

考虑碳捕集电厂削峰填谷特性的低碳经济调度

罗杰¹, 黄文涛¹, 贺忠尉²

(1 湖北工业大学 太阳能高效利用及储能运行控制湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430068;

2 国家电网恩施供电公司, 湖北 恩施 445000)

[摘 要] 针对传统固定式的高捕集能耗和风光反调峰问题, 储液式碳捕集电厂制定新的调度策略来提高系统低碳经济特性。首先, 对比固定式和储液式的运行机理, 针对负荷峰谷时段各调度资源特性挖掘储液式存在的削峰填谷特性; 然后, 构建以兼顾运行成本、弃风量和碳排放的系统综合成本最低为目标的含溶液存储模型与碳交易机制的低碳经济调度模型, 采用改进的粒子群优化算法对模型求解; 最后, 通过仿真算例对比, 含储液式碳捕集电厂的系统碳排放量降低了 3.8%, 综合成本降低了 5.9%, 同时弃风成本降低了 65.4%, 验证了所提调度策略的优越性。

[关键词] 碳达峰; 火电; 碳捕集; 削峰填谷; 碳交易

[中图分类号] TM172 [文献标识码] A

为应对能源危机与温室效应, 实现“双碳”目标, 大力发展以风电为代表的新能源成为电力系统低碳转型的重要手段^[1]。但新能源装机容量增速过快, 若系统灵活性资源不足, 其间歇性和不确定性的特点将引发严重的弃风弃光问题^[2]。此外, 在未来相当一段时间内, 为确保电力系统保供电大局及安全平稳转型, 火电机组在电力系统中仍然发挥着重要作用, 其存在的高碳排和调峰能力不足问题也亟需解决。碳捕集利用与封存(CCUS)技术的出现为解决上述问题提供了新的思路^[4]。

火电向下调峰能力不足是导致弃风弃光的主要原因之一, 通过在常规火电厂安装碳捕集系统改造为碳捕集电厂(carbon capture power plant, CCPP)使得火电直接低碳化的同时扩大调度运行范围^[4], 部分提高新能源消纳能力。但因碳捕集系统高能耗的现实问题, 不同发电调度方式所带来的 CO₂ 排放量的变化将直接影响电力系统运行的总体成本; 引入固定式 CCPP 后, 其碳捕集能耗与火电出力耦合的特性将造成高峰负荷时段严重的出力和备用压力^[5]; 引进储液装置使得碳捕集系统能够迅速响应动态变化的需求和新能源出力, 使得火电具备更广的调度运行区间^[6]。在实际运行中, 为确保电力系统在满足电力需求的同时能获得最佳效益, 引入碳排放交易机制^[7]平衡成本和低碳水平。

本文针对固定式 CCPP 和逐年增大的负荷峰谷

差之间的矛盾, 引入储液式 CCPP, 充分激活储液式与风电配合的调度灵活性, 通过挖掘其在负荷峰谷时段的削峰填谷特性研究对消纳弃风的合理性, 构建低碳经济调度模型, 对比分析三种场景下的系统新能源消纳以及低碳经济调度结果, 为 CCPP 推广应用后的调度运行提供参考。

1 CCPP 特性对比分析

图 1 为典型燃烧后固定式和储液式 CCPP 的 CO₂ 捕集流程^[8], 其中 $E_{C,t}$ 、 $E_{X,t}$ 和 $E_{Z,t}$ 分别为火电机组在 t 时段发电产生、吸收塔和再生塔处理的 CO₂ 量; 其中储液 CCPP 加装了富/贫液存储器, $E_{F,t}^{in}$ 和 $E_{F,t}^{out}$ 为富液存储器 t 时段流入和流出的 CO₂ 量; $E_{P,t}^{in}$ 和 $E_{P,t}^{out}$ 对应贫液存储器 CO₂ 流量。

