

工业电视系统在核电厂中的应用与设计方案

详细论述了核电厂工业电视系统组成和在国内某项目中的功能与设置原则，并对核电厂中工业电视系统设计要求、设计方案进行了介绍，总结分析了本项目设计方案的特点、优缺点，并指出不足，为后续新建核电项目工业电视系统的设计提供参考。

杨利彪 杨 扬/中国核电工程有限公司

0 引言

工业电视系统（CCTV）在核电厂中能实时、形象和真实地监控运行人员无法直接到达的一些重要场所，并成为核电厂管理中一种极为有效的观察工具，供核电厂主控室操作员复核核电厂各厂房一些重要区域的火情等异常运行工况。

工业电视系统在核电厂安全分级中不属于核安全有关系统，但主控室核电厂操作员可通过该系统监视一些重要区域，包括反应堆冷却剂泵隔间、上充泵区、循环水系统泵（CRF泵）区、循环水系统泵（SEC泵）区及汽机厂房变压器平台等高火荷载区域的火灾情况，确认火灾探测器所发出的火警信号，从而迅速启动相应的保护装置。

1 工业电视系统的功能与组成

1.1 系统功能

工业电视系统根据工艺需求在核电厂中实现下列功能：参与反应堆冷却剂泵的火灾探测、参与上充泵的火灾探测、参与CRF泵及SEC泵的火灾探测、参与汽机厂房的火灾探测、监视放射性区

域内的某个系统或特定点位及监视某个指定工作区。

1.2 系统组成

工业电视系统根据功能要求在核电厂各厂房设置摄像机，并通过视频线缆将摄像机解码的图像传送至主控室。位于主控室的后端处理设备将现场图像进行处理，实现主控室对重要区域的实时监控，并将图像信息保存，供日后回放查看。

根据设备组成和功能，工业电视系统可分为三个主要组成部分：前端摄像设备、信号传输部分和后端处理设备。

1.2.1 前端摄像设备

前端摄像设备主要为设置在核电厂各厂房的摄像装置，包括：摄像机、镜头、防护罩、电动云台、解码器、安装支架及辅助照明等设备，其功能为采集现场图像，并将现场的图像信号转换为电信号，并接受来自主控室后端设备的控制信号，完成对摄像机和云台的控制。

核电厂工业电视系统前端摄像设备分散设置在核岛（包括电气厂房LX、核辅助厂房NX、核燃料厂房KX及反应堆厂房RX）、常规岛（汽机厂房MX）及联合泵房厂房PX3个区域。为实现上述的工业电视系统的功能，需要在反应堆冷却剂泵、反应堆厂房大厅、上充泵、PX联合泵房内的CRF泵、SEC泵、汽机厂房及核岛主出入口设置固定式摄像机来实现。其他区域由移动式摄像机来实现。

工业电视系统的固定式摄像机设置在以下房间：



杨利彪/工程师

关键词/Keywords

工业电视系统 ·
CCTV ·
耐辐照摄像机 ·

1) 在反应堆厂房标高+20.00 m环吊下方安装有一台摄像机(带云台和变焦镜头),可以使操作员在主控室对反应堆大厅进行全面监视。

2) 反应堆厂房3个回路主冷却剂泵隔间各设有一台摄像机,监视主泵设备。

3) 核辅助厂房3个上充泵隔间各设有一台摄像机,监视上充泵设备。

4) PX联合泵房内的CRF泵隔间及SEC泵隔间各设有一台摄像机。

5) 电气厂房L214房间、核辅助厂房N264房间、核燃料厂房K230及K270房间门口各设有一台摄像机。

6) 汽机厂房标高-7.5 m、±0.0 m、+8.5 m、+17.1 m、主变压器/厂用高变压器/起动备用变压器、炉水加药和汽水取样等场所设有摄像机,共计13台摄像机。

