

核电厂汽轮发电机组检修数字化管理研究

杨云斐 杜岩松 徐佳林 刘成刚 谭勇
(中核核电运行管理有限公司 浙江 嘉兴 314300)

摘要: 汽轮发电机组是核电厂非常重要的设备之一,由于发电机转子需要高速运转,因此不能有任何异物。在检修过程中,防异物是非常重要的环节,为了解决人员值守和纸质履历管理的复盘、预警、精准控制难题,开发了一种核电厂汽轮发电机组检修区域人员物项进出数字化管控方法,能够满足无人值守情况下人员进出权限控制;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;通过物品扫码登记、智能识别进行进出管理,实现远程视频监控及双向语音通话。通过数字化手段进行跟踪、统计、分析、复盘,防止异物对汽轮发电机组各系统及设备的侵扰,保证了核电厂安全稳定运行。

关键词: 核电厂; 汽轮发电机组; 检修; 数字化; 管理

0 引言

近年来,全球核电厂受异物的侵扰而造成燃料和设备故障的次数呈明显的上升趋势,核电事件中近 30% 与异物相关。这给核电机组安全稳定运行带来了严峻的挑战。异物事件主要集中在常规岛汽轮发电机组相关区域、系统、设备、管道。在开放系统、设备内或附近工作时,异物进入系统会造成严重质量缺陷。传统的人员值守、纸质履历为基础的防异物管理模式需要从管理、技术、方法等方面创新。

1 实施背景

1.1 国际核电行业异物风险管控的需求

近年来,全球核电厂由于异物侵入系统和设备而造成故障的次数呈上升趋势,据不完全统计,核电事件中近 30% 与异物相关,国外核电厂曾发生多起异物导致核燃料损伤的事件。核电厂日常生产和维修活动都有可能产生异物,异物进入系统、设备会导致设备故障或系统功能失效,极端情况下主系统的异物会导致燃料故障,给核安全带来极大挑战^[1]。有的电厂尚没有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,但这些高标准无法完全落实在一线员工的执行上。

1.2 中国核电减少异物事件的迫切需求

据统计,中国核电旗下秦山、田湾、福清、海南、三门核电厂从 2015 年到 2019 年发生的 A、B 级异物相关状态报告总数为 32 起,这些异物虽然没有导致燃料的故障,但给核安全带来挑战。在传统防异物观念中,

强调人员防异物意识提升,没有物理手段阻断异物的进入。中国核电要求各核电厂要将异物作为安全隐患来对待,将防异物管理等同核安全管理,做好事前预防和管控,将异物事故、事件、隐患消除在前端,应用信息化、数字化、可视化技术开展防异物管理,消除或减少异物事件,保证工程建设和机组安全稳定运行^[2]。

1.3 秦山核电实现企业高质量发展的内在需求

秦山核电从 2015 年到 2019 年发生的 A、B 级异物相关状态报告总数为 8 起。从历史情况看,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、追溯模糊等问题,给防异物管理带来以下三方面的风险挑战。

一是进入管控区前存在的风险:个人物料、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。

二是防异物管理过程中存在的风险: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无法有效监督。

三是防异物管理复盘存在的风险:现场工作过程记录、日志等信息不完整或缺失模糊,历史数据无法有效查询,工作复盘效率低。

2 管理内涵

在核电安全视为生命的核安全文化理念下将防异物管理置于核安全文化建设同等重要地位,建立数字化防异物组织机构,开发数字化防异物标准,搭建信息化平台^[3]。以信息化平台为支撑,通过人员培训授权管

理，工器具、备件、材料分类贴码，从人员进出、物料进出到现场分区、分类、分色管理，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，以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，有效提升了核电安全质量管控能力，为保证核电动机组运行安全奠定了坚实的基础。核电数字化检修管理模型如图 1 所示。

3 主要做法

3.1 建立数字化检修管理组织机构

电厂成立管理组织机构，信息、安全、保卫、通讯、维修、技术等相关专家对汽轮发电机组检修技术方案进行审查，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^[4]。检修管理深入到维修组织与实施全层级、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。数字化检修管理组织机构如图 2 所示。

汽轮发电机组检修数字化管理转型，将数字化检修

管理计划、方案、职责、布置、工器具、工艺和方法等落实在维修、运行、安质、技术和商务各领域具体岗位，维修人员、运行人员、安质人员、设备工程师和仓库管理员对构筑物、系统、设备、工器具、备件和材料进行全方位管控。

