



ScienceDirect上提供的目录列表

活力

期刊主页: www.elsevier.com/locate/energy



一种考虑不同充电需求的电动汽车协同充电调度方法



周凯乐^{a, b, c, d, *}, 程乐新

^{a, b}, 露露文^{a, b}, 新会路^{a, b, c, d}, 丁涛

^{a, b, c, d}

^a 合肥工业大学管理学院, 合肥, 230009
^b 合肥工业大学工艺优化与智能决策教育部重点实验室, 合肥, 230009
^c 安徽省智能互联系统实验室 (合肥工业大学), 合肥, 230009
^d 教育部智能决策与信息系统技术工程研究中心, 合肥, 230009

文章信息

文章历史:

2020 年 5 月 13 日收到
收到修改后的表格
2020 年 8 月 20 日
2020 年 9 月 16 日接受
2020 年 9 月 22 日在线提供

关键词:
电动汽车
协同充电
最优负载调度
充电需求

摘要

大量电动汽车 (EV) 的不协调充电会导致峰值负荷的大幅激增, 这将进一步影响电力系统的运行。因此, 本研究提出了一种微电网中电动汽车的协调充电调度方法, 以将负荷需求从高峰期转移到低谷期。在所提出的方法中, 基于充电紧迫性指标选择电动汽车的充电模式, 该指标可以反映不同的充电需求。然后, 建立协调充电调度优化模型, 以最小化整体峰谷负荷差异。对慢速充电电动汽车、快速充电电动汽车和微电网运行考虑了各种限制。此外, 蒙特卡罗模拟 (MCS) 被用来模拟电动汽车的随机性。结果揭示了电动汽车车主的充电模式选择以及微电网运行的削峰填谷。因此, 该模型可以支持更友好的电力供需互动, 以适应电动汽车的日益普及和柔性微电网的快速发展。

© 2020 Elsevier Ltd. 保留所有权利。

一、简介

电动汽车 (EV) 是环保的, 因为它们消耗电能并产生几乎零污染物排放[1e3]。

因此, 电动汽车为开发更清洁的交通系统提供了另一种选择, 并为可持续交通发展提供了巨大的潜力[4,5]。同时, 电动汽车可以更容易地融入智能交通系统, 以增强智能交通服务[6,7]。

然而, 电动汽车的发展面临一些挑战。

电池技术的局限性和充电基础设施的短缺是一些关键问题[6,8]。此外, 电动汽车电池的退化和电动汽车电池的高成本通常被认为是电动汽车采用的主要问题[9e12]。

快速充电技术和充电站规划也需要改进[13,14]。除了技术挑战, 管理和业务相关问题也影响电动汽车与主电网或微电网之间的交互。

从而阻碍了大型电动汽车的渗透[15e18]。例如, 电动汽车的大规模不协调充电会给供电带来很大压力, 从而影响电力系统的安全性和稳定性。为了解决这个问题, 有必要优化大型电动汽车的充电[19]。

目前, 已经有一些关于电动汽车充电调度优化的研究工作[20]。然而, 现有的研究主要集中在供给侧, 以实现最低的运营成本和最小的峰谷负荷差异。电动汽车充电调度通常不会考虑电动汽车车主的具体充电需求。在实际情况, 电动车车主的充电需求通常是不同的, 尤其是在部分电动车有紧急充电需求的情况下。为了填补这一空白, 本研究提出了一种针对电动汽车的协调充电调度方法, 同时考虑了电动汽车车主的不同充电需求。

本文的主要贡献如下。首先, 所提出的方法考虑了电动汽车充电需求的紧迫性, 这是由充电紧迫性指标 (CUI) 确定的。

其次, 所有电动汽车都是根据不同的充电需求而不是整体进行调度的。第三, 为了证明所提方法在实际情况下的有效性,

* 通讯作者。合肥工业大学管理学院, 合肥 230009

邮箱: zhoukaile@hfut.edu.cn (K.周)。

通过在模拟中使用两种不同的电动汽车充电模式,考虑了电动汽车充电行为的不确定性。结果表明,该方法可以通过协调调度电动汽车充电,将负荷需求从高峰期转移到低谷期,并最大限度地减少峰谷总负荷差异,从而有助于提高微电网的安全性和可靠性。

本文的其余部分安排如下。第2节介绍了文献综述。第3节介绍了所提出的协调电动汽车充电调度方法。第4节提供了详细的模拟结果和讨论,第5节给出了结论。

2.文献综述

关于解决电动汽车充电调度问题的最佳调度方法存在大量研究[21-23]。许多研究通过使用分散计费方法或集中方法来探索此类问题。参考文献中提出了分散式填谷充电策略。[24e27]。在分散式方法中,日前定价方案通常用于改变 EV 车主的充电行为以节省成本 [28-30]。这可以在高峰时段释放电力系统的压力。然而,这种定价机制可能会导致新的充电高峰出现,因为充电选择是由司机独立做出的。此外,分散式充电方式需要两个先决条件:(a) 电动车车主对定价方案敏感,会改变电动车充电模式;(b) 必须及时向电动车司机公布价格信息。

在集中式方法中,EV聚合器可以收集EV的充电信息,然后以集中的方式直接安排EV充电时段。从长远来看,与分散式方法相比,集中式方法在电动汽车充电调度方面更为重要 [31,32]。

张等人。[27]和郑等人。[33]指出,EV聚合器以集中的方式调度 EV 充电行为可以确保在低谷时期充分利用剩余电力。此外,当电动汽车连接到微电网时,电动汽车车主会提供相关的充电信息[33e35]。然而,在之前的大多数研究中,每个 EV 的紧迫性都没有得到很好的衡量和考虑。如果在充电调度中将所有电动汽车作为一个整体考虑,则无法满足电动汽车车主的紧急充电需求。

电动汽车充电调度的集中方法采用了几种不同的目标函数,包括最小化电力损失 [28,36]、控制交易风险[37,38]、最大化运营利润[23]、最大化可再生能源的整合能量[39,40],最小化峰值负载[41]、最小化功率负载方差[35,42]。在以前的研究中,已经使用了几种算法来解决这些优化问题,例如内点法[43]、粒子群优化 (PSO) 算法[20,44-46]、

遗传算法[47]和改进的PSO算法[20,46]。然而,应该注意的是,当使用这些方法来优化大型电动汽车充电的调度时,计算复杂性将显著增加。这些优化方法也可能无法找到全局最优解。

3. 型号

3.1.一般说明

本研究旨在开发一种可实现微电网削峰填谷的协调充电调度方法。在电动汽车充电调度过程中,电动汽车聚合器收集充电信息并实施电动汽车充电调度。当 EV 接入微电网时,EV 车主设置充电信息并将其发送至 EV 聚合器。这些信息包括到达时间和离开时间、电动汽车连接到微电网时的充电状态 (SOC)、电动汽车充电需求的低 SOC 和电动汽车电池安全的高 SOC [34,35]。

基于收集到的信息,可以实现协同充电调度方法。第一步是设置时隙的长度和数量。接下来,将 EV 到达时间和离开时间归一化为时隙。然后,定义一个EV CUI来区分EV的充电需求是否紧急,为EV车主提供两种充电模式。

在所提出的电动汽车充电调度模型中,充电状态是一个状态变量,被定义为反映电动汽车是否
在特定时间段收费。所提出的协调充电调度方法的目标是最小化微电网的峰谷负荷差异。图 1展示了所提出的电动汽车充电调度模型的框架图。