工业电视系统在核电厂共设有3台移动式摄像机,该装置由摄像机、云台、变焦镜头、解码器、泛光灯、光源适配器、可延伸电缆和折叠式三脚架组装构成。移动式摄像机如图1所示。在核电厂检修期间,现场维修人员可根据需要使用移动式摄像机。移动式摄像机自带延长线缆可连接到布置在现场的视频插座网络中的任何一个网络箱。网络箱为移动式摄像机供电,并将其视频信



图1 移动式摄像机

号通过视频电缆传输至主控室后端处理设备。根据工艺的需求,网络箱主要布置在核辅助厂房、反应堆厂房及核燃料厂房内。

1.2.2 信号传输部分

信号传输部分主要为各种线缆,负责将现场摄像机的视频信号传送至主控室后端处理设备,并将后端处理设备的控制信号反馈至现场控制摄像机。根据监控点的数量和传输距离选择不同类型的传输线缆。

视频信号传输线在工程上一般选用同轴电缆和光缆两种,控制信号多采用直接控制的方式。根据国家标准GB 50115—2009《工业电视系统工程设计规范》的要求,传输距离超过300 m时,采用75-7同轴电缆传输信号;传输距离超过500 m时,采用光缆传输信号,即远距离传输视频信号时使用光缆,光缆具有通信容量大、传输距离远、抗干扰能力强和传输质量佳的特点;近距离传输视频信号则使用同轴电缆,同轴电缆具有信号传输稳定、资源利用充分、施工量小和易维护的优势。出于核电厂自身的防火要求,要求电缆采用低烟、无卤和阻燃类型。

分散在核电厂各厂房的摄像机,设置在PX厂房、汽机厂房MX内的摄像机因距离主控室距离较远、摄像机数量较多,采用光缆传输方案。在PX、MX厂房就地设置数字光端机将摄像机产生的电信号转换为光信号通过光缆传输,主控室后端处理设备内的接收端将光信号转换成电信号后,进一步还原成图像信号传输到视频分配器;设置在核岛厂房内的摄像机,因距主控室后端处理设备距离相对较近,因此使用同轴电缆传输视频信号。

1.2.3 后端处理设备

后端处理设备设置在长期有人值守的核电厂主控室内,是整个系统的核心部分。其功能为集中接收现场发回来的视频信号并转化为图像信号,进行切换、显示和记录操作,并进行相应的控制和管理。本核电厂项目的后端处理设备主要由2台矩阵控制器、1台硬盘录像机、2台监视器及

1台控制键盘等设备组成。

矩阵控制器主要功能为对输入的视频图像进行控制：所有现场的视频信号先进入到矩阵控制器，再由矩阵控制器输出到监视器上。矩阵控制器根据操作人员的需要，把选择的视频信号切换到监视器上。

硬盘录像机（DVR）配有大容量硬盘，主要负责数字视频的压缩、网络视频流的管理以及用户的授权管理等，实现视频回放功能。本核电厂

项目硬盘摄像机配有2 400 GB硬盘，足够保证30天以上的图像记录备案。

控制键盘主要进行控制功能，实现对摄像机云台和矩阵控制器的控制功能。可实现系统编程和管理、显示器选取、前端摄像机选取、云台全动作、镜头全动作及切换控制等操作，通过与矩阵主机交互通信实现对前端设备的控制。