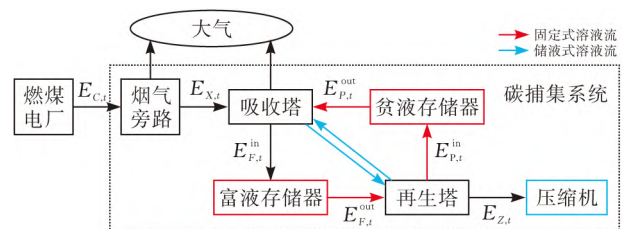


图 1 CCPP 燃烧后碳捕集流程对比

碳捕集装置利用部分出力和发电侧抽取的热蒸汽对排放的 CO₂ 捕集压缩, 碳捕集系统所需能耗大致分为固定能耗 $P_{B,t}$ (结构变化引起, 为固定值) 和运行能耗 $P_{R,t}$ ^[9], CCPP 机组在 t 时段净出力:

[收稿日期] 2022-07-27

[基金项目] 湖北工业大学博士基金(BSQD2019013)

[第一作者] 罗杰(1998-), 男, 湖北十堰人, 湖北工业大学硕士研究生, 研究方向为电力系统运行与控制。

[通信作者] 黄文涛(1984-), 男, 湖北武汉人, 湖北工业大学高级工程师, 研究方向为电力系统运行与控制。

$$P_{N,t} = P_{G,t} - P_{B,t} - P_{R,t}$$

式中: $P_{G,t}$ 为火电机组等效输出功率。

1.1 固定式 CCPP 运行机理

固定式 CCPP 的运行能耗因与同时段的火电厂出力大小所耦合, 能量流表示为:

$$\begin{cases} E_{C,t} = e_G P_{G,t} \\ E_{Z,t} = \gamma_B \delta_B E_{C,t} \\ P_{R,t} = \lambda_B E_{Z,t} \\ P_{N,t} = (1 - \lambda_B \gamma_B \delta_B e_G P_{G,t}) P_{G,t} - P_{B,t} \end{cases}$$

式中: λ_B 为单位捕集量能耗; e_G 为单位碳排放强度; γ_B 为 CO_2 捕集效率(其值常介于 80%~95%之间); δ_B 为烟气分流比(进入碳捕集设备的烟气与总产烟气之比)。

1.2 储液式 CCPP 的运行特性

1.2.1 运行机理分析 储液 CCPP 加装存储装置后, 根据图 1 中储液 CCPP 的 CO_2 流图, 可通过调节吸收塔与再生塔之间的溶液存储器的流入量和流出量, 使得捕集与处理的 CO_2 不等; 推导 t 时段储液式 CCPP 的能量流如下:

$$\begin{cases} E_{C,t} = e_G P_{G,t} \\ E_{X,t} = \delta_B E_{C,t} \\ E_{F,t}^{\text{in}} = \gamma_B E_{X,t} \\ E_{Z,t} = E_{F,t}^{\text{out}} \\ P_{R,t} = \lambda_B E_{Z,t} \\ P_{N,t} = P_{G,t} - P_{B,t} - \lambda_B E_{Z,t} \end{cases}$$

由 CO_2 流式可知, 储液式 CCPP 因加装储液装置, 当负荷低谷时控制 $E_{F,t}^{\text{out}} > E_{F,t}^{\text{in}}$, 提高捕集运行能耗, 减少 CO_2 储量; 负荷高峰时控制 $E_{F,t}^{\text{in}} > E_{F,t}^{\text{out}}$, 降低捕集运行能耗, 增大 CO_2 储量。储液装置作为储液式 CCPP 的重要组成部分, CO_2 量 E_t 与溶液体积 V_t 之间的关系为^[9]:

$$V_t = E_t m_{\text{MEA}} / (\theta \mu_L \sigma_L m_{\text{CO}_2})$$

式中: m_{MEA} 为 MEA 摩尔质量; θ 为解析塔解析量; μ_L 为溶液浓度; σ_L 为溶液密度; m_{CO_2} 为 CO_2 摩尔质量。则储液式 CCPP 的 CO_2 流转化为储液罐溶液流, 储液罐溶液储量满足:

$$\begin{cases} V_{F,t} = V_{F,t-1} + V_{F,t}^{\text{in}} - V_{F,t}^{\text{out}} \\ V_{P,t} = V_{P,t-1} + V_{P,t}^{\text{in}} - V_{P,t}^{\text{out}} \\ V_{F,t}^{\text{in}} = V_{P,t}^{\text{out}}; V_{P,t}^{\text{in}} = V_{F,t}^{\text{out}} \\ 0 \leq V_{F,t} \leq V_{F,\text{max}} \\ 0 \leq V_{P,t} \leq V_{P,\text{max}} \\ V_{F,0} = V_{F,T} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $V_{F,t}$ 和 $V_{P,t}$ 为 t 时段的富液和贫液储液罐储量; $V_{F,t}^{\text{in}}$ 、 $V_{F,t}^{\text{out}}$ 、 $V_{P,t}^{\text{in}}$ 和 $V_{P,t}^{\text{out}}$ 分别为 t 时段存储器的流入和流出量; $V_{F,\text{max}}$ 和 $V_{P,\text{max}}$ 为富液、贫液储液罐的最大储量。

1.2.2 削峰填谷特性分析 由储液式 CCPP 的运

行机理分析, 其能耗时移特性存在潜在优势。根据两种 CCPP 运行机理可推导出相同等效出力的火电机组净输出功率最小值(2)和最大值(3)对比:

$$\begin{cases} P_{N1,\text{min}} = P_{G,\text{min}} - P_B - \lambda_B \gamma_B \delta_B e_G P_{G,\text{min}} \\ P_{N2,\text{min}} = P_{G,\text{min}} - P_B - P_{R,\text{max}} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} P_{N1,\text{max}} = P_{G,\text{max}} - P_B - \lambda_B \gamma_B \delta_B e_G P_{G,\text{max}} \\ P_{N2,\text{max}} = P_{G,\text{max}} - P_B \end{cases} \quad (3)$$

式中: $P_{N1,\text{min}}$ 、 $P_{N2,\text{min}}$ 、 $P_{N1,\text{max}}$ 和 $P_{N2,\text{max}}$ 为固定式和储液式 CCPP 最小和最大净出力; $P_{G,\text{min}}$ 和 $P_{G,\text{max}}$ 为火电机组最小和最大等效出力; $P_{R,\text{max}}$ 为储液式 CCPP 碳捕集运行能耗峰值。

为对其运行优势直观分析, 由上述分析结果构建固定式与储液式 CCPP 的净负荷(假设零弃风后剩余负荷)典型峰谷时段调度特性对比分析, 显示储液式 CCPP 相对固定式存在良好的“削峰填谷”特性(图 2)。

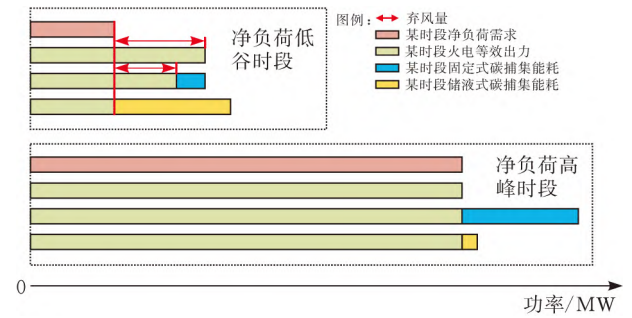


图 2 固定式与储液式 CCPP 的“削峰填谷”特性对比

“填谷”特性: 在净负荷需求低谷时段, 常规火电机组因最小技术出力限制, 可能造成系统出现严重的弃风。固定式因碳捕集能耗的存在降低了火电机组的净出力下限, 但捕集能耗和当前状态下等效出力耦合, “填谷”能力不足造成系统仍可能面临严重的弃风。储液式 CCPP 因储液装置的存在, 对碳捕集能耗的时移作用使火电机组具备更低的净出力下限, 时移的部分捕集能耗由高峰时段高碳机组出力替换为低谷时段额外消纳的风电出力, 提高了风电的消纳能力, “填谷”作用明显。

“削峰”特性: 净负荷需求高峰时段系统供需平衡紧张, 对于固定式 CCPP, 此时较高的碳捕集水平导致机组出力压力激增, 出现额外的出力和旋转备用需求, 影响系统的经济性; 而储液式 CCPP 因储液装置的存在不仅可保持碳捕集水平不变, 通过转移碳捕集能耗至低谷时段, 相对固定式极大的缓解了出力压力, “削峰”作用明显。

