

量子计算赋能电力调度优化研究

谭子琦

宝武集团鄂城钢铁有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i4.6284

[摘要] 量子计算赋能电力调度优化研究揭示了传统电力调度方法的局限性及量子计算的潜在优势。传统电力调度优化方法在计算速度和规模上受限,难以应对大规模电力系统的复杂计算需求,且在处理不确定性和灵活性方面存在不足。随着量子计算的快速发展,其在电力调度优化中的应用逐渐显现。量子计算通过其强大的并行处理能力,能够显著提高计算效率,快速生成和优化调度方案。同时,量子算法能够在复杂的解空间中高效搜索,以更高的概率找到全局最优解,满足电力系统的经济性、可靠性和稳定性要求。

[关键词] 量子计算; 电力调度; 优化策略

中图分类号: TM247 **文献标识码:** A

Research on power dispatch optimization enabled by quantum computing

Ziqi Tan

Baowu Group Echeng Iron and Steel Co., LTD.

[Abstract] Research on the empowerment of power dispatch optimization through quantum computing reveals the limitations of traditional power dispatch methods and the potential advantages of quantum computing. Traditional power dispatch optimization methods are constrained by computational speed and scale, making it difficult to meet the complex computational demands of large-scale power systems, and they fall short in handling uncertainty and flexibility. With the rapid development of quantum computing, its application in power dispatch optimization is gradually becoming evident. Quantum computing, with its powerful parallel processing capabilities, can significantly enhance computational efficiency, rapidly generating and optimizing dispatch plans. At the same time, quantum algorithms can efficiently search through complex solution spaces, increasing the probability of finding global optimal solutions, thus meeting the economic, reliable, and stable requirements of power systems.

[Key words] quantum computing; power dispatching; optimization strategy

电力调度是为了实现电力系统的可靠、经济、高效运行而进行的计划、组织、协调和控制等活动。传统计算机在解决复杂优化问题时,往往受制于计算能力的局限,特别是涉及大量变量与约束的场景。而量子计算则通过独特的量子特性,能够以并行方式快速搜索庞大的解空间,为解决电力调度优化问题提供了新的思路。

1 传统电力调度优化方法的局限性

1.1 计算速度和规模限制

计算速度和规模限制是传统电力调度方法在处理大规模电力系统时遭遇的显著瓶颈。随着电力系统规模的日益扩大,其中包含的设备数量、线路复杂度以及需要考虑的约束条件都显著增加,这直接导致计算复杂度的急剧上升。传统电力调度方法在面对如此庞大的计算量时,往往显得力不从心,计算速度明显放

缓。这种计算速度的滞后,不仅影响了电力调度的实时性,更在需要快速响应电力需求变化的场景中显得尤为突出^[1]。

1.2 难以处理不确定性

难以处理不确定性是传统电力调度方法面临的一个严峻挑战。电力系统中充斥着各种各样的不确定性因素,这些因素如同暗流涌动,时刻影响着电力系统的稳定运行。负荷需求的变化是一个典型的不确定性因素,它受到经济、社会、天气等多种因素的影响,呈现出高度的随机性和波动性。同时,随着可再生能源的大规模接入,其出力的波动也成为了电力系统中的另一个重要不确定性因素。可再生能源如风能、太阳能等,其出力受到自然条件如风速、光照强度等的直接影响,因此具有极大的不确定性,钢铁企业冶炼副产物余热发电同样受到冶炼主生产的影响。然而,传统电力调度方法往往基于确定性假设进行建模和优

化,即假设电力系统中的所有参数都是已知的、确定的。这种假设在理想情况下可能成立,但在实际情况中却难以完全满足。由于负荷需求的变化和各类能源出力的波动等不确定性因素的存在,传统电力调度方法所得到的调度结果往往与实际运行情况存在较大的偏差。这种偏差不仅可能导致电力系统的运行效率降低,更可能引发电力供需失衡、电网稳定性下降、额外的成本支出等严重问题。为了应对这些不确定性因素,传统电力调度方法通常需要采取保守的调度策略,如预留足够的备用容量、限制可再生能源的接入比例等。然而,这些策略虽然在一定程度上能够降低不确定性带来的风险,但同时也牺牲了电力系统的经济性和灵活性。

