**中国移动专利申请**

**技术交底书**

|  |  |
| --- | --- |
| **公司编号** | 无需发明人填写 |
| **发明名称** | 请采用所属技术领域通用技术术语，简要反映要求保护的发明或实用新型的主题和类型 |
| **申报单位** | 请填写单位名称 |
| **申报类型** | 发明 |
| **发明人** | 请填写对发明创造的实质性特点作出创造性贡献的人员 |
| **技术联系人** | 请务必填写姓名、E-mail、手机 |

|  |
| --- |
| **注意事项**  1．技术联系人应为深入了解本申请提案技术方案的技术人员，如交底书撰写人，负责向专利审核人员和代理人解释技术细节、修改交底书、审核申请文件等工作, 请务必填全技术联系人的姓名、E-mail、手机。  2．请按照集团公司提供的本技术交底书模板逐项填写，除交底书第八部分为可选项外，其他均为必须填写的内容。填写不全的专利申请提案，集团公司不予立案。  3．专利申请不要求已具体实现或实施，形成完整的技术方案即可提交申请，特别是需要向合作方公开、向标准提案或以其他方式公开的重要技术构思应在公开前尽早申请。  4．技术交底书文件命名要求：发明名称＋短横线（半角）＋交底书＋版本号，例：一种短消息群发方法-交底书v1.doc。  5．请通过技术部或科技创新管理平台获取最新的交底书模板。 |

**中国移动通信集团有限公司**

零、术语定义和解释

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 中文表述 | 完整的英文表述 | 英文缩略语 |
| 电能量市场 | Electricity Energy Market | EEM |
| 虚拟电厂 | Virtual Power Plant | VPP |
| 分布式发电 | Distributed Generation | DG |
| 新能源 | Renewable Energy | RE |
| 报量报价 | Offer Curve Bidding | OCB |
| 深度学习 | Deep Learning | DL |

一、发明名称

一种工程化的电能量市场报量报价方法

二、技术领域

电力市场 电能量市场 报量报价

三、现有技术的技术方案

传统方案通常采用统计模型、线性回归或简单的时间序列算法（如ARIMA、SVM）进行出力和负荷的预测，部分方案也开始应用机器学习模型。然而，这些方法在处理间歇性资源（如风能和太阳能）带来的数据波动和非线性问题时存在不足，导致预测精度受限。统计模型和部分传统机器学习模型较难捕捉复杂的非线性关系，无法有效应对新能源出力波动，预测结果的误差大且无法适应短时频繁变化的市场需求，影响报量报价的准确性。

现有方案中，报量报价策略通常是根据历史市场价格和预测结果生成简单的报价曲线，例如将所有资源统一报量，或采用固定的报价区间进行分段报价。这些策略缺少动态调整机制和价格响应的分级设计，无法灵活适应不同市场价格水平下的资源配置。固定报价曲线的方式在市场波动或多资源类型组合的情况下难以提供细化的报价响应，容易错失高价格段的潜在收益。此外，无法应对市场的快速价格变化，可能导致部分资源在市场中被低估或未被有效利用。

四、现有技术的缺点及本申请提案要解决的技术问题

针对预测模型，传统方案通常采用统计模型、线性回归或简单的时间序列算法（如ARIMA、SVM）进行出力和负荷的预测，部分方案也开始应用机器学习模型。然而，这些方法在处理间歇性资源（如风能和太阳能）带来的数据波动和非线性问题时存在不足，导致预测精度受限。统计模型和部分传统机器学习模型较难捕捉复杂的非线性关系，无法有效应对新能源出力波动，预测结果的误差大且无法适应短时频繁变化的市场需求，影响报量报价的准确性。本提案通过引入先进的深度学习算法iTransformer来预测虚拟电厂的出力、负荷以及市场价格等关键参数。iTransformer模型擅长处理时序数据中的非线性和长短期依赖，能够捕捉复杂的非线性关系，对风、光出力和负荷波动有更好的适应性，使预测更加精准，能够显著提高预测的准确性和鲁棒性。