2 计及储液式 CCPP 削峰填谷的调度模型

计及储液式 CCPP 削峰填谷的调度模型考虑储

液式 CCPP 的削峰填谷效益,根据实际电力系统调度情况,考虑引入碳交易机制,在满足各调度资源的技术约束前提下,以综合系统运行成本、碳排放成本和弃风成本最小为目标构建调度模型。

2.1 调度模型

2.1.1 目标函数

$$\min f = \min(C_K + C_Y + C_Q + C_T)$$

式中: f 为日调度综合成本; C_K 为火电开停机成本、 C_Y 为火电煤耗成本、 C_Q 为弃风成本; C_T 为碳排放成本。

$$\begin{cases} C_K = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I g_i(x_{i,t} + y_{i,t}) \\ C_Y = \sigma_Y \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T z_{i,t} (a_i P_{Gi,t}^2 + b_i P_{Gi,t} + c_i) \\ C_Q = \alpha_w \sum_{t=1}^T (P_{w,t} - \bar{P}_{w,t}) \\ C_T = \delta_T \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I (E_{Ci,t} - E_{Zi,t} - \lambda_D P_{Gi,t}) \end{cases}$$

式中: g_i 为火电机组 i 启停成本; $x_{i,t}$ 、 $y_{i,t}$ 分别为火电机组 t 时段启停状态,取 1 或 0。 σ_Y 为单位煤耗成本; $z_{i,t}$ 为机组 i 运行状态变量,取 1 或 0; a_i 、 b_i 和 c_i 为火电机组 i 的耗煤特性常数; α_w 为单位弃风成本; $P_{w,t}$ 和 $\bar{P}_{w,t}$ 为风电 t 时段预测和上网量; 碳交易价格为 δ_T 。 为充分发挥 CCPP 的作用,引入碳排放交易规则, δ_T 为碳交易价格; λ_D 为火电厂碳排放配额系数。

2.1.2 约束条件

1) 功率平衡约束

$$P_{L,t} = \sum_{i=1}^I P_{Ni,t} + \bar{P}_{w,t}$$

2) 火电机组出力约束

$$z_{i,t} P_{Gi,\min} \leq P_{Gi,t} \leq z_{i,t} P_{Gi,\max}$$

式中: $P_{Gi,\max}$ 和 $P_{Gi,\min}$ 为火电机组 i 的等效出力上下限。

3) 火电机组爬坡约束

$$-R_{di} \leq P_{Gi,t} - P_{Gi,t-1} \leq R_{ui}$$

式中: R_{di} 和 R_{ui} 为火电机组 i 的上下爬坡速率。

4) 火电机组的起停机及工况转换约束

$$\begin{cases} x_{i,t} + \sum_{m=1}^{T_{qi}} y_{i,t+m} \leq 1 \\ y_{i,t} + \sum_{m=1}^{T_{qi}} x_{i,t+m} \leq 1 \end{cases}$$

式中: T_{qi} 为火电机组 i 的起停机时间。

$$\begin{cases} z_{i,t} - z_{i,t-1} - x_{i,t} + y_{i,t} = 0 \\ -z_{i,t} - z_{i,t-1} + x_{i,t} \leq 0 \\ z_{i,t} + z_{i,t-1} + x_{i,t} \leq 2 \\ -z_{i,t} - z_{i,t-1} + y_{i,t} \leq 0 \\ z_{n,t} + z_{n,t-1} + y_{n,t} \leq 2 \end{cases}$$

5) 碳捕集运行能耗约束

$$0 \leq P_{Ri,t} \leq P_{Ri,\max}$$

式中: $P_{Ri,\max}$ 为 CCPP 最大碳捕集运行能耗; 储液装置储量约束参照式(1)。

2.2 模型求解

因含储液 CCPP 的多源电力系统调度模型复杂; 考虑采用改进的粒子群算法(improved particle swarm optimization, IPSO)对模型求解。所提 IPSO 为克服传统 PSO 迭代过程中过早收敛,求解陷入早熟; 对惯性权重、自我和社会学习因子改进,以提高收敛速度的同时避免局部最优。