3.2.充放电时间

考虑到电动汽车车主的充电习惯,电动汽车充电的常规模式可分为两种充电模式:家庭充电模式和公共充电模式[33]。

在家庭充电模式中,电动汽车车主下班回家时开始充电,准备上班时结束充电。EV 到达时间 t_{lc} 和出发时间 t_{dis} 服从正态分布,可表示为:

$$\begin{aligned} & \text{经验} \quad \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t_{lc} - \mu_{lc})^2}{2\sigma_{lc}^2}\right) \\ & \text{经验} \quad \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t_{dis} - \mu_{dis})^2}{2\sigma_{dis}^2}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{t_{lc} + 24 m_{l_{lc}}}{2s_{l_{lc}}} \quad \frac{t_{dis} + 24 m_{l_{dis}}}{2s_{l_{dis}}} \\ & \frac{t_{lc} m_{l_{lc}}}{2s_{l_{lc}}} \quad \frac{t_{dis} m_{l_{dis}}}{2s_{l_{dis}}} \end{aligned}$$

$$0 < t_{lc} m_{l_{lc}} < 12 \quad 12 < m_{l_{dis}} + 12 < t_{dis} 24$$

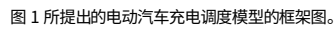
(1)

$$\begin{aligned} & \text{经验} \quad \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t_{dis} - \mu_{dis})^2}{2\sigma_{dis}^2}\right) \\ & \text{经验} \quad \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t_{lc} - \mu_{lc})^2}{2\sigma_{lc}^2}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{t_{dis} + 24 m_{l_{dis}}}{2s_{l_{dis}}} \quad \frac{t_{lc} + 24 m_{l_{lc}}}{2s_{l_{lc}}} \\ & \frac{t_{dis} m_{l_{dis}}}{2s_{l_{dis}}} \quad \frac{t_{lc} m_{l_{lc}}}{2s_{l_{lc}}} \end{aligned}$$

$$12 < m_{l_{dis}} + 12 < t_{dis} 24 \quad 0 < t_{lc} m_{l_{lc}} < 12$$

(2)



两种充电模式的人的特征。

在调度过程中,为了提高执行效率,通常会按时间段执行调度计划。调度时间分为几个时间段。在提出的电动汽车充电调度模型中,一天被离散为 96 个时段,时段长度为 15 分钟。那么,每辆 EV 的到达时间和离开时间可以表示为:

C 我

 $\frac{1}{4} \$ tdis$

其中N代表EV的数量,i是EV的索引,i = 1; 2; ...; N;j为一天的时隙索引,j = 1; 2; ...; 96。J表示第i个EV为con时的时隙序号

第i个EV的时间，DT代表一个时隙的长度，DT 是

下一个大于除法运算结果的整数，

DT % 是前一个小于除法结果的整数

5 tdis

手术。

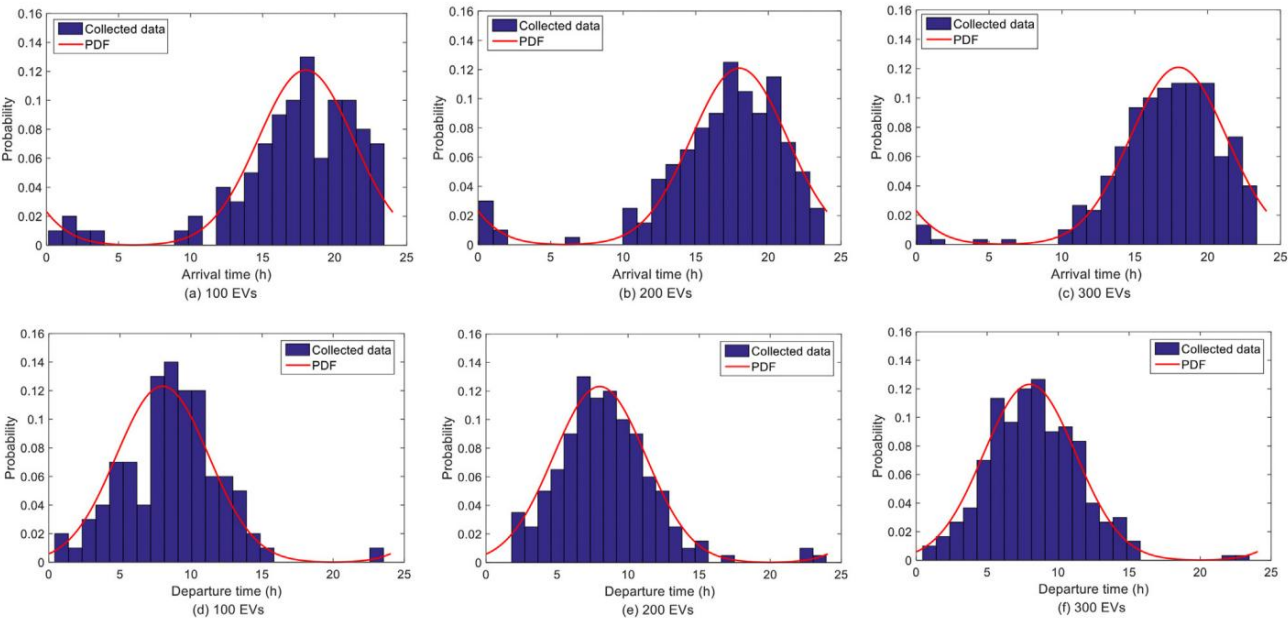


图 2 三种不同数量的电动汽车在家庭充电模式下的充电行为仿真结果。

方程。(5)表示充电行为可以安排在EV 连接到微电网时的下一个整数时隙时隙的中间时间点。同时,当 EV 在一个中间时间点从微电网断开时隙,等式。(6)保证EV只能被调度在前一个整数时隙结束之前。

基于到达时隙 J 和出发时间段 J EV连接到微电网的整个时隙可以是计算方式:

这

3.4.充电紧急指示

在所提出的电动汽车充电调度模型中,所有电动汽车都是根据他们的充电需求安排。在本节中,一个指标的定义是反映电动汽车充电需求的紧迫性。

其中TRem表示剩余时间段的数量

ith EV 可以继续保持与微电网的连接,并且充电行为和充电调度策略应该是安排在这些剩余时间段内。

在本研究中,CUI 定义为:

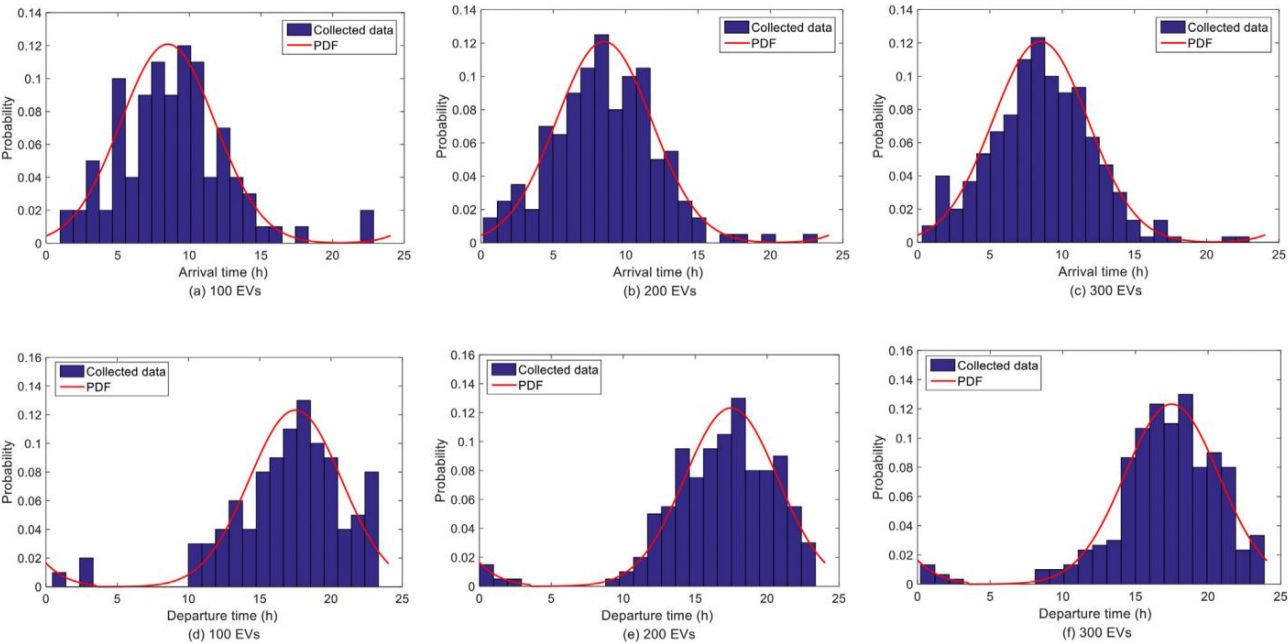
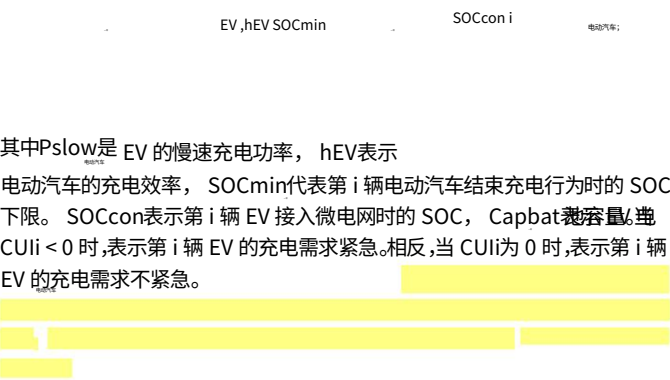