本项目核电厂工业电视系统示意图如图2所示。

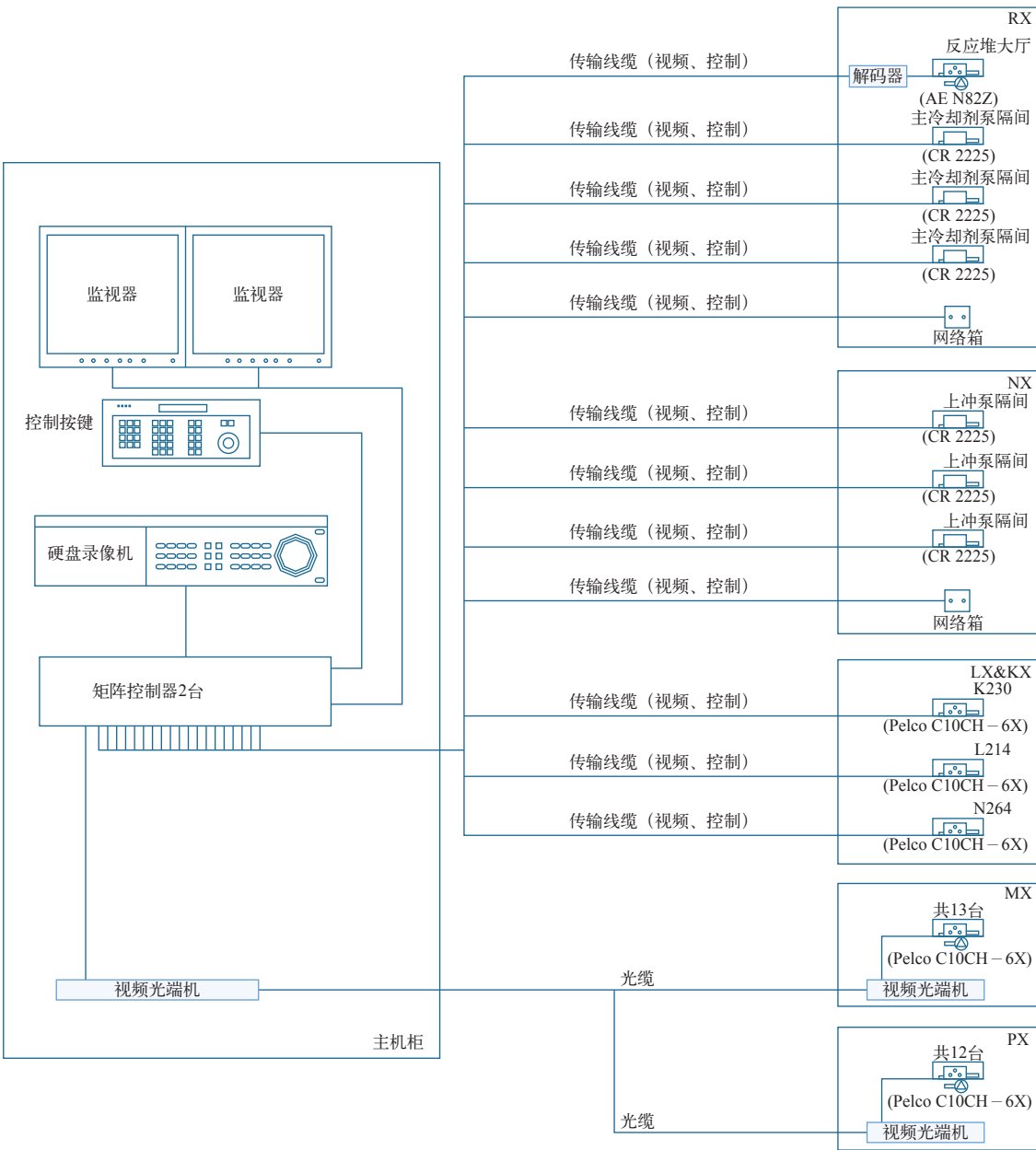


图2 工业电视系统示意图

2 工业电视系统的设计方案

摄像机是工业电视系统前端设备的核心，性能优良的前端摄像设备是后端控制设备进行高质量的显示和存储的保证。而工业环境具有自身的特殊性，如高温、高粉尘和强腐蚀性。为保证设置在工业环境中的摄像机能够正常工作，对设备的选择尤为重要。

