

考虑敏感用户需求的电能质量分级与购售电策略

董海艳,陈 杰,贾清泉,赵炳文,王运韬,田 宇

(燕山大学 电力电子节能与传动控制河北省重点实验室,河北 秦皇岛 066004)

摘要:在售电侧放开的市场环境下,为满足配电网高渗透、分散化敏感用户的差异化优质电能需求,提出一种电能质量分级与差异化电能质量购售电决策方法。给出一种考虑敏感用户需求的负荷聚类 and 电能质量等级划分方法;搭建售电企业和集群用户之间的购售电决策主从博弈框架,考虑电能质量敏感度构建集群用户博弈模型,计及治理成本和治理回收率构建售电企业收益模型。算例结果表明,所提方法有利于提高电能质量治理的针对性和适用性以及提高市场主体的经济效益,为敏感用户差异化用电需求提供了解决方案。

关键词:差异化电能质量;购售电策略;等级划分;主从博弈;敏感设备

中图分类号:TM 73

文献标志码:A

DOI:10.16081/j.epae.202202026

0 引言

随着高新技术特别是信息技术的快速发展,基于计算机、微处理器控制的高精密设备在众多行业大量涌现,电能质量敏感负荷逐渐呈现高渗透、分散化态势,这对电网环境提出了更高要求。售电侧放开环境下,用户对电能的需求已经从普通的电力供应向优质电力供应方向发展,供电模式也由售电侧垄断向定制化、市场化方向发展^[1]。提供优质电力增值服务尤其是电能质量差异化服务,满足日益增多的敏感负荷需求,是售电主体提高市场竞争力的重要方面^[2]。考虑敏感用户需求,研究合理的差异化电能质量售电决策方法,在保证售电企业自身利益的同时,提升用户效益和满意度,这对促进电力市场有序发展以及推动售电侧市场改革进程具有重要意义。

目前,对于具有优质电能需求的敏感用户的电力供应一般遵循优质高价原则,通过电力定制技术解决对这类用户的供电问题。文献[3]将风险管理机制引入电能质量定价模型,采用质量保险费叠加基本电价的方式实现多质量等级电能定价。文献[4]考虑用户支付意愿,以供电公司利润最大化为优化目标进行电能质量服务差别定价,在此基础上,文献[5]给出电能质量可定制微电网的分层结构,构建计及质量保险的微电网电能按质定价模型。文献[6]提出计及电能质量的电力市场多主体博弈模型,将电能质量融入电力市场竞争机制中,帮助售电方制定按质定价策略。文献[7]提出一种售电侧放开环境下基于Stackelberg博弈的电能质量定价方法,在满足用户电能质量和收益需求的同时保证售电公

司利益。上述文献为电能按质定价提供了有效途径,为实施电能质量差异化服务奠定了基础,但在电能质量分级以及用户电能质量等级决策方面没有进行深入探讨与研究。

合理划分电能质量等级是电能质量差异化服务的前提,直接影响供电方案设计和供用电双方的经济效益。目前电能质量分级问题主要是在电能质量评估或按质定价研究中提及,并且一般都是直接给出等级数与各级取值区间。文献[8]从工业过程的抗扰能力出发对优质电力园区用户进行分级,以投资最小为目标给出动态电压恢复器DVR(Dynamic Voltage Regulator)的优化配置方法,为多等级电能质量供电服务提供了治理技术支撑,但其分级方法具有局限性,仅适用于对少量的短时电压变化敏感用户进行分级。如何兼顾各方利益对多敏感属性的负荷群体进行分级需要进行深入研究。

用户电能质量等级决策方案不仅取决于敏感用户的需求,而且还受优质供电服务成本制约,敏感用户的购买意愿是在经济性的原则下追求优质。用户电能质量等级决策与售电企业电能质量电价决策应该在市场博弈中同时确定。博弈论方法是解决电力市场竞价交易的有效手段^[9-11]。文献[9]基于非合作博弈思想,提出一种计及电能质量的电网公司、发电商和售电商三方博弈模型,对电能质量融入市场机制进行了有益探索,但没有考虑用户的效益。文献[12]建立售电公司和用户之间的主从博弈模型,并分析互动机制。文献[13]建立零售商参与零售市场竞争交易的博弈均衡模型,仿真分析用户切换行为对零售商竞价策略及市场均衡结果的影响。文献[14]考虑多微电网系统和微电网聚合商所有权不同,提出基于混合博弈的多微电网系统双层协调优化调度模型及其求解方法。博弈论在电力市场竞价方面的应用为本文电能质量购售电决策提供了参考。

收稿日期:2021-06-10;修回日期:2021-12-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51807172)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51807172)

鉴于目前我国电力市场尚未发展到多家售电公司在同一地区进行售电竞争的阶段,本文将具有配电网经营权的单一售电企业作为供电主体,针对大量敏感用户的优质电能需求,提出考虑敏感用户差异化需求的负荷聚类 and 电能质量等级划分方法,搭建售电企业与用户之间的购售电决策主从博弈框架,构建计及治理成本和治理回收率的售电企业收益模型以及考虑电能质量敏感度的用户博弈模型,并对纳什均衡解的存在性进行证明。算例结果验证了本文所提方法的合理性和可行性。

1 考虑用户差异化需求的电能质量分级

1.1 敏感用户的电能质量差异化用电需求

附录A图A1给出了交流继电器ACR(Alternating-Current Relay)、可编程逻辑控制器PLC(Programmable Logic Controller)、可调速驱动器ASD(Adjustable Speed Drive)、电机启动装置MS(Motor Starter)及计算机电源CPS(Computer Power Supply)这些典型设备的电压暂降敏感曲线。由图可知,不同用电设备对电能质量的敏感度具有显著差异。即使是同类设备,受电能质量影响的程度也不尽相同。

从经济层面考虑,相同电网环境下,用电设备对电能质量敏感度越高,因电能质量问题导致的经济损失越大且设备运行维护成本越高,即用电的使用成本越高。考虑到优质高价因素,理想用户对优质电能的支付意愿是在经济性的原则下追求优质,会综合考虑敏感设备需求与优质电能成本。由此可见,各敏感用户对供电质量的需求具有差异性。

1.2 敏感负荷聚类与电能质量分级

考虑到治理的经济性、技术要求和可操作性等因素,售电企业难以满足每个敏感用户的个性化需求。按照电能质量需求的一致性对敏感负荷进行聚类,是解决高渗透、分散化配电网敏感设备差异化用电问题的有效措施。

本文采用K-means算法实现敏感负荷聚类,根据欧氏距离评价各用户对电能质量需求的相似性。根据敏感设备的需求,筛选聚类特征指标,将各指标均转化为望小型指标并进行无量纲化处理。将各指标在一定限值内平均划分为 r 个区间,将各区间的下限作为敏感用户电能质量水平的备选值。令 $S=\{S_1, S_2, \dots, S_\lambda\}$ 为包含 λ 个聚类指标的备选值集合,其中 $S_j=\{s_{j1}, s_{j2}, \dots, s_{jr}\}$ ($j=1, 2, \dots, \lambda$)为指标 j 的 r 个备选值集合, s_{jt} ($t=1, 2, \dots, r$)为指标 j 的第 t 个备选值。用户根据敏感设备对各电能质量指标的敏感度,从各指标的备选值中选择并上报所期望的电能质量水平。售电企业根据所有用户提供的指标数值对敏感负荷进行聚类。聚类后,同一簇内的负荷具