图 3 三种不同数量电动汽车在公共充电模式下的充电行为仿真结果。



3.5.充电模式选择

所提出的充电调度方法考虑了电动汽车的两种充电模式,即快速充电模式和慢速充电模式。虽然快速充电提供了较短的充电时间,但快速充电的电流和电压都比较高。

这会影响电池寿命。因此,快速充电模式通常用于一些紧急情况[48]。

此处,充电模式的选择由 CUI 确定,如式 (1)所示。 (9):



其中, Pfast表示快充功率, Pslow表示慢充功率。当 CUIi 表示 <0 时,第 i 辆 EV 采用快充模式,当 CUIi 0 时,第 i 辆 EV 采用慢速充电模式。

3.6.优化模型

经过参数准备和充电模式选择,建立了最优模型。该模型由三部分组成:快速充电电动汽车和慢充电电动汽车的模型变量、目标函数和约束。此外,模型中还加入了对微电网的约束,以保证微电网的运行。

3.6.1.充电状态变量

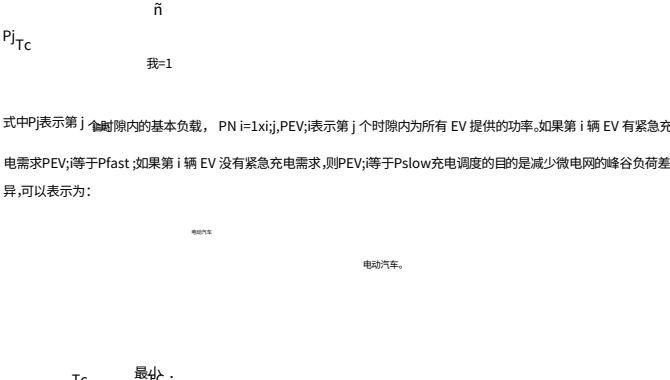
在优化模型中,状态变量xi;j是一个二元变量。如果xi;j = 0,则表示第i个EV在第j个时隙内没有充电;如果xi;j ¼ 1,则表示第 i 辆 EV 在第 j 个时隙内正在充电,如方程式所示。 (10)。

xi;j ¼

3.6.2.目标函数 本研究旨在将

部分负荷需求从高峰期转移到低谷期,从而缓解微电网的高峰负荷压力。微电网的总负荷包括基本负荷和电动汽车充电负荷,电动汽车充电负荷包括快充电动汽车和慢充电动汽车的负荷。因此,协调充电调度模型第 j 个时隙的总负荷可表示为:

总负荷 = 基本负荷 + 快充电动汽车充电负荷 + 慢充电动汽车充电负荷



其中Pmax表示最大和最小负载需求,分别。

3.6.3.快速充电 EV 的约束 当第 i 个 EV 被视为紧急充电 EV 时,我们假

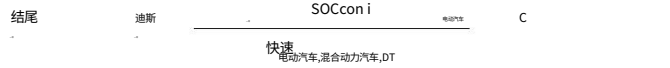
设xi;j在每个到达时隙中都等于 1。因此,EV可以从到达时间到出发时间进行充电,保证了紧急的EV在充电时间内可以充更多的电量。此外,当 EV 与微电网断开连接时, xi;j等于 0。然而,当电动汽车的充电紧迫程度很小时,连续充电可能会导致充电功率Pfast过大。

为避免快速充电电动汽车的过度充电,应设置约束以限制充电需求,该充电需求必须低于最大 SOC 需求。考虑到上面显示的两个约束条件,当 EV 连接到微电网并保持充电状态直到 EV 停止充电时, xi;j等于 1。 EV停止充电的时间段由出发时间和满足最大SOC需求的时间段决定。紧急充电电动汽车的约束条件可以表示为:



其中J 结尾 是快充EV停止的时间段

结束 J 可表示为: i 充电



其中SOCmax是最大 SOC 需求, i 表示电动汽车需要满足的充电时隙

最大 SOC 需求,\$ δSOCmax % 表示前一个整数小于除法运算的结果,这避免了下一个整数中EV的过度充电。

3.6.4.电动汽车慢充的限制由于电动汽车车主

充电需求的多样性,每辆电动汽车都有一个最小的 SOC 需求和一个最大的 SOC 需求,以避免过度充电。对于慢充型电动汽车,当电动汽车与微电网断开连接时,必须满足其最低 SOC 需求,可表示为:

最低 SOC 需求 = 最小 SOC 需求 + 快充电动汽车充电负荷 + 慢充电动汽车充电负荷

(15)

其中SOCdis为第 i 辆电动汽车与微电网断开连接时的 SOC,其计算公式为:

$$P_j = J_c$$

(16)

式中xi,j为慢充 EV 总数, SOCcon为第 i 台 EV 接入微电网时的 SOC。

慢速充电电动汽车的第二个约束与调度时间有关。充电行为只能在 EV 接入微电网期间进行调度。因此,当慢充 EV 未接入微电网时,充电状态xi,j必须等于 0。需要注意的是,当电动汽车与微电网断开连接时,调度计划将无法执行。

3.6.5.微电网的约束 目标函数是减小总负荷的

峰谷差,但不能保证峰值的协调结果低于满足最大 SOC 需求的非协调充电方式的峰值电动汽车。

为了避免协调计划中微电网的新充电高峰负荷,对微电网的约束如式 (17)所示。(17)应增加限制峰值的增加[33]。

(17)

其中 $P_{max} T_{uc} \delta_{max} SOC_p$ 是联合国总负载的最大值
协调充电方法,满足 96 个时段内 EV 的最大 SOC 需求。

3.7.微电网总负荷

通过求解所提出的优化模型可以得到充电调度结果。此外,通过对比协调充电方式和非协调充电方式,可以验证协调充电调度方法的效果。

图 4和图 5分别是不协调和协调充电方式的总负荷计算过程。在等式。(15),正常充电的电动汽车在与微电网断开连接时的 SOC 应介于协调充电方法中的最小和最大 SOC 需求之间。在不协调充电方式中,将进行两次实验,以满足电动汽车的最小和最大 SOC 需求。然后,可以得到三种充电情况下每个时隙的总负载。

4. 结果与讨论

4.1.模拟数据和设置

所提出的模型在 MATLAB/YALMIP 中建立,并由 CPLEX 求解器求解。实验中的输入数据是根据概率密度函数随机生成的,以模拟真实的电动汽车充电情况。然而,为了简单起见,必须建立一些假设。

