

综合能源系统规划报告

肖锦松

 xiaoojs20@gmail.com

2023 年 12 月 31 日

目录

1 区域综合能源系统标准化建模	1
1.1 学生区	1
1.2 教学办公区	2
1.3 教工区	3
1.4 标准化建模	3
2 规划优化问题	4
2.1 目标函数	4
2.2 约束条件	4

1 区域综合能源系统标准化建模

定义节点的端口序号时，采用输入在前输出在后，内部按电气热冷的顺序。定义支路序号时，按照电气热冷的顺序。

1.1 学生区

学生区综合能源系统拓扑图如下

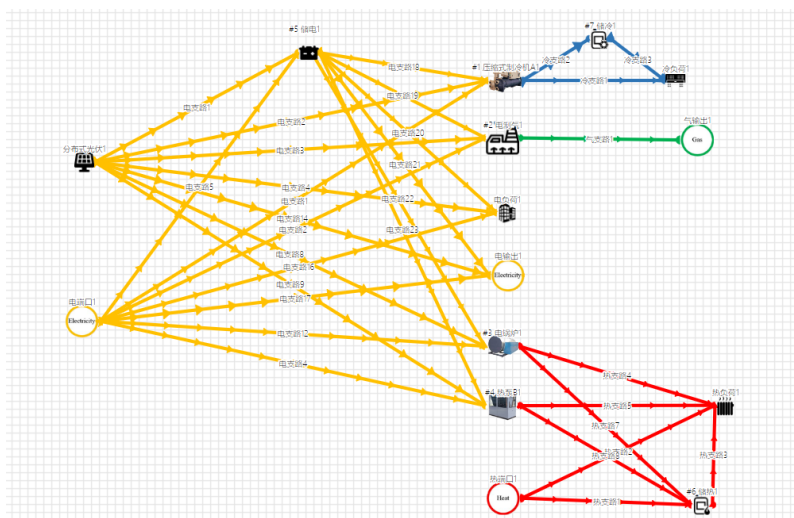


Fig. 1: 学生区综合能源系统拓扑图

在建模中, 能源的输入和输出统一分别建模为节点, 因此, 学生区 MES 一共有 7 个节点。电支路 1-4 为电输入到#1-#4, 电支路 5 为电输入到输出, 电支路 6 为电输入到储电, 电支路 7-10 为储电到#1-#4, 电支路 11 为储电到电输出; 气支路 1 为#2 到气输出; 热支路 1-3 为热输入到热输出和经储热到热输出, 热支路 4-5 和 6-7 则为#3 和#4 相同的支路; 冷支路 1-3 为#1 到冷输出以及经过储冷到冷输出的三角支路。

1.2 教学办公区

教学办公区综合能源系统拓扑图如下

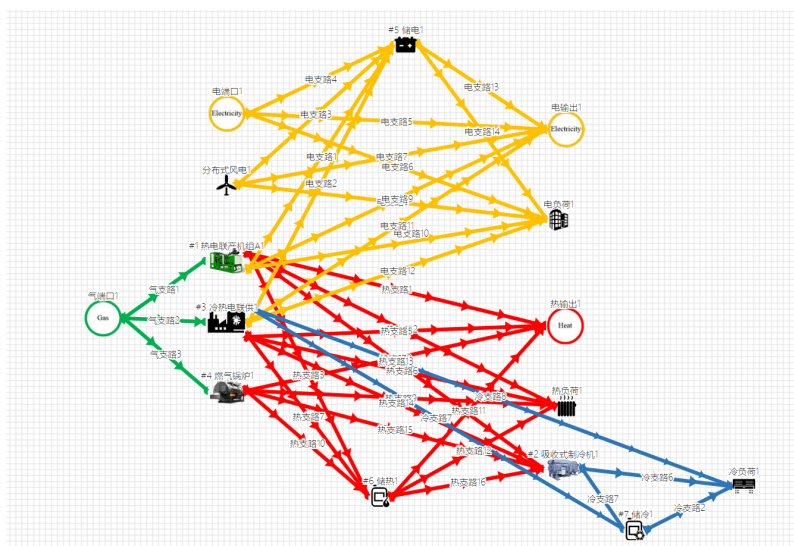


Fig. 2: 教学办公区综合能源系统拓扑图

教学办公 MES 一共有 7 个节点。电支路 1-2 为电输入到电输出和储电, 电支路 3-6 同理为 #1 和 #3 到储电、电输出支路, 电支路 7 为储电到电输出; 气支路 1-3 为气输入到 #1、#3、#4;

热支路 1-3 为#1 到#2 的三角支路，热支路 4-5 为#1 到热输出和储能到热输出，热支路 6-8, 9-11 同理为#3#4 到热输出，#2 和储热；冷支路 1-3 为#2 到冷输出以及经过储冷到冷输出，冷支路 4-5 为#3 到冷输出和储冷。

