

《能源转化原理》

课程设计任务书



姓 名: _____
学 号: _____
学 院: 能源与动力工程学院
专 业: 储能科学与工程
年 级: _____
小 组: _____
指导教师: 马川、杨仲卿

202x 年 xx 月

目录

一、系统框图	2
二、负荷、风和光功率曲线	2
2.1 用电负荷	2
2.2 光伏组件选择	3
2.3 风电机组选择	6
2.4 电池参数选型	11
2.5 逆变器参数选型	12
三、数学模型	12
3.1 风机、光机组容量配置	12
3.2 电池存储容量配置	13
四、结果	14
4.1 风机、光伏数量、蓄电池数量设计	14
4.2 经济性分析	17
4.3 环境效益	19
4.4 结果分析	19
4.5 结语	20
附录 A	21
附录 A.1 光伏发电相关参数	21
附录 A.2 风力发电相关参数	22
附录 A.3 电池参数	23
附录 A.4 逆变器参数	24
附录 B MATLAB 编程代码	25
B.1 风能利用系数与叶尖速比关系	25
B.2 风机光伏数量	25

一、系统框图

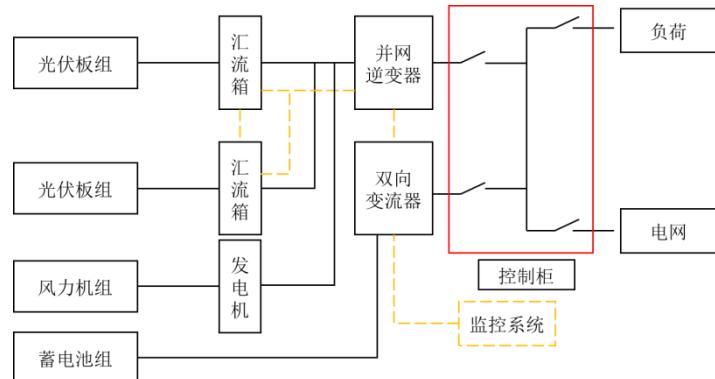


图 1 风光互补发电系统

二、负荷、风和光功率曲线

2.1 用电负荷

某地区十月份典型日负荷如图 2 所示，其中十月份最大日负荷 483.6kW，最小日负荷 273kW。

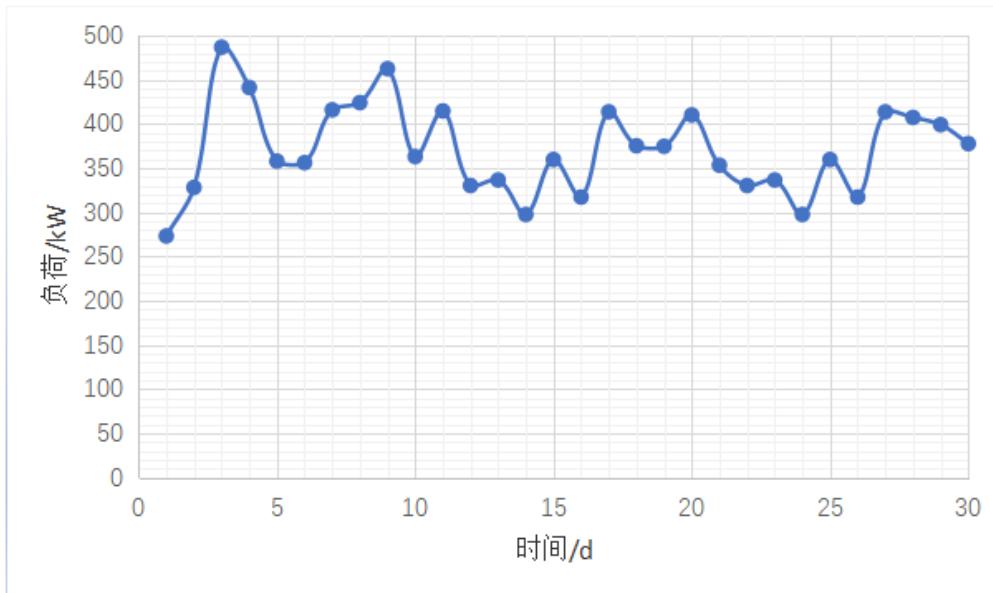


图 2 十月份用电负荷

2.2 光伏组件选择

2.2.1 光照强度

通过 Meteonorm 获取某地十月份的总水平辐照度 GHI 和环境温度，如图 3 所示。

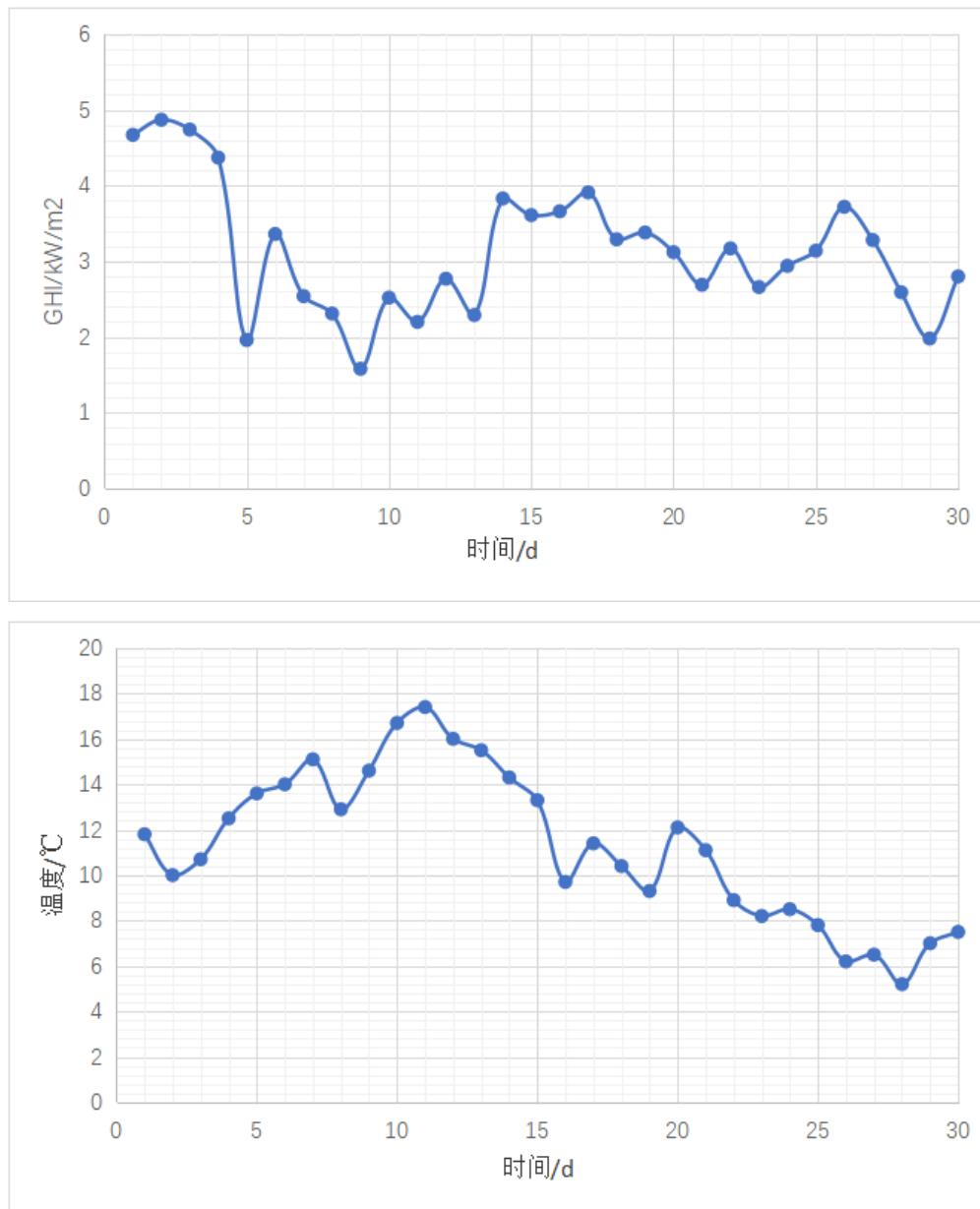


图 3 十月份每日总水平辐照度和环境温度

2.2.2. 光伏组件的选择设计方法

光伏额定功率定义

$$Y_{pv} = G_{T,STC} \times A \times \eta_{mp,STC} \quad (1)$$

$G_{T,STC}$ 为光伏板标准测试条件下光照强度, A 为光伏板面积, $\eta_{mp,STC}$ 为标准温度下光伏阵列额定输出效率。

$$\eta_{mp} = \eta_{mp,STC} (1 + \alpha_p (T - 25)) \quad (2)$$

$$f = f_{PV} * \frac{\eta_{mp}}{\eta_{mp,STC}} \quad (3)$$

$$P_{PV} = f Y_{PV} \frac{G_T}{G_{T,STC}} \quad (4)$$

式(2)、式(3)分别为不同温度下的转换效率 η_{mp} 、光伏降额因子 f , 降额因子通常由于温度和诸如面板污染、布线损耗、遮阳、积雪覆盖、老化等因素造成, 见表 1.1 和表 1.2。选用了同一厂商的 744W 和 1488W 光伏板进行对比, 通过式(4)可求出单个 744W 和 1488W 光伏发电功率 P_{PV} , 其结果见图 4 和图 5。其中, $\eta_{mp,STC}$, α_p , Y_{PV} , $G_{T,STC}$ 与所选光伏板型号相关, 见附录 A.1。 G_T 为总水平辐照度如图 3。

表 1.1 744W 光伏组件相关参数

符号	名称	取值	单位
G_T	总水平辐照度	见图 3	kW/m^2
T	环境温度	见图 3	$^\circ\text{C}$
α_p	温度系数	-0.18%	
$\eta_{mp,STC}$	标准温度下光伏阵列输出效率	4.59%	
f_{PV}	降额因子	0.95 (通用)	
Y_{PV}	额定功率	0.743	kW
$G_{T,STC}$	标准测试条件下光照强度	1	kW

