

电力技术

基于人工智能技术的电力系统集控运行控制分析

李友才

湖南五凌电力工程有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i6.6892

[摘要] 目前电网集中调度的控制层次一般是单向的，虽然可以达到预定的控制目的，但是在复杂的运行环境下，则无法精确定位控制对象，存在一定的误差。基于此，该文章以此为基础，运用人工智能技术，建立了集中控制系统的调度控制模型，并对其进行了容错处理，达到了集中控制的目的。实验结果表明：1) 智能电网集中控制试验机组具有快速的响应能力，响应周期在 1.5 秒以内；2) 该类型电力系统的结构更加合理，能够适应工程的要求，以达到较好的设计效果。

[关键词] 人工智能技术；电力系统集控；运行控制方法；

Analysis of centralized control and operation control of electric power system based on artificial intelligence technology

Li Youcai

Hunan Wuling Electric Power Engineering Co., Ltd

[Abstract] At present, the control level of centralized dispatching in the power grid is generally one-way. Although the predetermined control purpose can be achieved, in the complex operating environment, the control object cannot be accurately located, and there are certain errors. Based on this, based on the use of artificial intelligence technology, the scheduling control model of centralized control system, and the fault tolerance processing, to achieve the purpose of centralized control. The experimental results show that: 1) the centralized control test unit of smart grid has rapid response ability, and the response period is within 1.5 seconds; 2) the structure of this type of power system is more reasonable, which can adapt to the requirements of the project to achieve better design effect.

[Key words] artificial intelligence technology; centralized control of electric power system; operation control method;

引言

近几年，随着新型信息技术的不断革新和发展，我国电网运行速率显著提高，控制效果显著；为保证生产、生活用电平稳供应奠定了基础。本项目将人工智能技术引入到电力系统集中控制系统中，以改善电力系统的内部架构，促进电力系统安全平稳运行，这对提高电网智能化水平，加速数字化转型发展，有着十分重要的意义。

1 构建电力系统人工智能集控运行控制方法

1.1 集控运行控制基础指标设定

电力系统的运行控制涉及多个方面，其中集中运行控制相关指标的设定至关重要，如表 1 所示，主要指标包括：

(1) 负荷控制。确保电力系统的负荷在可接受范围内，避免过载或不足；

(2) 频率控制。维持电力系统的频率在标准范围内，以

保持系统稳定运行；

(3) 电压控制。监测和调整电力系统的电压，以确保电力设备正常运行；

(4) 线路转移。在故障或其他情况下，将负荷从一条线路转移到另一条线路，保持正常供电；

(5) 控制约束。考虑各种约束条件，例如设备容量、网络拓扑和安全性；

(6) 目标设定。根据系统需求及运行目标，设定合理的控制目标。

表 1 基础控制主要指标及参数设定表

序号	控制指标	定义标准	边界标准区间
01	控制转换比	1.320	1.12~1.68
02	单向控制耗时 (s)	0.340	0.16~0.56
03	电力调度增量	11.930	10.26~14.32
04	允许故障概率 (%)	12.020	9.80~12.35

分析上表，先设定电力系统集控运行控制基础指标，并设定相应的参数，之后是根据实际需要不断完善控制结构，初设电力输出与输入值，明确电力的调度时间。依照所得数据，计算运行控制的失负荷概率，实现电力系统运行质量的提升，式 (1) 为计算公式：

$$D = \left(0.2h - \frac{ch}{a + (\phi h - 1)^2} \right) + h + 1 \quad (1)$$

上式中，D、h 分别代表运行控制失负荷概率与预设运范围；a 表示电力系统的供电均值；ψ 表示预设的控制次数；c 表示持续控制次数。综合运用以上参数，计算出运行控制的失负荷概率。

1.2 设计机器学习阶梯控制层级

五凌电力公司现有单层电力系统控制架构尽管能确保预设运行控制目标的实现，但控制范围不能根据需要调整扩大，由此限制了电力系统的推广应用，并降低了其控制效果。为解决上述问题，通过运用人工智能技术设计分布式控制架构，优化核心控制点，提高系统的自适应能力，利用机器学习算法根据历史数据进行学习训练，提高控制的准确性和效率。

为实现电力系统控制目标，设计基于机器学习的多层控制架构，包括采集层、中介层、关联层，各层之间相互作用，共同构成电力系统集中控制系统，根据具体层数可运用以下公式计算各层最大控制偏差。

$$I = \sum_{e=1} (\beta - 0.5\chi_1 e)^2 + \frac{\chi_1 \chi_2}{\chi_2 \beta} \quad (2)$$

其中，最大偏差 I 和控制总范围 β 是关键参数，χ₁、χ₂ 分别表示规定的单项控制范围、控制区域，可以优化控制次数 e。利用机器学习算法根据偏差标准调整层级结构，实现更精确的运行控制。参数计算是确保控制策略有效性的基础，如图 1 所示，通过合理的阶梯控制可提高电力系统的稳定性。