首先,不同数量的 EV (即 100,200 和 300)用于比较实验。同时,实验假设

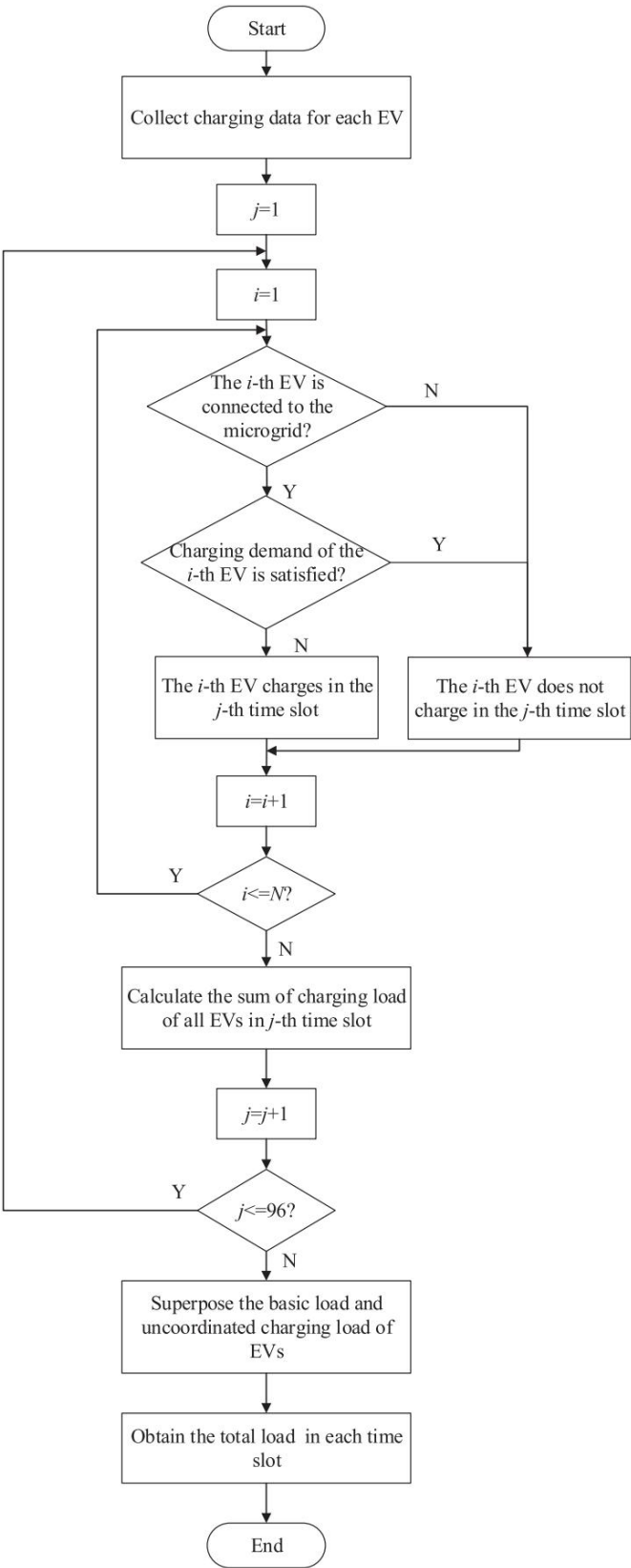


图 4 不协调充电法总负荷计算过程

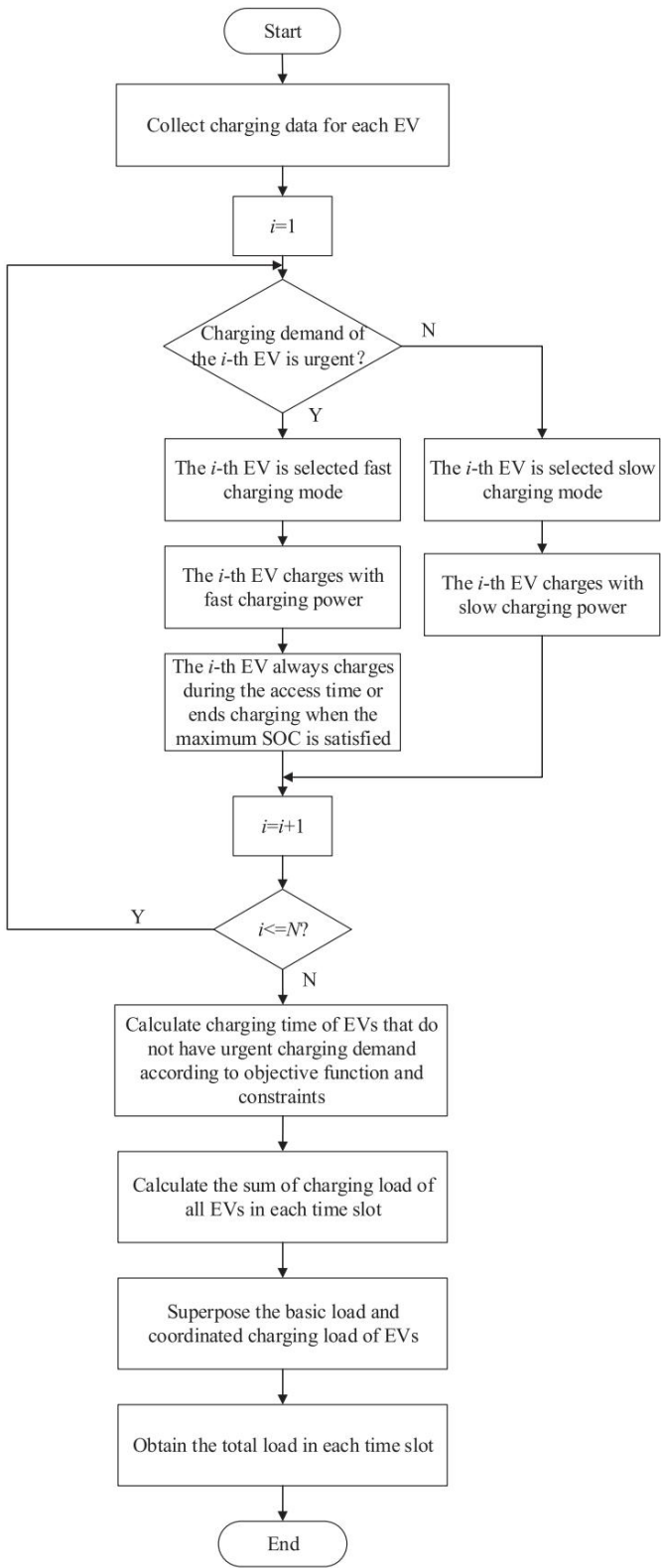


图 5 提出的协调充电方法中总负荷的计算过程。

在家庭充电和公共充电模式中,有不同数量的电动汽车充电。在仿真中,得到了两种充电模式下不同数量的电动汽车的充放电时间随机数据,如图 1 和图 2 所示。 2和3。

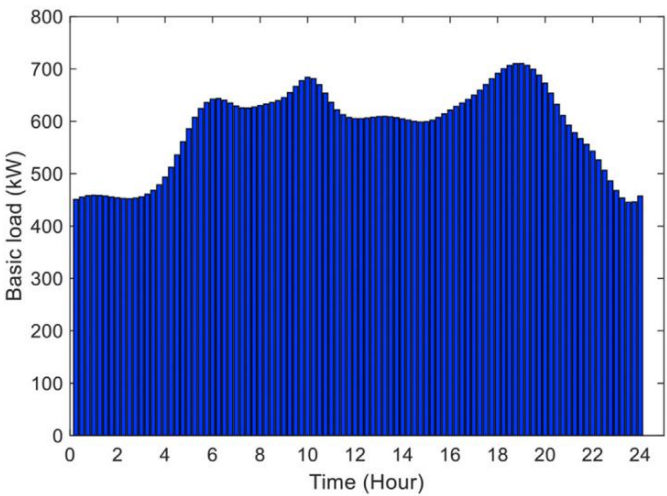


图 6. 一天周期内的典型基本负载曲线。

其次,假设SOC遵循 0.1 和 0.3 之间的连续均匀分布。SOCmin由 0.4 和 0.6 之间的均匀分布给出,而SOCmax由0.8 和 1.0之间的均匀分布给出。P设置为 3.5 kW 和 10 kW, hEV设置为 0.9。此外,所有 EV 电池Cap的容量设置为 30 kWh。

最后,根据用电模式对基本负荷数据进行了模拟[33]。仿真结果如图 6 所示,说明了区域微电网在日周期情景下的典型基本负载曲线。高峰时段出现在大约 6 小时、10 小时和 18 小时。最高负载为710.62 kW,最低负载为445.69 kW。

