

考虑电动汽车接入配电网优化调度模型研究

针对目前电动汽车的快速普及与发展以及环境污染严重、能源急剧紧缺等问题,研究电动汽车与分布式电源接入配电网,联合参与配电网的优化调度对配电网所产生的影响。首先建立了电动汽车接入配电网的充放电模型,得到电动汽车接入后配电网的负荷曲线;其次,以发电成本最小化为优化目标建立配电网优化调度模型,通过粒子群优化算法对模型求解,最后,分别计算优化调度前后配电网各项特性指标,进而得出结论。

高超/国网北京电力检修公司



高超/工程师

关键词/Keywords

电动汽车 ·
充放电模型 ·
优化调度模型 ·

0 引言

石油能源的日益枯竭,使得人们不得不致力于快速找到一种能够代替传统能源的新能源,来实现社会的长足、可持续发展。因此,电动汽车以其节能环保等诸多优点,成为了现代社会各界着力关注、开发和研究的焦点。

本文主要针对电动汽车大规模接入到配电网无序充放电给电网带来影响作为研究对象,建立电动汽车充放电模型及其参与配电网的优化调度模型,并通过粒子群优化算法对模型进行求解运算,通过对电动汽车的优化调度管理,配电网的尖峰负荷降低,负荷峰谷差率和线路损耗减少,其运行效率和其他各项指标也都有所提高。

1 优化调度模型

1.1 电动汽车充放电模型

通常,假设某个典型日的车辆流量可用以下公式描述

$$d_c = D(t)$$

式中, $D(t)$ 用于描述充放电车辆数量随时间的变化情况; t 为时间; d_c 为车辆充换电密度。

设电池组的充电时长为 T_C , 在此不计充电设备准备所耗费的时间。则 t 时刻的充放电总功率只与在区间 $[t-T_C, t]$ 内进行充放电的车辆有关。将一辆车的充电有功功率设为恒定值 p (单位 kW), 则 t 时刻充放电的有功功率为

$$P_S = P \text{Int} \left[\int_{t-T_C}^t D(t) dt \right]$$

$$P = \frac{QV}{\eta}$$

式中, Q 为蓄电池同时充放电时总电流; η 为充电机的效率; $P_S > 0$ 为充电, $P_S < 0$ 为放电。

1.2 电动汽车接入配电网的优化调度模型

在当前的发电计划下, 目标函数是包括起动成本和燃料成本在内的总的发电成本最小。在当前的市场竞争环境下, 允许削减的负荷资源和发电侧资源通过价格竞争, 因此, 电动汽车接入配电网的发电计划模型为

$$\min f_1 = \min \sum_{j=1}^T \sum_{i=1}^N \{ F_j[d_{1j}(i)] + S_j(i) \} U_j(i) + \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^M M_j d_{2j}(i)$$

式中, M_j 为电动汽车充放电价差; $S_j(i)$ 为 i 时刻电源就的启动成本; $U_j(i)$ 为 i 时刻电源就的启用状况; $d_{2j}(i)$ 为电动汽车放电量; $F_j[d_{1j}(i)]$ 为发电燃料成本。

以配电网网损最小为目标函数的分布式电源优化调度模型为

$$\min f_2 = \min(D_{\max,i} - D_{\min,i})$$
$$\min f_3 = \min \text{Ploss}[d_j(i)]$$

式中， $\text{Ploss}[d_j(i)]$ 为配电网网损。

1.3 约束条件

考虑配电网电力平衡约束，即

$$\sum_{i=1}^N d_j(i) U_j(i) = D(i) + \sum_{j=1}^M \Delta D_j(i) \quad i \in T$$
$$\Delta D_j(i) = \sum_{k=1}^T \pi_j(i,k) d_j(i) \quad j \in M$$

