[虚拟电厂]

基于HSS算法的含电动汽车虚拟电厂智能调度

文/刘祥　黄斌　闫宏莉　娄馨文
哈尔滨普华电力设计有限公司

提出基于HSS算法的含电动汽车虚拟电厂智能调度方法。构建虚拟电厂控制模型，根据能源分配的限制，对目标函数进行计算，实现了虚拟发电厂的最低运营成本。同时基于HSS算法设计虚拟电厂智能调度流程，实现了虚拟电厂智能调度。并设计对比实验，结果表明，该研究方法具有更低的调度运营成本。

近几年，中国的汽车保存量快速增长，巨大的市场需求与严格的能源和环境限制之间存在着非常尖锐的矛盾。有必要发展电动汽车，实现能源变革和产业振兴。

电动汽车能源供应设备是电动汽车产业链的重要组成部分。集收集、换电和能源供应于一体的发电厂是一种将电动汽车的充电和储能性能相结合的发电厂。还应管理电动汽车的能源供应电池，按电价及时收集并提供充电服务。这种方法易于维护处理专业的充电需求，以确保电池的高效使用。此外，集成储能设备也可用于储电，在最大负荷的收集、最大负荷的排放和筛选过程中发挥作用。

目前大多数现有研究仅从充电或储能的角度考虑，并比较与充电和储能中心相关的微型网络对可再生能源的接受、能源供应的可靠性和经济性。然而，对于将收集和交互功能与存储功能相结合的虚拟发电厂的运行，研究相对较少。同时，增加大量的分布式能源使电网的运行更加困难。虚拟发电厂为解决分布式能源网络问题提供了新的思路。通过高级软件架构实现协调行动，促进资源的合理配置。充电发电中的集成储能设备的协调运行可以在最长小时内显著减少能源短缺。引入虚拟发电不仅有助于减少负荷、降低最大负荷，而且还可以通过补偿用户，为电力公司和用户创造有利的局面。本文讨论规划现有虚拟发电厂的问题，同时考虑电动车辆充电和存储集成发电厂与中断货物的组合。通过对虚拟发电厂的精确控制，实现了不同方面的合理时间规划，以降低运营成本，实现最大限度的筛选。在上述工作的基础上，本文提出了一种基于HSS算法的含电动汽车虚拟电厂智能调度，建立了发电厂的采集、交互和存储以及具有暂停充电的虚拟发电厂的控制模型。规划的目的是降低运营成本，并采用HSS算法优化两个离散粒子的相互作用。通过对比实验，验证了虚拟电厂的调度，最后验证了所提出实验方案的可行性。

基于HSS算法的含电动汽车虚拟电厂智能调度方法设计

1. 构建虚拟电厂控制模型

含电动汽车的虚拟电厂是一种多功能发电厂，集充电、电动汽车换电和储能功能于一体。发电厂分为三个部分：储能区、集放电区和电力换电区。含电动汽车虚拟电厂运营模式如图1所示。

在低电价和低负荷时段期间，应使用充电和放电设备在发电站收集蓄电池和集中存储设备。剩余

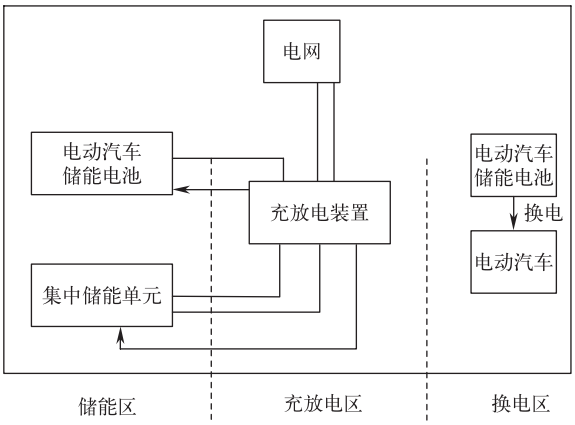

图1　含电动汽车虚拟电厂运营模式

电力应通过从电网发电中去除负荷消耗来供应。如果剩余电量与两者所需的总充电容量相对应，则可以同时对其进行充电。如果剩余电量不满足两者所需的总充电容量，将优先在发电站供给电动汽车。电动汽车储能后，再给集中储能装置进行储能。电动汽车储能电池可用于取代电动电站车辆；在高电价和高网络负荷时期，集中储能单元应验证电动汽车的储能单元是否足够。如果不足，应优先收集电动汽车储能电池。根据更换电动汽车的要求，必须由网络使用充电和放电装置对其进行放电。总体而言，虚拟发电厂的概念可以概括为“交流”和“集约化”。特定的发电厂可以服务于电力市场和网络运营的协调和管理系统。本文研究的虚拟电站主要由中断负载和虚拟发电厂组成，包括电动汽车，以及控制终端和必要的通信设备。虚拟电厂采用集中控制机构，控制模型如图2所示。