3.2 建立汽轮发电机组检修数字化检修管理模型

开发数字化检修管理工作流程，数字化检修管理数据框架如图 3 所示。

对工作流程中人员、物料、备件、工器具等数据进行采集、储存、加工和统计分析，监测数据和视频图像通过管理网络、有线或 5G 无线方式传输到终端平台（图 3），帮助检修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，最大限度地避免管理失效导致异物事件发生。

3.3 搭建数据互联互通信息化管理平台

3.3.1 搭建人员刷脸登记管理平台

秦山核电顺应时代潮流，正建造“数字化、智能化、智慧化”电厂，搭建刷脸登记的“防异物”平台，应用信息化管控方式提升防异物安全质量管控水平；应用数字化、信息化技术手段实现人员登记管理，降低人因的失误风险；设计进入防异物专区的人员申请、审批流程，确保经防异物专项培训考核合格人员和经授权

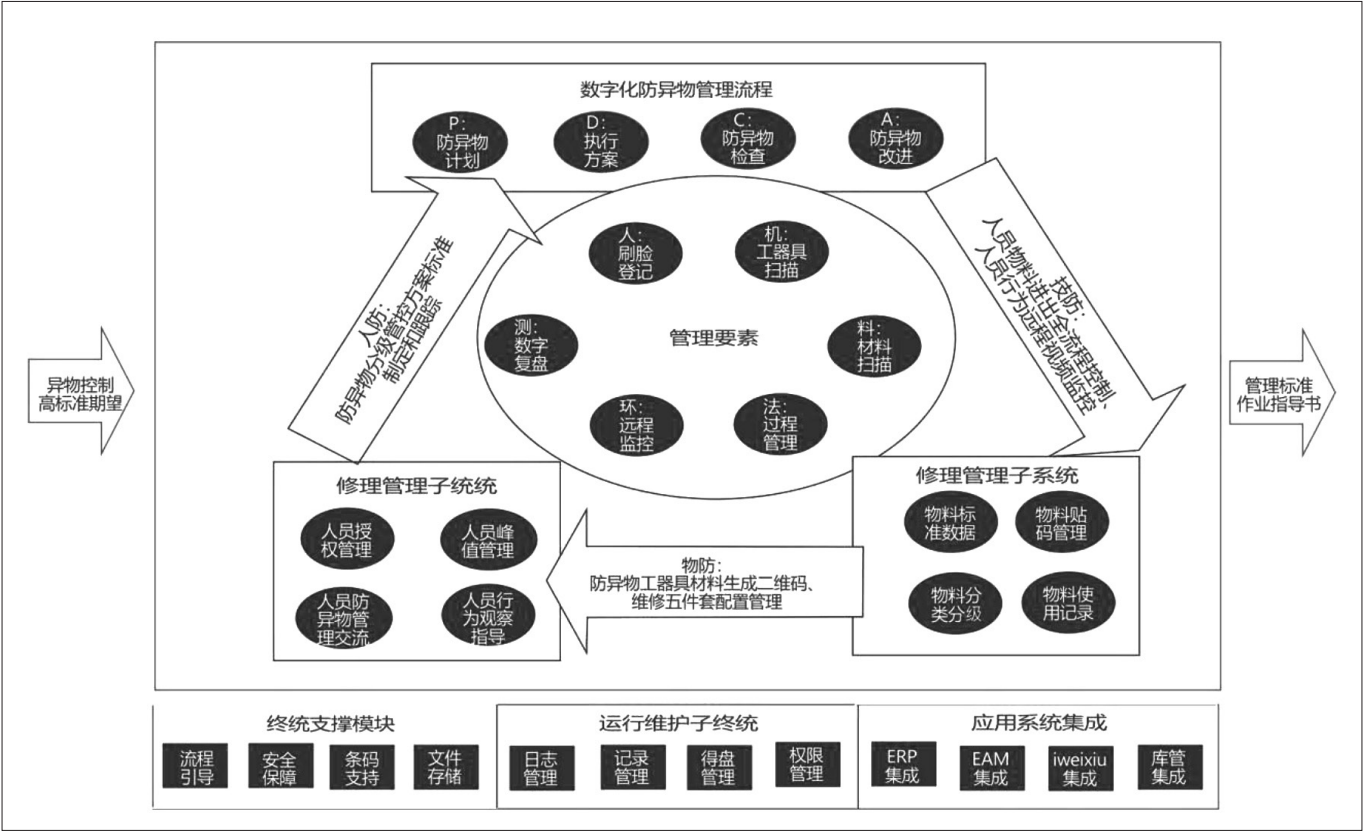


图 1 核电数字化检修管理模型

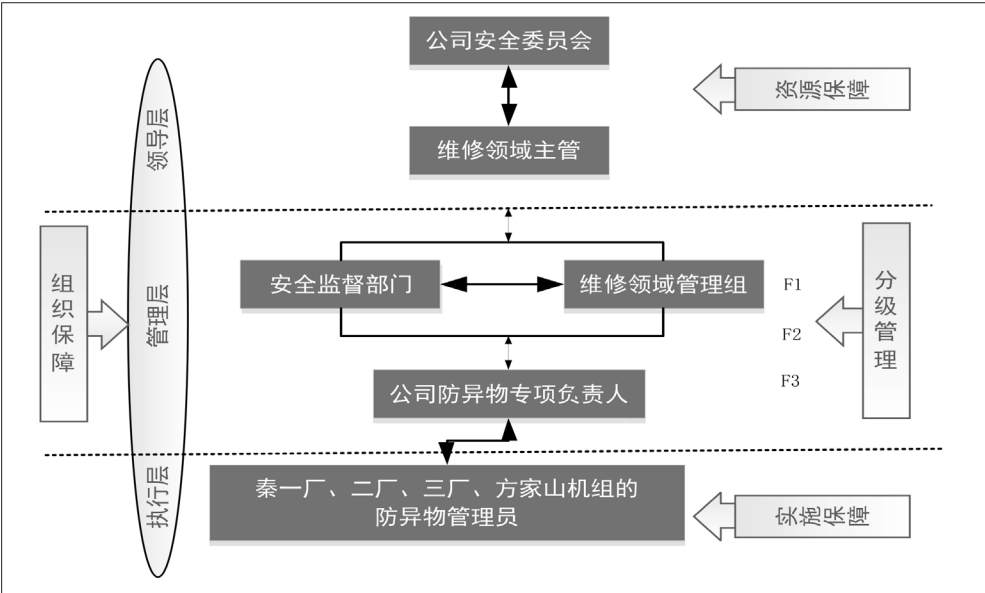


图 2 数字化检修管理组织机构

进入该防异物专区的人员才被允许进入。

3.3.2 搭建物料扫描登记管理平台

平台实现了对进出防异物专区的物项进行扫码精确登记、精准定位、精细授权的功能，实现防异物设备及过程活动信息有效规范和传递，为数字化检修管理提供了信息化支持^[5]。

工器具、材料、备件、物料等数据与工器具管理系统互联互通。在工器具管理系统增设检修管理专区，通过物项扫描实现检修管理区域进出控制，具体操作：进入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，全部扫完后点击保存，完成登记。可以根据查询条件查看所有的工器具进、出信息，可直接导出物项进出电子清单，也可形成该区域的防异物

区域物项进出分析统计。通过对人员控制和物项控制信息化管理，为数字化防异物搭建了信息化平台，贯通了异物控制数据传输过程通道。

3.3.3 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，实现检修管理过程视频动态监控。在人员出入闸机、防异物隔

