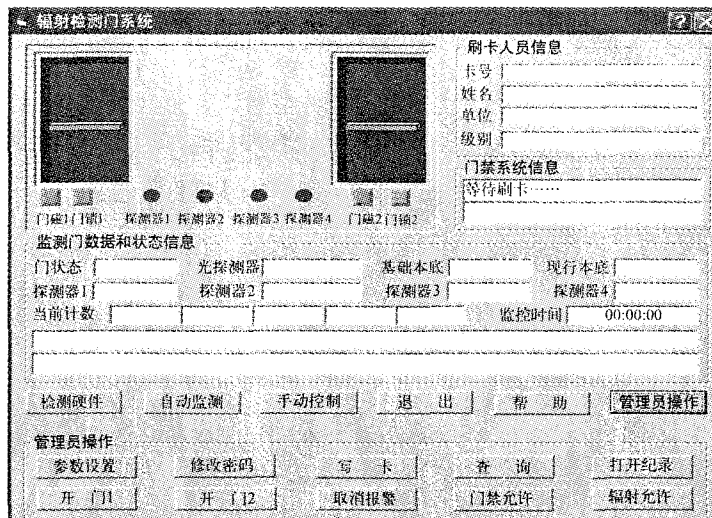


图 4 软件界面图

4 机械模块

机械模块的功能是放置除了软件模块和门禁模块之外其他模块的金属立柜,同时起一定的屏蔽作用。机械模块设计为宽度可调通过式门框结构,如图 5 所示。其高度为 2 300 mm,厚度为 150 mm,宽度在 1 000~2 000 mm 范围内可调,使得不同用户根据需要可以调节到不同的宽度。

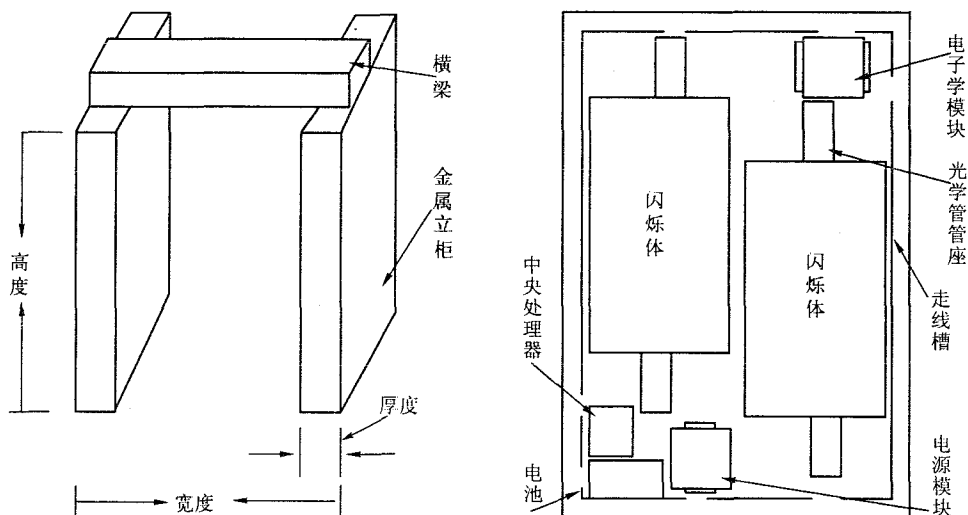


图 5 机械模块效果图

金属立柜内部探测器为上下错开布局,两面为互补布局,这样避免了探测死角,保证了探测灵敏度。此外,金属立柜内部安装有走线槽,使得内部线路明晰,同时每个走线槽均采

用高强度不锈钢材料,系统外观简洁大方、轻便耐压。

5 选用模块

为了提高出入口辐射监控的可靠性,增加了视屏监视模块;为了提高系统的操作友好性,增加了语音提示模块。这两个模块都是可选用的。

5.1 视屏监视模块

为了实时的监视人员通过的情形,并对通过人员进行照片记录,在新一代辐射监控门中增加了高清晰数码摄像机,当物体进入到监控区时,系统就启动视屏监视。

5.2 语音提示模块

为了让使用人员在没有培训的情形下能正常使用该系统,专门设计了语音提示模块,提示使用人员什么时刻该怎样正确操作,当出现误操作的时候,提示使用人员如何更正。

6 系统的关键技术

开发了专门的简易门禁系统,实现了对进入人员的身份识别和非法携带放射性物质通过人员的扣留;

采用了更大面积的探测器,提高了探测灵敏度;

采用了高电量电池,在断电情形下,延长了系统运行时间;

采取了互补的探测器布局,避免了探测盲点,提高了探测灵敏度;

使用了符合计数技术,采取了组合报警判据,有望降低虚警率和提高探测灵敏度;

使用了功能模块的设计思路,使得系统在维护和操作上更为友好;

增加了语音提示系统,提高了人机友好;

增加了视屏监视,实现了人员的照片记录,提高了可靠性。

7 结 论

新一代辐射监控门系统有着广泛的应用前景,可以用于核材料库、机场、港口、车站、海关等部门,防止核材料的转移、失窃、非法携带和走私等。

该技术已进入国家工程中心开发项目,有望通过进一步优化,为国家核安全事业发挥积极作用。

参 考 文 献

- 1 赵荣生,张文良,吕钊. 人员出入口核材料检测装置的研制. 原子能科学技术, 2005, 39(5): 458