有相似的电能质量需求,不同簇之间具有差异化的电能质量需求。

本文将负荷聚类簇数 h 作为优质电能等级数,加上基本电能等级 q_0 ,总电能质量等级数为 $h+1$ 。优质电能等级数 h 取值在2~5之间为宜。若等级数太少,则用户的选择性太小,与负荷需求的一致性相差太大;若等级数太多,则各等级之间的质量区分不大,缺乏实用性,且目前的治理设备与技术难以实现精细划分。若最佳聚类簇数不在2~5之间,则从2~5中选取聚类效果相对较好的簇数作为优质电能等级数。本文采用DB(Davies-Bouldin)指数和CH(Calinski-Harabasz)指标对聚类的有效性进行评价^[15]。

电能质量分级除了划分等级数外,还需确定各等级电能质量的取值范围。基本电能等级取合格电能质量水平,优质电能等级的取值范围根据各簇负荷的电能质量需求确定,需满足该簇占比为 η 的负荷对各指标的需求,将达到要求的各指标备选值作为相应等级电能质量指标的下限值。例如,若指标 j 的备选值 s_{ji} 满足某簇中占比为 η 的负荷对指标 j 的需求,则 s_{ji} 为该等级指标 j 的下限值,该等级的供电水平要优于 s_{ji} , s_{ji} 可根据情况向上取整。

显然,考虑敏感用户意愿,通过负荷聚类进行电能质量等级划分,所选取的指标以及各等级的取值范围更贴近负荷实际需求,具有典型的定制化特征。

2 市场主体博弈模型的构建

2.1 购售电博弈框架

配电网中普通用户与敏感用户混杂在一起,为满足敏感用户优质用电需求对整个区域进行治理是不经济和不必要的。在10 kV配电网中,敏感负荷并非在每个节点均呈现高渗透态势。对于敏感负荷较少甚至是没有敏感负荷的节点,本文不对其进行差异化供电研究。对于敏感负荷较多的节点,根据敏感负荷聚类以及负荷分布情况重新进行规划改造,有针对性地实施分级协调治理,这比对敏感用户的电能质量进行单独治理或迁址重建具有更好的经济效益。10 kV节点可能接有多台降压变压器,根据各类负荷占比以及变压器容量情况,为便于治理,按照各类负荷分别供电的原则对各变压器所带负荷进行调整,同一簇的负荷由同一变压器供电。为降低普通负荷对敏感负荷的影响,将敏感负荷从现有电网中脱离,根据敏感负荷的分布情况,构建敏感负荷供电网络。在该供电网络中,将一个节点由不同变压器供电的各级敏感负荷作为一个整体,称为集群用户,对其实施差异化分级供电。采取该措施虽然会导致在敏感负荷节点内部涉及较多线路改造等问题,但由于敏感负荷比例高且敏感节点相对较少,长

远来看,有利于满足敏感用户需求以及提高供用电双方经济效益。

本文研究的是具有配电网经营权的单一售电企业与多个集群用户之间的差异化电能质量购售电问题,该问题属于“一对多”模式,其是实现“多买方-多卖方”差异化电能质量购售电的过渡模式。售电企业作为售电主体,为满足用户差异化需求以及提高售电收益,需要考虑治理成本并合理制定各等级电价。集群用户作为购电主体,具有优质电能需求,需兼顾设备的敏感度与优质电价成本进行科学、合理的电能质量等级决策。售电企业电能质量定价与集群用户电能质量等级决策之间相互制约和影响,存在市场博弈现象。双方均希望在市场交易过程中获取最大利益,其购售电决策过程符合主从博弈问题。单一售电企业处于领导者地位,根据集群用户电能质量需求情况预估电能质量治理费用,权衡自身利益与用户支付意愿,给出优质电能报价;各集群用户属于跟随者,基于售电企业的报价,计及电能使用成本,以总成本最低为目标优化选择电能质量等级,并将其决策结果反作用于售电企业报价。购售电博弈框架如图1所示。在集群用户优化过程中,每个集群用户对电能质量等级的选择情况会影响各等级的治理成本以及售电企业对其他集群用户的报价,进而影响其他集群用户的收益以及博弈策略,因此除了售电企业与集群用户之间存在主从博弈外,各集群用户之间还存在非合作博弈。

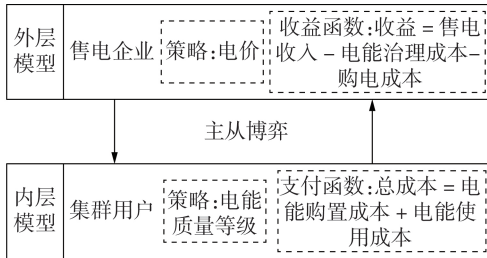


图1 购售电博弈框架

Fig.1 Game framework of power purchase and sale

2.2 售电企业博弈模型

2.2.1 售电企业成本模型

售电企业为用户提供差异化电能需要支付的成本包括两部分:一是向发电企业购电的成本,二是电能质量治理成本。

售电企业支付给发电企业的购电成本可表示为:

$$C_B = pQ_m \quad (1)$$

式中: p 为售电企业的购电价格; Q_m 为售电企业的购电量。

电能质量治理成本主要包括治理设备的购置成本和维修成本。治理设备的维修成本与购置成本有关,为简化计算,本文将其取为购置成本的5%^[16]。

为对治理设备的购置成本进行合理取值,本文以几种典型治理设备为例进行分析。

DVR是解决电压暂降和电压中断问题的常用治理设备,根据文献[17],其购置成本 C_{DVR} 可表示为:

$$C_{DVR} = C_{dunit} S_{DVR} = C_{dunit} U_{DVR} \frac{S_{load}}{U_N} \quad (2)$$

式中: C_{dunit} 为DVR单位容量成本; S_{DVR} 为DVR容量; U_{DVR} 、 U_N 分别为DVR的最大补偿电压和设备额定电压; S_{load} 为负荷容量。

由式(2)可知,DVR购置成本与负荷容量成正比,且最大补偿电压越大,DVR容量越大。

静止无功发生器SVG(Static Var Generator)是进行动态无功补偿的典型设备,并且兼具滤除谐波等功能,每1 kW有功功率负荷所需配置的补偿容量与补偿后的功率因数有关,补偿后的功率因数越高,所需补偿容量越大。