首先引入压缩因子^[11]到惯性权重中,粒子 i 的速度和位置更新如下:

$$\begin{aligned} v_{id}^{t+1} &= \omega v_{id}^t + c_1 r_1 (p_{id}^t - x_{id}^t) + c_2 r_2 (p_{gd}^t - x_{id}^t) \\ x_{id}^{t+1} &= x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \end{aligned}$$

$$\omega = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|} \quad \varphi = c_1 + c_2$$

式中: ω 为惯性权重; v_{id}^t 为飞行速度; x_{id}^t 为群位置; c_1 、 c_2 为自我和社会学习因子; p_{id}^t 、 p_{gd}^t 为个体和全局最优位置; r_1 和 r_2 为(0,1)之间的随机数。

采用非线性反余弦加速^[12]对 c_1 、 c_2 进行自适应时变调整,粒子飞行初期注重个体历史信息,后期更注重全局经验。改进如下:

$$\begin{aligned} c_1 &= c_{12} + (c_{11} - c_{12}) \left[1 - \frac{\arccos(-2t/T + 1)}{\pi} \right] \\ c_2 &= c_{22} + (c_{21} - c_{22}) \left[1 - \frac{\arccos(-2t/T + 1)}{\pi} \right] \end{aligned}$$

式中: c_{11} 、 c_{21} 、 c_{12} 、 c_{22} 为迭代初值和终值,通常取 2.5、0.5、0.5、2.5; t 为当前迭代次数; T 为迭代次数最大值。

此外,对迭代过程中速度及位置越界的粒子用随机产生的相同大小的粒子群来替代; 新粒子种群速度和位置计算:

$$v = v_{\min} + \text{rand}(v_{\max} - v_{\min})$$

$$x = x_{\min} + \text{rand}(x_{\max} - x_{\min})$$

具体算法求解流程见图 3。

3 算例分析

3.1 算例条件

为验证模型有效性,本文采用 IEEE-30^[7]节点系统进行仿真,节点 11 接入 300 MW 风电厂,其余节点为火电厂; 若引入 CCPP,则其中装机容量最大的火电厂改造为 CCPP; 火电机组参数见表 1; 碳捕集设备参数: γ_B 和 δ_B 取 0.9, λ_B 取 0.296 MWh/t, $V_{F,\max}$ 和 $V_{P,\max}$ 取 $6 \times 10^4 \text{ m}^3$, $V_{F,0}$ 和 $V_{P,0}$ 取 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$, P_B 取 5 MW, $P_{R,\max}$ 取 100 MW; 其他参数: σ_Y 取 100 \$/t, α_w 取 20 \$/

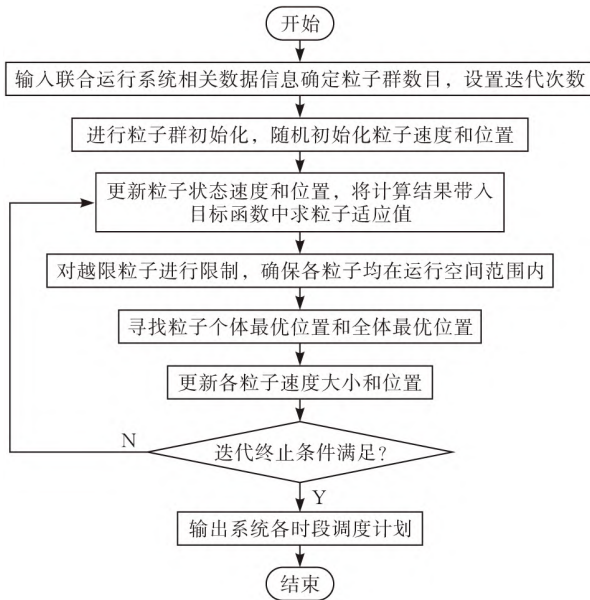


图3 算法求解流程

MWh, λ_D 取 0.7 t/MWh, δ_T 取 14 \$/t。为验证储液式 CCPP 存在的削峰填谷效益, 设置 3 种运行场景进行对比分析: 1) 不含 CCPP 的电力系统; 2) 含固

