

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20230285

基于启发式机组组合算法的水火风光储系统供需平衡方法

陆润钊¹, 陈典¹, 贺海磊¹, 张松涛¹, 张健¹, 张彦涛¹, 马丽亚², 王衡²

(1. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192; 2. 国网新疆电力有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 在构建新型电力系统背景下, 新能源高占比的水火风光储系统成为电力规划工作的主要研究对象。在实际规划分析工作中, 需对水火风光储系统在长时间尺度上的供需平衡情况进行高频迭代计算以实现敏感边界的定量分析, 这对平衡分析方法计算效率提出更高要求。综合考虑各类电源工作特性和新能源出力概率特性, 提出了基于运行规则的启发式机组组合算法, 实现全年尺度逐日确定机组开机方式, 进一步构建了适用于水火风光储系统的供需平衡分析模型。最后基于区域电网算例开展仿真验证, 结果证明所提模型及方法可行有效, 为长时间尺度水火风光储系统电力供需平衡分析提供了参考。

关键词: 机组组合; 供需平衡; 概率特性; 水火风光储系统

中图分类号: TM74 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)11-0222-05

1 引言

随着“双碳”目标和构建新型电力系统的提出, 传统水火电力供应体系逐步向新能源占比逐渐提高的新型电力供应体系转变。由于新能源的随机性、波动性和反调峰特性使电力系统供需平衡特性发生显著变化^[1], 传统适用于水火电力系统的分析方法已难以适应新形势下电力规划分析工作, 需针对新能源高占比的水火风光储系统开展电力供需平衡分析方法研究。目前, 水火风光储系统供需平衡问题已有广泛研究^[2-7], 主要方法集中在以系统运行经济性最优或新能源利用率最高等为目标, 构建考虑各类型电源、储能和需求侧响应等因素运行特性的优化模型, 此类模型多为混合整数规划模型, 并通过分支定界等精确算法求解。但对于大规模电力系统对该模型直接求解费时费力, 很难满足电力系统规划工作对规划方案开展高频次、高效计算的实际需求。为解决此问题, 本文将供需平衡分析中的机组组合问题拆分, 提出基于电力系统生产规则的启发式机组组合算法, 实现全年每日开机方式的快速计算, 显著降低供需平衡优化模型计算复杂度, 以满足规划工作实际需求, 并通过实例分析验证了该方法的

可行性。

2 启发式机组组合算法

机组组合是根据各类电源运行特性来合理编排各机组运行状态进而尽量满足各时刻负荷需求的问题。基于电力系统生产运行规则, 以综合净负荷为基础, 依次安排水电、抽水蓄能、储能等机组或设备的工作位置, 据此最终确定燃煤、燃气等火电机组的开机状态。

2.1 考虑新能源出力概率特性的综合净负荷模型

确定火电机组开机状态首先需明确机组开机需求, 可通过综合净负荷曲线获取, 即:

$$P_t^{\text{net}} = P_t^{\text{load}} + P_t^{\text{res}} + P_t^{\text{line}} - P_t^{\text{rel}} \quad (1)$$

式中, P_t^{net} 、 P_t^{load} 分别为 t 时刻的系统净负荷和原始负荷; P_t^{res} 为 t 时刻的系统旋转备用; P_t^{line} 为 t 时刻系统外送电力; P_t^{rel} 为风力、光伏等新能源的可靠出力水平。

新能源可靠出力水平可基于历史数据经过概率统计获取。首先构建风电、光伏出力的归一化历史数据集, 进而分段重构, 即:

$$e = \left[\frac{u_1}{C_{\text{ren}}}, \frac{u_2}{C_{\text{ren}}}, \dots, \frac{u_t}{C_{\text{ren}}}, \dots, \frac{u_{8\ 760}}{C_{\text{ren}}} \right] = [e_1, e_2, \dots, e_t, \dots, e_{8\ 760}] \quad (2)$$

收稿日期: 2023-03-01, **修回日期:** 2023-04-12

基金项目: 国家电网公司总部科技项目高比例新能源电力系统长时间尺度功率平衡能力研究(5100-202055391A-0-00)

