**低碳电力技术基础**

**课程设计任务书**

题目：低碳电力系统的调度与规划

2024年秋季学期

# 一、课程设计简介

为了兼顾负荷增长需求和2030碳达峰要求，电力系统的调度面临着空前的困难，首先可再生能源出力的波动使得净负荷的波动更加剧烈，其次碳排放的限制使得可调度资源的调度能力受到限制，从而加剧了系统调度的难度。为了强化同学们对低碳电力系统的认识，提高同学们分析和解决实际问题的能力，布置本次课程设计任务。

在本次课程设计中，给出了某一地区电网2030年的负荷预测情况、现有机组及待建电源情况。请同学们首先完成低碳经济调度，面向该电网未来的运行**制定调度计划**。基于调度模型，在给定的建设范围内，**考虑电源发展建设方案**，实现该电网的低碳转型并兼顾经济成本。

具体地，请同学们依据本课程所学，结合电力系统相关理论方法，编写程序求解各任务给出的优化问题。优化求解可采用作业2中给出的MATLAB + yalmip + Gurobi方案，也可自行选择熟悉的平台与求解器。编程可基于作业2给出的例程修改、完善实现。

**完成课程设计的过程中如有困难或问题请及时联系助教。**

# 二、任务说明

本次课程设计包含三个任务，其中前两个任务即低碳电力调度、低碳电力规划**请严格按照任务书要求完成**，在完成任务书要求的基础上可以进行深入探索。第三个任务电力系统低碳转型的挑战为开放性探究题，任务书仅描述整体的探究方向，对具体细节不做要求，鼓励同学们结合所学知识充分发挥。

## 1. 低碳电力调度

**目标：建立低碳经济调度模型，完成该电网冬夏两个典型日的调度计划。**

**已知条件如下：**

（1）该电网2030年最大负荷预测为2400万千瓦，冬、夏两个典型日的负荷曲线详见附件“load\_and\_renewable.mat”中的load\_winter和load\_summer变量（96点行向量，对应0:00-23:45每15min的负荷，单位：万千瓦）。

（2）该电网2030年已建电源情况如表1所示。

表1 已建电源列表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 电厂名称 | 容量（万千瓦） | 年最大利用小时数（小时） |
| **1. 水电装机** | **600** | 3000 |
| HP-A | 50 |
| HP-B | 120 |
| HP-C | 120 |
| HP-D | 80 |
| HP-E | 130 |
| HP-F | 100 |
| **2. 火电装机** | **2120** | 6200 |
| TP-A1 | 200 |
| TP-A2 | 200 |
| TP-A3 | 200 |
| TP-B1 | 170 |
| TP-B2 | 170 |
| TP-B3 | 170 |
| TP-C1 | 150 |
| TP-C2 | 150 |
| TP-D1 | 130 |
| TP-D2 | 130 |
| TP-D3 | 130 |
| TP-E1 | 100 |
| TP-E2 | 100 |
| TP-F1 | 60 |
| TP-F1 | 60 |
| **3. 新能源装机** | **400** | 2000 |
| WP（风电） | 160 |
| SP（光伏） | 240 |
| **4. 总装机** | **3120** |  |

（3）不同类型电源的单位发电成本为定值，如表2所示。

表2 不同发电类型的单位发电成本

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 发电类型 | 火电 | 水电 | 风电 | 光伏 | 核电 |
| 单位发电成本（元/kWh） | 0.20 | 0.10 | 0.04 | 0.03 | 0.15 |

因此，机组发电总成本为其发电量乘以单位发电成本。

（4）风电、光伏在冬、夏典型日的出力曲线详见附件“load\_and\_renewable.mat”中的windRatio\_winter、solarRatio\_winter以及windRatio\_summer、solarRatio\_summer，这些变量均为96点行向量，对应0:00-23:45每15min的新能源最大出力占装机容量的比例。

**模型构建要求如下：**

（1）**目标函数：系统总运行成本最小化**。运行成本至少要包括各类电源的发电成本，可自行决定是否包含碳排放成本，相关参数如下：

a. 火电碳排放强度统一取为，其他电源的碳排放取0；

b. 若涉及碳价，则可取为；

（2）**系统功率平衡约束**：各时段（96点）机组出力总和等于系统负荷。注意，本次课程设计不考虑系统的网络拓扑，即可以认为所有电源、负荷均处于同一节点。

（3）**机组出力约束**：火电机组的出力范围为其额定容量的50%~100%；水电出力最小为0，夏季（丰水期）最大出力可达装机容量的100%，冬季（枯水期）最大出力只能达到装机容量的60%；风电、光伏的最小出力为0，最大出力为预测值即wind/solarRatio乘以其装机容量。

（4）**机组爬坡约束**：火电机组上下爬坡速率均为20%额定容量/h，水电机组的上下爬坡速率均为50%额定容量/h，新能源机组不受爬坡速率限制。注意，爬坡约束可能导致调度无解，请自行比较有无爬坡约束的结果差异，并在最终报告中加以呈现！

**其他说明：**

（1）低碳电力调度任务**不要求考虑机组组合**。但需要注意，由于系统装机充裕且火电机组存在最小出力限制，全部开机可能导致调度无解，此时可以手动设置机组的启停状态并完成调度安排。

（2）若考虑机组组合，则不考虑水电机组的启停机约束，火电机组的最小开停机时间认为是相同的，建议按下表约束：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 火电机组容量（MW） | 100及以下 | 100-200 | 200及以上 |
| 最小开停机时间（h） | 3 | 6 | 12 |

