

计及环境效益的分布式电源与充电站系统最优化研究

李佳杰 艾永乐

河南理工大学 河南 焦作 454150

[摘要] 本文综合考虑了分布式电源 (DG) 与充电站共同运行时的互相补充与限制, 在充分考虑DG及充电桩带来的环境效益以及供用电双方时序特性的基础上, 以年综合费用最低、系统波动及损耗最小、环境收益最高为目标, 构建了DG与充电站一体化系统优化模型。并用层次分析及模糊综合评价法将多目标函数归一化处理, 并利用改进的粒子群优化算法对模型进行求解。最后, 使用IEEE 33连接点分布系统来验证模型的合理性。

[关键词] DG; 充电桩; 最优规划; 改进粒子群算法

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.08.1429

0 引言

当今世界蓬勃发展、全球化进程不断加快, 现阶段, 在DG与充电站一体化系统的规划研究方面, 主要有以下几类:

一是独立规划DG入网以及充电站系统接入, 未考虑二者之间存在负荷供应与消耗的互补情况, 将二者的位置优化、容量最佳配置进行单独研究。文献^[1]以节能减排和费用最小的优化目标, 采用机会约束的方法对利用秩相关系数矩阵表征风速、光照的风光DG进行了最优寻址研究。文献^[2]构建了以年综合成本最低和DWG连接点电压指标最优的配网规划模型, 并用TSE-PGA算法求解了最优规划方案。二是立足于区域新能源发电以及电动汽车充电负荷需求的实际, 从工程实际应用方面考虑DG与充电站的最优规划。文献^[3]以多目标随机期望最小为目标, 构建了考虑DG及充电站的随机特性的综合模型, 并利用遗传算法对辐射状配网进行了算例分析。综上, 本文展开对DG及充电站一体化系统最优化研究。

1 DG出力及充电负荷特性分析

风电及光伏的出力特性与区域气候有很大关系, 具有较大的波动性和不确定性。本文通过在中国气象数据网上对S市某区的风力及光照强度情况进行了学习研究, 并对得到的数据进行了适当的处理, 得到S市某区风速及光照强度变化数据, 并对其进行了全面分析。

现阶段, S市某区的电动汽车种类较多, 不同车辆的负荷特性有较大差别, 且跟充电时间、功率等因素息息相关, 因此需要针对其不同的特点进行负荷预测。本文采用蒙特卡洛法对S市某区的电动汽车负荷进行预测计算。依据分析得到的所有类型所有车辆的负荷功率曲线, 累加便能够得到该地区所有电动汽车的总负荷功率曲线。则可得, 基于蒙特卡洛法所模拟得到的 S市某区电动汽车日总充电功率曲线如图1所示。

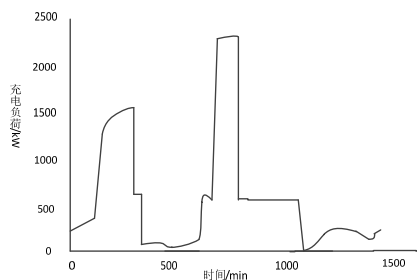


图1 S市某区总电动汽车充电负荷曲线

分析图1可知, 充电负荷时序特征较为明显, 不同时间段充电负荷峰谷差明显, 尤其是随着电动汽车规模的增大, 会

给电网带来一定负荷冲击, 因此, 充电桩的优化配置便显得至关重要, 必须引起电网规划者的重视。

2 模型构建

本文构建以系统年花费最低、系统损耗及波动最小、环境收益最高为目标的DG与充电站一体化系统最优化模型。

(1) 系统年花费:

$$\min f_1 = C_{inv} + C_{om} + C_{buy} \quad (1)$$

式中: C_{inv} 代表年均花费成本; C_{om} 代表年维护费用; C_{buy} 代表年购电成本。综合成本中的各项花费, 如下:

$$C_{inv} = \left(\sum_{i=1}^{n_f} P_{i,f} c_{i,f} + \sum_{j=1}^{n_g} P_{j,g} c_{j,g} \right) \frac{r(r+1)^{n_1}}{(1+r)^{n_1} - 1} + \left[\sum_{k=1}^{n_c} (c_{f,k} + P_{k,c} c_{t,c}) \right] + \frac{r(r+1)^{n_2}}{(1+r)^{n_2} - 1} \quad (2)$$

$$C_{om} = \sum_{m=1}^{N_m} d_m \left[\sum_{s=1}^{N_s} p_s \sum_{t=1}^{24} \left(\sum_{i=1}^{n_f} c_{om,f} P_{i,s,t,f} + \sum_{j=1}^{n_g} c_{om,g} P_{j,s,t,g} \right) \right] + \sum_{k=1}^{n_c} (c_{om,c} P_{k,c}) \quad (3)$$

$$C_{buy} = \sum_{m=1}^{N_m} d_m \left[\sum_{s=1}^{N_s} p_s \sum_{t=1}^{24} \left(\sum_{j=1}^N c_e (P_{i,s,t,L} - P_{i,s,t,f} - P_{i,s,t,g}) \right) \right] \quad (4)$$

