

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20220392

# 基于改进单亲遗传算法的大规模海上风电集电系统拓扑优化

苑玉宽<sup>1</sup>, 陈小月<sup>1</sup>, 黄 海<sup>2</sup>, 叶 荣<sup>3</sup>, 杨建军<sup>4</sup>, 李景一<sup>4</sup>

(1. 武汉大学电气与自动化学院, 湖北 武汉 430072; 2. 国网福建省电力有限公司, 福建 福州 350012; 3. 国网福建省电力有限公司经济技术研究院, 福建 福州 350012; 4. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122)

**摘要:** 针对大规模海上风电集电系统拓扑结构优化问题, 提出一种改进单亲遗传算法, 建立了集电系统全寿命周期成本现值计算模型, 并以现值和最小为目标, 通过设计满足海缆载流量约束的种群生成方式和与交叉点个数相关的淘汰系数来避免海缆交叉, 优化对比了 35、66 kV 电压等级的集电系统拓扑结构。算例结果表明, 提出的改进单亲遗传算法与传统算法相比总成本可减少 14.2%, 具有较好的寻优能力; 与 35 kV 相比, 集电系统采用 66 kV 电压等级综合效益更好, 可为大规模海上风电场集电系统规划设计提供参考。

**关键词:** 大规模海上风电场; 集电系统; 拓扑结构; 单亲遗传算法; 全寿命周期成本

中图分类号: TM726.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)01-0212-05

## 1 引言

集电系统是海上风电场用来汇集风机功率并集中外送的重要结构, 约占风电场投资总成本的 15%~30%, 优化其拓扑结构对提升海上风电项目整体经济性具有重要意义<sup>[1,2]</sup>。刘刚等<sup>[3]</sup>针对某一确定拓扑结构, 以全寿命周期成本最小为目标, 提出了海缆的选型方案; 魏书荣等<sup>[4]</sup>采用传统单亲遗传算法优化环形集电系统; 陈云超等<sup>[5]</sup>采用多精英协同进化单亲遗传算法优化光伏电站集电系统; 汪惟源等<sup>[6]</sup>考虑海缆选型与拓扑结构的动态关系, 以一次投资成本最小为目标, 结合最小生成树法与遗传算法优化了链形集电系统; 陈献慧等<sup>[7]</sup>以海缆最短为目标优化了环形集电系统, 并计算了其全寿命周期成本; 赵东来等<sup>[8]</sup>将海上风电场分为多个区域, 改进遗传算法的遗传操作, 以经济性和可靠性综合最优为目标优化不同区域的拓扑结构。由此可见, 现有研究大多基于风机较少, 电压等级为 35 kV 的小规模风电场, 当风电场规模增大时, 集电系统全寿命周期成本与拓扑结构的动态耦合关系更加复杂, 遗传算法寻优

效率会迅速降低, 可能会陷入局部最优。为此, 建立全寿命周期成本模型, 同时改进遗传算法的种群生成方式和适应度函数以提高算法的寻优空间, 以期提升海上风电场的综合效益。

## 2 集电系统全寿命周期成本优化模型

### 2.1 集电系统概况

集电系统主要由海上升压站、开关设备、海缆等构成, 其作用是将风机发出的电能经海缆传送至升压站母线。本文研究链形集电系统, 即将多台风机连接到一条馈线送至升压站母线, 采取的开关配置方式为每条海缆配置一个隔离开关, 每条馈线与升压站母线连接处配置一台开关柜, 见图 1。当海缆 3 发生故障时, 开关柜中的断路器断开, 海缆监测系统确定故障点后断开隔离开关

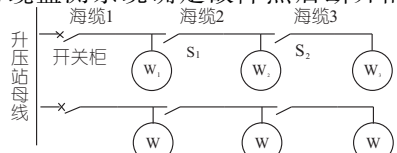


图 1 链形集电系统

Fig. 1 Chain collection system

收稿日期: 2022-03-03, 修回日期: 2022-04-05

基金项目: 国家电网有限公司总部科技项目(52130N200002)

