

核电企业数字化防异物管理技术应用

文/杨云斐 刘 强 袁忠东 徐佳林 刘成刚
中核核电运行管理有限公司

摘要：传统防异物管理存在守卫失责、登记缺失、记录错误、字迹潦草和追溯模糊等问题。核电厂通过防异物管理业务要素梳理，创新数字化防异物管理模型，运用数字化、智能化、可视化技术，从人员面部识别、物项扫描到维修现场分层、分类、分区管控，实现防异物全过程、全层级、全图息协同控制，完成防异物管理的数据分析、统计、预警和控制，技术应用取得了显著的经济效益和社会效益。

关键词：核电；数字化；防异物；管理；模型

在我国数字化技术大发展的趋势下，秦山核电利用我国在5G技术以及工业互联网技术上的优势，抓住数字化转型机遇，积极从传统型转向数字型，建设数字电厂、智能核电、智慧核电，以数字化管理转型为抓手，创新生产管理机制，持续优化管理体系，数字化防异物管理是运维领域数字化技术应用之一。

数字化防异物管理的必要性

近年来，全球核电厂由于异物侵入系统和设备而造成的故障次数呈上升趋势，核电事件中近30%与异物相关，国外核电厂曾发生多起异物侵入导致的核燃料损伤事件。有的核电厂尚未建立完善的防异物标准，有的电厂虽然建立了完善的防异物标准和管理体系，但这些高标准在一线员工的执行上无法有效落实。由于不同人员对异物可能造成系统、设备和核燃料故障的警惕性不同，因此带来防异物管理的不确定性，全球核电面临异物风险的挑战，传统的人员值守、纸质或电子记录为基础的防异物管理亟需从“人防”转变为“技防”。

中国核电旗下秦山、田湾、福清、海南、三门

核电厂于2015—2019年发生的A、B级异物相关状态报告总数为32起，其中秦山有8起，这些异物虽没有导致核燃料发生故障，但对核安全形成挑战。由于异物对设备、系统影响相当大，主系统放射性剂量高、打捞难，因此相应的防异物管理挑战也相当大。中国核电已将异物作为安全隐患来对待，明确将异物事故、事件及隐患消除在前端，应用信息化、数字化和可视化技术为防异物管理赋能。

传统防异物管理的不足

1. 人员防异物管控意识不高

在核电大修高峰期，每个机组的维修现场有100多个一级异物控制区，工作人员超过1 000名，1万多件备件、工器具、材料进入异物控制区。具有大修任务重、工期短、标准高、要求严及管控难。部分进入现场的承包商员工对核安全文化理解不深，其知识、技能、经验及文化等方面存在个体差异，安全质量风险管控意识不高，检修人员难以短时间理解并践行防异物高标准的管理期望，追求卓越的防异物管理效果面临挑战。

2. 传统防异物管理模式不足

从历史大修的情况来看，基于人工管理和纸质履历的传统防异物管理的“纸质表单+保安检查”方式存在守卫失责、登记缺失、记录错误、追溯模糊、工具及耗材管理混乱等问题，给维修现场防异物管理带来较大的挑战。人员和物品进出的准确性、可追溯性显著不足，例如：个人物品、手机带入隔离区，进入隔离区域人员信息不清晰、不完整或信息滞后；物料进出不规范，记录缺失或者错漏，手工登记效率低，现场人员进出记录无法在线实时获取，现场物料带出、留存的情况无法准确获取，隔离区管理员是否在岗信息无法有效监控；现场防异物管理工作过程记录、日志等信息不完整或缺失模糊，历史数据无法有效查询，防异物管理工作复盘效率低。

基于数字化的防异物管理模型

在“安全是核工业的生命线”的核安全文化理念下，秦山核电将防异物与核安全提升至同等重要地位，建立数字化防异物组织机构，制定数字化防异物标准，搭建信息化平台。以信息化平台为支撑，通过人员培训授权管理，工器具、备件、材料分类扫描登记，从人员进出、物料进出到现场分层、分类、分区管理，实施数字化防异物管理全过程、全层级、全图息的协同控制，建立数字化防异物管理流程，通过人员面部识别和工器具、备件、材料扫描登记实现防异物管理过程数据互联互通，异物防控过程可视，信息数据实时可测，基础数据信息的综合分析和统计，实现防异物风险预警、控制和持续改进。数字化防异物管理模型如图1所示。

