

基于人工智能的水电站运行状态预测与优化调度研究

杨 林

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂（陇东南分公司），甘肃 陇南 746412

[摘要]随着可再生能源的需求不断增加，水电在电力系统中的重要性逐渐提升。然而，水电站的运行受多种因素的影响，如水流变化、设备状态和负荷需求等，传统的调度方法已难以应对复杂多变的环境。近年来，人工智能技术，尤其是机器学习和深度学习算法，为水电站的运行状态预测与调度优化提供了新的解决方案。通过分析历史数据和实时信息，人工智能可以更准确地预测水电站的运行状态，并优化调度决策，提升发电效率，降低运维成本，确保系统稳定运行。本篇文章综述了基于人工智能的水电站运行状态预测与调度的研究现状，讨论了在应用过程中遇到的数据安全、算法可解释性等挑战，并展望了未来的发展方向。

[关键词]人工智能；水电站运行；状态预测；优化调度

DOI: 10.33142/ucp.v1i6.15200

中图分类号: TP183

文献标识码: A

Research on the Prediction and Optimization Scheduling of Hydroelectric Power Station Operation Status Based on Artificial Intelligence

YANG Lin

Longdongnan Branch, Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: With the increasing demand for renewable energy, the importance of hydropower in the power system is gradually increasing. However, the operation of hydropower stations is affected by various factors, such as changes in water flow, equipment status, and load demand. Traditional scheduling methods are no longer able to cope with complex and changing environments. In recent years, artificial intelligence technology, especially machine learning and deep learning algorithms, has provided new solutions for predicting and optimizing the operation status of hydropower stations. By analyzing historical data and real-time information, artificial intelligence can more accurately predict the operating status of hydropower stations, optimize scheduling decisions, improve power generation efficiency, reduce operation and maintenance costs, and ensure stable system operation. This article reviews the current research status of artificial intelligence based operation status prediction and scheduling of hydropower stations, discusses the challenges encountered in the application process such as data security and algorithm interpretability, and looks forward to future development directions.

Keywords: artificial intelligence; operation of hydropower stations; state prediction; optimize scheduling

引言

随着全球对清洁能源需求的日益增长，水电作为重要的可再生能源，其在电力系统中的作用愈加重要。然而，水电站的运行面临着水流波动、负荷需求变化、设备状况等多种不确定因素，形成了复杂的运行环境。传统的调度方法，依赖于经验和固定规则，往往在快速变化且高度复杂的运行情境中显得效率低下。近年来，人工智能技术的迅速发展，为水电站的运行状态预测与优化调度提供了新的解决方案。通过机器学习和深度学习等技术，人工智能能够从海量历史数据中提取规律，准确预测水电站的运行状态，并根据实时信息动态调整调度策略。发电效率的提升、运营成本的降低、资源配置的优化，这一过程不仅能够实现，还能有助于确保系统的稳定性。基于人工智能的水电站运行状态预测与优化调度方法，本文将进行探讨，分析其实际应用中的优势与面临的挑战，并展望其未来发展方向。理论支持与技术保障的提供，期望通过这一研究，为水电站的智能化管理奠定基础，进而推动水电站运行效

率的提升与可持续发展。

1 基于人工智能的水电站运行状态预测方法

基于人工智能的水电站运行状态预测方法，主要依赖于对水电站历史数据的深入挖掘与分析。通过运用机器学习、深度学习等技术，高精度的预测模型得以建立，从而实现各类运行状态的实时预警与优化调度。在实际应用中，水电站的运行状态受水流量、发电机组转速、设备温度、压力等多个动态因素的影响，这些参数通常具有非线性、时变性及复杂的内在关联。传统的统计方法难以应对这种高度复杂的数据结构，而人工智能，尤其是深度学习方法，在处理高维、非线性及时序数据时表现出了明显优势。具体而言，机器学习算法，如支持向量机（SVM）和随机森林（RF），通过训练大量历史数据，能够有效提取水电站运行状态与外部环境之间的潜在关系，从而实现较为精准的状态预测。这些算法在处理大规模、多维度的数据时具有显著优势，能通过分类或回归分析，为水电站的运行状态提供定量评估。深度学习方法，诸如长短期记忆