分布式电源最大、最小出力约束，即

$$U_j(i) d_{\min,j} \leq d_j(i) \leq d_{\max,j} U_j(i) \quad i \in T, j \in N$$

1.4 粒子群优化算法

将粒子群优化算法应用到电动汽车的控制策略中，通过优化，合理有效地使电动汽车分时段接入到配电网之中，使目标函数最小。本文中的优化变量有 24 个，变量 i 的位置为 $P_i = [P_1, P_2, P_3, \dots, P_{24}]$ 。采用惩罚函数法对约束条件进行处理。

算法的具体实现步骤如下：

- 1) 确定系统的优化调度周期，设定各初始参数值。
- 2) 将群中的各粒子初始化，即将各个单元的出力初始化为其对应的允许范围内的一个随机数。
- 3) 对空间中的粒子进行比较和评价，同时记录粒子的个体最优位置及全局最优位置。
- 4) 依次进行迭代运算。
- 5) 判断各元素是否超出输出功率的限值。
- 6) 判断是否满足迭代终止的条件，若满足则停止，若不满足则返回步骤 3) 继续迭代。
- 7) 计算结束，得电动汽车的最佳优化出力结果。

流程图如图 1 所示。

2 算例分析

2.1 边界条件

某地区占地总面积大约 10 km²，下面管辖 3

个行政村和 9 个独立社区。该地区总人口约达 10 万人。预测其 2030 年电动汽车保有量及其接入配电网后的电力负荷，如图 2 所示。

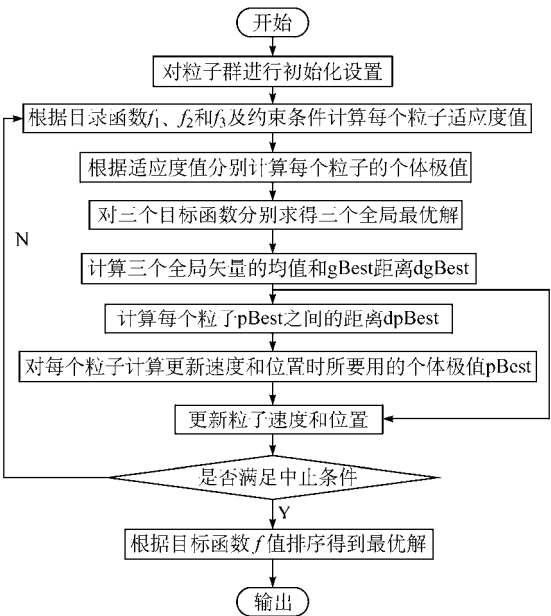


图 1 粒子群优化算法流程图

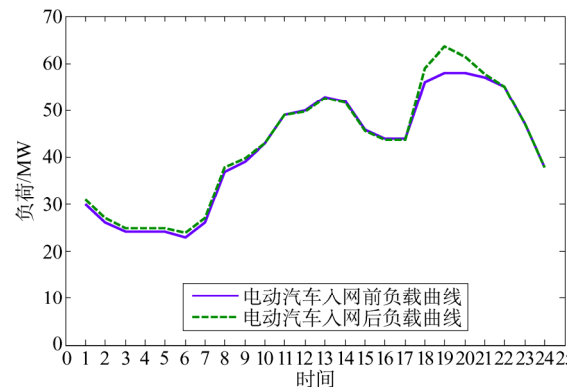


图 2 电动汽车接入前后负荷曲线变化

2.2 计算分析

选取 IEEE 33 节点配电网，构建一个有 2 个光伏电源 U_1 和 U_2 和一个风电电源 U_3 的电力系统，将它们接入如所述的 33 节点配电系统之中，其中节点 10、13 安装有最大出力为 1.2 MW 和 1.7 MW 的光伏电源，节点 17 安装最大出力为 6 MW 的风电电源。同时，将电动汽车两个换电站接入 21、31 节点之中，不同电源的费用和启停状态如表 1 和表 2 所示。

