

A Charging Method of Electric Vehicles Based on Mobile Charger Mode

Pingping Han¹, Haitian Zhang¹, Xiangmin Zhang¹, Xiaoan Zhang², Binbin Li³

¹Anhui Provincial Laboratory of New Energy Utilization and Energy Conservation, Hefei University of Technology, Hefei Anhui

²Intelligent Manufacturing Institute, Hefei University of Technology, Hefei Anhui

³State Grid Anhui Electric Power Company Electric Power Research Institute, Hefei Anhui

Email: LH021211@hotmail.com

Received: Apr. 15th, 2017; accepted: Apr. 27th, 2017; published: Apr. 30th, 2017

Abstract

With the large-scale application of electric vehicles, the contradiction between the electric vehicle and charging pile has become increasingly prominent. In this paper, a charging method of electric vehicle based on mobile charger is adopted. In the region which is not suitable for the new centralized fixed charging facilities, we can use existing parking lot to build charging service station, and then configure mobile charger to charge for electric vehicles, which does not need to increase the capacity of distribution network and the new parking spaces. Based on the charging demand parameters of electric vehicles and the working state parameters of mobile charger, we calculate the feasible charging scheme for the user, and provide the corresponding operational parameters for the charging service station to effectively manage the mobile charger, which effectively makes up for the disadvantages of the fixed charging facilities construction by many restrictions and solves the problem of low utilization ratio of charging resources caused by the unreasonable occupancy of the charging bits.

Keywords

Electric Vehicles, Distribution Network Capacity, Number of Parking Spaces, Fixed Charging Pile Mode, Mobile Charger Mode

一种基于移动充电器模式的电动汽车充电方法

韩平平¹, 张海天¹, 张祥民¹, 张晓安², 李宾宾³

¹安徽新能源利用与节能省级实验室(合肥工业大学), 安徽 合肥

²合肥工业大学智能制造研究院, 安徽 合肥

³国网安徽省电力公司电力科学研究院, 安徽 合肥

Email: LH021211@hotmail.com

收稿日期: 2017年4月15日; 录用日期: 2017年4月27日; 发布日期: 2017年4月30日

文章引用: 韩平平, 张海天, 张祥民, 张晓安, 李宾宾. 一种基于移动充电器模式的电动汽车充电方法[J]. 智能电网, 2017, 7(2): 105-115. <https://doi.org/10.12677/sg.2017.72012>

摘要

随着电动汽车的规模化应用,电动汽车与充电桩之间的矛盾日益突出。本文提出了一种基于移动充电器模式的电动汽车充电方法,在不适合新建集中规模固定式充电设施的区域,利用已有停车场建设充电服务站,配置移动充电器为电动汽车进行充电,无需对配电网进行增容和新建停车位。基于电动汽车充电需求参数和移动充电器工作状态参数,为用户计算可行的充电方案,并为充电服务站提供对应的运营参数以有效管理各移动充电器,弥补了固定式充电设施建设受多方限制的弊端,并解决了充电位被不合理占用而导致的充电资源利用率低等问题。

关键词

电动汽车,配电网容量,停车位数量,固定充电桩模式,移动充电器模式

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着电动汽车的规模化应用,电动汽车与充电桩之间的矛盾日益突出。在固定充电桩模式下,充电桩和充电位是一一对应的,充电桩的建设受到所在区域电力基础设施、土地面积和停车位数量等限制。同时,现有固定式充电设施又存在充电资源利用率低等问题:在停车位十分紧张的区域,许多充电位被当作普通停车位而占用,严重限制了已有充电资源的使用率。在电动汽车发展较快的一二线城市的老城区,电动汽车与充电桩之间的矛盾更加突出[1]。需要针对一二线城市老城区电动汽车充电难问题寻求一种有效的解决方案。

文献[2]指出“用电”和“用地”是建设充电站点的两道槛,一方面物业公司对充电设施建设的积极性不高,另一方面建设充电站点普遍需要电力增容,尤其是在老旧小区和用电量较大的商业区,而运营商申请电力增容十分困难,导致充电设施建设远远滞后于新能源汽车的推广。文献[3]指出电动汽车的大规模使用将会对配电网产生直接影响。文献[4]说明了电动汽车能源供给设施建设是电动汽车大规模推广应用的前提和基础,分析了国内交流充电桩、充电站及电池更换站等主要能源供给设施的类型及特点。文献[5]涉及一种电动汽车移动充电控制方法和一种电动汽车移动充电控制系统,提高了充电过程的方便性。文献[6]提出了一款专属电动汽车的“移动充电宝”,可根据停车位置进行移动,不需要固定车位,打破了固定充电桩的局限。

