

智能化电厂建设探索

王 敏 韦碧瑾 杨红艳

国神公司技术支持中心 陕西 西安 710000

摘要：本文围绕智能化电厂建设展开研究，分析当前电厂智能化建设现状与需求，阐述数字孪生、物联网、人工智能、大数据等关键技术的应用场景，提出分阶段建设规划、一体化数据平台构建等实施路径与保障措施。旨在为电厂智能化转型提供方向，助力提升电厂运行效率、降低能耗，满足新型电力系统与绿色低碳发展要求，推动电厂高质量发展。

关键词：智能化电厂；数字孪生；物联网；人工智能；运营优化

引言

在新型电力系统构建与电力行业绿色低碳转型背景下，电厂面临提升灵活性、稳定性及优化能耗结构的挑战。目前国内电厂智能化水平参差不齐，多数存在诸多问题。加快智能化电厂建设既是适应外部环境变化之需，也是电厂自身高质量发展的必然选择，探索其建设路径具有重要意义。

1 智能化电厂建设的现状与需求分析

当前，国内电厂智能化建设处于逐步推进阶段，不同类型电厂的智能化水平存在明显差异。大型发电集团率先开展试点项目，在机组监控、设备管理等环节引入智能化技术，初步实现了部分流程的自动化。然而，多数电厂仍面临数据孤岛严重、设备故障预警能力不足、能耗优化空间有限等问题。从需求层面看，一方面，新型电力系统对电厂的灵活性、稳定性提出更高要求，需要通过智能化手段提升机组调峰能力与应急响应速度；另一方面，电力行业绿色低碳发展目标推动电厂必须优化能耗结构，降低污染物排放，而智能化技术是实现这一目标的关键支撑。此外，电厂运营成本压力增大，通过智能化提升劳动生产率、减少运维成本，已成为行业共识。因此，加快智能化电厂建设，既是应对外部环境变化的必然选择，也是电厂自身高质量发展的内在需求。

2 智能化电厂建设的关键技术体系

2.1 数字孪生技术

数字孪生技术通过构建与物理电厂高度一致的虚拟模型，实现对电厂全生命周期的动态模拟与实时监控。在电厂设计阶段，数字孪生模型可模拟不同布局方案下的设备运行效率与能耗情况，优化设计方案；在运行阶段，通过实时采集物理电厂的设备参数、环境数据等信息，在虚拟模型中精准映射电厂运行状态，实现对机组运行参数的实时分析与异常预警。例如，当锅炉出现温

度异常波动时，数字孪生模型可快速定位问题根源，并模拟不同调整方案的效果，为操作人员提供决策支持，有效避免设备故障扩大。此外，在设备检修环节，数字孪生技术可提前模拟检修流程，优化检修步骤，减少停机时间，提升检修效率^[1]。

2.2 物联网技术

物联网技术是实现电厂数据全面感知与互联互通的核心支撑。通过在电厂设备、管网、环境监测点等位置部署传感器、智能仪表等物联网终端，可实时采集设备运行状态、介质流量、环境温湿度等海量数据。这些数据通过无线通信、工业以太网等传输方式，汇聚至电厂数据中心，打破传统电厂各系统间的数据孤岛。例如，在汽轮机运维中，物联网传感器可实时采集轴承振动、油温、转速等参数，通过数据传输网络将信息实时上传至监控平台，实现对汽轮机运行状态的24小时不间断监测。同时，物联网技术还可实现对电厂辅网系统的智能化管理，如对输煤系统的皮带运行状态、煤仓料位等进行实时监测，确保燃料供应稳定，减少因辅网故障导致的机组停运风险。

2.3 人工智能技术

人工智能技术在智能化电厂中主要应用于数据分析、决策优化与智能控制，大幅提升电厂的自主决策能力。在设备故障诊断方面，基于机器学习算法构建的故障诊断模型，可通过分析历史故障数据与实时运行数据，识别设备异常特征，提前预测设备可能出现的故障类型与时间，实现故障预警与早期干预。例如，针对发电机定子绕组绝缘老化问题，人工智能模型可通过分析绕组温度、局部放电量等数据，精准判断绝缘老化程度，提前安排检修，避免突发故障。在运行优化方面，人工智能算法可结合电厂负荷需求、燃料特性、环境参数等多维度数据，优化机组运行参数，如调整锅炉燃烧