由上述分析可知,设备购置成本除与该设备的单位容量成本有关外,还与设备容量有关,而设备容量与负荷大小和补偿效果有关,电能质量水平提升越高,所需容量越大。本文用 $C_Z(q_i)$ 表示售电企业将电能质量等级从 q_0 治理到 q_i 时所需的治理成本,如式(3)所示。

$$C_Z(q_i) = \rho_{gov} \sum_{k=1}^K S_k(q_i) + C_{rep} T \quad (3)$$

式中: ρ_{gov} 为单位容量治理成本,忽略不同品牌、厂家的差异,将其视为常数; $S_k(q_i)$ 为集群用户 k 将电能质量等级从 q_0 治理到 q_i 时所需的治理设备容量,该容量与电能质量提升程度有关; K 为集群用户数量; C_{rep} 为设备年维修成本; T 为签约年限。

2.2.2 计及治理回收率的售电企业收益模型

售电企业的收益主要由售电收入、支付给发电企业的购电成本和电能治理成本组成,售电企业期望能够设置一个合理的电价既使用户接受又使自身收益最大。收益函数为:

$$\max U_m = C_{in} - \sum_{i=1}^I C_Z(q_i) - C_B \quad (4)$$

式中: U_m 为售电企业净收益; C_{in} 为售电企业售电收入; I 为电能质量最高等级。

售电企业售电收入由售电电量和电价决定,其表达式为:

$$C_{in} = \sum_{k=1}^K p_{m,k}(q_i) Q_{m,k}(q_i) T \quad (5)$$

式中: $p_{m,k}(q_i)$ 为售电企业对集群用户 k 的 q_i 等级电能电价; $Q_{m,k}(q_i)$ 为集群用户 k 与售电企业所签订的年用电量。

本文设定售电企业的电价由基础电价、电量电价和电能质量电价三部分组成。基础电价为基本电

能等级 q_0 所对应的电价;电量电价与交易电量大小有关;电能质量电价体现按质定价的原则,是提供高质量等级电能的附加费用。当集群用户 k 与售电企业签订年用电量为 $Q_{m,k}$ 、电能质量等级为 q_i 、合同周期为 T 的用电合同时,售电企业对集群用户 k 的报价可表示为:

$$\begin{cases} p_{m,k}(q_i) = p_{\text{com}} + f_m Q_{m,k}(q_i) + p_{e,k}(q_i) \\ \text{s.t. } p_{m,k}(q_i) \in [p_{m,k}^{\min}(q_i), p_{m,k}^{\max}(q_i)] \end{cases} \quad (6)$$

式中: p_{com} 为基础电价; f_m 为电量电价系数,是一个常数; $p_{e,k}(q_i)$ 为集群用户 k 所要支付的 q_i 等级电能的电能质量电价,其值随电能质量等级 q_i 的提高而增大; $p_{m,k}^{\min}(q_i)$ 、 $p_{m,k}^{\max}(q_i)$ 分别为售电企业对集群用户 k 销售电价的下限和上限,是售电企业收益模型的约束条件。

式(6)中,基础电价是定值,当电量确定时,电量电价也是定值,因此销售电价的取值范围由电能质量电价决定。电能质量电价与治理成本及治理设备投资回收期有关,可表示为:

$$p_{e,k}(q_i) = \frac{\alpha(q_i) \rho_{\text{gov}} \sum_{k=1}^K S_k(q_i) + C_{\text{rep}} T}{T \sum_{k=1}^K Q_{m,k}(q_i)} \quad (7)$$

式中: $\alpha(q_i) \in [1, \alpha_{\text{max}}(q_i)]$,为电能质量等级 q_i 下的治理设备投资回收期,其取值范围决定了销售电价的范围,该值大小直接影响售电企业和用户的利益, $\alpha_{\text{max}}(q_i)$ 为电能质量等级 q_i 下各集群用户可接受的最高治理设备投资回收期,满足式(8)。

$$\begin{cases} \alpha_{\text{max}}(q_i) = \min \{ \alpha_{k,\text{max}}(q_i) \} \\ \alpha_{k,\text{max}}(q_i) = \frac{(C_{s,k}(q_0) - C_{s,k}(q_i)) - C_{\text{rep}} T}{\rho_{\text{gov}} \sum_{k=1}^K S_k(q_i)} \end{cases} \quad (8)$$

式中: $\alpha_{k,\text{max}}(q_i)$ 为电能质量等级 q_i 下集群用户 k 可以接受的最高治理设备投资回收期; $C_{s,k}(q_0)$ 、 $C_{s,k}(q_i)$ 分别为集群用户 k 在电能质量等级为 q_0 、 q_i 时的电能使用成本。

2.3 考虑电能质量敏感度的集群用户博弈模型

集群用户成本包括优质电能购置成本 C_Y 和电能使用成本 C_S 两部分。电能质量等级越高,提高单位等级电能所需的治理费用越高,治理技术越难达到,优质电能购置成本 C_Y 越高;同时,电能质量等级越高,用电设备因电能质量问题导致的潜在经济损失越小,设备运行维护成本越低,电能使用成本 C_S 也越低。用户期望的购买意愿是电能总成本 C_T 达到最低值 C_T^* 时所对应的电能质量等级 $q^{A[5]}$ 。

每个集群用户可能包含多个敏感类型的负荷,本文将各类型负荷分别作为独立的博弈主体,实施一种集群用户多等级供电模式。集群用户 k 的成本优化函数可表示为:

$$\min U_k^{\omega}(q_i) = C_{Y,k}^{\omega}(q_i) + C_{S,k}^{\omega}(q_i) \quad (9)$$

式中: $U_k^{\omega}(q_i)$ 、 $C_{Y,k}^{\omega}(q_i)$ 、 $C_{S,k}^{\omega}(q_i)$ 分别为集群用户 k 为敏感度为 ω 的用电负荷购买 q_i 等级电能所需的总成本、购置成本和使用成本。

1) 购置成本。

集群用户 k 为敏感度为 ω 的用电负荷购买 q_i 等级电能所需的购置成本可表示为:

$$C_{Y,k}^{\omega}(q_i) = p_{m,k}^{\omega}(q_i) Q_{m,k}^{\omega}(q_i) T \quad (10)$$

式中: $p_{m,k}^{\omega}(q_i)$ 为集群用户 k 为敏感度为 ω 的用电负荷购买 q_i 等级电能的电价; $Q_{m,k}^{\omega}(q_i)$ 为集群用户 k 中敏感度为 ω 的用电负荷购买 q_i 等级电能的年用电量。

2) 使用成本。

电能质量使用成本与用电设备对电能质量的敏感度有关。本文采用二次函数模型^[18]表示用电设备的单位电能使用成本。敏感度为 ω 的用电设备在 q_i 等级下的单位电能使用成本 $C_{\text{unit}}^{\omega}(q_i)$ 如式(11)所示,合约期内的电能使用成本 $C_{S,k}^{\omega}(q_i)$ 如式(12)所示。

$$C_{\text{unit}}^{\omega}(q_i) = b_0 q_i^2 + b_1 q_i + C_{S0} \quad (11)$$

$$C_{S,k}^{\omega}(q_i) = C_{\text{unit}}^{\omega}(q_i) Q_{m,k}^{\omega}(q_i) T \quad (12)$$

