 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i6.6032

Maintenance methods and implementation paths of computer operation and maintenance software for smart power plants with high reliability

Sicong Liu

Guoneng Xinkong Technology Co., Ltd., Beijing, 100032, China

Abstract

With the acceleration of the construction pace of smart power plants in China, the structure of computer systems is becoming increasingly complex. Against this background, the professionalization and efficiency of operation and maintenance work have become an important component to ensure the stable operation of the system. However, at present, smart power plants have frequent faults due to multiple reasons such as the rapid update of computer software systems and the lack of an emergency response system for faults, which restricts the production and operation of smart power plants. In this regard, based on the goal of high reliability, this article proposes reasonable and reliable software maintenance methods and implementation paths for the computer operation and maintenance of smart power plants in China, in order to promote the operation and maintenance system to move towards intelligence, standardization and sustainability, thereby achieving the safe, stable and economic operation of smart power plants.

Keywords

Smart power plant; Computer operation and maintenance software; High reliability; Maintenance methods; Implementation Path

面向高可靠性的智慧电厂计算机运维软件维护方法及实现路径

刘思聪

国能信控技术股份有限公司，中国 · 北京 100032

摘　要

伴随着我国智慧电厂建设步伐的加快，计算机系统的结构也日趋复杂，在该背景下运维工作的专业化和高效化成为保证系统稳定运行的一个重要组成部分。但现阶段，智慧电厂受计算机软件系统更新快、故障应急响应制度未建立等多方原因导致了故障频发，从而制约着智慧电厂生产运行。对此，文章基于高可靠性的目标就我国智慧电厂计算机运维提出合理可靠的软件维护方法及实现路径，以推动运维体系向着智能化、规范化及持续化的方向迈进，从而实现智慧电厂安全稳定且经济性的运行。

关键词

智慧电厂；计算机运维软件；高可靠性；维护方法；实现路径

1 引言

新时期下，计算机已经在电力行业中得到了广泛的应用，促进了智慧电厂的建设，提高了电厂信息化、自动化、数字化的水平。目前我国部分的电厂计算机维护依然采用传统的分布式管理模式，即厂家与电厂各自为战，在运行上完全依靠本厂；维护上小问题自行修补，大问题厂家协助。但随着智慧电厂设备越来越趋于智能化，以及各业务系统的深度耦合，使得计算机运维工作更需要关注其可靠性的提升。

【作者简介】刘思聪（1987–），男，中国河北任丘人，本科，工程师，从事计算机、智慧电厂、电厂信息化等研究。

2 高可靠性的智慧电厂计算机运维软件现实意义

我国智慧电厂运维中，由于许多重要环节都需要依靠计算机来实现，如 DCS 控制系统、MIS 管理平台与工业大数据平台等等，任何一个层次上的运维发生故障都有可能造成智慧电厂中设备停电、数据断送、业务失控等严重问题，同时当多个多源异构系统同时存在且信息孤岛未打通时，由于智慧电厂系统之间关联度非常高，如果出现软件层面的故障会非常难定位和排查，并且容易导致一系列连锁问题，继而造成电厂生产运行受阻 [1]。所以研发具有高可靠性、高容错性、具有自动监测功能以及具备自适应能力的计算机运维软件是保障智慧电厂正常稳定运行的一项关键举措。此外，

目前部分电厂仍以人工经验运维为主，软件无法及时得到更新和升级，没有统一的版本管理和验证机制，很难起到有效的保障作用，且运维过程中缺乏对信息数据的采集和分析方法等。针对这一现状，通过建立面向高可靠性的计算机运维软件维护体系将有助于缩减处理故障时间，避免因人为误操作导致故障的发生，推动故障预防向自愈转换以及增强智慧电厂系统自运维能力，最终为智慧电厂生产运行安全与效益提供稳定可靠的保障。

3 高可靠性的智慧电厂计算机运维软件维护方法

3.1 构建分层分域的软件健康度评估模型

基于智慧电厂计算机多系统异构集成、跨域协同高频交互的运维现状，构建分层分域特征软件健康度评估模型，能够实现各层面运维软件稳定性评价，从而保障它们稳定运行。软件健康度评估模型需要遵循纵向分层、横向分域的技术思路，结合智慧电厂业务系统分布及功能属性分为控制层、通信层、平台层和应用层进行设计。其中控制层部署在现场 PLC、DCS 节点上，评估主要关注控制指令实时性、冗余系统切换响应、I/O 模组异常率等指标，健康度数据采样基于内嵌式诊断模块实现实时上送；通信层评估的数据来源于工业以太网链路、光纤链路及无线通信链路的 RTO 链路状态、丢包率、RZT 测试指标等，同时引入工业交换机 SNMP 接口及流量镜像技术，多维度获取健康度数据源；平台层负责工业边缘节点、工业控制核心服务器等各类工业软件提供支撑，平台层评估指标通过 CPU 利用率、内存分页频率、系统调用负载、内核日志错误码密度等多项内容展开，信息来源来自通过轻量级守护进程和系统审计工具协同采集得到的指标值；应用层主要包括 EMS、MIS 和 SIS 等业务系统，主要采用 APM 和自主开发的日志审查引擎监测应用层各项指标。所有层的计算机运维软件采集的数据一起连接到中央分析引擎，采用多维权重模型和贝叶斯推理方法计算软件健康分，运用滑动窗口统计和自适应阈值的方法判断每个域的状态，并对各种域的状态采取相应的预警策略 [2]。