光伏电源一般为不可调电源，其出力在优化调度模型中分为两状态：完全被接受或完全不被

接受。两个光伏电源、风电电源以及电动汽车换电站的优化调度结果如表 3 所示。

表 1 电源特征数据

电源	$P_{\max}$ /MW	$a_i/(\text{元}/\text{MW}\cdot\text{h})$	$b_i/(\text{元}/\text{MW}\cdot\text{h})$	$c_i/(\text{元}/\text{h})$
U_1	1.2	0.384	25.93	34.76
U_2	1.65	0.033	14.30	80.0
U_3	6	0.26	19.78	52.65

表 2 电源起停状态

电源	起停状态
U_1	00000011111111111000000
U_2	000000111111111110000000
U_3	10000001111111111111110

表 3 优化调度结果

时间	风电出力 /MW	光伏电源出力 /MW		电动汽车出力 /MW
	节点 17	节点 10	节点 13	节点 21、31
1	4.48	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	-0.8
4	0	0	0	-0.8
5	0	0	0	-0.8
6	0	0	0	-0.8
7	0	0.01	0.02	-0.8
8	5.58	0.20	0.33	0
9	4.36	0.65	0.99	0
10	4.15	0.82	1.35	0
11	4.82	0.95	1.57	0
12	3.69	0.99	1.65	0
13	3.02	1.2	1.70	0
14	3.38	0.97	1.44	0
15	2.71	0.8	1.32	0
16	2.77	0.47	0.78	0
17	1.83	0.16	0.26	0.8
18	1.83	0.02	0.03	0.8
19	2.07	0	0	0.8
20	3.11	0	0	0.8
21	4.54	0	0	0.8
22	3.02	0	0	0
23	1.86	0	0	0
24	0	0	0	0

同时考虑电动汽车充换电站的储能电池在闲置期间有 80%可以参与电力系统的优化调度，结合配电网的负荷特性指标和运行特性指标的计算方法，分别计算该地区优化调度前后配电网

各项指标进行计算，结果如表 4 所示。

表 4 该地区电力系统优化调度前后指标对比

	最大负 荷/MW	峰谷差 率 (%)	线损 /kW	电压合格 率 (%)
优化前	56.84	45.07	16.03	99.46
优化后	53.97	42.04	10.08	99.62

同时计算电动汽车不参与分布式电源优化调度，只作为负荷，存在于配电网中，得出两种情况下的负荷指标，如表 5 所示。

表 5 两种情况负荷指标对比

	最大负 荷/MW	峰谷差 率 (%)	线损 /kW	电压合格 率 (%)
考虑 EV	53.97	42.04	10.08	99.62
不考虑 EV	54.77	44.48	14.03	99.44

计算得出，优化调度后总的日发电成本为 10.76 万元。节点 10、节点 13 的可再生能源光伏的出力在任意时间内都达到了其预测的最大出力。这是由于光伏发电的运行维护成本极低，因此在发电成本最低原则下，将地区电网中电力公司与发电企业作为整体考虑时，应该最大化利用已经建好的光伏电源。不考虑电动汽车换电站参与调度的总日发电成本为 12.45 万元。

3 结束语

本文将电动汽车这一因其节能环保特性即将被大规模普及和使用的特殊电力负荷作为研究对象，建立联合了分布式电源的优化调度模型。计算得出，电动汽车接入配电网联合分布式电源优化控制，配电网的峰谷差降低，一部分尖峰负荷由高峰时段转移至了低谷时段，使电力负荷曲线“削峰填谷”，更加平滑；同时也提高了配电网的电能质量，使电网运行更加稳定、更加高效。

参考文献

[1] 万路路,王磊,丁昊. 配电网电动汽车优化充电,华东电力[J]. 2011, (12) :2050-2053.
[2] 王健,吴奎华,刘志珍,等. 电动汽车充电对配电网负荷的影响及有序控制研究[J]. 电 (下转第 50 页)

