

基于深度学习算法的电力设备降损负荷控制方法

石 刚¹ 冀东红² 吴赛航¹ 杨云姣¹ 陈浩善¹

SHI Gang JI Donghong WU Saihang YANG Yunjiao CHEN Haoshan

摘 要

为控制电力设备运行中的损耗, 将其负荷控制在最优范围内, 引进深度学习算法, 开展电力设备降损负荷控制方法的设计研究。根据电力设备负荷不平衡度, 计算电力设备运行中三相不平衡线损; 引进深度学习算法, 结合多目标交叉协调控制矩阵, 设计以调度中心/变电站为核心的控制模型; 通过对电力设备运行中负荷成分的辨识, 实现对电力设备的降损负荷控制。对比实验结果证明, 应用设计的方法, 可以在控制电力设备运行损耗的同时, 将设备的平均负荷率控制在额定范围内。

关键词

深度学习算法; 协调; 三相不平衡线损; 负荷控制; 降损; 电力设备

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.09.034

0 引言

在电力系统中, 电网扮演着至关重要的角色, 它负责将电力从发电厂传输到千家万户。然而, 在电网运行过程中, 由于多种因素, 如设备老化、负荷不平衡、传输距离过长等, 不可避免地会导致电能损耗。这种损耗不仅增加了供电成本, 还影响了供电质量, 给人们的日常生活带来了诸多不便。

近年来, 随着人工智能技术的飞速发展, 深度学习算法在电网领域的应用逐渐受到广泛关注。深度学习算法具有较强的自学习能力和特征提取能力, 能够处理大量复杂数据, 并从中探索出有效的规律。在电网运行数据分析方面, 深度学习算法具有得天独厚的优势。深度学习算法可以实现对电网运行数据的实时分析和处理。通过对电网运行数据的实时监控和采集, 深度学习算法能够迅速识别出电网运行中的异常情况, 如负荷波动、电压波动等。同时, 算法还可以根据历史数据和实时数据, 预测未来电网的运行状态, 为电网调度和运维提供有力支持。其次, 深度学习算法可以实现对电网负荷变化的更准确预测。电网负荷变化受到多种因素的影响, 如季节变化、天气状况、用户用电习惯等。传统的预测方法往往难以准确捕捉这些影响因素, 导致预测结果与实际负荷存在较大偏差。而深度学习算法可以通过学习历史数据中的潜在规律和特征, 提高预测精度, 从而为电网调度和能源管理提供更加可靠的依据。深度学习算法还可以帮助降低电网的损耗。通过对电网运行数据的深入分析, 算法可以找出导致损耗的关键因素, 如设备老化、传输线路损耗等。在此基础上, 算法可以提出针对性的优化方案, 如更换老旧设

备、优化传输线路等, 从而降低电网的损耗, 提高能源利用效率。

深度学习算法在电网运行数据分析中的应用具有广阔的前景和巨大的潜力。通过深度学习算法对电网运行数据的实时分析、预测和控制, 可以更准确地掌握电网的运行状态, 降低电网损耗, 提高供电质量, 为人们的生活带来更多便利。

杨毅东^[1]通过模拟自然选择和群体进化机制, 在复杂的多变量优化问题中找到近似最优解。在配电网负荷控制与规划领域, 该方法被用于优化电网的负荷分配和资源配置, 以提高系统的运行效率和稳定性。但该算法的性能受参数设置影响较大, 需要针对具体问题进行细致的参数调整。同时, 面对大规模和复杂多变的配电网系统, 算法的收敛速度和求解质量仍需进一步提升。对于实时性要求较高的负荷控制系统, 算法的快速响应能力也需加强。刘晓莎等人^[2]通过对机组运行数据进行学习和分析, 优化控制参数和策略, 以提高机组对负荷变化的响应速度和稳定性。在该方法的实际应用中, 算法的选择和参数设置对优化结果具有重要影响, 需要专家经验或大量试验确定。

为全面落实并推进此项工作, 本文将在此次研究中, 以某电力企业为例, 开展电力设备降损负荷控制方法的设计研究。

1 电力设备运行中三相不平衡线损计算

在电力设备运行中, 三相不平衡会导致额外的线损, 为满足电力设备降损负荷控制需求, 设计方法前, 进行电力设备运行中三相不平衡线损计算^[3]。先进行电力设备负荷不平衡度的计算, 计算公式为:

1. 甘肃同兴智能科技发展有限公司 甘肃兰州 730000

2. 国网甘肃省电力公司 甘肃兰州 730000

$$\beta_A = \frac{I_A - I_{av}}{I_{av}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\beta_B = \frac{I_B - I_{av}}{I_{av}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\beta_C = \frac{I_C - I_{av}}{I_{av}} \times 100\% \quad (3)$$