作者简介: 陆润钊(1994-), 男, 硕士、工程师, 研究方向为电力电量平衡分析, E-mail: lurz. epri@outlook. com

$$e = \left[\underbrace{e_1, \dots, e_8}_{e^{(1,1)}}, \underbrace{e_9, \dots, e_{16}}_{e^{(d,1)}}, \underbrace{e_{17}, \dots, e_{24}}_{e^{(D,1)}}, \dots, \underbrace{e_{t+1}, \dots, e_{t+8}}_{e^{(1,s)}}, \underbrace{e_{t+9}, \dots, e_{t+16}}_{e^{(d,s)}}, \underbrace{e_{t+17}, \dots, e_{t+24}}_{e^{(D,s)}} \right] \quad (3)$$

$$E = \left[e^{(1,1)}, e^{(2,1)}, \dots, e^{(d,s)}, \dots, e^{(D-1,S)}, e^{(D,S)} \right] = \left[\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \dots, \tau_{K-1}, \tau_K \right] \quad (4)$$

式中, e 为风电或光伏出力向量; u_t 为 t 时刻风电或光伏历史出力; C_{ren} 为当年系统中风电或光伏的总装机容量, 以此为基准值将 u_t 归一化; e_t 为 t 时刻归一化后的风电或光伏出力; D 为日内分段数, 对应于风光出力的日内特性分段, 即将全天 24 h 出力数据按照早、中、晚等时段分类; S 为年分段数, 对应于风光出力的季节特性分段, 即将全年 8 760 h 出力数据依照季节分类; 将新能源出力数据集依次排列, 并将第 s 个年分段内第 d 个日分段内的新能源出力数据集 $e_{(d,s)}$ 简记为 τ_k , 其代表着第 s 个季节内每天第 d 个时段内所有出力数据的集合; K 为新能源出力数据集总数。

基于新能源出力数据集 τ_k , 采用核密度估计方法^[8] 构建新能源出力概率密度函数 $f_k(x)$, 结合预设置信水平 $(1-\alpha)$ 可确定新能源出力概率密度函数在当前置信水平下所对应的分位数 $X_{k,\alpha}$, 则相应单边置信区间为 $[X_{k,\alpha}, 1]$ 。

以风电出力概率密度函数为例, 展示不同预设置信水平下的分位数 $X_{k,\alpha}$ (图 1)。当 $\alpha=0.05$ 时, 其代表风电出力有 5% 概率落于区间 $[0, X_{k,\alpha} |_{\alpha=0.05}]$, 亦即在 95% 概率下位于区间 $(X_{k,\alpha} |_{\alpha=0.05}, 1]$ 。这意味着在数据集内, 风电出力在 95% 概率下会比 $X_{k,\alpha} |_{\alpha=0.05}$ 大。同理, $\alpha=0.1, 0.2$ 时, 分别对应着风电出力在 90%、80% 概率下会比 $X_{k,\alpha} |_{\alpha=0.1}, X_{k,\alpha} |_{\alpha=0.2}$ 要乐观。

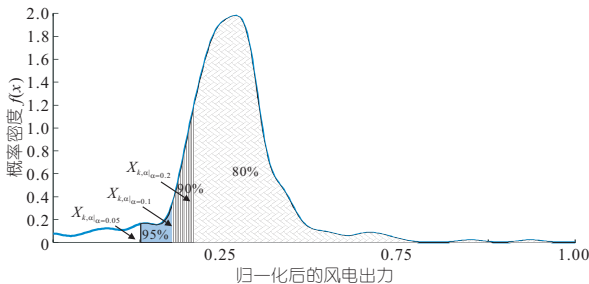


图 1 第 k 数据集中风电出力在不同置信水平下的分位数和置信区间

Fig. 1 Quantiles and confidence intervals of wind power output in the k th data set at different confidence levels

新能源可靠出力水平 P_t^{rel} 可表示为:

$$P_t^{rel} = e_t^{pre} X_{k,\alpha} P_{ren}^{max} \quad t \in T(\tau_k) \quad (5)$$