表 1.2 1488W 光伏组件相关参数

符号	名称	取值	单位
G_T	总水平辐照度	见图 3	kW/m^2
T	环境温度	见图 3	$^\circ\text{C}$
α_p	温度系数	-0.18%	

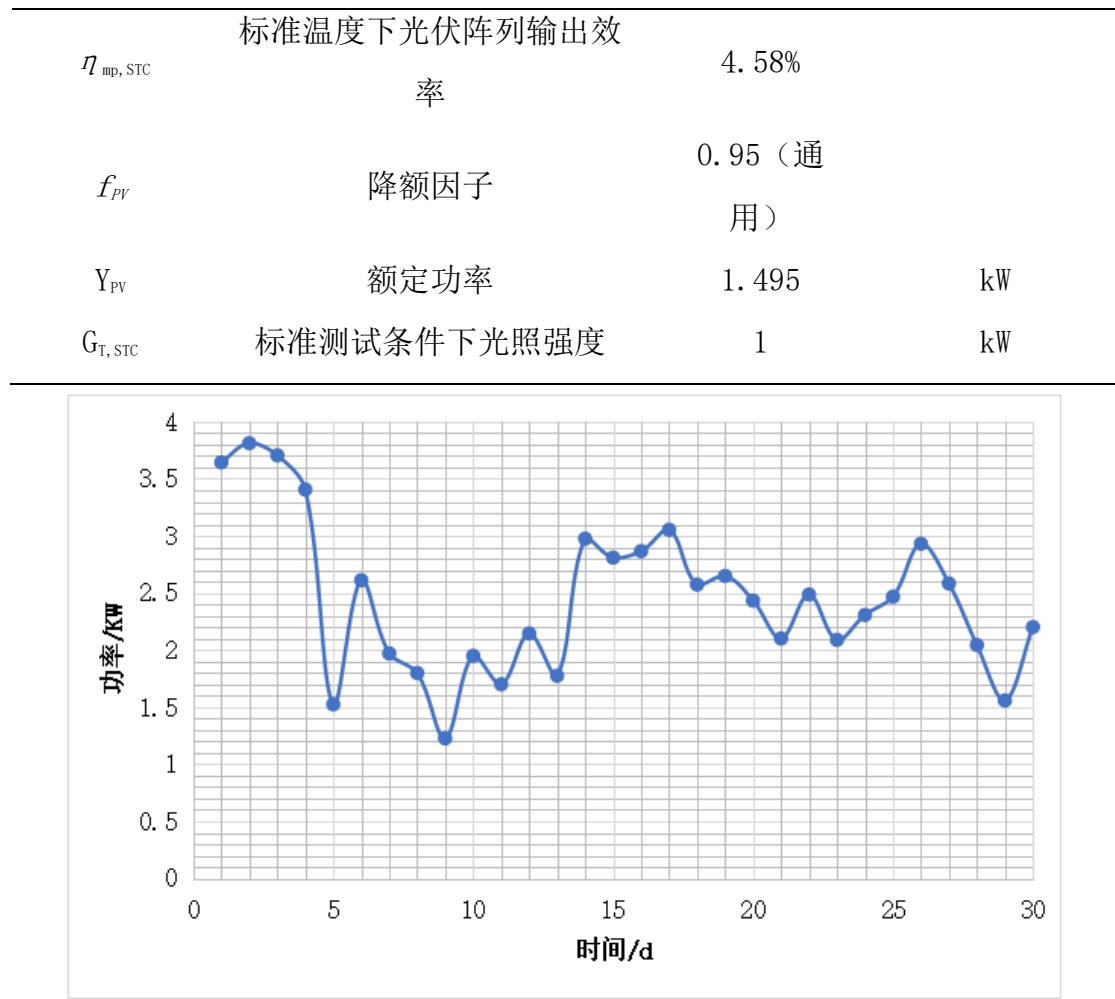


图 4 744 W 光伏面板单机每日发电功率

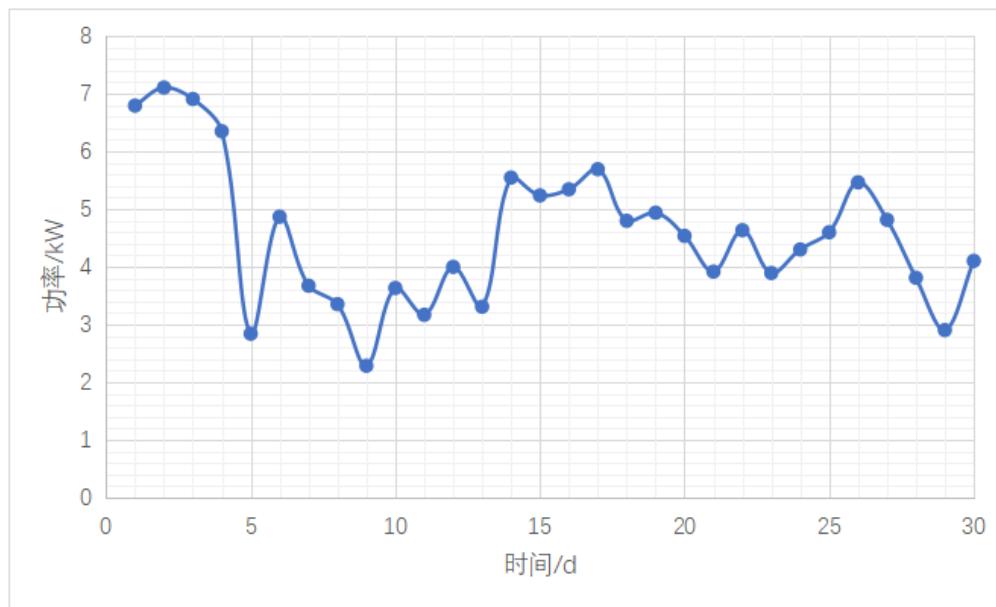


图 5 1488 W 光伏面板单机每日发电功率

2.3 风电机组选择

2.3.1 风速

某地区十月份的风速分布情况如图 6 所示。其中，十月份平均风速为 10.16 m/s。

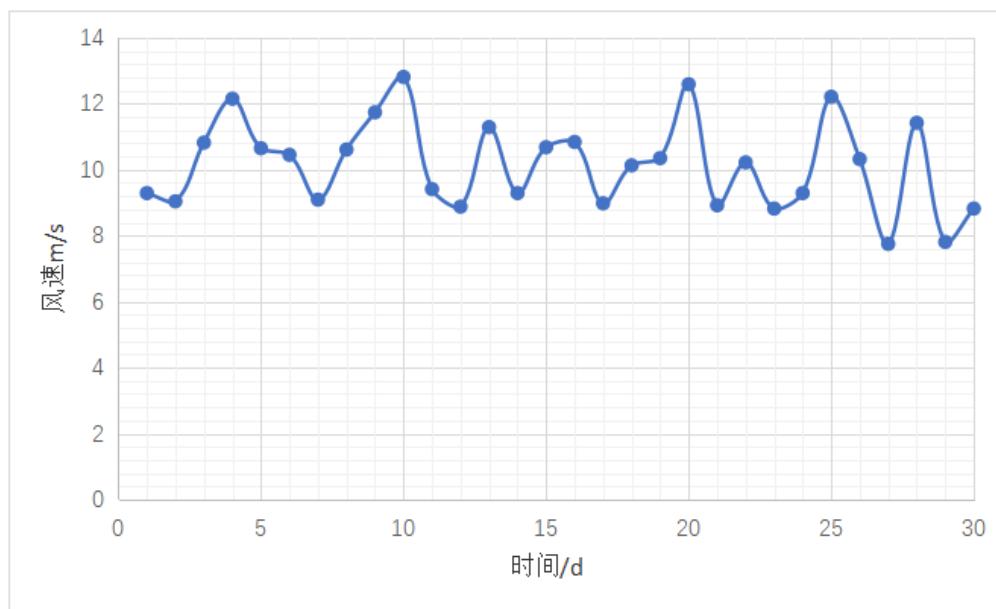


图 6 十月份每天风速

2.3.2. 风电组件的选择设计方法

选择风电机组额定功率为 80 kW。

1、切出风速、切入风速、额定风速

切入风速 取 $V_{in}=3\text{m/s}$

切出风速 取 $V_{out}=25\text{m/s}$

额定风速，一般取风力发电机组的额定风速与平均风速之比为 1.70 左右：

$$V_r = 1.70 V_{ave} = 1.70 \times 10.16 \approx 17.272 \text{ m/s}$$

2、发电机转速

当风速小于切入风速时 3 m/s，转速为 0，当风速大于额定风速转速基本保持不变。

$$n = 0.4881v - 0.8793 \quad V_{in} \leq v \leq V_r$$

3、重要几何尺寸

(1) 风轮直径和扫掠面积

由风力发电机组输出功率得叶片直径：

$$D = \sqrt{\frac{8P_r}{\rho V_r^3 \pi C_p \eta_1 \eta_2 \eta_3}} = \sqrt{\frac{8 \times 80000}{1.225 \times 17.272^3 \times \pi \times 0.33 \times 0.92 \times 0.95 \times 0.95}} = 11.02 \text{ m}$$

其中：

P_r —风力发电机组额定输出功率，取 80kW；

ρ —空气密度（一般取标准大气状态），取 1.225 kg/m³；

V_r —额定风速；

D—风轮直径；

η_1 —传动系统效率，取 0.92；

η_2 —发电机效率，取 0.95；

η_3 —变流器效率，取 0.95；

C_p —额定功率下风能利用系数，取 0.33。

由直径计算可得扫掠面积：

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 11.02^2}{4} = 95.38 \text{ m}^2$$

综上可得风轮直径 D=11.02 m，扫掠面积 S=95.38m²。

4、叶尖速比

$$\lambda = \frac{2\pi n R}{V} \quad (5)$$

式中 λ 是叶尖速比，R 是风机半径，n 是风机转速

算得额定风速为 17 时的叶尖速比为 14.45，根据 Matlab 软件中的风机模型使用的 C_p 与叶尖速比 λ 和桨距角 β 的关系式（附录 A.2），编写 Matlab 代码输出关系图如图 7，附录 B.1 为 Matlab 代码。