本文提出了一种基于移动充电器模式的电动汽车充电方法。在不适合建设大规模固定式充电设施的区域,规划已有中大型停车场建设充电服务站,配置移动充电器为电动汽车提供充电服务[7]。充电服务站基于用户的充电需求参数和移动充电器的工作状态参数,以最大限度满足用户充电需求为原则,为用户计算具体的充电方案,并为充电服务站提供对应的运营参数以有效管理各移动充电器[8]。具体充电操作由充电服务站按照充电方案参数完成,增强了用户的充电体验感。由于采用移动充电器为电动汽车充电,无需对充电服务站所在区域的电力基础设施进行改造,电动汽车充电功率将不叠加至配电网,不会对电网峰时段产生影响。同时,移动充电器利用率将达到100%,有效克服了固定充电桩模式下充电位被

不合理占用而导致的充电资源利用率低等问题。

2. 移动充电器模式

2.1. 移动充电器说明

移动充电器利用二手电池作为储能单元，在电网谷时段进行电能储备，在电网峰时段通过自身放电给电动汽车补充电能，一定程度上起到了削峰填谷的作用[9]。同时，移动充电器提供交流和直流等多种充电方式，能够满足用户交流慢充和直流快充等不同的充电需求。

2.2. 固定充电桩模式与移动充电器模式对比

固定充电桩模式下，充电设施的建设受电力基础设施、土地面积和停车位数量等限制，存在一定的局限性。同时，已有充电设施又存在充电资源利用率低等问题。

移动充电器模式与固定充电桩模式不同。利用已有中大型停车场建设充电服务站，充电站内任一停车位均为充电位[10]。用户将车停至停车位后，充电服务站将基于用户所提充电需求参数和当前时刻各移动充电器的工作状态参数为用户计算充电方案。与固定充电桩模式下用户需等待上一辆电动汽车驶离充电位才可进行充电不同，在移动充电器模式下，用户确认充电服务站提供的充电方案后即可离开，后续充电操作由工作人员按照充电方案完成。因每位用户的充电方案均基于该用户所提充电需求参数和当前时刻各移动充电器的工作状态参数给出，若用户对充电方案不满意，可参照已给出的充电方案对自身的充电需求参数进行适当修改，并由充电服务站为其计算新的充电方案。

在移动充电器模式下，充电服务站建设不受所在区域电力基础设施、土地面积和停车位数量等限制，不存在已有充电位被不合理占用而导致的充电资源利用率低等问题，克服了固定式充电设施的局限性[11]。移动充电器模式与固定充电桩模式对比如表 1 所示。

3. 基于移动充电器模式的电动汽车充电方法

3.1. 充电方法说明

基于移动充电器模式的电动汽车充电方法，其特征是应用于由 N 台移动充电器构成的充电服务站，并为 M 辆电动汽车提供充电服务的工作任务中；将所述充电服务站的充电过程准备时间记为 *prepare*。

充电服务站基于电动汽车充电需求参数和移动充电器工作状态参数，计算用户充电需求是否满足。若充电需求满足，按用户需求充电量为其充电；否则，按用户预期离开充电服务站时刻前所能提供的最大充电量为其充电。在给出电动汽车充电方案和充电服务站运营参数的同时，更新各移动充电器的工作状态参数并完成相应地排序，等待为下一辆电动汽车计算充电方案。

Table 1. The comparison of mobile charger mode and fixed charging pile mode

表 1. 移动充电器模式与固定充电桩模式对比

移动充电器模式	固定充电桩模式
可移动，不受停车位限制	位置固定，有充电距离限制
节省安装充电桩的时间	充电桩安装步骤复杂
无需对配电网进行增容	根据充电桩功率调整配电网容量
支持快速充电	快速充电位置有限
半自动化，节省人力成本	需手动充电

3.2. 电动汽车充电需求数据和移动充电器工作状态参数说明

(1) 电动汽车充电需求数据

电动汽车充电需求数据由如下参数构成：

电动汽车 EV 的编号 m ； EV_m 的提出充电需求时刻 $TA(\text{min})$ 、预期离开充电服务站时刻 $TB(\text{min})$ 、动力电池起始荷电状态 $SOCA$ 、动力电池目标荷电状态 $SOCB$ 、动力电池容量 $V(\text{kwh})$ 和充电功率 $P(\text{kw})$ 。