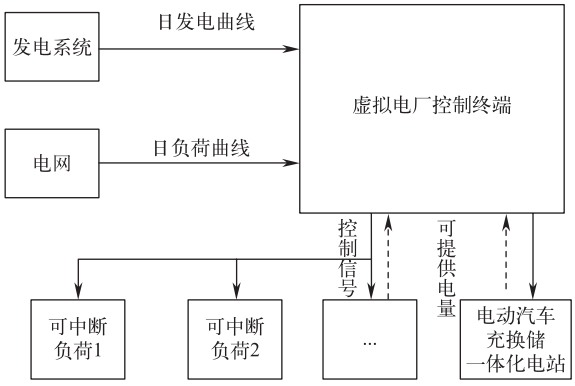

图2　虚拟电厂控制模型

虚拟发电厂控制终端接收发电系统和电网发送的发电和负荷数据，并将中断负荷提交的中断和中断时间的能量数据与虚拟发电厂提供的能量数据相结合。此外，为了分析和计算规划策略，应将信号传输至处理可中断负载的综合发电厂，该综合发电厂可根据虚拟发电站终端传输的信号进行中断和充放电。

2. 目标函数计算

在上述构建虚拟电厂控制模型的基础上，本文重点研究了该模型以充电、换电和储能为资源管理的虚拟发电厂的集中储能单元和负荷中断分配。根据能源分配的限制，实现了虚拟发电厂的最低运营成本。因此，降低虚拟电厂的运营成本是规划的目标，即

$$F_{\min} = f_{EV} + f_{IL} \tag{1}$$

式中，$F_{\min}$表示虚拟发电厂的最小运营成本；f_{EV}算法是集成发电厂的成本；f_{IL}是可中断负荷的成本。

虚拟电站由两部分组成：一个综合存储单元和一个蓄电池。如果集成存储单元被排放到发电站，则应将其计算为悬浮电荷并一起发送。因此，本文将综合储能装置的收集状态计算为f_{EV}算法，将其放电状态计算为f_{IL}。

$$f_{EV} = f_{charge} = \sum Q_{charge(t)l_t} \tag{2}$$

式中，$Q_{charge}(t)l_t$为t时间内的收费金额，包含t时间内收费单位成本，等于每单位电力的电价加上维护成本。

就默认收集电池的效率而言，在充满前，在一个方向上完全充放电之前，不得使用该电池。对于中断的负荷

$$f_{IL} = \sum\sum \mathrm{sch}(n,t)\sum b_t(1+d)P_{IL} \tag{3}$$

式中，$\mathrm{sch}(n,t)$表示包括第n个周期t内的中断，其值为1表示中断，中断值为0表示不中断；b_t是时段t的主要电价；d是用户的成本补偿系数；P_{IL}是中断容量。

负荷的中断应考虑负荷中断本身的局限性，如最长负荷时间、较长负荷时间和最短负荷时间的影响，以降低负荷成本。中止负荷的补偿费用、中止费用、违反限制处罚和中止处罚的金额等于4。从定义中可以看出，在已知$Q_{charge}(t)$单元的成本和费用之后，可以在收集时直接计算fHSS算法，$F_{\min}$由P_{IL}确定，P_{IL}由下式确定。

$$V_{IL} = \sum\sum \mathrm{sch}(n,t)\sum b_t(1+d)P_{IL}\lambda + (2^0 N_{F12} + N_{FIB})\xi + P_{ev}V + P_{euc}t_{UC} \tag{4}$$

式中，λ为中断补偿成本的权重；N_{FIB}为大于i的中断次数；β为中断补偿权重中的最大中断次数；ξ为再次中断补偿的权重；P_{ev}算法为违反负荷限制的机组数量；V为负荷限制的数量；P_{euc}为一个机组内中断能力不足的惩罚权重的权重，并且t_{UC}在中断时间上是不足的。