式中： β_A 、 β_B 、 β_C 表示电力设备在运行过程中的三相电流不平衡度（三相表示A相、B相、C相）； I_A 、 I_B 、 I_C 表示三相电流； I_{av} 表示三相电流平均值。如果三相是平衡的，则每相的线损应该相等，并且总线损是三相之和除以3。因此，上述公式中， I_{av} 可以通过下述公式计算得到：

$$I_{av} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} \quad (4)$$

在此基础上，如电力设备在运行中存在三相不平衡现象，则三相线的功率损耗可以通过下述公式计算得到：

$$P_1 = [(\beta_A + \beta_B + \beta_C)^2 + 3] I_{av}^2 R \quad (5)$$

式中： P_1 表示电力设备在运行中的三相线功率损耗； R 表示对应相线的电阻值。在电力设备运行中，三相不平衡不仅会导致相线上的功率损耗，还会在相线与中性点之间产生额外的损耗，此种现象通常是由于中性点电流不为0造成的^[4]。为了计算三相不平衡导致的总线损，需要考虑相线上的功率损耗以及中性点上的损耗。计算公式如下：

$$P = P_1 + P_2 \quad (6)$$

式中： P 表示电力设备运行中三相不平衡线损总值； P_2 表示相线中性点损耗。按照上述方式，完成电力设备运行中三相不平衡线损计算，掌握电力设备在运行中的损耗情况。

2 基于深度学习算法的电力设备运行协调控制

深度学习算法可以实时监测电网的运行状态，包括电压、电流、频率等关键参数。通过训练深度学习模型，可以预测电网的负荷变化，从而提前进行调度和控制，保证电网的稳定运行^[5]。为此，在完成上述计算后，引进深度学习算法，进行电力设备的运行协调控制设计。

在构建电网自动协调控制模型时，结合多目标交叉协调控制矩阵和深度学习算法，设计以调度中心/变电站为核心的控制模型^[6]。控制模型表达式为：

$$F = \omega^2 \times a(Y + Z) - Q + P \quad (7)$$

式中： F 表示电力设备运行协调控制模型； ω 表示深度学习次数； a 表示变电站中电力设备数量； Y 表示负荷识别点； Z 表示切负荷识别点； Q 表示异常点节点数量。模型通过精细划分的三个控制阶段，即输入负荷自动协调层、隐藏负荷自动协调层以及输出负荷自动协调层，实现电网的自动协调运行，确保电网的稳定性和优化性。模型结构如图1所示。

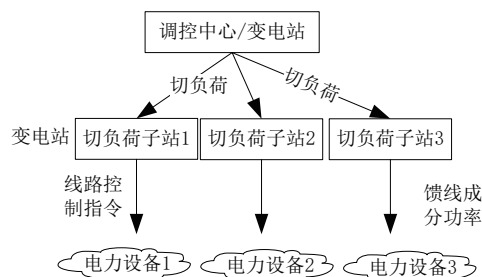


图1 电力设备运行协调控制模型结构

在电网的自动协调控制模型中，变电站层作为输入负荷自动协调层，是电网中的关键节点，负责收集、处理和传输来自各个电力用户的实时负荷数据，数据通过先进的传感器技术和通信网络实时传输到调度中心^[7]。通过深度学习模型的训练，系统能够自动识别和提取负荷数据中的关键特征，如负荷变化的趋势、周期性规律以及异常波动等。

隐藏负荷自动协调层位于控制模型的中间层，主要由切负荷子站组成。这一层的核心任务是进行复杂的负荷分析和控制决策，确保电网的负荷平衡和稳定运行。在此过程中，引进深度学习算法中的多目标交叉协调控制矩阵，综合考虑多个控制目标，如负荷平衡、经济性、环境友好性等，模拟电网的负荷变化和控制过程，计算最优的协调控制策略^[8]。切负荷子站作为这一层的重要组成部分，负责在电网负荷高峰或紧急情况下，根据控制策略自动切除部分不重要的负荷，以保证电网的稳定运行。通过深度学习算法的智能决策和快速响应，切负荷子站能够准确判断负荷的优先级和切除顺序，最大限度地减少对电网的影响^[9]。此过程的计算公式为：

$$J = \alpha(1 - f) \cdot F \chi \quad (8)$$

式中： J 表示负荷切除； α 表示电网负荷高峰值； f 表示负荷的优先级； χ 表示自主控制负荷单元值。输出负荷自动协调层是控制模型的最后一层，也是与电网直接交互的层面。这一层主要由各类电力设备组成，如发电机、变压器、开关等，主要负责接收来自上一层次的控制指令，并根据指令调整自身的运行状态，实现对电网负荷的自动协调。