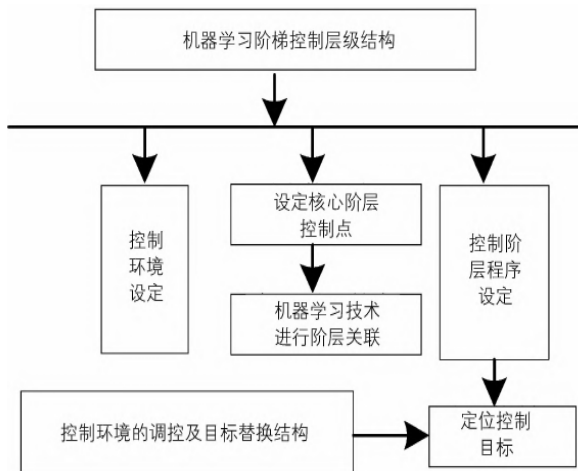


图 1 机器学习阶梯控制层级结构图示

依照上图内容，结合实际情况，合理调整系统的控制层级，各层之间相互关联可有效提高电力系统阶梯控制系统效率。

1.3 交互控制节点部署

基于 AI 技术设计多层关联控制网，包含多个交互节点，编写具体的控制指令，选择合适的点位设定初始节点，不同的层级分别设定各自的控制单元目标。为不断拓展节点控制区

域，可借助于多层级交互方式，通过式 (3) 计算出各层级相应的集控运行控制区域。

$$Y = (\delta - \varepsilon)^2 \times \sum_{I=1} 0.2U + dI \quad (3)$$

上式中，Y 表示集中控制区域；δ 表示设定的控制区域；ε 表示堆叠区；U 表示各层控制存在的偏差；d 表示控制覆盖距离；I 表示控制次数。

1.4 电力系统智能集中控制模型

基于人工智能技术、网络技术设计电力系统智能集中控制模型。该模型涉及集控运行控制，任务目标的标定时间，指令识别，以及定向控制等关键环节。通过分化调整、重置执行将任务分为四个阶段，以极限耗时 (0.52s, 0.66s, 0.91s, 0.12s, 0.25s, 0.29s, 0.31s, 0.45s) 作为标定时间差异参考。

该模型内部结构通过定向控制、关联指令控制现精确智能化操作。应用层系统可以识别、审查控制指令，确保每一步骤经过严格加密处理，以确保电力系统操作安全可靠。

1.5 容错处理

系统具有较强容错能力，以应对电力系统运行中不可避免的错误指令。系统装配监测设备，将设备与伺服补偿器相连，构建能根据实际情况不断优化内部构造的容错处理系统，以确保电力系统稳定运行。

电力系统运行出现指令异常时，通过构建容错处理机制，先是标定出现异常指令的部位，在此基础上重构系统部位，实现电力系统集控运行的准确控制，并显著提升其稳定性。

2 方法测试

开展测试活动，目的是检验电力系统智能集中控制系统的实际运行效果。将五凌电力公司作为案例分析对象，测试其智能化调度项目 D 电力系统，为提升测试结果的真实性与有效性，分别选定信息化技术赋能的新型电力系统、传统 PID 电力系统与人工智能电力系统三个测试组，测试其集控运行控制效果。

2.1 测试准备

为满足测试需求，并力求符合测试标准，需要构建合适的测试环境。按照基础性的要求，设定并完善 D 电力系统，全面提升测试数据的准确性与客观性。划分控制系统为三部分，在相应的控制区域装配独立的监测定位装置。采用 PID 控制程序实现底层回路的运转，防止固定模态发生运行故障，由此构架起电力系统完整的闭环控制系统。图 2 为闭环控制程序结构设定。

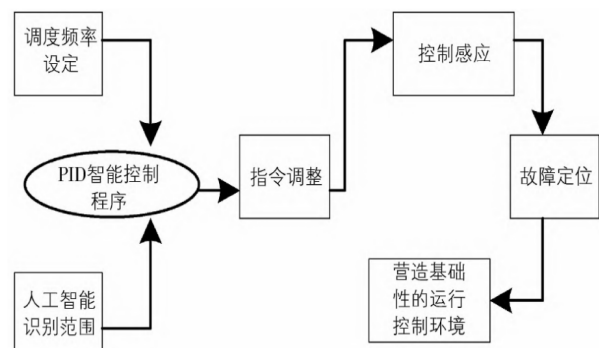


图 2 闭环控制程序结构设定图示

依照图 2 流程要求，设定控制程序结构，将其与电力系统

融合,有效保证电力系统安全稳定运行,基于电力系统运行情况,通过以下公式计算合适的控制区域。

$$J = u_1 + \sum_{r=1}^r \left[\frac{u_2^2 \times \int r(\gamma-1)}{\omega r + u_1 u_2} \right] - \omega r^2 \quad (4)$$

其中, J 表示系统的控制频域; r 表示控制次数; γ 表示控制偏差; u_1 表示系统设定的控制范围; u_2 表示实际测得的覆盖范围; ω 表示转换常数。通过设定上述指标参数,计算出电力系统的控制区域,作为预设控制区域,并进行有效标定,从而构建起完备的测试环境。

