

[控制系统]

电动汽车参与电网调峰的模型及策略研究

文/南京理工大学 朱忆洋 都洪基

电动汽车的发展给电网带来了新的机遇和挑战，合理地进行充放电可以调节电网峰谷差。在V2G技术的研究基础上，建立了一种电动汽车参与电网调峰的模型，利用粒子群算法进行调度。基于电网中某节点夏季典型日负荷曲线，研究了电动汽车对电网调峰的影响，仿真表明，该方法有良好的效果。

随着经济的发展，越来越多的电动汽车投入了使用，大量的电动汽车一起充电会导致电网的负荷增长。假如电动汽车集中在电网负荷高峰期充电，会使电网供电压力剧增，影响供电的安全和稳定性。

V2G技术是电动汽车在受控状态下实现与电网信息和能量的双向交换的一种新型技术，指的是电动车不仅可以从电网吸收能量，在需要时还能够把蓄电池储存的能量反向提供给电网。它体现的是电动汽车电池的储能作用。

目前国内外众多学者已经对V2G技术进行了诸多研究，但是还不够完善，电动汽车也并未大规模的投入应用，还需要进行更深入的研究。本文建立了一种电动汽车参与电网调峰的模型，在粒子群算法的基础上提出了一种调度策略。并基于电网中某节点夏季一天的负荷量曲线，利用Matlab仿真研究了电动汽车参与电网调峰的效果。

V2G的实现方法

电动汽车和电网连接的系统结构如图1所示。

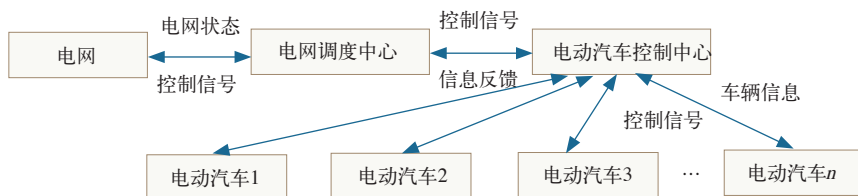


图1 V2G系统结构图

由图1可知，根据电网的实际运行状态，电力系统调度中心下达相应的指令，电动汽车控制中心接收到指令后，直接控制一定范围内的电动汽车进行充放电操作。如果电网处于负荷高峰期，就控制电动汽车向电网馈电；如果电网处于负荷低谷期，就控制电动汽车在电网内充电，这样就

实现了电动汽车“削峰填谷”的作用。

电动汽车参与电网调峰的模型

1. 目标函数

假设电动汽车参与电网负荷调峰时只响应区域负荷，可以把一天分为24个时段，以负荷曲线

的均方差最小值为目标函数,变量是每辆车在每个时间段的充放电功率。目标函数为

$$\min F = \sum_{j=1}^{24} \left(P_{Lj} - P_{arv} - \sum_{i=1}^n P_{ij} \right)^2 \quad (1)$$

$$P_{arv} = \sum_{j=1}^{24} P_{Lj} / 24 \quad (2)$$

式中, n 为电动汽车辆数, P_{ij} 为电动汽车 i 在 j 时段内与电网的交换功率(正数代表放电,负数代表充电), P_{Lj} 为 j 时段的负荷功率。

2. 约束条件

(1) 功率约束

功率约束主要是对充放电电流进行约束,充电电流不超过 $I_{iN}/3$,放电电流不超过 $2I_{iN}$ 。即

$$\begin{cases} 0 \leq I_{ic} \leq I_{iN}/3 \\ 0 \leq I_{id} \leq 2I_{iN} \end{cases} \quad (3)$$

考虑线路功率容量约束,不超过15 kW,即

$$-15 \leq P_{ij} \leq 15 \quad (4)$$

综合式(3)和式(4),有

$$P_{ijmin} \leq P_{ij} \leq P_{ijmax} \quad (5)$$

$$\begin{cases} P_{ijmax} = \min(15, V_{ij} \cdot 2I_{iN}) \\ P_{ijmin} = \max(-15, -V_{ij} \cdot I_{iN}/3) \end{cases} \quad (6)$$