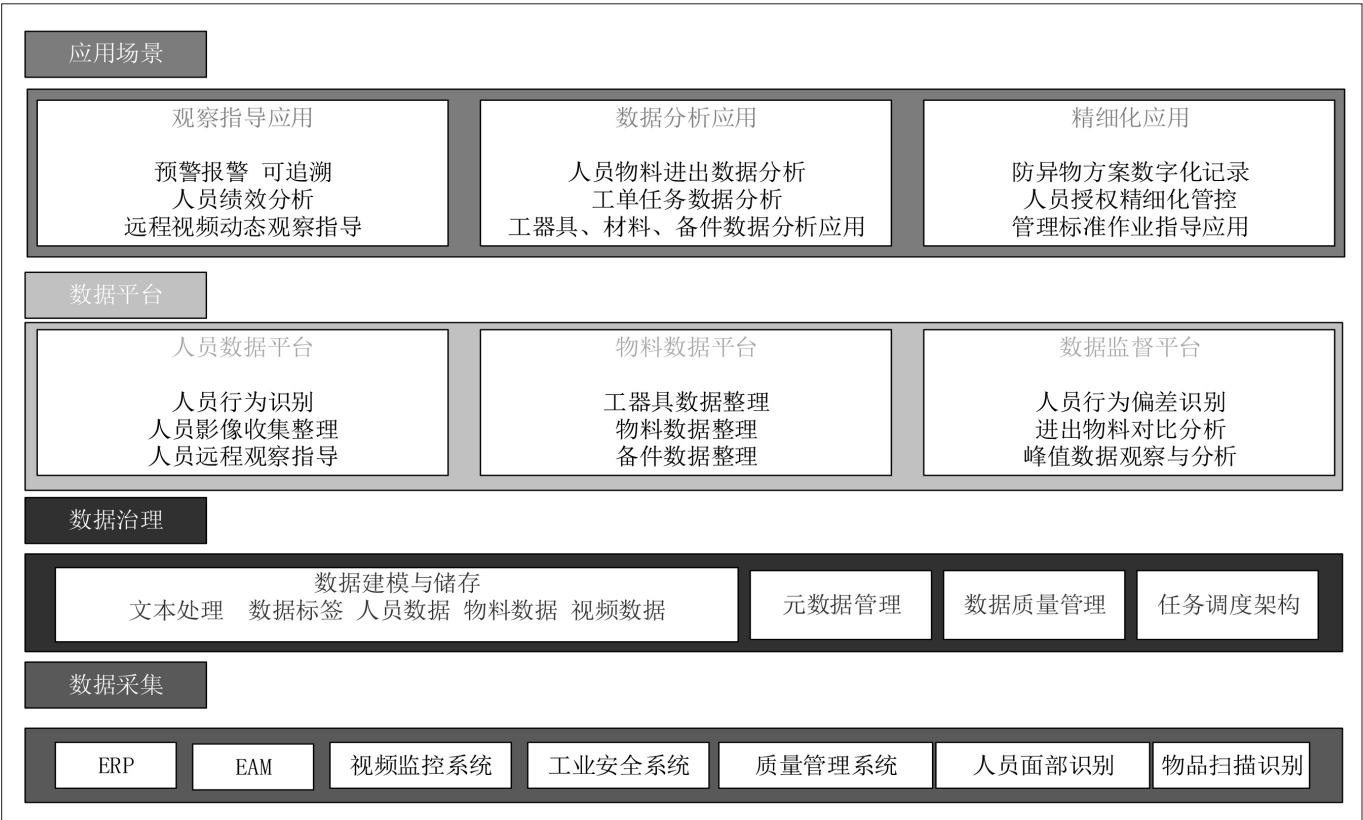


图 3 数字化检修管理数据框架图

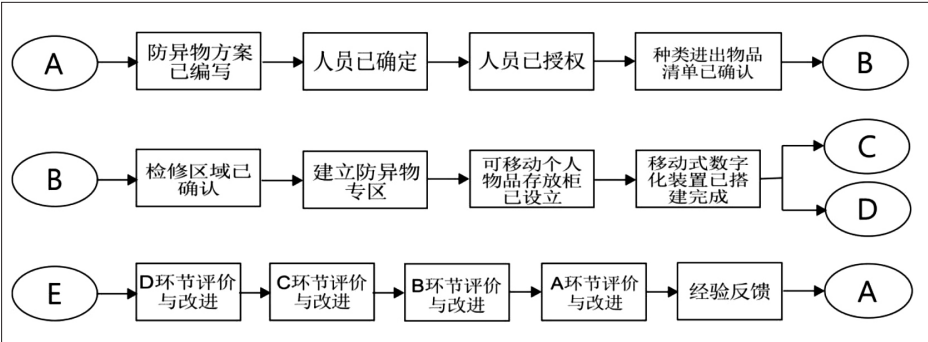


图 4 数字化管控流程

离区出入口、防异物控制点等架设高清摄像机，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、电脑）总体监控，实现防异物远程视频监控和观察指导。远程监控系统具有视频和音频对话功能、调方向、调焦距功能，具备视频回放、查询功能，可以利用电脑终端、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。该平台和公司现在平台联通、集成，方便数据传输，如：大修人员授权，保卫人脸识别等系统，保证数据的实时性和准确性；集成物项、工器具基础信息、异常消息分发等后台，支撑工作现场工作有序展开；现场监控视频，数据实时交互，为后台管理、作业指导中心管理提供数据支持；监控系统