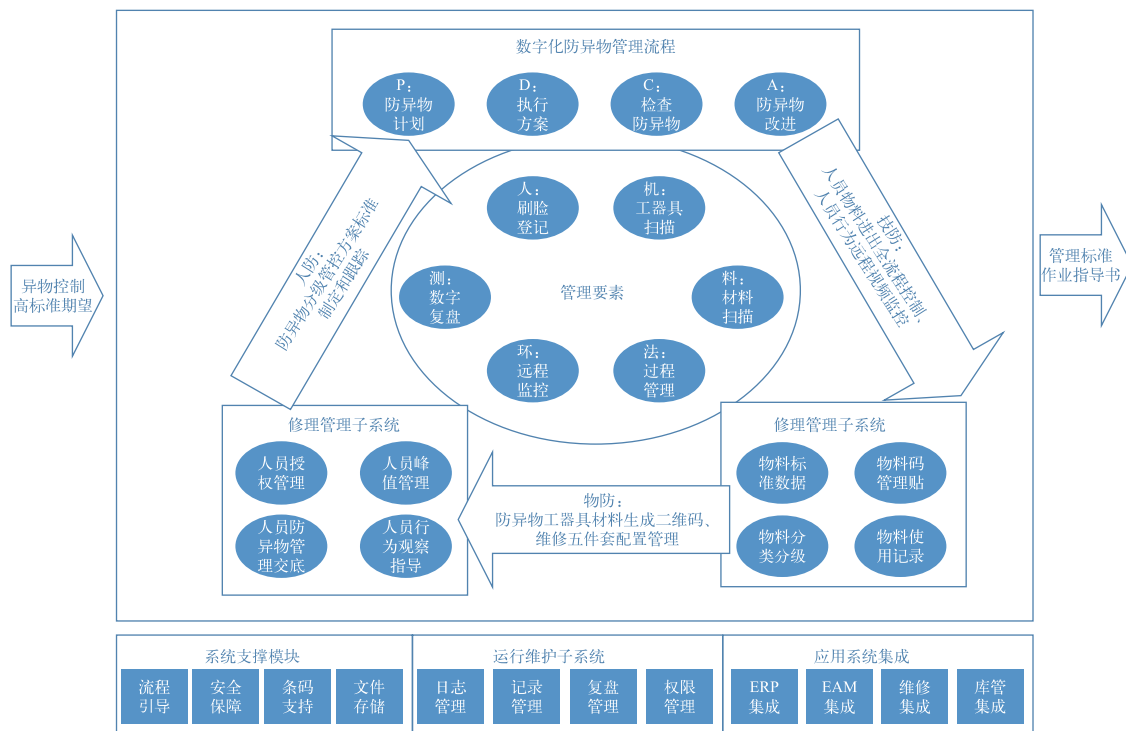


图1 数字化防异物管理模型

防异物管理数字化转型的主要做法

1. 建立防异物管理组织机构

秦山核电成立数字化防异物管理组织机构，信息、安全、保卫、通信、维修及技术等相关专家对技术方案、信息安全进行研究，分析信息需求，确定利用数字化、信息化、可视化技术手段，实现人

员、物料的数字化管控总体方案。数字化防异物管理深入到维修组织与实施全层级（F1、F2、F3）。覆盖到全过程（工作准备、风险识别、应对措施、监督管控、经验反馈、观察指导），明确维修全流程各防异物岗位的职责和接口关系。

以秦山核电9号机组的防异物管理员为主的专家

团队持续推动数字化防异物管理转型，将数字化防异物管理计划、方案、职责、布置、工器具、工艺及方法等落实在维修、运行、安质、技术及商务各领域具体岗位，维修人员、运行人员、安置人员、设备工程师及仓库管理员对构筑物、系统、设备的清洁度、设施完整性、开口封堵、工器具及设备运动部件可靠性进行全方位管控，对供应、隔离、去污、保洁、封堵及监督等防异物管理进行一体化升级。

