

核电站实物保护系统门禁子系统国产化优化路径探析

潘航, 段丹阳

国核示范电站有限责任公司, 山东 威海 264300

DOI:10.61369/ERA.2026010028

摘要 : 核电站作为国家清洁能源战略的关键基础设施, 其安全稳定运行对保障国家能源安全和公共安全具有重大战略意义。实物保护系统中的门禁子系统在防范核设施破坏、阻止核材料非法转移等方面发挥着不可替代的核心作用。本文基于核电厂门禁系统日常运维实践, 深入剖析了当前系统在冗余配置、功能实现、兼容性与系统集成等方面存在的突出问题, 系统性地提出了采用双机热备机制、强化设备级安全机制、优化双门互锁逻辑、提升生物识别技术兼容性、完善测试与联动流程、推进系统集成与可视化、推广国密算法应用、规范安装部署流程等针对性优化建议。

关键词 : 核电站; 核安保; 实物保护系统; 门禁系统; 国产化; 兼容性

Analysis on the Localization Optimization Path of Access Control Subsystem of Nuclear Power Plant Physical Protection System

Pan Hang, Duan Danyang

State Nuclear Power Demonstration Power Plant Co., LTD., Weihai, Shandong 264300

Abstract : As a critical infrastructure component of national clean energy strategies, nuclear power plants play a vital role in ensuring national energy security and public safety through their safe and stable operation. The access control subsystem within physical protection systems serves as an indispensable core component in preventing nuclear facility sabotage and blocking illegal transfers of nuclear materials. Based on daily operational practices of nuclear power plant access control systems, this paper thoroughly analyzes prominent issues in current systems regarding redundant configurations, functional implementation, compatibility, and system integration. It systematically proposes targeted optimization recommendations, including: implementing dual-machine hot standby mechanisms, enhancing equipment-level security protocols, optimizing dual-door interlock logic, improving biometric recognition technology compatibility, refining testing and coordination processes, advancing system integration and visualization, promoting the application of national cryptographic algorithms, and standardizing installation procedures.

Keywords : nuclear power plant; nuclear security; physical protection system; access control system; localization; compatibility

引言

核电站实物保护系统是保障核设施与核材料安全的重要屏障, 其中门禁系统作为出入口管理的核心组成部分, 直接关系到厂区安全等级与控制效率。随着信息技术与生物识别技术的发展, 门禁系统正朝着智能化、集成化、国产化方向演进。然而, 在实际运维过程中, 系统仍存在冗余不足、功能单一、兼容性差等问题。这些问题不仅影响系统的可靠运行, 也给核电站的整体安全带来潜在风险。特别是在推进国产化替代的过程中, 如何确保系统的稳定性与安全性, 成为亟待解决的重要课题。本文结合多年运维经验, 从系统架构、功能优化、技术兼容等多个维度提出系统性的改进措施, 以期核电站门禁系统的升级与国产化推进提供具有实践价值的参考。

一、系统作用与重要性

门禁系统在核电站实物保护体系中具有举足轻重的地位。它不仅是人员与车辆进出控制的执行单元, 更是核电站安全防护体

系中的第一道防线^[1]。现代门禁系统具备身份验证、区域权限管理、出入记录追溯、异常行为告警等多项功能, 是实现“纵深防御”和“均衡防护”理念的关键环节, 并保证探测、延迟和响应三要素的协调, 最大限度减小部件失效产生的影响, 防范外部、

作者简介: 潘航 (1994.08-), 男, 陕西咸阳人, 本科, 中级, 研究方向: 实物保护, 通讯。

内部及内外勾结等多种形式的威胁^[2]。

在核安保体系中，门禁系统的稳定运行直接影响到整个实物保护系统的有效性。通过精确的身份识别和权限控制，门禁系统能够有效防止未经授权的人员进入保护区，确保核材料和核设施的安全。同时，系统记录的出入数据为安全审计和事件追溯提供了重要依据，有助于及时发现和处置安全隐患^[3]。

二、问题分析及解决措施

（一）系统冗余与可靠性提升

根据现有设计表明，门禁主控制器缺乏冗余配置是当前系统的主要薄弱环节，存在单点故障风险。在实际运行中，一旦门禁主控制器发生故障，将导致整个区域门禁系统瘫痪，严重影响核电站的安全运行^[4]。此外，现有的状态监控机制不够完善，无法及时发现控制器异常，故障切换效率较低。

优先建议采取双机热备或集群部署方式，实现主控制器的冗余配置。具体实施时，建议采用主备同步机制，确保备用控制器实时保持与主控制器相同的状态数据。当主控制器发生故障时，系统应能在秒级内自动切换到备用控制器，保证业务连续性。次之，采取一半设备接入一个门禁主控制器，另一半设备接入另一个门禁主控制器，当某一个门禁主控制器故障时，可确保此子项有一半通道确保现场人员正常通行，避免出现某子项通行瘫痪，进而由于“防反传”原因导致整个门禁系统运行瘫痪^[5]。

