

基于 RWCS 搜索算法的电网多项目 组合投资优化决策研究

许晓敏¹, 王 琮², 路 妍³

(1. 华北电力大学 经济与管理学院, 新能源电力与低碳发展研究北京市重点实验室, 北京 102206;

2. 国网上海电力有限公司 经济技术研究院, 上海 200002; 3. 国网冀北电力有限公司 经济技术研究院, 北京 100038)

摘要: 电网企业的投资项目数量多、金额大, 其投资决策是一项较为复杂的工作, 需要权衡很多的影响因素和目标函数, 考虑如何进行合理的资金分配。通过引入投资组合优化的概念, 以经济效益、安全性和社会性为目标函数, 考虑电力需求、可靠性、企业投资能力等约束条件, 构建了电网企业多项目组合投资优化决策模型。结合布谷鸟搜索算法(Cuckoo search algorithm, CS)在优化问题中较高的求解性能, 利用随机权重(Random Weight, RW)动态优化布谷鸟算法。运用实际的算例, 验证该模型方法应用于电网建设项目投资组合决策的可操作性和有效性。

关键词: 多项目组合; 投资决策优化; 布谷鸟算法; 动态随机权重; 电网企业

中图分类号: F062.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2019)10-0069-08

电网企业的投资决策工作需要统筹企业的规划、项目、管理等多个层面, 是一项复杂的系统工程^[1]。规划层面是指在已知未来电力需求增长情况的前提下, 根据目前已有的线路和变电站的情况, 选择合适的待建线路, 在确保安全运行的前提下, 优化总体的经济性。项目层面则是在电力需求和电网规划的基础上, 以项目的重要性为前提, 确定项目的建设时序, 并安排不同阶段的项目实施。在深化电力体制改革的背景下, 电网企业的核算方式由“差价定价”转变为“准许成本加合理收益”, 加上一般工商业电价的下调, 使得电网企业的利润空间被较大幅度的压缩^[2]。因此, 为了得到合理且最优的投资策略, 电网企业需要重点考虑企业自身的投资能力的制约, 并对项目投资做出必要调整。

投资决策是对投资的方向、规模和方案不断寻优的过程, 以选择最佳的投资方案。准确且合理投资决策是企业提高资金效益的重要前提^[3]。电网企业的投资决策需要兼顾自身的投资能力、电网的安全运行、项目带来的经济效益和社会效益等多方面的影

响, 因此, 对电网企业投资决策的研究具有较高的实际价值^[4-5]。

从电网企业投资策略制定角度看, 目前电网企业投资决策管理往往是根据电网发展需求, 重视电网投资规模, 而没有同时科学的权衡投资能力以及投资效益与电力需求之间的关系。并且在投资策略制定时缺乏准确的信息和科学的依据。在新电改的背景下, 随着投资规模的逐渐加大、供电能力裕度的出现、企业经营压力的增加, 如今的电网企业在进行投资决策时, 就不能仅将电力需求、供电可靠性和供电能力等作为确定投资规模的依据, 还必须同时兼顾企业投资能力。电网企业只有加大对成本的控制力度, 对需求和投资深入研究, 准确把握企业投资能力, 合理投资决策, 才能提高利润空间, 适应新形势^[6]。

离散近似迭代法^[7]、逆向归纳法^[8-9]等传统方法被用于求解电网投资决策问题。常燕, 陈武, 赵罡^[9]将逆向归纳的方法应用到电网投资决策的求解中, 结合实际的数据, 得到了某电网企业的最佳投资决策的结果。但是, 由于实际的工程项目涉及的方面众多,

收稿日期: 2019-08-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71804045); 教育部哲学社会科学重大课题攻关项目(18JZD032); 高等学校学科创新引智计划资助项目(B18021); 中央高校基本科研业务费专项资金(2018ZD14)。

作者简介: 许晓敏(1989—), 女, 江苏南通人, 华北电力大学, 讲师, 研究方向: 能源经济管理、技术经济分析, 中国技术经济学会会员登记号: I030101056S; 王琮(1990—), 女, 浙江丽水人, 国网上海电力有限公司经济技术研究院, 工程师, 研究方向: 电网工程技术经济及管理; 路妍(1989—), 女, 安徽宿州人, 国网冀北电力有限公司经济技术研究院, 工程师, 研究方向: 电网工程技术经济及管理。

相应的影响决策的因素较为繁杂,传统的研究方法不再适用于解决复杂的投资决策问题,无法得到准确性较高的投资决策结果。随着人工智能的兴起,优化问题的求解中也涌现了很多智能算法,其中,遗传算法^[10-11]、粒子群算法^[12]、蚁群算法^[13]等的应用最为广泛。闫翠丽^[11]通过最小化成本函数,构建投资决策模型,并运用遗传算法进行求解。电网投资决策还会运用到马柯维茨模型^[14]、专家群组决策特征根法等方法。但是,单一的算法容易存在局部寻优、算法效率不高等缺陷,其优化结果将会影响决策的精度。因此,我们需要寻求优化效率更高的算法运用到项目投资决策中。

