

基于效益耦合和时序关联特性的 配电网规划项目优选模型

李文龙, 张华东, 于宝鑫

(国网冀北电力有限公司承德供电公司, 河北 承德 067000)

摘要:针对有限投资预算下多个高渗透新能源的配电网项目的经济组合优选问题,考虑不同供电区域可靠性边际效益的差异和项目之间的复杂相关性,提出考虑效益耦合和时序关联特性的配电网规划项目优选模型。考虑不同供电区域可靠性边际效益的差异和项目之间的复杂相关性,提出考虑效益耦合和时序关联特性的配电网规划项目优选模型。首先,建立项目效益耦合方程,提取项目效益耦合特性;其次,根据时序关联规则定义,确定项目时序关联特性,定义配电网规划项目关系,并设计配电网规划项目优化约束。最后以项目最大投资效益为目标建立优选模型,对现有两种方法进行对比验证。结果表明:本文模型优选的配电网规划项目成本低、效益高,可为有限预算下配电网多区域项目优选提供依据。

关键词:效益耦合;时序关联特性;配电网规划;项目优化约束;项目优选模型

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2022.06.006 中图分类号:TM73 文章编号:1673-9140(2022)06-0055-07

Optimization model of distribution network planning project based on benefit coupling and time series correlation characteristics

LI Wenlong, ZHANG Huadong, YU Baoxin

(Chengde Power Supply Company of State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Chengde 067000, China)

Abstract: Under the limited investment budget, the best project combination problem is investigated for multiple distribution network projects with a high penetration new energy to achieve the highest reliability and economy. Considering the difference of marginal benefit of reliability in different power supply areas and the complex correlation between projects, an optimization model is proposed for the distribution network planning project. Firstly, the characteristics of benefit coupling and time series correlation are taken into account to establish the project benefit coupling equation. On this basis, the project benefit coupling characteristics are extracted. Secondly, the association characteristics of project time series are determined according to the definition of time series association rules. The relationship between distribution network planning projects are defined, and the constraints of distribution network planning projects are designed. Then, the optimization model is established to maximize the project investment benefit. In the end, two existing methods are compared and verified. It is shown that the proposed model is low in cost and high in benefit. It also provides a basis for the optimization of distribution network multi-area projects under limited budget.

收稿日期:2022-03-04;修回日期:2022-05-20

基金项目:国家电网公司科技攻关项目(GW3830092021X)

通信作者:李文龙(1988—),男,高级工程师,主要从事配电网规划方面的研究;E-mail:jainwek56@163.com

Key words: benefit coupling; temporal correlation characteristics; distribution network planning; project optimization constraints; project optimization model

随着中国经济和城市能源互联网的发展,配电网的发展逐渐复杂化,为避免生产用电和居民日常生活用电质量下降,需要对配电网进行合理的规划^[1]。此外,在“城市能源互联网”这一概念提出的背景下,一定程度上电网接入电源多元化改变了配电网运行方式以及配电网运行负荷变化^[2]。因此,需要重新评估电力企业供电的可靠性。基于此,配电网规划项目逐渐成为电力企业研究重点,每年国家电网公司都会花费大量支出立项研究配电网规划项目^[3]。然而,配电网规划项目数量庞大,且存在一些规划范围重复的配电网规划项目,浪费电力企业资源。为此,需要优选配电网规划项目,实现配电网规划的有序性和精准性。

国内外电力企业十分重视配电网规划项目优选,可以帮助企业实现配电网规划的经济性与可靠性。目前,国内外将配电网规划项目优选分为评价排序和模型求解两类。配电网规划项目评价排序优选方法主要有层次分析法、AHP法、灰色关联度法、熵值组合法、投资效益评价法等,这类方法具有较强的主观性,评价结果不够客观^[4];模型求解类的配电网规划项目优化方法则考虑了可靠性水平、馈线迫切度、全寿命周期经济性、收益/成本分析等因素,此类方法的客观性更强,规划方案更为科学^[5]。文献^[6]提出了一种电网侧储能项目管理模式选择方式,结合矢量投影、灰色关联、TOPSIS这3种评价排序方法,计算项目权重,建立项目选择模型;文献^[7]提出了不确定性下柔性分布式多能源发电系统扩展规划,在评估长期不确定性下运行和投资阶段的灵活性,并将其转化为随机混合整数线性规划,实现分布式多能源发电系统扩展规划;文献^[8]设计了一种基于贪婪算法的城区配电网智能规划模型,采用最短路径寻优方法构建城区配电网的分布式电源接入模型,利用贪婪算法全局寻优输电路径,根据寻优结果选取更优的电网规划方案;文献^[9]提出基于多策略改进的遗传算法在配电网规划中的应用,以配电网年运行费用模糊期望值最小为目标函数,融合配电网模糊潮流算法,计算配网潮流值,利用遗传算法改