式中: b_0 、 b_1 为常数,与敏感度 ω 有关,其值根据敏感负荷聚类情况通过对各类用电设备进行调研获取; C_{S0} 为用电设备在电能质量等级为 q_0 时的单位使用成本,该成本随敏感度的升高而提高。

3) 约束条件。

考虑到集群用户对优质电能需求的本质是降低其总成本,因此每个集群用户选择电能质量等级需要满足个人理性约束(IR)和激励相容约束(IC)^[8]这2项基本约束,如式(13)所示。个人理性约束表示集群用户 k 购买 q_i 等级电能时的总成本不高于该用户购买 q_0 基本质量等级电能时的总成本,该约束用于保证集群用户购买优质电能服务能够降低总成本;激励相容约束表示集群用户 k 在购买 q_i 等级电能时的总成本不高于该用户购买其他等级优质电能时的总成本,该约束用于保证集群用户所选电能质量等级为最优。

$$\begin{cases} \text{IR: } U_k(q_i) \leq U_k(q_0) & q_i \in \{q_1, q_2, \dots, q_l\} \\ \text{IC: } U_k(q_i) \leq U_k(q_j) & q_i, q_j \in \{q_1, q_2, \dots, q_l\}; q_i \neq q_j \end{cases} \quad (13)$$

3 主从博弈模型的求解

3.1 求解思路与流程

本文采用双层粒子群算法对售电企业和多个集群用户之间的主从博弈模型进行求解。领导者为外层的决策主体,其优化粒子为电价;跟随者为内层的决策主体,其优化粒子为电能质量等级。内外层都有各自的目标函数和约束条件。内层模型以外层模型的解为优化参数,外层模型以内层模型的解为约束条件。具体求解流程如附录A图A2所示。求解

步骤如下。

1)输入参数。包括售电企业的电能质量治理成本系数、集群用户不同敏感度设备的电能使用成本系数、合同电量及年限等参数。

2)初始化种群。外层生成售电企业种群,共包含 M 个粒子,每个粒子的含义为售电企业的电价组合策略;内层生成集群用户种群,共包含 N 个粒子,每个粒子的含义为所有集群用户的电能质量等级策略组合。

3)置外层粒子序号 $m=1$ 、内层粒子序号 $n=1$,计算外层第 m 个粒子和所对应的 N 个内层粒子的适应度值。外层的适应度值 $F(m,n)$ 为售电企业的净收益,内层的适应度值 $f(m,n)$ 为每个集群用户的成本。

4)内层循环迭代。根据式(9)迭代计算结果更新内层粒子的位置和速度,并判断是否超过最大迭代次数,若是,则输出集群用户的最优电能质量等级和最低成本值,否则继续循环迭代。

5)外层循环迭代。计算外层第 $m+1$ 个粒子的适应度值,重复步骤4)。根据式(4)迭代计算结果更新外层粒子的位置和速度,并判断是否超过外层种群规模,若是,则进行下一次迭代,并重复步骤3)、4),否则继续计算粒子适应度值。同时判断是否满足迭代停止条件,若是,则输出售电企业的最优电价和最优净收益值,否则继续循环迭代。

6)输出迭代停止时的最优粒子,即最优电能质量等级和最优电价。

3.2 纳什均衡解的存在性证明

纳什均衡是一种策略组合,它使每个参与者的策略是对其他参与者策略的最优反应。当博弈的任何一方参与者都不可能通过单方面改变策略来获得更大的利益时,此时的策略组合被称为纳什均衡。若 (p^*, q^*) 为本文中的均衡解,则售电企业收益和集群用户成本需满足:

$$\begin{cases} U_m(p^*, q^*) \geq U_m(p, q^*) \\ U_k(p^*, q^*) \leq U_k(p^*, q) \end{cases} \quad (14)$$

式中: p^* 为电价的均衡解; q^* 为电能质量等级的均衡解; p 为均衡解之外的其他电价策略; q 为均衡解之外的其他电能质量等级策略。

由于并非所有的博弈都存在均衡解,因此在求取主从博弈的均衡解之前需要对博弈模型均衡解的存在性进行证明。主从博弈的均衡解存在的条件是:领导者和跟随者的利润函数在其策略空间内存在拟凹性^[19]。

函数的拟凹性是指:对任意属于定义域的2点 x, y ,当 $a \in (0, 1)$ 时,满足式(15)。

$$g(ax + (1-a)y) \geq \min\{g(x), g(y)\} \quad (15)$$

式中: $g(\cdot)$ 为任意函数。

在式(4)所示的售电企业收益函数中:出售电能所获得的收益中交易电量收益是一个常数,策略 $p_{m,k}(q_i)$ 与电能质量水平正相关;治理成本是一个开口向上的二次函数;购电成本是一个常数。根据拟凹性的定义,在定义域 $D: q_1 \leq q_i \leq q_l$ 上,式(4)中第二项是递减的且是凸函数, $\forall q_i, q_j \in D, a \in (0, 1)$,存在式(16)所示关系。

$$U_m(aq_i + (1-a)q_j) \geq \min\{U_m(q_i), U_m(q_j)\} \quad (16)$$

可知售电企业净收益 U_m 是关于电能质量等级 q_i 的拟凹函数,并且 $p_{m,k}(q_i)$ 与 q_i 正相关,因此售电企业净收益 U_m 是关于其策略 $p_{m,k}(q_i)$ 的拟凹函数。

在集群用户的效益函数中,电能使用成本是一个关于 q_i 的开口向下的二次函数,同理可证明集群用户的成本优化函数是关于其策略 q_i 的拟凹函数。

由于主从博弈的领导者和跟随者的利润函数在其策略空间中是拟凹的,因此对应售电企业的最优售电策略,集群用户存在最优购电策略,即该主从博弈模型存在均衡解。

4 算例分析

4.1 算例相关参数

本文将1家售电企业与由不同占比的10个敏感负荷组成的集群用户(包含300个敏感用户)作为市场博弈主体,研究考虑敏感用户需求的电能质量分级与购售电策略。其中,售电企业相关参数为: $p=0.35$ 元/(kW·h)、 $p_{com}=0.5$ 元/(kW·h)、 $f_m=-0.005$ 、 $T=5$ a。敏感用户电能质量需求数据通过调研开关类、计算机类、电力电子类设备以及精密加工用户的电能质量敏感信息,并结合行业性质与专家经验构建。本文根据敏感用户需求,选取3个聚类特征指标对负荷进行聚类,包括电压偏差 X_1 、短时电压中断时间 X_2 和电压暂降幅值 X_3 ,最佳聚类结果如图2所示。

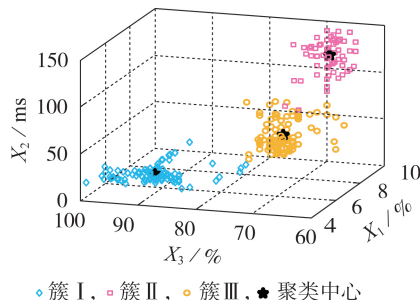


图2 敏感负荷最佳聚类结果

Fig.2 Optimal clustering results of sensitive load

图2中,敏感用户聚类数为3,簇I—III用户数分别为101、92和107。本文优质电能等级的取值范围根据各簇负荷的电能质量需求确定。当 $\eta=80\%$ 时,电能质量分级结果如表1所示,其中,基本电能等级 q_0 仅对电压偏差进行要求。