目前,电网项目组合投资决策还处在一个不断发展的阶段^[15-16]。一直以来,电网企业的项目投资决策中存在以下问题:①项目建设的必要性和经济性论证不足,大多数项目在投资决策时没有综合考虑电网的电力需求、投资能力以及项目建设的经济效益,无法保证电网建设项目的投资效益;②缺乏合理有效的评价指标体系,目前项目评价缺乏量化的评价标准,并且由于缺乏合理有效的评价指标体系,项目之间缺乏可比性;③当前电网项目的投资决策主要依靠管理人员的经验进行主观决策,难以综合考虑项目建设的成效和资金约束条件的限制,不能够满足投资项目集合综合效益最优的目标。同时,鲜少有文献关注企业的投资能力,并将其作为约束条件。综上,目前已有的研究在目标函数、约束条件方面的考虑不够全面和系统,缺乏对电力需求和投资能力的综合考量,得到的投资决策方案的合理性和科学性有待进一步的商榷。

电网建设项目主要包括新建项目和改扩建项目,本文主要考虑新建项目,它一般是根据电网的供电负荷需求和发展规划建设的项目,在电网的项目中所占比例最大。如果逐一对单个项目进行投资决策,不仅计算量大、效率低,而且无法达到总体的规模效应,实现全局最优。因此,往往在决策时,是多个项目同时进行。基于以上的考虑,本文重点考虑电网企业多个项目的组合投资决策优化问题。因此,结合决策优化理论^[17-18],本文将投资效用的最大化作为目标函数,将电力需求、投资能力等作为约束条件,构建了基于改进的 RWCS 算法的电网多项目投资组合决策模型,并结合实际的项目案例,验证本文所提模型的合理性和有效性。

1 模型构建

电网建设项目的投资优化是一项复杂的决策工

作,一方面,其种类繁多、数量庞大,需要在同一时间内协调和统筹不同类别的项目;另一方面,电网企业在某时刻的投资能力是有限的,无法满足每一个项目的建设要求。在这种情况下,如果只是通过对单一项目的优化进行决策,会带来结果的片面性和不均衡性,忽略了不同项目之间和不同地区之间的协同性,无法达到总体效益最优。因此,这就需要在做决策时,既要考虑单个项目的经济性,同时又要结合不同项目之间的综合效益进行组合优化。

本文所涉及的电网企业投资决策优化的问题可以表述为:在有限的投资能力(资金)的约束下,首先需要对电网建设项目进行初步筛选,形成投资项目储备池;其次,投资决策者从储备池中,在满足目标函数和约束条件下,结合智能优化算法,选出最优的组合项目进行投资,使其不仅可以满足地区电网的电力需求,同时在企业可承受的风险范围内,获得最大的投资效益。

本文将投资者效用函数设定为优化问题的目标函数,并从经济效益、安全可靠性和社会效益三个方面综合刻画目标函数,其中,经济性用项目的净现值表示,可靠性用容载比表示,社会性用缺点成本表示^[19-20]。

1.1 目标函数

基于上述分析,本文的目标函数如下所示。

$$\text{Max } Z(x) = Np(x) - R(x) + P(x) - n(x) \quad (1)$$

其中, $Z(x)$ 表示投资者的效用函数, $Np(x)$ 为经济效益函数,用净现值表示, $R(x)$ 表示可靠性函数, $P(x)$ 反映的是社会性函数,增加了投资能力惩罚函数 $n(x)$ 函数,用于过滤投资需求大于企业投资能力的建设项目。

1) 净现值函数。

$$Np(x) = \sum_{i=1}^n x_i \left\{ \sum_{t=i}^T (S_{it} - C_{it}) * (1 + I)^{-t} - Q_i \right\} \quad (2)$$

其中, S_{it} 表示第 i 个项目在第 t 年的收入情况; C_{it} 表示第 i 个项目在第 t 年的运营成本情况; x_i 表示投资变量,当 $x_i = 1$ 时,表示可以投资;当 $x_i = 0$ 时,表示不对该项目进行投资;基于全寿命周期理论, T 表示建设项目的寿命周期, I 为投资回报率, Q_i 表示第 i 个建设项目的建设成本。

2) 可靠性函数。该指标用容载比来表示。容载比反映的是备用容量的情况,当增加容载比的取值时,保持负荷水平不变,变压器的总容量会随之增加,

从而增加项目的建设投资和运行成本;反之,若过低,电网的适应性会变差,灵活度不够,其安全可靠将无法得到保证和提高。因此,容载比需要控制在一定的合理范围内,使其既可满足供电可靠性的要求又能尽可能降低电网的建设成本和运行成本。