(2) 移动充电器工作状态参数

移动充电器工作状态参数由如下参数表征：

移动充电器的编号 NUM 、空闲时刻 $T(\text{min})$ 和空闲容量 $C(\text{kwh})$ 。

3.3. 移动充电器工作状态参数排序说明

将所述 N 台移动充电器记为 $MC = \{MC_1, MC_2, \dots, MC_n, \dots, MC_N\}$ ， MC_n 表示第 n 级移动充电器， $1 \leq n \leq N$ 。 MC_n 的编号为 NUM_n ，空闲时刻为 T_n ，空闲容量为 C_n 。 MC 是按照各自空闲时刻 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n, \dots, T_N\}$ 的升序进行排序的；当空闲时刻 T 相同时，按照各自编号 $NUM = \{NUM_1, NUM_2, \dots, NUM_n, \dots, NUM_N\}$ 的升序进行排序。

在所设计的算法中，移动充电器的工作状态参数以数组的形式表征。算法在提取电动汽车的充电需求参数后，将提取当前时刻移动充电器的工作状态参数至数组 MC 。此时以数组形式呈现的移动充电器的工作状态参数将按上述原则进行排序，算法将从级数最低的移动充电器，即从空闲时刻最靠前的移动充电器开始读取，为用户计算充电方案。

若在完成 EV_m 的充电方案计算后，第 j 级移动充电器 MC_j 的空闲容量 $C_j = 0 \text{ kwh}$ ，置该移动充电器的空闲时刻 $T_j = 1441 \text{ min}$ ，以便在执行移动充电器数组排序时，赋予空闲容量为 0 的移动充电器最高的级数。

3.4. 电动汽车充电方案和充电服务站运营参数说明

(1) 电动汽车充电方案

算法输出的电动汽车充电方案由如下参数表征：电动汽车 EV 的编号 m ； EV_m 的充电需求满足程度 satisfaction_m ，需求充电量 SV_m ，实际充电量 AV_m ，实际开始充电时刻 TE_m ，实际完成充电时刻 TF_m ，充电过程等待时间 $WAIT_m$ 。

(2) 充电服务站运营参数

算法输出的充电服务站运营参数为：1) EV_m 的充电方案对应的移动充电器工作状态参数，包括：移动充电器编号，原空闲时刻，新空闲时刻，使用时间段，原空闲容量，新空闲容量，使用容量；2) N 台移动充电器 MC 在第 m 次排序后的编号 NUM ，空闲时刻 T 和空闲容量 C 。

3.5. 充电方法实施方式说明

基于移动充电器模式的电动汽车充电方法实施方式如图 1 所示。具体实施步骤如下[12][13][14]：

步骤 1：初始化 M 辆电动汽车 $EV_1, EV_2, \dots, EV_m, \dots, EV_M$ 的充电需求数据；初始化 N 台移动充电器 $MC_1, MC_2, \dots, MC_n, \dots, MC_N$ 的工作状态参数；