式中, I_{ic} 为电动汽车 i 的充电电流值(正值); I_{id} 为电动汽车 i 的放电电流值(正值); I_{iN} 由电动汽车的电池型号来确定,比如80 A·h的电池 I_{iN} 取80 A; V_{ij} 为电池实时电压值; P_{ij} 为电动汽车 i 在 j 时段时充(放)电的功率,正(负)数表示电动汽车处于放(充)电状态; P_{ijmin} 为电动汽车 i 在 j 时段时充(放)电的功率最小值; P_{ijmax} 为电动汽车 i 在 j 时段时充(放)电功率最大值。

(2) 能量约束

$$Q_{ijmin} \leq \Delta Q_{ij} \leq Q_{ijmax} \quad (7)$$

$$Q_{ijmax} = (S_{SOCij} - S_{SOCmin}) Q_{imax} \quad (8)$$

$$Q_{ijmin} = (S_{SOCij} - S_{SOCmax}) Q_{imax} \quad (9)$$

式中: Q_{ijmax} 为电动车 i 的总容量; ΔQ_{ij} 为电动车 i 在 j 时段的充(放)电容量;蓄电池荷电状态(SOC)为电动车电池剩余容量与最大容量的比值, S_{SOCij} 为 i 在 j 时刻电池荷电状态值; S_{SOCmin} 为考虑电池自身约束时蓄电池荷电状态最低值,取0.2; S_{SOCmax} 为蓄电池荷电状态最大值,取1。

基于粒子群算法的电动汽车优化调度策略

在得知一天的负荷量之后,想要削峰填谷使负荷曲线趋于平缓,就需要合理地确定区域内电动汽车充放电时间和功率。由于电动汽车数量种

类繁多,并且每一辆车的蓄电池容量,充放电功率,充放电的可用时间都不一样,想要统一进行规划就比较复杂,因此选择一个合理的算法至关重要。粒子群优化算法原理较为简单,并且受优化问题维数的影响较小,可以有效地解决这个问题。

电动汽车参与调峰的优化调度策略的目标是尽可能地使负荷曲线趋于平缓,可以采用PSO算法来对各个电动汽车在每一时段与电网的交换功率进行优化。其中粒子维数为 $24 \times n$, n 为电动汽车数量,粒子 I 的位置为