3)社会成本函数。电网企业的职责是提供电能,其带来的社会影响不可忽视,因此,本文仍重点考虑项目建设后给社会带来的效益。停电是电网运行中的重大事故,如果能够做好停电管理工作,则带来较好的社会效益,停电成本可以很好地反映项目的社会性。若停电成本和设备的容量成正比关系,则能够得到社会成本的公式。

$$P(x) = \sum_{i=1}^T \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i c_i + c}{\sum_{i=1}^n c_i + c} - 1 \right] \times c_{\max} \quad (3)$$

式中, c_i 表示第 i 个项目的新增容量, c 表示电网原来的容量, $c_{\max}$ 为停电成本的最大值。

4)投资能力惩罚函数。在电网建设项目优化投资分析的过程中,有一个条件始终需要满足,即所有项目的总投资额不能超过企业的投资能力。为了增强对投资能力的约束效果,本文提出了投资能力惩罚函数,该函数可以有效地过滤投资额大于投资能力的项目群。即:若投资能力小于投资额时,惩罚函数将增加为很大的数值,使得目标函数值迅速减小,对应的投资组合将被淘汰。反之,该惩罚函数的数值为 0,不影响目标函数值。

1.2 约束条件

1)投资能力约束。为了进一步强调投资能力,本文将投资能力作为约束条件,投资组合的总投资额不能大于投资能力的上限。

$$\sum_{i=1}^n N_i \times x_i \leq N \quad (4)$$

且对于投资能力惩罚函数,有以下约束。

$$n(x) = \begin{cases} 0, & \sum_{i=1}^n N_i \times x_i \leq N \\ 1000000, & \sum_{i=1}^n N_i \times x_i > N \end{cases} \quad (5)$$

其中, N_i 为第 i 个项目所需投资金额, N 为电网企业最大能够承受的投资金额,即投资能力上限。

2)电力需求约束。电网企业的建设和投资并不是盲目进行的,需要根据社会的用电需求进行规划,因此,新增容量还需满足以下约束。

$$\sum_{i=1}^n c_i \times x_i \geq D \quad (6)$$

其中, D 表示某地区的社会用电需求。

3)可靠性约束。选取容载比在 $[1.6, 1.8]$ 和 $[1.8, 2.0]$ 两个范围内作为可靠性的约束条件。

$$P(x) = \begin{cases} \alpha \left(\sum_{i=1}^n x_i c_i + c - 1.8L \right), & \frac{\sum_{i=1}^n x_i c_i + c}{L} > 1.8 \\ 0, & \frac{\sum_{i=1}^n x_i c_i + c}{L} \in [1.6, 1.8] \\ \beta \left(1.6L - \sum_{i=1}^n x_i c_i - c \right), & \frac{\sum_{i=1}^n x_i c_i + c}{L} < 1.6 \end{cases} \quad (7)$$

其中, α 表示电网剩余容量的影响系数, β 表示电网不足容量的影响系数, L 为电网系统主线的平均负荷水平。

4)其他资源约束。本文重点考虑包括人工、材料、设备等在内的常见的项目工程资源的约束,如下。

$$\sum_{i=1}^n s_{it} x_i \leq s_t \quad (8)$$

其中, s_{it} 为项目 i 在第 t 年对该资源的需求情况, s_t 为第 t 年内资源 s 总的供给情况。

5)投资项目约束。若电网同时有 n 个待建项目,这些项目间也会满足某些约束,如下。

①若项目之间相互独立,则有 $x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq n$ 。

②若项目为互斥关系,则有 $x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq 1$ 。

③若项目为依存关系,则项目 1 必须被选择了,才有可能选择项目 2;若项目 1 没被选择,这种情况下,项目 2 也不会被选择。即: $x_1 - x_2 \geq 0$ 。

④若项目之间为紧密依存关系,即:这两个项目必须同时选中或者同时未被选中,则有 $x_1 - x_2 = 0$ 。

⑤若项目为互补的关联关系,则有项目 1 和 2 能够当作互补项目 x_{12} 同时被选中,但项目 1 和项目 x_{12} 、项目 2 和项目 x_{12} 不能同时被选中,也就是说, $x_1 + x_2 + x_{12} \leq 1$ 。

1.3 动态优化算法

布谷鸟搜索算法 (Cuckoo search algorithm, CS),又可称作杜鹃算法,它是一种新型的启发式搜索算法,在 2009 年由剑桥大学的 Xinshe Yang 和 S. Deb 教授提出后得到了应用,并用来求解优化问题^[21]。它的灵感是来自于布谷鸟利用寄生孵抚养幼鸟的方法。与粒子群、遗传算法相比,该算法具有结构简单、控制参数少等特点,较多应用于电力调度、项目优化等问题中,成为学者的研究热点^[22]。