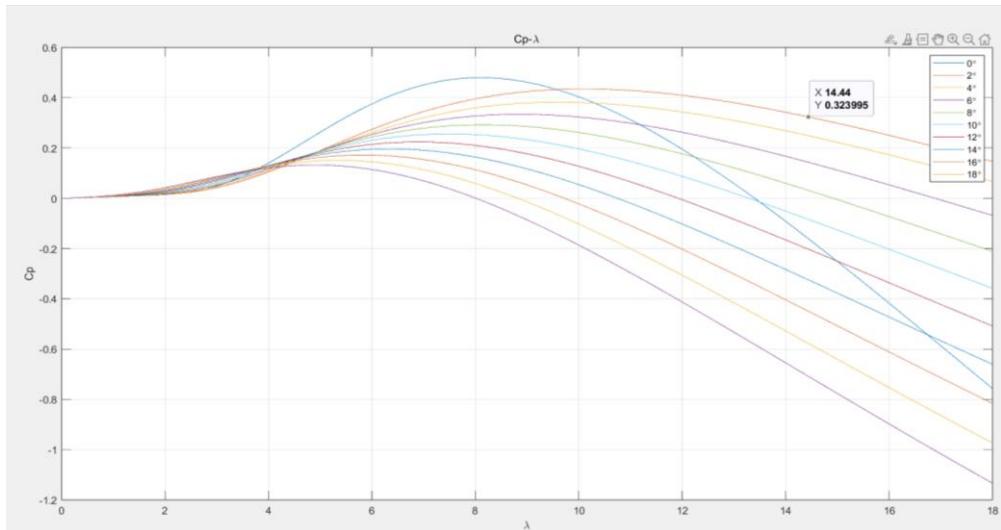


图 7 $C_p - \lambda$ 关系图

5、功能利用系数

$$C_p = \frac{\lambda}{k} \quad (6)$$

叶尖速比与功率系数成近似线性关系，根据上述叶尖速比的值和图 7 这里 k 取 44。

6、叶片数 B=3

现代风力发电机的实度比较小，一般需要 1-3 个叶片。选择风轮叶片数时考虑风电机组性能和载荷、风轮和传动成本、风力机气动噪声及景观影响等因素。

3 叶片较 1、2 叶片风轮有如下优点：平衡简单、动态载荷小。基本消除了系统的周期载荷，输出较稳定转矩；能提供较佳的效率；更加美观；噪声较小；轮毂较简单等。

综上所述，叶片数选择 3。

7、功率曲线和 C_t 曲线

(1)、功率曲线

自然界风速的变化是随机的，符合马尔可夫过程的特征，下一时刻的风速和上一时刻的结果没什么可预测的规律。由于风速的这种特性，可以把风力发电机组的功率随风速的变化用如下的模型来表示：

$$P(t) = P_{stat}(t) + P_{\Delta}(t)$$

式中：

$P(t)$ --在真实湍流风作用下每一时刻产生的功率，它由 t 时刻的 $V(t)$ 决定；

$P_{stat}(t)$ --在给定时间段内 $V(t)$ 的平均值所对应的功率；

$P_{\Delta}(t)$ 表示 t 时刻由于风湍流引起的功率波动。

对功率曲线的绘制，主要在于对风速模型的处理。若假定上式表示的风模型中 $P_{stat}(t)$ 的始终为零，即视风速为不随时间变化的稳定值，在切入风速到切出风速的范围内按照设定的风速步长，得到对应风速下的最佳叶尖速比和功率系数，带入式：

$$P = \frac{1}{8} C_p \eta_1 \eta_2 \eta_3 \rho \pi D^2 V^3$$

式中：

η_1 --传动系统效率，取 0.92；

η_2 --发电机效率，取 0.95；

η_3 --变流器效率，取 0.95；

C_p --额定功率下风能利用系数，见表 2；

ρ --空气密度（一般取标准大气状态），取 1.225 kg/m^3 ；

D--风轮直径，取 11.02 m ；

V—风速, 见表 2, 单位 m/s

由公式 5 和公式 6 可计算出风能利用系数, 如表 2 所示。

表 2 以 1m/s 为步长的风能利用系数

风速 m/s	风能利用系数
3	0.147
4	0.202
5	0.235
6	0.257
7	0.273
8	0.285
9	0.298
10	0.301
11	0.307
12	0.312
13	0.316
14	0.320
15	0.323
16	0.326
17	0.329

$$P_{WTG,STP} = \begin{cases} 0 & V \leq V_{in} \\ \frac{1}{8} C_p \eta_1 \eta_2 \eta_3 \rho \pi D^2 V^3 & V_{in} \leq V \leq V_r \\ 100 & V_r < V \end{cases} \quad (7)$$

当切入风速 $V_{in}=3$ m/s, 额定风速 $V_r=17$ m/s, 以 1m/s 风速为步长, 带入公式 (7), 得到风速-功率曲线图, 该曲线图即是机组的静态功率曲线。如下图 8 所示, 风速达到额定值以后, 叶尖速比和功率系数在减小, 输出功率恒定。

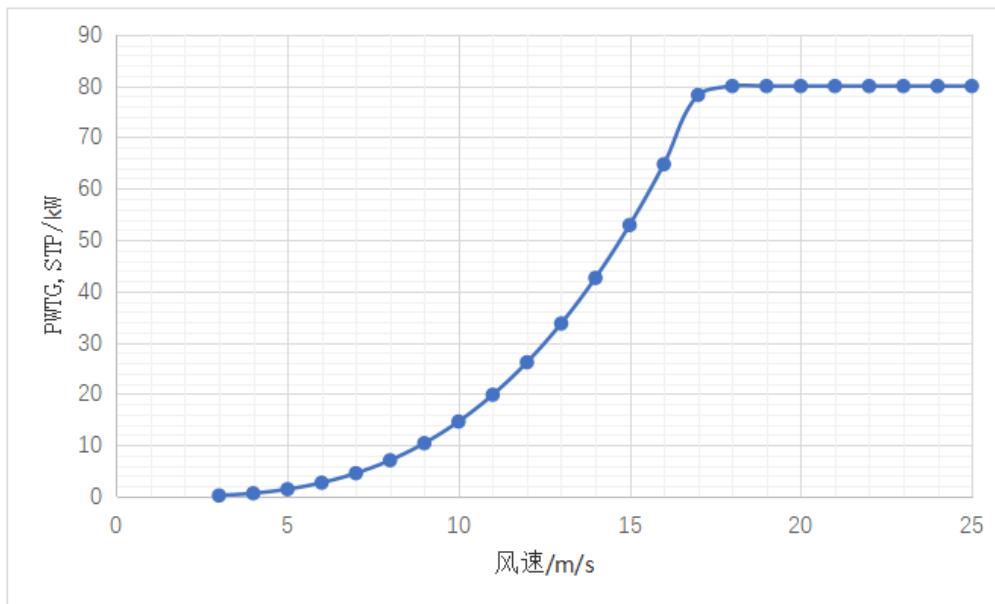


图 8 风机静态功率曲线

$$P_{WTG} = \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) \cdot P_{WTG, STP} \quad (8)$$

表 3 风力相关参数说明

符号	名称	取值	单位
ρ	十月实际空气密度	1. 102	kg/m^3
ρ_0	标准温度压力下的空气密度	1. 225	kg/m^3
$P_{WTG, STP}$	标准温度压力下的额定风速 输出功率 (0° , 1atm)	拟合数据	kW