3.2 建立自动化补丁评估与验证机制

智慧电厂计算机运维软件还面临着补丁更新频率较高的特点。这就需要我们建设高可靠、可扩展及高自动化的补丁评估及验证机制。具体来说，使用 KVM 或者 VMware 这样的虚拟化平台来搭建主控服务器、数据采集终端、远程通信模块等与真实生产环境一样的结构模拟场景，并且借助镜像快照技术保持环境状态的灵活转变能力。同时基于 Docker 容器技术搭建出支持多版本系统的沙箱，在不同操作系统内核版本、CPU 架构下与国产化的芯片平台上测试补丁的兼容性。利用 CI/CD 的自动化流水线将补丁编译成功后即可触发静默代码分析与动态行为检测，扫描结束后输出结果，判断是否存在逻辑错误、内存泄露和系统调用风险等。通过利用历史运行数据构造多维性能基线模型，利用基线性能与带补丁后的系统各指标进行对比的方式，来判断补丁影响范围大小。经过补丁验证之后，采用蓝绿部署和金丝雀发布相结合的方式，优先选择次要系统节点开展小范围分阶段发布，并开启版本对比审计功能记录运行期间系统的差异情况，随后确认小范围发布无明显异常即可逐步进行关键系统节点补丁 [3]。另外，自动化补丁评估与验证机制还可集成双版本冗余以及热切换模块，并以 Keepalived、Pacemaker 等高可用组件执行异常情况下的及时快速回滚，从而不打扰到主系统运行状态。同时使用 AIOps 平台监测补丁运行日志、告警信息、链路性能并实时输出日志采集结果，通过日志查看部署是否成功，并作为下次版本迭代、优化的依据。

3.3 实施基于场景模拟的动态容错演练机制

为了提高智慧电厂计算机运维软件在极端工况下的高可靠性，可通过建立基于场景模拟的动态容错演练机制来达到这一目的。搭建基于实际故障和历史数据的典型高频故障场景库。如主控服务器宕机、控制总线通信中断、冗余链路失效、数据库访问超时、服务进程崩溃等典型故障类型，同时对各种故障设置触发条件、影响范围以及恢复途径等。通过故障注入控制器，在非生产环境中注入实际存在的各类组件的故障点，在此基础上对各组件的工作状态进行收集。故障注入时，需要集成高精度的监测模块，实时获取业务恢复时延、冗余节点接管延时、故障转移链路切换成功率、数据一致性校验结果等相关运行参数，再利用序列日志回溯恢复过程，将演练数据做结构化处理后作为输入数据，并通过机器学习的方法构建恢复时间预测引擎。同时采用多维特征交叉的方法进行容错策略的敏感度评估和薄弱环节识别，以便于后续进行容错逻辑优化或者接口冗余加强的操作。融合分布式日志聚合、链路追踪与故障定位技术手段，加强了容错演练的回溯能力和容错演练的响应路径可视化水平，利用容错演练管理平台一次性封装并执行注入任务、调度演练资源和存档演练运行数据，使容错演练过程具有可控性和可复现性。

4 高可靠性的智慧电厂计算机运维软件实现路径

4.1 建设集中化的运维软件版本控制与变更管理平台

平台整体架构使用的是模块化设计，包括版本控制子系统、变更管理引擎、集成配置管理数据库（CMDB）、区块链不可篡改记录模块、灰度发布控制器、与工控系统及调度平台适配的接口 [4]。版本控制子系统采用 GitLab 企业版对接 CMDB 实现双向同步，全部软件构件的版本迭代情况都可在上线时实现实时记录及回溯；变更管理引擎设置变更类型分级，正常修改、安全更新、新增功能和结构调整等几个级别，并且每一个级别都有对应的技术审议机制及流