式中, e_t^{pre} 为 t 时刻归一化后风电或光伏出力预测值; $X_{k,\alpha}$ 为 t 时刻预测出力折算值, 亦即基于 t 时

刻所对应数据集 τ_k 构建的概率密度函数在 $(1-\alpha)$ 置信水平下所对应的分位数; P_{ren}^{max} 为风电或光伏装机容量。

至此, 可通过式(1)基于原始负荷、备用需求、外送电力及新能源可靠出力水平计算系统综合净负荷曲线。

2.2 水电机组工作状态模型

水电作为清洁能源在电力生产中除了在必要检修等情况下往往处于常开状态。对于水电机组工作特性, 可由强迫出力、预想出力来约束其出力上下限, 由平均出力曲线来刻画其典型出力状态, 并满足水电机组电量需求, 即:

$$P_{t,i}^{hd,forc} \leq P_{t,i}^{hd} \leq P_{t,i}^{hd,expe} \quad i \in I_h; t = 1, 2, \dots, T \quad (6)$$

$$\sum_{t=1}^T P_{t,i}^{hd} = \sum_{t=1}^T P_{t,i}^{hd,ave} \quad i \in I_h \quad (7)$$

式中, $P_{t,i}^{hd}$ 为水电机组 i 在 t 时刻的出力; $P_{t,i}^{hd,forc}$ 、 $P_{t,i}^{hd,expe}$ 、 $P_{t,i}^{hd,ave}$ 分别为水电机组 i 在 t 时刻的强迫出力、预想出力和平均出力; I_h 为系统中水电机组集合。

此处为简化计算和粗略估计水电各时刻所承担的负荷总量, 令水电机组均按照平均出力运行, 则此时综合净负荷可更新为:

$$P_t^{neth} = P_t^{net} - \sum_{i \in I_h} P_{t,i}^{hd} \quad (8)$$

式中, P_t^{neth} 为 t 时刻扣除所有在运水电机组出力之后的综合净负荷; P_t^{net} 为式(1)中在 t 时刻的原始综合净负荷。

2.3 抽蓄储能工作状态模型

抽蓄机组和储能作为系统重要的可调节资源, 在电力负荷削峰填谷, 转移新能源清洁电量等方面发挥显著作用。基于式(8)所示综合净负荷 P_t^{neth} , 以最大化实现削峰填谷、平抑综合净负荷曲线为目标, 构建抽蓄储能工作状态优化模型, 对于第 i 个抽蓄机组或储能, 其模型为:

$$\min \sum_t (P_t^{neth} - P_{t,i}^{sto} - \bar{P}_D^{neth})^2 \quad (9)$$

$$s. t. \quad P_{min,i}^{sto} \leq P_{t,i}^{sto} \leq P_{max,i}^{sto} \quad t = 1, 2, \dots, D \quad (10)$$

$$E_{0,i}^{sto} + \sum_{t=1}^{\tau} P_{t,i}^{sto} \Delta t \leq E_{max,i}^{sto} \quad \tau = 1, 2, \dots, D \quad (11)$$

$$\sum_{t=1}^D P_{t,i}^{sto} \Delta t = 0 \quad (12)$$

式中, P_t^{neth} 、 \bar{P}_D^{neth} 分别为更新后的综合净负荷和在调节周期 D 内平均值; $P_{t,i}^{sto}$ 为抽蓄机组或储能在 t 时刻的出力, 其上下限分别为 $P_{max,i}^{sto}$ 、 $P_{min,i}^{sto}$; $E_{0,i}^{sto}$ 、 $E_{max,i}^{sto}$ 分别为抽蓄机组或储能的初始存储电

量和最大存储容量; Δt 为抽蓄机组或储能能在 $P_{t,i}^{\text{sto}}$ 出力状态下的工作时长, 此处为 1 h。

式(9)~(12)的物理意义即在特定的调节周期, 如 D_1 、 D_2 、 D_3 内, 通过抽蓄机组和储能削峰填谷使得综合净负荷曲线最大化接近其平均值。式(9)~(12)是较简单的二次规划问题, 可通过商用求解器 MOSEK 快速求解。值得注意的是, 对于每个抽蓄机组或储能, 均需求解式(9)~(12)以确定其具体出力, 基于此可更新综合净负荷曲线, 为:

$$P_t^{\text{netn}} = P_t^{\text{net}} - \sum_{i \in I_s} P_{t,i}^{\text{sto}} \quad (13)$$

式中, P_t^{netn} 为式(8)中在 t 时刻的综合净负荷; P_t^{netn} 为 t 时刻扣除所有在运抽蓄机组和储能后的综合净负荷; I_s 为系统中抽蓄机组和储能的集合; $P_{t,i}^{\text{sto}}$ 为储能或抽蓄机组 i 在 t 时刻的出力。