3 负荷成分辨识与降损负荷控制

负荷成分辨识主要是对电力系统中各种负荷的电流、电压、功率因数等参数变化特性的辨识。在此过程中，使用安装在电网关键位置的传感器和计量设备，实时收集各个负荷点的电流、电压、功率因数等电气参数数据^[10]。此过程的计算公式为：

$$D = \frac{1 + J^2}{W} + g \quad (9)$$

式中： D 表示电气参数数据的收集； W 表示参数变化特性； g 表示辨识次数。在上述内容的基础上，对辨识的负荷数据

进行实时监测,收集电流、电压、功率因数等关键数据,以准确了解电力系统的运行状况。降损负荷控制则是通过监测和调整电力负荷的大小和分布,以确保供电稳定并保护电力设备和系统免受过载和故障的影响。电力负荷调节过程的计算公式为:

$$H = \sum D \cdot \frac{2}{\delta} \quad (10)$$

式中: H 表示电力负荷调节过程; δ 表示可调线路编号。按照上述方式,实现负荷成分辨识与降损负荷控制。

4 对比实验

选择某地区大型电力企业作为试点,展开对比实验。实验前,对此单位的运营现状进行分析。发现试点单位自成立以来,一直致力于提升电力供应效率和服务质量。经过几年的发展,该单位在电力供应、设备管理、客户服务等方面取得了显著成绩。目前,该单位拥有先进的电力设备和完善的供电网络,可以为当地居民和企业提供了稳定、可靠的电力服务。

通过与单位相关负责人的交涉发现,虽然单位在电网管理和设备维护方面做了大量工作,但仍存在一些不足,导致网损率相对较高。根据最近一个季度的统计数据,该电力试点单位的网损率平均为 3.2%,略高于行业平均水平(通常行业平均水平为 2.5%~3%)。在高峰时段,网损率最高可达 4.5%,表明电网在高负荷运行时的能量损失较为严重。不同电压等级的线路网损率也存在差异,其中 110 kV 线路的网损率最高,达到 3.8%。

在深入研究后发现,设备平均负荷率维持在 75% 左右,虽然处于较为合理的范围,但在高峰时段,部分设备负荷率超过 90%,接近满载状态。

为排除相关因素的影响,对企业内供电设备的运行基本参数进行分析,相关内容如表 1 所示。

表 1 供电设备的运行基本参数

序号	项目	参数
1	额定功率	10 000 kW
2	额定电压	10 kV
3	额定电流	600 A
4	额定频率	50 Hz
5	效率	95%
6	励磁方式	永磁励磁
7	设备能效比	3.5
8	热效率	90%
9	效率率	85%

在上述内容的基础上,对此电力单位的设备基础负荷协调控制指标进行设计,如表 2 所示。

表 2 试点电力单位的设备基础负荷协调控制指标设计

序号	指标	边缘指标参照值	定向指标参照值
1	标幺值	11.05	12.15
2	阻尼系数	3.3	4.5
3	机组惯性波动比	2.7	3.5
4	负荷变动限值	1.35	1.15
5	偏差系数	5.25	6.35

在上述内容的基础上,引进文献 [1] 中的基于差分进化算法的负荷控制方法、文献 [2] 中的基于智能算法的负荷控制方法,将提出的两种方法作为对照组方法,使用该方法与本文方法进行电力设备的降损负荷控制。

分析三种方法应用后,测试时段下的电力设备损耗情况,如图 2 所示。

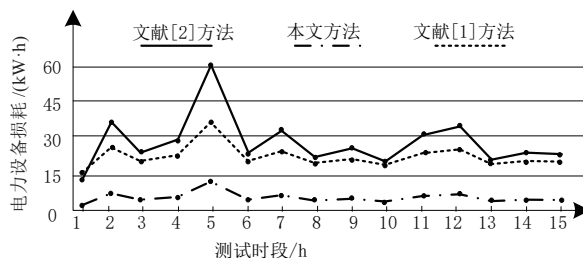


图 2 测试时段下的电力设备损耗情况

从图 2 所示的实验结果可以看出,相比两种对照组方法,应用本文设计的方法,可以更好地控制电力设备在运行中的损耗,提高电能的利用率。

完成上述测试后,将平均负荷率作为检验三种方法负荷控制的关键指标,明确平均负荷率的最优范围在 60%~80% 范围内,如平均负荷率超出此范围,说明部分关键电力设备的负荷率超过其设计能力,导致设备过热、效率下降。如平均负荷率未达到此区间,说明设备运行效率降低,存在能源浪费等问题。以此为依据,汇总实验结果,如图 3 所示。