表1 电能质量分级结果

Table 1 Gradation results of power quality

等级	$X_1 / \%$	X_2 / ms	$X_3 / \%$
q_0	± 10	—	—
q_1	± 10	130	70
q_2	± 10	47	80
q_3	± 5.5	25	93

结合敏感用户类型分析图2和表1可知,各簇内用户的类型具有相似性:簇Ⅰ用户多为计算机及电力电子类用户,该簇用户对短时电压中断和电压暂降有一定的需求,决定了 q_1 等级取值范围;簇Ⅱ用户多为含开关类设备、医疗设备或变频调速器的用户,该簇用户对短时电压中断和电压暂降的需求较簇Ⅰ用户稍高,决定了 q_2 等级取值范围;簇Ⅲ用户多为精密加工用户,该簇用户对3种电能质量指标都具有较高的需求,决定了 q_3 等级取值范围。

统计各集群用户中各簇负荷的年用电量,如表2所示,其中, ω_1 — ω_3 分别为簇Ⅰ—Ⅲ负荷对电能质量的敏感度。

表2 集群用户用电量

Table 2 Power consumption of cluster users

集群用户	不同敏感度负荷用电量 / ($\text{MW} \cdot \text{h} \cdot \text{a}^{-1}$)		
	ω_1	ω_2	ω_3
1	150	300	100
2	1000	300	200
3	100	150	600
4	450	400	800
5	450	1600	400
6	500	1000	2000
7	300	1200	1300
8	350	500	2300
9	300	1400	200
10	500	150	50

根据式(3)可以计算电能质量治理成本,但是需要结合实际情况针对不同的电能质量问题确定治理设备类型和容量。为了简化计算,本文对3种电能质量问题进行统一治理,直接根据负荷功率对治理容量进行估算。不同等级优质电能所需的治理容量 $S_k(q_i)$ 用相应等级的换算系数 $\zeta(q_i)$ 与负荷功率 $S_{k, \text{load}}$ 之积表示,即 $S_k(q_i) = \zeta(q_i) S_{k, \text{load}}$ 。结合表1,换算系数分别取 $\zeta(q_1) = 0.6$ 、 $\zeta(q_2) = 1.0$ 、 $\zeta(q_3) = 1.7$,并取 $\rho_{\text{gov}} = 2700 \text{ 元} / (\text{kV} \cdot \text{A})$ 。将表2中集群用户负荷的电能质量水平从 q_0 分别提升到 q_1 — q_3 所需的治理设备容量如附录A表A1所示。

对各类设备在不同电能质量水平下的电能质量损失数据进行分析拟合,可得到式(11)中的电能使用成本关键参数 C_{s0} 、 b_0 和 b_1 。本文假设同一簇内敏感设备因受电能质量影响而造成的潜在经济损失相同,结合调研数据与文献[20]中的电能质量损失数

据,分别得到不同敏感度负荷的电能使用成本参数如表3所示。

表3 敏感负荷电能使用成本参数

Table 3 Power usage cost parameters of sensitive load
单位:元 / ($\text{MW} \cdot \text{h}$)

敏感度	b_0	b_1	C_{s0}
ω_1	7.608	-100	500
ω_2	13.04	-187.5	825
ω_3	14	-230	1050

基于以上数据,采用双层粒子群算法对售电企业和集群用户之间的差异化电能质量博弈问题进行求解。粒子群参数设置为:惯性权重的最大值和最小值分别为0.9和0.2;自我学习因子和群体学习因子均为2;内层粒子种群大小为1000,最大迭代次数为100;外层粒子种群大小为100,最大迭代次数为100,当适应度函数值连续不更新迭代次数为8时,迭代停止。

4.2 购售电策略分析

本文设置4种模式进行对比分析:模式1,300个敏感负荷按照4.1节的聚类结果确定供电等级,并在此基础上优化电价;模式2和模式3在4.1节敏感负荷聚类以及电能质量分级的基础上,采用本文所提博弈策略确定最佳电能质量等级和电价,其中,模式2对含不同敏感负荷的集群用户实施单一等级供电,模式3对集群用户中不同敏感类别的负荷分别实施最佳等级供电;模式4,300个敏感负荷根据电力行业标准《优质电力园区供电技术规范》从A级供电、AA级供电和AAA级供电中选择满足自身需求的供电质量等级,售电企业直接按照敏感负荷选择情况进行差异化供电,在电能质量等级选定后优化电价。

附录A表A2给出了采用模式1时各等级电价以及在纳什均衡状态下采用模式2和模式3时的电能质量等级决策结果和相应电价。由模式2和模式3的决策结果可知,最佳电能质量等级与负荷敏感度直接相关,敏感度越高,所对应的电能质量等级也越高,即高敏感用户对高品质电能有较强的支付意愿。对比模式2不同用户的决策结果可知,各类敏感负荷的占比对决策影响较大,例如:集群用户2和10中敏感度为 ω_1 的负荷占比相对较大,在最佳等级决策中起到了决定性作用;集群用户4中敏感度为 ω_3 的负荷占比虽高于其他2类负荷,但占比优势不大,受敏感度较低的负荷的影响,最佳决策等级为 q_2 。由此可知,高敏感度用电设备占比越高,用户选择更高质量等级电能的倾向越大,此时因优质电能等级提高而减少的电能使用成本越能抵消该用户低敏感设备的电费增量,反之亦然。决策结果充分验证了本文差异化购售电决策的有效性。

对比模式2和模式3可知:模式2的供电方式会损害部分敏感负荷利益,当决策等级偏高时,低敏感负荷需承担不必要的高额电价,当决策等级偏低时,高敏感负荷的使用成本会增加;而模式3将各类敏感负荷作为独立的博弈主体,能够有针对性地对每类负荷实施差异化供电,使集群用户获取最大收益。对比这2种模式的电价也可看出,即使供电等级相同,模式3的电价也低于模式2的电价。由此可知,模式3的供电方式优于模式2。对比模式1和模式3可知,2种模式下各集群用户不同类型负荷的供电等级相同,即在本文算例中模式3纳什均衡状态下的电能质量等级决策结果与负荷敏感度相对应,但模式3用户电价要低于模式1。采用模式3有利于降低各集群用户的成本,提高用户收益。

附录A表A3给出了采用模式4时各集群用户的电量、治理容量以及电价情况。由于300个敏感负荷均对电压暂降和短时电压中断具有优质要求,因此没有负荷选择A级供电。此外,由于极敏感负荷数量少,因此各集群用户中AAA级的用电量占比不高。对比模式3和模式4的电价可知,各集群用户模式4的AA级电价显著高于模式3的 q_2 等级电价,与模式3的 q_3 等级电价相差不大,模式4的AAA级电价显著高于模式3的 q_3 等级电价,其原因在于:AA级供电质量要求电压暂降和短时电压中断不超过20 ms,该标准明显高于 q_2 等级,而略高于 q_3 等级;AAA级供电质量更优,要求不出现短时电压中断,电压暂降持续时间也不能超过5 ms。模式4的供电质量高,所需治理成本高,因此电价偏高。