2.2 测试过程及结果分析

通过在电力系统中预设的监测节点,收集系统的各项基础性数据,汇总后存档,为后续工作的开展奠定基础。将监测设备安装于各个控制区域中,监测电力站的受控情况。在相应的控制范围内,采用人工智能技术促进控制模型的运转,实现对各个细分区域的动态化识别,针对出现异常的区域部位做好标记,并运用式(5)计算出单元控制效率。

$$W = \sigma \times \lambda^2 + C_1 \times \frac{1}{C_2 \sigma} \quad (5)$$

上式中, W 表示系统单元控制效率; σ 表示系统整体控制功率; λ 表示系统控制频率; C_1 表示系统设定的控制距离; C_2 为系统实际的控制距离。基于以上参数确定系统的单元控制效率,并运用式(6)算得动态控制响应速度。

$$V = \sum_{i=1}^N 0.3N + \frac{N + \sqrt{M^2}}{Lt + \mathfrak{R}} \times (M + 1) \quad (6)$$

上式中, V 表示系统控制响应速度; N 表示系统覆盖区域; M 表示系统响应次数; L 表示预设的控制距离; t 表示系统响应的控制频率; \mathfrak{R} 表示重叠的控制区域。运用上述指标数据实施计算,并有效分析测试结果的准确性,表2为测试结果的对比分析。

表2 集控运行控制测试结果对比分析表

测试区段	集控运行控制测试组动态响应速度 (s)		
	传统数字赋能 新型电力系统	传统 PID 电力系统	人工智能 电力系统
区段(01)	4.540	3.680	1.23
区段(02)	3.150	4.040	1.32
区段(03)	3.650	3.150	1.30

通过对比分析上表显示的测试结果可知,基于 AI 技术构建的电力系统集中控制的测试组实际测得的控制响应速度明显高于其他两组,响应时间不超过 1.5s。这表明将人工智能技术应用于电力系统的集控运行控制,取得了显著效果,可进行推广应用。

结语

综上所述,相对于传统的控制模式,人工智能技术在电网集中控制中的应用,有以下优点: 1) 控制结构的设计非常灵活,可以按照实际要求,对其进行持续的改进、调整,以满足电网的各种操作控制要求,而建立安全高效的集中调度控制环境; 2) 推广应用人工智能,对电网各层次进行科学控制,有

助于降低电网集中控制错误,使各种控制方式相互协调; 3) 电力系统各种运行参数的高效传输是保证电力系统安全高效运行的重要前提,而基于人工智能的电力系统集控运行控制取得了良好的效果,这具有较高的应用价值。

[参考文献]

- [1]肖丰明,谭伟,曹德勤.基于人工智能的电力系统集控运行控制方法[J].自动化应用,2022(11):135-137.DOI:10.19769/j.zdhy.2022.11.034;
- [2]白显阳,黄彦浩,陈思远,等.云边智能:电力系统运行控制的边缘计算方法及其应用现状与展望[J].自动化学报,2020,46(03):397-410.DOI:10.16383/j.aas.2020.y000001;
- [3]王小君,窦嘉铭,刘翌,等.可解释人工智能在电力系统中的应用综述与展望[J].电力系统自动化,2024,48(04):169-191;
- [4]岳东.人工智能技术在新型电力系统中的分析、诊断和控制研究[J].电力工程技术,2021,40(06):1;
- [5]韦斌,余梦泽,王向兵.电力系统自动化中人工智能的应用[J].电子元器件与信息技术,2020,4(08):122-123;
- [6]傅振鹤,柳云祥.人工智能在电力系统继电保护中的应用[C]//中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会.内蒙古电力(集团)有限责任公司阿拉善电业局;,2020;
- [7]白显阳,黄彦浩,陈思远等.云边智能:电力系统运行控制的边缘计算方法及其应用现状与展望[J].自动化学报,2020,46(03):397-410;
- [8]张伟,王均.人工智能在电力系统中的运用研究[J].信息系统工程,2023(08):28-31;
- [9]杜晟玮.人工智能在电力系统中的应用与发展[J].大众用电,2021,36(09):30-31;
- [10]齐枫.人工智能技术在智能电网中的应用分析[J].中国新技术新产品,2019,(20);
- [11]王继业,赵俊华.基于人工智能技术的新型电力系统优化运行与控制[J].全球能源互联网,2023,6(03);
- [12]王晨.人工智能技术在电力系统的应用[C]//天津市电子学会.天津赛诚信息技术有限公司;,2023;
- [13]王望.人工智能技术在新型电力系统中的应用[J].集成电路应用,2023,40(09);
- [14]谭正云,张超胜,李文弘,等.“N-1”底线思维创建及在大型流域集控运行值班中的应用[C]//中国水力发电工程学会梯级调度控制专业委员会.中国水力发电工程学会梯级调度控制专业委员会 2023 年年会论文集,2023:4.DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.056764;
- [15]朱春燕.火电厂集控运行节能降耗技术措施分析[C]//中国智慧城市经济专家委员会.2023 年智慧城市建设论坛西安分论坛论文集,2023:2.DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.031871;