现有方案中，报量报价策略通常是根据历史市场价格和预测结果生成简单的报价曲线，例如将所有资源统一报量，或采用固定的报价区间进行分段报价。这些策略缺少动态调整机制和价格响应的分级设计，无法灵活适应不同市场价格水平下的资源配置。固定报价曲线的方式在市场波动或多资源类型组合的情况下难以提供细化的报价响应，容易错失高价格段的潜在收益。此外，无法应对市场的快速价格变化，可能导致部分资源在市场中被低估或未被有效利用。本提案本创新性地提出了阶梯式的报量报价机制，具有较高的灵活性，可以根据实市场价格的高低进行分段报价，从而提高报价的精确度和收益响应能力。此机制避免了固定报价带来的收益损失问题，能够更好地捕捉不同价格区间的市场需求。

(创新点1)本提案创新性地引入先进的深度学习iTransformer算法,能有效捕捉时序数据的非线性和长期依赖关系,显著提高对虚拟电厂出力、负荷和市场价格的预测精度和鲁棒性,为后续报量报价提供高质量输入。

(创新点2)本提案提出了一种灵活的阶梯式报量报价机制,将预期出力划分多段并引入价格阶跃比率,可根据市场实时价格动态调整每段报价,捕捉不同价格区间的市场需求,避免固定报价的收益损失,大幅提高收益响应能力。

(创新点3)本提案结合深度学习预测和阶梯式报价机制,建立了虚拟电厂优化调度模型,综合考虑各类约束和成本,最大化虚拟电厂利润,实现虚拟电厂在电能量市场中的灵活高效调度。

五、本申请提案的技术方案的详细阐述

随着电力市场改革的深化,电能量市场的报量报价策略对市场主体的经济效益和电力系统稳定性至关重要。电力市场具有其独特的运作机制,包括但不限于需求的时变性、供应的不确定性以及价格的高波动性。电力不能像其他商品那样大量存储,因此供需平衡必须实时进行,各类灵活市场主体如虚拟电厂、电网公司、分布式能源集成商等,需要高度适应这种动态变化的环境。

本专利提出的工程化报量报价方法,可广泛应用于虚拟电厂、电网主体、大型发电集团、微电网运营商等多种市场主体。该方法通过将预期出力范围划分成多个等间隔段,并引入价格阶跃比率对每段进行动态调整报价,创建灵活的阶梯式报量曲线,保证了市场主体能高效适应电力市场的波动环境。该方法不仅适用于集中式大电网的电能量市场,也可应用于分布式微电网、园区能源系统等多种场景,使这些系统能更好地整合分布式资源,实现供需侧灵活调节和优化调度,提高经济收益及系统运行稳定性。此外,该方法的工程化特征在于算法结构简洁、计算效率高,能够针对不同市场主体快速生成精准的量价曲线,可广泛支持电力市场的快速决策和实时调度,具有良好的工程应用价值。

本发明涉及电力市场设计技术领域，涉及一种工程化的电能量市场报量报价方法，包括：一、获取虚拟电厂中的历史风光出力情况、历史负荷情况，以及上级电能量市场历史出清价格情况等，基于深度学习iTransformer算法对运行日的关键参数进行预测；二、提出工程化的报量报价机制，通过将虚拟电厂的预期出力划分为多个等间隔的段，并引入价格阶跃比率在每一段报价的基础上调整每段的报价，进而创建一个阶梯式的报量报价曲线；三、建立虚拟电厂优化调度模型，以虚拟电厂的最大化利润为目标，综合考虑各类运行约束及虚拟电厂整体的运行成本等因素，进行虚拟电厂的竞标，实现虚拟电厂在市场中的优化调度；本发明对于参与市场竞标的主体能够快速生成符合实际的量价曲线，适用于电力市场的快速决策。



