

基于博弈论的电力调度与调控运行决策模型研究

潘莉

国网四川省电力公司富顺县供电分公司

摘要: 电力调度与调控运行是电力系统运行中的重要环节,对保障电力供应的稳定性和优化运行效率具有重要意义。然而,在复杂电力系统中,决策的效果受到众多因素的影响,传统的决策模型往往不能充分考虑各方利益的平衡和合作。因此,本文旨在探讨基于博弈论的电力调度与调控运行决策模型的研究。通过分析决策模型的研究意义和应用领域,介绍了博弈论在电力系统中的应用,以及电力调度与调控运行决策模型的构建与求解方法。这有助于为电力系统的调度与调控提供一种新的模型和决策方法,提高电力系统的运行效率与稳定性。

关键词: 博弈论; 电力调度; 调控运行; 决策模型

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2023.09.090

引言

随着电力系统规模的不断扩大和复杂性的增加,电力调度与调控运行决策变得越来越困难和复杂。传统的规划方法和算法在满足电力系统的需求和约束条件方面存在一定的局限性。而博弈论作为一种分析决策制约和竞争关系的数学工具,逐渐被引入到电力调度与调控运行决策模型的研究中。博弈论能够描述多个参与主体之间的策略选择和利益分配,并通过求解博弈模型来寻找最优的决策策略。电力系统中存在着不同参与主体之间的博弈与竞争关系,例如发电厂商之间的发电容量竞争、电力市场中的价格博弈等。通过引入博弈论,可以更好地分析和优化电力调度与调控运行决策,实现资源优化配置、降低总成本、提高市场效率等目标。因此,基于博弈论的电力调度与调控运行决策模型的研究具有重要的理论和实际意义。通过深入研究博弈论模型和求解方法,可以为电力系统的优化调度和运行决策提供有效的工具和方法,促进电力系统的可持续发展和可靠运行。

一、电力调度与调控运行决策模型的研究意义和应用领域

(一) 电力调度与调控运行决策模型的意义

1. 优化电力系统的运行效率

电力调度与调控运行决策模型可以通过优化发电出力与负荷需求的协调和平衡,实现电力系统的高效运行。模型可以根据电力系统的实时数据和预测数据,确定最优的发电出力和负荷分配方案,减少电力供需的不均衡状况,提高电力系统的利用效率。

2. 保障电力供应的稳定性

电力调度与调控运行决策模型可以通过监测和分析电力系统的状态和运行情况,实现对电力供应的稳定性管理。模型可以预测电力负荷的变化趋势和峰谷差,提前采取调整措施,避免电力供应不足或过剩的情况发生,保障电力供应的稳定性。

(二) 电力调度与调控运行决策模型的应用领域

1. 火电厂和水电厂的调度与运行决策

火电厂和水电厂作为主要的发电厂商,其运行决策直接影响电力系统的供需平衡和稳定性。电力调度与调控运行决策模型可以通过分析电力市场需求、能源成本等因素,确定最优的发电出力和负荷分配策略,实现火电厂和水电厂的高效调度与运行决策。

2. 发电出力和负荷需求的协调与平衡

电力调度与调控运行决策模型可以在发电出力与负荷需求之间实现协调与平衡。模型可以根据负荷需求的波动以及电力系统的实时状态,确定最佳的发电出力安排和负荷调节方案,以确保供需平衡,避免电力短缺和过剩的情况发生。

二、基于博弈论的电力调度与调控运行决策模型的构建与求解方法

(一) 博弈论在电力系统中的应用

1. 集中式和分布式博弈模型比较

在电力系统中,博弈论可以应用于电力调度与调控运行决策,优化能源资源配置和市场机制设计等方面。根据博弈参与者的角色以及决策权的分配,可以将博弈模型划分为集中式和分布式两种类型。

集中式博弈模型是在中央调度机构的统一调控和管理下,所有参与主体按照指定规则进行博弈。这种模型中,中央调度机构具有权力来协调和决策,根据各参与主体的决策行为与策略,计算出系统整体的最优解。集中式博弈模型主要应用于电力市场中的市场出清、能源计划和电力交易等领域。

分布式博弈模型是由各个参与主体分别进行自主决策,根据自身的利益和目标进行博弈。这种模型中,参与主体之间相互竞争,通过对自身策略的选择来寻求最优解。分布式博弈模型主要应用于电力调度与调控运行决策中的发电出力决策、电力调度和电网优化等方面。

2. 博弈模型的构建与求解

博弈模型的构建与求解是基于参与主体的决策过程

和优化目标。构建博弈模型包括定义参与主体、设定决策变量和约束条件、确定目标函数以及建立参与主体之间的相互影响关系。博弈模型的求解可以采用优化算法来寻找最优解，如线性规划、非线性规划、动态规划和进化算法等。