- [2] 张桂芳, 马晓春, 雷欣月. 基于 TMS320C6713 的电能质量监测装置的设计[J]. 电子测量技术, 2010, 33 (2): 83-86.
- [3] 宋鑫. 基于 TMS320F2812 的电能质量监测装置的设计[D]. 太原: 太原理工大学, 2010.
- [4] 刘欣. 基于 DSP 的便携式电能质量监测仪的研究与设计[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2010.
- [5] 潘丰厚. 电网电能质量智能检测及扰动类型识别方法研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2012.
- [6] 李加升. 电力系统谐波间谐波的在线检测[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
- [7] Cataliotti V, Cosentino A. New measurement method for the detection of harmonic sources in power systems based on the approach of the IEEE Std. 1459-2000[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25 (1): 332-340.
- [8] Daniele Gallo, Roberto Langella, Alfredo Testa. Desynchronized processing technique for harmonic and interharmonic analysis[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004.
- [9] 许珉, 张鸿博. 基于 Blackman-harris 窗的加窗 FFT 插值修正算法[J]. 郑州大学学报, 2005, 26 (4): 99-101.
- [10] 朱晓栋, 束洪春. 基于 S 变换的电能质量扰动分析[J]. 云南电力技术, 2009, 37 (4): 15-17.
- [11] Zhao Fengzhan. Power-quality disturbance recognition using S-transform[J]. IEEE Transaction on power delivery, 2007, 22 (2): 944-950.
- [12] Gang Zhang, Xiao Meiyan, Hao Wenli, et al. Classification of sag based on wavelet transform and wavelet neutral network[C]. Proceedings of the Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Shanghai, 2004: 26-29.
- [13] 陈详训. 采用小波技术的几种电能质量扰动的测量、分类方法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22 (10): 1-6.
- [14] 李天云, 陈昌雷, 周博, 等. 奇异值分解和最小二乘支持向量机在电能质量扰动识别中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (34): 124-128.
- [15] 孔英会, 蔡维, 何伟. 基于特征组合的 SVM 电能质量扰动信号分类[J]. 华北电力大学学报, 2010, 37 (4): 72-77.
-
- 作者简介
潘丰厚 (1987-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事工作领域: 电能质量分析。
(收稿日期: 2015-12-10) EA
(编辑: 史海疆)

(上接第 40 页)

- 力自动化设备, 2013, (8): 47-52.
- [3] 鲍谚, 姜久春, 张维戈, 等. 电动汽车移动储能系统模型及控制策略[J]. 电力系统自动化, 2012, (11): 36-38.
- [4] 杨玉青, 苏粟, 姜久春, 等. 改善电网负荷特性的充电站有序充电优化策略[J]. 电力系统保护与控制, 2014, (4): 60-65.
- [5] 田文奇, 和敬涵, 姜久春, 等. 基于自适应变异粒子群算法的电动汽车换电站充电调度多目标优化[J]. 电网技术, 2012, (11): 25-29.
- [6] 葛少云, 黄穆, 刘洪. 电动汽车有序充电的峰谷电价时段优化[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40 (10): 1-6.
- [7] Greening, L. A. Demand response resources: Who is responsible for implementation in a deregulated market? Energy, 2010, 35 (4): 1518-1525.
- [8] Hadi Goudarzi, Safar Hatami, Massoud Pedram. Demand-side load scheduling incentivized by dynamic energy prices. University of Southern California, Los Angeles, CA 90089, 2011: 351-357.
- [9] Shaolei Ren, Student Member, Mihaela van der Schaar. Pricing and distributed power control in wireless relay networks[J]. IEEE Transaction on Signal Processing, 2011, 59 (6): 2913-2917.
-
- 作者简介
高超 (1982-), 男, 大学本科, 工程师, 主要从事工作领域: 变电运维。
(收稿日期: 2015-12-10) EA
(编辑: 史海疆)