进整数编码方式求解配网规划模型。

以上方法对于配电网规划项目优选有一定的帮助,但均没有考虑效益耦合和时序关联特性,无法提取出项目效益耦合特性,效益参数获取不全面,使得规划投入成本高、效益不高。基于此,本文提出一种基于效益耦合和时序关联特性的配电网规划项目优选模型,建立项目效益耦合方程,提取项目效益耦合特性,设计配电网规划项目优化约束,以项目最大投资效益为目标建立优选模型。通过对现有2种方法进行对比验证,为有限预算下配电网多区域项目优选提供依据。

1 考虑效益耦合和时序关联特性的配电网规划项目优选模型

1.1 提取配电网规划项目效益耦合特性

配电网规划的单个与综合项目之间、单个与单个项目之间都存在效益耦合关系,即当配电网规划的2个或多个项目一同投入使用时,其存在效益重叠的部分,可以综合提高配电网运行可靠性;当配电网规划的2个或多个项目间存在范围重叠和功能重复时,其存在的重叠部分会降低单一项目运行效益^[10]。特别是电网接入电源出现多元化的情况,各种分布式电源的接入,会导致配电网运行负荷的变化。基于此,将配电网规划项目效益耦合分为相容和扶持2种,而这2种效益耦合可以通过计算项目耦合度,确定项目效益耦合特性。

为此,将配电网规划项目记为 $x_i (i = 1, 2, \dots, I)$,其中, I 表示优选配电网规划项目数量,假设配电网规划项目的序参量为 ζ_i ,配电网规划建设后的功效参数为 G_i ,则其效益耦合的有序功效函数为

$$f(\zeta_i) = \begin{cases} \frac{G_i - G_{\min}}{G_{\max} - G_{\min}}, \zeta_i \in + \\ \frac{G_{\max} - G_i}{G_{\max} - G_{\min}}, \zeta_i \in - \\ 0 \leq f(\zeta_i) \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

式中 $f(\zeta_i)$ 为配电网规划项目的有序程度,当

$f(\zeta_i)$ 无线趋近于 0 时,配电网规划项目有序程度极低;当 $f(\zeta_i)$ 无线趋近于 1 时,配电网规划项目有序程度极高;+ 表示 ζ_i 取值为正,- 表示 ζ_i 取值为负; G_{\max} 、 G_{\min} 分别为配电网规划项目稳定临界的上限、下限。

采用线性加权的方式,集成式(1)计算得到的配电网项目序参量 ζ ,则有

$$\zeta = [\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_I] \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_I \end{bmatrix}, \quad w_I \geq 0, \sum w_I = 1 \quad (2)$$

式中 w_I 为配电网规划第 i 个项目 x_i 相对于第 j 个项目 x_j 的权重。

由式(1)、(2)可知,配电网规划项目耦合与磁链中的电感效益耦合较为相似,为此,仿照电感矩阵建立配电网规划项目效益耦合方程:

$$O = \frac{\prod_{i=1}^I \zeta_i}{\left[\prod_{i=1,2,\dots,I-1} (\zeta_i + \zeta_{i+1}) \cdot (\zeta_i + \zeta_i) \right]^{\frac{1}{I}}} \quad (3)$$