步骤 2：初始化 $m=1$ ， $n=1$ ；

步骤 3：判断 $m \leq M$ 是否成立；若成立，则执行步骤 4；否则，表示 M 辆电动汽车各自的充电方案计算完成；

步骤 4：获取 EV_m 的充电需求参数，包括： TA_m ， TB_m ， $SOCA_m$ ， $SOCB_m$ ， V_m 和 P_m ；

步骤 5：利用式(1)计算需求充电量 SV_m ；

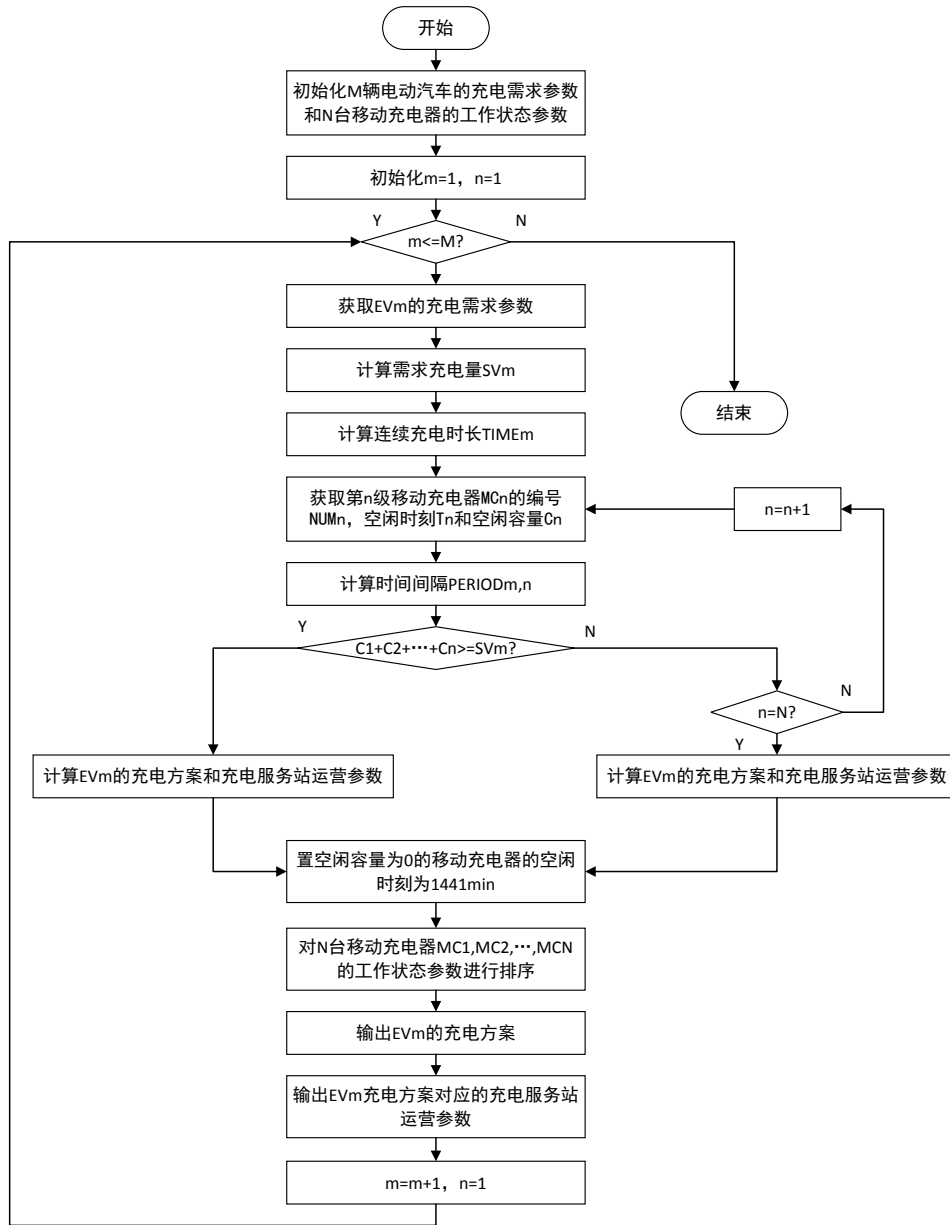


Figure 1. The flowchart of charging method for electric vehicles based on mobile charger mode
图 1. 基于移动充电器模式的电动汽车充电方法流程图

$$SV_m = (SOCB_m - SOCA_m) \times V_m \quad (1)$$

步骤 6: 利用式(2)计算 SV_m 对应的连续充电时长 $TIME_m$:

$$TIME_m = 60 \times (SV_m \div P_m) \quad (2)$$

步骤 7: 获取第 n 级移动充电器 MC_n 的编号 NUM_n , 空闲时刻 T_n 和空闲容量 C_n ;

步骤 8: 利用式(3)计算 EV_m 的第 n 级时间间隔 $PERIOD_{m,n}$; 若 $PERIOD_{m,n}$ 为负数或 $T_n = 1441$ min, 置 $PERIOD_{m,n} = 0$; 否则, $PERIOD_{m,n}$ 不变;

$$PERIOD_{m,n} = T_n - \left(TA_m + perare + \sum_{i=1}^{n-1} PERIOD_{m,i} + \sum_{i=1}^{n-1} 60 \times C_i \div P_m \right) \quad (3)$$

步骤 9: 判断 $(C_1 + C_2 + \dots + C_n) \geq SV_m$ 是否成立; 若成立, 则执行步骤 10; 否则, 执行步骤 33;

步骤 10: 利用式(4)计算预期开始充电时刻 TC_m :

$$TC_m = TA_m + PERIOD_{m,1} + perare \quad (4)$$

利用式(5)计算预期完成充电时刻 TD_m :

$$TD_m = TC_m + \sum_{i=2}^n PERIOD_{m,i} + TIME_m \quad (5)$$

步骤 11: 判断 $TD_m \leq TB_m$ 是否成立; 若成立, 则表示 SV_m 能被前 n 级移动充电器 MC_1, MC_2, \dots, MC_n 满足, 且在 TB_m 前能完成 SV_m 的充电量, 令 $satisfaction = 1$, 并执行步骤 12; 否则, 表示 SV_m 能被前 n 级移动充电器 MC_1, MC_2, \dots, MC_n 满足, 但在 TB_m 前只能完成 SV_m 的部分充电量, 令 $satisfaction = 0$, 并执行步骤 20;