$$X_i = [X_1, X_2, X_3, \dots, X_{24}] \quad (10)$$

式中, X_i 表示24个时间段的采样点时间。

基于粒子群算法的电动汽车调度流程如图2所示。

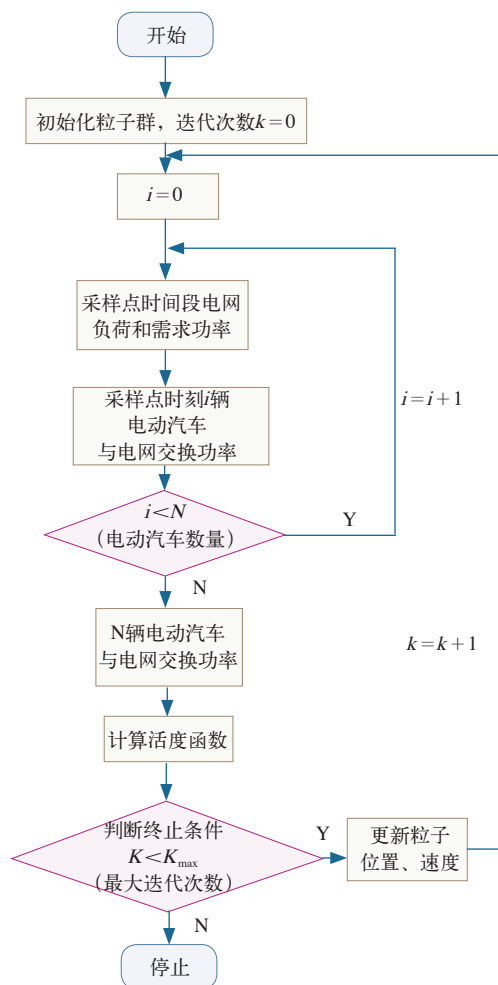


图2 基于粒子群算法的电动汽车调度流程

算例与分析

1. 仿真模型及参数

假设电网中某节点夏季典型日1~24 h的负荷

率及相应负载量如表1所示，其中负荷平均值为90 MW。将负荷量用更为直观的直方图来表示，如图3所示。

表1 某节点的1到24时负荷率及负荷量

时段	1	2	3	4	5	6
负荷率	0.640 8	0.640 8	0.621 4	0.650 5	0.660 2	0.650 5
负荷量/MW	71.97	71.97	69.79	73.06	74.15	73.06
时段	7	8	9	10	11	12
负荷率	0.718 4	0.767	0.757 3	0.873 8	0.854 4	0.990 3
负荷量/MW	80.68	86.14	85.05	98.13	95.95	111.22
时段	13	14	15	16	17	18
负荷率	0.990 3	0.941 7	0.805 8	0.776 7	0.805 8	0.941 7
负荷量/MW	111.22	105.76	90.5	87.23	90.5	105.76
时段	19	20	21	22	23	24
负荷率	1	0.893 2	1	0.902 9	0.689 3	0.660 2
负荷量/MW	112.31	100.31	112.31	101.4	77.41	74.15

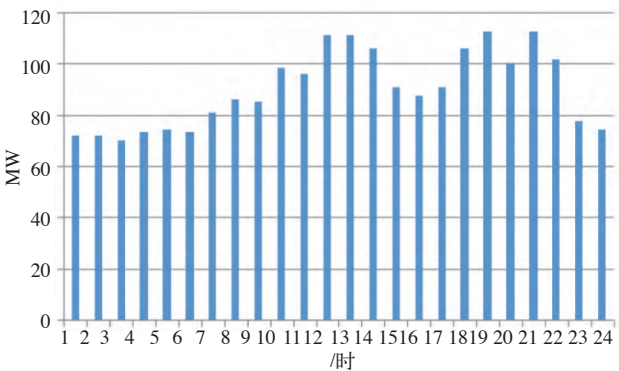


图3 某节点1~24 h负荷量

由图3可以明显看出，12~13时和19~21时是两段明显的负荷高峰时。由于我们希望负荷曲线尽量平稳，从而可以充分利用机组的装机容量，使机组尽量在经济运行点附近运行，节省燃料成本。因此希望通过V2G技术，使之能够起到削峰填谷的作用。

根据上面的日负荷量，采用设计的基于粒子群算法的电动汽车调度策略，使用Matlab软件进行仿真，可以得到如图4所示的调节前后负荷曲线图。

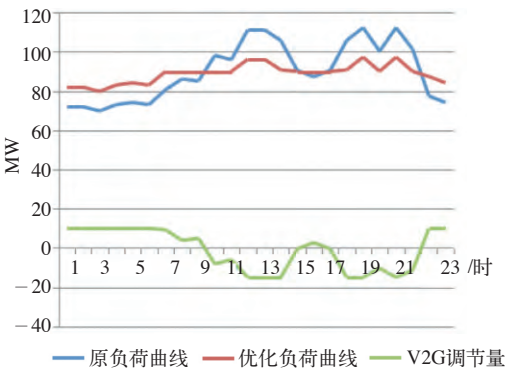


图4 V2G参与电网调峰负荷曲线

从上面这个折线图可以清晰看出，原负荷曲线在12~13时和19~21时的两个波峰，通过运用

V2G技术的调节，取得了较好的效果。低负荷时对电动汽车进行充电，高负荷时电动汽车向电网回馈电能，通过优化调节，最终的负荷曲线趋于平缓。这就带来了巨大的经济效益和环境效益。

结束语

本文在V2G技术的研究基础上，建立了电动汽车参与电网调峰模型，并利用粒子群算法提出了一种优化调度策略，实现了电动汽车参与电网调峰的功能。仿真结果证明，当参与电网调峰的电动汽车达到一定规模时，可以有效地起到削峰填谷的作用，使负荷曲线更加平缓，提高电网运行的经济性和稳定性，相应地也会减少电网所需的调峰备用容量。

在分布式电动汽车参与电网调峰的实际应用方面，还存在许多问题需要进行一步的研究和探索，如：现在蓄电池容量偏低且标准不统一；大量电动汽车接入充电也会对电网产生谐波污染；电动汽车参与电网调峰的成本如何分摊；汽车接入电网后如何有效地进行控制和调节等。

(收稿日期：2016.05.17)

(编辑：杨得润)