在核电厂正常运行期间，核岛一些重要区域

存在辐照剂量，电厂运行人员无法进入，因此需要在这些场所设置摄像机，供主控室操作员监视这些区域，复核火灾信号等异常的运行工况。根据环境剂量率选择耐辐照性能满足要求的摄像机成为核电厂工业电视系统设计的一项重要工作。

目前，市场上主流耐辐照摄像机的主要性能对比如表1所示。

核电厂摄像机布置的场所及其环境剂量率如表2所示。

表1 耐辐照摄像机性能对比表

厂家—型号	CENTOONIC—CR2226	AE—N82Z	DIAKONT—D70	DIAKONT—D80
图像格式	2/3英寸黑白	彩色	黑白	彩色
镜头类型	定焦	变焦	定焦	变焦
成像器件	硒化隔光导管Vidico	CCD	Chalicon成像管	CCD
耐辐照性能	累计剂量： $\geq 2 \times 10^6$ Gy， 剂量率： $\geq 10^4$ Gy/h	累计剂量： $\geq 10^4$ Gy， 剂量率： $\geq 10^3$ Gy/h	累计剂量： 10^6 Gy， 剂量率： 10^4 Gy/h	累计剂量： $\geq 10^3$ Gy， 剂量率： 10^4 Gy/h
清晰度/TVL	>600	>720	>600	>480
最低灵敏度/lux	16	10	1	16
外壳等级	IP66	IP65	IP65	IP65

表2 摄像机布置的房间及房间内剂量率表

序号	位置	剂量分区	剂量率	累积剂量/Gy（12月）
1	反应堆厂房环路1冷却剂泵间	红区	$0.1 \text{ Sv/h} < D$	1×10^5
2	反应堆厂房环路2冷却剂泵间	红区	$0.1 \text{ Sv/h} < D$	1×10^5
3	反应堆厂房环路3冷却剂泵间一台	红区	$0.1 \text{ Sv/h} < D$	1×10^5
4	反应堆厂房大厅+20.00 m一台	橙区	$2 \text{ mSv/h} < D < 0.1 \text{ Sv/h}$	1×10^3
5	核辅助厂房上充泵隔间NA217一台	橙区	$2 \text{ mSv/h} < D < 0.1 \text{ Sv/h}$	1×10^3
6	核辅助厂房上充泵隔间NA218一台	橙区	$2 \text{ mSv/h} < D < 0.1 \text{ Sv/h}$	1×10^3
7	核辅助厂房上充泵隔间NA219一台	橙区	$2 \text{ mSv/h} < D < 0.1 \text{ Sv/h}$	1×10^3
8	核燃料厂房K230一台	白区	无	无
9	电气厂房L214	白区	无	无
10	核辅助厂房N264	白区	无	无
11	汽机厂房各标高平台共13台	白区	无	无
12	联合泵房PX111、PX113、PX121、PX123、PX421、PX423、 PX151、PX153、PX161、PX163、PX461和PX463各有一台	白区	无	无
13	移动小车（3台）	白区	无	无

2.1 核岛厂房区域终端的设计方案

核岛厂房主要包括电气厂房、反应堆厂房、核辅助厂房和核燃料厂房等。

在反应堆厂房总共设有4台摄像机，其中在+20.00 m环吊下方R841房间安装有一台彩色变焦摄像机，摄像机配有解码器和接线箱连接电缆

至主控室，实现在主控室远程操作摄像机，可以使操作员在主控室对反应堆大厅进行全面监视。R841房间剂量率稍低（ $2 \text{ mSv/h} < D < 0.1 \text{ Sv/h}$ ），并且为了满足主控室画面彩色美观需求，选用了AE公司的耐辐照变焦彩色摄像机N82Z产品。摄像机N82Z剂量率大于 $1 \times 10^3 \text{ Gy/h}$ 、累积剂量大

