

蓄滞洪区域约束下变电站选址 GA-PSO 混合优化方法

雷川丽¹, 罗惠平¹, 唐外文², 何亮³, 李君¹, 刘爱军⁴, 尹迪克⁵, 刘功杰¹

(1. 国网湖南省电力有限公司经济技术研究院, 湖南 长沙 410007;

2. 国网湖南省电力有限公司, 湖南 长沙 410004;

3. 国网湖南省电力有限公司建设分公司, 湖南 长沙 410007;

4. 湖南华晨工程设计咨询有限公司, 湖南 长沙 410004;

5. 国网湖南省电力有限公司岳阳供电分公司, 湖南 岳阳 430600)

摘要: 在蓄滞洪区域内变电站选址规划过程中, 多源变电站主要采用组合测算实现选址优化, 全局搜索效率较低, 经济性不足。为此提出一种考虑蓄滞洪区域约束的变电站选址GA-PSO混合优化方法, 并开展相关设计与性能分析。通过分析区域水文气象数据, 确定选址的低风险区域, 并按照区域内的用户电力需求, 划定变电站电力负荷密集范围。通过分析水文低风险区域和电力负荷密集区域的重叠情况, 确定可计算域, 并进行网格划分。将蓄滞洪区域的水文气象作为约束条件, 在网格划分处标定多个候选站址, 融合GA-PSO算法计算每个候选站址的个体适应度, 按照适应度展开选择、交叉、变异等混合优化筛选操作, 完成初始选址规划目标。更新初始规划站址的信息与数据, 不断训练及迭代, 筛选出综合适应度最高的站址作为规划目标, 完成选址寻优。实验结果表明: 应用所提方法选址后, 拟规划的变电站在每个周期的建设耗费成本均被控制在300万元以下, 具有较高的经济性。

关键词: 蓄滞洪区域; 变电站; 选址优化; GA-PSO; 供电覆盖; 供电网架

中图分类号: TM63 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-0198(2025)04-0032-07

GA-PSO Hybrid Optimization Method for Substation Site Selection Under Constraint of Flood Storage and Detention Areas

LEI Chuanli¹, LUO Huiping¹, TANG Waiwen², HE Liang³, LI Jun¹, LIU Aijun⁴, YIN Dike⁵, LIU Gongjie¹

(1. State Grid Hunan Electric Power Company Limited Economic and Technological Research Institute, Changsha 410007, China;

2. State Grid Hunan Electric Power Company Limited, Changsha 410004, China;

3. State Grid Hunan Electric Power Company Limited Construction Branch, Changsha 410007, China;

4. Hunan Huachen Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Changsha 410004, China;

5. State Grid Yueyang Power Supply Company, Yueyang 430600, China)

Abstract: In the process of site selection and planning for substations in flood storage and detention areas, multi-source substations mainly use combination calculation to achieve site selection optimization,

resulting in low efficiency in global search and insufficient economic efficiency. To this end, a GA-PSO hybrid optimization method for substation site selection considering the constraints of flood storage and detention areas is proposed, and relevant design and performance analysis are carried out. By analyzing regional hydrological and meteorological data, low-risk areas for site selection are determined, and the power load intensive range of substations is delineated according to the electricity demand of users in the area. By analyzing the overlap between areas with low hydrological risk and areas with high power load, the computable domain is determined and grid division is carried out. Taking the hydro meteorological conditions of the flood storage and detention area as constraints, multiple candidate sites are marked at the grid division. The GA-PSO algorithm is integrated to calculate the individual fitness of each candidate site, and hybrid optimization filtering operations such as selection, crossover, and variation are carried out according to the fitness to achieve the initial site selection planning objectives. The information and data of the initial planning site are updated, and continuously trained and iterated to screen out the site with the highest comprehensive fitness as the planning goal to complete site selection and optimization. The experimental results show that after applying the proposed method, the construction cost of the planned substation is controlled below 3 million yuan in each cycle, which is highly economical.