2. 开发数字化防异物管理技术标准

开发领导、管理和执行三个层次的数字化防异物管理技术标准、程序和方案，以业务流程为驱动，拆解细分全过程要素，明确关键控制环节。

在领导层提出的管理期望与目标指引下，管理层建立日常和大修的异物风险预防机制、异物事件考核机制、创新管理机制和经验反馈改进机制，参考WANO防异物导则，依据CNNP防异物导则、评估准则、维修管理大纲优化公司防异物管理体系，涉及运行、维修、技术、维修支持、技术支持、化学、保健物理、商务、仓储及培训等领域管理职责和防异物管理要求。结合秦山核电生产实际，制定了数字化防异物管理标准，如图2所示。从技术、管理两个层面，专门制定相应防异物管理技术标准规范、作业指导及操作工艺等，为基于数字化的核电防异物管理奠定了坚实的基础。

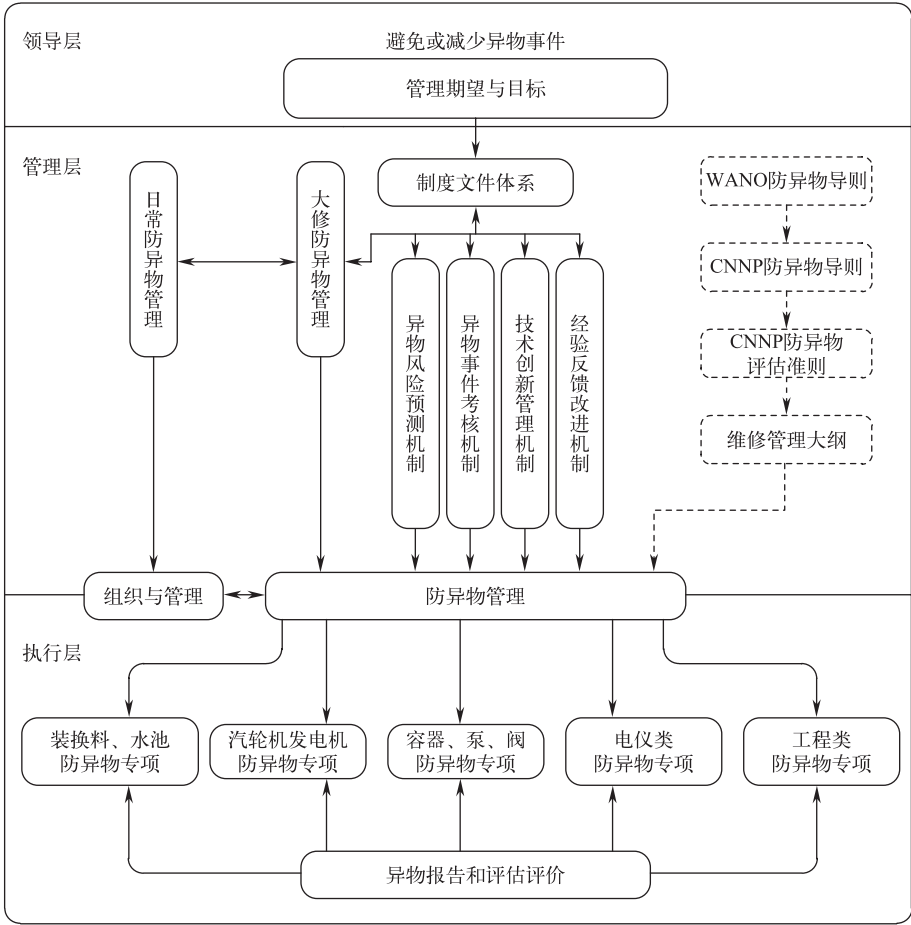


图2 数字化防异物管理标准文件

3. 开发数字化防异物管理模型

对防异物管理工作流程中的人员、物料、备件及工器具等进行数据采集、储存、加工和统计分析，监测数据和视频图像通过有线网络或5G无线

网络方式传输到终端平台，如图3所示。帮助防异物管理人员及时准确地掌握防异物安全质量管控状况和预警、报警、复盘。在防异物隔离区入口处放置工器具扫码机，计算机接入优化后的工器具管理