因此，计算得出额定功率 80kW 的单个风电机组在该地区的单日实际输出功率，如图 9 所示。

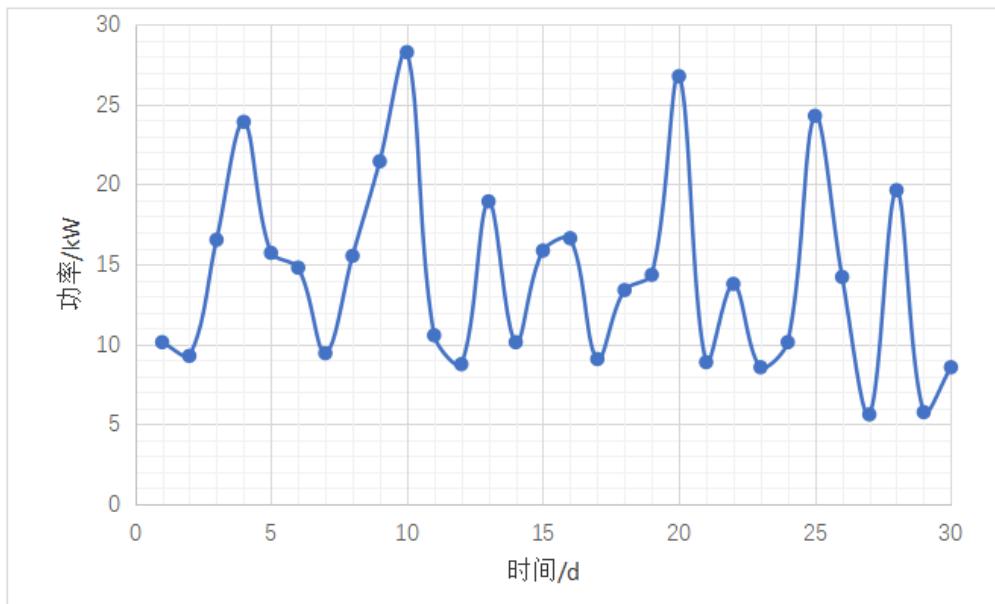


图 9 该地区当月风电机组发电功率

2.4 电池参数选型

尽量选择大容量的蓄电池以减少并联电池的数量，这样可以减少蓄电池之间不平衡造成的影响。因此，在本次设计中，采用额定电压 48V，容量 1120Ah 的锂离子电池，电池信息见附录 A. 3。

$$P_{batt,c} = \frac{I_{cmax}V_{nom}}{1000} \quad (9)$$

$$P_{batt,d} = \frac{I_{dmax}V_{nom}}{1000} \quad (10)$$

表 4 电池状态参数

符号	名称	数值	单位
P _{batt,c}	充电功率	24	kW
P _{batt,d}	放电功率	27.6	kW
I _{cmax}	最大充电电流	500	A
I _{dmax}	最大放电电流	575	A
V _{nom}	额定电压	48	V

2.5 逆变器参数选型

逆变器降直流转化为交流电，需要满足光伏和电池侧电压和功率，负荷侧交流功率。选用逆变器功率为 1350kW，MPP 工作电压范围 220–950V，逆变器参数见附录 A. 3。

三、数学模型

3.1 风机、光机组容量配置

式中 L_i 为负载需要的每天电量； W_i 为 100kW 风力发电机单机的每天发电量； S_i 为 744W (1488W) 光伏机组的每天发电量； X 、 Y 为光伏机组和风机组数量，负载缺电率 (Loss of Power Supply Probability) LPSP，用来表征系统可靠性。其数学模型，如式 11。

$$LPSP = \sum_{i=1}^{30} LPSP_i = \frac{L_i - (W_i * X + S_i Y)}{L_i} \quad (11)$$

上式可以转换为下式

$$\sum_{i=1}^{30} L_i (1 - LPSP_i) = W_i * X + S_i Y$$

为了保证负载缺电量最低：

$$\max = W * X + S * Y$$

为了保证可靠性供电每一天风力、光能发电不小于 1.1 倍的负载，为了电量不浪费，节约投资，每一时刻发电量不高于 1.5 倍负载，故列出以下约束条件：

$$W_i * X + S_i Y \leq 1.5L_i \quad i = 1, 2, \dots, 30$$

$$W_i * X + S_i Y \geq 1.1L_i \quad i = 1, 2, \dots, 30$$

$$X > 0, Y > 0$$

通过 MATLAB 编程求解出，光伏机组和风机组数量。当求解 X 、 Y 不为整数，其小数部分可以选择一个较小功率的机组。

3.2 电池存储容量配置

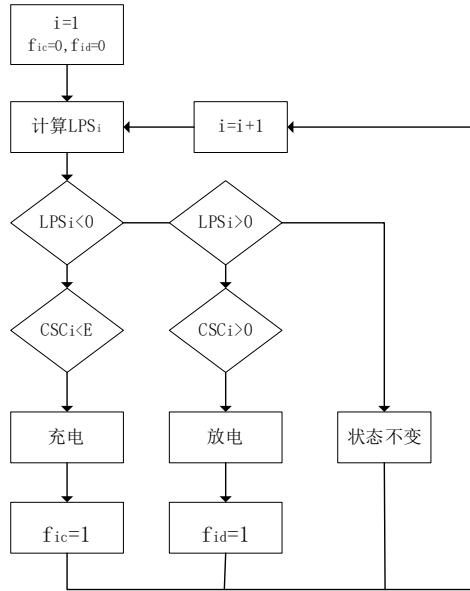


图 10 电池控制策略

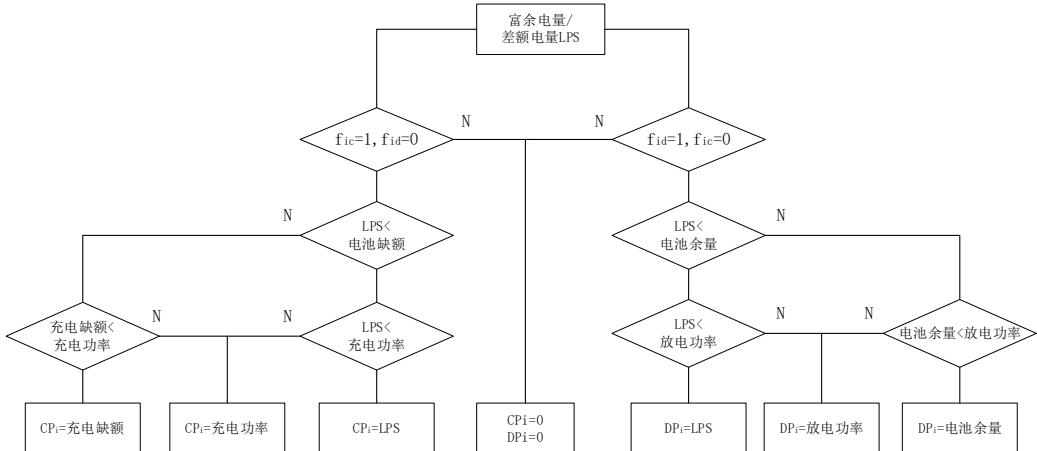


图 11 充放电量计算

图 8 为电池充放电控制策略。为了延长电池寿命，防止过充，当有富余电量，电池有存储空间时，只有才进行充电。同样的，为了防止过度放电，当有电池缺额，且电池有电时才进行放电。其他情况电池状态不变。图 9 为在执行充电、或放电时具体的电量计算。CP_i 为充电电量，DP_i 为放电电量。