Key words: flood storage and detention area; substation; site selection optimization; GA-PSO; power supply coverage; power grid structure

0 引言

变电站承担着电压等级变换的重要任务，将电能稳定、高效地输送到用户端^[1]。蓄滞洪区域变电站选址需要从多个角度展开分析，从电力系统运行来看，需要具备优化电网结构，降低线路损耗的作用；从资源利用和环境保护角度来看，需与城市规划相协调，尽可能减少对土地资源的占用，避免电磁辐射和噪声污染^[2-3]。目前的变电站选址多依赖经验判断、目标条件分析等，难以全面考虑蓄滞洪区域的复杂性和特殊性，一定程度上影响日常的电力供应及实时调度，降低变电站整体的工作效率^[4-5]。

为解决以上缺陷，学者提出了许多针对性的建议。宋玲等人^[6]设计了基于多站点预测模型的分布式光伏电站智能选址方法，通过引入三维张量表示时空数据，以张量分解逐步恢复数据的零条目，模拟电站选址的时空邻接性、趋势、事件文本数据及气象影响，以此来验证选址的合理性与可靠性。但是大范围的区域分解难以对选定位置进行综合评估，边缘区域后期较难实现关联控制，致使选址优化的经济性下降。林建新等人^[7]结合不确定需求，所设计的集中式充电站分级选址鲁棒优化方法，采用多面体不确定集，描述不同用地性质下异质充电需求的不确定性，基于用户需求，制定融合建设运营成本、充电成本和寻

站成本的最优目标，将半无限优化目标转换为可规划的选址目标，实现选址优化。但是，受外部环境的影响，选址目标的对等转换可能会导致边缘规划区域出现偏差，分级选址无法达到预期的规划经济成本。陈爱霞等人^[8]考虑碳减排条件，设计共燃发电厂鲁棒可信性选址决策优化方法，结合天气状况、市场环境等，以及生物质供应能力和生物质价格等不确定性参数，构造一个非精确可能性分布集来描述不确定问题，进而建立一个分布鲁棒可信性选址优化模型，通过推导鲁棒可信性目标和鲁棒可信性约束的等价形式，将原模型重构为一个可计算的混合整数线性规划模型，输出最优的选址规划结果。但是非精确可能性描述集对模型重构前后的选址覆盖位置及边缘点的设定不一致，促使部分区域重合，难以达到预期的优化成本标准。王海金等人^[9]结合设计了光伏电站选址评估方法，利用ArcGIS软件与层次分析法，综合考虑多种影响大型光伏电站建设的因素，在不同地势和土地类型条件下，建立多因子评价模型。然而多因子评价及层次性规划工作量加大，且缺乏对光伏电站特殊点位的调研与评估，对选址优化的经济性造成影响。

本文以蓄滞洪区域作为约束条件，设计变电站选址GA-PSO混合优化方法。在蓄滞洪特殊区域下，通过构建适应度函数和约束条件，对候选变电站位置进行综合评价和优化^[10]。过程中引入

实数编码、交叉变异操作、粒子速度更新等策略，以确保选址结果的合理性和可行性，为后期变电站的建设提供参考和借鉴。

1 蓄滞洪区域约束下变电站选址的 GA-PSO混合优化方法

1.1 选址目标计算域网格划分

蓄滞洪区域主要包括低洼地区和历史淹没区，在变电站选址时，可能会造成不同程度的影响。所以，在区域覆盖内，通过计算域对选址目标展开网格划分^[11]。先确定选址的模糊范围，并在该区域地形内设置边界过渡段，作为主计算域。在主计算域上游和下游分别设置两个发展区域，作为变电站的供电覆盖区域^[12]。蓄滞洪区域的水源覆盖及变动较难把控，且受季节影响较大。分析蓄滞洪垸输变电工程防洪总体要求如下：