2.4 火电机组组合模型

综合净负荷 P_t^{netn} 即为当前系统未被满足且需由火电机组尽量承担的负荷, 以自然日为界限对综合净负荷 P_t^{netn} 进行分段, 并寻找日内最大负荷需求, 由此可确定每天火电机组的开机方式, 即:

$$P_{\text{max},d}^{\text{netn}} = \max_{t \in \{d_1, d_2, \dots, d_{24}\}} (P_t^{\text{netn}}) \quad (14)$$

$$\begin{cases} \sum_{i \in I_{\text{on}}^d} P_{\text{max},i}^{\text{the}} \geq P_{\text{max},d}^{\text{netn}} \\ \sum_{i \in I_{\text{on-1}}^d} P_{\text{max},i}^{\text{the}} < P_{\text{max},d}^{\text{netn}} \end{cases} \quad (15)$$

$$I_{\text{on}}^d \subseteq I_{\text{order}}^{\text{the}} \quad (16)$$

式中, $P_{\text{max},d}^{\text{netn}}$ 为第 d 日内的最大综合净负荷; d_1, d_2, \dots, d_{24} 分别为第 d 日内第 1~24 时刻; I_{on}^d 为第 d 日火电机组必要开机的集合; $I_{\text{on-1}}^d$ 为 I_{on}^d 集合中去除任一台机组后剩余机组构建的集合; $I_{\text{order}}^{\text{the}}$ 为系统中火电机组的集合, 且集合内机组按照运行经济性由优至劣进行排序。

式(15)、(16)表征在 $I_{\text{order}}^{\text{the}}$ 中顺次选出足够多的火电机组构建集合 I_{on}^d , 使得 I_{on}^d 中所有机组的可用容量总和刚好大于 $P_{\text{max},d}^{\text{netn}}$ 的需求; 此时 I_{on}^d 即满足 $P_{\text{max},d}^{\text{netn}}$ 的最小机组组合方案。上述过程可直观反映在图 2 中, 其中第 d 日所有可用机组依序重构成集合 $I_{\text{order}}^{\text{the}}$, 对照 $P_{\text{max},d}^{\text{netn}}$ 确定第 d 日的必开机组 I_{on}^d 。

3 水火风光储系统供需平衡模型

基于每日的火电机组组合 I_{on}^d , 综合考虑水电、火电、风电、光伏及储能工作特性, 以新能源弃电量尽量小、运行经济性最优为目标构建系统供需平衡模型为:

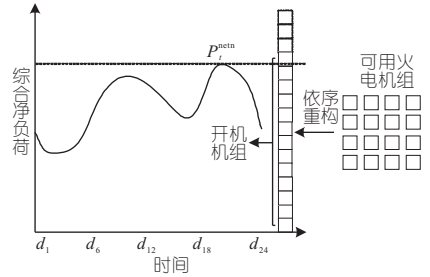


图 2 基于综合净负荷的火电机组组合方法示意

Fig. 2 Unit commitment based on comprehensive net load

$$\min \sum_{t=1}^D \left[\sum_{i \in I_{\text{on}}^d} a P_{t,i}^{\text{the}} + b (P_t^{\text{newfor}} - P_t^{\text{new}}) + c P_t^{\text{she}} \right] \quad (17)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i \in I_{\text{on}}^d} P_{t,i}^{\text{the}} + \sum_{i \in I_h} P_{t,i}^{\text{hdy}} + \sum_{i \in I_s} P_{t,i}^{\text{sto}} = P_t^{\text{load}} - P_t^{\text{she}} - P_t^{\text{new}} \quad t = 1, 2, \dots, D \quad (18)$$

$$P_{\text{min},i}^{\text{the}} \leq P_{t,i}^{\text{the}} \leq P_{\text{max},i}^{\text{the}} \quad i \in I_{\text{on}}^d; t = 1, 2, \dots, D \quad (19)$$

$$P_{t,i}^{\text{hdy,forc}} \leq P_{t,i}^{\text{hdy}} \leq P_{t,i}^{\text{hdy,expe}} \quad i \in I_h; t = 1, 2, \dots, D \quad (20)$$

$$\sum_{t=1}^D P_{t,i}^{\text{hdy}} = \sum_{t=1}^D P_{t,i}^{\text{hdy,ave}} \quad i \in I_h \quad (21)$$