为了尽量存储富余电量，满足电池缺额。当每天富余电量不大于充电功率，电池未充电量不小于充电功率，才能保证不散耗电能。当每天差额电量不大于电池电量，不大于电池放电功率，才能保证满足负荷供给。式（11）是每天富余电量或缺电量计算。式（12）、（13）电池状态计算。

$$LPS_i = L_i - (W_i * X + S_i Y) \quad (12)$$

$$CSC_{i+1} = CSC_i + CP_i * f_{ic} + CP_i * f_{id} \quad (13)$$

$$\begin{cases} f_{ic} = 1, f_{id} = 0 & LPS_i < 0, CSC_i < E \\ f_{ic} = 0, f_{id} = 1 & LPS_i > 0, CSC_i > 0 \\ f_{ic} = f_{id} = 0 & Others \end{cases} \quad (14)$$

因此根据每天富余或者用电量差额，计算连续两天、三天至多天的富余电量和缺额电量，以最大缺额电量作为电池初始容量，以保证在无光伏和风机机组电池下可以连续工作。以最大富余电量作为电池容量，以保证电池能够存储所有发电。

表 5 电池运行参数

符号	名称	单位
E	额定容量	kW•h
CSC _i	当前存储状况	
LPS _i	供应损失量	kW
CP _i	充电量	
DP _i	放电量	
f _{id}	充电标志量	
f _{ic}	放电标志量	

四、结果

4.1 风机、光伏数量、蓄电池数量设计

通过 MATLAB 初步计算求得，80 kW 风机数量 X 为 14，744 W 光伏数量 Y 为 72。或者 80kW 风机数量 X 为 14，1488W 光伏数量 Y 为 40。

表 6 负载缺电量与电池参数参考量

负载缺电量	功率/kW	电池参数	功率/kW
每天最大富余电量	204.75	总充电功率	≥204.75
每天最大差额电量	173.90	总放电功率	≥173.90
连续天最大富余电量	985.24	电池容量	≥985.24
连续天最大差额电量	430.74	初始容量	≥430.74

(续上表)

在选择电池时充电功率不小于 204.75 kW，放电功率不小于 173.90 kW，满足每天可能产生的富余电量或差额电量。同时电池容量不小于 985.24 kWh，初始储能不小于 430.74 kWh，这样才能满足连续天可能产生的富余电量和差额电量。

$$n_1 = \frac{204.75}{P_{batt, c}}, \quad n_2 = \frac{173.90}{P_{batt, d}}, \quad n_3 = \frac{985.24}{P} \quad (15)$$

$$N = \max(n_1, n_2, n_3) \quad (16)$$

公式 (15)，中 n_1 是满足充电功率需要的某型号电池个数， n_2 是满足放电功率需要的某型号电池个数， n_3 是满足电池容量需要的某型号电池个数。 N 是最终确定的电池个数。

经计算，当选用 744W 光伏时， $N = \max(9, 7, 20)$ 所需蓄电池数目至少为 20 个。

设计光伏组件连接方式：

744W 光伏板所需数量为 72 个，单个 744W 光伏板 V_{mppt} 电压为 180V， I_{mppt} 电流 4.130A。初步设计光伏板为 2 串 36 并。

所以光伏的总的最大功率点电压为 360V，电流为 148.68A，光伏占地面积 1201.248m²。

设计电池连接方式：

$$\text{蓄电池并联数} = \frac{\text{蓄电池总容量(Ah)}}{\text{电池标称容量(Ah)}} = \frac{4478.36}{1120} = 3.998 \approx 4$$

所以电池的最少并联数为 4。

考虑到光伏总的电压要大于电池组的电压，光伏才能向电池充电，并且电池电压最好接近光伏总的最大功率点电压，这样的光伏利用效率最高。所以电池最佳串联数为 $360 \div 48 = 7.5$ ，因此电池串联数小于 7.5，为了节约成本，电池连接方式为 4 并 5 串，电池总电压为 240V，个数为 20 个。

逆变器选择：

选择的逆变器的工作电压要包括光伏板总的最大功率点电压，因此选择了 MPP 电压范围为 220V–950V 的逆变器。满足逆变器工作要求且不会烧坏逆变器。

同理，计算得到 1488W 的光伏板的连接方式为 1 串 40 并，总的 V_{mppt} 电压为 360V，电流为 165.2A。电池连接方式为 5 串 4 并，个数为 20 个。逆变器选择一致。