1.3.1 布谷鸟算法基本思想

CS 算法的关键内容有两点,分别是寄生卵繁殖方式和莱维飞行模式。

1)寄生卵繁殖行为。通常,布谷鸟是不亲自抚养雏鸟的,它们会在产卵后将雏鸟偷放到其他鸟类的窝巢里,只要不被发现,布谷鸟的后代将会被其他鸟群抚养长大。这种繁殖和抚养方式又称为巢寄生,是自然界的鸟类中一种独特的繁育方式^[23]。正因为它们这种特别的繁育方式,布谷鸟从不建巢窝,它们通过寻找与其幼卵形状相似、大小相近、食性一致的鸟类,在它繁殖的时候,将幼卵偷放至此类鸟巢中。同时,为了防止被发现,布谷鸟在产卵后,会选择将原巢窝里的一个幼卵移走,让其幼卵可以享受其他鸟类的抚养而不被发现。布谷鸟搜索算法就是这种特殊繁殖方式进行理论化,并对这一行为的模拟。其核心思想是:将布谷鸟为其幼卵选择的巢穴作为空间中解的分布,而不同巢穴在位置、幼卵相似度等方面的优劣情况则看作是解的适应度,布谷鸟在寻找更好的巢穴的过程则是整个问题的优化流程。

2)莱维飞行。CS 算法的搜索方式称为莱维飞行(Levy Flight),是一种满足重尾的稳定分布的一个随机过程,是一种连续的概率分布。搜索过程中不同距离的步长交替变化,用以扩大搜索空间,增加多样性、避免陷入局部收敛。分布中涉及几个重要的参数:特征指数 α ,尺度 σ ,位移 χ ,方向参数 β 。莱维分布的定义是其特征函数 $\varphi(t)$ 的傅里叶变换^[24]。

$$p_{\alpha,\beta}(k;\mu,\sigma) = F\{p_{\alpha,\beta}(x;\mu,\sigma)\} = \int_{-\infty}^{\infty} dx e^{ikx} p_{\alpha,\beta}(x;\mu,\sigma) \quad (9)$$

$$\mu,\sigma) = \exp\left[iuk - \sigma^{\alpha} |k|^{\alpha} \left(1 - i\beta \frac{k}{|k|} \bar{\omega}(k,\alpha)\right)\right]$$

$$\text{其中, } \bar{\omega}(k,\alpha) = \begin{cases} \tan \frac{\pi\alpha}{2}, \alpha \neq 1, 0 < \alpha < 2 \\ -\frac{2}{\pi} \ln |k|, \alpha = 1 \end{cases}$$

莱维分布的概率密度函数如下。

$$p_{\alpha,\beta}(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} x^{-\frac{2}{\alpha}} \exp\left(-\frac{1}{2x}\right), x \geq 0 \\ 0, x < 0 \end{cases} \quad (10)$$

其中, $\alpha = \frac{1}{2}, \beta = 1$ 。

其跳跃分布概率密度函数如下。

$$\lambda(x) \approx |x|^{-1-\alpha}, 0 < \epsilon < 2 \quad (11)$$

莱维飞行是二阶距发散,其搜索过程中的飞行轨迹呈现出很大的跳跃性,如图 1 所示。

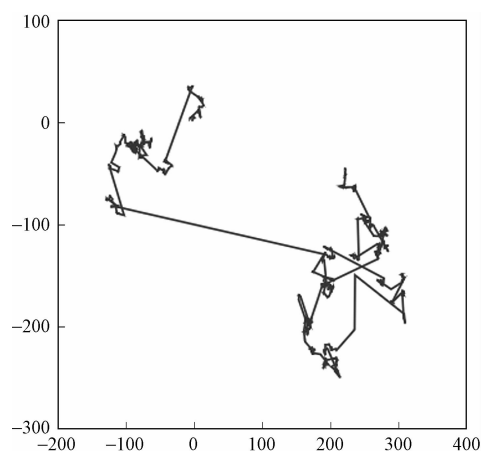


图 1 莱维飞行的轨迹图

1.3.2 改进的布谷鸟搜索算法

CS 搜索算法以其模型参数少、全局收敛性强等特点已经广泛运用于很多非线性优化领域,并有较好的优化效果^[25]。但 CS 算法本身也存在一些缺陷。通过引入随机权重,改变鸟巢位置的更新方式来克服其收敛速度慢、效率低等缺点,从而提高优化的精度和效率,实现全局最优搜索。

随机权重(Random weight, RW)是通过随机从高斯分布中选取一个数值实现动态权重选取的一种方式,它可以随机选择较大或者较小的权重值。利用 RW 来优化 CS 搜索算法,可以有效地避免算法在搜索初期陷入局部最优,提高算法在搜索后期的收敛速度和优化精度^[26],RW 的权重选择过程如下所示。

$$\omega = 0.5 + \frac{\text{randm}()}{2} \quad (12)$$

式中,randm()为服从标准正态分布的随机数。公式(12)表示在[0.5,1]之间随机产生一个数值。

$$\omega = r_{\min} + (r_{\max} - r_{\min}) * \text{normrnd}() + \sigma * \text{randm}() \quad (13)$$