作者简介: 苑玉宽(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统规划, E-mail: 1414824626@qq.com

通讯作者: 陈小月(1985-), 女, 副研究员, 研究方向为电力系统过电压数值仿真技术, E-mail: chenxiaoyue@whu.cn

$S_2$ , 合上断路器, 风机  $W_1$ 、 $W_2$  可继续送出功率。

### 2.2 目标函数及成本计算

集电系统的经济性指标包括初始投资、运行维护、线路损耗和废弃成本四部分。风电场废弃后, 海缆回收的残值与回收所需费用基本抵消, 因此可不考虑废弃成本<sup>[9]</sup>。可靠性指标可转化为故障电能损失和故障维修成本两部分。海上风电场的寿命一般为 25 年, 运行周期较长, 需考虑其时间价值。以全寿命周期成本现值总和  $C$  最小为目标函数, 可表示为:

$$\min(C) = \min(C_1 + (C_2 + C_3 + C_4 + C_5)A) \quad (1)$$

$$A = [(1+r)^T - 1] / [r(1+r)^T] \quad (2)$$

式中,  $C_1$  为初始投资, 指海缆、开关柜等设备的购置与施工费用;  $C_2$  为年运行维护成本, 指每年海缆检查、维护等需要的费用;  $C_3$  为年线路损耗成本, 指运行期间每年由于海缆导体电能损耗、介质损耗及护套和铠装损耗等造成的经济损失;  $C_4$  为年故障电能损失成本, 指每年由于开关柜、海缆等设备发生故障后系统不能输出电能所造成的经济损失;  $C_5$  为年故障维修成本, 指每年由于开关柜、海缆等部件发生故障后进行修复的费用;  $A$  为折现系数;  $r$  为折现率, 取 8%;  $T$  为风电场设计寿命。

集电系统的经济性指标计算公式为:

$$\begin{cases} C_1 = \sum_{m=1}^{N^x} (C_i^{SG} + \sum_{i=1}^{N_m^c} C_i^{CG} L_i) \\ C_2 = \sum_{m=1}^{N^x} (\sum_{i=1}^{N_m^c} C_i^{CW} L_i) \\ C_3 = \sum_{m=1}^{N^x} \sum_{i=1}^{N_m^c} 3k [P_i / (\sqrt{3} U \cos\varphi)]^2 R_i L_i \pi t \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $N^x$  为馈线数;  $C_i^{SG}$  为开关柜购置与安装成本;  $N_m^c$  为第  $m$  条馈线海缆数量;  $C_i^{CG}$  为单位长度的第  $i$  条海缆购置与敷设成本;  $L_i$  为第  $i$  条海缆的长度;  $C_i^{CW}$  为单位长度的第  $i$  条海缆运行维护成本;  $k$  为海缆损耗系数;  $P_i$  为第  $i$  条海缆所连接的风机总额定功率;  $U$  为集电线路电压等级;  $\cos\varphi$  为功率因数;  $R_i$  为第  $i$  条海缆单位长度的交流电阻;  $\pi$  为上网电价;  $t$  为风机折算到额定容量时的年发电时间。

隔离开关的故障率很小, 约为断路器故障率的 1/15, 计算时可不考虑隔离开关故障。对于链形拓扑, 海缆故障只会影响后续风机的功率送出。设从海上升压站开始连接风机的海缆依次为第 1, 2, ...,  $i$  条, 设  $P_i^{av}$  为第  $i$  条海缆所连接的风机功率平均出力, 等于其全年正常发电时的平均功

率。功率  $P_i^{av}$  无法送出的工况为第  $i$  条海缆故障, 第  $i$  条海缆至升压站之间的海缆正常工作, 设此工况发生的概率为  $Q_i^c$ 。  $P_i^{av}$  和  $Q_i^c$  的计算公式分别为:

$$P_i^{av} = P n_i t / 8\ 760 \quad (4)$$

$$Q_i^c = \begin{cases} q_i^c L_i & i = 1 \\ q_i^c L_i \prod_{j=1}^{i-1} (1 - q_j^c L_j) & i > 1 \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $P$  为风机额定功率;  $n_i$  为第  $i$  条集电海缆所连接的风机台数;  $q_i^c$  为单位长度的第  $i$  条集电海缆故障率。