同时，需要建立完善的控制器状态监控机制，包括实时监测控制器的 CPU 负载、内存使用率、网络连接状态等关键指标，设置合理的阈值告警。建议部署专用的监控终端，对控制器运行状态进行可视化展示，便于运维人员快速掌握系统健康状况^[6]。

（二）设备级安全机制强化

在现场调试过程中发现，部分通道存在“一机多闸”现象，即单个断路器管理多个通道门。这种配置虽然降低了建设成本，但存在严重的安全隐患。当断路器发生故障时，会导致多个通道同时失效。此外，缺乏独立保护机制的通道在发生异常时无法快速定位和隔离故障^[7]。

建议推行“一机一闸一保护”原则，确保每个通道具备独立控制与保护能力。具体而言，应为每个通道门配置独立的断路器，实现故障隔离。

对于三角叉门、旋转门等防反传设备区域，安装大屏对各设备进出人员进行显示，并对过程中出现的譬如密码错误、无效卡等警告信息进行直观显示，提醒人员进行规范操作^[8]。

同时，引入门磁信号输出至扬声器系统，实时提示门状态变化^[9]。当检测到门未正常关闭或非法开启时，系统应立即发出声光报警，提醒现场人员注意。此外，建议在关键通道增加本地应急处理机制，如破碎按钮装置等，确保在系统、设备故障时仍能保持基本的通行功能^[10]。

（三）双门互锁功能优化

现有的双门互锁逻辑主要基于简单的时序控制，缺乏对异常行为的智能判断。在实际运行中，存在尾随闯入的风险。同

时，系统对异常开启事件的响应不够及时，无法有效阻止非法入侵^[11]。

建议优化互锁逻辑设计，结合人脸识别或虹膜验证实现二次确认。当第一道门开启后，系统应要求人员在缓冲区内进行身份复核，确认无误后方可开启第二道门^[12]。其次，引入智能行为分析模块，通过视频分析技术检测尾随行为。系统应能识别多人连续通过、异常停留等可疑行为，并及时发出警报。此外，建议设置可调的时间延迟参数，根据不同区域的安全等级配置合适的互锁时间，在保证安全性的同时兼顾通行效率。并加入 3.2 章节中的门磁信号输出形成声光报警，直观提醒人员注意门的状态，避免出现内侧门或外侧门没关好，导致人员无法进入或者外出的情况出现。

（四）生物识别技术兼容性

现有系统对新型生物识别技术的支持不足，主要体现在硬件接口不统一、软件协议不兼容、数据下发无进度条等方面。这导致系统难以灵活切换或组合使用不同的识别方式、维修难度较高等，限制了系统的升级和发展。

建议采用模块化设计理念，从硬件和软件两个层面提升系统兼容性。在硬件层面，定义统一的设备接口标准，支持多种生物识别设备的即插即用。在软件层面，开发统一身份认证平台，实现对不同识别方式的融合管理。具体实施时，建议采用微服务架构，将各种生物识别算法封装为独立服务，通过标准 API 接口提供服务^[13]。这样既便于系统的扩展升级，又能保证不同识别方式之间的协同工作。此外，应建立统一的特征模板库，支持多种生物特征的集中存储和管理，为多模态身份认证奠定基础。

最终实现各设备可直接接入系统，无需中间件等设备，并在一个系统中实现上传、下发数据。

（五）功能测试与运维优化

当前系统的测试流程不够规范，缺乏完整的测试用例和评估标准。在系统升级或改造后，往往难以全面验证各项功能的正确性。此外，门禁系统与其他系统的联动测试缺乏明确的标准和流程。

建议制定标准化的测试流程，涵盖单元测试、集成测试和系统测试三个层次。具体包括：建立详细的陪访测试机制，明确测试场景和通过标准；规范开门时间参数的设置和验证方法；完善后台状态显示功能的测试要求；制定各类报表的生成和校验标准^[14]。在联动测试方面，需要明确摄像机联动的触发条件、响应时间和视频质量要求，建立完整的测试用例库。特别要优化车道控制的逻辑测试，包括无车状态下的授权显示、异常情况下的应急处理等。同时，改进读卡器的反馈机制，通过差异化的声光信号提示操作结果，提升用户体验。

（六）系统集成与可视化

现有系统界面复杂，操作不够直观，特别是防反传区域的显示不够明确。设备管理采用平面化结构，难以快速定位具体设备。门禁系统与其他系统的集成度不够，数据共享和协同处理能力有限。

建议实现防反传区域的可视化展示，在电子地图上清晰标注

各区域的防反传规则和状态。采用不同颜色标识区域的防护等级，实时显示人员在各个区域的分布情况。其次，采用树状结构组织设备层级，按照物理位置和功能关系建立设备拓扑图，支持快速定位和状态查询。在系统集成方面，推动门禁系统与视频监控、入侵报警等系统的深度对接，实现统一的安防管理平台。具体包括：建立统一的事件处理机制，实现跨系统的联动响应；开发标准数据接口，支持安防数据的集中分析和处理；构建统一的权限管理体系，实现各系统间的单点登录和统一授权。