其中, $r_{\max}, r_{\min}$ 分别表示 RW 选取最大权重值和最小权重值, normrnd 表示生成正态分布的随机数, σ 为偏差。随机权重服从高斯分布,即: $\omega \sim N(\theta, \sigma)$ 。本文利用 RW 中随机出现不同大小的权重的特点,更新巢穴的位置,以期更快地帮助布谷鸟搜索找到最优解。基于 RWCS 的优化算法的流程图如图 2 所示。

2 实例分析

2.1 考虑规划目标的单项目优化排序

电网作为地区经济社会发展重要的基础设施,其投资决策既要与地区发展规划相匹配,又需要满足电网发展的规划目标,同时还要保障电网运行的安全可

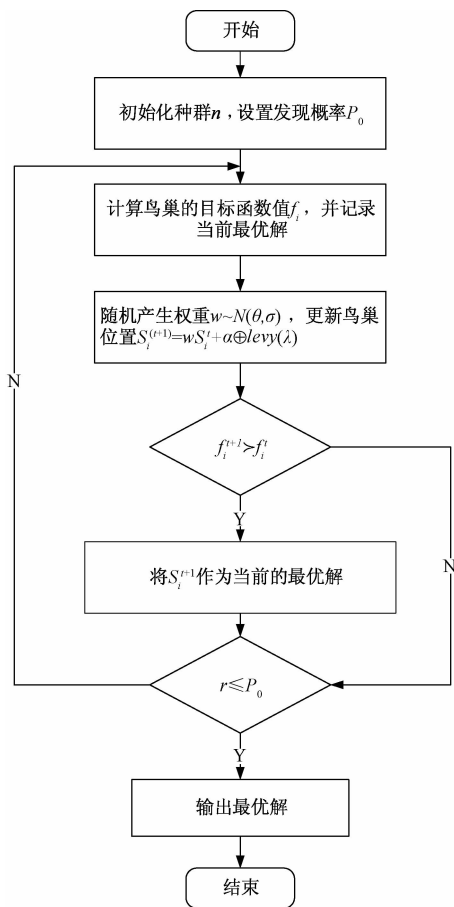


图 2 基于 RWCS 优化算法流程图

靠性,兼顾项目的经济合理性和社会发展服务性。本文首先综合考虑建设项目的成本、收益等因素,兼顾电网发展的规划目标,构建电网建设项目优化排序的评价指标体系,然后运用层次分析法确定指标权重,最后基于线性加权综合法计算各个项目的综合评价得分,确定单项目的优化排序结果。该方法计算原理简单,实用性和可操作性强。

1)指标体系的建立。根据电网规划目标、企业的管理需求、相关评价标准等,建立了一套较为完善的单一项目优化排序指标体系,如图 3 所示。

2)数据预处理。由于指标的性质、量纲和量级均有所不同,在模型计算之前,需要进行数据预处理,包括数据的一致化和无量纲化。本文运用的指标一致性处理方法为:将所有指标都转化为极大型指标,包括极小型和区间型两种;然后,根据无量纲化处理方法,将除 0—1 指标外的其他指标的数据的取值统一到[0,1]区间内。

3)权重的确定。指标的权重值展示了不同评价指标间的相对重要程度的大小。权重的赋值方法的科学性、赋值大小的合理性将会影响评价的最终效

果。确定权重有很多方式,本文采用的层次分析方法是一种科学的决策方法,它综合考虑了定性和定量的信息,利用递归关系可以有效地降低评价的复杂度。基于层次分析法,通过综合专家意见,构造判断矩阵,进行一致性检验;对于通过一致性检验的判断矩阵,计算各指标的权重系数。