定式 CCPP 的电力系统; 3) 含储液式 CCPP 的电力系统。

3.2 调度结果分析

各场景下仿真调度结果对比见表 2, 场景 1~3 总运行成本分别为 337 634.4 \$、296 511.95 \$ 和 278 927.99 \$, 碳排放分别为 11 021.13 t、6468.28 t 和 6219.51 t, 弃风量分别为 754.20 MW、547.71 MW 和 189.70 MW; 通过 3 种场景下各指标结果对比可知, 相对于不含 CCPP 的场景 1, 场景 2 因碳捕集装置的存在使得碳排放量下降了 41.31%, 碳排放量低于碳排放配额, 场景 2 下碳排放收益使得总成本较场景 1 下降 12.18%; 场景 3 在引入储液式 CCPP 后, 负荷低谷时段弃风量相对场景 2 减少 358.01 MW, 同时火电煤耗成本减少 5902.29 \$, 碳排放成本降低 1121.47 \$, 开停机成本也相对降低 3400 \$, 说明采用储液式可优化机组运行特性。综上, 采用场景 3 的调度运行方式在促进新能源消纳、降低碳排放和提高系统经济特性方面最优。

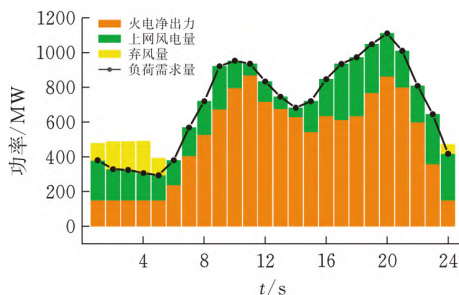
表1 火电机组参数

机组	$P_{G,max} /$ MW	$P_{G,min} /$ MW	a t/MW ² h	b t/MWh	c t/h	R_u/R_d	$T_q /$ h	$g /$ (\$ -次)	$e_G /$ (t · MWh ⁻¹)
1	450	150	0.000 048	0.161 39	7.867 988	250	2	3000	0.90
2	400	100	0.000 245	0.169 39	7.956 332	200	2	2800	0.90
3	130	20	0.000 237	0.165 39	6.999 983	80	2	1200	0.95
4	160	25	0.000 347	0.195 39	6.976 855	100	1	1800	0.99
5	80	20	0.000 731	0.225 39	4.494 577	30	1	350	0.94

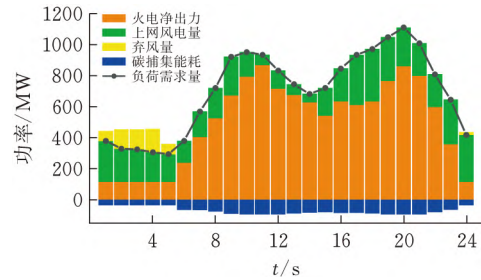
表2 各场景调度结果

指标	开停机成本/\$	火电煤耗成本/\$	弃风成本/\$	碳排放成本/\$
场景 1	7000	281 262.43	15 084	34 287.97
场景 2	10 400	319 327.46	10 954.2	-44 169.71
场景 3	7000	313 425.17	3794.00	-45 291.18

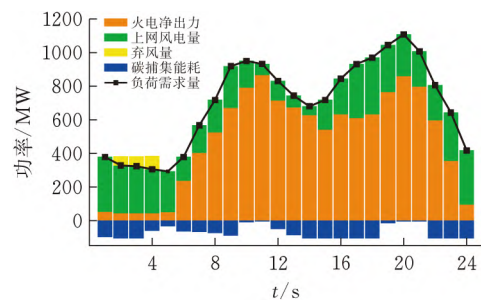
图 4 为各场景调度计划, 在负荷低谷时段 23:00 一次日 5:00 时, 因场景 2 下碳捕集能耗与火电出力耦合造成弃风量仍然很高, 而储液装置的引入带来的“填谷”效益提高了低谷时段的碳捕集能耗, 此段转移的能耗相对场景 2 由高碳火电提供替换为原来的弃风量提供, 提高新能源消纳能力的同时减小火电出力占比, 有利于系统实现更优的低碳经济目标。