图1. 方法实施流程

1、一种工程化的电能量市场报量报价方法，其特征在于：包括以下步骤：

步骤一、获取虚拟电厂中的历史风光出力情况、历史负荷情况，以及上级电能量市场出清价格情况，基于深度学习iTransformer算法对运行日的关键参数进行预测；

步骤二、提出工程化的报量报价机制，通过将虚拟电厂的预期出力划分为多个等间隔的段，并引入价格阶跃比率在每一段报价的基础上调整每段的报价，进而创建一个阶梯式的报量报价曲线；

步骤三、建立虚拟电厂优化调度模型，以虚拟电厂的最大化利润为目标，综合考虑各类运行约束及虚拟电厂整体的运行成本等因素，进行虚拟电厂的竞标，实现虚拟电厂在市场中的优化调度。

2、根据权利要求1所述的一种工程化的电能量市场报量报价方法，其特征在于：步骤一中，运行日的关键参数包括虚拟电厂中的风光出力情况、负荷情况，以及对上级电能量市场出清价格预测情况等。通过基于深度学习iTransformer算法对运行日的关键参数进行预测。

在电力市场中，市场主体作为价格接受者，在进行日前市场交易时，必须对运行日的关键参数进行准确预测。鉴于这些参数的高度非线性和复杂时变特性，本专利采用iTransformer作为预测算法，以提高预测的准确性和可靠性。

iTransformer是一种用于复杂多元时间序列预测任务(如虚拟电厂发电量、电价预测等)的新型模型。它通过将每个变量(电价、负荷、光伏发电量、风电发电量等)的整个时间序列独立嵌入为token，从而捕捉变量间相关性并学习每个变量的序列表示:







式中，式将第个变量的时间序列嵌入为初始token向量；式通过TrmBlock模块更新所有变量的token向量；式将第个变量的最终token向量映射为其预测序列。

在TrmBlock中，通过Self-Attention模块捕捉变量间相关性:





式中，式表示计算第个变量token与第个变量token的注意力分数；式表示对注意力分数矩阵应用softmax，并与值向量相乘。

FFN模块独立编码每个变量token序列表示:



式表示对第个变量token的表示应用前馈网络FFN进行编码。

该Transformer架构包含6层编码器,模型维度512,注意力头数8,前馈网络维度2048。相较传统时间序列分析方法，iTransformer在处理非线性关系和复杂模式方面表现优异,显著提高了预测精度。在能源预测中，这种方法可以准确预测可再生能源的输出、特定区域的电力需求以及预测市场出清电价等内容。

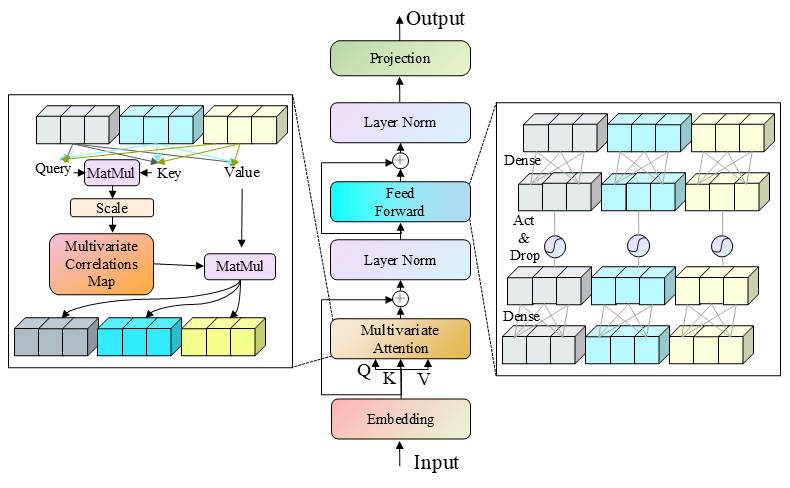


图2. iTransformer模块算法示意图

3、根据权利要求1所述的一种工程化的电能量市场报量报价方法，其特征在于：步骤二中，提出工程化的报量报价机制，通过将虚拟电厂的预期出力划分为多个等间隔的段，并引入价格阶跃比率在对每一段报价的基础上调整每段的报价，进而创建一个阶梯式的报量报价曲线。