4)单一项目优化排序结果。基于以上分析过程,综合专家打分结果,获得电网项目最终的评分情况,并对其进行排序,结果如表 1 所示。

表 1 项目评分排序表

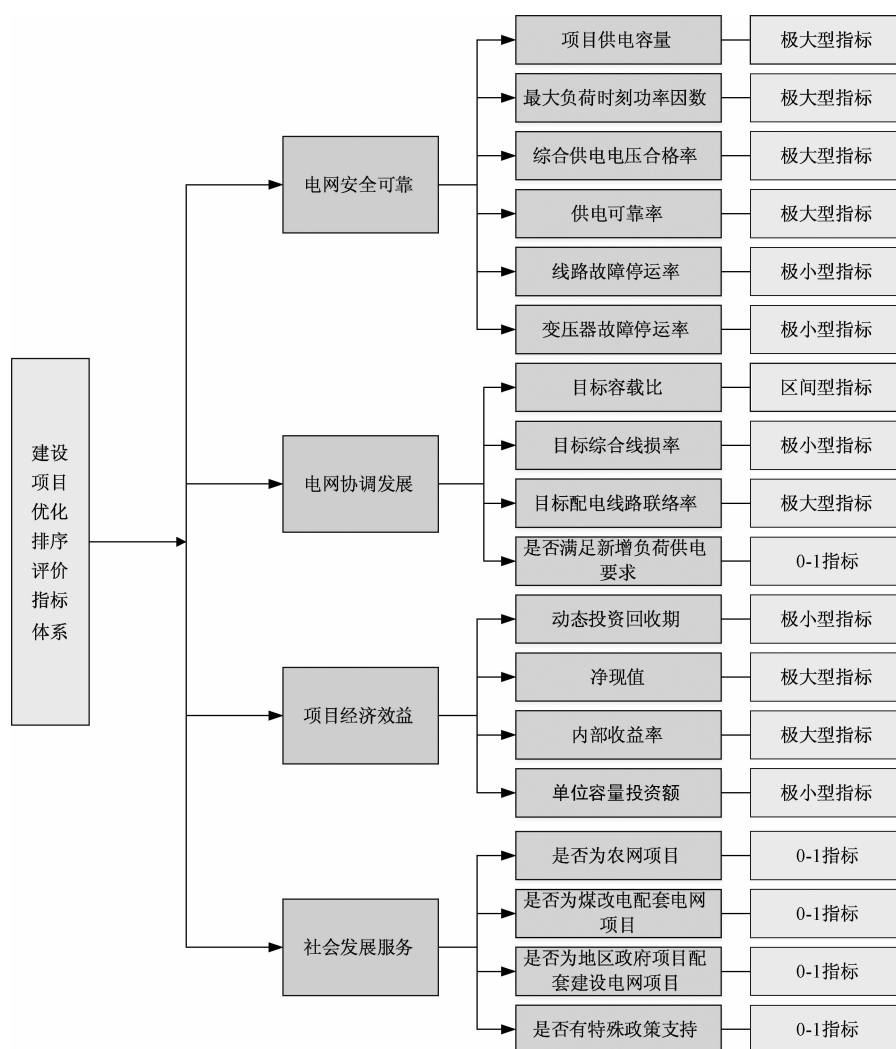
项目	评价得分	项目	评价得分
O	0.876	M	0.692
P	0.865	L	0.689
R	0.853	I	0.673
S	0.847	Q	0.671
G	0.819	A	0.608
N	0.798	H	0.593
E	0.782	C	0.562
K	0.756	B	0.548
T	0.732	J	0.533
D	0.724	F	0.465

2.2 考虑电力需求和投资能力的多项目组合投资优化

在考虑规划目标的基础上,得到了备选的建设方案的排序结果^[27]。为了简化计算,本文做以下假定:各建设项目的寿命设置为 30 年,且假定在规定的寿命期内项目的净收益和运营成本保持稳定;容载比上下限取值为 $\gamma = 1.6, \theta = 1.8, \alpha = 0.1, \beta = 0.2$;平均年停电成本的最上限设置为 25 万元,且假定与容量大小成正比;电网企业当年的投资能力为 2 800 万元;优选出的项目的容量之和即为系统新增容量。

基于 1.1 和 1.2 中的模型方法和上述相关假设,得到如下的优化投资决策模型。

$$\begin{aligned} \text{Max} Z(x) = & \sum_{i=1}^n x_i \left\{ \sum_{t=1}^T (S_{it} - C_{it}) * (1 + I)^{-t} - Q_i \right\} - \\ & R(x) + \sum_{t=1}^T \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i c_{it} + c}{\sum_{i=1}^n c_{it} + c} - 1 \right] * c_{\text{imax}} - n(x) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 & 620x_1 + 580x_2 + 730x_3 + 810x_4 + 705x_5 \leq 2800 \\
 & 135x_1 + 128x_2 + 160x_3 + 175x_4 + 158x_5 \geq 480 \\
 s. t. \quad & P(x) = \begin{cases} 0.1 \left(\sum_{i=1}^n x_i c_i + c - 1.8L \right), & \frac{\sum_{i=1}^n x_i c_i + c}{L} > 1.8 \\ 0, & \frac{\sum_{i=1}^n x_i c_i + c}{L} \in [1.6, 1.8] \\ 0.2 \left(1.6L - \sum_{i=1}^n x_i c_i - c \right), & \frac{\sum_{i=1}^n x_i c_i + c}{L} < 1.6 \end{cases} \\
 & \sum_{i=1}^n s_{it} x_i \leq s_t \\
 & x_i = 0 \text{ 或 } 1; i = 1, 2, \dots, 5
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

模型中各参数设置如下:种群规模为 $N = 50$;

最大迭代次数为 $T = 300$;发现概率 $P_a = 0.25$ 。为了验证模型的有效性,将布谷鸟算法(CS)和粒子群算法(PSO)作为对比模型,图 4 展示的是三种算法的寻优过程。