获得人员身份信息时，对于有发生过工具丢失的工人，系统会发出警告，有利于防异物绩效考核和奖惩。

3.4 汽轮发电机组检修数字化管理应用

首创一种汽轮发电机组检修取样人员和物品进出数字化管控流程（图 4），数字化管控方法，主要分五大环节：第一个环节为检修工作前准备阶段；第二个环节是检修区域现场布置；第三个环节是对人员及其自身物品进出检修区域的管控；第四个环节是针对检修区域所需的各类物品的管控；第五个环节是针对整个检修工作

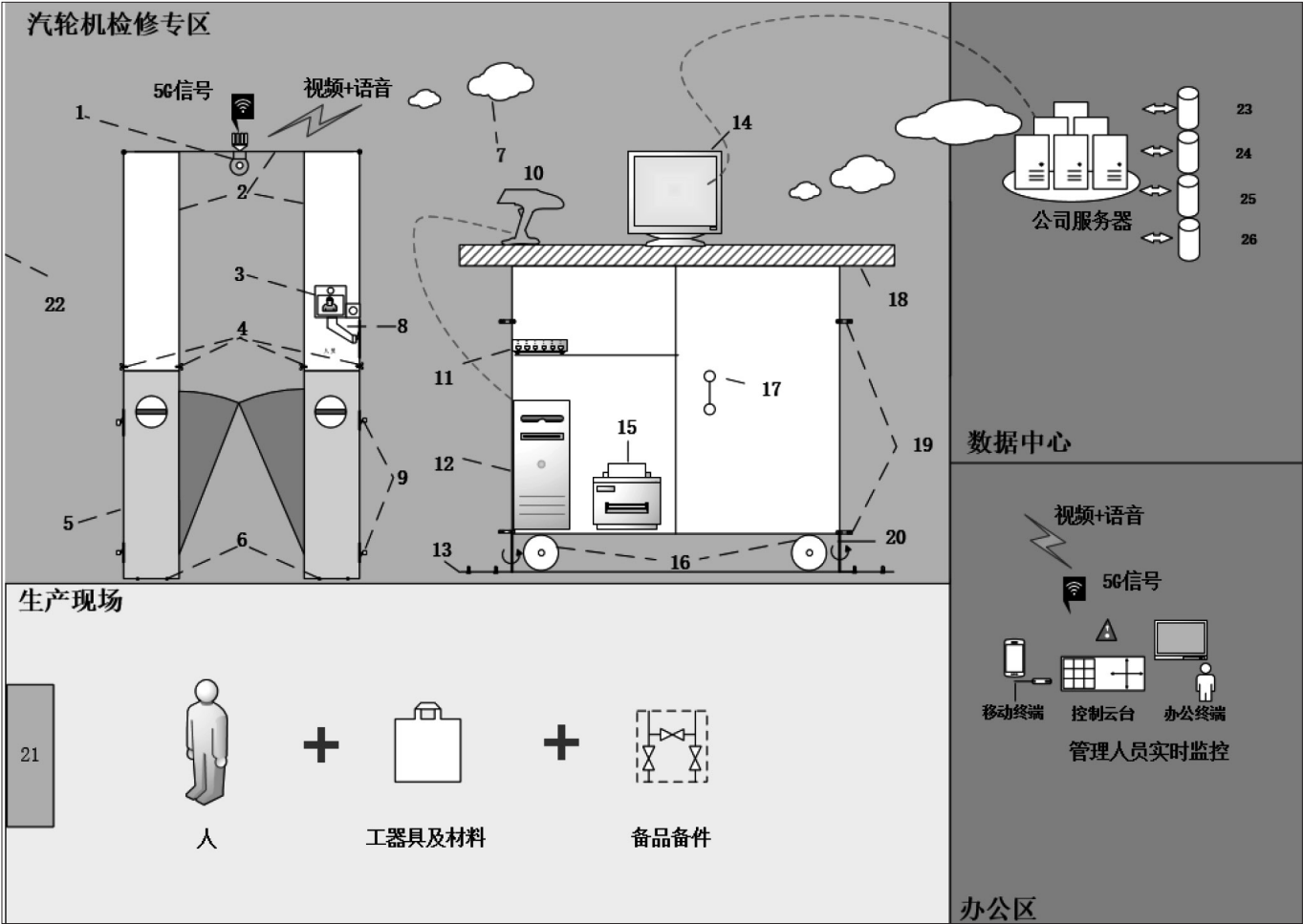


图 5 数字化管控方法示意图

流程进行整理、记录、追踪,形成经验反馈及闭环管理。

以汽轮发电机数字化检修管理(图5)为例,能够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。为满足检修管理高标准要求,提供了一种安全可靠的数字化管控方法。

3.4.1 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,最大存储人数150人次(可根据需求调整),方便进入防异物专区人员的个人物料如手机、水杯、门禁卡、小物件等临时存放。存放人员现场刷脸登记打开柜门,存入物料,关闭柜门,取出时刷脸开门,取出物料,关闭柜门,轻便快捷,提高效率。防异物专区人员物料存放柜主要功能有四个。

(1) 人员管理:可以添加、修改和删除人员信息,也可以使用U盘导入、导出人员。

(2) 记录管理:用户使用箱柜进行存取的记录都可以查看。

(3) 门柜设置:可以配置箱子数量、开箱清箱、收费设置、指纹模式选择等。

(4) 固件升级用于软件版本的升级。

3.4.2 检修管理过程中的控制

以汽轮发电机组发电机检修区域为例,现场布置工具扫码枪及支架、移动式摄像头、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。在维修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,进出防异物区人员行为通过视频监控。

3.4.3 检修管理的复盘

数字化检修管理通过信息系统可以直接看出当前区域的人数和过程中人员变动及行为趋势,便于核心区的防异物人员动态控制;可以通过进出物料物资、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便于快速找到;通过检修管理区域的视频监控系统可以存储人员行为,在发现异常事件时可以快速找到失效人员和失效部位,便于检修管理过程复盘。