4.2.调度结果及对比分析

4.2.1.家庭充电模式

在家庭充电模式下,电动车车主习惯于晚上充电,第二天开车。在实验中,一天的周期包含两个半天。为呈现电动汽车充电的整个调度过程,选取一天的12小时到次日的12小时作为调度时间段,将15分钟定义为一个时间段划分一个一天的周期分成96等份。

家用充电模式下三种不同充电方式的电动汽车最优充电调度仿真结果如图 7所示。在每幅图中,采用了三种不同的充电调度策略。每幅图中直方图显示了 96 个时段。对于这些不协调的充电调度计划,电动汽车充电从到达时间段开始。

此外,EV一直处于充电状态,直到出发时间段或EV所有者的最大SOC需求得到满足的时间段。由于该模型已经考虑了最小 SOC 和最大 SOC 需求,因此在不协调充电调度方法中应考虑不协调充电调度方法中的两种充电 SOC。

对于有紧急充电需求的电动汽车,部分电动汽车的充电时间太短,不协调的充电策略无法保证在这种紧急情况下满足电动汽车的最低SOC需求。但是,采用协同计费调度方法可以处理紧急计费情况。对于慢速充电电动汽车,条件可确保

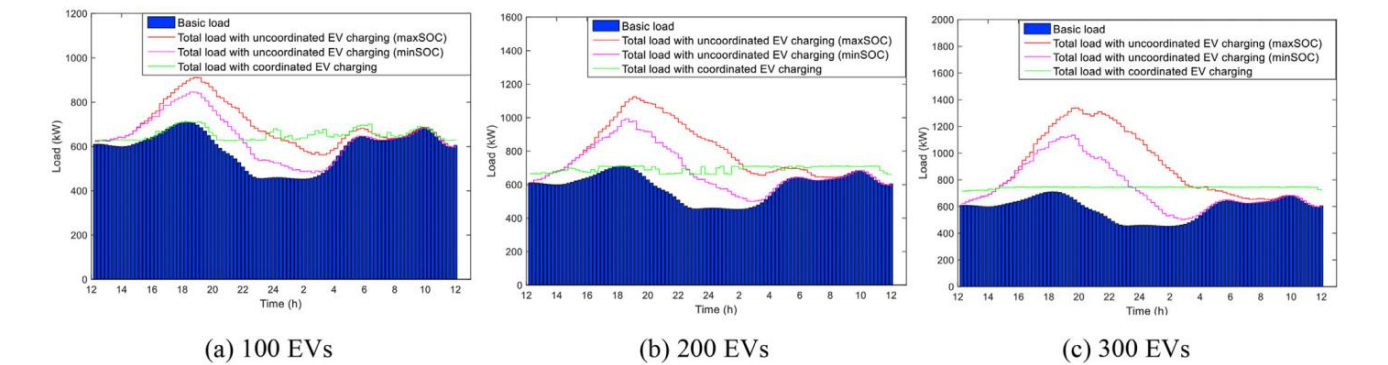


图 7 非协调充电的结果和建议的家庭充电模式中的协调充电。

表格1
家庭充电模式中三种配置文件的比较。

电动车数量		100	200	300
峰值 (千瓦)	UC (最大 SOC)	911.35	1123.40	1331.80
	UC (最小 SOC)	846.15	993.15	1107.80
	C	710.91	710.91	750.90
谷值 (kW)	UC (最大 SOC)	562.42	597.31	604.31
	UC (最小 SOC)	480.99	499.69	506.82
	C	626.93	660.31	675.02
范围 (千瓦)	UC (最大 SOC)	348.93	526.12	727.51
	UC (最小 SOC)	365.16	493.46	601.00
	C	83.98	50.60	75.88
方差	CON	6588.80	6588.80	6588.80
	UC (最大 SOC)	8967.70	25,758.00	59,316.00
	UC (最小 SOC)	9628.40	16,921.00	31,022.00
	C	690.57	346.99	270.67

表 2
协同充电方式对家庭充电模式削峰填谷的影响[J].

电动车数量		100	200	300
峰值变化	UC (最大 SOC)	21.99%	36.72%	43.62%
	UC (最小 SOC)	15.98%	28.42%	32.22%
谷值变化	UC (最大 SOC)	+11.47%	+10.55%	+11.70%
	UC (最小 SOC)	+30.34%	+32.14%	+33.19%
范围变化	UC (最大 SOC)	75.93%	90.38%	89.57%
	UC (最小 SOC)	77.00%	89.75%	87.37%
方差变化	UC (最大 SOC)	92.30%	98.65%	99.54%
	UC (最小 SOC)	92.83%	97.95%	99.13%

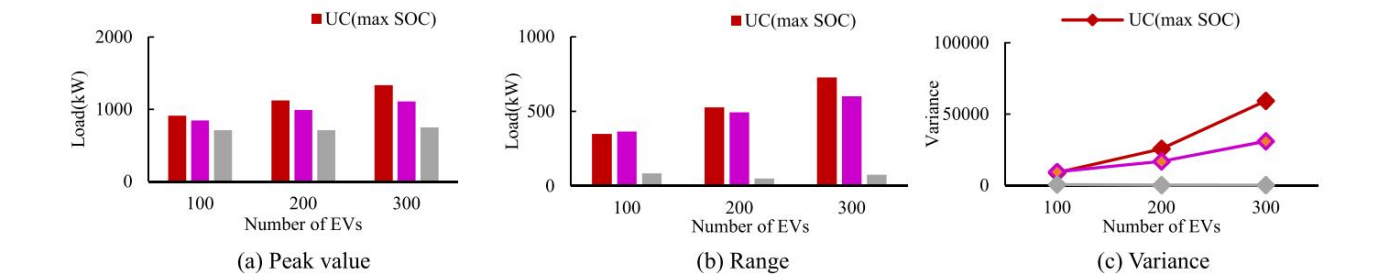


图 8 三种方式在家庭充电模式下的比较。

电动汽车与微电网断开连接时的 SOC 应为在 SOC 的上限和下限之间。因此，协调情况下微网充电的电动汽车整体功率低于不协调充电的情况

满足最大 SOC 需求但更高的调度比不协调的充电调度满足

最低 SOC 需求。如图7所示,充电曲线协调的方法比两个不协调的方法更温和充电配置文件。家庭充电模式中的三个配置文件比较见表1。

表1中,UC(max SOC) 和 UC(min SOC) 表示满足

分别为最大和最小 SOC 需求。C是协调的EV充电调度方法。如表1所示,与两种不协调的充电调度方法相比,协调的充电调度方法可以降低总负荷的峰值、幅度和方差。此外,为了比较协调充电方式在不同情况下的效果,表1中协调充电的指标应在表2中进行对比。协调充电方式和非协调充电方式根据图3中的三个方面进行比较。 .8.

在图 8 (a)中,与满足最大 SOC 需求的不协调充电相比,协调充电方法在 100 辆、200 辆和 300 辆 EV 上分别可以降低 21.99%、36.72% 和 43.62% 的峰值。此外,与满足最低SOC需求的不协调充电相比,协调充电方式可将峰值分别降低 15.98%、28.42%和32.22%。

在图 8 (b)中,通过协调充电调度方法在三个充电规模下,满足最大 SOC 需求的不协调充电的总负荷范围可以分别减少 75.93%、90.38% 和 89.57%。同样,满足最低 SOC 需求的不协调充电范围可分别减少 77%、89.75% 和 87.37%。

在图 8 (c)中,与满足最大 SOC 需求的不协调充电方法不同,采用协调充电调度方法可以在三个 EV 尺度上将总负荷的方差降低 92.30%、98.65% 和 99.54%。此外,满足最低SOC需求的不协调充电方式的方差可分别降低92.83%、97.95%和 99.13%。

4.2.2.公共充电模式

在公共充电模式中,一个周期被定义为一从 0 小时到 24 小时。仿真结果如图 9所示。对于所有涉及的电动汽车,可以看出,当采用不协调充电方法时,需求在大约 10 小时时激增。公共收费模式统计数据见表3。

如表 3所示,协调充电调度方案可以降低总负荷的峰值、幅度和方差,与两种非协调充电方式相比,使电网的总负荷曲线更加平缓。与家庭充电模式类似,表 3 中的协调充电指标可以与涉及不同数量电动汽车的三种情况下的两种不协调充电方式进行对比。比较结果见表 4和图 10。