1.3 教工区

教工区综合能源系统拓扑图如下

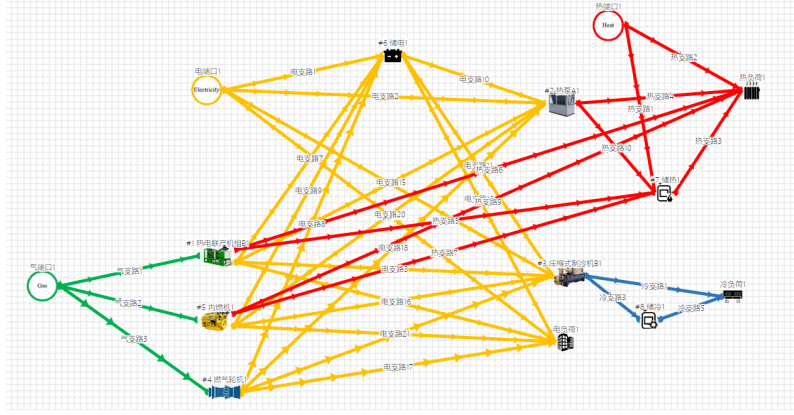


Fig. 3: 教工区综合能源系统拓扑图

教工区 MES 一共有 8 个节点。电支路 1-3 为电输入到电输出,#2, #3, 电支路 4 为电输入到储能, 电支路 5-8, 9-12, 13-16 分别为#1, #4, #5 出发的同样 4 条支路, 电支路 17-19 为储电到电输出, #2, #3; 气支路 1-3 为气输入到#1,#4,#5; 热支路 1-3 为热输入到热输出以及经过储热到热输出, 热支路 4-5, 6-7 同理为#1, #5 出发到热输出和储热的支路; 冷支路 1-3 为#3 到冷输出以及经过储冷到冷输出。

1.4 标准化建模

利用上述拓扑图列写出节点表和支路表, 以此进行标准化建模, 得到 3 个分区分别的标准模型.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} V = \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_{out} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$V_{out} = \begin{bmatrix} C_{in} & C_{out} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{in} \\ V_F \end{bmatrix}$$

3 个分区均有储电、储热、储冷 3 种储能形式, 因此需要做出一些变化。

首先考虑 3 条新增的虚拟支路 \dot{E} , 考虑不带储能的节点能量转换特性矩阵 Z 和仅考虑储能的矩阵 Z'_g , 有以下关系:

$$Z'_g V' = \begin{bmatrix} Z' & -I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ \dot{E} \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & Y \\ -I & 0 & X \\ 0 & -I & Z' \\ 0 & 0 & Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{in} \\ \dot{E} \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{out} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{0} & Y \\ -I & X' \\ \mathbf{0} & Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V'_{in} \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{out} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

后续的计算都按照 X' 和 V'_{in} 进行计算!

2 规划优化问题

2.1 目标函数

目标函数如下, 即总成本最低, 包括建设成本的等年值折算成本, 校园全年的运行成本与碳排放惩罚系数.

$$C^{total} = C^{CAP} + C^{OP} + C^{Carbon}$$

C^{CAP} 等年值建设成本, 其中 i 为贴现率, 取值 4%, Y^{type} 为设备使用年限

$$C^{CAP,type} = \frac{i}{1 - (1 + i)^{-Y^{type}}} C^{INV,type}$$

$$C^{CAP} = \sum_{type} C^{CAP,type}$$

C_{OP} 为运行成本, 由电价, 气价与失负荷价格组成, 其中失负荷惩罚为 500000/MWh.

$$C_{OP} = C_{ele} + C_{gas} + C_{unmet}$$

C^{Carbon} 为碳排放成本, 碳排放上限为 30 万 tCO₂/年,

$$C^{Carbon} = 200(\text{Carbon} - 30), \text{ if Carbon} > 30, \text{ else } 0$$

2.2 约束条件

- a) 分区能源枢纽支路功率约束, 即 V_B, V_F
- b) 负荷约束
- c) 储能约束
- d) 母线平衡约束
- e) 碳排放约束

分区能源枢纽支路功率约束

能量枢纽标准建模的约束

$$\begin{aligned} V_{F \min} &\leq V_F \leq V_{F \max} \\ V_{B \min} &\leq V_B \leq V_{B \max} \\ V_B &= -Q_B^{-1} Q_F V_F - Q_B^{-1} R V_{in} \\ V_{out} &= -Y_B Q_B^{-1} R V_{in} + (Y_F - Y_B Q_B^{-1} Q_F) V_F \end{aligned}$$

负荷约束

能量枢纽中产生的能量一部分用于负荷，一部分用于上网，负荷部分小于等于负荷需求，部分能量没有上网设为 0.

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_{load} + V_{grid} \\ V_{load} &\leq \text{load} \\ V_{grid_i} &= 0 \end{aligned}$$

储能约束

储能需要有日平衡，即一天之内第一小时和最后一小时 SOC 相等，不同日之间则无关系。

$$\begin{aligned} 0 &\leq E_t \leq E_{max} \\ E_{t+1} &= E_t + \dot{E}_t \\ (t &= 0, \dots, 23) \\ E_1 &= E_{24} + \dot{E}_{24} \end{aligned}$$

母线平衡约束

三类能量的母线平衡

$$P_{in} = P_{out}$$

碳排放约束

碳排放超过 10 万 t CO₂ 则超限：

$$\begin{aligned} CO_{2\text{over}} &\geq 0 \\ CO_{2\text{over}} &\geq CO_2 - CO_{2\max} \end{aligned}$$