

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.09.023

# 我国核电站控制区出入监测与剂量管理系统

杨素<sup>1</sup>, 韩美香<sup>2</sup>, 刘伟<sup>1</sup>, 孙洪兵<sup>3</sup>(1. 中国兵器工业第五八研究所智能检测事业部, 四川 绵阳 621000; 2. 山西北方机械制造有限公司, 太原 030009;  
3. 云南昆船电子设备有限公司, 昆明 650236)

**摘要:** 为有效确保核电站核设施设备的安全运行和人员健康, 对我国核电站控制区出入监测与剂量管理系统(control area access monitoring, KZC)产品进行研究。介绍 KZC 的功能、系统组成、市场需求、国产化研发现状和核电站应用, 提出自主研发适应我国需要的核辐射监测设备的 4 条途径。该研究可为我国 KZC 的发展提供参考。

**关键词:** 监测系统; 核电站控制区; 研发思路; 剂量管理

**中图分类号:** TJ06 **文献标志码:** A

## Nuclear Power Plant Control Area Access Monitoring and Dose Management System in China

Yang Su<sup>1</sup>, Han Meixiang<sup>2</sup>, Liu Wei<sup>1</sup>, Sun Hongbing<sup>3</sup>(1. Dept. of Intelligent Detection, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China;  
2. Shanxi North Machine Building Co., Ltd., Taiyuan 030009, China;  
3. Yunnan Kunming Shipbuilding Electronic Equipment Co., Ltd., Kunming 650236, China)

**Abstract:** In order to insure the safe operation and personnel healthy nuclear power plant is facilities, it is necessary to research the products of nuclear power plant control area access monitoring system in China. This paper introduces KZC functions, system components, market demand, research and development (R&D) status in China and applications in Chinese NPP, and then the paper present 4 ways to research radiation monitoring equipment to fit the Chinese needs by ourselves independently. The study may provide a preference for domestic KZC development.

**Key words:** monitoring system; nuclear power plant control area; R&D; dose management

### 0 引言

随着我国矿石能源紧缺的矛盾日益突出, 核能发电产业迎来了前所未有的发展机遇。由于核能发电将伴随放射性物质的产生, 有可能危及人身健康和设备安全, 使得核电站控制区出入监测与剂量管理系统(control area access monitoring, KZC)成为核电站辐射监测系统的重要组成部分。KZC 是核电站辐射监测系统的分系统, 融合了核电子学及核探测技术、核物理、自动控制技术、传感器技术、机械设计、计算机及网络等技术。随着核电技术的引进、消化和创新, 国产控制区出入监测设备的研制取得了骄人成绩, 取代了进口设备的垄断地位, 但由于基础薄弱, 尚未实现系列化。因此, 笔者对我国 KZC 进行研究, 以确保人员及设备安全, 保证核电站安全可靠运行。

### 1 应用背景

从 20 世纪 80 年代引进核电技术起, 我国现已建成浙江秦山、广东深圳大亚湾和江苏田湾 3 大核电基地。截止 2011 年 9 月建成并运行的核电机组达

14 台(秦山 1 期 1 台、秦山 2 期 3 台、秦山 3 期 2 台、大亚湾 2 台、田湾 2 台、岭澳 1 期 2 台、岭澳 2 期 2 台), 装机容量达  $1.189 \times 10^7$  kW。实现了从无到有, 从小到大, 从大到强的核电强国发展之路。

根据我国 2007 年出台的《核电中长期发展规划》, 到 2020 年全国投入运行核电机组要达到  $4 \times 10^7$  kW, 并有  $1.8 \times 10^7$  kW 在建项目结转至 2020 年以后续建, 核电装机容量占全部电力装机容量的比重从不到 2% 提高到 4%, 核电年发电量达到  $(2.6 \sim 2.8) \times 10^{11}$  kWh, 2010 年国家对于核电发展规划作出调整: 到 2020 年国家投入的核电装机容量提高到  $7.5 \times 10^7$  kW, 届时, 核电装机容量占全国电力装机容量的比重达 5%。