年故障电能损失成本和年故障维修成本可表示为:

$$\begin{cases} C_4 = \sum_{m=1}^{N^x} (q^s P_m^{av} t^s \pi + \sum_{i=1}^{N_m^c} Q_i^c P_i^{av} t_i^c \pi) \\ C_5 = \sum_{m=1}^{N^x} (q^s C^{sx} + \sum_{i=1}^{N_m^c} q_i^c L_i C_i^{cx}) \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $q^s$  为开关柜故障率;  $P_k^{av}$  为第  $k$  条馈线所连接风机总平均功率;  $t^s$  为开关柜故障维修时间;  $t_i^c$  为第  $i$  条海缆的故障维修时间;  $C^{sx}$  为开关柜维修成本;  $C_i^{cx}$  为单位长度的第  $i$  条海缆维修成本。

### 2.3 约束条件

工程中海缆拓扑结构的约束条件主要有载流量与不可交叉两种。受海缆载流量限制, 单条海缆所连接的风机数有限, 进而集电系统的馈线数也有最低限制, 其约束条件为:

$$\begin{cases} M < M^{\max} \\ N^x \geq \text{ceil}(N / M^{\max}) \\ M^{\max} = \text{floor}(S^{\max} / P) \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $M$  为单条馈线所连接的风机台数;  $\text{ceil}$  为向上取整函数;  $N$  为总风机台数;  $\text{floor}$  为向下取整函数;  $S^{\max}$  为集电海缆可承受的最大风机容量;  $P$  为风机的额定容量。

集电海缆可能存在的交叉情况有两种(图 2), 图 2 中点代表风机, 线段代表海缆。

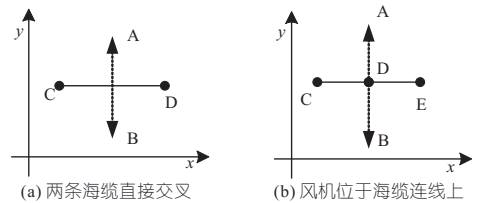


图 2 海缆交叉示意图

Fig. 2 Schematic diagram of submarine cable crossing

采用风机坐标信息来判断海缆之间的位置关系, 通过交叉判定方法可判断集电海缆是否存在交叉, 判定方法为:

$$\begin{cases} S_1 < 0 \&\& S_2 < 0 & \text{两条海缆交叉} \\ S_1 = 0 \&\& S_2 < 0 \text{ 或} \\ S_1 < 0 \&\& S_2 = 0 & \text{海缆经过某一台风机} \\ S_1 = (\overrightarrow{AB} \otimes \overrightarrow{AC}) \cdot (\overrightarrow{AB} \otimes \overrightarrow{AD}) & \otimes \text{表示叉积运算} \\ S_2 = (\overrightarrow{CD} \otimes \overrightarrow{CA}) \cdot (\overrightarrow{CD} \otimes \overrightarrow{CB}) & \cdot \text{表示点积运算} \end{cases} \quad (8)$$

### 3 单亲遗传优化算法的改进

分别从单亲遗传算法的种群生成方式、目标函数与适应度函数计算、选择与遗传操作三个方面进行改进。改进后的单亲遗传算法流程见图3。通过直接生成满足载流量约束的种群、增加与海缆交叉点数相关的淘汰系数并采用多精英协同进化策略,提高单亲遗传算法的寻优能力。