(a) 场景 1 调度计划



(b) 场景 2 调度计划



(c) 场景 3 调度计划

图4 各场景调度计划

由图 5 中各场景下火电机组等效出力对比可知, 因碳捕集能耗的存在, 在负荷高峰时段, 场景 2 相对场景 1 增加了火电出力需求, 使得高峰时段的

出力和备用压力明显增加;场景3因能耗转移能力在保持碳捕集水平不变的同时,转移高峰时段的碳捕集能耗,极大的降低了出力需求,“削峰”作用明显。

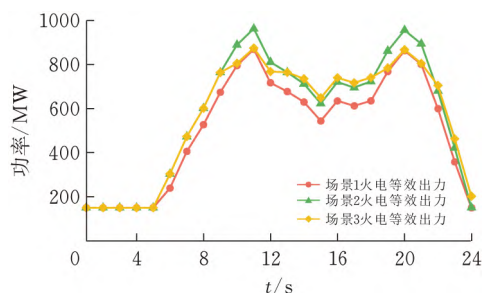


图5 火电机组等效出力对比

图6为场景3溶液存储器储量变化,在负荷低谷时段0:00—4:00时,出力需求较低的同时风电出力较大,此时溶液存储器排出含 CO_2 的富液溶剂,增大碳捕集能耗。9:00—12:00时为负荷需求高峰期,此时溶液存储器存储部分火电机组产生的 CO_2 ,降低碳捕集能耗,缓解火电出力压力。13:00—18:00时负荷需求相对高峰时段有明显缓解,此时,为负荷高峰18:00—21:00时段缓解出力压力倾向于增加部分碳捕集能耗。

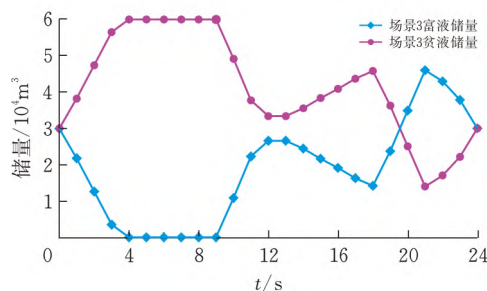


图6 场景3溶液存储器储量变化

4 结论

本文考虑储液式CCPP削峰填谷特性的低碳经济调度策略,得到如下结论:

含储液式CCPP总运行成本相对固定式CCPP降低了5.9%,碳排量减少了248.78 t,说明储液式CCPP可有效提高系统低碳经济特性。通过负荷低谷时段储液式CCPP的能耗时移研究,其具备的削峰填谷特性能有效促进新能源消纳的同时缓解火电机组的出力和备用压力,所提调度策略可为“双碳”目标快速实现提供可行解。后续将深入研究电价和碳价变化下,固定捕获水平的储液式CCPP存在的调度缺陷以及解决方案,进一步提高系统的调度灵活性。

[参考文献]