启停机成本可自行决定是否考虑，若考虑请查阅资料选取合适的数值，并在报告中注明数据来源或依据（不得使用作业2中的示例参数）。

## 2. 低碳电力规划

**目标：在调度模型的基础上设计电源发展方案，以满足碳达峰要求下的碳排放约束并兼顾经济成本。**

**已知条件如下：**

（1）该电网2030年的用电量预测为1500亿千瓦时，碳达峰目标要求电力碳排放不超过1亿。

（2）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。

（3）该电网可供选择的待建电源情况如表3所示（所有待建电源可在2030年投运）。

表3 待选电源列表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 电厂名称 | 容量（万千瓦） | 年最大利用小时数（小时） | 建设投资  （亿元） |
| **1. 水电装机** |  | 3000 |  |
| HP-0A | 50 | 25 |
| HP-0B | 200 | 200 |
| HP-0C | 200 | 220 |
| HP-0D | 150 | 180 |
| HP-0E | 100 | 80 |
| **2. 火电装机** |  | 6200 |  |
| TP-0A | 160 | 50 |
| TP-0B | 110 | 40 |
| TP-0C | 160 | 55 |
| TP-0D | 70 | 20 |
| TP-0E | 70 | 20 |
| TP-0F | 200 | 80 |
| TP-0G | 70 | 25 |
| TP-0H | 70 | 25 |
| TP-0I | 160 | 60 |
| TP-0J | 160 | 60 |
| **3. 新能源装机** |  | 2000 |  |
| WP-0（风电） | 60 | 40 |
| SP-0（光伏） | 90 | 80 |
| 注意：可建设任意数量的上述新能源机组，即有WP-0~WP-n以及SP-0~SP-n可选，参数同上 | | | |
| **4. 核电装机** |  | 8000 |  |
| NP-0 | 130 | 130 |

**电源规划要求如下：**

（1）建议建立优化模型完成电源规划，但也允许手动挑选电源完成规划，规划方案应当满足：

a. 系统电力平衡：电源出力最大值能够满足负荷峰值；

b. 系统电量平衡：电源年发电量能够满足系统年用电量要求；

c. 低碳目标约束：年度电力碳排放不得超过碳达峰目标。

（2）在计算电力碳排放时，应当在电源规划方案的基础上，完成365天的经济调度（即冬季典型日×185+夏季典型日×180），根据调度结果完成计算。

（3）电源规划方案应当兼顾经济性要求，在满足（1）中三条约束的同时，尽量降低系统总成本，包括运行成本（365天的经济调度）和投资成本（电源建设成本）。注意，此处并不提供机组运行寿命、折现率等参数，若要使用请自行查阅资料，并在报告中注明数据来源或依据。

（4）其他约束：

a. 核电一经投产，出力不得低于装机容量的90%，并假设不得停机；

b. 该电网的电力电量平衡不考虑外来电力输送、或者电力外送；

c. 各类型机组均应满足年度最大可用发电量约束（发电量不超过装机容量与最大利用小时数的乘积）。

## 3. 探究：电力系统低碳转型的挑战

**目标：在任务1和2的基础上，进一步考虑2060碳中和场景下，电力系统将面临什么样的挑战（主要从系统调度和规划的角度分析）？**

**探究方向：**

**（1）调整电源结构：**考虑负荷的增长，保持现有负荷曲线的形状不变，增大负荷峰值（相当于负荷曲线比例缩放）。电源装机容量同步增大，但基本保持火电、核电装机不变，主要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。新增装机的参数（如出力范围、爬坡速率等）可沿用现有同类型机组参数，调整后的系统应当满足电力电量平衡约束。

**（2）检验调度的可行性：**在上述电源结构下，求解冬夏两个典型日的调度问题，经济调度是否仍然有解？若调度有解，请分析你所设定的系统发用电结构下，碳排放情况如何，经济成本（投资+运行成本）如何？

**（3）灵活调节资源的作用：**高比例新能源给系统的调节能力带来的巨大的挑战，在新增装机主要为新能源的情况下，传统火电机组提供的调节能力愈发无法熨平源荷时空分布的不平衡性。请自行查阅资料，在调度模型中对**需求响应、储能电站**等一种或几种灵活调节资源加以建模，探究这些资源会给传统的电力系统调度带来什么影响？若在电力规划中加以考虑，又会给规划方案带来什么改变？请从经济性、环保性等方面分析。

# 三、设计成果要求

请在网络学堂作业窗口打包上交以下材料：

**（1）课程设计报告PDF；**

**（2）课程设计代码（打包）。**

**课设报告为课程设计评分的主要依据，请各位同学务必认真撰写！**

课设报告应清晰呈现3个任务的**关键结果**：

任务1：冬夏两个典型日的调度计划，选择合适的图型呈现各机组的96点出力曲线，并展示关键数据如系统总运行成本、电力碳排放情况等；

任务2：电源规划方案，以及该方案下的冬夏典型日调度计划；

任务3：各步骤的关键结果，例如系统发用电参数的设定、高比例新能源下的调度结果（或调度不可行的分析）等。

**一些建议：**

（1）若采用优化模型求解完成相应任务，则报告中应当呈现所用优化模型的完成数学表达式。

（2）**不建议在报告正文中贴上大量代码，更不能用代码代替模型公式。**另外，介绍模型公式的时候，一定要写清楚每个公式的含义，并且适当地对公式中涉及到的符号进行说明。

（3）展示调度结果的时候，以宏观上各电源类型的发电出力曲线折线图或堆叠图为宜，如有需要也可以关注到具体某个机组的出力曲线，**应避免绘制大量折线叠加在同一图中。**

（4）除对于关键结果的呈现外，报告宜展现同学们在完成课程设计过程中的思考，对所得结果**进行必要的讨论分析**。

（5）请注意参数单位的转换，例如所给负荷、新能源曲线均为一日96点，单点对应15分钟（0.25h），而机组发电成本、爬坡速率、最小开停机时间等都是h相关的单位。