



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119671110 A

(43) 申请公布日 2025. 03. 21

(21) 申请号 202411646502.1

G06F 18/23213 (2023.01)

(22) 申请日 2024.11.18

G06F 30/27 (2020.01)

(71) 申请人 三峡大学

G06N 3/126 (2023.01)

地址 443002 湖北省宜昌市大学路8号

G06F 111/04 (2020.01)

G06F 111/06 (2020.01)

(72) 发明人 谈顺 袁建华 张国容

(74) 专利代理机构 宜昌市三峡专利事务所

42103

专利代理师 余山

(51) Int. Cl.

G06Q 10/0631 (2023.01)

G06Q 10/04 (2023.01)

G06Q 10/067 (2023.01)

G06Q 50/06 (2024.01)

G06N 5/048 (2023.01)

G06F 17/18 (2006.01)

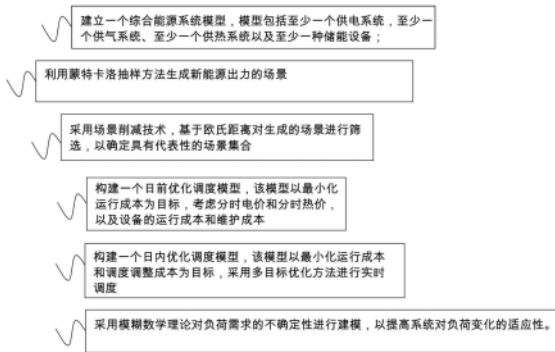
权利要求书4页 说明书15页 附图1页

(54) 发明名称

基于日前与日内双层优化调度的综合能源系统管理方法

(57) 摘要

基于日前与日内双层优化调度的综合能源系统管理方法,通过日前与日内双层优化策略,旨在提升系统的环保性和能效。首先,构建包含供电、供气、供热及储能设备的系统模型。利用蒙特卡洛抽样生成新能源出力场景,并通过场景削减技术筛选关键场景。接着,建立日前优化模型,以最小化成本为目标,考虑分时电价和热价。日内模型则基于日前计划进行实时调整,采用多目标优化减少成本和调度调整。引入模糊数学理论处理负荷需求不确定性,增强系统适应性。该方法能提高能源效率,降低成本,减少污染,具有实用价值和应用潜力。



1. 基于日前与日内双层优化调度的综合能源系统管理方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

步骤s1: 建立综合能源系统模型; 包括至少一个供电系统、至少一个供气系统、至少一个供热系统以及至少一种储能设备;

步骤s2: 利用蒙特卡洛抽样方法生成新能源出力的场景; 包括确定风能和太阳能的概率分布模型, 进行随机抽样以生成可能的出力数据, 并进行统计分析确定出力的预期值和变异性;

步骤s3: 采用场景削减技术, 基于欧氏距离对生成的场景进行筛选, 计算每个场景与其他场景之间的欧氏距离, 进行聚类分析, 选择代表性场景;

步骤s4: 构建日前优化调度模型, 以最小化运行成本为目标, 考虑分时电价和分时热价, 以及设备的运行成本和维护成本, 包括电力、热力和天然气的供需平衡约束, 以及设备的运行限制;

步骤s5: 构建日内优化调度模型, 以最小化运行成本和调度调整成本为目标, 采用多目标优化方法进行实时调度, 包括运行成本最小化和调度调整成本最小化;

步骤s6: 采用模糊数学理论对负荷需求的不确定性进行建模, 定义负荷需求的模糊集合, 利用模糊逻辑推理对不确定性进行量化分析, 并将分析结果应用于日内优化调度模型。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 在步骤s1中, 每个子系统都配备有相应的输入和输出接口, 以及与中央控制系统进行数据通信的接口, 以实现实时数据交换和指令下发;

其中供电系统包括发电站, 发电站作为供电系统的核心, 产生电能并通过升压变压器提升电压, 以适应长距离输电的需求; 电能通过高压输电线路传输至各个变电站, 变电站负责将电压降至适合城市配电网的水平; 配电网通过智能电表与最终用户连接, 智能电表不仅记录用户的电力消耗, 还能接收中央控制系统的信号, 以实现需求侧管理; 中央控制系统根据实时数据分析, 调整发电站的发电计划和电网的运行状态, 确保电力供应的稳定性;

供气系统包括天然气井, 从天然气井开始, 通过压缩站将天然气加压, 然后通过高压输送管道传输至储存设施; 储存设施在需求低时储存天然气, 在需求高峰时释放, 以平衡供需; 分配管道将天然气从储存设施输送至分配节点, 最后分配至商业和居民用户; 中央控制系统监控整个供气流程, 确保天然气供应的连续性和安全性;

供热系统包括热源, 供热系统由热源开始, 产生的热能通过热力管网输送至热交换站, 热交换站负责将热能转换为适合用户使用的形式; 热力管网将热能直接输送至用户端的散热器或其他热能使用设备; 中央控制系统根据用户的需求和外部环境温度, 调节热源的输出和热交换站的工作状态, 以实现供热的高效和节能;

储能设备包括电储能设备, 电储能设备与供电系统相连, 可以在电力供应过剩时存储电能, 或在需求高峰时释放电能, 从而平衡电网负荷; 热储能设备与供热系统相连, 存储热能在需求高峰时使用, 提高供热系统的灵活性和可靠性; 中央控制系统根据能源供需状况和价格信号, 智能调度储能设备的充放电或储热放热操作, 以优化整个系统的运行效率;

中央控制系统通过高速通信网络与所有子系统的数据通信接口相连; 控制系统实时接收来自供电系统、供气系统、供热系统和储能设备的数据, 分析能源供需状况, 并据此下发

调度指令;通过先进的数据处理和优化算法,中央控制系统实现了对整个综合能源系统的集中监控和调度,提高了能源利用效率,降低了运行成本,并增强了系统的可靠性和灵活性。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在步骤s2中,生成新能源出力的场景时,采用以下步骤:

s201: 进行数据收集与分析:收集过去一年内的风速和太阳辐射历史数据,并对这些数据进行分析,确定风速和太阳辐射的分布特征;

s202: 进行概率分布模型的建立:基于分析结果,为风能和太阳能建立具体的概率分布模型;对于风能,使用韦伯分布模型,参数由上述分析确定;对于太阳能,使用正态分布模型,参数同样由分析确定;

s203: 采用蒙特卡洛方法进行随机抽样:对于风能,从韦伯分布中抽取若干个样本,每个样本代表一个可能的风速值;对于太阳能,从正态分布中同样抽取若干个样本,每个样本代表一个可能的太阳辐射值;

s204: 进行出力数据的转换:将抽样得到的风速值使用风速-功率曲线转换为风能出力;

s205: 进行统计分析:对生成的若干个风能和太阳能出力样本进行统计分析,计算出预期的平均出力和出力的标准差;

s206: 进行场景生成与输出:将上述统计分析的结果整合,生成多个个最具代表性的新能源出力场景,每个场景包含若干个时间点的风能和太阳能出力数据,覆盖一天内的各个时段;这些场景通过中央控制系统生成、输出并调度,为日前和日内的优化调度提供精确的新能源出力预测。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在进行场景削减时,采用以下步骤:

s301: 进行场景的生成:利用蒙特卡洛抽样方法,生成若干个可能的新能源出力场景,每个场景包含多个个时间点的风能和太阳能出力数据,模拟一天内每个小时的能源产出;

s302: 进行欧氏距离的计算:对于每一对场景,计算它们之间的欧氏距离;

s303: 进行聚类的分析:使用聚k-means对所有场景进行分组,以识别相似的出力模式;

s304: 进行代表性场景的选择:从每个聚类中选择一个代表性场景,该场景最能代表该聚类中所有场景的平均特性;

s305: 对关键信息保留:保留的代表性场景将用于日前和日内调度模型的输入,这些场景反映了新能源出力的可能范围和概率分布;

s306: 执行输出与接收:通过中央控制系统执行场景削减并输出最终的代表性场景集;由中央控制系统接收上述代表性场景集,使用上述代表性场景来制定日前和日内的调度策略。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在步骤s4中,构建日前优化调度模型的步骤具体如下:

s401: 确定目标函数:确定模型的目标函数为最小化总运行成本,该成本包括电力购买成本、热力购买成本、天然气购买成本以及设备运行和维护成本;

s402: 设置成本参数:设定分时电价;设定分时热价;计算设备的运行成本;考虑设备的维护成本;

s403:获取供需平衡约束:确保电力供需平衡,即供电系统的发电量加上储能设备的放电量等于用户端的总电力需求;确保热力供需平衡,即供热系统的供热量加上热储能设备的放热量等于用户端的总热力需求;确保天然气供需平衡,即供气系统的供气量等于用户端的总天然气需求;

s404:设置设备运行限制:设定设备的启停时间限制;设定设备的最小稳定运行时间;

s405:对模型进行求解:使用线性规划或混合整数线性规划求解器来求解模型,得到每个设备的最优运行计划;

s406.输出与接收:输入一天内每个小时各个设备的运行计划,然后根据模型输出的运行计划调度各个设备。

6.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在步骤s5中,构建日内优化调度模型的步骤具体如下:

s501:进行目标函数的构建:

包括运行成本最小化,定义一个目标函数,该函数计算在给定的实时电价、热价和天然气价格下,满足预测负荷需求的总成本;设定实时电价函数为 $C_e(t) = \alpha_e \cdot P_e(t)$,其中 $C_e(t)$ 是在时间 t 的电力成本, α_e 是单位电价, $P_e(t)$ 是在时间 t 的电力消耗;

还包括调度调整成本最小化:定义第二个目标函数,该函数评估因新能源出力波动或负荷需求变化而需要对日前计划进行调整时产生的成本,具体可以表示为 $C_a(t) = \beta \cdot |P_{pred}(t) - P_{real}(t)|$,其中 $C_a(t)$ 是调整成本, β 是单位调整成本, $P_{pred}(t)$ 是预测的新能源出力, $P_{real}(t)$ 是实际新能源出力;

s502:进行实时数据的集成与处理:集成来自气象站的实时风速和日照数据,以及智能电表和热力表的实时负荷数据;使用数据预处理算法,包括移动平均或卡尔曼滤波,来平滑数据并减少噪声;

s503:进行多目标优化算法的应用:应用遗传算法,其中每个“个体”代表一组可能的设备运行策略和储能操作,通过模拟退火或粒子群优化算法来探索解决方案空间,寻找同时满足两个目标函数的最优解;

s504:进行模型参数的具体配置:设置新能源出力的预测误差范围,并为每个设备定义最小启停时间,以实现快速变化的市场条件的响应;

s505:进行实时调度决策的执行:利用优化算法得出的最优解,生成具体的调度指令,如调整风力发电机的输出功率或改变储能设备的充放电水平;调度指令包括具体的操作参数,包括风力发电机的新目标功率设定点和储能设备的充放电速率;

s506:输出与接收的具体实现:输出方为中央控制系统,它生成并发送调度指令;接收方为综合能源系统中的各个设备控制系统,包括风力发电机的控制系统和储能设备的管理系统,它们根据接收到的指令执行相应的操作;

s507:执行结果的监控与反馈:设备控制系统执行调度指令后,实时监控其操作结果,并将执行情况反馈给中央控制系统;中央控制系统根据反馈结果评估调度效果,并在必要时进行调整,以确保系统始终按照最优路径运行。

7.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在步骤s6中,使用模糊数学理论对负荷需求的不确定性进行建模,具体步骤如下:

s601:进行模糊集合的定义:首先,定义负荷需求的模糊集合;对于电力负荷,建立一个

模糊集合,其中包含“低”、“中”、“高”三个模糊变量,每个变量对应不同的负荷水平;

s602:进行隶属度函数的构建:为每个模糊变量构建隶属度函数;对于“低”负荷,包括定义一个梯形隶属度函数,其在400至600千瓦时的隶属度从0逐渐增加到1,然后在600至800千瓦时逐渐减少到0;

s603:进行模糊逻辑推理规则的制定:制定模糊逻辑推理规则,用于处理模糊集合中的不确定性信息;如果实际负荷接近“低”和“中”的边界,规则将决定如何调整发电和储能设备的运行策略;

s604:实现模糊推理系统:该系统采用模糊逻辑推理规则对实时负荷数据进行分析,并将结果转换为清晰的动作指令;若实时负荷数据表明当前负荷属于“中”到“高”的范围,模糊推理系统将输出增加发电量的指令;

s605:进行模糊结果的去模糊化:将模糊推理的结果进行去模糊化处理,以得到具体的数值输出;包括使用质心法将模糊输出转换为一个具体的调度决策,包括增加若干千瓦的发电功率;

s606:日内优化调度模型的集成:将去模糊化后的输出集成到日内优化调度模型中;包括:将增加的发电功率作为日内调度模型的一个约束条件,以调整设备的运行计划;

s607:输出与接收的具体实现:输出基于模糊逻辑推理的调度建议,然后根据模糊数学模型的输出调整设备的运行策略;

s608:进行动态响应的实施:中央控制系统根据模糊数学模型的输出实施动态响应,以适应负荷变化。

基于日前与日内双层优化调度的综合能源系统管理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及综合能源系统的管理技术领域,具体涉及一种基于日前与日内双层优化调度的综合能源系统管理方法。

背景技术

[0002] 在当今能源需求日益增长和环境保护要求不断提高的背景下,综合能源系统(Integrated Energy System, IES)作为一种新型的能源供应和管理方式,受到了广泛关注。综合能源系统通过整合电力、热能、天然气等多种能源,实现能源的互补和高效利用,对于提高能源利用效率、降低能源成本、减少环境污染具有重要意义。

[0003] 传统的能源管理系统往往采用单一的能源供应方式,难以应对能源供需的波动和不确定性。特别是在新能源,如风能和太阳能等可再生能源的接入比例逐渐增加的情况下,由于其出力的随机性和波动性,给能源系统的稳定运行和调度带来了新的挑战。此外,随着电力市场和天然气市场的逐步开放,能源价格的波动也对能源系统的经济性提出了更高的要求。

[0004] 为了解决上述问题,研究者们提出了多种优化调度方法,以期实现综合能源系统的高效运行。然而,现有的调度方法往往侧重于日前调度,即在一天开始前根据预测数据制定调度计划,而缺乏对日内实时变化的快速响应能力。这限制了系统对新能源出力波动和负荷需求变化的适应性,也影响了系统的经济性和可靠性。

[0005] 因此,有必要开发一种新的综合能源系统管理方法,该方法能够在日前制定初步调度计划的同时,具备日内实时调整和优化的能力,以更好地应对新能源出力的不确定性和负荷需求的波动,实现综合能源系统的高效、经济和稳定运行。本发明正是基于这样的需求,提出了一种基于日前与日内双层优化调度的综合能源系统管理方法。

发明内容

[0006] 本发明的目的是为了解决现有综合能源管理技术存在的由于新能源出力的不确定性和负荷需求的波动,容易导致综合能源系统可靠性不佳的技术问题,而提出的基于日前与日内双层优化调度的综合能源系统管理方法。

[0007] 为了解决上述技术问题,本发明采用的技术方案为:

[0008] 基于日前与日内双层优化调度的综合能源系统管理方法,包括以下步骤:

[0009] 步骤s1:建立综合能源系统模型;包括至少一个供电系统、至少一个供气系统、至少一个供热系统以及至少一种储能设备;

[0010] 步骤s2:利用蒙特卡洛抽样方法生成新能源出力的场景;包括确定风能和太阳能的概率分布模型,进行随机抽样以生成可能的出力数据,并进行统计分析确定出力的预期值和变异性;

[0011] 步骤s3:采用场景削减技术,基于欧氏距离对生成的场景进行筛选,计算每个场景与其他场景之间的欧氏距离,进行聚类分析,选择代表性场景;

[0012] 步骤s4:构建日前优化调度模型,以最小化运行成本为目标,考虑分时电价和分时热价,以及设备的运行成本和维护成本,包括电力、热力和天然气的供需平衡约束,以及设备的运行限制;