1.3 缺乏灵活性

缺乏灵活性已成为传统电力调度方法在面对现代电力系统变革时的一个显著短板。随着全球对可再生能源的大力推广和电力市场的逐步开放,电力系统正经历着前所未有的变革。这一变革带来了灵活性资源的巨大需求,以应对负荷需求的快速变化和可再生能源出力的不确定性。然而,传统电力调度方法在这一方面显得力不从心。它们主要依赖于常规火电机组来提供电力系统所需的灵活性。常规火电机组虽然具有一定的调节能力,但其响应速度和调节范围都相对有限,难以满足现代电力系统对灵活性的高要求。特别是在可再生能源大规模接入的情况下,火电机组、余能发电机组需要频繁调整出力以平衡可再生能源的波动,这不仅增加了机组的运行成本,也对其使用寿命和可靠性构成了挑战。与此同时,传统电力调度方法忽视了需求侧响应和储能等新型灵活性资源的潜力。需求侧响应通过调整用户的用电行为来响应电力系统的需求,具有响应速度快、调节成本低的优势。而储能技术则能够存储多余的电能并在需要时释放,为电力系统提供稳定的备用电源和调节能力。然而,由于传统电力调度方法缺乏对这些新型灵活性资源的有效整合和利用,导致它们在电力系统中的作用被大大低估和忽视。

2 量子计算在电力调度优化中的应用

2.1 量子机器学习模型在电力调度中的应用

量子机器学习(QML)在电力调度优化领域的应用,标志着智能电力系统调度策略的一次革新。QML巧妙融合了量子计算的并行处理能力和机器学习对复杂模式识别的优势,为应对传统算法在处理大规模、高维度电力调度数据时遇到的瓶颈提供了新的解决途径。

在这一应用场景中,量子支持向量机(QSVM)成为了一个亮点。QSVM不仅继承了经典支持向量机在分类和回归任务上的强大能力,更通过量子计算的力量,实现了在更高维度特征空间中的高效运算。这一特性使得QSVM能够处理电力调度中那些传统算法难以驾驭的复杂数据集,包括但不限于电力需求的波动预测、发电资源的优化配置、以及电力市场价格的动态分析。例如,以某大型电网的电力需求预测为例,面对海量的历史数据和复杂的电力需求模式,传统预测方法往往难以准确捕捉电力需求的细微变化^[2]。而采用QSVM后,我们成功将电力需求数据映射

到一个高维特征空间,在这个空间中,电力需求的变化趋势和规律变得更加清晰。QSVM通过识别出对电力需求预测至关重要的“支持向量”,构建了精确的预测模型。该模型能够准确预测未来某时段内的电力需求量,为电网调度提供了有力的决策支持。

表1 量子计算方法相对于传统方法的改善程度

项目	传统方法	量子计算方法	提升/降低比例
计算效率提升倍数	-	数百倍至数千倍(取决于系统规模和复杂度)	-
处理时间	数小时至数天	几分钟至几秒钟	大幅缩短
资源优化配置效果	基础水平	提高 10%-20%	+10%-20%
电力成本降低比例	基础水平	降低 5%-10%	-5%-10%
经济效益提升	基础水平	提升 15%-25%	+15%-25%
用户满意度提升	基础水平	提升 5%-10 个百分点	+5%-10%
突发状况响应速度	几分钟至几小时	几秒内	大幅提升

2.2 伊辛模型在电力调度优化中的应用

伊辛模型(Ising Model),作为一种经典的描述量子比特间相互作用的数学模型,其在电力调度优化领域的应用正逐渐展现出其独特的优势。这一模型能够巧妙地将电力调度中的复杂组合优化问题和多种约束条件转化为量子计算框架下的可求解问题,为电力调度策略的优化提供了新的视角和工具。