- 1) 变电站选址应与流域综合规划、防洪规划、蓄滞洪区建设与管理规划、河湖岸线保护与利用规划、河湖治理规划等有关规划相适应，应符合蓄滞洪区管理的有关规定。
- 2) 变电站选址应结合当地国土空间规划、区域水文条件进行，站区总平面应集约节约布置，严格控制占地面积和有效蓄滞洪占用容积。
- 3) 应避免饮用水水源一级保护区、重要水利设施、水文监测设施等。
- 4) 尽量远离分洪口、河堤布置，且满足河道保护范围的限制要求。
- 5) 尽量远离一线防洪大堤、撇洪设施，特别是防洪大堤险工险段。
- 6) 输变电工程应尽量减小对行洪、蓄滞洪的影响。
- 7) 尽可能设置在地势较高区域，宜结合安全区布置。
- 8) 优先布置在安全区，可以参照重点垸仅考虑最高内涝水位工况。
- 9) 变电站场地标高应满足蓄滞洪水位+超高水位的要求。
- 10) 蓄滞洪占用容积较大的项目需进行补偿，最直接的方案是取土源来自同一个蓄滞洪区，且土源取土高度应在蓄滞洪水位有效范围高度内。

根据变电站选址的实际需求，进行蓄滞洪水

文层级标准的设计，见表1。

表1 蓄滞洪区域水文层级标准设计

项目	上游区域	下游区域
天然	2	3
全部归槽	10	10
部分归槽	5	7

根据表1可知，蓄滞洪区域内，天然水文状态下，上、下游的水文状态较好，反映了整体水量较为可控，而全部归槽、部分归槽，水文条件变化较难控制，所设计的层级标准较高，预留风险可控空间。将全部归槽、部分归槽区域划定为高风险区域，将天然位置划定为低风险区域，为主计算域中的核心。采集水文层级较低的天然区域用户的电力需求，经过汇总按照区域划定，计算出对应的电力负荷标准，如果存在超负荷或者负荷过低等不均衡的情况，依托于负荷均衡的原则，测定出负荷均衡度^[13]，如下所示。

$$L = \sum_{i=1} \beta_i a [(u_q - \chi)^2 + (u_q - \mathfrak{N})] - \chi^2 i \quad (1)$$

$$L_b = \frac{(\chi + \mathfrak{N})u_q}{\beta_i} (\wp - 1)\chi^2 \quad (2)$$

式中： L 代表电力负荷均衡度标准； β_i 代表负荷预期标准； a 代表覆盖区域面积； u_q 代表可控最大负荷标准； χ 和 $\mathfrak{N}$ 分别代表主计算域负荷值和发展区域负荷值； i 代表负荷点； L_b 代表实际负荷均衡度； $\wp$ 代表过载负荷。

将实时负荷值及负荷均衡度作为参考，结合水文风险较低的条件，进行网格划分，如图1所示。

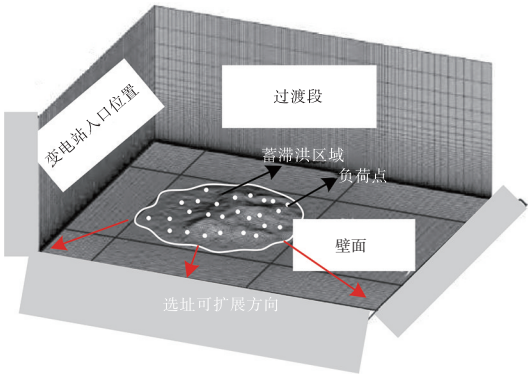


图1 变电站选址目标计算域网格划分

按照图1的形式，将变电站的选址计算域划分为多个网格，每个单元网格位置承载的负荷值

均是不同的^[14-15]。测定出蓄滞洪天然区域范围和负荷网格区域之间的重叠范围，重叠部分为该风险较低的区域，是用户电力需求较为平均的位置。依托于采集的地理、经济、人口等基础数据，测定出变电站拟设定条件下各个区域的负荷密度^[16-17]，如式（3）所示。