[0013] 步骤s5:构建日内优化调度模型,以最小化运行成本和调度调整成本为目标,采用多目标优化方法进行实时调度,包括运行成本最小化和调度调整成本最小化;

[0014] 步骤s6:采用模糊数学理论对负荷需求的不确定性进行建模,定义负荷需求的模糊集合,利用模糊逻辑推理对不确定性进行量化分析,并将分析结果应用于日内优化调度模型。

[0015] 在步骤s1中,每个子系统都配备有相应的输入和输出接口,以及与中央控制系统进行数据通信的接口,以实现实时数据交换和指令下发;

[0016] 其中供电系统包括发电站,发电站作为供电系统的核心,产生电能并通过升压变压器提升电压,以适应长距离输电的需求;电能通过高压输电线路传输至各个变电站,变电站负责将电压降至适合城市配电网的水平;配电网通过智能电表与最终用户连接,智能电表不仅记录用户的电力消耗,还能接收中央控制系统的信号,以实现需求侧管理;中央控制系统根据实时数据分析,调整发电站的发电计划和电网的运行状态,确保电力供应的稳定性;

[0017] 供气系统包括天然气井,从天然气井开始,通过压缩站将天然气加压,然后通过高压输送管道传输至储存设施;储存设施在需求低时储存天然气,在需求高峰时释放,以平衡供需;分配管道将天然气从储存设施输送至分配节点,最后分配至商业和居民用户;中央控制系统监控整个供气流程,确保天然气供应的连续性和安全性;

[0018] 供热系统包括热源,供热系统由热源(如热电厂)开始,产生的热能通过热力管网输送至热交换站,热交换站负责将热能转换为适合用户使用的形式;热力管网将热能直接输送至用户端的散热器或其他热能使用设备;中央控制系统根据用户的需求和外部环境温度,调节热源的输出和热交换站的工作状态,以实现供热的高效和节能;

[0019] 储能设备包括电储能设备,电储能设备与供电系统相连,可以在电力供应过剩时存储电能,或在需求高峰时释放电能,从而平衡电网负荷;热储能设备与供热系统相连,存储热能在需求高峰时使用,提高供热系统的灵活性和可靠性;中央控制系统根据能源供需状况和价格信号,智能调度储能设备的充放电或储热放热操作,以优化整个系统的运行效率;

[0020] 中央控制系统通过高速通信网络与所有子系统的数据通信接口相连;控制系统实时接收来自供电系统、供气系统、供热系统和储能设备的数据,分析能源供需状况,并据此下发调度指令;通过先进的数据处理和优化算法,中央控制系统实现了对整个综合能源系统的集中监控和调度,提高了能源利用效率,降低了运行成本,并增强了系统的可靠性和灵活性。

[0021] 在步骤s2中,生成新能源出力的场景时,采用以下步骤:

[0022] s201:进行数据收集与分析:收集过去一年内的风速和太阳辐射历史数据,并对这些数据进行分析,确定风速和太阳辐射的分布特征;

[0023] s202:进行概率分布模型的建立:基于分析结果,为风能和太阳能建立具体的概率分布模型;对于风能,使用韦伯分布模型,参数由上述分析确定;对于太阳能,使用正态分布

模型,参数同样由分析确定;

[0024] s203:采用蒙特卡洛方法进行随机抽样:对于风能,从韦伯分布中抽取若干个样本,每个样本代表一个可能的风速值;对于太阳能,从正态分布中同样抽取若干个样本,每个样本代表一个可能的太阳辐射值;

[0025] s204:进行出力数据的转换:将抽样得到的风速值使用风速-功率曲线转换为风能出力;

[0026] s205:进行统计分析:对生成的若干个风能和太阳能出力样本进行统计分析,计算出预期的平均出力和出力的标准差;

[0027] s206:进行场景生成与输出:将上述统计分析的结果整合,生成多个个最具代表性的新能源出力场景,每个场景包含若干个时间点的风能和太阳能出力数据,覆盖一天内的各个时段;这些场景通过中央控制系统生成、输出并调度,为日前和日内的优化调度提供精确的新能源出力预测。

[0028] 在步骤s3中,在进行场景削减时,采用以下步骤:

[0029] s301:进行场景的生成:利用蒙特卡洛抽样方法,生成若干个可能的新能源出力场景,每个场景包含多个个时间点的风能和太阳能出力数据,模拟一天内每个小时的能源产出;

[0030] s302:进行欧氏距离的计算:对于每一对场景,计算它们之间的欧氏距离;

[0031] s303:进行聚类的分析:使用聚k-means对所有场景进行分组,以识别相似的出力模式;

[0032] s304:进行代表性场景的选择:从每个聚类中选择一个代表性场景,该场景最能代表该聚类中所有场景的平均特性;

[0033] s305:对关键信息保留:保留的代表性场景将用于日前和日内调度模型的输入,这些场景反映了新能源出力的可能范围和概率分布;

[0034] s306:执行输出与接收:通过中央控制系统执行场景削减并输出最终的代表性场景集;由中央控制系统接收上述代表性场景集,使用上述代表性场景来制定日前和日内的调度策略。

[0035] 在步骤s4中,构建日前优化调度模型的步骤具体如下:

[0036] s401:确定目标函数:确定模型的目标函数为最小化总运行成本,该成本包括电力购买成本、热力购买成本、天然气购买成本以及设备运行和维护成本;

[0037] s402:设置成本参数:设定分时电价;设定分时热价;计算设备的运行成本;考虑设备的维护成本;

[0038] s403:获取供需平衡约束:确保电力供需平衡,即供电系统的发电量加上储能设备的放电量等于用户端的总电力需求;确保热力供需平衡,即供热系统的供热量加上热储能设备的放热量等于用户端的总热力需求;确保天然气供需平衡,即供气系统的供气量等于用户端的总天然气需求;

[0039] s404:设置设备运行限制:设定设备的启停时间限制;设定设备的最小稳定运行时间;

[0040] s405:对模型进行求解:使用线性规划或混合整数线性规划求解器来求解模型,得到每个设备的最优运行计划;

[0041] s406.输出与接收:输入一天内每个小时各个设备的运行计划,然后根据模型输出的运行计划调度各个设备。

[0042] 在步骤s5中,构建日内优化调度模型的步骤具体如下:

[0043] s501:进行目标函数的构建:

[0044] 包括运行成本最小化,定义一个目标函数,该函数计算在给定的实时电价、热价和天然气价格下,满足预测负荷需求的总成本;设定实时电价函数为 $C_e(t) = \alpha_e \cdot P_e(t)$,其中 $C_e(t)$ 是在时间t的电力成本, α_e 是单位电价, $P_e(t)$ 是在时间t的电力消耗;

[0045] 还包括调度调整成本最小化:定义第二个目标函数,该函数评估因新能源出力波动或负荷需求变化而需要对日前计划进行调整时产生的成本,具体可以表示为 $C_a(t) = \beta \cdot |P_{pred}(t) - P_{real}(t)|$,其中 $C_a(t)$ 是调整成本, β 是单位调整成本, $P_{pred}(t)$ 是预测的新能源出力, $P_{real}(t)$ 是实际新能源出力;

[0046] s502:进行实时数据的集成与处理:集成来自气象站的实时风速和日照数据,以及智能电表和热力表的实时负荷数据;使用数据预处理算法,包括移动平均或卡尔曼滤波,来平滑数据并减少噪声;

[0047] s503:进行多目标优化算法的应用:应用遗传算法,其中每个“个体”代表一组可能的设备运行策略和储能操作,通过模拟退火或粒子群优化算法来探索解决方案空间,寻找同时满足两个目标函数的最优解;

[0048] s504:进行模型参数的具体配置:设置新能源出力的预测误差范围,并为每个设备定义最小启停时间,以实现快速变化的市场条件的响应;

[0049] s505:进行实时调度决策的执行:利用优化算法得出的最优解,生成具体的调度指令,如调整风力发电机的输出功率或改变储能设备的充放电水平;调度指令包括具体的操作参数,包括风力发电机的新目标功率设定点和储能设备的充放电速率;