配比、汽轮机进气量等，实现能耗最低化与效率最大化。此外，人工智能技术还可应用于电厂的智能调度，根据电网负荷变化自动调整机组出力，提升电厂对电网的响应速度。

2.4 大数据技术

大数据技术为智能化电厂海量数据的处理与价值挖掘提供技术保障。电厂运行过程中产生的设备数据、运行数据、管理数据等具有体量大、类型多、增长速度快的特点，传统数据处理技术难以满足分析需求。大数据技术通过分布式存储、并行计算等技术手段，可高效处理这些海量数据，并通过数据挖掘算法提取有价值的信息。例如，通过分析历史运行数据，可挖掘机组运行参数与能耗之间的关联规律，为运行优化提供数据支撑；通过分析设备全生命周期数据，可建立设备健康评估模型，判断设备剩余使用寿命，为设备更换与维护提供科学依据。同时，大数据技术还可实现对电厂多源数据的融合分析，如结合气象数据、电网负荷数据等外部数据，优化电厂生产计划，提升电厂运行的经济性与灵活性。

3 智能化电厂建设的实施路径与保障措施

3.1 制定分阶段建设规划

智能化电厂建设无法一蹴而就，需根据电厂现有基础、资金投入、技术储备等情况，制定分阶段、可落地的建设规划。第一阶段为基础数字化改造阶段，重点完成电厂数据采集体系建设与现有系统的互联互通。通过部署物联网终端，实现关键设备、重要生产环节的数据全面采集；对分散的控制系统、管理系统进行整合，搭建统一的数据传输网络与数据标准体系，消除数据孤岛。此阶段目标是为后续智能化应用奠定数据基础，通常需1-2年时间。第二阶段为智能化应用深化阶段，在基础数字化改造完成后，重点推进数字孪生、人工智能等关键技术的落地应用。构建电厂核心设备与系统的数字孪生模型，实现运行状态的实时模拟与预警；开发设备故障诊断、运行优化等智能化应用模块，将人工智能算法融入生产运营流程，提升电厂自主决策能力。此阶段需2-3年时间，目标是实现电厂主要生产环节的智能化运行。第三阶段为全流程智能化集成阶段，在前两阶段建设基础上，实现电厂生产、运维、管理全流程的智能化集成。通过整合各环节的智能化应用系统，构建统一的智能化管控平台，实现机组运行、设备维护、燃料管理、环保监测等业务的协同优化；同时，加强与电网调度系统、燃料供应系统等外部系统的对接，提升电厂与外部环境的协同能力。此阶段目标是建成全面智能化的电厂运营体系，实现电厂整体效率与效益的最大化^[2]。

3.2 构建一体化数据平台

数据是智能化电厂运行的核心要素，构建一体化数据平台是实现数据价值挖掘与智能化应用的关键。一体化数据平台需具备数据采集、存储、处理、分析、应用等全流程功能，为电厂各业务部门提供统一的数据服务。在数据采集层面，平台需支持多类型数据接入，包括实时数据（如设备运行参数）、历史数据（如故障记录）、结构化数据（如设备台账）、非结构化数据（如检修报告）等，通过标准化的数据接口，实现与物联网终端、控制系统、管理系统等数据源的无缝对接。在数据存储层面，采用分布式存储架构，结合时序数据库、关系型数据库、非关系型数据库等多种存储方式，满足不同类型数据的存储需求，确保数据存储的安全性、可靠性和可扩展性。在数据处理层面，平台需具备数据清洗、数据转换、数据融合等功能，去除冗余数据与异常数据，将不同格式的数据转换为统一标准格式，实现多源数据的融合关联，提升数据质量。在数据分析与应用层面，平台需提供数据可视化、数据挖掘、模型部署等工具，支持业务部门根据需求开展数据分析工作，如生成设备运行报表、构建故障诊断模型等，同时为电厂各智能化应用系统提供数据支撑，实现数据与业务的深度融合。此外，一体化数据平台还需建立完善的数据安全保障机制，通过数据加密、访问控制、备份恢复等措施，确保数据在采集、传输、存储、使用过程中的安全，防止数据泄露与篡改。