网络 (LSTM) 与卷积神经网络 (CNN), 在捕捉时间序列数据的时序性与空间特征方面, 展现了其独特的强大能力。水流量波动及设备故障等问题的预测精度, LSTM 能够有效处理水电站运行中长期的依赖关系; 而 CNN 则通过卷积层自动提取数据中的深层特征, 进一步提升了预测的准确度。此外, 水电站的状态预测不仅依赖于实时监测数据, 还需要对历史数据进行充分的预处理和特征提取。数据预处理的过程, 包括去噪、填补缺失值与数据标准化等步骤, 这些操作有助于提高模型的稳定性与准确性。在特征选择方面, 人工智能技术通过特征工程与自动化学习, 能够识别出最具预测价值的特征, 减少冗余数据对模型的干扰, 从而进一步优化预测效果。尽管人工智能在水电站运行状态预测中展现了巨大的潜力, 技术挑战仍然存在。例如, 水电站监测设备的精度与数据采集频率, 直接影响着模型的训练质量, 数据的不完整性或误差可能导致预测结果的不准确。另外, 提高人工智能模型的可解释性, 使其能够为工程技术人员提供更具操作性的决策支持, 依旧是一个亟待解决的难题。

2 基于人工智能的水电站优化调度方法

基于人工智能的水电站优化调度方法, 通过智能化的算法与模型, 显著提升了水电站的运行效率, 减少了能源浪费, 并增强了应对复杂动态环境变化的能力。传统的调度方法, 通常依赖人工经验或基于规则的优化模型, 虽然能够在一定程度上保障发电的安全性及效率, 但面对大规模、多目标、时变性以及不确定性等复杂问题时, 其灵活性与实时响应能力显得较为不足。随着人工智能技术, 尤其是机器学习与深度学习在多维数据建模与决策优化中的应用不断进步, 水电站的调度不仅变得更加精准, 且具备了更高的效率。在优化调度过程中, 人工智能算法通过分析历史数据、实时监控信息及外部环境的变化, 水电站的发电计划得以动态调整。例如, 基于强化学习的调度方法, 能够在复杂环境下自我学习与优化, 通过智能地选择最优运行策略, 既提高了发电效益, 也减少了对环境的负面影响。通过与环境的互动, 强化学习算法评估不同策略的回报, 从而在各种可能的情境下做出最优决策。与传统方法相比, 强化学习调度策略能够更好地应对水流变化、负荷波动以及设备故障等动态因素, 进而在不确定性与多目标的情况下, 最佳的平衡点被找到。深度学习方法, 尤其是长短期记忆网络 (LSTM) 与卷积神经网络 (CNN), 在水电站优化调度中的应用也展现了显著的优势。时间序列数据中的长时间依赖关系, LSTM 能够有效处理, 这使其特别适合水电站这种受季节性与气候变化等长期因素影响较大的系统^[1]。通过学习历史负荷与发电量等数据, LSTM 能够预测未来的负荷需求与水资源变化, 为调度决策提供更加精准的支持。擅长从复杂的多维数据中提取深层次特征的 CNN, 特别在同时考虑多个电站及不同机组的调度时, 能够通过卷积层捕捉各维度之间的关联性, 从而优化资源配置, 提升调度精度。此外, 结合多目标优化技

术, 人工智能方法能够解决发电效率、经济性、安全性等多个目标之间的冲突问题。在实际应用中, 调度不仅仅是为了最大化发电量, 还需平衡电网负荷、维护计划及环境保护等约束条件。通过集成学习等方法, 人工智能能够在多目标、多约束的情境下, 找到一组最优解, 确保水电站的运行既提高经济效益, 又保障系统的安全与稳定。尽管基于人工智能的优化调度方法展现了巨大的潜力, 但在实际应用中, 依然面临一些挑战。首先, 数据的质量与时效性问题不容忽视, 水电站需要实时采集大量监测数据, 而这些数据往往受到传感器故障、网络延迟等因素的影响, 可能导致模型训练与预测的偏差。其次, 人工智能算法的可解释性仍然是一个难题, 尽管这些算法能提供高效的决策支持, 但其决策过程通常较为复杂, 缺乏透明度, 难以让工程师完全信任其结果。最后, 随着水电站系统规模的不断扩大, 调度问题的复杂性也在增加, 如何提高人工智能模型的计算效率, 使其能够在大规模系统中实时响应, 已成为当前研究中的重要课题。

