

基于人工智能的水电站运行预测与调度优化

郑欢

140622*****2614

摘要: 随着人工智能技术的快速发展,其在能源系统中的应用不断深化,为水电站的智能化运行提供了全新路径。传统水电调度依赖经验判断与静态模型,难以应对复杂多变的水文气象条件和电力市场需求。本文聚焦人工智能在水电站运行中的融合应用,探讨其在来水预测、负荷响应与调度决策中的关键作用。通过构建数据驱动的智能预测模型与优化算法,提升水电运行的前瞻性、精准性与自适应能力,推动水电管理向智慧化、高效化方向演进,助力现代电力系统实现安全、经济与绿色协同运行。

关键词: 人工智能;水电站运行;运行预测

DOI: 10.64216/3080-1508.25.09.035

引言

随着人工智能技术的不断发展和应用,其在各个领域的应用也日益广泛。水电站作为重要的清洁能源供应单元,其运行效率与调度科学性直接影响电力系统的稳定性与资源利用水平。长期以来,水电调度主要依赖历史数据、水文统计模型和人工经验,面对气候变化加剧、来水不确定性增强以及电力市场波动频繁的现实挑战,传统方法在预测精度与响应速度上已显不足。与此同时,大数据、机器学习、深度学习等人工智能技术的成熟,为解决复杂非线性系统建模问题提供了有力工具。通过有效的数据采集和处理、预测分析以及优化调度和能效提升等手段,人工智能可以提供精确的决策支持,并最大程度提高水电站的能源产量和资源利用效率。当前,智能算法正逐步从辅助分析向决策支持乃至自主调控延伸,成为提升水电运行智能化水平的核心驱动力。本文围绕人工智能在水电站运行预测与调度优化中的应用逻辑,系统探讨其技术路径与实施框架,旨在为构建智慧水电系统提供理论支撑与发展方向。

1 人工智能在水电运行中的技术适配性分析

1.1 水电站运行系统的非线性与不确定性特征

水电站运行是一个典型的复杂动态系统,其运行状态受到来水过程、水库调度、机组特性、电网需求等多重因素的共同影响。这些因素之间存在高度非线性关系,难以通过线性模型准确描述。例如,降雨与径流之间并非简单的比例关系,受流域地形、土壤含水量、植被覆盖等多种因素调节,表现出显著的滞后性与饱和效应。同时,电力市场电价波动、负荷变化也增加了调度目标的不确定性。传统调度模型多基于确定性假设或简化处

理,难以充分反映系统的真实动态。而人工智能技术,尤其是深度学习和非线性回归方法,擅长处理高维、非线性的输入输出关系,能够从历史运行数据中自动提取复杂模式,适应水电系统的动态变化特性,具备良好的建模适配性。

1.2 人工智能对复杂时序数据的建模优势

水电运行涉及大量时间序列数据,如逐日流量、水位、出力、气象要素等,具有明显的时序依赖性和周期性特征。传统统计方法在处理长时序、多变量数据时往往受限于模型假设和参数设定。而人工智能中的循环神经网络(RNN)、长短期记忆网络(LSTM)、门控循环单元(GRU)等模型,专为处理序列数据设计,能够捕捉时间维度上的长期依赖关系。例如,LSTM可通过“记忆门”机制保留前期水文信息,用于预测未来径流趋势,有效应对枯丰水期交替、季节性变化等复杂情况。此外,卷积神经网络(CNN)可提取空间特征,适用于流域多站点降水数据的融合分析。

1.3 智能算法与传统调度模型的融合路径

尽管人工智能具备强大建模能力,但其“黑箱”特性与物理机制缺失可能影响调度方案的可解释性与可靠性。因此,单纯依赖AI模型难以完全替代传统调度方法。更合理的路径是将人工智能与物理模型相结合,形成“机理驱动+数据驱动”的混合模式。例如,可将水文模型的输出作为AI预测模型的输入特征,提升预测精度;或将AI生成的来水预测结果嵌入传统优化调度模型中,作为边界条件进行求解。这种融合方式既保留了物理规律的约束性,又发挥了数据驱动的灵活性,能够在保证科学性的同时提升智能化水平。