式中: n_f 代表风电装设总数, n_g 代表光伏装设总数, n_c 代表充电站装设总数; $P_{i,f}$ 代表第*i*个连接点的风电安装容量; $P_{j,g}$ 代表第*j*个连接点的光伏安装容量; $P_{k,c}$ 第*k*个连接点的充电桩安装容量; r 代表贴现率; n_1 代表DG寿命; n_2 代表充电站寿命; $c_{f,k}$ 的代表充电桩建设费用; $c_{t,c}$ 代表风电均成本; $c_{i,g}$ 代表光伏均成本; $c_{i,f}$ 代表充电站均成本; N_m 代表四季; d_m 代表第*m*个季节的天数; N_s 代表时间段数量; p_s 代表*s*时间段发生的概率; $c_{om,f}$ 代表风电维护费用; $c_{om,g}$ 代表光伏维护费用; $c_{om,c}$ 代表充电站维护费用; $P_{i,s,t,f}$ 代表第*i*个连接点风电在*s*时间段*t*时刻的发电量; $P_{j,s,t,g}$ 代表第*j*个连接点光伏在*s*时间段*t*时的发电量; N 代表连接点总数; $P_{i,s,t,L}$ 代表第*j*个连接点在*s*时间段*t*时的负荷。

(2) 系统损耗及波动:

系统损耗计算公式:

$$W_s = c_e \sum_{m=1}^{N_m} d_m \left[\sum_{s=1}^{N_s} p_s \sum_{t=1}^{24} \left(\sum_{k=1}^L I_k^2(t) R_k \right) \right] \quad (5)$$

式中: L 代表系统支路总数; $I_k(t)$ 代表第*k*条支路*t*时刻的电流; R_k 代表第*k*条支路的电阻。

电压波动计算公式:

$$\Delta u_1 = \frac{1}{8760} \left[\sum_{m=1}^{N_m} d_m \sum_{s=1}^{N_s} p_s \sum_{t=1}^{24} \left(\sum_{i=1}^N |U_i - U_{i,rated}| \right) \right] \quad (6)$$

$$\Delta u_2 = \frac{1}{8760} \left[\sum_{m=1}^{N_m} d_m \sum_{s=1}^N p_s \sum_{t=1}^{24} \left[4(P_s X_{ij} - Q_j R_{ij}) + 4U_i^2 (P_j X_{ij} + Q_j R_{ij}) \right] / U_i^4 \right] \quad (7)$$

$$\min f_2 = w_1 W_s + w_2 \Delta u_1 + w_3 \Delta u_2 \quad (8)$$

式中: Δu_1 代表电压偏差的年平均值; Δu_2 代表支路电压

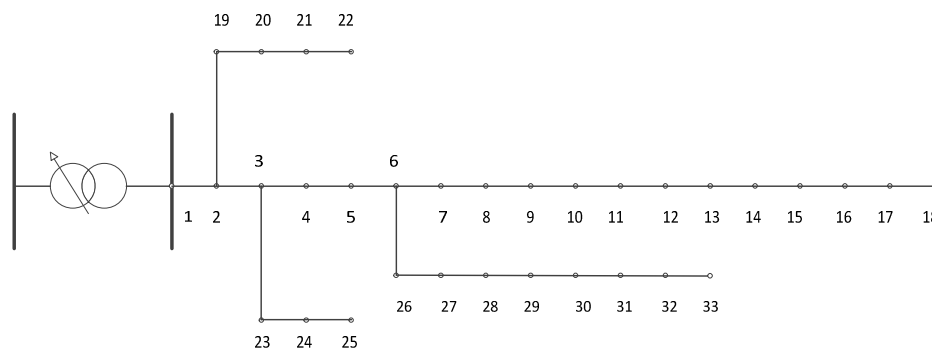


图2 IEEE-33连接点网络图

稳定性指数；N代表连接点数量；M代表负荷点数量； U_i 代表连接点i的电压； $U_{i,rated}$ 代表连接点i的额定电压； P_{ij} 代表支路ij的有功功率； R_{ij} 代表支路ij的电阻； x_{ij} 代表支路ij的感抗； w_1 、 w_2 、 w_3 代表权重值。

(3) 环境收益：本文利用碳排放收益及国家对新能源发电的补贴作为环境收益，如下：

$$\min f_3 = C_{env} + C_b \quad (9)$$

$$P_D = \sum_{m=1}^{N_m} d_m \left[\sum_{s=1}^{N_s} p_s \sum_{t=1}^{24} \left(\sum_{j=1}^N (P_{i,s,t,f} + P_{i,s,t,g}) \right) \right] \quad (10)$$

$$C_{env} = P_D \sum_{k=1}^M a_k (X_k + Y_k) \times 10^{-4} + \sum_{m=1}^{N_m} d_m \left[\sum_{s=1}^{N_s} p_s \sum_{t=1}^{24} \left(\sum_{j=1}^{n_f} \frac{P_{i,s,t,f}}{M_{ev}} \rho \Delta \right) \right] \quad (11)$$

$$C_b = \sum_{m=1}^{N_m} d_m \left[\sum_{s=1}^{N_s} p_s \sum_{t=1}^{24} \left(\sum_{j=1}^{n_f} c_{br,f} P_{i,s,t,f} + \sum_{j=1}^{n_g} c_{br,g} P_{i,s,t,g} \right) \right] \quad (12)$$

