课程设计：低碳电力系统的调度与规划

电 25 吴晨聪 2022010311

# 任务一: 低碳电力调度

以发电成本最低为目标来进行优化调度，并依据冬夏的两个典型负荷曲线安排各类能源的出力，不考虑机组的组合，则建立的模型为：

Objective:

Constraints:

其中：

表示四种电源冬季和夏季发的总功率除以总容量的值（表示电源种类: 1为火电，2为水电，3为风电，4为光伏）;

表示三种能源的单位功率电价;

和分别表示夏季和冬季某一时刻的负载有功需求（表示时间段: 1-96）;

表示第种能源的装机容量;

和分别表示第类能源在时刻在冬季或夏季的出力的标幺值;

，，，四个量表示第类能源在冬夏任一时刻出力的上下限;

为第个机组出力标幺值;

表示机组上下爬坡速率。

根据以上模型得到的夏季-总发电成本为：87980114.95元，夏季-碳排放总量为：127.11万吨; 冬季-总发电成本为：69504427.02元，冬季-碳排放总量为：90.57万吨，各类电源出力结果如图1所示，具体代码见“Task1.m”：

一張含有 文字, 圖表, 行, 繪圖 的圖片

自動產生的描述 一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 繪圖, 圖表 的圖片

自動產生的描述

图1 任务一: 低碳电力调度约束下各类电源的各自出力曲线(左)和累积出力曲线(右)

其中各机组的出力都接近最大限制，可见当前的发电容量已经几乎被充分利用了。

# 任务二: 低碳电力规划

设定一年365天中，有185天的负荷、新能源出力如任务1中给出的冬季典型日所示，其余180天如任务1中给出的夏季典型日所示。

则任务一得到的优化结果所产生的年总碳排放量为:

超出了要求的1亿吨的要求。而且由于水电和风电都已经在限定的条件下以最大的额度运行了，没有剩下的清洁电源可以用来替代火电。所以仅在当前的机组条件下无法实现碳达峰，需要建设更多的清洁电源，故要考虑水电、新能源以及核电机组的建设。建立的优化模型如下：

Objective:

Constraints:

对新增的变量及约束进行补充:

目标函数增加了=5 即核电的部分以及建设成本;

表示第i种能源的第m个机组的建设成本;

表示加上新建的机组以后，第种能源的总装机容量;

和是0-1变量，用来表示冬天或夏天，在 j 时刻时，能源是否工作（对于火电而言即是否有出力，对于核电而言是是否投入运作，而对于水电而言，这一项可以全为1）;

表示新建风电和光电机组的上限为60台;

E和e分别是总碳排放量以及火电碳排放强度，用来表述碳达峰约束。

所考虑优化模型相对于任务一最大的改变就是加入了碳达峰的要求，由于这里将碳达峰作为约束条件而非在目标函数上增加惩罚因子，所以通过理论分析可知必须要加入新的新能源机组才能保证在减小火电出力的同时还能保证有足够的功率满足负载需求。因而加入了一些变量来表示是否建设该电源。

此外对基础的约束条件还做了一些更细致的考虑，比如火电机组可以工作在最小和最大出力区间，同时也可以不出力；运行时火电和水电还要能留有负载10%的正负容量。这样求出来的结果也更加准确。

最终得到的总成本（发电成本加建设成本）为：47680401413.08元，碳排放总量为：9964.39万，新建了风电机组10台，光伏机组0台，各类电厂出力结果如图2所示，具体代码见“Task2.m”：

一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 圖表, 繪圖 的圖片

自動產生的描述

图2 任务二: 低碳电力规划约束下各类电源的累积出力曲线

# 探究：电力系统低碳转型的挑战

在本任務中，负荷保持现有曲线的形状不变，但增大负荷峰值原來的兩倍，同時滿足以下要求: 增大可再生能源的装机容量（光伏新增>风电新增>>水电新增容量），使得新能源（风光）装机容量占发电侧总装机容量的50%以上，限制风电和光伏机组的建设上限为120台。

最终得到的总成本（发电成本加建设成本）为：总发电成本为：227447802826.17元，其中建设成本为：191875000000.00元，碳排放总量为：9998.59万吨，风光的新装机容量分别为：4620.00万千瓦，4680.00万千瓦，新建了风电机组77台，光伏机组52台，各类电厂出力结果如图3所示，具体代码见“Task3\_1.m”：

一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 圖表, 繪圖 的圖片

自動產生的描述

图3 任务三: 调整电源结构下各类电源的累积出力曲线

而对于高比例新能源的接入，可以对其规划成储能，增加系统的灵活调节能力。

假定储能最大功率为2000万千瓦， 储能的最大能量为8000万千瓦时，建立的优化模型在任务二上加入以下约束：给定初始容量为最大容量的50%，一天结束时储存的能量和开始时相同，储存的能量不得少于最大容量的10%或起过最大容量的90%，

最终得到的总成本（发电成本加建设成本）为：总发电成本为：227447802826.17元，其中建设成本为：191875000000.00元，碳排放总量为：9998.59万吨，风光的新装机容量分别为：4620.00万千瓦，4680.00万千瓦，新建了风电机组77台，光伏机组52台，

各类电厂出力结果如图4所示，具体代码见“Task3\_2.m”：

一張含有 文字, 螢幕擷取畫面, 圖表, 平面設計 的圖片

自動產生的描述

图4 任务三: 调整电源结构并加入储能下各类电源的累积出力曲线

有意思的是，在加入储能后，总成本、碳排放总量风光的新装机容量和加入储能前完全一致，但总出力曲线上可以看出，储能有明显的削峰填谷现象，说明系统的灵活调节能力有了很大的提高。

# 思考分析

对于电源的优化策略，首先在任务一中可以看到现有的能源能基本满足负载需求。此时的碳排放已经达到了理论最小值但仍然大于标准，因而需要增加清洁能源的装机容量。

从这样的分析结果出发，在设计未来的能源结构时，首先考虑的是利用小时数最高的核电。理论上核电利用率高说明其发电成本相对较低，此外核电装机容量也高所以可以有效地承担一部分负载，不建造核电时，几乎需要建造所有的代建风电和水电才能够同时满足负载和碳排放的要求，而这这样会使得建造的成本大大增加。经过建模计算也得出一致的结果，建造核电比不建造核电在同样满足碳排放和负载限制的条件下，节省了约300亿元，因而建造核电在经济性前提下是必要的。

但是核电并非可灵活调节的能源，若要保有一部分灵活调整的容量，还需建立更多的水电（这里不考虑火电因为出于碳达峰的要求，火电的总出力应该在现有的基础上减少，所以无需再建造新的火电厂）；此外，风电和光伏虽然容量不高，但运行成本低，有助于整体的经济性。