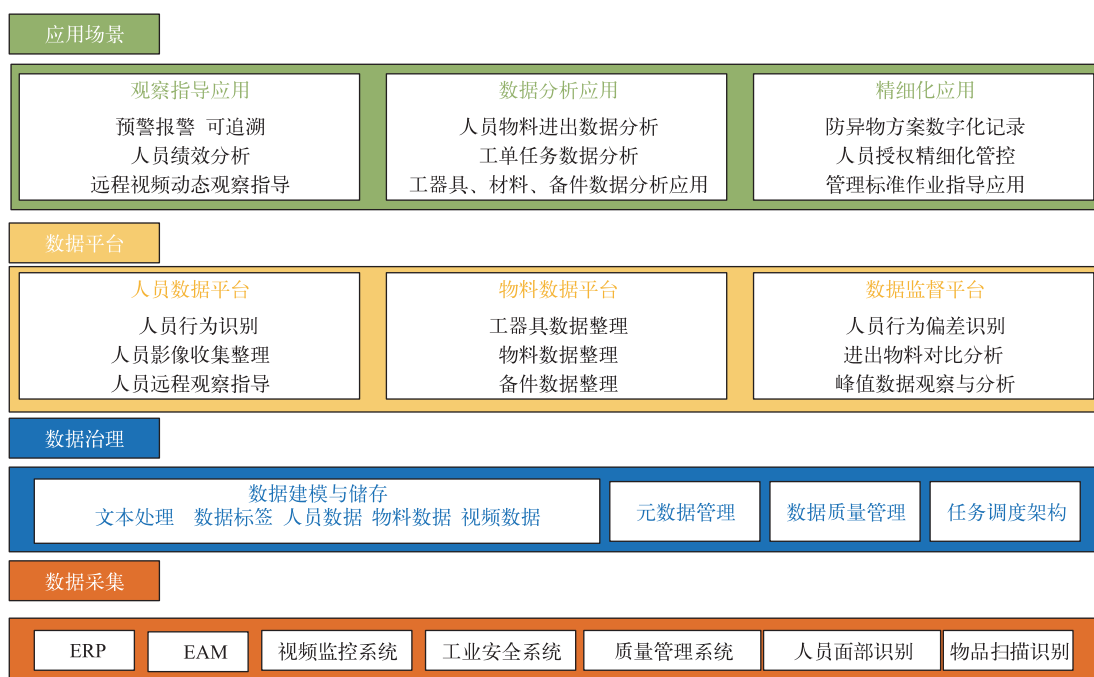


图3 数字化防异物管理数据框架图

系统，人员通过魔点门禁系统闸机进入，工具扫码登记，可远程视频监控规范相关管理过程，保障工作过程中进出人员的授权，保证进出物料记录的完整性，最大限度地避免因物料遗失导致异物事件的发生。

4. 搭建数字化管理平台

(1) 搭建人员刷脸登记管理平台

秦山核电正建造数字化、智能化、智慧化”电厂，应用信息化管控提升防异物安全质量管控水平，利用数字化、信息化技术手段实现人员登记的防异物管理，降低人为因素的失误风险。在秦山核电资源管理系统（ERP）工作区域控制模块搭建防异物专区模块，增设进入防异物专区的人员申请、审批流程，确保只有经防异物专项培训考核合格人员和经授权进入该防异物专区的人员才能进入。经过ERP系统防异物专区审批授权人员通过人脸采集进入系统，与公司人员工作区进出控制互联互通。

(2) 搭建物料扫描登记管理平台

在秦山核电生产管理信息化平台（EAM）中搭建工器具管理系统防异物专区模块，对进出防异物专区的物项进行扫描扫码精确登记、精准定位、精细授权，以业务流程、活动和职责为输入，在信息化平台中物料进出全过程管理通道，使数字化