于 1×10^4 Gy, 满足环境剂量使用需求, 计划使用1~2个换料周期(一个换料周期为12个月); 在主冷却剂泵隔间(R611/R621/R631房间)各设置一台摄像机, 监视主冷却剂泵选用定焦摄像机。此处环境剂量率: $0.1 \text{ Sv/h} < D$, 选用英国Centronic公司的CR2226-F80Z产品, 作为电真空摄像管(Vidicon)耐辐照黑白摄像机, 其累积剂量大于 2×10^5 Gy, 剂量率大于 1×10^4 Gy/h, 能较好满足环境耐辐照的需求。摄像机配有接线箱连接电缆至主控室。摄像机自身带有LED照明灯另配有石英卤素灯的备用照明灯作为摄像机的辅助照明。

反应堆厂房一些房间内(R430、R230、R130、R741、R410、R210和R141)设置有网络箱, 用于移动式摄像机的连接。在反应堆厂房设有电源箱用于本厂房内固定摄像机及网络箱的供电, 上游电源引自220 V交流供电系统。为确保供电的可靠性, 电源箱配电采用星形连接。

在核辅助厂房的3个上充泵隔间(NA217/218/219)设置一台定焦耐辐射摄像机, 监视上充泵, 复核上冲泵房间的火灾探测信号。摄像机型号统一选用CR2226黑白耐辐照摄像机, 设备剂量率及累计剂量能满足环境的需要。摄像机配有照明设备; 核辅助厂房还布置网络箱用于连接移动式摄像机, 设置电源箱用于设备的供电。

电气厂房L214房间、核辅助厂房N264房间、核燃料厂房K230房间及K270门口各设置有一台摄像机, 因剂量分区属于白区, 环境无辐射要求, 因此选用普通定焦摄像机——Pelco公司产品C10CH-6X彩色定焦摄像机。

根据设计参考电站的经验, 在电气厂房L215房间内设置DTL系统分控台, 方便运行巡检人员检查系统运行状况。

在核电厂主控室L710房间内布置工业闭路电视系统落地机柜, 机柜内设置接收控制装置, 包括矩阵切换器、控制键盘、码分配器、电源控制器、硬盘录像机和彩色监视器等设备。主控室操作员可通过监视器监视反应堆冷却剂泵隔间、上充泵区、CRF泵区、SEC泵区及汽机厂房的火灾情况, 确认火灾探测器所发出的火警信号, 从而迅

速起动相应的保护装置。

2.2 联合泵房PX及常规岛点位设置

在联合泵房PX厂房PX421、PX121、PX111、PX423、PX123及PX113房间设置摄像机观察CRF泵及SEC泵区火灾情况, 因为剂量分区属于白区, 所以设置普通彩色定焦摄像机(选用Pelco品牌C10CH-6X)即满足要求。摄像机的供电由PX厂房就地电源箱供电。而PX厂房距离主控室较长, 采用光缆传输方案。

在常规岛汽机厂房-7.5 m层凝泵、电泵及真空泵, +0.0 m主机油箱、放电机出线区、高低压加热器、+8.5 m汽机、发电机、电气厂房、蓄电池室、+17.1 m除氧器、主变压器/厂用高压器/启动备用变压器、汽水取样和炉水加药等区域设置13个摄像机, 因为剂量分区属于白区, 选用Pelco公司C10CH-6X普通彩色定焦摄像机。摄像机的供电由就地电源箱供电。在信号传输方面, 考虑到距离和摄像机的数量, 采用光缆传输方案。

3 设计方案分析

由以上各区域摄像机组成一个多头一尾的中等规模工业电视系统: 在核岛反应堆厂房和核辅助厂房的红区、橙区环境下终端选用耐辐照摄像机, 又根据需求不同, 选用电真空摄像管及CCD摄像管两种不同类型的耐辐照摄像机; 在核岛白区、常规岛及PX厂房则根据需求选用普通摄像机即可。

位于主控室的矩阵设备选用两台容量为 48×4 的Pelco品牌控制器, 既保证了系统可靠性, 又留出扩容的裕量。根据参考电站及其他M310型电站的运行经验, 采用视频基带传输方式的工业电视系统方案以可靠性高、实用性强作为方案首选。