- [1] 康重庆,杜尔顺,李姚旺,等.新型电力系统的“碳视角”:科学问题与研究框架[J].电网技术,2022,46(03): 821-833.
- [2] 卓振宇,张宁,谢小荣,等.高比例可再生能源电力系统关键技术及发展挑战[J].电力系统自动化,2021,45(09):171-191.
- [3] QIXIN C, CHONGQING K, QING X. Modeling flexible operation mechanism of CO_2 capture power plant and its effects on power-system operation[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2010, 25(03): 853-861.
- [4] 国家能源集团.通过CCUS(碳捕集,利用与封存)技术改造实现中国煤电碳减排[EB/OL].[2021-02-17].https://iea.blob.core.windows.net/assets/dc34-50c2-4694-4c8c-9db3-9843214ead8a/ChinaCCSretrofit-reportCCUS.pdf.
- [5] 陈海鹏,陈晋冬,张忠,等.计及灵活运行碳捕集电厂捕获能耗的电力系统低碳经济调度[J].电力自动化设备,2021,41(09):133-139.
- [6] 康重庆,季震,陈启鑫.捕集电厂灵活运行方法评述与展望[J].电力系统自动化,2012,36(06):1-10.
- [7] 仲悟之,黄思宇,崔杨,等.考虑源荷不确定性的风电-光热-碳捕集虚拟电厂协调优化调度[J].电网技术,2020,44(09):3424-3432.
- [8] 周任军,孙洪,唐夏菲,等.双碳量约束下风电-碳捕集虚拟电厂低碳经济调度[J].中国电机工程学报,2018,38(06):1675-1683,1904.
- [9] 崔杨,邓贵波,曾鹏,等.计及碳捕集电厂低碳特性的含风电电力系统源-荷多时间尺度调度方法[J/OL].中国电机工程学报:1-18[2022-07-29].
- [10] MANAF N A, QADIR A, ABBAS A. Temporal multi-scalar decision support framework for flexible operation of carbon capture plants targeting low-carbon management of power plant emissions[J]. Applied Energy, 2016, 169: 912-926.
- [11] 周瑜,张彬桥.基于改进粒子群算法的风-水-火电力系统短期优化调度[J].电工材料,2020(06):46-49.
- [12] 熊虎,向铁元,陈红坤,等.含大规模间歇式电源的模糊机会约束机组组合研究[J].中国电机工程学报,2013,33(13):36-44.
- [13] LI X, ZHANG R, BAI L, et al. Stochastic low-carbon scheduling with carbon capture power plants and coupon-based demand response[J]. Applied Energy, 2018, 210:1219-1228.
- [14] LI XUE, ZHANG RUFENG, BAI LINQUAN, et al. Stochastic low-carbon scheduling with carbon capture power plants and coupon-based demand response[J]. Applied Energy, 2018(210): 1219-1228.

(下转第85页)

A Study of Tumour Killing Therapy with Oncolytic Virus Combined with Ionic Liquid

GU Ziyang, CUI Yanfang, LIU Binlei

(School of Biological Engineering and Food Science, Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China)

Abstract: Herpes simplex virus type 2, a type of oncolytic virus, has a killing effect on tumour cells in vitro and a growth inhibiting effect on tumour tissue in vivo. Geranylic acid and choline bicarbonate ionic liquids have the effect of promoting drug absorption and retaining the drug in the tissues. In this paper, we synthesized geranylic acid choline bicarbonate ionic liquid, made by salt complex decomposition, distilled and purified by recrystallisation, and replaced the original solvent of herpes simplex virus type 2 by mixing with a certain proportion of PBS solution. The tumour killing effect of oncolytic virus is enhanced by the long-term presence of oncolytic virus in the tumour tissue.

Keywords: oncolytic virus; ionic liquids; tumour killing; oncology treatment

[责任编辑: 张 众]

(上接第 67 页)

Low-Carbon Economic Dispatch Considering Peak Shaving and Valley Filling Characteristics of Carbon Capture Power Plants

LUO Jie¹, HUANG Wentao¹, HE Zhongwei²

(1 Hubei Collaborative Innovation Center for High-efficiency Utilization of Solar Energy,
Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China;

2 State Grid Enshi Power Supply Company, Enshi 445000, China)

Abstract: In the context of the current large-scale thermal power generation, carbon capture power plants have become one of the best choices to quickly achieve the "dual carbon" goal. Due to the high energy consumption of traditional fixed type capture and the problem of wind solar anti-peak shaving, the introduction of liquid storage carbon capture power plants is considered to develop a new dispatch strategy to improve the low-carbon economic characteristics of the system. First, the operation mechanism of the fixed type and the liquid storage type are compared, and the peak shaving and valley filling characteristics of the liquid storage type are explored according to the characteristics of each dispatching resource during the load peak and valley period; then, a comprehensive system that takes into account operating costs, abandoned air volume and carbon emissions is constructed. Finally, through the simulation example comparison, the system carbon emissions of the reservoir containing carbon capture power plant are reduced by 3.8%, the comprehensive cost is reduced by 5.9%, and the curtailment cost is reduced by 65.4%, which verifies the superiority of the proposed scheduling strategy.

Keywords: carbon peaking; thermal power; carbon capture; peak shaving and valley filling; carbon trading

[责任编辑: 张岩芳]