防异物设备及过程活动信息有效传递，为数字化防异物管理提供了信息化支持。涉及工器具、材料、备件及物料等的主物料数据与工器具管理系统互联互通，在工器具管理系统增设防异物管理专区，实现进出防异物管理区域的物项扫描物资编码进出控制。在防异物工器具扫码登记模块下的物项进入扫码页面，输入工单任务号会显示工单任务信息，登录工器具管理系统进入清单界面，然后进行扫码，全部扫完后单击保存完成登记，可以根据查询条件查看所有的工器具进出信息，系统可直接导出物项进出电子清单。

(3) 搭建远程视频管控系统

在防异物隔离区搭建远程视频监控系统，实现防异物管理过程视频动态监控。在防异物隔离区入口进出位置架设高清摄像机，采用硬盘录像机实现30天回放，利用有线光纤、5G无线网络传输或电信MEC卡（内网SIM卡）的内网无线传输到班组级、科级、处级办公室终端（数字大屏、计算机）总体监控，实现防异物视频监控观察指导。远程监控系统具有视频、音频对话功能和调方向、调焦距功能，具备视频回放、查询功能，可以利用计算机终端、班组管理终端大屏幕投屏，对进出防异物隔离区的人员、物项履责监控、提醒，实现数据图像

处理、存档、回放，检测隔离区人员防异物行为规范，同公司现在平台集成，如大修人员授权，保卫人脸识别基础数据；保证数据的实时性，准确性，只有被授权人员才能进入现场。集成如物项、工器具基础信息和异常消息分发等后台管理工作，支撑现场工作有序展开。现场监控视频，数据实时交互，为后台管理、作业指导中心管理支持提供平台支撑。监控系统获得人员身份信息后，对于丢失工具工人，系统会发出警告，有利于防异物绩效考核

和奖惩。

5. 数字化防异物管理应用

首创一种防异物区域人员物料进出数字化管控方法如图4所示，以汽轮机发电机数字化防异物管理为例，在满足无人值守情况下，通过人脸识别与授权数据库信息比对实现人员进出权限控制；通过设定体温及酒精异常报警值实现身体异常人员进入控制；通过物料扫码登记进行进出管理，实现远程视频监控及双向语音通话。