步骤 12: 将预期开始充电时刻 TC_m 作为实际开始充电时刻 TE_m , 即 $TE_m = TC_m$;

将预期完成充电时刻 TD_m 作为实际完成充电时刻 TF_m , 即 $TF_m = TD_m$;

步骤 13: 令实际充电量 AV_m 为需求充电量 SV_m , 即 $AV_m = SV_m$;

利用式(6)计算充电过程等待时间 $WAIT_m$:

$$WAIT_m = \sum_{i=1}^n PERIOD_{m,i} + perare \quad (6)$$

步骤 14: 利用式(7)更新第 j 级移动充电器 MC_j 的工作状态参数, 包括空闲时刻 T_j 和空闲容量 C_j ; 从而更新前 n 级移动充电器 MC_1, MC_2, \dots, MC_n 的工作状态参数:

$$\begin{cases} T_j = TF_m \\ C_j = \sum_{i=1}^n C_i - AV_m & j = n \\ T_j = TE_m + \sum_{i=1}^j 60 \times C_i \div P_m + \sum_{i=2}^j PERIOD_{m,i} & j = 1, 2, \dots, n-1 \\ C_j = 0 \end{cases} \quad (7)$$

步骤 15: 若移动充电器 MC 中第 j 级移动充电器 MC_j 的空闲容量 $C_j = 0, j = 1, 2, \dots, n$; 设置其空闲时刻 T_j 为异常状态值“1441”, 即 $T_j = 1441 \text{ min}$, 表示该移动充电器空闲容量为 0, 不再提供充电服务;

步骤 16: 对 N 台移动充电器 MC 按各自空闲时刻 T 的升序进行第 m 次排序; 当空闲时刻 T 相同时, 按各自编号 NUM 的升序进行排序; 排序后的 N 台移动充电器 MC 仍记为:

$MC = \{MC_1, MC_2, \dots, MC_n, \dots, MC_N\}$, 即更新后的第 1 级、第 2 级、...、第 n 级、...、第 N 级移动充电器;

步骤 17: 输出电动汽车充电方案;

步骤 18: 输出充电服务站运营参数;

步骤 19: 将 $m + 1$ 赋值给 m , 令 $n = 1$; 并执行步骤 3;

步骤 20: 将预期开始充电时刻 TC_m 作为实际开始充电时刻 TE_m , 即 $TE_m = TC_m$;

将预期离开充电服务站时刻 TB_m 作为实际完成充电时刻 TF_m , 即 $TF_m = TB_m$;

步骤 21: 判断 $TE_m \geq TF_m$ 是否成立; 若成立, 则表示在 TB_m 前, 充电服务站无法为 EV_m 提供充电服务, 并执行步骤 22; 否则, 执行步骤 23;

步骤 22: 利用式(8)计算实际充电量 AV_m 和充电过程等待时间 $WAIT_m$, 并执行步骤 15;

$$\begin{cases} AV_m = 0 \\ WAIT_m = 0 \end{cases} \quad (8)$$

步骤 23: 初始化 $k = 0$;

步骤 24: 将 $k + 1$ 赋值给 k ;

步骤 25: 判断 $k = 2n - 1$ 是否成立; 若成立, 则表示实际完成充电时刻 TF_m 满足式(9), 并执行步骤 26; 否则, 执行步骤 28;

$$TE_m + \sum_{i=1}^{\frac{k-1}{2}} 60 \times C_i \div P_m + \sum_{i=2}^{\frac{k+1}{2}} PERIOD_{m,i} < TF_m < TD_m \quad (9)$$

步骤 26: 利用式(10)计算获得实际充电量:

$$AV_m = \sum_{i=1}^{\frac{k-1}{2}} C_i + \frac{TF_m - TE_m - \sum_{i=1}^{\frac{k-1}{2}} 60 \times C_i \div P_m - \sum_{i=2}^{\frac{k+1}{2}} PERIOD_{m,i}}{60} \times P_m \quad (10)$$