虽然自日本福岛核电事故以来, 反对建设核电站的声音愈发强烈, 但中国核电的安全性和发展规划得到国家党和政府高度重视, 大力发展核电是我国不可逆转的趋势。从核电建设投资来看, 最大的直接费用就是仪器设备费用, 约占总投资的 50%, 核辐射检测设备及仪器又是其中的重要部分。

我国已建成的核电站中, 主要核辐射监测设备

收稿日期: 2012-04-19; 修回日期: 2012-05-03

作者简介: 杨素(1970—), 男, 四川人, 高级工程师, 从事测控技术、通讯技术及应用电子技术研究。

还是依靠从国外先进企业进口, 如法国 MGP 公司、芬兰 RADOS 公司, 美国热电等, 而核电站一旦采用进口设备, 在配套设备的采用以及后期的维护保养中, 往往必须采用同一厂家的备件, 不仅建设成本高, 安装、维护周期长, 而且不利我国核电产业的快速发展。因此, 国家对核电项目的国产化提出了要求, 如岭澳二期设备国产化比例达 64%。

## 2 研发现状

随着信息处理技术、微电子技术、自动控制技

术的快速发展, 以及新工艺、新材料和新器件的不断涌现, 控制区出入监测设备从早期的单纯引进, 消化吸收开发出半自动、模拟表设备, 发展到系列化、全自动、数字化、智能化和网络化监测设备。

### 2.1 系统化检测设备

KZC 包括控制区出入检测与控制系统和剂量管理系统。下面以深圳大亚湾岭澳一期核电站装备的 KZC 系统为例, 简介其系统构成及网络拓扑结构, 如表 1 和图 1 所示。

表 1 KZC 系统配置表

岭澳一期 KZC 系统			中国兵器工业第五八研究所研制的 KZC 设备	
设备名称	型号	数量	生产厂家	名称
C1 门		20	法国 MGP	全身 $\gamma$ 污染检测仪
C2 门		16	法国 MGP	全身 $\beta$ 污染检测仪
旋转门		10	意大利 GUNNEBAO	
个人剂量读出器	LDM2000	23	法国 MGP	个人剂量读出器
个人剂量计	DMC2000	860	法国 MGP	个人剂量计
剂量管理软件	DOSIVIEW		法国 MGP	KZC 集群管理软件
衣物分拣机	LM21	4	法国 MGP	衣物放射性污染检测分拣仪
移动物体检测器	CGV、CGP	24	法国 MGP	人员 $\gamma$ 污染检测仪
移动物体检测器	CSM	14	法国 MGP	车辆 $\gamma$ 污染检测仪
工具污染检测仪	CPO	7	法国 MGP	小物品污染检测仪