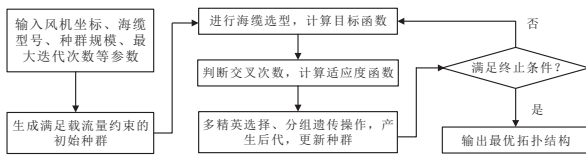


图3 改进的单亲遗传算法流程

Fig. 3 Improved partheno genetic algorithm process

#### 3.1 编码与初始种群生成方式的改进

编码是在染色体基因与集电系统拓扑结构之间建立对应关系。实际工程中集电系统会有不同馈线数,此时可采用两段染色体进行编码,一段为风机序列染色体,记为  $L^{re}$ ,长度为  $N$ 。一段为馈线断点染色体,记为  $L^{brk}$ ,长度为  $N^x - 1$ 。例如对于一个有8台风机,3条馈线的集电系统,风机序列染色体为[2-4-6-8-1-3-5-7];馈线断点染色体为[3-5]。则该集电系统具体连接方式为0-2-4-6,0-8-1,0-3-5-7。其中0为海上升压站。

针对海缆载流量约束条件,若两个馈线断点之间间隔大于最大风机数量,则不符合工程实际。传统算法是在随机生成初始种群后,对结果进行校验,通过在进化过程中设置惩罚函数来淘汰不满足条件的个体,会导致计算复杂度增加,有效寻优空间减少。本文提出一种馈线断点染色体生成方法,直接生成满足载流量约束条件的馈线断点矩阵,从而在种群生成阶段得到满足载流量约束条件的拓扑结构,不需要增加额外判定过程。具体如下。

首先生成一个1行  $N^x - 1$  列的矩阵  $D$ ,该矩阵为:

$$D = M^{\max} [1; N^x - 1] \quad (9)$$

每条馈线均按照最大风机台数来布置时可能会超出总风机台数,设超出的风机台数为  $N^{\text{dof}}$ ,此时可将多出的风机随机分到每一条馈线中。生成

一个1行  $N^x - 1$  列的矩阵  $T^{ij}$ ,  $T^{ij}$  应同时满足以下两个条件:①各元素取值区间为  $[0, M^{\max} - 1]$ ; ②所有元素累加和为  $T^{\text{sum}}$ , 设  $Y = D^{\text{dof}} - M^{\max} + 1$ 。  $T^{\text{he}}$  的取值区间为:

$$\begin{cases} T^{\text{sum}} \in [Y, N^{\text{dof}}] & Y > 0 \\ T^{\text{sum}} \in [0, N^{\text{dof}}] & Y < 0 \\ N^{\text{dof}} = M^{\max} N^x - 1 \end{cases} \quad (10)$$

通过约束条件①可将前  $N^k - 1$  条馈线的风机数限制在  $1 \sim M^{\max}$  范围内,通过约束条件②将最后一条馈线的风机数限制在  $1 \sim M^{\max}$  范围内。馈线断点染色体的生成公式为:

$$L^{\text{brk}} = D - \text{cumsum}(T^{ij}) \quad (11)$$

式中, cumsum 为累加和函数,使用该函数的计算结果为返回一个1行  $N^x - 1$  列的矩阵,该矩阵中第  $j$  列元素为  $T^{ij}$  矩阵中第  $1 \sim j$  列元素的累加和。

#### 3.2 目标函数与适应度函数计算

生成初始种群后,每个个体所对应的集电系统拓扑结构亦确定。采用建立的全寿命周期成本现值作为目标函数  $C$ 。针对海缆不可交叉的约束,通过式(8)可计算出每种拓扑中海缆的交叉点个数,记为  $J$ ,设置淘汰系数为  $2^J$ ,将目标函数乘以淘汰系数作为每个个体的适应度函数  $W$ :

$$W = 2^J C \quad (12)$$

由式(12)可知,海缆每出现一次交叉,适应度函数值将会翻倍。在遗传算法中,个体的适应度函数值越低,表示该个体越优秀。因此在选择过程中交叉点少的个体将更容易保存至下一代,从而提高了淘汰无效个体的速度。