2 基于 AI 的水电站来水与发电能力预测

2.1 多源气象与水文数据的融合预测机制

准确的来水预测是水电调度的前提。人工智能可通过整合卫星遥感、气象雷达、地面观测站、数值天气预报等多源数据，构建综合预测体系。例如，利用气象数据预测未来降雨，结合土壤湿度、积雪融水等下垫面信息，通过深度学习模型推演流域产汇流过程。AI 模型能够自动识别不同数据源之间的关联权重，动态调整输入变量的影响程度，避免人为设定权重带来的偏差。同时，模型可进行跨区域迁移学习，将成熟流域的预测经验迁移到数据稀缺区域，提升预测覆盖面。

2.2 长短期记忆网络在径流预测中的应用

LSTM 作为处理时间序列的先进神经网络，已被广泛应用于径流预测领域。其核心优势在于能够记忆长期历史信息，克服传统模型“遗忘过快”的问题。在实际应用中，LSTM 模型以过去若干天的降雨、蒸发、水位、流量等作为输入，预测未来数小时至数天的出流过程。通过训练大量历史数据，模型可学习到流域的调蓄特性、响应延迟等隐性规律。相比传统 ARIMA 或神经网络模型，LSTM 在处理非平稳、非线性径流序列时表现更优，尤其在洪水过程模拟中具有更高的峰值捕捉能力。

2.3 发电出力预测模型的动态修正机制

发电出力不仅取决于来水，还受机组效率、调度规则、设备状态等影响。AI 模型可基于实时运行数据，建立出力预测模型，并通过在线学习机制实现动态修正。例如，当某台机组因检修效率下降时，模型可自动调整其出力系数；当电网限电导致弃水时，系统可记录实际出力与理论出力的偏差，用于后续预测校正。通过引入反馈机制，AI 模型具备自适应能力，能够持续优化预测性能，减少系统误差累积。这种动态修正机制使预测结果更加贴近实际运行状态，为调度决策提供可靠依据。

3 智能调度优化中的决策支持系统构建

3.1 多目标优化模型的构建与权衡机制

水电调度往往面临发电效益、防洪安全、生态流量、下游供水等多重目标的冲突。人工智能可通过构建多目标优化模型，综合考虑各目标权重，生成帕累托最优解集。例如，使用遗传算法、粒子群优化等智能优化算法，在不同情景下搜索最佳调度方案。系统可提供多个备选方案供决策者选择，实现“人机协同”决策。通过设定动态权重，模型还能根据季节、气候或政策要求自动调

整优化重点，如汛期侧重防洪，枯水期保障供水。多目标优化提升了调度的灵活性与科学性。在实际应用中，模型可结合流域历史水文数据与实时监测信息，针对不同来水情况生成差异化方案，比如遭遇持续降雨时，自动提高防洪目标权重，优先保障下游河道行洪安全，避免单一目标优化导致的顾此失彼。

3.2 强化学习在实时调度决策中的适应性

强化学习通过“试错—反馈”机制学习最优策略，特别适用于动态环境下的实时调度。在水电系统中，智能体 (Agent) 以水库水位、来水预测、电价等为状态输入，以放水决策为动作，以发电收益或综合效益为奖励函数，通过不断训练形成最优调度策略。该方法无需预先设定规则，能够自主探索复杂环境下的最佳行为路径。在面对突发洪水或电网紧急调峰时，强化学习可快速生成响应策略，提升系统韧性。尽管训练过程较长，但一旦模型成熟，其实时决策能力远超传统方法。比如在电网突发负荷激增时，强化学习模型可基于当前水库水位与机组状态，在几秒内确定最优放水增量，快速补充电力缺口，而传统人工决策需经过数据汇总、方案讨论等流程，响应速度远不及前者。

3.3 调度方案的可行性验证与风险评估

AI 生成的调度方案需经过可行性校验，确保满足水位限制、泄洪能力、机组出力范围等物理约束。可通过构建仿真环境对方案进行预演，识别潜在风险。同时，结合概率预测与情景分析，评估不同方案在极端来水、设备故障等情况下的稳健性。系统可输出风险等级与应对建议，辅助管理人员做出审慎决策。通过引入风险评估机制，提升了智能调度的安全边界。例如，针对某调度方案，仿真环境可模拟水库水位超出汛限水位的概率，若风险等级过高，系统会自动提示调整放水时机或增量，并给出具体的调整幅度建议，帮助决策者在保障效益的同时规避安全隐患。

4 人工智能驱动的运行协同与系统集成

4.1 全厂智能监控与运行状态感知体系

AI 可集成 SCADA、视频监控、振动监测等系统，构建全厂智能感知网络。通过图像识别判断设备异常，语音识别记录操作日志，实现全方位状态监控。系统可自动识别异常模式，提前预警故障，提升运行安全性。在实际应用中，图像识别技术可实时监测水轮机叶片的磨损情况，通过对比叶片正常与异常状态的图像特征，及