$$K = \frac{\delta u_q}{\gamma^2} (\delta a - \chi a)^2 \quad (3)$$

式中：K代表负荷密度； γ 代表网格数量； δ 代表总负荷功率值。

按照各个网格的要求，在密度控制范围内，细化网格的覆盖范围，如图2所示。

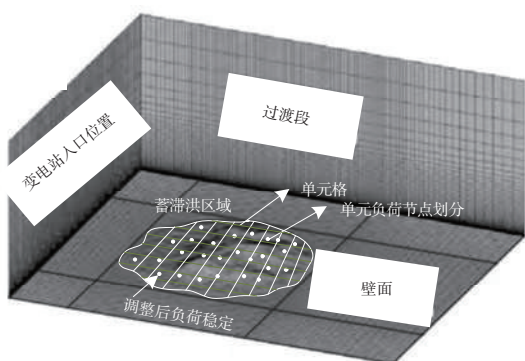


图2 负荷网格密度调整

依托于图2中调整后的网格密度，进一步精确各个节点的负荷值，在确保符合用户电力需求的同时，按照负荷密度的变化在水文低风险区域内，标定出电力需求较大或者较小位置，为后续的选址和边缘确定提供参考。

1.2 蓄滞洪条件下网格区域GA-PSO选址规划

在网格划分后可以实时了解到当前蓄滞洪区域的负荷变动情况，结合GA-PSO算法对变电站的选址位置展开目标规划^[18-19]。根据蓄滞洪区域特殊的地理环境及位置特征，设计变电站选址的约束条件^[20]，如式（4）所示。

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^N W_j \leq \frac{u_q}{\varphi_j}, j \in (1, N) \\ g_i = W_j(\nu + K) - u_q \chi, i \in (1, N) \\ I_{ij} \leq g_i r \end{cases} \quad (4)$$

式中： W_j 代表蓄滞洪区域水文标高； φ 代表约束边缘区域； j 代表边缘点； g_i 代表水位变化差； ν 代表安全超高； I_{ij} 代表防洪标高； r 代表水位变动比率。

以条件为限制，假定网格区域内部署着多个

水文风险较低的变电站候选站址，结合GA-PSO算法，将其设定为初始生成的种群，并计算出单个变电站选址的适应度值，如式（5）所示。

$$F_{i,t_g} = Q_1 \lambda_t + Q_2 (p_{id} - x_{id})(p_{id} + x_{id}) \quad (5)$$

式中： F_{i,t_g} 代表适应度值； Q_1 和 Q_2 分别代表一阶段和二阶段的候选站址数量； λ_t 代表水文约束因子； p_{id} 和 x_{id} 分别代表个体总数与目标个体。

增加个体适应度值，根据蓄滞洪条件网格区域内变电站的选址需求，设计GA-PSO规划测算流程，如图3所示。

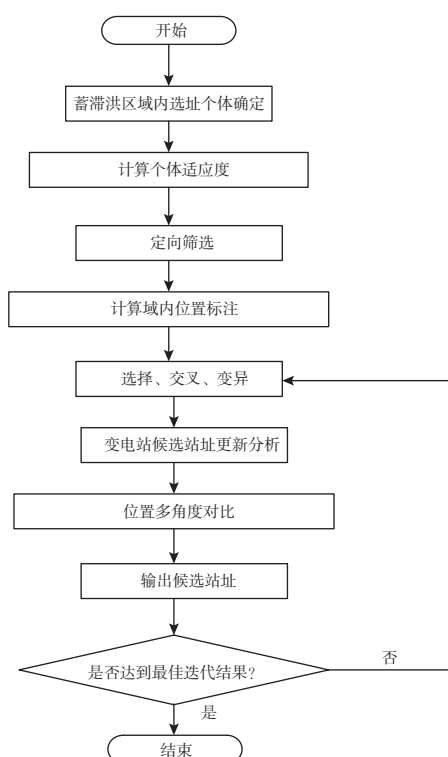


图3 蓄滞洪网格区域变电站选址GA-PSO规划流程

按照以上流程，融合GA-PSO的计算机制，进行混合优化处理的过程表示为式（6）—（8）所示。

$$d_{i,h+1} = \begin{cases} u_{i,h+1}, u_{i,h+1} \leq f(\lambda_{i,h}) \\ \lambda_{i,h}, \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