#### 3.3 选择与遗传操作改进

选择与遗传操作是淘汰劣势个体、选择优秀个体并变异产生新个体的过程。为避免算法陷入局部最优,采用多精英协同进化策略,将种群随机分成若干组,每组10个个体,选出每组中适应度函数值最小的个体,并对该个体进行遗传操作生成8个新个体,此外再增加一个随机个体,作为下一代种群。具体方式为随机获取两个基因位置  $A$ 、 $B$ ,通过变异算子分别作用于两段染色体,从而产生新的个体,变异算子操作方式见表1。设某段染色体为2-4-6-1-3-5,  $A=2$ ,  $B=5$ 。

表1 遗传算子

Tab. 1 Genetic manipulation mutation operator

算子名称	遗传操作方式	变异结果	算子名称	遗传操作方式	变异结果
交换 $A$ 和 $B$ 处的基因	2-3-6	2-3-6	左滑 $A$ 处的基因移到 $B$ 处, $A+$	2-6-1	2-6-1
算子交换	1-4-5	1-4-5	算子1到 $B$ 处的基因左移	3-4-5	3-4-5
翻转 $A$ 和 $B$ 之间的基	2-3-1	2-3-1	右滑 $B$ 处的基因移到 $A$ 处, $A-$	2-3-4	2-3-4
算子因翻转	6-4-5	6-4-5	算子到 $B-1$ 处的基因右移	6-1-5	6-1-5

## 4 案例分析

### 4.1 案例参数

采用提出的改进单亲遗传算法优化某一规划中的大规模海上风电场集电系统。该风电场总容量为 400 MW,单机容量为 8 MW,风机行间距约 400 m,风机列间距约 650 m,设计运行年限为 25 年,上网电价取 0.85 元/(kW·h),风机功率因数取 1.0,风机的年利用小时数为 4 000 h。由于海上施工不便,海缆型号选择 3 种以内。35、66 kV 的开关柜购买安装成本分别为 25、100 万元/个,维修费用分别为 1、3 万元/次,故障率均为 0.025 次/年,修复时间均为 240 h/次。海缆参数见表 2。

表 2 海缆参数

Tab. 2 Submarine cable parameters

电压等级/kV	海缆型号/mm <sup>2</sup>	容量/MW	可连接风机数/台	电阻	故障率	修复时间/h	购买成本	运维成本	修复成本
35	3×95	16.43	2	0.246 5	0.003	720	206	0.10	206
	3×240	26.00	3	0.097 5	0.003	720	300	0.10	300
	3×400	32.06	4	0.062 2	0.003	720	395	0.10	395
66	3×95	30.86	3	0.246 5	0.003	720	260	0.12	260
	3×240	48.93	6	0.097 5	0.003	720	374	0.12	374
	3×630	72.36	9	0.039 5	0.003	720	659	0.12	659

注:电阻、购买成本、运维成本、修复成本单位分别为 Ω/km、万元/km、万元/(km·a)、万元/km。

### 4.2 35 kV 集电系统优化结果与分析

以全寿命周期成本现值总和最小为优化目标,针对该风电场,采用 35 kV 电压等级,集电馈线条数为 13,为避免算法无效循环迭代下去,设定种群规模为 400 个,终止迭代次数为 5 000 次,采用传统遗传算法与改进单亲遗传算法计算后的结果对比见表 3 及图 4(a)、(b)。

表 3 不同算法优化 35、66 kV 集电系统的结果

Tab. 3 The optimization results of 35 kV, 66 kV collection system by different algorithms

类别	改进种群生成方式	改进交叉约束	优化结果
35 kV	否	否	结果未出现交叉,但不满足载流量约束
	否	是	结果未出现交叉,但不满足载流量约束
	是	否	满足约束条件,优化结果为 53 773 万元
	是	是	满足约束条件,优化结果为 50 023 万元
66 kV	否	否	结果出现交叉,但不满足载流量约束
	否	是	结果未出现交叉,但不满足载流量约束
	是	否	满足约束条件,优化结果为 47 985 万元
	是	是	满足约束条件,优化结果为 41 165 万元