1）在确定四个权重值时，最重要的条件是没有中断赤字，因此P_{euc}远高于其他三个权重值。

2）由于中断次数乘以指数容量，中断成本随着中断次数从相同权重增加而迅速增加，ξ对中断的补偿不是很必要。

3）λ由于中断补偿的成本是满足其他条件后的控制权重，因此与PHSS算法ξ不同。

4） 4个值的顺序是$P_{euc}>P_{ev}>\lambda>\xi$。

式（4）对应于每小时容量和负载特性的相关限制，所讨论的限制大于最短持续供电时间。

$$\begin{cases} P_L + P_{charge} \leqslant P_c V_{IL} \\ \sum \mathrm{sch}(n,t) P_{IL} \geqslant R_{ed}(t) \\ N_{off}(i) \leqslant \max(N_{off}(i)) \\ N_{on}(i) \geqslant \min(N_{on}(i)) \end{cases} \tag{5}$$

式中，P_L为负载容量；P_c电荷是电动汽车电池，将总储能容量集成到电动汽车综合发电厂中；P_{IL}为网络产生的总功率；$R_{ed}(t)$为当时必要的中断容量，$N_{off}(i)$为中断的实际时间；$N_{on}(i)$为i在线加载的时间。

在实际处理过程中，为了考虑将存储厂的输出集中到一个综合电站，计算其可中断负载，集中存储厂的默认输出容量是固定P值。其中，当在电站放电时，sch(n,t)为1，如果未耗尽，则为0。

3. 基于HSS算法实现虚拟电厂智能调度

HSS算法具有参数较低、编码简单和易于实现的优点。这并不能解释其基本原理和具体过程。将HSS算法作为负担进行负载增加，会导致诸如网络节点中的电压降低之类的问题。本文以最低负载节点电压限制为例，设计基于HSS算法的含电动汽车虚拟电厂智能调度方法。虚拟电厂智能调度流程如图3所示。

配电网控制中心在收到来自不同运营商的负荷数据后，应进行正常的电力流量计算，以计算每个负荷单元的电压。在给定时间段内出现电压振幅的情况下，配电网控制中心将提高收费价格以提供租购电量，并要求新连接的电动汽车代理商更新费用计划，但之前的电动汽车费用和计划没有改变。这种层次结构旨在最大限度地提高其利益，并与用户行为相对应。当地运营商正在努力减少最大负荷和街道负荷之间的差异，以提高管理和控制区电网的运行效率。配电网控制中心应管理和监控每个区域的本地运营商的负担，确保配电网的安全和稳定。虽然各层次目标不同，但层次结构考虑了每个级别的利益。同时，通过双向采集流程，输出各层之间的负荷数据和控制指令，实现虚拟电厂的协调控制。