其中, O 为配电网规划项目效益耦合度。 O 的阈值为(0,1),则配电网规划项目效益耦合度值越接近于 1,配电网规划项目效益耦合度越高。

1.2 确定配电网规划项目时序关联特性

在建设过程中,由于配电网规划项目需要按照一定的时间顺序实现配电网规划项目建设以及项目的正常运行^[11],为此,根据时序关联规则定义,确定配电网规划项目的时序关联特性。假设配电网规划项目集合 I 的时间序列为 $\tau = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_I\}$,将 L 作为项目时间序列滑动窗口长度,将 I 的时间序列 τ 离散成配电网规划项目 x_i 和 x_j 的时间序列 $\tau_1(x_i)$ 和 $\tau_2(x_j)$:

$$\begin{cases} \tau_1(x_i) = \{\tau_1(x_i), \tau_2(x_i), \dots, \tau_I(x_i)\} \\ \tau_2(x_j) = \{\tau_1(x_j), \tau_2(x_j), \dots, \tau_I(x_j)\} \end{cases} \quad (4)$$

根据式(4),给定常数 a ,则配电网规划项目 x_i 和 x_j 的时间序列 $\tau_1(x_i)$ 和 $\tau_2(x_j)$ 存在如下 3 种条件^[12]:

$$\begin{cases} \frac{M(\tau_1(x_i), \tau_2(x_j))}{|\tau_1(x_i)|} > a \\ \frac{M(\tau_1(x_i), \tau_2(x_j))}{|\tau_1(x_i)|} = a \\ \frac{M(\tau_1(x_i), \tau_2(x_j))}{|\tau_1(x_i)|} < a \end{cases} \quad (5)$$

式中 $M(\tau_1(x_i), \tau_2(x_j))$ 为 $\tau_1(x_i)$ 、 $\tau_2(x_j)$ 中元素重叠次数。

当式(5)中的第 1 式成立时,则 x_i 中的部分配电网规划项目包含 x_j 中的部分配电网规划项目,因此, x_i 、 x_j 具有依赖时间序列特性;当式(5)中的第 2 式成立时,则 x_i 中的配电网规划项目不包含 x_j 中的部分配电网规划项目,但是两者之间还存在紧密联系,因此, x_i 与 x_j 具有互补时间序列特性;当式(5)中的第 3 式成立时,则 x_i 中的配电网规划项目不包含 x_j 中的配电网规划项目,且还相互影响,因此, x_i 、 x_j 具有互斥时间序列特性。

1.3 考虑效益耦合和时序关联特性优选配电网规划项目

根据上述对配电网规划项目耦合效益和时序关联特性分析结果,设计配电网规划建设时间和资源、资源转移、工期、逻辑、项目依赖以及互斥和互补等约束条件,考虑电网接入电源多元化因素,约束配电网规划项目优选条件。

建设时间及建设资源:在建设过程中,配电网规划项目投入时间一定,因此需要设定项目完工时间,也称建设时间约束,即从项目建设开始,在设定的完工时间内,完成配电网规划建设,以此来保证配电网规划项目收益和使用。此外,配电网规划项目在建设过程中,存在多个建设阶段,每个阶段所需要的人工、设备等都存在一定的差异^[13]。所以,其每个阶段所需要的建设资源都属于配电网规划项目优选的约束条件。基于此,设计配电网第 i 个规划项目时间约束和资源约束,其表达式为

$$\begin{cases} \sum_{t=1}^T \gamma_{i,k} = X_{x_i} \\ \gamma_z^k(x_i) \leq (\gamma_z^k)^{\max} \end{cases} \quad (6)$$

式中 t 为施工年份; T 为施工所需要的总年份; $\gamma_{i,k}$ 为 k 阶段第 i 个项目的执行比例; X_{x_i} 为 0~1 的变量,当 $X_{x_i} = 1$ 时, x_i 为优选出的规划项目;当

$X_{x_i}=0$ 时, x_i 为排除掉的规划项目; $y_z^k(x_i)$ 为 x_i 的 k 阶段对资源 z 的总消耗量; $(y_z^k)^{\max}$ 为 $y_z^k(x_i)$ 的上限。

此外在规划过程中, 配电网规划项目资源还存在上一阶段的资源未用完而移交到下一阶段继续使用的现象。为此, 在式(6)的资源约束基础上, 设计配电网规划项目建设资源转移约束:

$$\begin{cases} s_k(x_i) = \sum_i^I s_i^k x_i \\ s(x_i) = \sum_{k=1}^K \omega_{s,k} s_k(x_i) \\ z(x_i) = \{s_k(x_i), k=1, 2, \dots, K; s(x_i)\} \end{cases} \quad (7)$$