4.3 经济效益分析

图3给出了4种模式下的售电企业收益。由图可知,相较于模式3,模式1下的售电企业收益高18.14%,模式2下的售电企业收益低7.43%,模式4下的售电企业收益低2.94%。采用模式1时的售电企业收益最高,这表明采用本文聚类方法进行分级并确定用户供电等级有利于提高售电企业效益。对比模式3与模式4可知,采用模式4时电价和售电收入均较高,但由于治理成本也相对较高,因此2种模式下售电企业收益相差不大。采用模式2时的售电企业收益最低,这表明根据敏感负荷类型实施电能

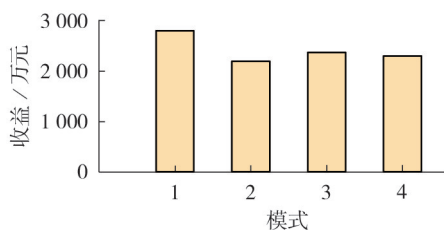


图3 4种模式下售电企业收益

Fig.3 Revenue of power sale enterprise under four modes

质量差异化供电相比采用单一等级供电更有利于提高售电企业收益。上述结果表明,根据不同敏感用户的需求实施有针对性的电能质量差异化供电,不仅有利于提高售电企业的用户满意度,还有利于提高售电企业收益和市场竞争力。

图4为4种模式下各集群用户的总成本。由图可知,采用模式3时的总成本最低,采用模式4时的总成本最高。采用模式4时,敏感负荷所选等级的供电质量显著高于所需要的供电质量,因电能质量水平提高而带来的电能使用成本下降不足以抵消因电价上升而带来的购电成本增加。采用模式1时,敏感用户的供电等级与用户需求一致,但由于电价决策过程中未兼顾用户利益,因此与模式3相比用户总成本显著增加。

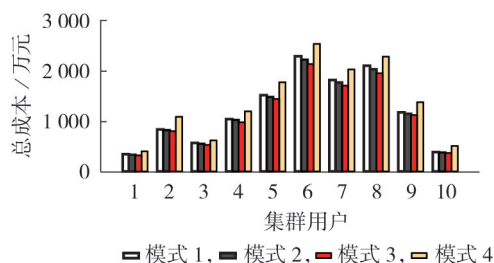


图4 4种模式下集群用户总成本

Fig.4 Total cost of cluster users under four modes

算例结果表明,考虑用户差异化需求建立合理的电能质量分级方式,采用本文提出的差异化电能质量购售电策略有利于提高购售电双方的经济效益,实现共赢。本文所提方法为解决敏感用户差异化电能质量需求问题提供了有效解决方案。

5 结论

针对配电网敏感负荷高渗透、分散化态势,本文以电能质量为切入点,提出一种考虑敏感用户需求的差异化电能质量购售电决策方法,主要结论如下:

1)考虑敏感用户群体对电能质量的差异化需求,通过敏感负荷聚类建立电能质量等级划分方法,可以避免指标设置不合理、各等级水平与用户需求相差较大等弊端,具有较强的定制化特征,能够有效增强电能质量治理的针对性和适用性,有利于提升售电企业的用户满意度;

2)考虑负荷电能质量敏感性构建用户成本模型,将电能质量等级作为用户购电的博弈策略,能够有效解决用户选择电能质量等级的盲目性和主观性问题,有利于提高用户效益;

3)基于博弈论的差异化电能质量购售电决策方法,能够有效提高购售电主体的经济效益以及敏感用户的用电品质,丰富售电企业差异化服务的内容,有利于推动售电侧改革健康、有序发展。

附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

参考文献:

- [1] 胡晨,杜松怀,苏娟,等. 新电改背景下我国售电公司的购电途径与经营模式探讨[J]. 电网技术,2016,40(11):3293-3299.
HU Chen, DU Songhuai, SU Juan, et al. Preliminary research of trading approach and management modes of Chinese electricity retail companies under new electricity market reform[J]. Power System Technology, 2016, 40(11): 3293-3299.
- [2] 肖先勇,马愿谦,莫文雄,等. 售电侧放开背景下电网公司优质电力增值服务模式[J]. 电力科学与技术学报,2016,31(4):4-10.
XIAO Xianyong, MA Yuanqian, MO Wenxiong, et al. Premium power based value-added service model for power supply company under the opening electricity retail side[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2016, 31(4): 4-10.
- [3] 金广厚,李庚银,周明. 基于质量保险的多质量等级电能定价方法[J]. 中国电机工程学报,2006,26(9):113-119.
JIN Guanghou, LI Gengyin, ZHOU Ming. Quality insurance based electric energy pricing with multi-quality grades[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(9): 113-119.
- [4] ZHOU B, GONG R X. Study on pricing method of power quality differentiated market service in distribution grid[J]. IEEE Access, 2019, 7: 147021-147028.
- [5] 翁国庆,王强,戚军,等. 电能质量可用户定制微网的按质定价方法[J]. 电工技术学报,2014,29(增刊1):384-392.
WENG Guoqing, WANG Qiang, QI Jun, et al. A novel microgrid electricity pricing method with featured customizable power quality control[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(Supplement 1): 384-392.
- [6] 向悦萍,杨健维,臧天磊,等. 计及电能质量的电力市场多主体博弈模型[J]. 电网技术,2020,44(9):3383-3394.
XIANG Yueping, YANG Jianwei, ZANG Tianlei, et al. Multi-agent game model in electricity market considering power quality[J]. Power System Technology, 2020, 44(9): 3383-3394.
- [7] 董立志,刘皓明,周辉,等. 基于Stackelberg博弈的售电侧放开环境下电能质量定价方法[J]. 电力需求侧管理,2020,22(2):28-33.
DONG Lizhi, LIU Haoming, ZHOU Hui, et al. A power quality pricing method based on Stackelberg game in deregulated electricity retail market[J]. Power Demand Side Management, 2020, 22(2): 28-33.
- [8] 刘阳,肖先勇,刘旭娜,等. 考虑用户定量需求的优质电力园区DVR优化配置[J]. 电网技术,2015,39(3):823-828.
LIU Yang, XIAO Xianyong, LIU Xuna, et al. Optimal configuration of DVR in premium power park considering customers' quantitative demand[J]. Power System Technology, 2015, 39(3): 823-828.
- [9] ZANG T L, XIANG Y P, YANG J W. The tripartite game model for electricity pricing in consideration of the power quality[J]. Energies, 2017, 10(12): 1-27.
- [10] 林伟伟,胡志坚,谢仕炜,等. 基于非合作博弈的独立售电公司最优规划方法[J]. 电力自动化设备,2020,40(3):154-161.
LIN Weiwei, HU Zhijian, XIE Shiwei, et al. Optimal planning method of independent electricity retail company based on non-cooperative game[J]. Electric Power Automation Equipment, 2020, 40(3): 154-161.
- [11] 刘连光,潘明明,田世明,等. 考虑源网荷多元主体的售电竞争非合作博弈方法[J]. 中国电机工程学报,2017,37(6):1618-1626.
- [12] WEI W, LIU F, MEI S W. Energy pricing and dispatch for smart grid retailers under demand response and market price uncertainty[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2015, 6(3): 1364-1374.
- [13] 赵琛,张少华. 考虑用户切换行为的电力零售市场博弈模型[J]. 电力自动化设备,2020,40(2):162-170.
ZHAO Chen, ZHANG Shaohua. Game model of electricity retail market considering consumers' switching behaviors[J]. Electric Power Automation Equipment, 2020, 40(2): 162-170.
- [14] 程杉,陈梓铭,王瑞,等. 基于混合博弈的多微电网双层协调优化调度[J]. 电力自动化设备,2021,41(8):41-46.
CHENG Shan, CHEN Ziming, WANG Rui, et al. Double-layer coordinated optimal dispatching of multi-microgrid based on mixed game[J]. Electric Power Automation Equipment, 2021, 41(8): 41-46.
- [15] 周开乐,杨善林,丁帅,等. 聚类有效性研究综述[J]. 系统工程理论与实践,2014,34(9):2417-2431.
ZHOU Kaile, YANG Shanlin, DING Shuai, et al. On cluster validation[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2014, 34(9): 2417-2431.
- [16] LI K P, MU Q T, WANG F, et al. A business model incorporating harmonic control as a value-added service for utility-owned electricity retailers[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2019, 55(5): 4441-4450.
- [17] 王建勋,张逸,张嫣,等. 面向现代工业园区的电压暂降综合治理方案[J]. 电力系统自动化,2020,44(14):156-163.
WANG Jianxun, ZHANG Yi, ZHANG Yan, et al. Comprehensive prevention and control scheme for voltage sag in modern industrial park[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(14): 156-163.
- [18] TANG W Y, JAIN R. Market mechanisms for buying random wind[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2015, 6(4): 1615-1623.
- [19] 吴诚,高丙团,汤奕,等. 基于主从博弈的发电商与大用户双边合同交易模型[J]. 电力系统自动化,2016,40(22):56-62.
WU Cheng, GAO Bingtuan, TANG Yi, et al. Master-slave game based bilateral contract transaction model for generation companies and large consumers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(22): 56-62.
- [20] LI Y G, LI T, MA G H, et al. Discussion on the system of electricity price charge system based on power quality[C]// 2018 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration(EI²). Beijing, China: IEEE, 2018: 1-6.