[0050] s506:输出与接收的具体实现:输出方为中央控制系统,它生成并发送调度指令;接收方为综合能源系统中的各个设备控制系统,包括风力发电机的控制系统和储能设备的管理系统,它们根据接收到的指令执行相应的操作;

[0051] s507:执行结果的监控与反馈:设备控制系统执行调度指令后,实时监控其操作结果,并将执行情况反馈给中央控制系统;中央控制系统根据反馈结果评估调度效果,并在必要时进行调整,以确保系统始终按照最优路径运行。

[0052] 在步骤s6中,使用模糊数学理论对负荷需求的不确定性进行建模,具体步骤如下:

[0053] s601:进行模糊集合的定义:首先,定义负荷需求的模糊集合;对于电力负荷,建立一个模糊集合,其中包含“低”、“中”、“高”三个模糊变量,每个变量对应不同的负荷水平;

[0054] s602:进行隶属度函数的构建:为每个模糊变量构建隶属度函数;对于“低”负荷,包括定义一个梯形隶属度函数,其在400至600千瓦时的隶属度从0逐渐增加到1,然后在600至800千瓦时逐渐减少到0;

[0055] s603:进行模糊逻辑推理规则的制定:制定模糊逻辑推理规则,用于处理模糊集合中的不确定性信息;如果实际负荷接近“低”和“中”的边界,规则将决定如何调整发电和储能设备的运行策略;

[0056] s604:实现模糊推理系统:该系统采用模糊逻辑推理规则对实时负荷数据进行分析,并将结果转换为清晰的动作指令;若实时负荷数据表明当前负荷属于“中”到“高”的范

围,模糊推理系统将输出增加发电量的指令;

[0057] s605:进行模糊结果的去模糊化:将模糊推理的结果进行去模糊化处理,以得到具体的数值输出;包括使用质心法(也称为重心法)将模糊输出转换为一个具体的调度决策,包括增加若干千瓦的发电功率;

[0058] s606:日内优化调度模型的集成:将去模糊化后的输出集成到日内优化调度模型中;包括:将增加的发电功率作为日内调度模型的一个约束条件,以调整设备的运行计划;

[0059] s607:输出与接收的具体实现:输出基于模糊逻辑推理的调度建议,然后根据模糊数学模型的输出调整设备的运行策略;

[0060] s608:进行动态响应的实施:中央控制系统根据模糊数学模型的输出实施动态响应,以适应负荷变化。

[0061] 与现有技术相比,本发明具有如下技术效果:

[0062] 1) 提高能源系统的经济性:通过日前优化调度模型,综合能源系统能够在一天开始前根据预测的新能源出力和负荷需求制定出成本最低的运行计划。日内优化调度模型则能够根据实时数据对日前计划进行调整,以应对新能源出力的波动和负荷需求的变化。这种双层优化策略使得系统能够在保证供需平衡的同时,最小化运行成本,包括能源购买成本、设备运行和维护成本,以及因调度调整产生的额外成本。

[0063] 2) 增强系统的可靠性和稳定性:本发明通过模糊数学理论对负荷需求的不确定性进行建模,使得系统能够更加灵活地应对负荷的随机变化。在日内优化调度中,采用滚动优化策略,可以实时监控和响应新能源出力和负荷需求的实时变化,从而快速做出调整,确保系统的稳定运行。此外,对设备启停时间限制和最小稳定运行时间的考虑,也有助于避免因频繁启停导致的设备损耗和运行风险。

[0064] 3) 提升新能源的消纳能力和系统的能效:通过日前与日内的双层优化调度,系统能够更有效地利用新能源,如风能和太阳能。日前调度模型考虑了新能源出力的概率分布,而日内调度模型则能够根据实时的新能源出力数据进行调整,从而最大化新能源的利用率。同时,通过优化储能设备的充放电策略,系统能够更好地平衡供需,减少能源浪费,提高整体能效。

[0065] 综上所述,本发明的技术方案通过精细化的调度策略和先进的优化算法,实现了综合能源系统在经济性、可靠性和新能源消纳能力方面的显著提升,为综合能源系统的高效管理和可持续发展提供了有力的技术支持。

附图说明

[0066] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明:

[0067] 图1为本发明的流程图。

具体实施方式

[0068] 如图1所示,一种基于日前与日内双层优化调度的综合能源系统管理方法,包括以下步骤:

[0069] 步骤s1:建立综合能源系统模型;包括至少一个供电系统、至少一个供气系统、至少一个供热系统以及至少一种储能设备;

[0070] 步骤s2:利用蒙特卡洛抽样方法生成新能源出力的场景;包括确定风能和太阳能的概率分布模型,进行随机抽样以生成可能的出力数据,并进行统计分析确定出力的预期值和变异性;

[0071] 步骤s3:采用场景削减技术,基于欧氏距离对生成的场景进行筛选,计算每个场景与其他场景之间的欧氏距离,进行聚类分析,选择代表性场景;

[0072] 步骤s4:构建日前优化调度模型,以最小化运行成本为目标,考虑分时电价和分时热价,以及设备的运行成本和维护成本,包括电力、热力和天然气的供需平衡约束,以及设备的运行限制;

[0073] 步骤s5:构建日内优化调度模型,以最小化运行成本和调度调整成本为目标,采用多目标优化方法进行实时调度,包括运行成本最小化和调度调整成本最小化;

[0074] 步骤s6:采用模糊数学理论对负荷需求的不确定性进行建模,定义负荷需求的模糊集合,利用模糊逻辑推理对不确定性进行量化分析,并将分析结果应用于日内优化调度模型。

[0075] 在步骤s1中,每个子系统都配备有相应的输入和输出接口,以及与中央控制系统进行数据通信的接口,以实现实时数据交换和指令下发;

[0076] 其中供电系统包括发电站,发电站作为供电系统的核心,产生电能并通过升压变压器提升电压,以适应长距离输电的需求;电能通过高压输电线路传输至各个变电站,变电站负责将电压降至适合城市配电网的水平;配电网通过智能电表与最终用户连接,智能电表不仅记录用户的电力消耗,还能接收中央控制系统的信号,以实现需求侧管理;中央控制系统根据实时数据分析,调整发电站的发电计划和电网的运行状态,确保电力供应的稳定性;

[0077] 供气系统包括天然气井,从天然气井开始,通过压缩站将天然气加压,然后通过高压输送管道传输至储存设施;储存设施在需求低时储存天然气,在需求高峰时释放,以平衡供需;分配管道将天然气从储存设施输送至分配节点,最后分配至商业和居民用户;中央控制系统监控整个供气流程,确保天然气供应的连续性和安全性;

[0078] 供热系统包括热源,供热系统由热源开始,产生的热能通过热力管网输送至热交换站,热交换站负责将热能转换为适合用户使用的形式;热力管网将热能直接输送至用户端的散热器或其他热能使用设备;中央控制系统根据用户的需求和外部环境温度,调节热源的输出和热交换站的工作状态,以实现供热的高效和节能;

[0079] 储能设备包括电储能设备,电储能设备与供电系统相连,可以在电力供应过剩时存储电能,或在需求高峰时释放电能,从而平衡电网负荷;热储能设备与供热系统相连,存储热能在需求高峰时使用,提高供热系统的灵活性和可靠性;中央控制系统根据能源供需状况和价格信号,智能调度储能设备的充放电或储热放热操作,以优化整个系统的运行效率;

[0080] 中央控制系统通过高速通信网络与所有子系统的数据通信接口相连;控制系统实时接收来自供电系统、供气系统、供热系统和储能设备的数据,分析能源供需状况,并据此下发调度指令;通过先进的数据处理和优化算法,中央控制系统实现了对整个综合能源系统的集中监控和调度,提高了能源利用效率,降低了运行成本,并增强了系统的可靠性和灵活性。

[0081] 在步骤s2中,生成新能源出力的场景时,采用以下步骤:

[0082] s201:进行数据收集与分析:收集过去一年内的风速和太阳辐射历史数据,并对这些数据进行分析,确定风速和太阳辐射的分布特征;