利用式(11)计算充电过程等待时间 $WAIT_m$:

$$WAIT_m = \sum_{i=1}^{\frac{k+1}{2}} PERIOD_{m,i} + perare \quad (11)$$

步骤 27: 利用式(12)更新第 j 级移动充电器 MC_j 的工作状态参数, 包括空闲时刻 T_j 和空闲容量 C_j ; 从而更新前 n 台移动充电器 MC_1, MC_2, \dots, MC_n 的工作状态参数; 并执行步骤 15;

$$\begin{cases} T_j = TF_m \\ C_j = \sum_{i=1}^j C_i - AV_m \quad j = \frac{k+1}{2} \\ T_j = TE_m + \sum_{i=1}^j 60 \times C_i \div P_m + \sum_{i=2}^j PERIOD_{m,i} \quad j = 1, 2, \dots, \frac{k-1}{2} \\ C_j = 0 \end{cases} \quad (12)$$

步骤 28: 判断 $k \% 2 = 1$ 是否成立; 若成立, 则执行步骤 29; 否则, 执行步骤 30;

步骤 29: 判断式(13)是否成立; 若成立, 则执行步骤 26; 否则, 执行步骤 24;

$$\begin{aligned} TE_m + \sum_{i=1}^{\frac{k-1}{2}} 60 \times C_i \div P_m + \sum_{i=2}^{\frac{k+1}{2}} PERIOD_{m,i} < TF_m \\ < TE_m + \sum_{i=1}^{\frac{k+1}{2}} 60 \times C_i \div P_m + \sum_{i=2}^{\frac{k+1}{2}} PERIOD_{m,i} \end{aligned} \quad (13)$$

步骤 30: 判断式(14)是否成立; 若成立, 则执行步骤 31; 否则, 执行步骤 24;

$$\begin{aligned} TE_m + \sum_{i=1}^{\frac{k}{2}} 60 \times C_i \div P_m + \sum_{i=2}^{\frac{k}{2}} PERIOD_{m,i} \leq TF_m \\ \leq TE_m + \sum_{i=1}^{\frac{k}{2}} 60 \times C_i \div P_m + \sum_{i=2}^{\frac{k+2}{2}} PERIOD_{m,i} \end{aligned} \quad (14)$$

步骤 31: 利用式(15)计算实际充电量 AV_m :

$$AV_m = \sum_{i=1}^{\frac{k}{2}} C_i \quad (15)$$

利用式(16)计算充电过程等待时间 $WAIT_m$:

$$WAIT_m = \sum_{i=1}^{\frac{k}{2}} PERIOD_{m,i} + prepare \quad (16)$$

利用式(17)更新实际完成充电时刻 TF_m :

$$TF_m = TE_m + \sum_{i=1}^{\frac{k}{2}} 60 \times C_i \div P_m + \sum_{i=2}^{\frac{k}{2}} PERIOD_{m,i} \quad (17)$$

步骤 32: 利用式(18)更新第 j 级移动充电器 MC_j 的工作状态参数, 包括空闲时刻 T_j 和空闲容量 C_j ; 从而更新前 n 级移动充电器 MC_1, MC_2, \dots, MC_n 的工作状态参数; 并执行步骤 15;

$$\begin{cases} T_j = TE_m + \sum_{i=1}^j 60 \times C_i \div P_m + \sum_{i=2}^j PERIOD_{m,i} & j = 1, 2, \dots, \frac{k}{2} \\ C_j = 0 \end{cases} \quad (18)$$

步骤 33: 判断 $n = N$ 是否成立; 若成立, 令 $satisfaction = 0$, 执行步骤 34; 否则, 执行步骤 40;

步骤 34: 利用式(19)计算预期开始充电时刻 TC_m :

$$TC_m = TA_m + PERIOD_{m,1} + prepare \quad (19)$$

利用式(20)计算预期完成充电时刻 TD_m :

$$TD_m = TC_m + \sum_{i=1}^N 60 \times C_i \div P_m + \sum_{i=2}^N PERIOD_{m,i} \quad (20)$$

步骤 35: 判断 $C_1 \leq 0$ 是否成立; 若成立, 则表示 SV_m 不能被 N 台移动充电器 MC 满足, 充电服务站内所有移动充电器 MC 的空闲容量均为“0”, 并执行步骤 36; 否则, 执行步骤 37;

步骤 36: 将异常状态值“0”作为实际开始充电时刻 TE_m 和实际完成充电时刻 TF_m ; 并执行步骤 22;

步骤 37: 判断 $TD_m \leq TB_m$ 是否成立; 若成立, 则表示 SV_m 不能被 N 台移动充电器 MC 满足, 充电服务站在 TB_m 前为 EV_m 提供充电服务站内移动充电器总空闲容量 $C_1 + C_2 + \dots + C_N$ 的充电量, 并执行步骤 38; 否则, 表示 SV_m 不能被 N 台移动充电器 MC 满足, 充电服务站在 TB_m 前为 EV_m 提供充电服务站内移动充电器总空闲容量 $C_1 + C_2 + \dots + C_N$ 的部分充电量, 并执行步骤 20;