$$U_{id,h} = \begin{cases} U_{id,k+1}, f(U_{id,k+1}) < f(\lambda_{i,h}) \\ \lambda_{i,h}, f(U_{id,k+1}) \geq f(\lambda_{i,h}) \end{cases} \quad (7)$$

$$v = U_{id,h} + l(d_{i,h+1} - d_{i,h}) \quad (8)$$

式中： $d_{i,h+1}$ 代表变电站站址初始选定目标； $u_{i,h+1}$ 代表目标函数； $\lambda_{i,h}$ 代表水文条件下可适应筛选个

体； $U_{id,h}$ 代表选址的交叉核验目标； h 为外层迭代次数； $U_{id,k+1}$ 代表可替代选址个体； k 为内层迭代次数； v 代表变异处理结果； l 代表水位变异因子； $d_{i,h}$ 代表变电站站址初始竞争目标。

针对网格计算域内选址的选择、交叉和变异处理，筛选后的站址相对较为合理，面对蓄滞洪区域条件也具备更强的应对能力，实现对变电站选址的初始规划。

1.3 规划方案寻优处理实现选址优化

针对初始规划方案，融合GA-PSO进一步寻优处理，确定最佳的选址位置，实现定向优化^[21]。计算域网格区域范围之内，为确保选址的综合性及针对性，对当前方案中的后续站址信息数据实时更新，如式（9）所示。

$$\begin{cases} e_{id,k+1} = w' \lambda_{i,h} + o(d_{i,h+1} - d_{i,h}) \zeta U_{id,h} \\ y_{id,k+1} = y_{id,k} + e_{id,k+1} \end{cases} \quad (9)$$

式中： $e_{id,k+1}$ 代表更新目标； w' 代表更新变异系数； o 代表蓄滞洪区域水文随机变量； ζ 代表寻优维度； $y_{id,k+1}$ 代表更新因子； $y_{id,k}$ 代表局部最优因子。

对候选站址的信息持续动态更新，不断训练及迭代，直到最后筛选出最符合蓄滞洪区域变电站建设的目标地址，如式（10）所示。

$$S = y_{id,k+1} \cdot \frac{F_{i,l_0}}{vn} (\lambda_{i,h} + U_{id,k+1}) \quad (10)$$

式中： S 代表最优变电站选址； n 代表多次迭代结果。

更新迭代后得出的结果为蓄滞洪约束条件下的最佳变电站地址，通过多角度的核验，最符合选址要求，且在预期的标准内实现混合优化。

2 实验分析

钱粮湖蓄滞洪垸位于岳阳市华容县，该区域由2座110 kV变电站供电。钱粮湖蓄滞洪垸属于洞庭湖区重要蓄滞洪区，其核心特征为：1）承担“分洪调蓄”功能，作为流域防洪“弹性空间”，优先保护重点垸及下游城市安全；2）具备“可分可蓄”的双向调节能力，分洪后须确保垸堤不溃决，配套建设安全区、避水楼等避险设施，安全区围堤按50~100年一遇洪水标准建设。

计划将两座变电站（A/B）的位置相关联，将实时的用电区域划分为12个单元，日常中按照各自的需求进行用电单元的调整及划定，同时明

确供电范围及存在重合风险的供电位置。

虽然两座变电站的位置关联，但是天然、全部归槽、部分归槽及电力需求存在一定的差异，通过辅助平台对该区域进行划分和特殊标定。在区域内随机选定8个测点，采集相应的数据信息，见表2。