$$P_{\text{min},i}^{\text{sto}} \leq P_{t,i}^{\text{sto}} \leq P_{\text{max},i}^{\text{sto}} \quad i \in I_s; t = 1, 2, \dots, D \quad (22)$$

$$E_{0,i}^{\text{sto}} + \sum_{t=1}^{\tau} P_{t,i}^{\text{sto}} \Delta t \leq E_{\text{max},i}^{\text{sto}} \quad i \in I_s; \tau = 1, 2, \dots, D \quad (23)$$

$$\sum_{t=1}^D P_{t,i}^{\text{sto}} \Delta t = 0 \quad i \in I_s \quad (24)$$

$$0 \leq P_t^{\text{new}} \leq P_t^{\text{newfor}} \quad t = 1, 2, \dots, D \quad (25)$$

$$0 \leq P_t^{\text{she}} \leq P_t^{\text{load}} \quad t = 1, 2, \dots, D \quad (26)$$

式中, D 为供需平衡计算周期; a 、 b 、 c 分别为火电机组运行成本系数、新能源弃电惩罚系数、失负荷惩罚系数; $P_{t,i}^{\text{the}}$ 为火电机组出力; P_t^{newfor} 、 P_t^{new} 分别为第 t 时刻新能源预测出力和实际出力; P_t^{load} 、 P_t^{she} 分别为第 t 时刻的原始负荷和切负荷。

其中, 式(18)表示负荷和电源供需平衡约束; 式(19)表示火电机组出力上下限约束; 式(20)~(21)表示水电机组出力上下限约束和平衡周期内电量约束; 式(22)~(24)表示抽蓄机组或储能出力上下限约束、存储电量约束; 式(25)表示新能源实际出力范围; 式(26)表示负荷切除量限制。显而易见, 该模型为简单的线性规划模型, 可采用商用求解器快速求解。

4 算例分析

基于中国某区域电网 2030 年的发展规化数

据开展算例分析。该电网由五个分区构成,分别对应于五个省级电网。其中各分区的全社会负荷和用电量情况见表 1,预计 2030 年最大负荷达约 $1.94 \times 10^8 \text{ kW}$;用电量约为 $1.36 \times 10^{12} \text{ kW}$ 。

表 1 2030 年某区域电网预计全社会负荷和用电量情况

Tab. 1 Load and power consumption forecast of a regional power grid in 2030

地区	全社会用电量/ 10^8 kW	全社会最大负荷/ 10^4 kW
Z1	2 988	5 383
Z2	2 297	3 331
Z3	1 291	1 693
Z4	1 762	2 547
Z5	5 238	7 399
合计	13 576	19 418

该系统各类电源装机容量达 $65\,528 \times 10^4 \text{ kW}$,其中燃煤机组 $21\,455 \times 10^4 \text{ kW}$ 、燃气机组 $801 \times 10^4 \text{ kW}$ 、水电机组 $5\,100 \times 10^4 \text{ kW}$ 、风电装机 $15\,920 \times 10^4 \text{ kW}$ 、光伏装机 $21\,370 \times 10^4 \text{ kW}$ 、光热电站装机 $582 \times 10^4 \text{ kW}$ 、生物质电站等其他机组装机 $300 \times 10^4 \text{ kW}$ 。此外,预计 2030 年该系统将有 23 个跨区直流工程,总规模将达到 $1.67 \times 10^8 \text{ kW}$,在供需平衡计算中,各直流工程按照典型曲线运行。该区域电网总体和各分区备用率均按 13% 设置;风电、光伏可靠出力水平按照 95% 置信水平(即 $\alpha = 0.05$)所对应的分位数计算获取;水电机组强迫、预想和平均出力曲线均基于近五年历史数据统计,并经合理放缩后确定。

基于以上数据,逐日开展全年 8 760 h 的供需平衡计算,计算结果如下:在全年尺度上,该区域电网在夏季和冬季出现大量的失负荷情况,电力不足问题严重,其中夏季失负荷极值约为 $4\,013 \times 10^4 \text{ kW}$,冬季失负荷极值约为 $7\,021 \times 10^4 \text{ kW}$,如图 3 所示。

