模型：





为负荷在时刻的值；为置信水平；为风电预测值；为并入电网的风电值；为比例系数。

目标函数：





、和分别对应火电机组煤耗量系数；为火电机组出力值；为火电机组的启停成本；为火电机组的启停状态。





为碳交易价格；为碳排放量区间长度；增长幅度。



为系统总的碳排放配额；为单位电量排放分配系数



式中：为一个周期内系统碳排放总量；为火电机组的碳排放强度。

约束条件

（1）功率平衡约束：



（2）新能源出力约束：



为风电厂出力上限；为光伏电站出力上限，为火电机组总出力下限值。

（3）常规水电机组约束：



（4）火电机组约束

①火电机组出力约束：

②火电机组爬坡约束：

、分别为火电机组增减负荷时的速率上下限；

③火电机组最小启停时间约束：



（5）储能约束





式中：储电量；自损率；充电效率；放电效率；和分别为充放电状态；和为容量上下限；充电功率最大值；放电功率最大值。

（6）旋转备用约束：



相关数据：

模糊参数w

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 模糊参数 |  |  |  |
| 风电出力 | 0.6 | 1 | 1.4 |
| 光伏出力 | 0.5 | 1 | 1.5 |
| 负荷 | 0.9 | 1 | 1.1 |

火电机组数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机组 |  |  |  |  |  | / |  |  |  |  |  |
| 1 | 230 | 460 | 240 | 8 | 8 | 1.02 | 0.277 | 9.2 | 25.6 | 0.877 | 0.94 |
| 2 | 200 | 400 | 210 | 7 | 7 | 1.21 | 0.288 | 8.8 | 22.3 | 0.877 | 0.94 |
| 3 | 150 | 350 | 150 | 6 | 6 | 2.17 | 0.29 | 7.2 | 16.2 | 0.877 | 0.94 |
| 4 | 120 | 300 | 120 | 4 | 4 | 3.42 | 0.292 | 5.2 | 12.3 | 0.877 | 0.94 |
| 5 | 70 | 150 | 70 | 3 | 3 | 6.63 | 0.306 | 3.5 | 4.6 | 0.979 | 1.03 |

储能数据

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 储能容量/（MWh） | 储能充放电最大/MW | 储能容量上限 | 储能容量下限 | 自放电率 | 储能充放电效率 |
| 400 | 100 | 0.9 | 0.2 | 0.01 | 0.95 |

总容量为300MW风电厂、总容量为50MW光伏电站和280MW的水电站

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时段 | 风电出力/MW | 光伏出力  /MW | 负荷/MW | 时段 | 风电出力/MW | 光伏出力  /MW | 负荷/MW |
| 1 | 188 | 0 | 945 | 13 | 52 | 42 | 1397 |
| 2 | 237 | 0 | 845 | 14 | 80 | 41.6 | 1297 |
| 3 | 188 | 0 | 745 | 15 | 82 | 40.5 | 1197 |
| 4 | 181 | 0 | 780 | 16 | 107 | 41.2 | 1048 |
| 5 | 204 | 0 | 998 | 17 | 144 | 36.5 | 1000 |
| 6 | 156 | 2.2 | 1095 | 18 | 185 | 28 | 1100 |
| 7 | 174 | 5.5 | 1147 | 19 | 163 | 16 | 1202 |
| 8 | 186 | 17 | 1199 | 20 | 221 | 6.6 | 1375 |
| 9 | 118 | 28.6 | 1300 | 21 | 215 | 1.1 | 1298 |
| 10 | 89 | 32 | 1397 | 22 | 240 | 0 | 1101 |
| 11 | 77 | 39 | 1449 | 23 | 223 | 0 | 900 |
| 12 | 54 | 42.6 | 1498 | 24 | 190 | 0 | 800 |

阶梯型中：设定碳交易价格；碳排放量区间长度；碳交易价格的增长幅度。