式中 $s_k(x)$ 为 x_i 在 k 阶段时, 配电网规划项目建设资源属性值; K 为配电网规划项目阶段数; $\omega_{s,k}$ 为 k 阶段配电网规划项目建设资源属性值权重; $s(x)$ 为 $s_k(x)$ 加了权重的项目属性值; s_i^k 为 k 阶段第 i 个项目的属性值。

建设工期: 当 x_i 为优选的配电网规划项目时, 需要根据 x_i 建设配电网, 此时的施工周期必须处于连续施工状态。而配电网规划项目在建设过程中, 优选的配电网规划项目必须符合项目实际建设步骤、建设状态, 这种符合条件可以称为逻辑约束^[14]。为此, 设计配电网规划项目施工工期和逻辑约束, 其表达式为

$$\begin{cases} D_i x_{k,i}^{t-1} (1 - x_{k,i}^t) \leq \sum_{T=t-D_i}^{t-1} x_{k,i}^T, t \geq D_i + 1 \\ f(x) = \sum_{i=1}^T t \chi_{k,i}^t (1 - \chi_{k,i}^{t-1}) \end{cases} \quad (8)$$

式中 D_i 为 x_i 建设工期; $x_{k,i}^t$ 为第 t 年 k 阶段第 i 个项目; $f(x)$ 为配电网规划项目优选模型逻辑约束函数; $\chi_{k,i}^t \in \{0, 1\}$ 为 $x_{k,i}^t$ 的施工状态, 当 $\chi_{k,i}^t = 1$ 时, $x_{k,i}^t$ 处于施工状态; 当 $\chi_{k,i}^t = 0$ 时, $x_{k,i}^t$ 不处于施工状态。

根据配电网规划项目所具有的时序关联特性, 设计配电网规划项目的依赖、互斥、互补之间的约束关系, 其约束表达式为

$$\begin{cases} x_{t,j} + D_{t,j} \leq x_{t,i} + D_{t,i} \\ x_{t,i} x_{t,j} \leq 0 \\ x_{t,i} + D_{t,i} = x_{t,j} + D_{t,j} \end{cases} \quad (9)$$

根据约束条件式(9), 当 t 时间内配电网规划项目 $x_{t,j}$ 和 $x_{t,i}$ 之间为依赖关系, 且 $x_{t,i}$ 依赖 $x_{t,j}$, 则 $x_{t,i}$ 的建设完工时间必然比 $x_{t,j}$ 的建设完工时间晚, 因此, $x_{t,i}$ 的工期大于等于 $x_{t,j}$ 的工期; 当 t 时间内配电网规划项目 $x_{t,j}$ 和 $x_{t,i}$ 之间为互斥关系, 则配电网规划项目优选只能选出一个, 因此, 2 个项目相乘将小于等于 0; 当 t 时间内配电网规划项目 $x_{t,j}$ 和 $x_{t,i}$ 之间为互补关系, 需要 2 个项目同时运行才能让配电网产生效益, 则 $x_{t,j}$ 和 $x_{t,i}$ 的建设投入时间必须一致, 因此, $x_{t,i}$ 的工期必须等于 $x_{t,j}$ 的工期。

根据式(6)~(9), 依据配电网规划项目效益耦合和时序关联特性, 以配电网规划项目最大投资效益为目标, 建立优选模型:

$$F = \max \$ = \max \left[\sum_{k=1}^K O \left(\sqrt{A_{k,i}^{(1)}} \frac{\sum_{t=1}^T \chi_{k,i}^t}{D_{t,i}} \right)_{1 \times I_t} \right] \quad (10)$$

式中 $\max \$$ 为配电网规划项目最大投资效益; $A_{k,i}^{(1)}$ 为配电网规划项目投资效益寿命周期累积现值折算成规划第 1 年的投资效益现值^[15]。

依据约束条件式(6)~(9)、优选模型式(10)得到的最大投资效益值, 优选配电网规划项目。

2 算例分析

选择文献[8]中基于贪婪算法和文献[9]中基于遗传算法的项目优选模型作为此次实验对比方法, 将存在多电源接入的某地区配电网规划项目作为此次实验算例, 比较本文方法与文献[8]、[9]方法对该配电网规划项目的优化结果, 验证本文方法研究模型的优越性。