步骤 38: 将预期开始充电时刻 TC_m 作为实际开始充电时刻 TE_m , 即 $TE_m = TC_m$;

将预期完成充电时刻 TD_m 作为实际完成充电时刻 TF_m , 即 $TF_m = TD_m$;

步骤 39: 利用式(21)计算实际充电量 AV_m :

$$AV_m = \sum_{i=1}^N C_i \quad (21)$$

利用式(22)计算充电过程等待时间 $WAIT_m$, 并执行步骤 14:

$$WAIT_m = \sum_{i=1}^N PERIOD_{m,i} + prepare \quad (22)$$

步骤 40: 将 $n + 1$ 赋值给 n ; 并执行步骤 7。

4. 算例分析

4.1. 移动充电器初始工作状态参数和电动汽车充电需求参数

算例设置充电服务站包含 7 台移动充电器，记为 $MC = \{MC_1, MC_2, \dots, MC_7\}$ 。7 台移动充电器的初始工作状态参数如表 2 所示。

设置由 7 台移动充电器构成的充电服务站为 7 辆电动汽车提供充电服务；7 辆电动汽车记为 $EV = \{EV_1, EV_2, \dots, EV_7\}$ ，其充电需求参数如表 3 所示。

设置充电服务站的可选充电功率为 5 kw、10 kw 和 15 kw。7 辆电动汽车的充电需求参数是按各自提出充电需求时刻的升序进行排序的。

4.2. 电动汽车充电方案和充电服务站运营参数计算

表 4 基于电动汽车充电需求参数和表 5 移动充电器工作状态参数，经设计的算法计算得出 7 辆电动汽车各自的充电方案及其对应的充电服务站运营参数。

算例的目的为对 7 种充电需求情形进行模拟，设置用户均接受充电服务站提供的充电方案。

4.3. 结果分析

(1) 算法合理性与全面性分析：算例选取了具有代表性的电动汽车充电需求参数和移动充电器工作状态参数，模拟了实际充电过程中可能出现的 7 种不同的充电情形，所设计的算法是合理的，对电动汽车充电情形的定义是全面的。算法为用户计算充电方案的同时，输出对应的移动充电器工作状态参数，以

Table 2. Initial working state parameters of 7 mobile chargers

表 2. 7 台移动充电器初始工作状态参数

移动充电器级数	编号	空闲时刻/min	空闲容量/kwh
MC ₁ (第 1 级)	1	420	5
MC ₂ (第 2 级)	2	455	5
MC ₃ (第 3 级)	3	515	10
MC ₄ (第 4 级)	4	590	20
MC ₅ (第 5 级)	5	595	15
MC ₆ (第 6 级)	6	625	30
MC ₇ (第 7 级)	7	635	10

Table 3. Charging demand parameters of 7 electric vehicles

表 3. 7 辆电动汽车充电需求参数

电动汽车编号	TA	TB	SOCA	SOCB	V	P
1	415	500	0.2	0.8	20	10
2	520	635	0.3	0.9	25	10
3	560	665	0.1	0.9	30	15
4	565	610	0.7	0.9	20	10
5	630	935	0.4	1.0	30	5
6	640	866	0.1	1.0	40	10
7	860	935	0.2	0.9	20	10

Table 4. The charging scheme of electric vehicle**表 4.** 电动汽车充电方案

m	SV _m	AV _m	TA _m	TB _m	TE _m	TF _m	WAIT _m
1	12	10	415	500	420	485	10
2	15	15	520	635	525	620	10
3	24	17.5	560	665	595	665	35
4	4	0	565	610	625	610	0
5	18	18	630	935	635	851	5
6	36	25	640	866	645	866	76
7	14	9.5	860	935	866	923	6

Table 5. The use of mobile charger working state parameters corresponding to the charging scheme of electric vehicle**表 5.** 电动汽车充电方案对应使用的移动充电器工作状态参数

m	MC 编号	原空闲时刻	新空闲时刻	使用时间段	原空闲容量	新空闲容量	使用容量
1	1	420	1441	420-450	5	0	5
	2	455	1441	455-485	5	0	5
2	3	515	1441	525-585	10	0	10
	4	590	620	590-620	20	15	5
3	5	595	1441	595-655	15	0	15
	4	620	665	655-665	15	12.5	2.5
4				未使用移动充电器			
5	6	625	851	635-851	30	12	18
	7	635	1441	645-705	10	0	10
6	4	665	1441	705-780	12.5	0	12.5
	6	851	866	851-866	12	9.5	2.5
7	6	866	1441	866-923	9.5	0	9.5