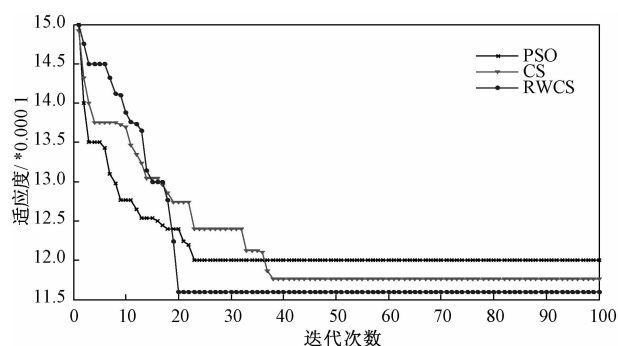


图 4 三种方法的迭代次数和寻优过程

图 4 中收敛速度最快的是 RWCS 算法,显著优

于 CS 和 PSO 算法。说明 RWCS 算法克服了传统 CS 算法存在的收敛速度慢等不足,运行效率有所提高。

根据上述优化算法,以经济性、社会性、可靠性为目标函数,以企业电力需求和投资能力等为约束建立项目组合投资优化决策模型,利用 RWCS、CS 和 PSO 算法进行优化求解,最终的优化结果如表 2 所示。

表 2 不同算法的优化结果

	RWCS 算法	CS 算法	PSO 算法
项目组合	$[O, P, S]$	$[P, G, N]$	$[R, K, L]$
目标函数值	642.3	579.8	503.2
实际资金使用/万元	2 542	2 355	2 645
运算时间/min	4.2	5.0	4.6

结合上表,可以得到不同算法的优化结果,分别为: $X_{rms} = [O, P, S]$, $X_{cs} = [P, G, N]$, $X_{ps} = [R, K, L]$ 。在满足约束条件的情况下,三种方法优化后得到的组合策略各不相同,各组合策略的总投资额均能小于企业的投资能力。对于目标函数值有: $Z_{rms} > Z_{cs} > Z_{ps}$, 对于运算时间有: $t_{rms} > t_{ps} > t_{cs}$ 。可以看出,本文所提方法得到的方案的目标函数值最大,且运算时间最少。此外,所得到的组合优化结果对应的综合评价的得分值也不同,对应单项目的综合得分结果,组合项目的平均得分为: 0.863, 0.8276, 0.769, RWCS 优化后的方案的评分最高,表示该该算法下得到的优化结果总体最优。综上,本文提出的改进的 RWCS 优化算法得到的优化结果从运行时间、目标函数值、组合项目综合得分等多个方面均明显优于对比方法得到的投资组合结果,表现出良好的优化性能。因此,以本文的案例进行分析,最终电网企业将选择的最优的投资组合为 $[O, P, S]$, 该投资组合下需要使用的资金总额为 2 542 万元,该组合的综合评分为 0.863, 投资者效用值为 642.3。

3 结论

随着我国电力体制改革的进一步深化,电网公司面临的投资环境愈加复杂,结合电网现状和规划目标对电网建设项目的投资进行优化决策,对于优化投资效益和资源配置,提高电网资金利用率具有重要意义。本文同时考虑电网企业的电力需求和投资能力,构建了目标函数和约束条件,并建立了基于随机权重优化布谷鸟搜索的动态优化算法。结合实例验证了 RWCS 模型的有效性。从本文的研究中,我们可以得到以下结论。

1) 本文构建的以投资效用最大化,构建目标函数,以电力需求、投资能力、可靠性等为约束条件的优化决策模型适用于电网企业建设项目的投资决策。目标函数中重点考虑了投资能力惩罚函数,以保证所有的投资都在企业可以承受的资金范围内。

2) 本文提出的利用随机权重优化布谷鸟算法的组合优化模型在算法的收敛速度和运行效率上都有显著的提升,在实证算例中,通过与 CS 和 PSO 算法对比,本文提出的改进算法得到的结果具有更高的综合评分,验证了本文所提方法的有效性与合理性。