本次设计，风光储互补发电系统配置图如图 12 和图 13 所示，风光储互补发电系统充放电功率直方图如图 14 和图 15 所示。

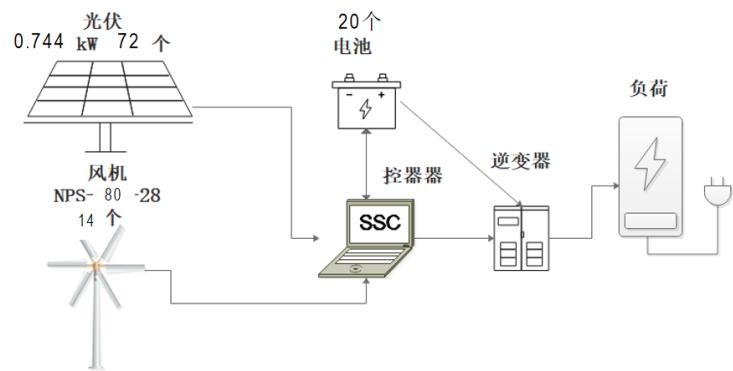


图 12 744W 风光储互补发电系统配置

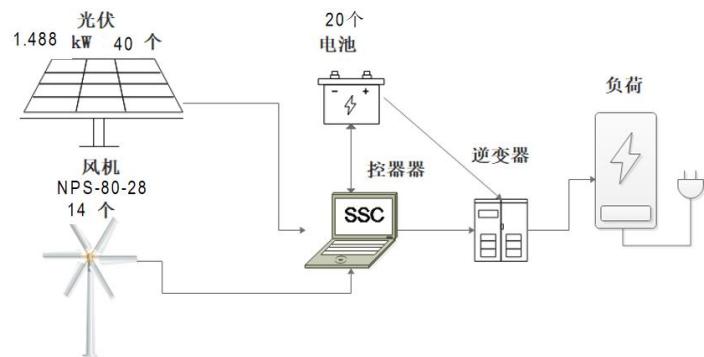


图 13 1488W 风光储互补发电系统配置

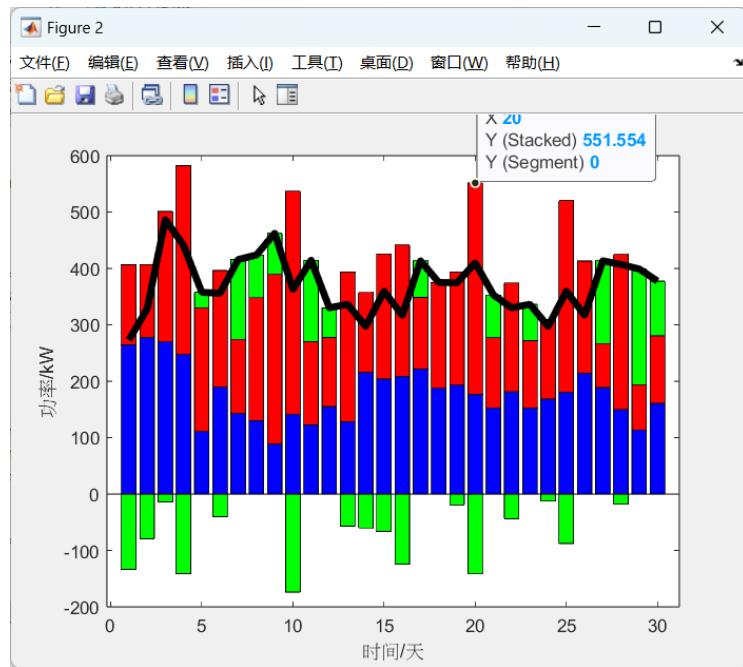


图 14 744W 风光储互补发电系统运行工况

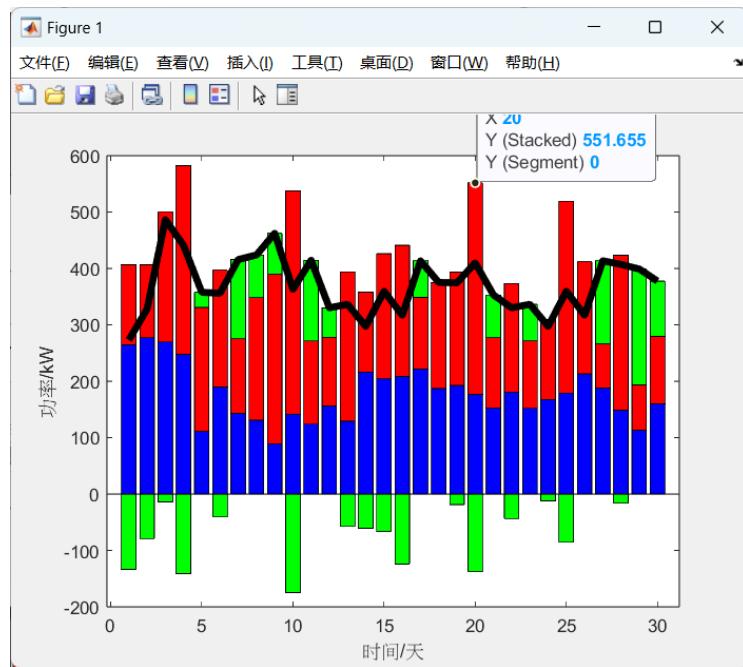


图 15 1488W 风光储互补发电系统运行工况

4.2 经济性分析

对于风光互补发电系统，系统的总成本包括初始投资成本、运行维护费用、利息成本、税收成本、政府补贴等。

初始投资成本一般包括设备造价（太阳能光伏板、风机、储能设备、控制

设备等的造价）、设备安装及初次运行调试费用和基础设施建设费用。设备的购买费用占整个系统初始投资成本的很大部分，直接影响着初始投资成本。设备安装及初次运行调试的费用一般由购买设备的厂家提供，包含在设备造价中，一般不再将此项费用做成本计算。目前风力发电的初始投资为 8300 元/千瓦，太阳能光伏发电的成本为 20000 元/千瓦。

运行维护费用方面，根据长期的统计规律，风力发电的年运行成本大约为初投资的百分之五，太阳能光伏发电属于静止的发电，不需要系统做机械运动，不容易发生损坏，所以太阳能光伏发电的年运行费用大致为其发电初投资的千分之五。

政府补贴方面，目前国家对于新建的集中式光伏电站不再补贴，因此在经济性分析中忽略政府补贴。

使用寿命的期限为系统各个设备正常运行的时间，对于太阳能光伏发电和风力发电的主要设备，一般使用寿命为 20 年，蓄电池的使用寿命为 5 年，锂离子电池 4000 元/kW·h，运行维护费用 300 元/年[1]。

在本设计的经济性分析当中忽略了贷款的利息成本和税收成本。

风力发电成本：

$$80 \times 8300 \times 14 + 8300 \times 14 \times 5\% \times 20 \times 80 = 18592000 \text{ 元}$$

光伏发电成本：

$$0.744 \times 20000 \times 72 + 20000 \times 0.5\% \times 20 \times 72 \times 0.744 = 1178496 \text{ 元}$$

蓄电池成本：

$$4000 \times 20 \times 51.8 \times 20 \div 4 + 20 \times 300 \times 20 = 20840000 \text{ 元}$$

网上查询数据，重庆年有效利用小时数为 686.27h，风能利用小时数 1996h，所以计算得到风光互补系统一年发电量约为 16107365kW·h，若按照平均电价 0.5 元/kW·h，一年收入 8053682.5 元。