在图 10 (a)中,与满足最大 SOC 需求的不协调充电相比,协调充电方法可以将三个 EV 尺度的峰值降低 18.95%、26.84% 和 34.93%。此外,满足最小SOC需求的非协调充电峰值负载值,随着电动汽车数量的不同,可分别降低10.90%、15.39%和20.27%。

如图10 (b)所示,满足最大SOC需求的不协调充电范围可以减少42.74%、49.27%和56.12%,满足最小SOC需求的不协调充电可以减少30.11% , 35.18% 和 39.95% 通过协调充电调度方法在三个 EV 规模。此外,当涉及更多电动汽车时,降低峰谷负荷差异的功能在公共充电模式中更为明显。

在图 10 (c)中,与满足最大 SOC 需求的不协调充电方法不同,采用协调充电调度方法可以在三个 EV 尺度上将总负荷的方差降低 52.82%、65.81% 和 73.65%。此外,满足最低SOC需求的不协调充电方式的总负荷方差可分别降低 20.35%、28.10%和38.36%。

上面讨论了微电网总负荷中协调充电和两种不协调充电方式的差别。但是,尚未分析三种充电方式对基本负荷的影响。

因此,三种计费方式对两种模式下基本负荷变化的影响如图 11 所示。

图 11 (a) 显示不协调的电动汽车充电会增加家庭充电模式中微电网运行的波动。相比之下,协同充电调度方法可以将三个电动汽车尺度下基本负荷的方差分别降低90%、95%和96%。

从图11 (b)可以看出,三种充电方式都可以增加微电网基本负荷的方差和波动性。但是,与不协调的计费方式相比,协调调度计费方式的负面影响远小于两种不协调的计费方式。

4.3.充电模式的影响

分析三种充电方式对微电网基本负荷方差的影响,两种充电方式对削峰填谷的影响不同。协调充电调度方案可以减少电动汽车在家庭充电模式下接入微电网时基本负荷的变化。但是,电动汽车充电可以

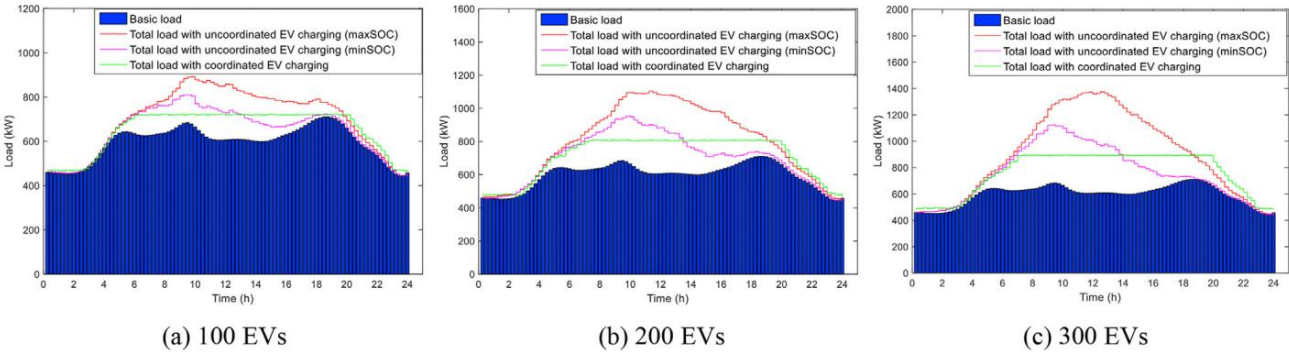


图 9 非协调充电结果和建议的公共充电模式下的协调充电结果。

表3
公共充电模式中三种配置文件的比较。

电动汽车数量		100	200	300
峰值 (千瓦)	UC (最大 SOC)	891.67	1104.10	1375.50
	UC (最小 SOC)	811.06	954.67	1122.60
	C	722.67	807.77	895.04
谷值 (kW)	UC (最大 SOC)	445.38	453.38	448.88
	UC (最小 SOC)	445.38	445.38	445.38
	C	467.11	477.67	488.38
范围 (千瓦)	UC (最大 SOC)	446.30	650.68	926.64
	UC (最小 SOC)	365.68	509.30	677.18
	C	255.56	330.10	406.66
方差	CON	6073.60	6073.60	6073.60
	UC (最大 SOC)	21,098.00	48,396.00	101,700.00
	UC (最小 SOC)	12,497.00	23,017.00	43,473.00
	C	9953.30	16,549.00	26,796.00

表 4
公共充电模式下协同充电方式对削峰填谷的影响[J].

电动汽车数量		100	200	300
峰值变化	UC (最大 SOC)	18.95%	26.84%	34.93%
	UC (最小 SOC)	10.90%	15.39%	20.27%
谷值变化	UC (最大 SOC)	+4.88%	+5.36%	+8.80%
	UC (最小 SOC)	+4.88%	+7.25%	+9.66%
范围变化	UC (最大 SOC)	42.74%	49.27%	56.12%
	UC (最小 SOC)	30.11%	35.18%	39.95%
方差变化	UC (最大 SOC)	52.82%	65.81%	73.65%
	UC (最小 SOC)	20.35%	28.10%	38.36%

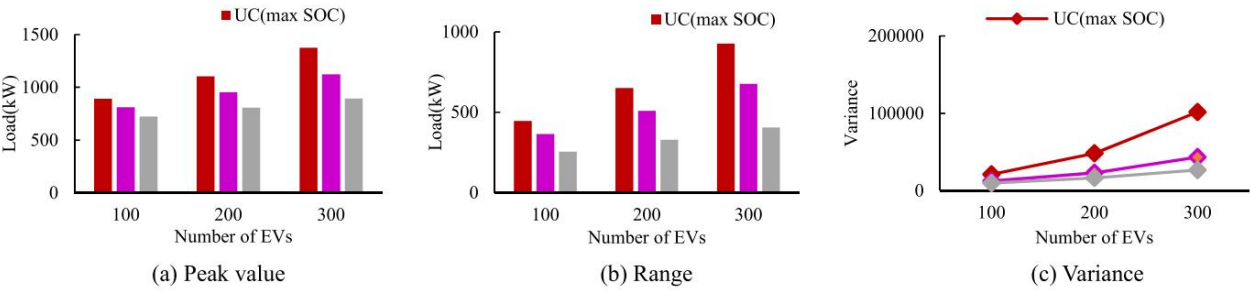


图 10. 公共收费模式中三种方法的比较。

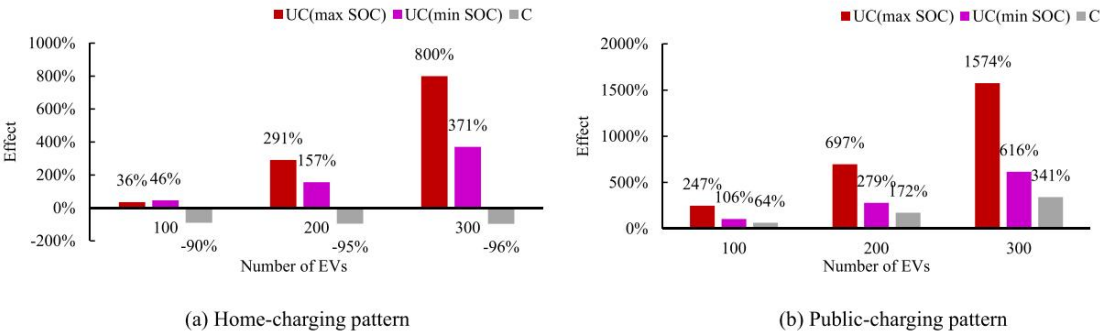


图 11 三种收费方式对两种模式下基本负荷变化的影响。

增加公共充电基本负荷的方差
图案。此外,图 7 的协调充电曲线是
三个中比图 9 的协调充电曲线更温和
充电秤。出现这种现象的原因在
下列。

首先,电动汽车在家庭充电中的平均停留时间为
比公共收费模式更长。在家里

充电模式,电动汽车连接到微电网
大约 18 小时,从微电网断开大约 8 小时。然而,在公共充电模式中,电动汽
车往往
大约在 8.5 小时连接到微电网,并在 17.5 小时断开连接。