表2 蓄滞洪区域水文数据采集

蓄滞洪区域 测点编号	标高/m	安全超高/m	水文变动比率/%
1	12.35	2.1	6.5
2	20.16	1.1	3.2
3	18.55	1.3	17.5
4	17.03	0.6	10.2
5	16.35	1.5	9.4
6	18.45	1.7	8.1
7	19.55	2.1	5.6
8	13.54	1.5	4.9

通过表2列出的数据，可以对蓄滞洪区域的水文情况进行基本了解。依托于计算域展开网格划分，以此来明确拟建设的两座变电站可选址范围，为选址优化结果的核验奠定辅助条件。结合周围用户日常的用电需要，还须对蓄滞洪区域划分负荷区域，进一步确定变电站候选站址的可选择范围。依据负荷情况对供电区域的划分，在候选分布范围内，标定出5个概率最大的点，采集其位置数据。表3为候选站址位置、容量、成本等相关数据信息，明确拟建变电站的基本情况，对选址优化方法展开核验分析。

表3 候选站址坐标及范围

候选站址	坐标（ x, y ）	对应容载比	目标费用/万元
1	(5.322 4, 7.114 3)	1.886	3 243.36
2	(4.372 3, 8.421 2)	3.028	3 028.72
3	(2.943 5, 9.937 1)	2.431	2 948.29
4	(4.726 4, 8.372 9)	1.826	3 209.18
5	(4.837 2, 9.738 1)	3.274	3 092.14

选址为可供选择的候选站址，在蓄滞洪条件的约束下，通过计算域网格的划分，以及周边电力调度及供应需求的预估，估算各个候选站址的年供电量，如图4所示。

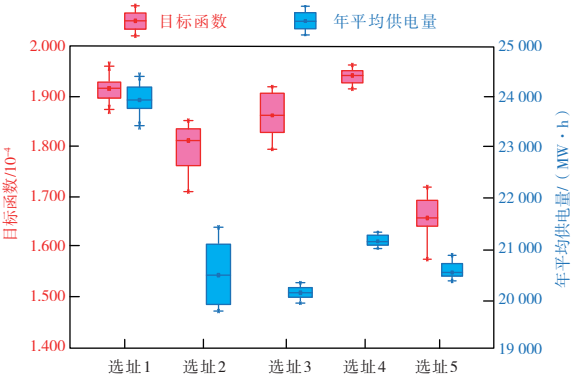


图4 各候选站址年供电量预估

图4是对5个候选站址年供电量的预估，通过分析可以知道，候选站1和候选站4的供电量及目标函数均处于较高的标准，且较为均衡。而其他三个候选站目标函数与年供电量呈现出不平衡的状态，侧面也反映了该站址位置的不合理。由于测试的区域为蓄滞洪区域，约束较多，不确定性强，在不确定性分析的条件下，对比分析目标函数与年平均供电量预估结果，如图5所示。

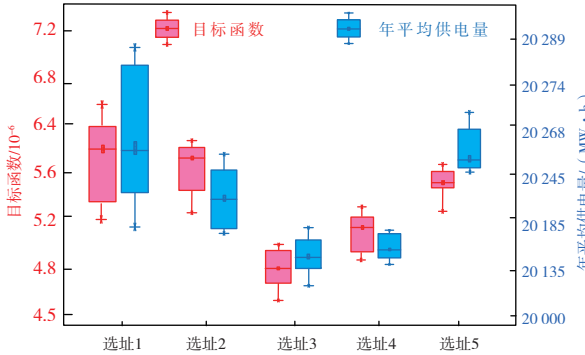


图5 确定性分析条件下综合结果对比

经过图5结果分析：测定后符合选址条件的为1号与4号电站，后续筛选过程中发现，4号站址的年平均供电量相对较低，1号站址的年平均供电量则较为均衡，与目标函数较为一致。这说明通过该方法计算域的网格划分，能够在蓄滞洪这一类复杂的环境下，对比水文风险区域，精准测定出各个点位的负荷情况，重叠分析水温低风险区域与电力负荷集中区域，在多个站址中筛选出相对符合标准的位置，具有一定的针对性，较为可控。