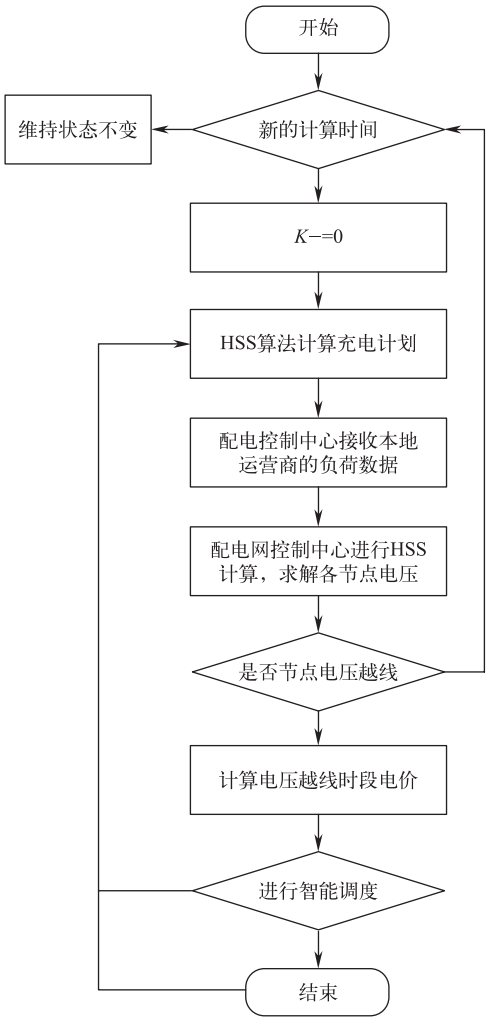

图3　虚拟电厂智能调度流程

实验论证

为了验证本文设计的基于HSS算法的含电动汽车虚拟电厂智能调度方法是否具有可行性，分别使

用三种智能调度的方法，对上述方法进行了对比实验。

1. 实验准备

本文以IEEE33节点作为配电网的分布，该配电网是管理结构有效性的一个例子。该配电具体电价参数设置见表1。

表1　具体电价参数设置

时段属性	时段划分	充点电价元/(kW·h)	放电电价元/(kW·h)
峰时段	10:00-15:00 18:00-21:00	1.99	2.5
平时段	7:00-10:00 15:00-18:00 21:00-23:00	1.65	-
谷时段	23:00-7:00	1.36	-

配电网的拓扑结构选用100 MV·A参考容量和12.66 kV参考电压。所有其他单位均为PQ单位。货物节点的最低电压要求为0.95（标准值）。配电网分为三个区域，由三个本地运营商控制，每个区域有一个电动汽车收集站和120个电动汽车。支付站分别连接到节点3、13和30。在本地运营商层面，本文主要模拟本地运营商和电动汽车代理商之间的互动。除了这方面的负荷外，还有一个正常负荷，可以基于历史数据来预测当前负载曲线。本文为对比实验提供了以下假设。

所有电动汽车智能体的功率为S_B=32 kW·h，缓慢累积，负载能力P_c=3.3 kW，输出能力P_d=3.3 kW。根据计算方法，参与本文V2G的电动汽车电池的损失应为1.2元/次，即C_B=1.2。电池功率下限S_{min}=0.1，功率上限S_{max}=0.9。通常，用户的预期S_L为0.9。HSS算法返回时间、移动时间和日管理数据是根据式（1）～式（3），使用蒙特卡罗采样方法获得的，为达到电动汽车智能调配的目标，在使用电价机制时，比较该地区与智能网络相关的不同PHSS算法类型和不同PHSS算法电力版本的运营成本，分析了以下三种方法，见表2。

2. 对比实验

表2　三种方法对比结果

运行成本	传统方法1	传统方法2	本文方法
燃料成本/元	490 750	632 740	20 540
启停成本/元	5 200	8 400	4 025
总成本/元	945 950	641 140	24 565

传统方法1总成本为945 950元，与本文24 565元相差较多，调度运行成本较高。传统方法2总成本为641 140元，与本文相差694 355元，同样调度运行成本较低。而使用本文设计的基于HSS算法的含电动汽车虚拟电厂智能调度方法之后，运行成本最低，为最优方法。实验结果证明，本文研究方法的具有更低的调度运营成本。

结束语

所提出的虚拟发电厂（包括电动汽车）和虚拟发电厂的规划策略是可能的，在虚拟发电厂控制下，将充电、换电和储能发电相整合，可以显著降低最大电力压力，并降低高峰用电负荷。EA

（收稿日期：2023-09-12）

参考文献

[1] 林泽宏，陈威洪，李敬光，等．基于人工智能的调度操作票命令术语自学习研究[J]．自动化技术与应用，2023，42(7)：179-182．

[2] 李远征，郝国凯，杨东升，等．基于深度强化学习与演化计算的风-水-火混合增强智能调度[J]．中国科学：技术科学，2023，53(7)：1097-1113．

[3] 徐一旻，张浩霖，王秀，等．基于智慧消防新形势下的智能指挥调度系统设计[J]．武汉理工大学学报(信息与管理工程版)，2023，45(3)：371-376．

[4] 刘墨林，周雨露，王思阳，等．考虑夹具-托盘组合优化的多资源约束柔性作业车间智能调度[J]．中国科学：技术科学，2023，53(7)：1114-1126．

[5] 郑海宝，陈磊，李大维，等．以降低人力资源配置为目标的原油拉运组织模式创新[J]．中国石油和化工标准与质量，2023，43(9)：61-63．

[6] 张锐，赵俊炜．基于人工智能模块和自适应广域阻尼控制器的电力调度稳定控制方法[J]．自动化应用，2023，64(8)：70-73．

[7] 龙真真，王锐东．基于多智能体技术的CTC调度集中系统仿真自律设计研究[J]．长江信息通信，2023，36(6)：191-194．

[8] 任炎芳，刘志培，靳晓洋．智能移动终端柔性制造工艺及技术应用研究[J]．机电工程技术，2023，52(6)：118-121+206．