设计建设周期为 1 年，初始投资 14511360 元

(1) 静态经济性分析

静态投资期公式：静态投资回收期=（累计净现金流量开始出现正值的年份数-1）+上年累计净现金流量绝对值/当年净现金流量

表 7 静态投资回收期

年份	0	1	2	3
支出（元）	14511360	476156	476156	476156
收入（元）	0	0	8053682.5	8053682.5

净现金流量(元)	-14511360	-476156	7577526.5	7577526.5
累计净现金流(元)	-14511360	-14987516	-7409989.5	167537

(续上表)

所以静态投资回收期为 2.98 年。

(2) 动态经济性分析

动态投资回收期= (累计净现金流量现值出现正值的年数-1)+上一年累计净现金流量现值的绝对值/出现正值年份净现金流量的现值

表 8 动态投资回收期

年份	0	1	2	3	4
支出(元)	14511360	476156	476156	476156	476156
收入(元)	0	0	8053682.5	8053682.5	8053682.5
净现金流量(元)	-14511360	-476156	7577526.5	7577526.5	7577526.5
累计净现金(元)	-14511360	-14987516	-7409989.5	167537	7745063.5
折现因子		0.91	0.83	0.75	0.68
净现值(元)	-14511360	-433302	6289347	5683145	5152718
累计净现值(元)	-14511360	-14944662	-8655315	-2972170	2180548

所以动态投资回收期为 3.57 年。

同理，算得 40 个 1488W 光伏，14 个 80kW 风机项目的静态投资回收期为 3.12 年，动态投资回收期为 3.74 年。

4.3 环境效益

根据节约一度电相应节约 0.4 千克标准煤，节约二氧化碳排放 0.997 千克。设计 744W 光伏组合每年节约标准煤 6443 吨，减少二氧化碳排放 16059 吨。1488W 光伏组合节约标准煤 6442 吨，减少二氧化碳排放 16056.7 吨。

4.4 结果分析

经过计算结果分析，选用 744W 的光伏组合比选用 1488W 的光伏组合拥有更高的经济效益和环境效益。744W 的光伏板总共需要占地面积 1201.248 平方米，1488W 光伏板总共需要占地面积 1333.44 平方米。选用 744W 的光伏组合需要的占地面积更少，节约土地资源。总的来说，744W 光伏组合在各方面都优于

1488W 光伏组合。

本设计计算结果表明，设计的风光互补发电系统具有较好的经济效益，投资回收期在 5 年内，且环境效益良好。

本设计同时存在一定的误差。设计时参考的是十月的数据，每月每年的风资源和光资源不一致，因此导致最终实际运行时的投资回收期可能更长。并且许多数据来自网上，有一定的滞后性，数据不一定精确，具体分析时需要结合具体厂商产品价格等。