此外,在家庭充电模式中,峰值
18h、5h、10h 发生基本负荷,谷值

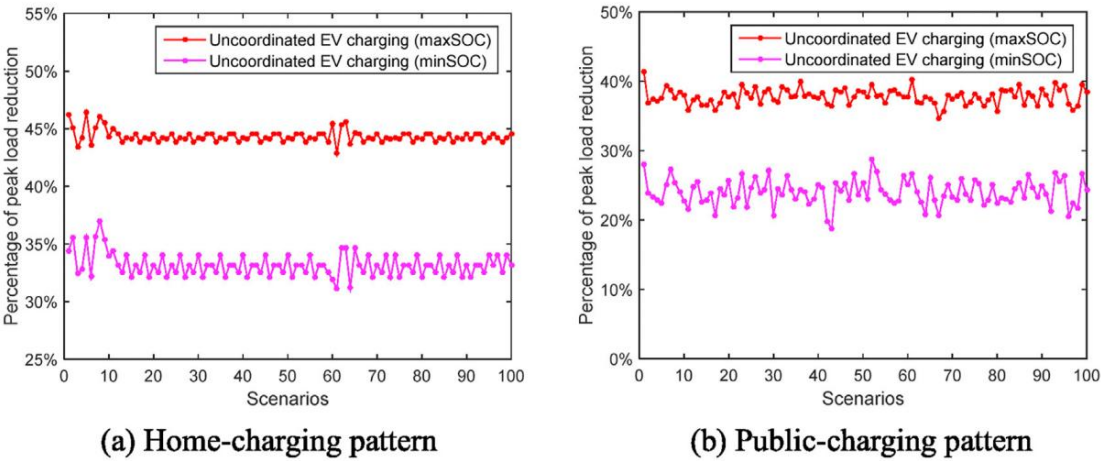


图 12 100 种情景下协同充电方式对调峰的影响。

发生在 23 he4 h。此外,该模型中的大多数电动汽车在 18 小时左右接入微电网,在 8 小时左右断开,因此基本负荷的谷值可以在大部分电动汽车充电时间内被填补。此外,还可以降低峰值负荷压力,削峰填谷效果明显。

在公共充电中,基本负荷的峰值出现在 5 h、10 h 和 18 h,谷值出现在 23 h4 h。然而,在这种模式下,大多数电动汽车在大约 8.5 小时连接到微电网,并在大约 17.5 小时断开连接。因此,基本负载的谷值只能由少数电动汽车来填补,因为大多数电动汽车的充电时间都错过了基本负载的谷值时间。对于协调充电调度,不能充分利用低谷时间,影响了协调充电调度方案对削峰填谷的效果。

所提出的协调充电方法在缓解微电网运行中的尖峰负荷压力方面优于非协调充电方法,而所提出的协调充电方法的这一优势可以满足紧迫的充电需求。

4.4. 模拟结果的验证

评估拟议协调的有效性

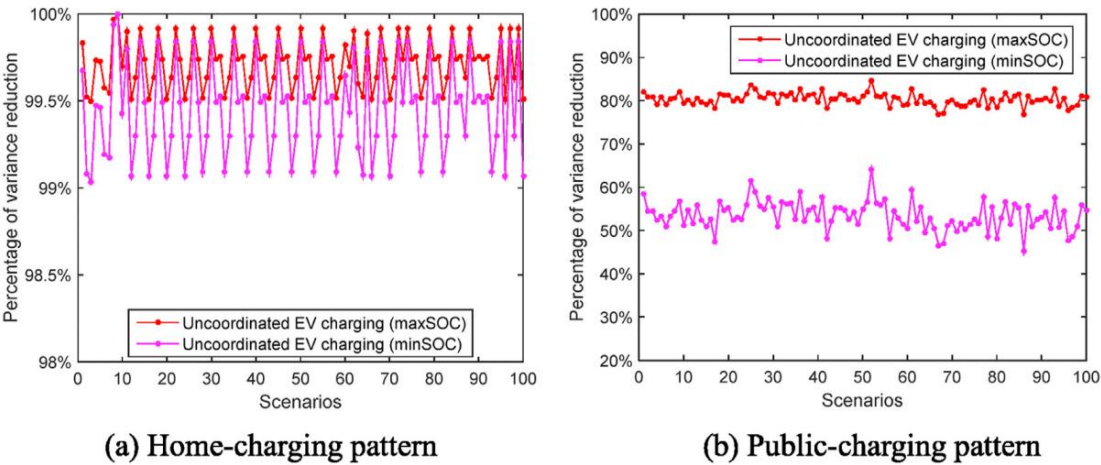


图 13 100 种情景下协同充电方式对缓解负荷波动的效果。

充电方法,使用 300 辆电动汽车在两种充电模式下模拟了 100 个场景。输入数据是根据 4.1 节中描述的方法随机生成的。在评估部分,将协调充电方式与两种不同的非协调充电方式在峰值负荷和方差方面进行了比较,结果如图 12 和图 13 所示。

在图 12 的每个图中,与满足最大和最小 SOC 需求的非协调充电方法相比,这两个曲线指的是通过协调充电方法减少的峰值负载百分比。此外,在图 13 的每个图中,两个曲线指的是通过协调充电方法与满足最大和最小 SOC 需求的非协调充电方法相比,差异减少的百分比。

在图 12 (a)中,与满足最小 SOC 和最大 SOC 需求的非协调充电方式相比,协调充电方式在不同场景下可以分别降低微电网的峰值负荷约 45% 和 32%。家庭充电模式。如图 13 (a) 所示,采用不协调充电方式的微电网的方差可以通过协调充电方式降低约 99.5%。同样,在公共充电模式中,图 12 (b) 中不协调充电方式的峰值负荷分别降低了约 37% 和 25%。此外,方差平均减少了约 80%

和图 13 (b)中的 50% 。

比较协调充电方式与非协调充电方式的调峰功能和负载波动缓解功能。此外,两种充电模式中的额外 100 个场景验证了协调充电方法的有效性和之前的仿真实验结果是可信的。

5.结论

本研究结合电动汽车车主的紧急充电需求,提出了一种电动汽车协调充电调度方法。

在充电调度过程中,所有的电动汽车都是按照不同的组来调度的,而不是作为一个整体来调度的。实验中考虑了两种充电模式,以说明该方法对移峰和填谷的影响。此外,在实验中应用了三组EV量表来测试该方法的有效性。最后,进行了 100 次仿真,并使用 300 辆电动汽车的两种充电模式来评估所提方法的有效性。

此外,该方法还考虑了微电网的移峰填谷效应。本研究的优势在于,该方法同时实现了对具有不同充电需求的电动汽车的充电模式选择和微电网运行改善。

在未来的工作中,电动汽车协调充电调度将考虑更多的影响因素。

作者声明

周凯乐:概念化、方法论、资源、可视化、写作审查和编辑、项目管理、监督。 Lexin Cheng:概念化、方法论、数据管理、软件、可视化、形式分析、写作-原始草案准备。 Lulu Wen:方法论、写作审查和编辑。路新会:可视化、写作-审查和编辑。丁涛:监督。

竞争利益声明

作者声明,他们不知道可能会影响本文报道的工作的相互竞争的经济利益或个人关系。

致谢

本工作得到国家自然科学基金 (Nos. 71822104和71521001)和中央高校基本科研业务费专项资金 (No.