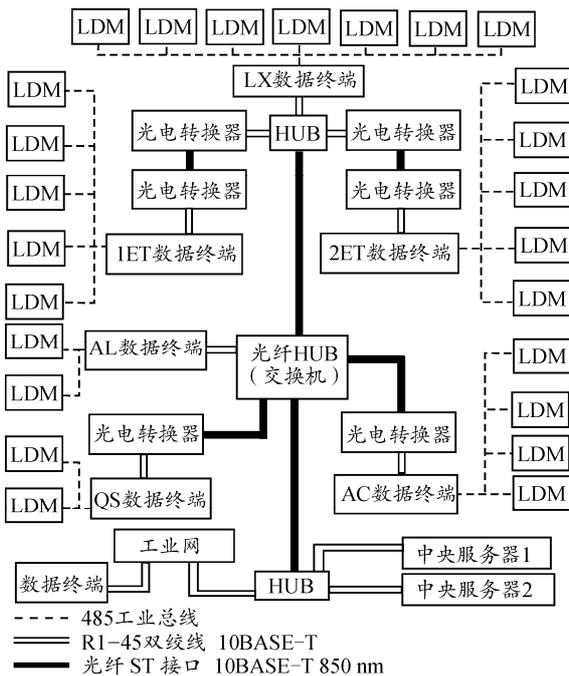


图 1 岭澳一期核电站 KZC 系统网络拓扑结构

KZC 由全身  $\gamma$  污染监测仪 (C1 门)、全身  $\beta$  污染监测仪 (C2 门)、人员  $\gamma$  污染监测仪 (CGP)、车辆  $\gamma$  污染监测仪 (CGV)、衣物放射性污染检测分拣仪、小物品污染检测仪 (CPO)、手足污染检测仪、剂量读出器、个人剂量计、旋转门、传输通讯设备及网络, 中央处理计算机及相关软件等组成, 可实现控制区进出管理、个人剂量管理、个人剂量限制控制、核电站厂区最后一道辐射监测屏障 4 大功能。

其中: C1 门和 C2 门具有检测和控制功能, 超过阈值必须去污处理, 直到安全阈值之下方能通过; CPO 用于检测使用过工具, CGP 和 CGV 检测通过的人员及车辆, 具有检测与预警功能, 超阈值声光报警提示; 衣物放射性污染检测分拣仪用于检测控制区工作人员穿戴的衣物鞋帽等, 洗涤前后分别检查, 以利于分别处理和重复使用。

如图 2 所示, 剂量管理系统由个人剂量计、剂量读出器、读卡器、全身  $\beta$  污染监测仪 (C2 门)、旋转门、剂量管理软件及计算机、通讯网络构成, 读卡器安装在进入控制区入口, 与旋转门配合进行身份识别和登记, 剂量读出器安装在 C2 门内, 读取个人剂量上传至管理计算机, 实现对进出控制区人员进行剂量管理, 避免超剂量工作, 有效保护工作人员身体健康。

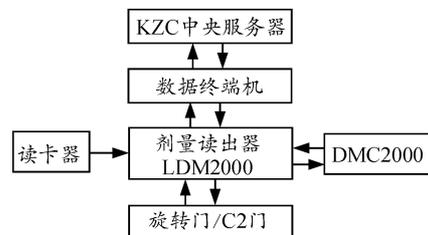


图 2 剂量管理系统原理图

### 2.2 国内主要研制单位

我国目前从事核辐射监测设备的研究单位主要有北京核仪器厂、西安核仪器厂、上海电子仪器厂、中国辐射防护研究院、中山大学和中国兵器工业第

五八研究所等单位。其中西安核仪器厂主要从事 KRT 辐射检测设备, 中国兵器工业第五八研究所与 XX 防化研究所联合研制了 KZC 辐射监测系列设备及便携式仪表, 中国辐射防护研究院从事 KZC 系统的个人剂量计和剂量管理系统、防护设备及便携式仪表的研究。

目前, 国产 KZC 产品的品种已趋于完善和系列化。中国兵器工业第五八研究所联合 XX 防化研究院, 经过多年的研究和持续改进, 已经形成 KZC 系列化产品(如图 3), 包括 NGM-11 全身  $\gamma$  污染监测仪, NBM-11 全身  $\beta$  污染监测仪、NLM-11 衣物放射性污染检测分拣仪、NTM-11 小物品污染检测仪、NPM-11 人员  $\gamma$  污染监测仪、NVM-11 车辆  $\gamma$  污染监测仪、核电站辐射监测软件、剂量管理系统软件和系统集群管理软件等, 还研制了 NAM-11 区域  $\gamma$  计量率报警仪、NHM-11 手足污染检测仪等便携式仪表, 具备了核辐射监测系统集成能力。中国兵器工业第五八研究所研制的系列化的 KZC 产品, 已先后中标大亚湾核电站、岭澳二期核电站、中广核和中核在建核电站(辽宁红沿河核电站、福建宁德核电站、广东阳江核电站、方家山核电站、福青核电站、海南昌江、中核四零四厂)的 KZC 标段。