作者简介:



董海艳

董海艳(1978—),女,河北秦皇岛人,讲师,博士,主要研究方向为电能质量分析(E-mail: dyldhy@163.com);

陈杰(1995—),男,甘肃天水人,硕士研究生,主要研究方向为电能质量分析(E-mail: 1370248392@qq.com);

贾清泉(1970—),男,河北秦皇岛人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向为电能质量分析与控制、分布式电源与微电网(E-mail: jiaqingquan@sina.com)。

(编辑 王锦秀)

Power quality gradation and power purchase and sale strategy considering sensitive users' demand

DONG Haiyan, CHEN Jie, JIA Qingquan, ZHAO Bingwen, WANG Yuntao, TIAN Yu

(Key Lab of Power Electronics for Energy Conservation and Motor Drive of Hebei Province,
Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: Under the environment of deregulated power retail market, in order to meet the differentiated high-quality power demand of highly permeable and decentralized sensitive users of distribution network, a power quality gradation and power purchase and sale decision making method for differentiated power quality is proposed. A load clustering and power quality gradation method considering sensitive users' demand is given. A master-slave game framework for power purchase and sale decision making between power selling enterprise and cluster users is established, a game model of cluster users is established considering power quality sensitivity, and a revenue model of power selling enterprise is established considering management cost and recovery rate. Simulative results show that the proposed method is beneficial to improve the pertinence and applicability of power quality management and improve the economic benefit of market entities, and provides solution for sensitive users' differentiated power demand.

Key words: differentiated power quality; power purchase and sale strategy; gradation; master-slave game; sensitive device

(上接第186页 continued from page 186)

Review and prospect of resilient distribution network under typhoon disaster

DU Shijia¹, GUO Chuangxin¹, YU Xiaoling², ZHAO Fulin¹, XING Haiqing², FANG Yunpeng²

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. State Grid Hangzhou Power Supply Company, Hangzhou 310009, China)

Abstract: In recent years, due to the impact of global warming and ecosystem destruction, extreme meteorological disasters occur frequently all over the world, and the impact and losses on distribution networks cannot be ignored. In this context, the concept of resilient distribution network is proposed to prevent and withstand extreme disasters and recover critical loads quickly. Firstly, the definition and characteristics of resilient distribution network are introduced. Then, focusing on typhoon, an extreme weather disaster, the existing research achievements of resilient distribution network are summarized in five key contents, which are distribution network planning, pre-disaster warning, post-disaster recovery, resilience assessment and resilience enhancement. On this basis, the future development directions of resilient distribution network is prospected at last.

Key words: resilient distribution network; typhoon disaster; distribution network planning; pre-disaster warning; post-disaster recovery; resilience assessment

附录 A:

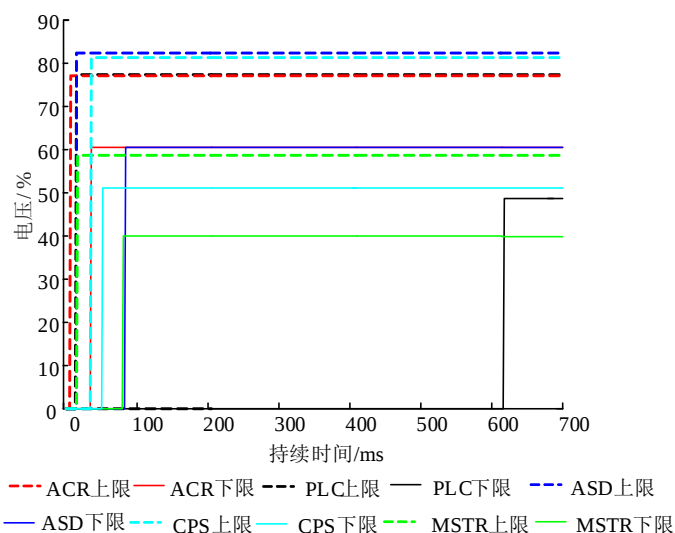


图 A1 典型设备的电压暂降敏感曲线

Fig.A1 Voltage sag sensitivity curves of typical equipments

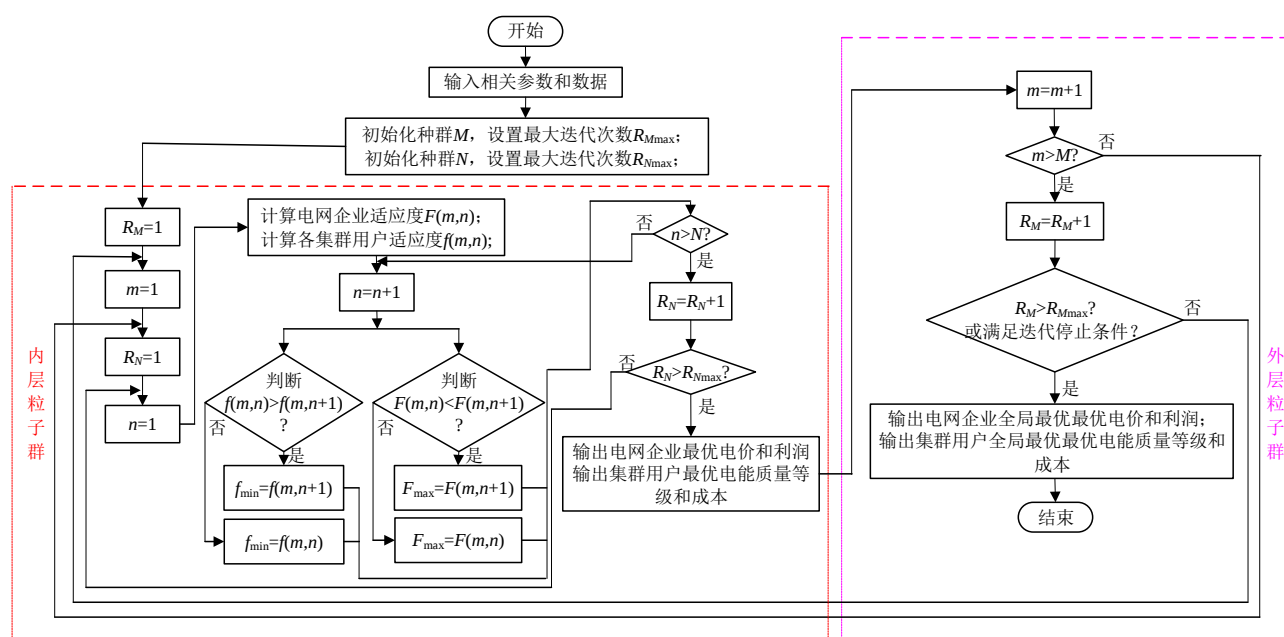


图 A2 博弈模型求解步骤

Fig.A2 Solving steps of game model

表 A1 治理设备容量

Table A1 Capacity of treatment equipment

集群用户	敏感度	治理设备容量/(kV•A)			集群用户	敏感度	治理设备容量/(kV•A)		
		q ₁	q ₂	q ₃			q ₁	q ₂	q ₃
1	ω_1	15	25	45	6	ω_1	55	90	155
	ω_2	35	55	95		ω_2	110	180	305
	ω_3	10	20	30		ω_3	215	360	610
2	ω_1	110	180	305	7	ω_1	35	55	95
	ω_2	35	55	95		ω_2	130	215	365
	ω_3	25	35	60		ω_3	145	240	400
3	ω_1	15	20	30	8	ω_1	40	65	110
	ω_2	20	30	45		ω_2	50	90	150
	ω_3	65	110	185		ω_3	250	415	700
4	ω_1	65	105	180	9	ω_1	35	50	90
	ω_2	50	80	140		ω_2	150	250	430
	ω_3	45	75	125		ω_3	25	35	60
5	ω_1	50	80	140	10	ω_1	50	90	150
	ω_2	175	290	490		ω_2	20	30	50
	ω_3	45	70	120		ω_3	10	10	20

表 A2 分级供电模式决策结果
Table A2 Decision results of hierarchical power supply mode

集群用户	敏感度	等级	电价/[元 (kW h) ⁻¹]			集群用户	敏感度	等级	电价/[元 (kW h) ⁻¹]		
			模式 1	模式 2	模式 3				模式 1	模式 2	模式 3
1	ω_1	q_1	0.605 0		0.574 8	6	ω_1	q_1	0.604 9		0.574 7
	ω_2	q_2	0.758 5	0.713 9	0.704 2		ω_2	q_2	0.758 2		0.703 8
	ω_3	q_3	0.914 6		0.802 3		ω_3	q_3	0.913 6	0.843 4	0.801 4
2	ω_1	q_1	0.604 6	0.580 2	0.574 4	7	ω_1	q_1	0.604 9		0.574 8
	ω_2	q_2	0.758 5		0.704 2		ω_2	q_2	0.758 1		0.703 7
	ω_3	q_3	0.914 5		0.802 3		ω_3	q_3	0.914 0	0.843 8	0.801 7
3	ω_1	q_1	0.605 0		0.574 9	8	ω_1	q_1	0.604 9		0.574 7
	ω_2	q_2	0.758 6		0.704 2		ω_2	q_2	0.758 4		0.704 1
	ω_3	q_3	0.914 3	0.844 7	0.802 1		ω_3	q_3	0.913 5	0.843 6	0.801 2
4	ω_1	q_1	0.604 9		0.574 7	9	ω_1	q_1	0.604 9		0.574 8
	ω_2	q_2	0.758 5	0.713 4	0.704 1		ω_2	q_2	0.758 0	0.713 3	0.703 6
	ω_3	q_3	0.914 2		0.801 9		ω_3	q_3	0.914 5		0.802 3
5	ω_1	q_1	0.604 9		0.574 7	10	ω_1	q_1	0.604 8	0.580 6	0.5747
	ω_2	q_2	0.757 9	0.713 0	0.703 5		ω_2	q_2	0.758 6		0.7042
	ω_3	q_3	0.914 4		0.802 2		ω_3	q_3	0.914 6		0.8023

表 A3 模式 4 分级供电决策结果

Table A3 Decision results of hierarchical power supply in Mode 4

集群用户	等级	用电量/ (MW h a ⁻¹)	治理容量/ (kV A)	电价/ [元 (kW h) ⁻¹]	集群用户	等级	用电量/ (MW h a ⁻¹)	治理容量/ (kV A)	电价/ [元 (kW h) ⁻¹]
1	AA	500	150	0.802 5	6	AA	3 200	1000	0.801 1
	AAA	50	15	0.914 2		AAA	300	100	0.914 0
2	AA	1 400	420	0.802 0	7	AA	2 600	800	0.801 4
	AAA	100	35	0.914 1		AAA	200	70	0.914 1
3	AA	780	230	0.802 3	8	AA	2 900	900	0.801 3
	AAA	70	25	0.914 1		AAA	250	90	0.914 1
4	AA	1 520	450	0.801 9	9	AA	1 750	530	0.801 8
	AAA	130	45	0.914 1		AAA	150	50	0.914 1
5	AA	2 300	700	0.801 5	10	AA	650	200	0.802 4
	AAA	150	50	0.914 1		AAA	50	25	0.914 1