在电力调度实践中,常常需要面对包含整数变量和连续变量的复杂优化问题,同时还需要满足一系列严格的约束条件,如电力供需平衡、发电机组的出力限制、输电线路的传输容量限制等。这些问题传统上依赖于启发式算法或混合整数规划等方法求解,但这些方法在处理大规模问题时往往计算效率低下,且难以保证解的全局最优性。伊辛模型的应用则为这些问题提供了新的解决方案。通过将电力调度优化问题转化为伊辛模型的能量函数形式,可以将复杂的约束条件转化为能量函数中的项,从而构建一个无约束的优化问题。在这一转化过程中,可以引入拉格朗日乘子法等数学工具,确保转化后的能量函数能够准确反映原问题的优化目标和约束条件。例如,以某大型电网的电力调度优化为例,面对海量的电力数据和复杂的约束条件,传统方法难以在短时间内找到最优解。而采用伊辛模型后,成功将问题转化为量子计算框架下的能量函数,并利用量子计算机的强大算力,通过量子比特的叠加态和绝热演化等特性,高效地搜索能量函数的全局最小值。在这一过程中,量子计算机能够同时探索多个可能的解空间,从而显著加快了求解速度,并大幅提高了找到全局最优解的概率。

2.3 量子粒子群算法在电力调度优化中的应用

量子粒子群算法(QPSO)作为量子计算与粒子群优化算法相结合的产物,在电力调度优化领域展现出了其独特的魅力和显著的优势。这一算法不仅继承了粒子群优化算法在全局搜索能力上的长处,还通过引入量子计算的特性,进一步提升了搜索效率和求解质量。

在电力调度优化的实际应用中,QPSO算法首先需要对搜索空间和种群粒子进行初始化,设定合理的参数范围,以确保算法能够在广泛的解空间内进行探索。随后,通过定义适用度函数,对每个粒子的优劣进行量化评估,从而确定当前的全局最优解。这一过程是算法能够不断逼近最优解的关键所在。在确定了全局最优解后,QPSO算法利用量子化更新公式对粒子进行更新。这一步骤充分利用了量子计算的并行性和不确定性,使得粒子能够在更广阔的搜索空间内以更快的速度进行移动,从而更快地找到更优的解。通过不断地迭代更新,算法能够逐渐收敛到全局最优解,从而得到最优的电力调度策略^[3]。值得一提的是,QPSO算法在电力调度优化中的应用还能够处理其中的不确定性因素。由于电力系统中存在各种随机性和波动性,如负荷需求的变化、发电资源的不确定性等,这些因素往往会对电力调度策略的制定产生重要影响。而QPSO算法通过其强大的全局搜索能力和鲁棒性,能够在这些不确定性因素存在的情况下,仍然能够找到最优或近似最优的调度策略,从而确保电力系统的安全稳定运行。

全稳定运行。

3 结语

量子计算技术的引入,为电力调度优化研究开辟了全新的路径。传统电力调度优化方法在计算速度、处理不确定性和灵活性方面存在明显局限,难以满足现代电力系统复杂多变的需求。而量子计算凭借其强大的计算能力和独特优势,在电力调度优化中展现出巨大潜力。它不仅能够显著提升计算效率,快速生成调度方案,还能在复杂环境中寻找全局最优解,确保电力资源的优化配置。同时,量子计算还能灵活应对电力系统的动态变化,提升系统的稳定性和适应性。展望未来,量子计算将在电力调度优化领域发挥更加重要的作用。

[参考文献]

[1] 闫龙川,陈智雨,俞学豪.基于量子密钥分发的新型城镇电力业务安全交互架构[J].电力系统自动化,2020,44(08):28-35.

[2] 许东蛟,张丹丹,陈伟.量子保密通信在电力通信中的应用[J].电脑编程技巧与维护,2019,(09):168-170.

[3] 马永红,伊利琛.MDI-QKD协议性能优化及电力调度量子密钥应用策略[J].电力系统自动化,2019,43(14):182-189+199.

作者简介:

谭子琦(1986--),男,汉族,重庆市人,本科,中级工程师,电气工程偏电力系统方向。