2.1 配电网规划项目数据

实验选择的配电网规划项目规划年限均为 5 a, 每个项目的经济寿命周期为 20 a, 其规划的项目基本数据如表 1 所示, 16 个配电网规划项目的建设位置均处于该区域 63 km² 的市中心, 16 个项目在市中心需要承担 30 MW/km² 的负荷密度, 供电质量需要达到 A+。因此, 3 组方法优选的配电网规划项目产电比系数需要达到 23.28 元/(kW/h)。

表 1 配电网规划项目基本数据

Table 1 Basic data of distribution network planning project

项目	工期/a	成本/万元		
		投资	人力	设备使用
1	1	7.5	15.8	5.8
2	3	145.2	15.8	24.3
3	3	84.7	42.6	47.4
4	3	17.4	10.9	30.5
5	5	253.5	18.6	60.2
6	4	185.6	65.0	12.2
7	2	96.8	29.3	55.5
8	1	43.1	9.8	9.6
9	4	34.7	46.9	44.0
10	4	208.2	41.4	57.1
11	1	39.4	10.0	14.6
12	3	94.5	30.9	48.9
13	1	11.3	7.6	7.7
14	2	37.7	18.0	23.7
15	3	130.5	11.2	27.6
16	1	30.0	7.3	8.1

2.2 计算项目成本和效益

实验的总成本 Y 和效益 $Y_{l,i}$ 计算公式为

$$\begin{cases} Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 \\ Y_{l,i} = (\epsilon_l + \delta) + \Delta E_{l,i} \end{cases} \quad (11)$$

式中 Y_1 为投资成本; Y_2 为人力成本; Y_3 为设备使用成本; ϵ_l 为第 l 个供电区域产电比系数; δ 为电价系数; $\Delta E_{l,i}$ 为配电网规划建设完成后年均减少的电量损失。

根据式(11),计算 3 组项目优选模型,优选的配电网规划项目成本和效益。

2.3 算例结果

实验选择的配电网规划区域建设项目的投资成本为 1 800 万元,人力成本为 350 万元,设备使用成本为 350 万元。3 组配电网规划项目优选模型优选的配电网规划项目成本不能超过区域设置的投资总成本。

2.3.1 配电网规划项目优选结果对比

3 组配电网规划优选模型根据实验设置的项目优选条件,从表 1 中优选的配电网规划项目以及项目建设年份如图 1 所示(0 表示该配电网规划项目未入选),可以看出,基于贪婪算法的项目优选模型

16 项配电网规划项目均入选,且项目入选时间均为配电网规划建设的第 1 年;基于遗传算法的项目优选模型与本文研究模型优选配电网规划项目较为接近,但是,仅配电网规划 1~7 项目优选建设年份不一致。根据图 1,依据表 1 中配电网规划项目基本数据,采用式(11)分别计算优选项目成本和效益。

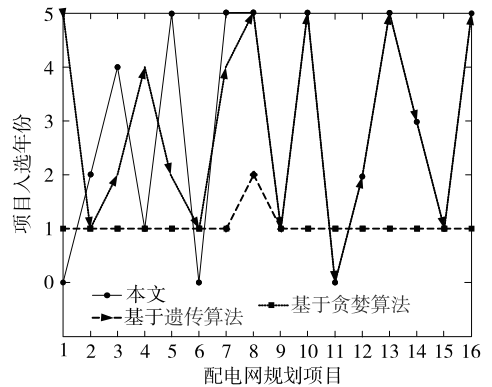


图 1 3 组模型优选配电网规划项目对比

Figure 1 Comparison of distribution network planning under three types of models

2.3.2 优选配电网规划项目成本对比

3 组配电网规划项目优选模型优选项目成本对比结果如图 2 所示,可以看出,基于贪婪算法的项目优选模型优选的配电网规划项目,在建设配电网规划项目的 5 a 内,所需要的配电网规划建设成本为 2 400 万元;基于遗传算法的项目优选模型优选的配电网规划项目,在建设配电网规划项目的 5 a 内,所需要的配电网规划建设成本为 1 744 万元;本文研究模型优选的配电网规划项目,在建设配电网规划项目的 5 a 内,所需要的配电网规划建设成本为 1 280 万元。