在候选的5个站址中随机选定站址1，假定候选站址周围存在一定的水文风险带，结合水文分布状态，在蓄滞洪区域的约束下，对选址的规划结果分析，如图6所示。

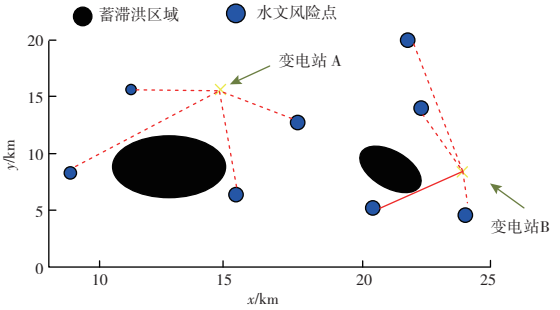


图6 蓄滞洪条件下变电站选址规划结果

结合图6结果分析：站址1的规划基本位于水文风险点的中心位置，较满足电力调度的需求，且有效避开了蓄滞洪水文风险点的覆盖区域。GA-PSO的融合及辅助下，对选址位置的确定是多角度的，随着数据的不断更新及迭代，对规划方案展开动态化的修正调整，最大程度确保选址位置的有效性与可操作性及符合变电站建站要求。

筛选出站址1为最佳的位置，拟设定6个周期内完成建设，采用文献 [6] 基于多站点预测模型的分布式光伏电站智能选址方法和文献 [7] 基于不确定需求的集中式充电站分级选址鲁棒优化研究方法为对比方法，使用3种方法进行细节规划，测定出最终的规划成本，如图7所示。

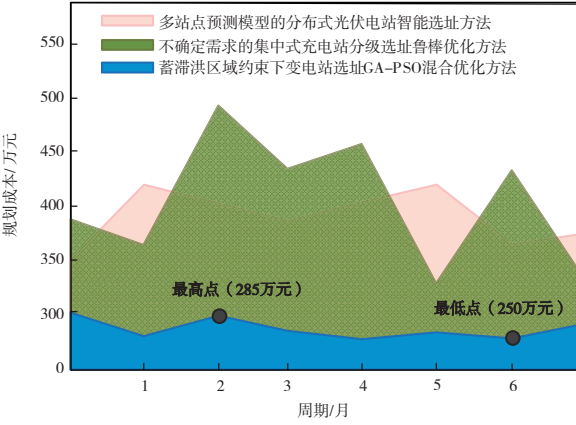


图7 3种方法下变电站选址优化成本结果分析

由图可知，根据所提方法建设变电站成本均被控制在300万元以下，而文献 [6] 和 [7] 中的两种方法成本相对较高，且各个周期之间的波动较大。因此基于蓄滞洪复杂环境，利用GA-PSO算法推进式估算，在建设的周期范围之内，所提方法不仅可对关联的应用成本进行控制，同时在合理的条件下可将成本降至最低，凸显出选址的优越效果，具有较好的经济性。

3 结语

本文对蓄滞洪区域约束下变电站选址优化方法的应用效果进行分析研究,通过对区域水文气象数据的分析,确定选址低风险区域,按照区域用户电力负荷需求,划定负荷密集范围,设定区域重叠位置为可计算域,实现网格划分;预设蓄滞洪区域水文气象约束条件,在网格划分处标定多个候选站址,融合GA-PSO算法,测算出候选站址的个体适应度,按照适应度进行选择、交叉、变异等混合优化筛选,完成初始选址规划目标;更新初始规划站址的信息与数据,通过不断训练及迭代,筛选出最优站址,完成选址目标的规划,为同类型变电站的选址和建设提供参考依据和理论借鉴。