报量策略的核心是如何确定在不同市场价格下虚拟电厂应提供的电力量。通过将虚拟电厂的预期出力范围划分成N个等间隔的段,可以创建一个阶梯式的报量曲线。







式中，N表示阶梯段报量报价曲线的段数，N的值不大于5；表示虚拟电厂在能量市场中的出力；表示虚拟电厂每一段阶梯报量报价对应的一个特定出力水平；，分别虚拟电厂在能量市场中的最小和最大出力；表示对变量的向下取整值，用于将策略分为低出力和高出力两个主要区间；这种方法以虚拟电厂的预测出力为中心，向最小出力和最大出力两个方向展开，形成一个全面而灵活的报量曲线。

报价策略在对每一个虚拟电厂报价时刻分段的基础上,采用价格阶跃比率来调整每段的报价：







式中，是价格阶跃比率；表示虚拟电厂预测得到的能量市场出清价格；表示经过的的分段之后的虚拟电厂向市场上报的价格；公式采用预测价格作为报价，低于及高于中位区间的报价则分别呈现递减和递增趋势，其偏离程度与区间序号的差值成正比。这种结构化的报价机制不仅反映了对市场波动的预期，还为价格响应提供了灵活性。参数Δλ作为价格调整的步长因子，使得该策略可根据市场需求进行灵活性调整。

4、根据权利要求1所述的一种工程化的电能量市场报量报价方法，其特征在于：步骤三中，建立虚拟电厂优化调度模型，以虚拟电厂的最大化利润为目标，综合考虑各类运行约束及虚拟电厂整体的运行成本等因素，进行虚拟电厂的竞标，实现虚拟电厂在市场中的优化调度。

虚拟电厂的优化调度模型如下：

虚拟电厂参与市场优化调度的目标函数由以下两部分组成，一是虚拟电厂在电能量市场中的收益；二是虚拟电厂中分布式发电机组、储能等资源的运行成本。



式中，T表示虚拟电厂参与日前电能量市场的时段数；表示虚拟电厂在日前电力市场中参与电能量市场的总运营收益；表示虚拟电厂参与电能量市场的收益；表示虚拟电厂中各类资源参与电能量市场的运行成本。

虚拟电厂中参与电能量市场的收益如下所示：



式中，若，则表示虚拟电厂向外界出售电量；若，则表示虚拟电厂从外界购买电量。表示虚拟电厂预测得到的出清价格。

虚拟电厂中各类资源的总运行成本如下所示：



式中，表示分布式发电机组的运行成本；表示可再生能源风光的运行成本；表示分布式储能的运行成本。







式中，，，表示分布式发电机组运行的成本系数；表示分布式发电机组在t时刻提供的有功功率；，分别表示可再生能源机组中光伏以及风电的成本系数， ，表示光伏以及风电在时刻t提供的有功功率；表示储能系统的成本系数，，表示储能系统t时刻的充电以及放电功率；，，，分别表示分布式发电机组,光伏,风电以及储能系统的数量。

虚拟电厂运行的约束条件

（1）分布式发电机组在参与电能量市场的过程中其出力需要满足以下约束





式中，,表示分布式机组出力的爬坡速率限制；,表示分布式机组出力的最大值和最小值。

（2）储能在参与电能量的过程中充放电功率以及能量范围需要满足以下约束









式中，表示t时刻储能的荷电状态；,分别表示储能k在整个运行周期的过程中可以储存能量的最大值和最小值；代表第个储能设备的能量耗损率, 表示第个储能系统的充放电效率。式表示储能的充电行为和放电行为不能同时发生；式表示储能在整个运行周期的过程中能量状态保持守恒。