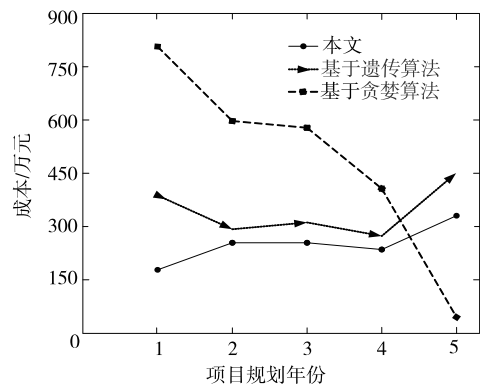


图 2 优选项目成本对比

Figure 2 Cost comparison of preferred projects

由此可见,3组配电网规划项目优选模型优选的配电网规划项目,均在此次建设配电网规划项目总投入成本内。但是,本文研究模型相较于贪婪算法的项目优选模型和基于遗传算法的项目优选模型优选的配电网规划项目,所需要的配电网规划建设成本分别降低了1 120、464万元。因此,本文研究模型优选的配电网规划项目成本低。

2.3.3 优选配电网规划项目效益对比

3组配电网规划项目优选模型优选项目效益对比结果如图3所示,可以看出,基于贪婪算法的项目优选模型优选的配电网规划项目,5a内的项目收益为 4.2×10^4 万元;基于遗传算法的项目优选模型优选的配电网规划项目,5a内的项目收益为 4.5×10^4 万元;本文研究模型的项目优选模型优选的配电网规划项目,5a内的项目收益为 4.8×10^4 万元,相较于贪婪算法和基于遗传算法的项目优选模型优选的配电网规划项目,本文研究模型5a内的项目收益分别高 0.6×10^4 、 0.3×10^4 万元。由此可见,本文研究模型优选的配电网规划项目效益高。

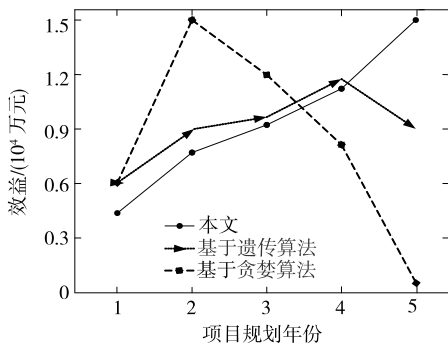


图3 优选项目效益对比

Figure 3 Benefit comparison of optimized projects

3 结语

为了解决传统配电网规划方法无法得到更高效益的问题,本研究设计一种新的配电网规划项目优选模型。充分考虑配电网规划项目效益耦合和时序关联特性,并将其作为项目优选依据,设计项目优选约束条件。仿真实验测试结果显示与文献方法相比,本文提出的配电网规划项目优选方案成本更低,项目效益较高,有效降低了优选项目建设成本。但是此次研究模型,未曾考虑配电网建设潮流、负荷等

因素对项目建设影响,在今后的研究中,还需考虑配电网建设潮流、负荷等影响因素,进一步提高配电网规划建设效益。

参考文献:

- [1] 赵一男,宋斌,钱振宇,等.未来配电网的分布式形态及规划方法[J].中国电力,2022,55(4):70-77.
ZHAO Yinan, SONG Bin, QIAN Zhenyu, et al. Dispatching architecture and planning method of future distribution network[J]. Electric Power, 2022, 55(4): 70-77.
- [2] 刘雪飞,刘洋,马国真,等.考虑负荷差异化需求响应的配电网多目标扩展规划[J].电力系统保护与控制,2022,50(22):131-141.
LIU Xuefei, LIU Yang, MA Guozhen, et al. Multi-objective extended planning for a distribution network considering demarcation of demand response schemes[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(22): 131-141.
- [3] 方学智,李傲伟,龙琴,等.适应配电网网格化规划的可靠性预测方法[J].电测与仪表,2020,57(3):72-78.
FANG Xuezhi, LI Aowei, LONG Qin, et al. Reliability prediction method adapted to grid planning in distribution network[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2020, 57(3): 72-78.
- [4] 郝露茜,吴军,王智冬,等.电力系统源—网—荷—储协调水平综合评价方法研究[J].智慧电力,2021,49(3):12-18.
HAO Luxi, WU Jun, WANG Zhidong, et al. Research on comprehensive evaluation method of source-grid-load-storage coordination level in power system[J]. Smart Power, 2021, 49(3): 12-18.
- [5] 易淑智,刘云凯,吴海星,等.计及全寿命周期成本和设备利用率的配电变压器规划优选[J].供用电,2021,38(4):52-56+63.
YI Shuzhi, LIU Yunkai, WU Haixing, et al. Optimization planning of distribution transformer considering life cycle cost and equipment utilization[J]. Distribution & Utilization, 2021, 38(4): 52-56+63.
- [6] 南开辉,方向,翟晓萌,等.电网侧储能项目管理模式选择——基于IFS与TOPSIS灰色关联投影法的实证分析[J].科技管理研究,2020,40(12):205-210.
NAN Kaihui, FANG Xiang, ZHAI Xiaomeng, et al. Management mode selection of energy storage project at grid side: an empirical analysis based on the grey correlation