参 考 文 献

- [1] 汪威,潘少华,罗立哲,等.基于AHP-熵权法的抽水蓄能电站施工变电站选址规划研究[J].水利水电快报,2024,45(12):16-22.
- [2] 张旭阳,章剑光,谢天祥,等.基于物联网大数据的变电站远程选址研究[J].自动化技术与应用,2023,42(7):112-114,132.
- [3] 熊鑫.基于GIS系统和负荷预测模型的智能变电站选址定容及优化研究[D].郑州:郑州大学,2022.
- [4] 康晓华,牛炜,杨军亭,等.电力创新成果向技术标准转化机制与实践路径:基于甘肃电网实践[J].标准科学,2025(1):78-81.
- [5] 三梅英,姚洋洋,邱亚鸣,等.提升调频水电站AGC响应时间性能的水储协同控制策略[J].湖南电力,2023,43(6):93-98.
- [6] 宋玲,常隆涛,吕舜铭,等.基于多站点预测模型的分布式光伏电站智能选址方法[J].郑州大学学报(工学版),2025,46(2):119-126,134.
- [7] 林建新,张栋,刘依妮,等.基于不确定需求的集中式充电站分级选址鲁棒优化研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2024,43(8):86-95.
- [8] 陈爱霞,陈爱如,梁智勇.考虑碳减排的共燃发电厂鲁棒可信性选址决策优化[J].河北大学学报(自然科学版),2024,44(4):355-364.
- [9] 王海金,唐若笠,周雨诗,等.基于ArcGIS与多因子模型的光伏电站选址评估[J].太阳能学报,2023,44(11):120-130.
- [10] 李建林,康靖悦,辛迪熙,等.新型电力系统下构网需求储能的双层优化选址方法研究[J].热力发电,2024,53(8):20-29.
- [11] 张强,李胜辉,王晓东,等.多光伏电站接入风光火耦合系统选址优化[J].可再生能源,2024,42(6):804-811.
- [12] 宁湘宇,邬明权,牛铮.海南岛集中式光伏电站选址综合定量评估[J].遥感信息,2024,39(4):153-165.
- [13] 邵萌,刘盟楚,陈玉静,等.基于GIS-MCDM-GRU的舟山市波浪能电站选址决策研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2023,53(10):95-106.
- [14] 龙鑫,董小鹏,周清华.无人机倾斜摄影与BIM技术在牵引变电所选址中的应用[J].铁道标准设计,2023,67(10):40-46.
- [15] 张伟骏,李智诚,陈大玮,等.配网侧分布式储能系统的随机优化配置和选址方法[J].高压电器,2023,59(7):125-135.
- [16] 吴克祥,邹艳丽.基于源荷节点对供电效率的分布式电站并网选址研究[J].计算物理,2024,41(4):515-522.
- [17] 赵振宇,张舒阳,葛潇.基于地理信息技术和模糊层次分析-模糊决策试行与评价实验方法(AHP-DEMATEL)的区域大型光伏电站选址指标体系构建:以内蒙古为例[J].科技管理研究,2023,43(6):78-87.
- [18] 何鹏辉,曾进辉,廖静雯,等.基于GA-PSO算法的三相不平衡相序调整策略研究[J].船电技术,2025,45(2):74-80.
- [19] 庞俊勇,刘俊,郑靓婧,等.基于GA-PSO混合优化SVR的边坡危岩体稳定性评价模型[J].金属矿山,2024(9):237-244.
- [20] 陈健民.基于GA-PSO算法的电力变压器优化设计与应用研究[D].柳州:广西科技大学,2024.
- [21] 江建,徐峰亮,王发义.基于GA-PSO算法计及风电时序特性的主动配电网双层规划[J].电气传动,2024,54(5):47-55.

作者简介:

雷川丽(1979),女,硕士,高级工程师,研究方向为输变电工程项目管理及规划评审技术。
刘爱军(1985),男,本科,高级工程师,通信作者,研究方向为输变电工程项目管理及设计技术。