4.5 结语

本次设计是先根据已有的风力资源数据、太阳能资源数据和负载数据进行风机、光伏板等器件的选型。选择完型号后计算得到风力发电和太阳能发电的数据。建立了关于风光互补发电系统的数学模型，这个模型使用 Matlab 的函数求得了风机和光伏的最佳容量配置，并通过设计的电池充放电策略，得到了需要的电池的总容量数据。根据数学模型得到的数据，进行了光伏板串并联设计和电池的串并联设计，最终得到本案例风机、光伏、蓄电池和逆变器的数量以及选型，经过计算器件都在安全运行范围之内。最后通过网上搜集的相关数据进行了案例设计的经济性分析和环境效益分析。

附录 A

附录 A.1 光伏发电相关参数

744W 光伏组件信息



1488W 光伏组件信息



附录 A.2 风力发电相关参数

A generic equation is used to model $c_p(\lambda, \beta)$. This equation, based on the modeling turbine characteristics of [1], is:

$$c_p(\lambda, \beta) = c_1(c_2\lambda_i - c_3\beta - c_4)e^{-c_5\lambda_i} + c_6\lambda,$$

with:

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1}.$$

The coefficients c_1 to c_6 are: $c_1 = 0.5176$, $c_2 = 116$, $c_3 = 0.4$, $c_4 = 5$, $c_5 = 21$ and $c_6 = 0.0068$. The c_p - λ characteristics, for different values of the pitch angle β , are illustrated below. The maximum value of c_p ($c_{pmax} = 0.48$) is achieved for $\beta = 0$ degrees and for $\lambda = 8.1$. This particular value of λ is defined as the nominal value (λ_{nom}).

附录 A.3 电池参数



附录 A.4 逆变器参数

PVsyst 逆变器选型



附录 B MATLAB 编程代码

B.1 风能利用系数与叶尖速比关系

```
c1 = 0.5176;
c2 = 116;
c3 = 0.4;
c4 = 5;
c5 = 21;
c6 = 0.0068;
lada = 0.01:0.01:18;

for beta = 0:2:20
Cp = c1.*((1./(lada+0.08.*beta))-0.035./(beta.^3+1)).*c2-c3.*beta-
c4).*exp(-1.*((1./(lada+0.08.*beta))-0.035./(beta.^3+1)).*c5)+c6.*lada;
plot(lada, Cp)
hold on
end

xlabel(' \lambda ')
ylabel(' Cp ')
legend(' 0\circ ', ' 2\circ ', ' 4\circ ', ' 6\circ ', ' 8\circ ', ' 10\circ ', ' 12\circ ',
' 14\circ ', ' 16\circ ', ' 18\circ ')
grid on
title(' Cp-\lambda ')
```

B.2 风机光伏数量

```
%%
%数据说明
%LWS_Da 时间 T、负荷 L、风能 W (100kW) 、光伏数据 S (700 W)
clc
```

```

clear
tic
LWS_Da=xlsread('风光.xls');
[m, n]=size(LWS_Da);%数据规模
T=int8(LWS_Da(:, 1)); L=LWS_Da(:, 2); W=LWS_Da(:, 3); S=LWS_Da(:, 4); %时间、
负荷、风能(100kW)、光伏数据(700 W)数据
%%
%线性规划运算
%符号变量
%风机数量 X, 光伏面板数量 Y,
W_S=sum(W);
S_S=sum(S);
L_S=sum(L);
f=[W_S, S_S];
a=[W, S; -W, -S];
b=[1.5*L; 1.1*L]; %总
aeq=[];
beq=[];
[x, yval]=linprog(-f, a, b, aeq, beq, zeros(2, 1));
x=int16(x);
X1=x(1); Y1=x(2); %%风、光机组数量配置
%%
%电池存储规划
%LSP 富余/差额电量, NDP 拟放电电量, NCP 拟充电电量
W1=double(X1)*W;
S1=double(Y1)*S;
%每天需要放电和充电的电量
for i=1:m
LPS(i)=L(i)-W1(i)-S1(i);
if LPS(i)>=0
    NDP(i)=LPS(i);
    NCP(i)=0;
else
    NCP(i)=LPS(i);
end
end

```

```

NDP(i)=0;
end
end
%%
%pdpm 最大放电量, pcpm 最大充电量
pdpm=max(LPS)
pcpm=abs(min(LPS))
CE=sum(NCP)+sum(NDP)
%%
%以电池为研究对象 NDB 存放数组中 1 个, 连续两个, 连续三个,一直连续
int16(m/2) 个的和
%
NDB{1, int16(m/2)}=0;
NDB{1, 1}=LPS;
%N 分别存储
ZD(1)=max(LPS);
ZX(1)=min(LPS);
sum=0;
%%
%三个 for 循环嵌套, 加包数组应用, 本程序最难点
for t=2:int16(m/2)
    for i=1:m-t+1
        for nt=i:i+t-1
            sum=LPS(nt)+sum;
        end
        NDB{1, t}(1, i)=sum;
        sum=0;
    end
    ZD(t)=max(NDB{1, t});
    ZX(t)=min(NDB{1, t});
end

LCB=min(ZX);%累计最大充电
LDB=max(ZD);%累计最大放电

```

```

%%
%电池每时刻容量计算 CSC 电池状态, DCPZ, 电池放电量 DCPF, 电池充电量
% E 电池容量
% E1 初始容量
E=LDB-LCB
E1=LDB
CSC=[E1;zeros(m-1, 1)]; %初始容量
DCPZ=zeros(m, 1);
DCPF=zeros(m, 1);
W1=double(X1)*W;
S1=double(Y1)*S;
for i=1:m
LPS(i)=(L(i)-X1*W(i)-Y1*S(i))/L(i);
LPS=L(i)-W1(i)-S1(i);
if LPS<0 && CSC(i)<E %需要充电
    CSC(i+1)=CSC(i)+abs(LPS);
    if CSC(i+1)>E %是否能存储下 不能全部存储
        DCPF(i)=- (E-CSC(i));
        DCPZ(i)=0;
        CSC(i+1)=E;
    else %可以全部存储
        DCPF(i)=LPS;
        DCPZ(i)=0;
    end
else
    if LPS>0 && CSC(i)>0 %需要放电
        CSC(i+1)=CSC(i)-LPS;
        if CSC(i+1)<=0 %不够放
            DCPZ(i)=CSC(i);
            DCPF(i)=0;
            CSC(i+1)=0;
        else %够放

```

```

DCPZ(i)=LPS;
DCPF(i)=0;
end
else
CSC(i+1)=CSC(i);
DCPZ(i)=0;
DCPF(i)=0;
end
end
%%
%绘图
pp1=[S1,W1,DCPZ];
figure
fp=bar(T,pp1,'stack');
set(fp(1),'facecolor','b');
set(fp(2),'facecolor','r');
set(fp(3),'facecolor','g');
hold on
fp=bar(T,DCPF,'g');
hold on
plot(T,L,'k','linewidth',4);
xlabel('时间/天')
ylabel('功率/kW')
toc

```

参考文献

- [1]郭延纯. 风光互补发电储能系统的经济性分析与研究[D]. 河北:河北工程大学, 2015. DOI:10.7666/d.Y2768493.