方便充电服务站有效管理各移动充电器，算法可应用于实际充电环境。

(2) 移动充电器模式与配电网：由于采用了移动充电器模式，各时段电动汽车的充电功率将不会叠加至配电网，电动汽车充电不会对电网峰时段造成影响。表 6 为算例中各时段的电动汽车充电功率。当待充电的电动汽车不断增多，各时段充电功率将增大，此时若基于固定充电桩模式，电动汽车充电将对配电网产生较大影响；而在移动充电器模式下，电动汽车充电对配电网无影响。

(3) 移动充电器模式与用户：在移动充电器模式下，用户只需确认自身的充电需求参数，由充电服务站提供充电方案，充电操作也由充电服务站基于充电方案参数完成。用户对具体的充电过程和充电状态将有清楚的了解，充电体验感增强。

(4) 充电设施利用率：在移动充电器模式下，充电设施利用率达到 100%，不存在固定充电桩模式下充电位被不合理占用而导致的充电资源利用率低的问题。

5. 结论

针对一二线城市老城区限于配电网容量和停车位数量，不适合新建大规模固定式充电设施而导致的

Table 6. The electric vehicle charging power of each time
表 6. 各时段电动汽车充电功率

时间段(min)	充电功率(kw)
420-450	10
455-485	10
525-585	10
590-595	10
595-620	25
620-635	15
635-645	20
645-665	30
665-780	15
780-851	5
851-866	10

电动汽车充电难问题, 本文提出了一种基于移动充电器模式的电动汽车充电方法, 在克服了固定式充电设施局限性的同时, 有效解决了固定充电桩模式下充电位被不合理占用而导致的充电资源利用率低等问题。结合流程图, 对算法的具体实施步骤进行了详细说明。通过选取具有代表性的移动充电器工作状态参数和电动汽车充电需求参数, 模拟了实际充电过程中可能出现的 7 种不同情形。基于移动充电器模式的电动汽车充电方法将成为弥补固定式充电设施局限性的一种有效手段。

基金项目

广东省引进创新科研团队计划(2011N015)。

参考文献 (References)

- [1] 充电桩建设及运营难点何在?[EB/OL]. http://www.chinabidding.com.cn/zbw/dlpd/info_show.jsp?record_id=89840, 2016-07-11/2016-08-15.
- [2] 李惠玲, 白晓民. 电动汽车充电对配电网的影响及对策[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(17): 38-43.
- [3] 陈良亮, 张浩, 倪峰, 等. 电动汽车能源供给设施建设现状与发展探讨[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(14): 11-17.
- [4] 温美婵, 周永力, 刘胥和, 等. 电动汽车移动充电控制方法和系统[P]. 中国专利, 201510283668. 2015-09-16.
- [5] 电动汽车移动充电站 Mobi Charger 问世[EB/OL]. <http://tech.qq.com/a/20141226/038323.htm>, 2014-12-26.
- [6] 穆晓鹏, 徐威, 芮祯, 等. 电动汽车用移动充电装置及移动电源车[P]. 中国专利, 201521114751. 2016-07-06.
- [7] 佟晶晶, 温俊强, 王丹, 等. 基于分时电价的电动汽车多目标优化充电策略[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(1): 17-23.
- [8] 戴咏夏, 刘敏. 电动汽车充电设施接入对配套电网建设的影响[J]. 电力建设, 2015, 36(7): 89-93.
- [9] 王旻. 潍坊市市区电动汽车充电桩(站)规划研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2015.
- [10] 北京投放 500 辆移动充电车缓解充电难问题[EB/OL]. <http://auto.qq.com/a/20160120/031273.htm>, 2016-01-20.
- [11] 记者姚金楠. 《电动汽车充电基础设施发展指南(2015-2020 年)》发布[N]. 中国能源报, 2015-11-23002.
- [12] 徐智威, 胡泽春, 宋永华, 等. 充电站内电动汽车有序充电策略[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(11): 38-43.
- [13] 孙近文, 万云飞, 郑培文, 等. 基于需求侧管理的电动汽车有序充放电策略[J]. 电工技术学报, 2014, 29(8): 64-69.
- [14] 王建. 电动汽车充电对电网的影响及有序充电研究[D]: [博士学位论文]. 济南: 山东大学, 2013.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：sg@hanspub.org