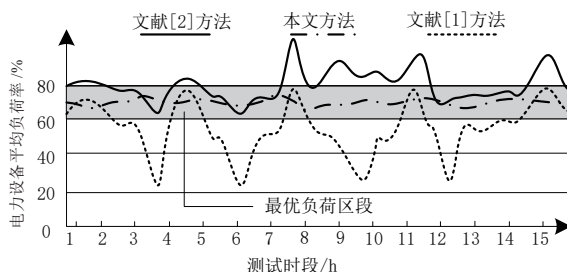


图 3 测试时段下电力设备平均负荷率分析

从图3所示的实验结果可以看出,在测试时段内,只有本文方法可以实现将电力设备运行的平均负荷率控制在指定范围内,而文献[1]方法应用后存在电力设备平均负荷率未达到设计标准的情况,文献[2]方法应用后存在电力设备平均负荷率超出指定范围的问题。

综合上述实验结果,可以得到结论:相比现有方法,本文设计的基于深度学习算法的方法应用效果良好,应用此方法,可以在控制电力设备运行损耗的同时,将设备的平均负荷率控制在额定范围内,以此种方式,发挥电力设备在供电服务中更高的效能,为电力企业运营创造更高的价值。

5 结语

随着智能电网的不断发展,电力设备越来越趋向于智能化。智能电力设备可以实现对电网的实时监测、自动控制和优化调度等功能,从而提高电网的运行效率和安全性。基于深度学习算法的电力设备降损负荷控制方法是电力设备智能化发展的重要方向之一,具有重要的研究意义和应用价值。该方法利用深度学习算法对电网数据进行深度挖掘和分析,以实现电力设备的降损负荷控制。这种方法不仅有助于降低电网的线损率,提高电网的能效,还有助于优化电力设备的运行状态,延长设备的使用寿命。具体而言,本文从电力设备运行中三相不平衡线损计算、电力设备运行协调控制、负荷成分辨识与降损负荷控制等方面进行了深入研究。首先,通过精确计算三相不平衡线损,为电力设备降损提供了可靠的数据支持。其次,运用先进的协调控制策略,实现对电力设备的精细化管理和优化调度,从而提高了电网的运行效率。最后,通过负荷成分辨识与降损负荷控制方法,实现了对电力负荷的精准预测和有效控制,降低了电网的线损率。在完成研究后,本文还进行了对比实验,以验证设计方法的实际效果。实验结果表明,本文提出的基于深度学习算法的电力设备降损负荷控制方法在实际应用中表现优异,达到了预期的降损负荷控制效果。这一成果不仅为电力行业的可持续发展提供了有力的技术支持,也为未来智能电网的建设提供了宝贵的经验。

参考文献:

- [1] 杨毅东.基于差分进化算法的配电网网格负荷控制与规划技术研究[J].电气传动,2024,54(5):34-40.
- [2] 刘晓莎,刘林林,寿德武.基于智能算法的火电机组变负

- 荷控制策略优化[J].湖南邮电职业技术学院学报,2024,23(1):36-40.
- [3] 郑舒,赵景涛,刘明祥.基于LSTM与迁移学习的配电网负荷频率控制PI参数整定方法[J].微型电脑应用,2024,40(4):97-100.
- [4] 伍怀,李新宇,张彬彬,等.考虑电动汽车的时滞孤岛微电网负荷频率控制[J].船电技术,2024,44(3):15-18.
- [5] 何雨奇,孙勇,云峰,等.中心点控制技术在双轴四缸电液伺服试验机上的应用[J].工程与试验,2024,64(1):69-70+78.
- [6] 周洋,王华,刘强,等.基于5G无线虚拟专网的电力精准切负荷控制系统技术研究[J].网络安全和信息化,2024(2):104-106.
- [7] 陆啸天.基于主配协同数据贯通的配网负荷控制方法的研究与应用[J].自动化应用,2024,65(2):39-41.
- [8] 李东昆,冯泊枢,王俊曦.考虑电池能耗因子与调节速率的电化学储能电站负荷控制方法[J].粘接,2024,51(1):141-144.
- [9] 侯泽东,王晓园,朱洪,等.考虑分布式煤改电负荷接入的配电网运行调度控制策略研究[J].四川电力技术,2023,46(6):41-49.
- [10] 随明鑫,康英伟.基于RLADRC的燃气-蒸汽联合循环机组负荷控制研究[J].汽轮机技术,2023,65(6):401-405+476.

【作者简介】

石刚(1980—),男,甘肃酒泉人,硕士,高级工程师,研究方向:电气工程。

冀东红(1980—),男,甘肃定西人,硕士,高级工程师,研究方向:电气工程及其自动化。

吴赛航(1990—),男,甘肃天水人,本科,工程师,研究方向:计算机科学与技术。

杨云姣(1989—),女,甘肃兰州人,本科,中级工程师,研究方向:电气工程及其自动化。

陈浩善(1989—),男,甘肃张掖人,本科,工程师,研究方向:电子信息科学与技术。

(收稿日期:2024-05-29)