式中： C_{env} 代表碳减排收益； C_b 代表国家年补贴费用； P_D 代表风光年总发电量；M代表污染物类别； a_k 代表第k种污染物排放量； X_k 代表第k种污染物环境价值； Y_k 代表第k种污染物处罚价格； $P_{i,s,t,c}$ 代表第i个充电桩s时间段t时刻充电功率； M_c 代表电动汽车百公里耗电量； ρ 代表碳排放交易价格； Δ 代表百公里CO₂排放减少量； $c_{br,f}$ 代表风电国家补贴； $c_{br,g}$ 代表光伏国家补贴。

对三个因素及其下属因素进行分析，本文采用层次分析法对各指标进行归一化处理，将多个优化目标简化为单一目标，如下式：

$$\min f = \lambda_1 f_1 + \lambda_2 f_2 + \lambda_3 f_3 \quad (13)$$

式中： λ_1 、 λ_2 、 λ_3 代表对应影响因素的权重。

在层次分析的基础上，利用模糊综合评价法中的最大隶属度分析来得到各影响因素的最终权重。

3 仿真分析

本文采用模拟退火算法改进的粒子群算法进行求解分析，并选择优化后的IEEE-33连接点系统开展模型分析。电压设置为12.66kV，系统最大承载负荷为6.48+j3.56MW。

其中6、22、30为风力发电可安装位置，全网均可安装光伏发电。风力发电的切入风速、切出风速和额定风速分别为3、18、12.5m/s，维护成本：0.012万元/MW h，国家补贴：0.21元/kWh。光伏光照强度为1000 W/m²，维护成本：0.015万元/MW h，国家补贴：0.16元/kWh。每兆瓦装机的风机和太阳能花费为518.7、491.8万元。选择5、6、11、20、29为充电站位置，建设费用：270万元，平均花费：0.58万元/kW，维

护成本：12万元/MW，购电成本：0.5元/kWh。风光发电及充电站预期寿命为25年，充电站销售电价为1元/kWh，权重分别为 $w=[0.50 \ 0.25 \ 0.25]^T$ ， $\lambda=[0.480 \ 0.353 \ 0.167]^T$ 。假设该区域电动汽车数量为240辆，且分布均匀，电动汽车负荷充电曲线如图1所示。

在改进的粒子群算法中，粒子种群大小为50，速度因子1和速度因子2均取2，惯性因子设置为不小于0.4，不大于0.8。

本文分别对DG与充电站一体化系统综合规划、充电站单独规划以及DG与充电站系统分别独立规划的方案进行仿真分析，求出各方案成本及系统稳定及损耗指标，相较于方案1和3，虽然方案2因为未考虑DG的接入，投资和维护成本较小，但是因为电动汽车充电负荷的接入，支路负荷电流显著增加，因此方案2系统损耗最大为44.3万元、电压波动性也最大为0.15，此外，因为方案2不含DG，全靠从电网系统购电来满足负荷需求，因此购电费用也是最多的，为3369万元，环境收益也最低，为27.9万元且无新能源消纳，最终方案2综合费用为最高。

综上，在区域网络接入充电站时，一定要考虑DG入网的可行性与经济性，对于满足DG入网要求的系统，在进行配电网协调规划时，一定要统筹考虑DG及充电桩系统，这不仅能够降低电网对于火力发电的依赖，同时还能够减少碳排放，提升环境效益；而且DG还能在电动汽车大规模入网充电时，输出负荷，起到降低电压波动性、减少网络损耗，提高电网可靠性的要求。

4 结论

本文统筹分析了DG与充电站特性，并构建一体化系统，既能够降低系统损耗与电压波动性，又可以减少综合成本、提高环境友好度，使得规划方案达到整体最优，更好的提高用户的电动汽车使用热情、促进电动汽车产业的发展，从而减轻社会能源压力、缓解能源危机，达到节能减排的目标。

参考文献

[1] 张沈习, 李珂, 程浩忠, 等. 考虑相关性的间歇性DG选址定容规划[J]. 电力系统自动化, 2015(08): 59-64+146.
 [2] 张新松, 张沈习, 袁越. 含分布式风电源的配电网网架规划[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 040(013): 1-6.
 [3] 吴万禄, 韦钢, 谢丽蓉, 等. 含DG与充电站的配电网协调规划[J]. 电力系统保护与控制, 2016(15): 90-91.