[0083] s202:进行概率分布模型的建立:基于分析结果,为风能和太阳能建立具体的概率分布模型;对于风能,使用韦伯分布模型,参数由上述分析确定;对于太阳能,使用正态分布模型,参数同样由分析确定;

[0084] s203:采用蒙特卡洛方法进行随机抽样:对于风能,从韦伯分布中抽取若干个样本,每个样本代表一个可能的风速值;对于太阳能,从正态分布中同样抽取若干个样本,每个样本代表一个可能的太阳辐射值;

[0085] s204:进行出力数据的转换:将抽样得到的风速值使用风速-功率曲线转换为风能出力;

[0086] s205:进行统计分析:对生成的若干个风能和太阳能出力样本进行统计分析,计算出预期的平均出力和出力的标准差;

[0087] s206:进行场景生成与输出:将上述统计分析的结果整合,生成多个个最具代表性的新能源出力场景,每个场景包含若干个时间点的风能和太阳能出力数据,覆盖一天内的各个时段;这些场景通过中央控制系统生成、输出并调度,为日前和日内的优化调度提供精确的新能源出力预测。

[0088] 在进行场景削减时,采用以下步骤:

[0089] s301:进行场景的生成:利用蒙特卡洛抽样方法,生成若干个可能的新能源出力场景,每个场景包含多个个时间点的风能和太阳能出力数据,模拟一天内每个小时的能源产出;

[0090] s302:进行欧氏距离的计算:对于每一对场景,计算它们之间的欧氏距离;

[0091] s303:进行聚类的分析:使用聚k-means对所有场景进行分组,以识别相似的出力模式;

[0092] s304:进行代表性场景的选择:从每个聚类中选择一个代表性场景,该场景最能代表该聚类中所有场景的平均特性;

[0093] s305:对关键信息保留:保留的代表性场景将用于日前和日内调度模型的输入,这些场景反映了新能源出力的可能范围和概率分布;

[0094] s306:执行输出与接收:通过中央控制系统执行场景削减并输出最终的代表性场景集;由中央控制系统接收上述代表性场景集,使用上述代表性场景来制定日前和日内的调度策略。

[0095] 在步骤s4中,构建日前优化调度模型的步骤具体如下:

[0096] s401:确定目标函数:确定模型的目标函数为最小化总运行成本,该成本包括电力购买成本、热力购买成本、天然气购买成本以及设备运行和维护成本;

[0097] s402:设置成本参数:设定分时电价;设定分时热价;计算设备的运行成本;考虑设备的维护成本;

[0098] s403:获取供需平衡约束:确保电力供需平衡,即供电系统的发电量加上储能设备的放电量等于用户端的总电力需求;确保热力供需平衡,即供热系统的供热量加上热储能设备的放热量等于用户端的总热力需求;确保天然气供需平衡,即供气系统的供气量等于

用户端的总天然气需求；

[0099] s404:设置设备运行限制:设定设备的启停时间限制;设定设备的最小稳定运行时间;

[0100] s405:对模型进行求解:使用线性规划或混合整数线性规划求解器来求解模型,得到每个设备的最优运行计划;

[0101] s406.输出与接收:输入一天内每个小时各个设备的运行计划,然后根据模型输出的运行计划调度各个设备。

[0102] 在步骤s5中,构建日内优化调度模型的步骤具体如下:

[0103] s501:进行目标函数的构建:

[0104] 包括运行成本最小化,定义一个目标函数,该函数计算在给定的实时电价、热价和天然气价格下,满足预测负荷需求的总成本;设定实时电价函数为 $C_e(t) = \alpha_e \cdot P_e(t)$,其中 $C_e(t)$ 是在时间t的电力成本, α_e 是单位电价, $P_e(t)$ 是在时间t的电力消耗;

[0105] 还包括调度调整成本最小化:定义第二个目标函数,该函数评估因新能源出力波动或负荷需求变化而需要对日前计划进行调整时产生的成本,具体可以表示为 $C_a(t) = \beta \cdot |P_{pred}(t) - P_{real}(t)|$,其中 $C_a(t)$ 是调整成本, β 是单位调整成本, $P_{pred}(t)$ 是预测的新能源出力, $P_{real}(t)$ 是实际新能源出力;

[0106] s502:进行实时数据的集成与处理:集成来自气象站的实时风速和日照数据,以及智能电表和热力表的实时负荷数据;使用数据预处理算法,包括移动平均或卡尔曼滤波,来平滑数据并减少噪声;

[0107] s503:进行多目标优化算法的应用:应用遗传算法,其中每个“个体”代表一组可能的设备运行策略和储能操作,通过模拟退火或粒子群优化算法来探索解决方案空间,寻找同时满足两个目标函数的最优解;

[0108] s504:进行模型参数的具体配置:设置新能源出力的预测误差范围,并为每个设备定义最小启停时间,以实现快速变化的市场条件的响应;

[0109] s505:进行实时调度决策的执行:利用优化算法得出的最优解,生成具体的调度指令,如调整风力发电机的输出功率或改变储能设备的充放电水平;调度指令包括具体的操作参数,包括风力发电机的新目标功率设定点和储能设备的充放电速率;

[0110] s506:输出与接收的具体实现:输出方为中央控制系统,它生成并发送调度指令;接收方为综合能源系统中的各个设备控制系统,包括风力发电机的控制系统和储能设备的管理系统,它们根据接收到的指令执行相应的操作;

[0111] s507:执行结果的监控与反馈:设备控制系统执行调度指令后,实时监控其操作结果,并将执行情况反馈给中央控制系统;中央控制系统根据反馈结果评估调度效果,并在必要时进行调整,以确保系统始终按照最优路径运行。

[0112] 在步骤s6中,使用模糊数学理论对负荷需求的不确定性进行建模,具体步骤如下:

[0113] s601:进行模糊集合的定义:首先,定义负荷需求的模糊集合;对于电力负荷,建立一个模糊集合,其中包含“低”、“中”、“高”三个模糊变量,每个变量对应不同的负荷水平;

[0114] s602:进行隶属度函数的构建:为每个模糊变量构建隶属度函数;对于“低”负荷,包括定义一个梯形隶属度函数,其在400至600千瓦时的隶属度从0逐渐增加到1,然后在600至800千瓦时逐渐减少到0;

[0115] s603:进行模糊逻辑推理规则的制定:制定模糊逻辑推理规则,用于处理模糊集中的不确定性信息;如果实际负荷接近“低”和“中”的边界,规则将决定如何调整发电和储能设备的运行策略;

[0116] s604:实现模糊推理系统:该系统采用模糊逻辑推理规则对实时负荷数据进行分析,并将结果转换为清晰的动作指令;若实时负荷数据表明当前负荷属于“中”到“高”的范围,模糊推理系统将输出增加发电量的指令;

[0117] s605:进行模糊结果的去模糊化:将模糊推理的结果进行去模糊化处理,以得到具体的数值输出;包括使用质心法将模糊输出转换为一个具体的调度决策,包括增加若干千瓦的发电功率;

[0118] s606:日内优化调度模型的集成:将去模糊化后的输出集成到日内优化调度模型中;包括:将增加的发电功率作为日内调度模型的一个约束条件,以调整设备的运行计划;

[0119] s607:输出与接收的具体实现:输出基于模糊逻辑推理的调度建议,然后根据模糊数学模型的输出调整设备的运行策略;

[0120] s608:进行动态响应的实施:中央控制系统根据模糊数学模型的输出实施动态响应,以适应负荷变化。

[0121] 实施例:

[0122] 该方法包括:首先,建立一个综合能源系统模型,该模型包括至少一个供电系统、至少一个供气系统、至少一个供热系统以及至少一种储能设备(如电储能和热储能)。每个子系统都配备有相应的输入和输出接口,以及与中央控制系统进行数据通信的接口,以实现实时数据交换和指令下发。综合能源系统优化调度方法中,系统模型的构建和子系统间的连接是实现高效能源管理的关键。以下是详细的连接和操作步骤:

[0123] 供电系统的连接与操作:发电站作为供电系统的核心,产生电能并通过升压变压器提升电压,以适应长距离输电的需求。电能通过高压输电线路传输至各个变电站,变电站负责将电压降至适合城市配电网的水平。配电网通过智能电表与最终用户连接,智能电表不仅记录用户的电力消耗,还能接收中央控制系统的信号,以实现需求侧管理。中央控制系统根据实时数据分析,调整发电站的发电计划和电网的运行状态,确保电力供应的稳定性和经济性。

[0124] 供气系统的连接与操作:供气系统从天然气井开始,通过压缩站将天然气加压,然后通过高压输送管道传输至储存设施。储存设施在需求低时储存天然气,在需求高峰时释放,以平衡供需。分配管道将天然气从储存设施输送至分配节点,最后分配至商业和居民用户。中央控制系统监控整个供气流程,确保天然气供应的连续性和安全性。

[0125] 供热系统的连接与操作:供热系统由热源(如热电厂)开始,产生的热能通过热力管网输送至热交换站,热交换站负责将热能转换为适合用户使用的形式。热力管网将热能直接输送至用户端的散热器或其他热能使用设备。中央控制系统根据用户的需求和外部环境温度,调节热源的输出和热交换站的工作状态,以实现供热的高效和节能。

[0126] 储能设备的连接与操作:电储能设备与供电系统相连,可以在电力供应过剩时存储电能,或在需求高峰时释放电能,从而平衡电网负荷。热储能设备与供热系统相连,存储热能在需求高峰时使用,提高供热系统的灵活性和可靠性。中央控制系统根据能源供需状况和价格信号,智能调度储能设备的充放电或储热放热操作,以优化整个系统的运行效率。

[0127] 中央控制系统的连接与操作:中央控制系统是整个综合能源系统的核心,它通过高速通信网络与所有子系统的数据通信接口相连。控制系统实时接收来自供电系统、供气系统、供热系统和储能设备的数据,分析能源供需状况,并据此下发调度指令。通过先进的数据处理和优化算法,中央控制系统实现了对整个综合能源系统的集中监控和调度,提高了能源利用效率,降低了运行成本,并增强了系统的可靠性和灵活性。

[0128] 在本发明的综合能源系统优化调度方法中,新能源出力场景的生成是通过以下具体步骤实现的:

[0129] s201.数据收集与分析:收集过去一年内的风速和太阳辐射历史数据,这些数据每15分钟记录一次,共计2880个数据点每天。使用统计软件对这些数据进行分析,确定风速和太阳辐射的分布特征,例如,风速数据可能呈现韦伯分布,参数 $k=2.5, c=15\text{m/s}$;太阳辐射数据可能呈现正态分布,均值 $\mu=200\text{W/m}^2$,标准差 $\sigma=30\text{W/m}^2$ 。

[0130] s202.概率分布模型的建立:基于分析结果,为风能和太阳能建立具体的概率分布模型。对于风能,使用韦伯分布模型,参数由上述分析确定;对于太阳能,使用正态分布模型,参数同样由分析确定。

[0131] s203.蒙特卡洛抽样:采用蒙特卡洛方法进行随机抽样。对于风能,从韦伯分布中抽取10,000个样本,每个样本代表一个可能的风速值;对于太阳能,从正态分布中同样抽取10,000个样本,每个样本代表一个可能的太阳辐射值。

[0132] s204.出力数据的转换:将抽样得到的风速值使用风速-功率曲线转换为风能出力。例如,如果风速样本为 8m/s ,则通过查表或计算得到对应的风能出力为 200kW 。将抽样得到的太阳辐射值使用光伏效率曲线转换为太阳能出力。例如,如果太阳辐射样本为 250W/m^2 ,则通过计算得到对应的太阳能出力为 50kW 。

[0133] s205.统计分析:对生成的10,000个风能和太阳能出力样本进行统计分析,计算出预期的平均出力和出力的标准差。例如,风能的平均出力可能为 150kW ,标准差为 30kW ;太阳能的平均出力可能为 45kW ,标准差为 10kW 。

[0134] s206.场景生成与输出:将上述统计分析的结果整合,生成100个最具代表性的新能源出力场景,每个场景包含24个时间点的风能和太阳能出力数据,覆盖一天内的各个时段。这些场景通过中央控制系统的数据分析模块生成,并输出给调度模块,为日前和日内的优化调度提供精确的新能源出力预测。

[0135] 综合能源系统优化调度方法中,场景削减步骤是通过以下具体操作实现的:

[0136] s301.场景生成:利用蒙特卡洛抽样方法,生成了10,000个可能的新能源出力场景,每个场景包含24个时间点的风能和太阳能出力数据,模拟一天内每个小时的能源产出。

[0137] s302.欧氏距离计算:对于每一对场景,计算它们之间的欧氏距离。例如,对于场景A和场景B,欧氏距离计算公式为 $\sqrt{\sum_{t=1}^{24} (P_{tA} - P_{tB})^2 + (Q_{tA} - Q_{tB})^2}$,其中 P_{tA} 和 Q_{tA} 分别代表场景A在时间t的风能和太阳能出力, P_{tB} 和 Q_{tB} 分别代表场景B在时间t的风能和太阳能出力。

[0138] s303.聚类分析:使用聚k-means对所有场景进行分组,以识别相似的出力模式。例如,将10,000个场景分为100个聚类,每个聚类包含具有相似出力曲线的场景。

[0139] s304.代表性场景选择:从每个聚类中选择一个代表性场景,该场景最能代表该聚类中所有场景的平均特性。例如,选择每个聚类中欧氏距离均值最小化的场景作为代表。

[0140] s305.关键信息保留:保留的代表性场景将用于日前和日内调度模型的输入,这些

场景反映了新能源出力的可能范围和概率分布。

[0141] s306.输出与接收:输出方为中央控制系统中的数据分析模块,该模块负责执行场景削减算法并输出最终的代表性场景集。接收方为中央控制系统的调度模块,该模块将使用这些代表性场景来制定日前和日内的调度策略。

[0142] 综合能源系统优化调度方法中,构建日前优化调度模型的步骤具体如下:

[0143] s401.目标函数定义:确定模型的目标函数为最小化总运行成本,该成本包括电力购买成本、热力购买成本、天然气购买成本以及设备运行和维护成本。

[0144] s402.成本参数设定:设定分时电价,例如,高峰时段电价为0.15美元/千瓦时,非高峰时段为0.05美元/千瓦时。设定分时热价,例如,高峰时段热价为0.07美元/千卡,非高峰时段为0.03美元/千卡。计算设备的运行成本,例如,燃气轮机的运行成本为5000美元/小时,电锅炉的运行成本为1000美元/小时。考虑设备的维护成本,例如,每台设备的年度维护成本为总成本的2%。

[0145] s403.供需平衡约束:确保电力供需平衡,即供电系统的发电量加上储能设备的放电量等于用户端的总电力需求。确保热力供需平衡,即供热系统的供热量加上热储能设备的放热量等于用户端的总热力需求。确保天然气供需平衡,即供气系统的供气量等于用户端的总天然气需求。

[0146] s404.设备运行限制:设定设备的启停时间限制,例如,燃气轮机的最小启停间隔为4小时。设定设备的最小稳定运行时间,例如,热交换站的最小稳定运行时间为2小时。

[0147] s405.模型求解:使用线性规划或混合整数线性规划求解器来求解模型,得到每个设备的最优运行计划。

[0148] s406.输出与接收:输出方为日前优化调度模型,它提供了一天每个小时各个设备的运行计划。接收方为中央控制系统的执行模块,它根据模型输出的运行计划调度各个设备。

[0149] 综合能源系统优化调度方法中,日内优化调度模型的构建是通过以下详细步骤实现的:

[0150] s501.目标函数的详细构建:运行成本最小化,定义一个目标函数,该函数计算在给定的实时电价、热价和天然气价格下,满足预测负荷需求的总成本。设定实时电价函数为 $C_e(t) = \alpha_e \cdot P_e(t)$,其中 $C_e(t)$ 是在时间 t 的电力成本, α_e 是单位电价, $P_e(t)$ 是在时间 t 的电力消耗。类似地,为热力和天然气也定义相应的成本函数。调度调整成本最小化:定义第二个目标函数,该函数评估因新能源出力波动或负荷需求变化而需要对日前计划进行调整时产生的成本。例如,如果风力发电的实际出力比预测低10%,则计算需要购买额外电力的成本或调整储能设备充放电策略的成本,公式可以表示为 $C_a(t) = \beta \cdot |P_{pred}(t) - P_{real}(t)|$,其中 $C_a(t)$ 是调整成本, β 是单位调整成本, $P_{pred}(t)$ 是预测的新能源出力, $P_{real}(t)$ 是实际新能源出力。

[0151] s502.实时数据的集成与处理:集成来自气象站的实时风速和日照数据,以及智能电表和热力表的实时负荷数据。使用数据预处理算法,如移动平均或卡尔曼滤波,来平滑数据并减少噪声。

[0152] s503.多目标优化算法的应用:应用遗传算法,其中每个“个体”代表一组可能的设备运行策略和储能操作。通过模拟退火或粒子群优化算法来探索解决方案空间,寻找同时

满足两个目标函数的最优解。

[0153] s504. 模型参数的具体配置: 设置新能源出力的预测误差范围为 $\pm 5\%$, 并为每个设备定义最小启停时间, 例如风力发电机的最小启停时间为1小时。定义调度调整的时间间隔为每15分钟一次, 以实现快速变化的市场条件的响应。

[0154] s505. 实时调度决策的执行: 利用优化算法得出的最优解, 生成具体的调度指令, 如调整风力发电机的输出功率或改变储能设备的充放电水平。调度指令包括具体的操作参数, 如风力发电机的新目标功率设定点和储能设备的充放电速率。

[0155] s506. 输出与接收的具体实现: 输出方为中央控制系统的日内优化调度模块, 它生成并发送调度指令。接收方为综合能源系统中的各个设备控制系统, 如风力发电机的控制系统和储能设备的管理系统, 它们根据接收到的指令执行相应的操作。

[0156] s507. 执行结果的监控与反馈: 设备控制系统执行调度指令后, 实时监控其操作结果, 并将执行情况反馈给中央控制系统。中央控制系统根据反馈结果评估调度效果, 并在必要时进行调整, 以确保系统始终按照最优路径运行。

[0157] 使用模糊数学理论对负荷需求的不确定性进行建模是至关重要的一步, 具体步骤如下:

[0158] s601. 模糊集合的定义: 首先, 定义负荷需求的模糊集合。例如, 对于电力负荷, 建立一个模糊集合, 其中包含“低”、“中”、“高”三个模糊变量, 每个变量对应不同的负荷水平。

[0159] s602. 隶属度函数的构建: 为每个模糊变量构建隶属度函数。例如, 对于“低”负荷, 定义一个梯形隶属度函数, 其在400至600千瓦时的隶属度从0逐渐增加到1, 然后在600至800千瓦时逐渐减少到0。

[0160] s603. 模糊逻辑推理规则的制定: 制定模糊逻辑推理规则, 用于处理模糊集合中的不确定性信息。例如, 如果实际负荷接近“低”和“中”的边界, 规则将决定如何调整发电和储能设备的运行策略。

[0161] s604. 模糊推理系统的实现: 实现模糊推理系统, 该系统采用模糊逻辑推理规则对实时负荷数据进行分析, 并将结果转换为清晰的动作指令。例如, 如果实时负荷数据表明当前负荷属于“中”到“高”的范围, 模糊推理系统将输出增加发电量的指令。

[0162] s605. 模糊结果的去模糊化: 将模糊推理的结果进行去模糊化处理, 以得到具体的数值输出。例如, 使用质心法(也称为重心法)将模糊输出转换为一个具体的调度决策, 如增加100千瓦的发电功率。

[0163] s606. 日内优化调度模型的集成: 将去模糊化后的输出集成到日内优化调度模型中。例如, 将增加的发电功率作为日内调度模型的一个约束条件, 以调整设备的运行计划。

[0164] s607. 输出与接收的具体实现: 输出方为模糊数学理论建模模块, 它提供了基于模糊逻辑推理的调度建议。接收方为中央控制系统的日内优化调度模块, 它根据模糊数学模型的输出调整设备的运行策略。

[0165] s608. 动态响应的实施: 中央控制系统根据模糊数学模型的输出实施动态响应, 以适应负荷变化。例如, 如果模糊模型预测到未来一小时负荷将增加, 控制系统将提前调整储能设备的充放电计划。

[0166] 为了进一步便于本领域普通技术人员理解, 对本发明进一步解释、说明如下:

[0167] 如图1所示, 综合能源系统优化调度方法中, 构建了一个包含供电、供气、供热和储

能设备的集成模型,并通过精确的参数设置和实时监控实现高效能源管理。供电系统中,发电站以950兆瓦的额定功率生产电能,通过升压变压器提升至345千伏,以减少长距离输电过程中的损耗;电能通过智能电表与用户端连接,电表的精度达到0.5%,能够实时记录和调整用户的电力消耗。供气系统从天然气井开始,通过压缩站将压力提升至70巴,然后通过直径为1米的输送管道传输至储存设施,储存设施的总容量为500万立方米,以满足高峰时段的供气需求。供热系统由热电厂提供,输出温度为120摄氏度的热水,通过直径为500毫米的热力管网输送至热交换站,热交换站的转换效率达到95%,确保用户端接收到的热量满足需求。储能设备包括容量为100兆瓦时的电池储能系统和容量为5万立方米的热水储能罐,能够在电力和热能供应过剩时存储能量,并在需求高峰时释放,以平衡供需。中央控制系统通过光纤通信网络与各子系统连接,传输速率达到1吉比特每秒,确保数据传输的实时性和准确性,通过这些精确的参数设置和实时监控,本发明的系统能够实现能源的最优分配和调度,提高能源利用效率,降低运行成本,并增强系统的可靠性和灵活性。

[0168] 新能源出力场景的生成是通过以下具体步骤实现的:

[0169] s201.数据收集与分析:收集过去一年内的风速和太阳辐射历史数据,这些数据每15分钟记录一次,共计2880个数据点每天。使用统计软件对这些数据进行分析,确定风速和太阳辐射的分布特征,例如,风速数据可能呈现韦伯分布,参数 $k=2.5$, $c=15\text{m/s}$;太阳辐射数据可能呈现正态分布,均值 $\mu=200\text{W/m}^2$,标准差 $\sigma=30\text{W/m}^2$ 。

[0170] s202.概率分布模型的建立:基于分析结果,为风能和太阳能建立具体的概率分布模型。对于风能,使用韦伯分布模型,参数由上述分析确定;对于太阳能,使用正态分布模型,参数同样由分析确定。

[0171] s203.蒙特卡洛抽样:采用蒙特卡洛方法进行随机抽样。对于风能,从韦伯分布中抽取10,000个样本,每个样本代表一个可能的风速值;对于太阳能,从正态分布中同样抽取10,000个样本,每个样本代表一个可能的太阳辐射值。

[0172] s204.出力数据的转换:将抽样得到的风速值使用风速-功率曲线转换为风能出力。例如,如果风速样本为 8m/s ,则通过查表或计算得到对应的风能出力为 200kW 。将抽样得到的太阳辐射值使用光伏效率曲线转换为太阳能出力。例如,如果太阳辐射样本为 250W/m^2 ,则通过计算得到对应的太阳能出力为 50kW 。

[0173] s205.统计分析:对生成的10,000个风能和太阳能出力样本进行统计分析,计算出预期的平均出力和出力的标准差。例如,风能的平均出力可能为 150kW ,标准差为 30kW ;太阳能的平均出力可能为 45kW ,标准差为 10kW 。

[0174] s206.场景生成与输出:将上述统计分析的结果整合,生成100个最具代表性的新能源出力场景,每个场景包含24个时间点的风能和太阳能出力数据,覆盖一天内的各个时段。这些场景通过中央控制系统的数据分析模块生成,并输出给调度模块,为日前和日内的优化调度提供精确的新能源出力预测。