时发现细微裂纹或腐蚀痕迹；语音识别则可让运维人员通过口头指令快速记录设备巡检情况，无需手动填写表格，减少人为记录误差，同时提高巡检效率。

4.2 梯级水电站群的协同调度机制

梯级电站之间存在水力与电力耦合关系。AI 可通过全局优化算法协调各站出力，避免上游放水过快导致下游弃水，实现流域整体效益最大化。例如，某流域上游电站若因电网需求需增加出力，AI 系统会同步计算下游电站的来水增量与水库容量，指导下游电站提前调整水位，预留足够空间承接上游来水，避免下游因水位过高被迫弃水，同时确保下游电站也能在最佳水位区间发电，实现整个梯级电站的效益协同。

4.3 水电与新能源系统的联动优化策略

在风光水互补系统中，AI 可预测新能源出力波动，调度水电进行调峰填谷，提升清洁能源消纳能力，增强电网稳定性。比如在晴天中午，光伏发电出力骤增时，AI 系统可预测到电力过剩风险，提前调度水电站适当降低出力，减少机组运行负荷；而在傍晚光照减弱、光伏出力下降时，系统又会指导水电站增加出力，补充电力缺口，避免电网频率波动，确保风光发电产生的电能能被充分利用，减少弃风弃光现象。

5 智能运行系统的实施保障与挑战应对

5.1 数据质量与信息基础设施的支撑要求

高质量、连续、完整的数据是 AI 应用的基础。需加强传感器布设、数据清洗与存储管理，构建稳定的数据采集与传输网络。在水电站现场，需在水库水位监测点、机组关键部件、输电线路等位置合理布设传感器，确保实时获取水文、设备运行、电力传输等数据；同时建立数据清洗机制，剔除异常值、缺失值，避免脏数据影响 AI 模型训练效果；还需搭建安全的云存储或本地存储系统，保障数据存储安全与访问便捷。

5.2 算法可解释性与运行人员信任度提升

AI “黑箱”特性影响其在关键决策中的接受度。可通过可视化解释、局部敏感性分析等方法增强模型透明度，提升人机协作水平。例如，在智能调度系统中，可通过可视化界面展示 AI 生成调度方案的依据，如某方

案优先保障生态流量，界面会清晰呈现当前生态流量需求、来水情况与方案之间的关联；局部敏感性分析则可告知运行人员，当来水预测数据发生变化时，调度方案会如何调整，让运行人员理解模型决策逻辑，减少对 AI 的不信任感，更愿意配合 AI 进行协同决策。

5.3 技术标准与安全管理机制的同步完善

应制定 AI 在电力系统应用的技术规范与安全标准，明确责任边界，防范算法偏差、数据篡改等风险，保障系统可靠运行。相关部门可出台 AI 调度模型的性能评估标准，明确模型准确率、响应速度等指标要求；制定数据安全规范，规定数据采集、传输、使用过程中的安全防护措施，防止数据泄露或被篡改；同时明确在 AI 决策出现失误时的责任划分，避免出现推诿扯皮，确保智能运行系统在规范、安全的框架内运行。

6 结论

人工智能为水电站运行预测与调度优化带来了革命性变革。通过构建智能预测模型与优化算法，显著提升了来水预测精度与调度决策的科学性。AI 技术不仅增强了系统对复杂环境的适应能力，还推动了水电管理向智能化、协同化方向发展。然而，其应用仍面临数据、安全、可解释性等挑战。未来，需在技术创新与制度建设并重的基础上，构建安全、可信、高效的智能运行体系，为现代能源系统提供坚强支撑。

参考文献

- [1] 周杰. 基于人工智能的水电站电气设备无人运行方法研究[J]. 电气技术与经济, 2024, (10): 142-144.
- [2] 周杨, 任晓亮. 智能技术在水电站优化调度与能效提升中的应用[J]. 集成电路应用, 2024, 41(09): 160-161.
- [3] 赵立, 罗渝, 高歌, 等. 水电站发电调度算法研究进展及发展趋势[J]. 长江信息通信, 2023, 36(11): 21-25.
- [4] 孙智. 智能水电站计算机监控系统及设备的设计与实现[J]. 中国新通信, 2023, 25(18): 13-15+34.
- [5] 常硕, 梁杰, 姜久超. 基于模拟退火算法的水电站电气装置故障运行状态自动捕捉方法[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(03): 110-118.