IEEE 33节点配电系统的网络参数如下所示：

IEEE 33节点配电系统共有32个配电变压器，32条支路，其电压等级为12.66kV，功率基准值为100MVA，最大基础负荷为3715+j2300kVA，节点0为平衡节点，其电压为1.05 p.u.，其拓扑结构如图1所示，线路与配变参数如表1所示。

图1 IEEE 33节点配电系统拓扑结构

表1 IEEE 33节点配电系统参数

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 节点*i* | 节点 *j* | 阻抗 (Ω) | 负荷(kVA) | 节点*i* | 节点*j* | 阻抗 (Ω) | 负荷(kVA) |
| 0 | 1 | 0.0922+j0.047 | 100+j60 | 16 | 17 | 0.3720+j0.5740 | 90+j40 |
| 1 | 2 | 0.4930+j0.2511 | 90+j40 | 1 | 18 | 0.1640+j0.1565 | 90+j40 |
| 2 | 3 | 0.3660+j0.1864 | 120+j80 | 18 | 19 | 1.5042+j1.3554 | 90+j40 |
| 3 | 4 | 0.3811+j0.1941 | 60+j30 | 19 | 20 | 0.4095+j0.4784 | 90+j40 |
| 4 | 5 | 0.8190+j0.7070 | 60+j20 | 20 | 21 | 0.7089+j0.9373 | 90+j40 |
| 5 | 6 | 0.1872+j0.6188 | 200+j100 | 2 | 22 | 0.4512+j0.3083 | 90+j50 |
| 6 | 7 | 0.7114+j0.2351 | 200+j100 | 22 | 23 | 0.8980+j0.7091 | 420+j200 |
| 7 | 8 | 1.0300+j0.7400 | 60+j20 | 23 | 24 | 0.8960+j0.7011 | 420+j200 |
| 8 | 9 | 1.0440+j0.7400 | 60+j20 | 5 | 25 | 0.2030+j0.1034 | 60+j25 |
| 9 | 10 | 0.1966+j0.0650 | 45+j30 | 25 | 26 | 0.2842+j0.1447 | 60+j25 |
| 10 | 11 | 0.3744+j0.1238 | 60+j35 | 26 | 27 | 1.0590+j0.9337 | 60+j20 |
| 11 | 12 | 1.4680+j1.1550 | 60+j35 | 27 | 28 | 0.8042+j0.7006 | 120+j70 |
| 12 | 13 | 0.5416+j0.7129 | 120+j80 | 28 | 29 | 0.5075+j0.2585 | 200+j600 |
| 13 | 14 | 0.5910+j0.5260 | 60+j10 | 29 | 30 | 0.9744+j0.9630 | 150+j70 |
| 14 | 15 | 0.7463+j0.5450 | 60+j20 | 30 | 31 | 0.3105+j0.3619 | 210+j100 |
| 15 | 16 | 1.2890+j1.7210 | 60+j20 | 31 | 32 | 0.3410+j0.5362 | 60+j40 |

配电网的基础负荷曲线如图2所示，其中时段1代表00:00-01:00。

本文在IEEE33节点配电系统的基础上接入了1个电源和1个电力零售商，接入位置如图3所示，其中G1代表电力批发市场，其日前基础电价如表2所示，另一方面，为了考虑配电网对上级批发市场出清价格的影响，本文利用一次函数拟合配电网电能计划与批发市场出清价格的关系，其中即为表2所示的基础电价，为功率基准值，为价格敏感系数，本文令其恒为0.00008元/kWh2。



图2 配电网的负荷曲线



图3 IEEE 33节点配电系统结构图

表2 日前电力批发市场基础电价

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时段 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 电价(元/kWh) | 0.4148 | 0.3931 | 0.3875 | 0.3856 | 0.3900 | 0.4062 | 0.4664 | 0.5442 |
| 时段 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 电价(元/kWh) | 0.5836 | 0.5718 | 0.5432 | 0.5324 | 0.5321 | 0.5122 | 0.5066 | 0.5028 |
| 时段 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 电价(元/kWh) | 0.4933 | 0.5168 | 0.5572 | 0.5651 | 0.5442 | 0.5258 | 0.4911 | 0.4278 |

论文将1000个历史电动汽车数据聚类成10类，每类电动汽车的参数如表3所示。零售商平均每天服务的电动汽车数量为50，电动汽车的充放电效率均为0.95，电动汽车电池荷电状态的安全范围为20%至95%，假设电动汽车的期望电量均为95%的电池容量，置信度和均为0.99。

另外，算例中的最大日前购电量为500kWh，零售电价的下限为节点边际电价的0.8倍，零售电价的上限为节点边际电价的1.2倍，零售电价的平均值等于全天节点边际电价的平均值。储能系统的容量为1000kWh，最大充放电功率均为250kW，储能系统的充放电效率均为0.95，储能系统荷电状态的安全范围为20%至95%，在08:00时储能系统的电量为500kWh，最大实时购售电量均为500kWh。

表3 不同类型电动汽车的参数

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 电动汽车类型 | 最大充放电功率  (kW) | 电池容量  (kWh) | 初始电量  (kWh) | 到达时间 | 离开时间 | 频数 |
| EV1 | 6 | 40 | 15 | 17:00 | 次日08:00 | 105 |
| EV2 | 6 | 32 | 16 | 09:00 | 17:00 | 132 |
| EV3 | 3 | 24 | 8 | 18:00 | 次日07:00 | 89 |
| EV4 | 6 | 24 | 12 | 20:00 | 次日06:00 | 97 |
| EV5 | 6 | 40 | 25 | 08:00 | 16:00 | 101 |
| EV6 | 6 | 40 | 16 | 19:00 | 次日07:00 | 175 |
| EV7 | 3 | 24 | 8 | 17:00 | 次日08:00 | 35 |
| EV8 | 10 | 40 | 20 | 09:00 | 17:00 | 88 |
| EV9 | 10 | 40 | 18 | 18:00 | 次日08:00 | 112 |
| EV10 | 10 | 64 | 25 | 18:00 | 次日07:00 | 66 |

假设场景生成和场景削减得到了10个实时节点边界电价场景，每个场景的电价曲线与概率如图4所示。



图4 实时节点边际电价场景与概率

考虑电动汽车慢充场景，即认为电动汽车的单位效用均为1元/kWh，而对时序不敏感。论文以第9个时段为仿真起点，对24个时间断面进行仿真，即仿真时间为08:00至次日08:00。