- projection method of IFS and TOPSIS[J]. Science and Technology Management Research, 2020, 40(12): 205-210.
- [7] 路坦, 李建泽, 吴仲超, 等. 不确定性下柔性分布式多能源发电系统扩展规划[J]. 计算技术与自动化, 2020, 39(3): 114-119.
LU Tan, LI Jianze, WU Zhongchao, et al. Expansion planning of flexible distributed multi-energy power generation system under uncertainty[J]. Computing Technology and Automation, 2020, 39(3): 114-119.
- [8] 邢亚虹, 杜欣慧. 基于贪婪算法的配电网网格负荷预测与规划方法[J]. 计算机工程, 2016, 42(11): 316-321.
XING Yahong, DU Xinhui. Method of grid load forecasting and planning for distribution network based on greedy algorithm[J]. Computer Engineering, 2016, 42(11): 316-321.
- [9] 王海军, 董颖华. 基于多策略改进的遗传算法在配电网规划中的应用[J]. 电网与清洁能源, 2021, 37(11): 47-54.
WANG Haijun, DONG Yinghua. Application of genetic algorithm based on multi-strategy improvement in distribution network planning[J]. Power System and Clean Energy, 2021, 37(11): 47-54.
- [10] 李霄鹏. 贪婪算法与遗传算法结合的建设项目合同优化选择[J]. 统计与决策, 2019, 35(6): 76-79.
LI Xiaopeng. Optimal selection of construction project contract based on greedy algorithm and genetic algorithm[J]. Statistics and Decision, 2019, 35(6): 76-79.
- [11] 沈美燕, 胡哲晟, 刘墨煜, 等. 考虑效益耦合和时序关联特性的配电网规划项目多阶段双 Q 优选[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(6): 22-28+48.
SHEN Meiyuan, HU Zhesheng, LIU Zhaoyu, et al. Optimal multi-stage dual-Q selection for distribution network planning projects considering benefit coupling and timing correlation characteristics[J]. Electric Power Automation Equipment, 2020, 40(6): 22-28+48.
- [12] 吴晓欣, 何怡刚, 段嘉珺, 等. 考虑复杂时序关联特性的 Bi-LSTM 变压器 DGA 故障诊断方法[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(8): 184-193.
WU Xiaoxin, HE Yigang, DUAN Jiajun, et al. DGA fault diagnosis method of Bi-LSTM transformer considering complex timing correlation characteristics[J]. Electric Power Automation Equipment, 2020, 40(8): 184-193.
- [13] 马小铭, 靳伍银. 基于改进蚁群算法的多目标路径规划研究[J]. 计算技术与自动化, 2020, 39(4): 100-105.
MA Xiaoming, JIN Wuyin. Research on multi-objective path planning based on improved ant colony algorithm[J]. Computing Technology and Automation, 2020, 39(4): 100-105.
- [14] 李秉祥, 乔建民, 牛晓琴, 等. 管理防御视角下经理人长期投资项目选择的博弈分析[J]. 管理评论, 2019, 31(1): 197-205.
LI Bingxiang, QIAO Jianmin, NIU Xiaoqin, et al. Game analysis of managers' long-term and short-term investment project selection from the perspective of managerial entrenchment[J]. Management Review, 2019, 31(1): 197-205.
- [15] 邵华, 贺春光, 安佳坤, 等. 基于线性约束的有源配电网规划研究[J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35(5): 66-74.
SHAO Hua, HE Chunguang, AN Jiakun, et al. Research on active distribution network planning based on linear constraints[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2020, 35(5): 66-74.