参考文献

- [1] 寇凌岳,王婧,刘娟. 电网建设项目投资优化模型及实施策略研究[J]. 能源技术经济, 2012, 24(4): 48—52.
- [2] 龙成凤. 新电改方案对电网企业财务管理的影响分析[N]. 中国能源报, 2015—08—24(3).
- [3] KOZIOLEK A, AVRITZER A, SURESH S, et al. Assessing survivability to support power grid investment decisions[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2016, 155: 30—43.
- [4] JUNG SEOBIN, LEE JIHO, KIM J. Yield-aware pareto front extraction for discrete hierarchical optimization of analog circuits[J]. Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2014, 33(10): 1437—1449.
- [5] DERONNE K W, KARYPIS G. Pareto optimal pairwise sequence alignment[J]. Computational Biology and Bioinformatics, 2013, 10(2): 481—493.
- [6] 赵会茹. 电网建设项目投资优化及辅助决策支持系统研究[J]. 华东电力, 2007, 35(6): 23—25.
- [7] 张鹏. 多阶段均值—绝对偏差投资组合优化研究[J]. 武汉科技大学学报, 2011(2): 152—156.
- [8] 熊浩清, 张晓华, 孟远景, 等. 基于技术成熟度理论的智能输电网络多阶段投资决策模型[J]. 电网技术, 2011(7): 1—5.
- [9] 常燕, 陈武, 赵罡. 电网投资决策定量分析技术与模型——基于动态规划方法的实证预测[J]. 技术经济, 2012(2): 56—62.
- [10] 张子力. 基于遗传算法的工程项目投资方案优选模型[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2004(6): 44—47.
- [11] 闫翠丽. 基于遗传算法的项目决策优化模型研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [12] 胡家声, 郭创新, 叶彬, 段惠明, 曹一家. 离散粒子群优化算法在输电网络扩展规划中的应用[J]. 电力系统自动化, 2004(20): 31—36.
- [13] 符杨, 孟令合, 朱兰, 曹家麟. Pareto 蚁群算法在多目标电网规划中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009(4): 41—45.
- [14] 刘严, 张伟. 基于风险的电力项目投资决策方法研究[J]. 电力技术经济, 2007(2): 42—46.
- [15] ZENG MING, TIAN KUO, LI NA, ZHANG YI. Transmission investment decision based on fuzzy real option method under uncertain environment[C]//The Sixth International

- Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2009: 355–360.
- [16] 努尔买买提, 刘洋, 段金辉, 曾鸣. 不同情景下太阳能光伏分布式电源投资决策评估研究[J]. 水电能源科学, 2012, 30(12): 209–212.
- [17] XU XIAOMIN, NIU DONGXIAO, WANG QIONG, WANG PENG, WU DENGSHENG. Intelligent forecasting model for regional power grid with distributed generation [J]. IEEE Systems Journal, 2017, 11(3): 1836–1845.
- [18] STEMPIEN J P, CHAN S H. Addressing energy trilemma via the modified Markowitz Mean–Variance Portfolio Optimization theory [J]. Applied Energy, 2017, 202: 228–237.
- [19] 牛东晓, 李金超. 电力能源综合评价理论[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015: 45–60.
- [20] 何永秀. 电力综合评价方法及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011: 58–80.
- [21] ZHANG XINMING. Parameter estimation of shallow wave equation via cuckoo search[J]. Neural Computing & Applications, 2017, 28(12): 4047–4059.
- [22] 张杰. 基于布谷鸟算法的优化问题求解[D]. 长春: 东北师范大学, 2015.
- [23] WANG HUI, WANG WENJUN, SUN HUI, et al. A new cuckoo search algorithm with hybrid strategies for flow shop scheduling problems [J]. Soft Computing, 2017, 21(15): 4297–4307.
- [24] 刘延龙. 布谷鸟算法的应用研究及算法性能度量[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
- [25] 周欢. 基于改进布谷鸟算法的电子商务配送中心选址研究[D]. 开封: 河南大学, 2016.
- [26] 明波, 黄强, 王益民, 刘登峰, 白涛. 基于改进布谷鸟算法的梯级水库优化调度研究[J]. 水利学报, 2015, 46(3): 341–349.
- [27] CHANG CHUNGLIANG, CHEN JIANNTARNG, CHIU K C, PAI YIFAN. Optimization of grid investment with integrated resources[J]. Monthly Journal of Taipower's Engineering, 2015, 802: 58–65.

Optimal Decision-Making of Multi-Project Portfolio Investment for Power Grid Based on Cuckoo Search Algorithm Optimized by Stochastic Weight

XU Xiao-min¹, WANG Qiong², LU Yan³

(1. School of Economics and Management, Beijing Key Laboratory of New Energy and Low-Carbon Development, North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 2. Institute of Economics and Technology, China Networks Shanghai Electric Power Co., Ltd., Shanghai 200002, China; 3. Institute of Economics and Technology, State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Beijing 100038, China)

Abstract: Because of the large number and amount of investment projects in power grid enterprises, investment decision-making is a relatively complex task, which needs to weigh many factors and objective functions and consider how to allocate the limited funds to different construction projects. By introducing the concept of portfolio optimization, this paper takes the maximization of economy, security and sociality as the objective function, considers the constraints of power demand, reliability, enterprise investment capacity and other resources, and constructs optimal decision-making of multi-project portfolio investment for power grid enterprises. Cuckoo search algorithm (CS), as a new heuristic algorithm, has high performance in solving optimization problems. In this paper, stochastic weights are introduced to dynamically optimize cuckoo algorithm, which can further improve the optimization performance of the algorithm. Combining with practical examples and using MATLAB tools, the operability and practicability of the model in multi-project portfolio optimization of power grid are verified.

Key words: multi project portfolio; investment decision optimization; cuckoo search algorithm; random weight; power grid enterprise