图 3 中国兵器工业第五八研究所研制的 KZC 系列产品

### 2.3 主要部件

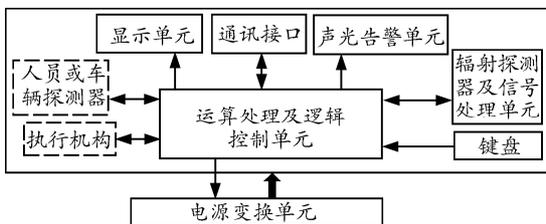


图 4 KZC 原理示意图

控制区出入监测系统各设备的构成和工作原理基本相同。如图 4 所示, KZC 主要有辐射探测器、微弱信号处理电路、通讯接口、电源变换器、键盘及显示、声光告警、运算处理及逻辑控制单元等, 实现核辐射探测、剂量管理、通道控制及声光告警

提示等功能, C1 门、C2 门和衣物放射性污染检测分拣仪含有运动执行机构, 全身  $\gamma$  污染监测仪、全身  $\beta$  污染监测仪、人员  $\gamma$  污染监测仪和车辆  $\gamma$  污染监测仪含有人员或车辆探测器, 可快速、有效、无损地对通过的行人或车辆进行放射性检测。

#### 2.3.1 辐射探测器

核辐射探测器的性能指标决定核辐射监测设备的性能指标, 采用先进生产工艺生产的核辐射探测器, 结合补偿技术和自检等, 可以有效保证监测设备的优良性能。

核辐射探测器从早期的气体探测器、晶体探测器, 发展到闪烁体探测器以及各种半导体探测器, 特别是最近研制的硅探测器、化合物半导体探测器, 高纯锗与硅(锂)探测器。由于采用新工艺和新材料, 探测器的尺寸将会越来越小, 探测面积越来越大, 铅屏蔽可以去除, 有利于集成在核辐射监测设备中, 可以通过电测试、光测试、探测器内置源等多种方法对探测器性能进行检查。中国兵器工业第五八研究所研制的 KZC 设备采用先进工艺生产的新型塑料闪烁体, 具有探测面积大和灵敏度高性能。

#### 2.3.2 信号处理和显示

微弱信号放大电路随着微电子技术及大规模集成电路的发展而快速发展, 研制专用的数据采集模块, 内置了核辐射测量分析方法: 幅度比较法、分段比较法、向量投影法、最佳滤波法和频域分析等, 其功耗低、体积小, 集成了自动增益控制电路和自动电压调节电路, 稳定可靠, 并提高了测量精度。

数据处理单元根据内置的辐射剂量(率)算法将辐射探测器输出的模拟信号转换为可显示的剂量(率), 不同探测器采用不同算法, 处理输出的剂量(率)数据进行存储和比较, 产生历史数据和历史事件, 超出阈值进行声光告警提示和进出控制。

处理显示单元具有优良的电磁兼容性, 内部采用了嵌入式工控机, 大规模可编程逻辑器件及表面贴装元件, 构建了各独立功能板件, 提高了设备部件的标准化、模块化和数字化, 便于维护和替换。

#### 2.3.3 声光告警和执行机构

声光告警功能是监测设备的重要功能, 测量值超过规定限值时及时提示监测人员, 便于及时处理, 保护人员及设备。

对于 C1 门和 C2 门, 执行机构是监测设备的进出通道门打开和关闭控制; 对于衣物放射性污染检测分拣仪, 执行机构采用主传送带和辅助传送带正

反运动控制,依据测量信息执行相应运动控制。在大亚湾核电站运行的C1门采用气动执行机构,C2门采用电动执行机构,衣物分拣机含有电动和气动执行机构,中国兵器工业第五八研究所研制的监测设备采用电动执行机构。

#### 2.4 辐射剂量算法及应用软件

辐射剂量算法根据不同探测器采用不同的计算方法。通过对信号处理单元的内部存储器写入不同的算法,可适用于不同的应用和监测对象。每种算法都有一些共同特征,如计数死时间的动态修正、本底的静态或动态补偿、数据平滑功能等。