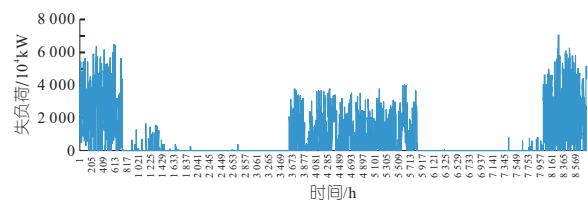


图 3 逐时电力不足情况

Fig. 3 The loss of load in 2030

以冬季晚间 12 月 11 日 19:00 为例,此时系统电力平衡情况见表 2。可见本地负荷及直流外送需求较大,光伏出力基本为零,风电出力处于较低水平,约为装机容量的 17%,新能源难以提供足够的电力支撑;同时,冬季枯水期水电电量不足,冬季供热期火电供热机组出力受阻,难以满足功率带负荷运行,因而存在大量电力短缺现象。

表 2 典型时刻供需平衡情况

Tab. 2 The power supply and load on December 11 at 19:00

能源	功率/ 10^4 kW	能源	功率/ 10^4 kW
负荷需求	18 570	抽蓄储能	3 665
交流外送	0	风电出力	2 759
直流外送	15 818	光伏出力	4
煤电出力	16 688	光热出力	557
气电出力	801	电力不足	7 021
水电出力	2 894	弃风弃光	0

在当前边界条件下,该系统全年风光综合利用率为 87.7%,风电利用率约 91.9%,光伏利用率约 83.8%。可通过增配储能容量以增加系统灵活性调节能力,进而提高新能源利用率。在 2030 年基础方案上,为该系统五分区等比例增加储能容量,整体风光利用率见表 3。其中,当总体增加 $4\,000 \times 10^4 \text{ kW} \times 4 \text{ h}$ 日调节储能后,风电、光伏利用率可分别提升至 92.3%、90.0%,整体利用率为 91.0%;同时此时增加日调节储能对提高新能源利用率的边际效应微小,需整体增配约 $1\,200 \times 10^4 \text{ kW} \times 4 \text{ h}$ 周调节储能才能将风电、光伏利用率分别提升至 96.2%、94.7%,整体利用率提升至 95.0%。

表 3 增配储能容量后新能源利用率情况

Tab. 3 New energy utilization rate after increasing energy storage capacity

储能容量/ $10^4 \text{ kW} \times \text{h}$	利用率/%		
	风电	光伏	综合
基础方案	91.9	83.8	87.7
+2 500×4(日调节)	92.2	86.4	90.0
+4 000×4(日调节)	92.3	90.0	91.0
+4 000×4(日调节)+400×4(周调节)	93.7	92.5	93.2
+4 000×4(日调节)+800×4(周调节)	95.0	94.1	94.6
+4 000×4(日调节)+1 200×4(周调节)	96.2	94.7	95.0

为验证本文所述方法的计算高效性,将之与基于同样计算边界构建的混合整数规划模型进行对比。本文所提方法计算过程包括逐日机组组合计算和供需平衡线性模型求解两部分,共计耗时 177.8 s;而通过精确算法对混合整数规划模型直接进行求解难以在 3 h 内获取最优解。由此可见,本文所提方法对电力规划工作中高频次迭代的计算需求提供了工具支撑和实践方法。

5 结论

a. 基于电力系统运行规则,综合考虑新能源出力概率特性和水电、火电机组及抽蓄储能工作特性,提出了启发式机组组合算法,并基于确定的每日开机方式构建了适用于水火风光储系统的长时间尺度供需平衡分析模型。

b. 实例分析证实了所提机组组合算法和供需平衡分析模型的有效性,同时计算效率较混合

整数规划模型精确寻优有明显减小,能够为实际分析工作中高频次迭代计算提供技术支撑。

参考文献:

[1] 舒印彪,张智刚,郭剑波,等. 新能源消纳关键因素分析及解决措施研究[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(1):1-9.

[2] 刘德旭,刘艳,潘永旗,等. 基于可再生能源发电优先消纳的电力电量平衡模型研究[J]. 电网与清洁能源, 2020, 36(1):64-71.

[3] 曾雪婷,刘天琪,李茜,等. 高水电比重系统电力电量平衡混合整数二次规划模型及算法研究[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(4):1114-1125.

[4] 杨修宇,穆钢,柴国峰,等. 考虑灵活性供需平衡的

源—储—网一体化规划方法[J]. 电网技术, 2020, 44(9):3238-3246.