3.3 加强专业技术人才培养

智能化电厂建设与运行依赖高素质的专业技术人才，加强人才培养是保障智能化建设成效的重要支撑。电厂需构建多层次的人才培养体系，涵盖技术研发、系统运维、业务应用等多个领域。首先，针对技术研发人才，电厂可与高校、科研机构合作，建立联合研发中心，开展数字孪生、人工智能等关键技术的研究与应用攻关，同时选派技术骨干参与国内外先进技术培训，提升技术研发能力。其次，对于系统运维人才，需加强对物联网、大数据、云计算等技术的培训，使其具备智能化系统的安装、调试、维护能力。可通过开展内部培训、邀请外部专家授课、组织技术比武等方式，提升运维人员的技术水平，确保智能化系统稳定运行。再次，针对业务应用人才，如运行操作人员、设备管理人员等，需重点培训智能化系统的操作方法与应用技巧，使其能够熟练运用智能化工具开展工作。例如，培训运行人员使用数字孪生监控平台分析机组运行状态，利用人工智能优化系统调整运行参数，提升工作效率与决策准确性。此外，电厂还需建立完善的人才激励机

制，通过设立技术创新奖励、晋升通道优化等方式，吸引与留住优秀技术人才，为智能化电厂建设提供持续的人才保障^[3]。

3.4 推进设备与系统的协同优化

智能化电厂建设需实现设备与系统的协同优化，打破设备、系统间的壁垒，提升电厂整体运行效率。在设备层面，需优先选择具备智能化接口的设备，确保新设备能够与现有智能化系统无缝对接，同时对老旧设备进行智能化改造，通过加装传感器、智能控制模块等方式，提升设备的数字化与智能化水平。例如，对传统水泵加装智能控制器与传感器，实现水泵运行状态的实时监测与自动调节，减少能耗。在系统层面，需加强各系统的协同联动，如将机组控制系统与设备管理系统、燃料管理系统进行集成，实现机组运行参数、设备状态、燃料供应等信息的实时共享与协同优化。例如，当设备管理系统发现某台设备存在故障风险时，可及时将信息反馈至机组控制系统，控制系统根据设备状态调整机组运行参数，避免故障扩大；同时，燃料管理系统根据机组运行需求与设备状态，优化燃料供应计划，确保燃料供应的及时性与合理性。此外，还需加强电厂与外部系统的协同，如与电网调度系统实现数据互通，根据电网负荷变化及时调整机组出力，提升电厂对电网的支撑能力；与燃料供应商系统对接，优化燃料采购与运输计划，降低燃料成本。

3.5 建立完善的运维管理体系

完善的运维管理体系是确保智能化电厂长期稳定运行的重要保障。电厂需结合智能化技术应用特点，优化运维管理流程，建立标准化、智能化的运维管理模式。首先，在运维流程优化方面，需打破传统的“事后维修”模式，建立基于设备状态的预测性维护体系。通过利用数字孪生、人工智能等技术对设备状态进行实时监测与故障预测，提前制定维护计划，减少非计划停机时

间。例如，根据设备健康评估模型预测的设备剩余使用寿命，合理安排维护时间与维护内容，避免过度维护或维护不足。其次，在运维管理标准化方面，需制定完善的运维管理标准与规范，包括设备监测标准、故障诊断标准、维护操作标准等，确保运维工作的规范化与标准化。同时，建立运维数据管理标准，对运维过程中产生的设备数据、维护记录等信息进行标准化管理，为运维优化提供数据支撑。再次，在运维管理智能化方面，需搭建智能化运维管理平台，整合设备监测数据、维护记录、备品备件信息等，实现运维工作的信息化与智能化管理。例如，平台可根据设备故障预警信息自动生成维护工单，并分配给相应的运维人员；同时，根据备品备件库存情况，自动提醒补充备品备件，确保维护工作的顺利开展。此外，还需建立运维效果评估机制，定期对运维工作的效率、成本、设备可靠性等指标进行评估，及时发现运维管理中存在的问题并加以改进，不断优化运维管理体系。

结语

智能化电厂建设是电力行业发展的必然趋势。通过关键技术支撑，制定分阶段规划、构建一体化数据平台、加强人才培养等实施路径与保障措施，可逐步实现电厂智能化。未来，需持续探索创新，推动智能化电厂建设不断完善，提升电厂运营效率与效益，助力电力行业可持续发展。

参考文献

- [1]罗则红,潘勤,唐世宝,高畅,熊继顺,王静,陈永珍,肖家垠,石俊文.青山热电公司建设成为智慧电厂技术路线的探究[J].能源科技,2021,19(03):51-56.
- [2]逯圣文.智能化电厂建设探索[J].黑龙江科学,2020,11(14):94-95.
- [3]王潇鹏.智慧电厂建设问题与实施构想[J].电气技术与经济,2020(06):7-8+11.