系统应用软件包括数据采集和管理、维护和设置等,通过他们实现监测设备测量数据和状态监视、设备维护和设置。

### 3 加快KZC产品的研发途径

经过近30年的发展,虽然国产KZC产品填补了国内不少空白,个别技术达到甚至超过国际先进水平,但总体水平尚待提高,尤其在产品覆盖面和标准化程度等方面仍有较大差距,需要国内各企业在国家政策支持下,整合资源,大胆创新,不断提升产品性能。主要途径包括:

#### 1) 国家加大投资力度,大力发展基础科研。

核辐射探测技术是一项技术含量较高的技术,投入经费高,周期长,一般的研究单位靠自身实力无法承担,只有在政府强大的政策和雄厚的财政支持下才能顺利进行。在强大的资金支持下,从事基础科研的单位才能有效组织和深入研发,并制定相应的激励保障机制,鼓励科研人员从事基础研究,从而保障核电站核辐射设备仪器的整体发展。

#### 2) 制定标准,统筹规范行业发展。

我国3个核电基地的核监测设备主要从国外进口,其产品标准不统一,不适应我国核仪器行业和核电站的总体发展。各研制单位应从核电站运营管理、个人剂量管理和核辐射监测标准为立足点,联合国内核电工程建设公司、核电运营管理公司和行业协会各成员单位,尽快建立核辐射监测与剂量管理的行业标准,特别是针对核电站辐射监测设备的通讯协议、控制流程和剂量管理等方面制定相应的国内行业标准,打破国外行业标准(协议)的制约和垄断,才能有效激发国内自主创新能力的发挥。

#### 3) 加强产学研及单位间交流合作,联合攻关。

辐射监测设备从研发到应用,需要较多的资源和平台,仅凭企业自身的微薄力量,不能快速有效地开展辐射监测设备的研制。故有必要加强科研机

构、制造企业和使用单位间的联系合作,积极开展行业间交流和需求调研,联合攻克技术难点,开发出满足市场需求的产品,实现资源共享,互惠双赢。

#### 4) 引进先进技术,消化吸收,强化自主创新。

从提高产品的国际竞争力出发,科学选择,有针对性(如大面积高灵敏探测器技术、半导体探测器技术)地引进技术,再经过引进技术的消化、吸收和有效扩散,缩短与发达国家的技术差距,研制生产出高质量的产品,在此基础上进一步提高产品的国际竞争力,对消化吸收后的技术进行创新,最终实现对发达国家技术水平的赶超。在技术引进的诸环节中,消化吸收是实现技术引进良性发展的关键环节,也是实现对发达国家技术赶超的关键环节,引进国外技术只是为缩小我国与发达国家技术差距提供了可能性,要将这种可能性变为现实性,就必须高度重视引进技术的消化吸收与自主创新工作。

通过引进消化、合作创新等途径,开发新技术,研制新装备,攻克核监测设备的重点与难点问题,把理论创新的研究成果转化为实际的生产力,从而推动产品的自主创新。同时要注重软件、硬件统筹兼顾、协调发展,遵照行业标准加快辐射监测系统软件的自主研发,并通过技术创新持续改进,为国内核电建设项目提供优质的成套设备、管理软件和服务保障。

#### 5) 拓展市场,有力推动应用实践。

加强市场调研,拓展与航天、核电、环保、海关以及反恐等领域的技术交流与合作,将核电站辐射监测设备技术延伸于其领域,扩大应用范围。只有从产品功能、产品质量、生产成本、服务保障等方面入手,努力提高产品的市场竞争力,加快设备的研制生产和升级换代速度,才能不断适应市场发展的需求。

### 4 结束语

在国家政策大力支持下,只要核监测设备研制单位密切协作,立足自主研发和自主创新,通过产学研结合及对外技术交流,就能较快实现国产控制区出入系统的跨越式发展。

#### 参考文献:

- [1] 李德平,潘自强.辐射防护监测技术[M].北京:原子能出版社,1998.
- [2] 凌球.核电站辐射测量技术[M].北京:原子能出版社,2001.
- [3] MGP INSTRUMENTS. RAMSYS Radiation Monitoring[G]. France: MGP INSTRUMENTS 2007.
- [4] 丁洪林.核辐射探测器[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2010.