[0175] 场景削减步骤是通过精确计算和聚类分析实现的。首先,从10,000个通过蒙特卡洛抽样生成的新能源出力场景中,每个场景详细描述了一天每小时内每小时的出力和太阳能出力数据。接着,计算每对场景之间的欧氏距离,例如,对于场景A和场景B,使用公式 $\sqrt{\sum_{t=1}^{24} (P_{tA} - P_{tB})^2 + (Q_{tA} - Q_{tB})^2}$ 来计算,其中 P_{tA} 和 Q_{tA} 分别代表场景A在第t小时的出力和太阳能出力,而 P_{tB} 和 Q_{tB} 代表场景B的相应出力。然后,采用k-means聚类算法将这些场景分为

100个聚类,每个聚类包含具有相似出力特性的场景。在每个聚类中,选择出力特性最接近聚类中心的场景作为代表性场景,例如选择其欧氏距离均值小于5%的阈值的场景。最终,从100个聚类中筛选出100个代表性场景,这些场景综合考虑了新能源出力的可能范围和概率分布,为日前和日内调度模型提供了精确的输入。这一过程由中央控制系统的数据分析模块执行,并将结果输出给调度模块,以便制定出最佳的能源调度策略。通过这种基于参数数值的场景削减方法,本发明显著提高了系统调度的准确性和效率。

[0176] 在本发明的综合能源系统优化调度方法中,构建了一个日前优化调度模型,该模型精确地以最小化运行成本为目标,细致地考虑了分时电价和分时热价的波动。例如,设定高峰时段的电价为0.15美元/千瓦时,而低峰时段则为0.05美元/千瓦时;热价在高峰时段为0.07美元/千卡,低峰时段为0.03美元/千卡。同时,计算了设备的运行成本,如燃气轮机每小时运行成本为5000美元,电锅炉为1000美元,并考虑了设备年度维护成本,通常为其总成本的2%。模型中还包括了电力、热力和天然气供需平衡的约束条件,确保供电系统、供热系统和供气系统能够满足用户端的总需求。此外,还设定了设备的运行限制,比如燃气轮机的最小启停间隔为4小时,热交换站的最小稳定运行时间为2小时。通过线性规划求解器,得到了每个设备在一天内每个小时的最优运行计划,这些计划由日前优化调度模型输出,并由中央控制系统的执行模块接收,以调度各个设备按照计划运行,从而在确保能源供应可靠性的同时,实现运行成本的最小化。

[0177] 日内优化调度模型的构建通过以下详细步骤实现:首先,定义了两个目标函数,第一个专注于最小化实时运行成本,包括根据最新市场数据计算的电力、热力和天然气购买成本,以及设备的实时运行成本。例如,设定实时电价为0.12美元/千瓦时,天然气价格为0.06美元/立方米,模型将计算在不同时间段内满足预测负荷需求的最低成本。第二个目标函数旨在最小化调度调整成本,这涉及到因新能源出力波动或负荷需求变化而需要对日前计划进行调整时产生的成本,如风力发电的实际出力比预测低10%时,模型将计算调整储能设备充放电策略或购买额外能源的成本。接着,集成了来自气象站的实时风速和日照数据,以及智能电表和热力表的实时负荷数据,并使用数据预处理算法,如移动平均或卡尔曼滤波,来平滑数据并减少噪声。然后,应用遗传算法,其中每个“个体”代表一组可能的设备运行策略和储能操作,通过模拟退火或粒子群优化算法来探索解决方案空间,寻找同时满足两个目标函数的最优解。模型参数的具体配置包括设置新能源出力的预测误差范围为 $\pm 5\%$,并为每个设备定义最小启停时间,例如风力发电机的最小启停时间为1小时。调度调整的时间间隔定义为每15分钟一次,以实现快速变化的市场条件的响应。利用优化算法得出的最优解,生成具体的调度指令,如调整风力发电机的输出功率或改变储能设备的充放电水平,这些调度指令包括具体的操作参数,如风力发电机的新目标功率设定点和储能设备的充放电速率。输出方为中央控制系统的日内优化调度模块,它生成并发送调度指令,接收方为综合能源系统中的各个设备控制系统,如风力发电机的控制系统和储能设备的管理系统,它们根据接收到的指令执行相应的操作。设备控制系统执行调度指令后,实时监控其操作结果,并将执行情况反馈给中央控制系统,中央控制系统根据反馈结果评估调度效果,并在必要时进行调整,以确保系统始终按照最优路径运行。

[0178] 模糊数学理论的应用是为了精确地处理负荷需求的不确定性。首先,定义了电力负荷的模糊集合,包括“低”、“中”、“高”三个模糊变量,每个变量对应不同的负荷水平。例

如,对于“低”负荷,构建了一个梯形隶属度函数,该函数在负荷为400至600千瓦时的隶属度从0逐渐增加到1,然后在600至800千瓦时逐渐减少到0。接着,制定了模糊逻辑推理规则,这些规则能够处理模糊集合中的不确定性信息,如当实际负荷接近“低”和“中”的边界时,规则将指导如何调整发电和储能设备的运行策略。模糊推理系统采用这些规则对实时负荷数据进行分析,并将结果转换为清晰的动作指令。例如,如果实时负荷数据表明当前负荷属于“中”到“高”的范围,模糊推理系统将输出增加发电量的指令。然后,使用质心法将模糊输出转换为一个具体的调度决策,如决定在下一个小时内增加100千瓦的发电功率。这些模糊数学模型的输出被集成到日内优化调度模型中,作为调整设备运行计划的依据。中央控制系统根据模糊数学模型的输出实施动态响应,以适应负荷变化。例如,如果模糊模型预测到未来一小时负荷将增加,控制系统将提前调整储能设备的充放电计划,确保系统能够满足实际负荷需求,从而提高系统的适应性和可靠性。通过这种基于模糊数学理论的建模方法,本发明能够确保综合能源系统在面对负荷需求的不确定性时,做出快速且准确的响应。

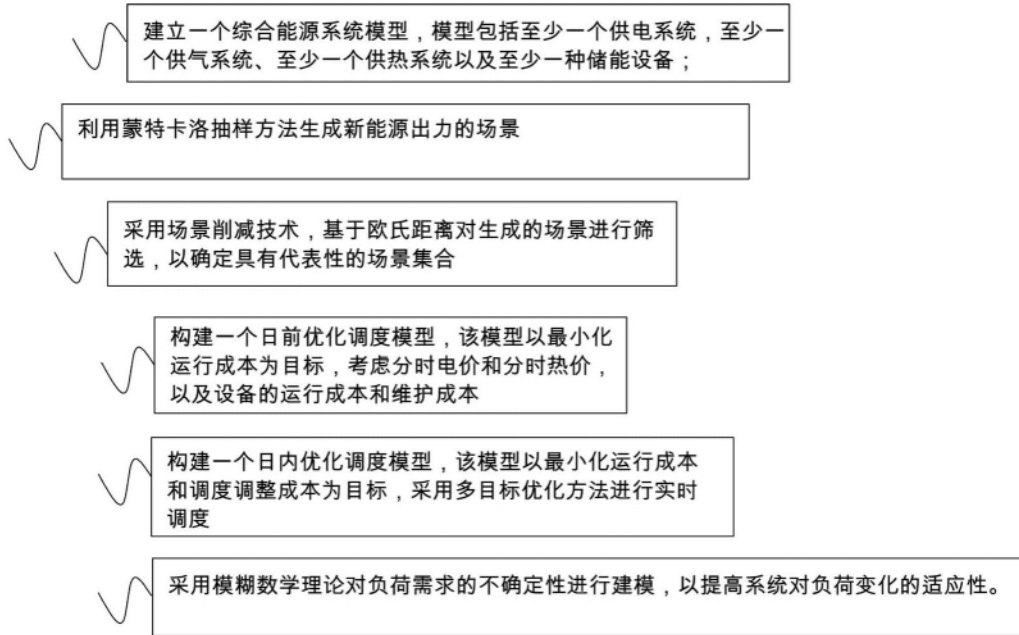


图1