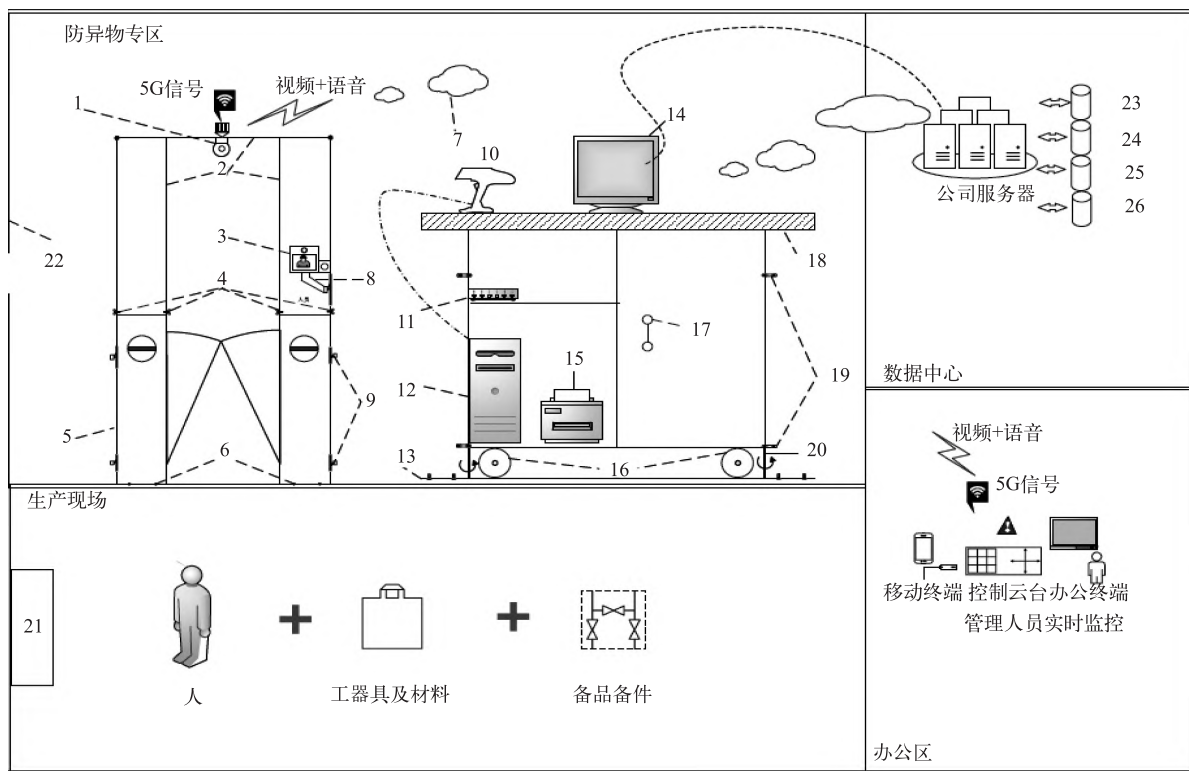


图4 数字化防异物管控方法示意图

（1）进入管控区前的控制

在防异物隔离区入口处设置个人物料刷脸存储柜，最多存储150人次，方便进入防异物专区人员的个人物料（如手机、水杯、门禁卡及小物件等）的临时存放。存放人员现场刷脸登记打开柜门，存入物料，然后关闭柜门；取出时刷脸开门，取出物料，然后关闭柜门，轻便快捷，提高效率。

（2）防异物管理过程中的控制

在防异物隔离区入口布置工具扫码机及支架、移动式摄像机、移动式魔点门禁，布置网线并与ERP、EAM、工器具管理系统互联互通，实现信息共享。对防异物专区进行规划，分区、分层、分

类进行场地物项存放，根据规划搭建防异物专区实体隔离区域。在防异物专区隔离区入口处设置人员进出闸机，经授权人员刷脸登记进入，携带工器具、材料、备件扫码登记，通过视频监控进出人员行为。

（3）防异物管理的复盘

通过数字化防异物管理信息系统，可以直接看出当前区域的人数和过程中人员流动趋势，便于核心区防异物人员动态控制；可以通过对进出物料物资、工器具、备件在信息系统对比直接生成未带出区域的物资种类；通过防异物管理区域的视频监控系统可以存储人员行为，在发现异物事件时可以

快速找到失效人员和失效部位，便于防异物管理过程复盘。

核电数字化防异物管理技术应用效果

1. 推动数字化防异物管理变革，经济社会效益显著

实现防异物管理全过程要素数字化管理转型，推动了核电数字化防异物管理变革，为核电数字化维修现场管理奠定基础。节省三班倒值守的保安人员劳务费支出，按大修工期30天、每人每天500元、24 h需6人、两个专项估算，单次大修可节约18万元。以秦山地区9号机组每年共计7次大修为例，年平均节约成本共126万元。目前已实现经济收益共计456万元（含减少设备投资费用）。自成果应用以来，秦山核电1号机组、方家山核电1号机组未发生异物入侵事件。

2. 推进防异物管理绩效大幅提升，同时提升生产管理效率

以汽轮机发电机大修为主线的防异物管理为例，按100人进出、物项380件进出估算，人员或物料单项进出防异物隔离区用时从近2 min降低为2 s，

作业时间可节省23.74h，大幅提升工作效率。实现了精准管控，提高了防异物管理人员巡视和观察指导的及时性、有效性，全面实现防异物管理提升目标。自实施数字化的防异物管理以来，异物相关状态报告和质量事实呈明显下降趋势，实现了企业的降本增效。

3. 推广应用价值显著，实现企业核心竞争力提升

探索出一套适合全球核电的数字化防异物管理新模式，异物风险管控能力不断加强，提升了企业核心竞争力。首创一种核电厂汽轮机检修区域人员物品进出数字化管控方法的发明专利，知识产权自主可控。该成果已应用在秦山核电1号机组，以及秦山第二核电厂4号机组，拟推广到三门核电、福清核电、海南核电及漳州核电等近22台核电机组，通过WANO良好实践向全世界推广。EA

参考文献

- [1] 杨云斐，蒲晓林，邹远波，等．核电厂数字化防异物管理[J]．现代企业文化，2022(14)：46-48．