4 实施效果

4.1 推动数字化检修管理变革

实现检修管理全过程要素数字化管理转型,解决了

核电企业异物控制低效的难题;推动了核电数字化检修管理变革,为核电数字化维修现场管理奠定基础;实现了人员、工器具、备件、材料数据互联互通,更加精准、精细、精密,将防异物管控细化到每一个流程要素;推动了公司ERP、EAM、工业安全、质保管理信息化平台融合数据贯通;推进了人员、工器具、材料、备件等数据实时交互、储存、分析、动态管控。

4.2 推进检修管理绩效大幅提升

以汽轮发电机组发电机大修为主线的检修管理为例,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2min降低为2s,作业时间可节省23.74h,大幅提升工作效率。实现了人员工作效率和精准管控,提高了检修管理人员管理巡视和观察指导及时性、有效性,实现既定目标。基于数字化的检修管理实行以来,异物相关状态报告呈明显的下降趋势,实现企业降本增效。

4.3 实现企业核心竞争力提升

探索出一套数字化管理新模式,风险管控能力不断加强,提升了企业核心竞争力。该成果已应用在秦山核电1号机组、方家山核电1号机组,即将在秦山第二核电厂4号机组应用,由中国核电推广到三门核电、福清核电、海南核电、漳州核电等核电动机组。良好实践通过WANO东京中心向核电行业推广应用。

5 结语

综上所述,汽轮发电机组在运行过程中防异物是至关重要的环节,为了确保核电厂安全稳定运行,本文从管理技术以及方法等方面进行了研究创新,探索出一套数字化管理新模式,希望为核电机组的安全稳定运动发挥一定参考作用。

参考文献:

- [1] 余海威. 对汽轮发电机真空度低故障检修思路的探讨[J]. 中国修船, 2020, 33(05): 4-7.
- [2] 郭雅婷. 汽轮发电机组虚拟维修过程评价方法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2020.
- [3] 赵永安. 汽轮发电机组控制系统伺服阀检修维护要点[J]. 电工技术, 2017(11): 99-100.
- [4] 刘正春. 汽轮发电机组电气检修探讨[J]. 电工技术, 2016(05): 26-27.
- [5] 姜勇. 浅谈汽轮发电机组的振动原因及预防[J]. 中国新技术新产品, 2015(08): 41.