3 水电站运行状态预测与优化调度的挑战

3.1 持续优化与预测精度提升的挑战

在水电站的运行状态预测与优化调度过程中, 持续提升预测精度一直被认为是一个重大挑战。水电站的运行状态受到多重复杂因素的影响, 这些因素包括自然环境、设备状况、负荷需求及季节变化等, 通常表现出高度的动态性与不确定性。在这样的多变环境下, 保持预测的高精度, 成为了技术上的难题。水电站的运行数据, 具有高维度、多源以及时变性的特点。随着时间的推移, 水流量、发电负荷、设备状态等数据会不断变化, 要求预测模型能够持续适应新的数据模式。与此同时, 模型的更新与优化, 也会消耗大量的计算资源与时间, 这无疑增加了实施的难度。此外, 数据质量, 被认为是影响预测精度的关键因素。在实际运行过程中, 传感器故障、数据缺失及噪声干扰等问题, 往往导致模型训练时产生偏差, 从而影响预测结果的准确性^[2]。水电站运行数据的复杂性, 使得人工智能算法难以全面捕捉到所有特征与规律, 尤其在面对极端工况或突发事件时, 模型的鲁棒性与准确性, 常常难以得到保障。

3.2 人工智能算法的可解释性问题

人工智能算法的可解释性问题, 已成为水电站运行状态预测与优化调度中的一大挑战。尽管深度学习、强化学习等算法在提升预测精度与优化调度方面取得了显著成效, 这些算法常常被视为“黑箱”, 其内部工作原理及决策过程, 往往难以被人类理解或追溯。在水电站这一高风险、高复杂度的工业环境中, 人工智能模型的决策不仅仅是对数据的处理, 它们直接影响着发电效率、设备安全以及能源调度等关键环节。因此, 如何提高算法的可解释性, 显得尤为重要。对于工程技术人员来说, 理解人工智能模型的决策过程至关重要, 这不仅关系到模型在复杂环境中的信任度, 也决定了其是否能够被验证与应用。当模型做

出与实际情况或预期不符的决策时,工程人员通常难以追溯其原因或及时调整策略,从而影响决策的有效性与可靠性。此外,水电站的运行状态涉及多个变量和约束条件,在人工智能算法的求解过程中,复杂的特征融合与权重调整,往往使得其结果对非专家来说更难以理解与解读。

3.3 数据隐私与安全性问题

数据隐私与安全性问题,已成为水电站运行状态预测与优化调度中面临的另一大挑战。随着智能化技术的广泛应用,水电站的运行数据、设备监控信息以及外部环境数据等大量敏感信息,实时被采集、传输并存储。这些数据通常包含了水电站的运行机密、设备性能、发电量以及电网负荷等关键内容。一旦这些数据泄露或遭到非法篡改,可能带来严重的安全风险,影响水电站的正常运行,甚至对电力系统的稳定性及能源供应的安全性造成威胁。数据的隐私性与完整性,在这一过程中面临着极大风险。尤其是在多个水电站协同调度或跨区域数据共享的背景下,数据传输往往可能遭遇网络攻击或篡改。随着智能化水平的提升,更多的第三方服务商和云平台参与到数据存储与分析中,这使得数据的管理与控制愈加复杂^[3]。在这种情境下,如何确保数据在采集、传输、存储及处理各环节中的安全性,防止敏感信息泄露或滥用,已成为亟待解决的关键问题。水电站的运行,涉及庞大的经济利益及社会稳定。任何在数据隐私与安全性方面的疏漏,均可能对国家能源安全与社会秩序产生严重后果。