程；区块链记录模块以联盟链架构实现，在此基础上利用国密 SM3 算法将各个阶段（版本提交、审批、发布、回滚）的关键操作点进行哈希运算，并将其串连起来形成一条完整的链路进行记录，在最后实现整个操作日志的全流程可追溯和不可篡改；灰度发布控制器在智慧电厂生产环境中布置多个区域的负载代理（如 Nginx、Envoy），实现版本更新对业务的影响范围最小化，结合蓝绿部署方案和实时监屏模块联合来实现发布中断控制和回滚触发的控制，同时设定降级回路在故障发生后的自动故障恢复和故障转移回控过程。此外，与 DCS 系统、实时数据库以及安全审计平台均使用 API 对接的方式进行技术集成，确保调度自动化流程与变更控制互不影响。平台整体支持容器化部署、分布式的整体部署模式，支持利用 Kubernetes 实现弹性扩展和高可用切换。

4.2 构建异构平台间运维数据集成中台

构建异构平台间运维数据集成中台有助于实现高可靠性的智慧电厂计算运维软件维护体系这一目标。采用微服务架构、基于 SpringBoot 和 Kubernetes 容器化部署，可实现服务弹性伸缩和故障隔离，使用服务网格（如 Istio）进行服务间流量治理和可观测性管理。同时采用多协议适配器组件，实现 OPC UA、Modbus TCP/RTU、RESTfu lAPI、MQTT 等多种工业协议混流采集，满足 DCS 系统、在线监测平台、能效系统、EMS 等多业务系统各自不同的数据接口要求。数据处理层内嵌高性能 ETL 引擎，通过 Apache NiFi 或 Stream Sets 实现数据规则驱动的数据清洗、字段规范化、时序聚合，使数据保证一致性以及结构上的统一性。同一个语义下按照统一处理方式处理过的数据分别写入到高可用时序数据库（InfluxDB 集群 / Timescaledb）和知识图谱引擎（如 Neo4j），用于多维关联查询、语义增强。通过配置化数据映射机制和插件化的数据转换模板，可实现厂商不同字段、结构间的自动映射，提升了集成中台的兼容性和可维护性。中台将 GraphQL、gRPC 接口向上层应用对外开放统一数据访问服务，为智能告警、故障预测模型、设备健康评估引擎等提供低延迟的数据调用。同时，通过部署基于 OAuth2.0 协议和 JWT 的认证授权体系，并使用多角色的权限粒度划分及 TLS 加密通道来保障上层访问的数据安全。另外，集成中台运行监控体系可通过蓝绿部署策略与实时监测模块搭建以及日志链路追踪工具实现故障定位、实时性能分析，从而保证了中台可以在任何复杂工况下稳定可靠的运行及为智慧电厂提供更为良好的计算机运维软件维护支持。

4.3 部署多层级动态安全防护机制保障运维软件稳定运行

智慧电厂计算机运维软件不但要保障自身系统的可用性，还要有很强的抵抗攻击以及异常恢复的能力，所以须部署多层级动态安全防护机制。在基础实施层加固终端设备、服务器的安全基线，开启系统完整性校验、启动入侵检测代理，对于来自外部系统的非法操作以及未知的软件注入行为予以阻断 [5]。同时，在网络层上建立基于零信任架构的访问控制模型，采用动态身份认证、设备指纹等认证方式及端到端加密传输协议，实现细粒度的权限隔离及数据传输安全保护。此外，应用层嵌入实时漏洞扫描和异常行为检测引擎，结合深度行为分析、策略审计来阻断可能的攻击途径。在运维软件还可采取安全沙箱技术来隔离高危操作区域，执行高危命令必须经过策略授权审核，确保所有操作都在可控范围内进行。最后，构建联动响应模式，在发现安全事件后实施立即降权，快照备份，故障转移等举措进行故障快速处置以保证运维功能的正常运行。

5 结语

随着现代化电厂的不断发展，智慧化电厂计算机运维工作量十分庞大且复杂性较强，单依靠人力已经无法有效地进行分析和控制，这就需要现代化信息技术来发挥全部的功能。因而建设面向高可靠性的智慧电厂计算机运维软件尤为必要，为此我们可采取健康度评估模型、自动补丁化与动态容错演练维护方法，同时落实版本控制系统、数据中台和安全防护体系等实现路径，在此基础上实现从机制上以及技术层面对运维软件的维护与安全保障，进而实现了提高运维效率及系统的稳定性的目的。

参考文献

[1] 庄续奎,罗永峰,宋义乐,张文,林培炜.揭东智慧化电厂项目智慧维护管理研究[J].2024.

[2] 马丽君,姜永霞,毛文祥.基于BIM及IoT技术的垃圾电厂智慧运维平台[J].安装,2024(004).

[3] 沈志中,黄学文.基于大数据分析和先进控制的智慧化电厂运维中心的设想[J].中国设备工程,2020(19):2.D

[4] 何德长.新能源电站智能化运维管理系统设计[J].中文科技期刊数据库（引文版）工程技术,2024(003).

[5] 王传刚,赵娅囡.基于专家模拟故障数据的智慧电厂发电机在线监测分析软件测试方法研究[J].东方电气评论,2022(002):036.