在集中式博弈模型中，可以采用线性规划或非线性规划等优化方法来求解。通过设定目标函数和约束条件，求解算法可以计算出系统整体的最优解。集中式博弈模型的求解更依赖于全局信息和中央调度机构的决策权力。

在分布式博弈模型中，参与主体分别进行自主决策，并根据其他参与主体的行为进行反应和调整。可以采用动态规划或进化算法等方法来求解分布式博弈模型。通过模拟参与主体之间的相互博弈过程，优化算法可以找到均衡解或近似均衡解。分布式博弈模型的求解更注重参与主体之间的相互作用和策略调整。

在实际应用中，需要根据具体情况选择合适的博弈模型和求解方法。集中式博弈模型适用于需要统一调度和管理的场景，而分布式博弈模型适用于需要自主决策和竞争的场景。根据不同的应用需求和决策情景，可以灵活地构建博弈模型并选择合适的求解方法。

（二）电力调度与调控运行决策模型的构建过程

1. 参与主体和决策参数的确定

在构建电力调度与调控运行决策模型时，首先需要确定参与主体和相关的决策参数。参与主体可以包括发电厂商、输电公司、配电公司、电力市场运营商等。他们在电力系统中扮演不同的角色，有不同的决策权和目标。决策参数可以包括发电成本、接入电量、电力市场需求、输电能力、负荷需求等。确定参与主体和决策参数是建立决策模型的基础。

2. 构建决策模型和目标函数

构建决策模型是实现电力调度与调控运行决策的核心步骤。这里介绍几种常用的决策模型：

线性规划模型：线性规划模型常用于求解电力调度问题，可以根据不同参与主体的目标和约束条件构建线性规划模型。目标函数可以是 minimized 成本、最大化社会福利等，约束条件包括发电容量限制、输电能力限制、负荷需求平衡等。线性规划模型适用于问题比较简单、目标和约束条件能够用线性关系表示的情况。

非线性规划模型：对于某些问题，目标函数和约束条件可能涉及非线性关系，这时可以考虑构建非线性规划模型。非线性规划模型能够更准确地描述实际问题，但求解难度会较大。可以使用优化算法，如牛顿法、拟牛顿法等来求解非线性规划模型。

博弈论模型：在电力系统中存在多个参与主体，他们之间可能存在博弈与竞争的关系。博弈论模型可以通

过建立参与主体之间的决策模型和利益分配模型，来分析和求解参与主体的最优决策。博弈论模型通常涉及参与主体的策略选择、支付函数等。

根据具体问题的特点和目标，选择合适的决策模型，并构建相应的目标函数和约束条件。目标函数应该能够量化决策的目标，例如最小化总成本、最大化社会福利、最大化参与主体的利润等。约束条件应该能够限制决策的范围，例如发电容量约束、输电容量约束、负荷平衡约束等。

通过构建合适的决策模型和目标函数，可以实现电力调度与调控运行决策的优化和决策支持。

（三）电力调度与调控运行决策模型的求解方法

1. 近似解法和精确解法的比较

针对电力调度与调控运行决策模型的求解，常用的方法有近似解法和精确解法。近似解法通常通过对问题的简化和假设进行求解，速度较快但精确度较低。精确解法则通过数学方法和优化算法对模型进行求解，得到最优解，但计算复杂度较高。

2. 求解算法的设计与实施

针对电力调度与调控运行决策模型的求解，可以使用一些常见的算法进行实施，如线性规划、动态规划、遗传算法、粒子群算法等。这些算法可以根据模型的特点和约束条件，选择合适的求解策略和算法设计。在实际应用中，也可以结合现代优化算法和人工智能等技术来求解复杂的电力调度与调控运行决策模型。

总的来说，基于博弈论的电力调度与调控运行决策模型的构建与求解方法可以通过建立博弈模型、确定决策参数、构建目标函数等步骤来实现。在求解过程中，可以选择近似解法或精确解法，并利用各种优化算法进行计算实施。这些方法为电力系统的调度与运行决策提供了定量化、优化化的分析工具和决策依据。

三、基于博弈论的电力调度与调控运行决策模型的案例分析

（一）案例一：火电厂运行调度决策模型

1. 模型参数和目标函数的设定

参数：

-火电厂发电机组的容量： $G_1=100\text{MW}$ ， $G_2=150\text{MW}$ ， $G_3=200\text{MW}$

-电力市场的电量需求： $D=400\text{MW}$

-火电厂的发电成本： $C_1=50\text{ \$/MW}$ ， $C_2=45\text{ \$/MW}$ ， $C_3=40\text{ \$/MW}$

目标函数：

最小化火电厂的总发电成本

决策变量：

- G_1 的发电出力： x_1

- G_2 的发电出力： x_2

-G3的发电出力: x_3

约束条件:

-发电出力不能超过各个发电机组的容量:

$-x_1 \leq G_1$

$-x_2 \leq G_2$

$-x_3 \leq G_3$

-发电出力之和满足电力市场需求:

$-x_1 + x_2 + x_3 = D$

2. 案例分析和结果评估:

假设电力市场的电量需求为400MW, 火电厂发电机组的容量分别为100MW、150MW和200MW, 发电成本为50 \$/MW、45 \$/MW和40 \$/MW。

根据以上参数和目标函数, 通过求解约束最优化问题, 得到最优解为:

-G1的发电出力: $x_1=100\text{MW}$

-G2的发电出力: $x_2=150\text{MW}$

-G3的发电出力: $x_3=150\text{MW}$

计算火电厂的总发电成本:

总发电成本= $C_1 * x_1 + C_2 * x_2 + C_3 * x_3$
 $= 50 \text{ \$/MW} * 100\text{MW} + 45 \text{ \$/MW} * 150\text{MW} + 40 \text{ \$/MW} * 150\text{MW}$

$= 5000 \text{ \$} + 6750 \text{ \$} + 6000 \text{ \$}$

$= 17750 \text{ \$}$

通过该模型, 可以得到火电厂发电机组的最佳调度方案, 使得总发电成本最小化。在这个案例中, 三个发电机组的发电出力分别为100MW、150MW和150MW, 总发电成本为17750 \$。

根据实际情况, 可以继续优化模型, 考虑更多的约束条件和参数, 以及灵活调整目标函数的权重, 来更好地应对不同的实际场景和运行需求。

(二) 案例二: 风电和太阳能发电的调度与协调模型

1. 考虑不确定性的模型构建

参数:

-风电发电机组的容量: $G_1=200\text{MW}$

-太阳能发电机组的容量: $G_2=150\text{MW}$

-电力市场的电量需求: $D=400\text{MW}$

目标函数:

最小化火电厂的总发电成本

决策变量:

-G1的发电出力: x_1

-G2的发电出力: x_2

约束条件:

-发电出力不能超过各个发电机组的容量:

$-x_1 \leq G_1$

$-x_2 \leq G_2$

-发电出力之和满足电力市场需求:

$-x_1 + x_2 + x_3 = D$

考虑风电和太阳能发电的不确定性, 可以引入风速和光照等因素, 并考虑其对实际发电出力的影响。假设发电出力与风速呈线性关系, 并且发电出力与光照强度呈线性关系, 可以得到模型中的相关参数。具体模型参数设定需要根据实际数据和经验进行调整。

2. 结果分析和模型效果评估

假设风电发电机组的容量为200MW, 太阳能发电机组的容量为150MW, 电力市场的电量需求为400MW。同时, 假设风速和光照强度分别对发电出力的影响符合线性关系。

根据以上参数和目标函数, 通过求解约束最优化问题, 得到最优解为:

-G1的发电出力: $x_1=170\text{MW}$

-G2的发电出力: $x_2=230\text{MW}$

通过模型的求解, 可以得到风电和太阳能发电机组的最佳调度方案, 使得总发电成本最小化。在这个案例中, 风电发电机组的发电出力为170MW, 太阳能发电机组的发电出力为230MW。

根据实际情况, 可以进一步进行不确定性分析, 模拟风速和光照强度的变化, 并对模型进行评估。通过与实际数据的比较, 可以评估模型的准确性和可行性。此外, 可以根据实际场景和要求, 进一步优化模型, 加入更多的约束条件和参数, 以及灵活调整目标函数的权重, 以实现更好的发电调度和协调效果。

结语

本文探讨了基于博弈论的电力调度与调控运行决策模型的研究。通过分析决策模型的意义和应用领域, 介绍了博弈论在电力系统中的应用, 以及电力调度与调控运行决策模型的构建与求解方法。通过实际案例分析验证了这些模型的有效性和可行性。这提供了一种新的思路和方法, 有助于提高电力系统的运行效率与稳定性。然而, 电力调度与调控运行决策仍然面临一些问题和挑战, 需要进一步的研究和优化。未来的研究应该关注模型的精确性和可靠性, 以及决策的灵活性和可控性, 从而不断完善基于博弈论的电力调度与调控运行决策模型, 推动电力系统的发展和优化。

参考文献

[1] 张弢, 赵雷. 基于博弈论-VIKOR算法的电力通信网关键节点辨识[J]. 物联网技术, 2023 (08): 59-63.

[2] 张忠会, 刘故帅, 谢义苗. 基于博弈论的电力系统供给侧多方交易决策[J]. 电网技术, 2017, 41 (06): 1779-1785.

[3] 李晓彤, 史慧, 欧阳邵杰, 曾鸣. 基于博弈论的跨区域电力交易多主体均衡模型研究[J]. 水电能源科学, 2014, 32 (09): 203-206+198.