[5] 邵成成,冯陈佳,王雅楠,等. 含大规模清洁能源电力系统的多时间尺度生产模拟[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(19):6103-6113.

[6] 李湃,方保民,祁太元,等. 基于源—荷匹配的区域电网风/光/储容量配比优化方法[J]. 中国电力, 2022, 55(1):46-54.

[7] 崔杨,姜涛,仲悟之,等. 考虑风电消纳的区域综合能源系统源荷协调经济调度[J]. 电网技术, 2020, 44(7):2474-2483.

[8] 徐询,谢丽蓉,叶林,等. 基于非参数核密度估计的风电场有功功率双层优化模型[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(2):43-55.

Supply and Demand Balance Method of Hydro-thermal-wind-solar-storage System Based on Heuristic Unit Commitment Algorithm

LU Run-zhao¹, CHEN Dian¹, HE Hai-lei¹, ZHANG Song-tao¹, ZHANG Jian¹, ZHANG Yan-tao¹, MA Li-ya², WANG Heng²

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;
2. State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Urumqi 830002, China)

Abstract: Under the background of building a new-type power systems, the hydro-thermal-wind-solar-storage system with a high proportion of new energy has become the main research object of power system planning. It is necessary to perform high-frequency iterative calculations on the long-term supply-demand balance of the hydro-thermal-wind-solar-storage system to achieve quantitative analysis of sensitive boundaries, which puts forward higher requirements for the calculation efficiency of the analysis method. Considering the working characteristics of various power sources and the output probability characteristics of new energy sources, this paper proposed a heuristic unit commitment algorithm based on operating rules, which realizes the daily determination of the unit start-up mode throughout the year, and further constructed a supply-demand balance model. Finally, a case study based on a regional power grid example proved that the proposed model and method were feasible and effective, which provides reference for analyzing long-term supply-demand balance of the hydro-thermal-wind-solar-storage system.

Key words: unit commitment; supply-demand balance; probability characteristics; hydro-thermal-wind-solar-storage system

(上接第 124 页)

[6] 司鹏飞,田利勇,张雨剑,等. 双排钢板桩围堰变形特性研究[J]. 水运工程, 2020(6):172-176,187.

[7] XUE R, BIE S, GUO L, et al. Stability analysis for cofferdams of pile wall frame structures [J]. KSCE journal of civil engineering, 2019, 23(9):1-12.

[8] SHEN Y, WU Z, XIANG Z, et al. Physical test study on double-row long-short composite anti-sliding piles[J]. Geomechanics and engineering, 2017,

13(4):621-640.

[9] 中华人民共和国交通运输部. 码头结构设计规范: JTS167-2018[S]. 北京:人民交通出版社, 2018.

[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢围堰工程技术标准:GB/T51295-2018[S]. 北京:中国计划出版社, 2018.

[11] 中华人民共和国交通运输部. 港口与航道水文规范:JTS145-2015[S]. 北京:人民交通出版社, 2015.

Structural Design Optimization of Double Row Steel Sheet Pile Cofferdam Based on Deformation Control

ZHOU Qing-quan¹, LI Zhen-yu², JIANG Yi¹

(1. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China;
2. The Third Engineering Company of CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Zhenjiang 212000, China)

Abstract: To ensure the structural safety of the double row steel sheet pile cofferdam and control its water use area, the single-factor sensitivity analysis method was carried out to study the impact of various items on the deformation of cofferdam, and the PLAXIS software was used to implement the 2D and 3D finite element calculation. The results show that the elevation and tension of tie rod, and the specification of steel sheet pile have little impact on the deformation of cofferdam in soil; Compared with the width of the cofferdam itself, the deformation of cofferdam is more affected by the width of inner foot, so the width of the inner foot should be increased as much as possible; The depth of the outer sheet pile has no obvious impact on the deformation of the cofferdam, so that it can be reduced appropriately, and the depth of the inner sheet pile can be increased; The effect of the transverse structure on controlling the deformation of the cofferdam is not obvious, and other measures can be taken to strengthen the connection between the inner and outer sheet pile. The research ideas and calculation results can provide reference for structural design optimization of steel cofferdam in similar projects.

Key words: double-row steel sheet pile cofferdam; depth of sheet pile; width of cofferdam; width of inner foot; transverse structure