（3）虚拟电厂在参与电能量市场的投标过程中，在任意时刻都要满足功率平衡，在这里忽略网络损耗。



式中，表示虚拟电厂内部t时刻的负荷需求。式表示，当等式右边整体>0时，表示整个虚拟电厂可以对外提供电力，进行销售，当等式右边整体<0时，表示此时整个虚拟电厂需要从外界购买电力来维持自身电能的供需平衡。

虚拟电厂的优化调度建模中，目标函数以及约束条件均为线性，可直接通过商业求解器Gurobi/Cplex进行优化求解。

六、本申请提案的关键点和欲保护点

一、获取虚拟电厂中的历史风光出力情况、历史负荷情况，以及上级电能量市场历史出清价格情况等，基于深度学习方法对运行日的关键参数进行预测；

(补充:强调iTransformer算法的创新性,更好地捕捉非线性和长期依赖关系,提高预测精度)

二、提出工程化的报量报价机制，通过将虚拟电厂的预期出力划分为多个等间隔的段，并引入价格阶跃比率在每一段报价的基础上调整每段的报价，进而创建一个阶梯式的报量报价曲线；

(补充:强调报价机制的灵活性和高效性,动态调整以应对价格波动)

三、建立虚拟电厂优化调度模型，以虚拟电厂的最大化利润为目标，综合考虑各类运行约束及虚拟电厂整体的运行成本等因素，进行虚拟电厂的竞标，实现虚拟电厂在市场中的优化调度。

七、与第三条中最接近的现有技术相比，本申请提案有何技术优点

(优势1)引入iTransformer深度学习算法,有效提高关键参数预测精度,捕捉复杂非线性,适应新能源波动,为报价提供高质量输入,优于传统统计模型和部分机器学习模型。

(优势2)创新的阶梯式报价机制灵活动态,可根据市场实时价格调整报价,全面捕捉不同价格区间需求,避免固定报价收益损失,具有较高灵活性和收益响应能力。

(优势3)报价机制与优化调度模型有机结合,全面考虑约束和成本,最大化虚拟电厂利润,实现灵活高效调度。整体流程工程化,运算效率高,适用于电力市场快速决策。

本发明在虚拟电厂报量报价方面提供了一种更加精准、灵活和高效的技术方案，克服了传统方法在预测、报价和调度优化中的局限性，增强了虚拟电厂在电能量市场中的竞争力。工程化流程使虚拟电厂的报量报价更加高效，缩短了决策时间，提高了操作的准确性。尤其是在市场价格波动较大的情况下，工程化流程可以快速调整报价，提高虚拟电厂的市场响应速度和收益能力。

八、发散思维以及规避方案思考

无

1. 本申请提案的商业价值

(工程化算法)该方法的工程化特征在于算法结构简洁、计算效率高，能够针对市场主体快速生成符合需求的量价曲线，适用于电力市场的快速决策。能够获得广泛的市场应用。

(扩展应用场景)除虚拟电厂外,本发明方法可推广应用于电网主体、大型电力公司、微电网等多种市场主体的电能量市场报量报价,具有广阔的应用前景。

(降本增效)与现有技术相比,本方法显著提高了预测精度和报价收益,提升虚拟电厂等主体的经济效益;同时流程工程化,运算高效,降低了运营成本。

(绿色环保)本方法为新能源的高效利用和配置提供支撑,符合能源结构调整和环保减排的国家战略,体现了较高的社会价值。

1. **本申请提案的侵权证据可获得性**

通过软件源代码对比获得，对源代码进行分析是否具备相同的方法、参数或相同的架构风格；

通过构造模拟场景，模拟用户使用，对数据的输入输出进行抓包分析等测试类技术手段获得；

1. **其他有助于理解本申请提案的技术资料**

无

1. **本申请提案的项目信息**

哈尔滨工业大学-中国移动通信集团有限公司5G应用创新联合研究院

支撑海量终端聚合调控的5G虚拟电厂关键技术研究项目B001

1. **本申请提案的产品信息**

无