JZ2018HGPA0271)。

参考

[1] Martínez-Lao J, Montoya FG, Montoya MG, Manzano-Agugliaro F. 西班牙电动汽车:充电系统概述.更新 Sustain Energy Rev 2016;77:970e83。

[2] 苗雷,黄伟,裴大,顾晓,李志,张杰,姜志.基于价值工程的电动汽车租赁与销售研究。 Int J Prod Res 2016;54 (18) : 5361e80。

[3] 努内斯 P,布里托 MC.用电动汽车取代天然气以稳定电网。能源 2018;141:87e96。 [4] de Mello Bandeira RA,Goes GV,Gonçalves DNS、 Marcio de Almeida DA,de Oliveira CM.城市货运最后一公里电动汽车:巴西里约热内卢邮政投递的可持续性评估。运输资源运输环境 2019;67:491e502 。

[5] Gopal AR,Park WY,Witt M,Phadke A. 混合动力和电池电动汽车在中国提供低成本的气候效益。运输资源运输环境

2018;62:362e71。

[6] Kumar MS,Revankar ST.电动汽车的发展方案与关键技术:概述.更新 Sustain Energy Rev 2016;70:1266e85。

[7] 特谢拉 ACR,席尔瓦 DLD,迪尼兹 ASAC,小索德雷.电动汽车及其与智能电网相互作用的回顾:以巴西为例。清洁技术环境政策 2015;17(4):841e57。

[8] 简利,郑毅,邵志.大型电动汽车集中协同充电的高效填谷策略。应用能源2017;186 (part_P1) :46e55。

[9] Benabdelaziz K, Maaroufi M. 用于电动汽车仿真的电池动态能量模型。 Int J 氢能 2017;42(30):19496e503。

[10] Han S, Han S, Aki H. 电动汽车充电应用的实用电池磨损模型。应用能源 2014;113(6):1100e8。

[11] Wang D, Coignard J, Zeng T, Zhang C, Saxena S. 量化驾驶与车辆到电网服务的电动汽车电池退化。 J 电源2016;332:193e203。

[12] 赵毅,刘平,王志,张丽,洪杰.基于大数据分析方法的电动汽车电池故障与缺陷诊断。应用能源2017;207:354e62。

[13] 冈萨雷斯 LG, Siavichay E,埃斯皮诺萨 JL.电动汽车快速充电站对拉美中间城市配电网络的影响。更新 Sustain Energy Rev 2019;107:309e18。

[14] 莱文森 RS,西 TH.公共电动汽车充电基础设施的影响。运输资源运输环境 2017;64:158e77。

[15] Domínguez-Navarro JA,Dufo-Lopez R,Yusta-Loyo JM,Artal-Sevil JS,Bernal- Agustín JL.一种可再生能源与存储系统集成的电动汽车快速充电站设计。 Int J Electr Power 能源系统2018;105:46e58。

[16] Elsayad N,穆罕默德 OA.一种用于大型光伏辅助电动汽车快速充电站的级联高频交流链路系统。在:交通电气化会议暨博览会; 2017 年。 90e4。

[17] 吴思敏,刘慧聪,王乐.质量功能部署的犹豫模糊集成 MCDM 方法:以电动汽车为例。 Int J Prod Res 2017;55(15):4436e49。

[18] Zhen L, Xu Z, Ma C, Xiao L. 带模式选择的混合动力电动汽车路径问题。 Int J Prod Res 2019:1e15。

[19] Qian K, Zhou C, Allan M, Yuan Y.分配系统中电动汽车电池充电引起的负载需求建模。 IEEE Trans Power Syst 2011;26(2):802e10。

[20] 罗毅,朱 T,万 S,张 S,李 K.基于智能电网和智能交通系统交互的大规模 EV (电动汽车)部署的优化充电调度。能源 2016;97:359e68。

[21] 郭C,陈CC.电动汽车充电整体价值分析方法及利用机制[J].能源转换管理 2015;89:420e6。

[22] Sassi O, Oulamara A. 电动汽车调度和最佳充电问题:复杂性、精确和启发式方法。 Int J Prod Res 2017;55(2): 519e35。

[23] Sousa T, Morais H, Soares J, Vale Z.考虑车辆到电网和网络约束的智能电网中的日前资源调度。应用能源2012;96:183e93。

[24] Ghareisfard B, Basar T, Dominguez-Garcia AD.联网插电式电动汽车的基于价格的分布式控制。在:美国控制会议; 2013 年。 5086e91。

[25] Ma Z, Callaway DS, Hiskens IA.大群体插电式电动汽车的分散充电控制。 IEEE Trans Contr Syst Technol 2012;21(1): 67e78。

[26] Zhan K, Hu Z, Song Y, Lu N, Xu Z, Jia L. 基于概率转移矩阵的分散式电动汽车充电充填方法。电力系统研究 2015;125:1e7 。

[27] 张凯,许立,欧阳明,陆立,李杰,李振.电动汽车分散式充谷充电最优策略。能源转换管理 2014;78(2): 537e50。

[28] Giorgio AD, Liberati F.在设计和市场指数定价模型下对住宅电力生产者的近实时负载转移控制。应用能源 2014;128(128):119e32。

[29] 刘丹,肖乙. 政策激励下电动汽车发展探索:基于情景的系统动力学模型。能源政策 2018;120: 8e23。

[30] Zhang T, Pota H, Chu CC, Gadh R. 使用优先级和加密货币的电动汽车实时可再生能源激励系统。应用能源 2018;226:582e94 。

[31] Pearre NS,天鹅 LG.电动汽车充电以支持容量受限的电网中的可再生能源整合。能源转换管理2016;109:130e9。

[32] Schuller A,Flath CM,Gottwalt S. 量化电动汽车的负载灵活性以实现可再生能源整合。应用能源 2015;151 (2015 年 8 月) : 335e44。

[33] Zheng Y,Shang Y,Shao Z,Jian L.一种新颖的具有近线性复杂度的实时调度策略,用于将大型电动汽车并入智能电网。应用能源 2018;217:1e13。

[34] 简丽,郑毅,肖X,陈CC.插电式电动汽车与智能电网随机连接的车辆到电网运行优化调度。应用能源 2015;146:150e61。

[35] 简立,朱雪,邵志,牛S,陈CC.车辆到电网实施方案及其双层最优充电策略,以最小化区域智能电网内的负荷变化。能源转换管理 2014;78(2):

K. Zhou,L. Cheng,L. Wen 等人。

508e17。

[36]奥利维拉 DQ,赞布罗尼 dSAC,德尔博尼 LFN。最佳插电式混合动力电动汽车在配电系统中充电。电力系统研究2012;98(5):77e85。

[37] Al-Awami AT,Sortomme E. Coordinating vehicle-to-grid services with energy 贸易。 IEEE 跨智能电网 2012;3(1):453e62。

[38]石立,钱志,浦毅。考虑V2G的储备交易模型。逆能量 2013;59 (C) :50e5。

[39] El-Zonkoly A.采用 PHEV 的最佳位置可再生能源系统的智能能源管理。能源转换管理 2014; 84:427e35。

[40] Fazelpour F,Vafaeipour M,Rahbari O,Rosen MA。智能优化,将插电式混合动力汽车智能停车场与 可再生能源相结合,增强电网特性。能源转换管理2014;77(1):250e61。

[41]白CD,张KM.使用车辆到电网技术进行频率调节和峰值负载降低。 J 电源 2011;196(8):3972e80。

[42] Sheikhi A, Bahrami S, Ranjbar AM, Oraee H.智能电网中插电式混合动力电动汽车的战略充电方 法;一种博弈论方法。

能源213 (2020)118882

Int J Electr Power 能源系统 2013;53(1):499e506。

[43] Bai X, Qiao W, Wei H, Huang F, Chen Y.使用互补优化的未来智能电网中大规模 V2G 的双向协调调 度。 Int J Electr Power 能源系统 2015 ;68:269e77。

[44] Sabre AY,Venayagamoorthy GK。插电式汽车和可再生能源降低成本和排放。 IEEE Trans Ind Electron 2011;58(4): 1229e38。

[45]苏伟,周美。用于大型 PHEV/PEV 启用的市政停车场平台的基于计算智能的能源管理。应用能源2012; 96(8):171e82。

[46] Yang J, He L, Fu S. 一种改进的基于 PSO 的配电网电动汽车充电策略。应用能源 2014; 128(3):82e92。

[47] Lunz B,Walz H,Sauer DU。考虑电池老化的遗传算法优化车辆到电网充电策略。在:IEEE车辆动力与 推进会议; 2011 年。 7。

[48] Xu M, Meng Q, Liu K, Yamamoto T. 电池电动汽车用户联合充电模式和选址模型。 Transp Res B 部分方法2017;103:68e86。