3.4 多源数据融合与处理技术的突破

水电站运行状态预测与优化调度中的一大挑战,源自多源数据融合与处理技术的突破。随着智能化及信息化技术的不断进步,水电站的运营数据已不再仅依赖单一来源,而是涵盖了多个传感器、监控系统、气象数据、电网信息及历史运行数据等多个渠道。这些数据,在格式、维度、采集频率与质量方面,存在显著差异,且彼此之间复杂的时空关系,使得整合工作愈加困难。如何有效融合来自不同来源与层次的数据,确保其准确性与一致性,已成为提升水电站运行状态预测与优化调度精度的关键所在。数据融合的过程,绝不仅仅是简单地合并不同数据源。更多的是在多种数据类型之间寻找潜在关联与规律,解决噪声、缺失值以及不一致性等问题。同时,还需确保在数据处理过程中保持时效性与完整性。水电站运行环境的复杂性,尤其是数据的动态性与实时性,进一步加大了多源数据融合的难度。例如,水流量、天气状况、机组负荷等因素的实时变化,都会直接影响数据的时效性与预测的准确性。

4 水电站运行状态预测与优化调度的发展趋势

水电站运行状态预测与优化调度的未来发展,将愈加依赖人工智能、物联网、云计算等前沿技术的深度融合。随着数据采集与传输技术的不断创新,更加精准与全面的运行数据,将能够实时获取,为预测与调度提供更加可靠的基础。尤其是深度学习与强化学习等人工智能算法的广

泛应用,将显著提高预测模型的准确性与智能化水平,尤其在处理复杂非线性关系、时序数据与多目标优化等方面,展现出强大的潜力。物联网技术的进步,将使水电站的各类设备实现更高效的互联互通。传感器的布置将更加完善,实时监控与远程诊断的能力,也将变得更为精准。这不仅能够为预测模型提供设备运行状态及外部环境变化的实时数据,还能为及时调整调度策略提供有力支持。与此同时,结合云计算与大数据处理技术,水电站将能够实现跨区域、跨系统的数据共享与计算,打破传统局部优化的局限,推进全局性、系统性的智能调度^[4]。展望未来,水电站将朝着更加智能化与自适应的方向发展,预测与调度的范畴,将不再仅仅局限于电力生产优化,而将扩展到水资源管理、环境保护、设备维护等多个领域,最终实现全方位的综合优化。随着技术的成熟与数据安全保护措施逐步完善,人工智能与智能调度系统的可解释性与透明度将不断提升,进而推动这些技术的广泛应用与社会信任的建立。

5 结语

基于人工智能的水电站运行状态预测与优化调度研究,凸显了智能化技术在水电行业中的广泛应用前景。通过借助机器学习与深度学习等人工智能算法,水电站能够实现更为精准的运行状态预测,并在调度优化方面达到更高效的水平,从而有效提升发电效率、降低运营成本,并保障电网的稳定性。然而,数据隐私与安全性问题,以及算法的可解释性等方面的挑战,依然是当前技术应用中亟待解决的难题。随着相关技术的不断进步,未来人工智能将在水电站智能化管理中发挥愈加重要的作用,推动水电行业朝着更加智能化与绿色化的方向迈进。

[参考文献]

- [1]邱莘文.大数据时代计算机智能化水电站监控系统的应用研究[Z]//中国水力发电工程学会自动化专业委员会.中国水力发电工程学会自动化专委会2022年年会暨全国水电厂智能化应用学术交流会会议论文集.雅砻江流域水电开发有限公司;,2022:3.
 - [2]柏建双,阮凡,王贵.智能电站——人工智能在水电站中的应用研究[Z]//中国水力发电工程学会自动化专业委员会.中国水力发电工程学会自动化专委会2021年年会暨全国水电厂智能化应用学术交流会论文集.雅砻江流域水电开发有限公司;,2021:5.
 - [3]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.
 - [4]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(9):160-161.
- 作者简介:杨林(1993.1—),男,毕业于兰州交通大学博文学院,所学专业:水利水电工程,目前就职于大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂(陇东南分公司),职务:运行值班员,职称级别:助理工程师。