（七）加密与国产化安全

部分在运系统仍使用非国密算法，存在安全风险。同时，关键部件依赖进口，系统的自主可控性不足。在推进国产化过程中，面临着产品成熟度不高、系统兼容性差等问题^[15]。

建议全面推进国密算法在门禁系统中的应用，包括身份认证、数据传输和存储等环节。具体实施时，需要完成密码算法的替换和升级，确保符合国家密码管理政策要求。在国产化推进方面，采取分步实施的策略：首先在非核心区域试点应用国产设备，积累运行经验；然后逐步推广到关键区域，最终实现全站国产化。重点推动国产芯片、操作系统与门控设备的集成应用，建立国产化产品的测试认证体系。同时，加强与国内厂商的合作，推动建立产业联盟，共同制定技术标准和接口规范，促进国产化产品的成熟和完善。

（八）安装与部署规范

现场安装缺乏统一标准，不同厂商的设备安装方式存在差异，影响系统的整体性和稳定性。布线混乱，给后续维护带来困难。部分设备的防护等级不符合现场环境要求。

建议制定详细的安装与布线规范，明确各类设备的安装要求。包括：规定控制器机柜的安装位置和环境条件，或以机柜整机形式进行出厂，出厂前完成内部的设备、接线安装，避免现场

安装工人水平差异导致设备安装问题；统一线缆颜色标识和布线方式，避免不同施工队伍的水平差异导致线缆标识出现错误或者不规范的情况；明确接地的技术要求；规定设备防护等级的选择标准。在施工管理方面，建立严格的质量监督机制，实行工序验收制度。每道工序完成后，必须经监理确认合格后方可进入下一道工序。特别要加强隐蔽工程的验收管理，确保布线质量。在系统调试阶段，要制定详细的调试大纲，包括设备级调试、子系统调试和整体联调，确保系统各项功能符合设计要求。

三、结束语

随着核电站安全要求的不断提高，门禁系统作为实物保护体系的重要组成部分，必须不断优化与升级。本文从冗余设计、功能完善、技术兼容、系统集成与国产化安全等多个维度提出了改进建议，旨在推动门禁系统向全面化、扩展化、兼容化、细致化方向发展。

在推进国产化的过程中，需要特别注意处理好安全性与可用性、先进性与成熟度、自主性与兼容性之间的关系。既要坚持自主可控的安全目标，又要确保系统的稳定可靠；既要积极采用新技术，又要充分考虑技术的成熟度；既要推进国产化替代，又要保持系统的开放性和兼容性。

未来，随着国密算法的普及与国产设备技术的成熟，核电站门禁系统将更加安全、智能、可靠。同时，随着人工智能、大数据等新技术的应用，门禁系统将向智能化运维、精准化管控的方向发展，为国家核安保事业提供坚不可摧的支撑。建议后续重点开展以下工作：建立国产化门禁系统的测试认证体系；制定行业技术标准规范；加强专业人才培养；推动产业链协同发展，共同提升我国核电站门禁系统的整体水平。

参考文献

- [1] 国家核安全局. 核设施实物保护规定 [S]. 2020.
- [2] 王建国, 李思远. 核电站实物保护系统设计与实现 [J]. 核安全, 2019, 18(2): 45-51.
- [3] 张磊, 刘畅. 基于国密算法的门禁系统安全机制研究 [J]. 信息安全研究, 2021, 7(4): 32-38.
- [4] 陈志强, 周华. 生物识别技术在核电站门禁系统中的应用探讨 [J]. 核电子学与探测技术, 2020, 40(3): 412-417.
- [5] 赵刚, 孙悦. 核电站智能化门禁系统集成架构研究 [J]. 自动化仪表, 2018, 39(6): 88-92.
- [6] 国际原子能机构. Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision 5)[R]. Vienna: IAEA, 2011.
- [7] 黄伟, 徐明. 双机热备技术在核电站控制系统中的应用 [J]. 电力系统自动化, 2017, 41(12): 156-160.
- [8] 罗晓飞, 杨静. 核设施门禁系统冗余设计与可靠性分析 [J]. 核技术, 2022, 45(1): 78-84.
- [9] 刘鑫, 王波. 国产化芯片在关键信息基础设施中的应用研究 [J]. 信息网络安全, 2019, 19(5): 1-7.
- [10] 胡军, 高翔. 核电站实物保护系统纵深防御策略研究 [J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(7): 119-125.
- [11] 郑小林, 董磊. 门禁系统与视频监控联动技术研究 [J]. 现代电子技术, 2020, 43(15): 120-124.
- [12] 肖建国, 李文涛. 核电站信息安全与物理防护一体化设计 [J]. 华东电力, 2018, 46(4): 210-215.
- [13] 李明, 王磊. 核电站门禁系统可靠性设计与实现 [J]. 自动化与仪器仪表, 2022, 45(3): 112-116.
- [14] 陈静, 刘建军. 国产化安全芯片在关键基础设施中的应用研究 [J]. 信息安全研究, 2020, 6(2): 45-51.
- [15] 王志强, 张华. 核电站实物保护系统技术创新与发展趋势 [J]. 核安全, 2021, 20(1): 78-84.