本核电项目在常规岛区域设置摄像机数量为13台, 而设计参考电站常规岛只有8台摄像机; 本项目在核岛亦设置了较多的固定摄像机终端, 使得本项目的CCTV技术方案成为国内同型核电厂中

迄今最大规模的工业电视系统。

4 结束语

工业电视系统中特种耐辐照摄像机的选择方案是系统设计的首要因素。

摄像机按摄像器件划分为电真空摄像器件（即摄像管）摄像机和固体摄像器件（CCD器件、MOS器件）摄像机两大类，通常在红区高剂量率区域采用耐高剂量率的电真空摄像管摄像机，其中Vidicon摄像管和Chalnicon摄像管是其中两大主流类型。本项目选用的英国Centronic公司产品是Vidicon摄像管，其优点是耐辐照性能理想，其累计剂量可达 1×10^5 Gy，缺点是灵敏性较差。但因其价格较Chalnicon摄像管便宜，所以综合性价比比较高。

系统传输方案的选择。在核岛等区域，因摄

像机与主控室控制台之间距离不太远，采用视频基带传输方式；PX厂房至控制台则采用光缆传输方式。这两种技术前者因为失真小、系统信噪比高和传输简单而得到广泛应用；后者的传输特性是同轴电缆无法与之相比的，优点很多。

需要指出两点不足。

1) 常规岛摄像机数量较多，宜就地设置分控台，减少直接连接至核岛主控室的电缆量，达到优化设计的要求。

2) 核岛橙区所选用的耐辐照摄像机，与红区相比，可适当降低剂量率等指标。例如选用耐中、小剂量的CCD彩色摄像机，具有成像质量高、分辨率高、灵敏度高、信噪比高和价格比电真空摄像管低廉等优点。在满足环境要求的前提下，应优先考虑使用。

（收稿日期：2015-06-01）EA

（上接第18页）

保证零地电压可靠，确保UPS可靠工作。具体措施有：在采用4P的ATS开关切换场合，如低压柴油发电机备用等场合，切换电源需要切换N线，应选择切换不断N线的ATS（N线重叠切换），或在高频UPS输入侧N线接地；在采用3P的ATS开关切换场合，如中压柴油发电机备用等场合，切换UPS输入电源，但不切换N线。

4 结束语

由于服务器、网络交换机等IT设备的用电特点，根据国家标准GB 50174《信息机房设计规范》和JGJ 16—2008《民用建筑电气设计规范》，数据中心/信息机房应为TN-S或TN-C-S接地系统，保证IT设备避免干扰，正常工作。

高频UPS由于主路电路结构特点，内部中线和外部N线（零线）连接，因而输入N线（零线）不能中断，否则可能导致UPS无法正常工作。工频UPS由于内置变压器二次侧N线（零线）可接地，因而主路输入N线（零线）接地中断对UPS运行无影响。

在高可靠性要求的数据中心/信息机房通常配置2路以上电源，也即多电源供电的配电系统中，应保证切换过程中N线接地不断。

参考文献

- [1] GB 50174—2008 信息机房设计规范 [S].
- [2] JGJ 16—2008 民用建筑电气设计规范 [S].
- [3] GB 14050—2008 系统接地的形式及安全要求 [S].
- [4] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册 [M]. 3版. 北京：中国电力出版社，2005.
- [5] 钟景华，朱利伟，曹播，等. 新一代绿色数据中心的规划与设计 [M]. 北京：电子工业出版社，2010.
- [6] 刘希禹. 中心线的转换对UPS性能的影响和对策 [J]. 电源世界，2012 (9)：21-27.
- [7] 韩林. 数据中心UPS接地方式 [J]. 电气应用，2009 (18)：16-17.

（收稿日期：2016-10-15）EA