由表 3 及图 4(a)、(b)可知,未改进种群生成方式时,由于单条馈线所能连接风机台数较少,无论是否改进交叉约束,结果中均未出现交叉,但迭代 5 000 次后仍无法找到满足载流量限制的有效

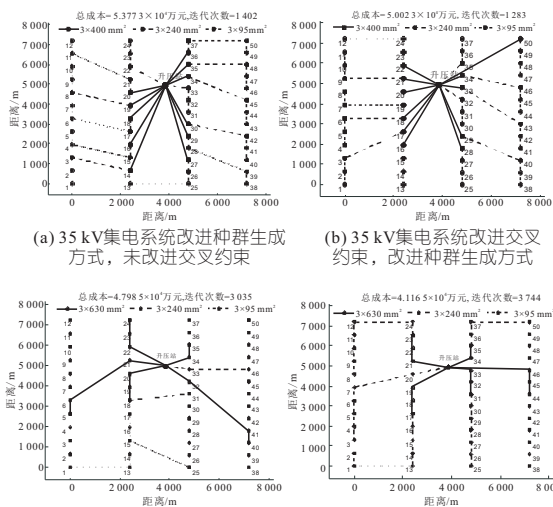


图 4 不同算法优化 35、66 kV 集电系统的结果

Fig. 4 The optimization results of 35 kv, 66 kv collection system by different algorithms

个体。改进种群生成方式后,在种群生成阶段直接生成满足载流量约束条件的个体,此时未改进交叉约束后的优化结果见图 4(a),迭代至 1 402 代时,总成本已不再变化,全寿命周期成本现值和为 53 773 万元;改进交叉约束后的结果见图 4(b),迭代至 1 283 代时,总成本已不再变化,全寿命周期成本现值和为 50 023 万元,与传统算法相比降低了 7.5%。

### 4.3 66 kV 集电系统优化结果与分析

同样以 400 MW 风电场为例,采用 66 kV 电压等级,集电馈线条数为 6,此时单条馈线所连接风机数增加,单条馈线长度较长,更容易出现交叉现象。以全寿命周期成本现值最小为优化目标,采用传统遗传算法与改进算法计算后的结果见表 3 及图 4(c)、(d)。

由表 3 及图 4(c)、(d)可知,对于 66 kV 集电系统,单条馈线所连接的风机台数增加,单条馈线海缆长度更长,在未改进种群生成方式和交叉约束时,算法产生的无效个体过多,且无法对其进行有方向性的筛选,迭代 5 000 次仍无法找到不交叉且满足载流量限制的有效个体。在改进种群生成方式后,如图 4(c)为未改进交叉约束时的优化结果,全寿命周期成本现值和为 47 985 万元;如图 4(d)为改进交叉约束后的优化结果,全寿命周期成本现值和为 41 165 万元,降低了 14.2%,与 35 kV 集电系统相比,降低全寿命周期成本现值和的效果更好。

采用改进单亲遗传算法优化不同电压等级的集电系统各项成本对比见表 4。由表 4 可知,与 35 kV 集电系统相比,66 kV 集电系统全寿命周

期总成本现值减少 17.7%。其中,海缆长度减少 22.6 km,分析是由于 66 kV 海缆载流量更大,可连接风机台数更多,馈线数减少,使得海缆长度更短;由于集电海缆长度的降低,初始投资减少 2.3%,运营维护成本减少 18.9%,故障维修成本减少 38.1%。线路电能损耗成本减少 51.4%,是由于在传输相同功率时,66 kV 海缆中的电流更小,且 66 kV 海缆长度更短,从而使损耗显著减少。故障电能损失成本增加 2.4%,是因为一条 66 kV 集电系统的馈线所连接风机的数更多,开关故障和靠近升压站的集电海缆故障带来的损失更大,但 66 kV 集电线路较短,从而故障可能性也较低,因此两者的故障电能损失差异不大。

表 4 不同电压等级集电系统各项成本对比

Tab. 4 Comparison of various costs of collection systems with different voltage levels

电压等级 /kV	海缆长度 /km	初始投资成本 /万元	运行维护成本现值 /万元	线路损耗成本现值 /万元	故障电能损失成本现值 /万元	故障维修成本现值 /万元	总成本现值 /万元
35	69.6	21 396	74	15 589	11 398	1 566	50 023
66	47.0	20 889	60	7 577	11 669	969	41 165

## 5 结论

a. 直接生成满足载流量约束的种群和采用与交叉点个数相关的淘汰系数可有效增加遗传算法的寻优空间,案例结果表明,35、66 kV 集电系统全生命周期成本现值分别可减少 7.5%、14.2%,具有较好的优化效果。

b. 在现有设备成本费用和电气参数条件下,66 kV 集电系统比 35 kV 集电系统全生命周期总

成本现值减少 17.7%,具有较好的应用前景。

## 参考文献:

[1] 孙瑞娟,梁军,王克文,等. 海上风电集电系统研究综述[J]. 电力建设, 2021, 42(6): 105-115.

[2] DAHMANI O, BOURGUET S, MACHMOUM M, et al. Optimization and reliability evaluation of an offshore wind farm architecture[J]. IEEE transactions on sustainable energy, 2017, 8(2): 542-550.

[3] 刘刚,曹京荣,陆莹,等. 以全寿命周期成本为判据的近海风电场高压海底电缆选型标准[J]. 高电压技术, 2015, 41(8): 2674-2680.

[4] 魏书荣,符杨,黄玲玲. 大型海上风电场中压集电系统拓扑结构的优化方法[J]. 上海电力学院学报, 2015, 31(3): 201-205,213.

[5] 陈云超,李兴源,苗森,等. 基于多精英协同进化单亲遗传算法的光伏电站功率汇集系统多目标分层优化[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(12): 29-35.

[6] 汪惟源,乔颖,窦飞,等. 基于改进遗传算法的海上风电场集电系统拓扑优化[J]. 中国电力, 2019, 52(1): 63-68.

[7] 陈献慧,王冰,曹智杰,等. 计及全寿命周期成本的海上风电场集电系统环形拓扑结构优化设计[J]. 电力学报, 2019, 34(4): 315-321,362.

[8] 赵东来,牛东晓,杨尚东,等. 基于改进遗传算法的海上风电场消纳拓扑结构优化模型[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2019, 50(4): 998-1004.

[9] 符杨,徐涵璐,黄玲玲. 海上风电场集电系统全生命周期成本分析[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(21): 161-167.

# Topology Optimization of Large-scale Offshore Wind Power Collection System Based on Improved Partheno Genetic Algorithm

YUAN Yu-kuan<sup>1</sup>, CHEN Xiao-yue<sup>1</sup>, HUANG Hai<sup>2</sup>, YE Rong<sup>3</sup>, YANG Jian-jun<sup>4</sup>, LI Jing-yi<sup>4</sup>

(1. School of Electrical Engineering and Automation, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd., Fuzhou 350012, China; 3. Economic and Technical Research Institute of State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd., Fuzhou 350012, China; 4. PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China)

**Abstract:** Aiming at the topology optimization of large-scale offshore wind power collection system, an improved partheno genetic algorithm was proposed. The calculation model of the present value of the life cycle cost of the power collection system was established. Taking the minimum of the sum of present value as the goal, the population generation mode meeting the current carrying capacity constraints of the submarine cable and the elimination coefficient related to the number of crossing points were designed to avoid the submarine cable crossing. The topology of the power collection system with 35 kV and 66 kV voltage levels was optimized and compared. The example results show that the total cost of the improved partheno genetic algorithm can be reduced by 14.2% compared with the traditional algorithm; Compared with 35 kV, 66 kV voltage level has better comprehensive benefits, which can provide reference for the planning and design of large-scale offshore wind farm power collection system.

**Key words:** large-scale offshore wind farm; collection system; topology; partheno-genetic algorithm; life cycle cost