

一种电网基建项目辅助决策方法

宋伶俐^{1,2}, 杨 军¹, 周博文¹, 吴耀文², 胡子修², 李 俊², 邓长虹¹, 孙元章¹

(1. 武汉大学 电气工程学院, 湖北 武汉 430072;

2. 湖北省电力公司, 湖北 武汉 430077)

摘要: 以全面提高电网运营效率为宗旨, 提出了一种电网基建项目辅助决策方法, 从电网安全稳定性、设备利用水平、供电可靠性、电能质量、促进电网协调发展和服务经济社会发展6个方面建立电网基建项目辅助决策指标体系, 在此基础上从项目分值、单位投资分值及综合寻优3个方面建立了电网基建项目辅助决策模型并给出了相应的求解算法。

关键词: 运营效率; 基建项目; 辅助决策; 指标体系; 细菌趋药性; 决策; 模型

中图分类号: TM 727

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.06.012

0 引言

一直以来电网企业为社会发展提供着优质的电力供应, 承担着重大的政治责任、经济责任和社会责任。电网基建项目是电网建设的重要组成部分, 随着经济社会的快速发展, 电网建设投入日趋加大, 电网基建项目也逐渐增多。坚持可持续发展、坚持技术经济优先、坚持服务经济社会发展是合理规划电网基建项目、避免电网企业乱投资、实现国有资产保值增值的重要原则。

目前国内外专家学者已经对电网基建项目决策开展了一些研究。文献[1-4]提出了输变电项目、水电建设项目、发电机组项目、风力发电项目的决策指标, 但这些指标偏于工程管理与监理方面, 没有描述电网基建项目对电网安全的影响, 并且指标定义模糊、不便于量化实现。文献[5]提出了以供电可靠性、电能质量、经济性为规则指标的馈线迫切度改善目标函数, 以总项目投资额为约束条件, 建立了配电网改造优化模型, 并运用穷举法、分支定界法等求解。文献[6-7]以净现值、费用现值等为评价指标, 用动态规划法求解电网建设项目投资决策模型。文献[8-9]以机组类型、投产进度和规模以及融资结构作为决策变量, 分别建立了火电厂投资风险决策模型和可再生能源建设项目的投资决策模型。文献[10]提出的基于区间层次分析法和区间规划的电网规划项目综合评判决策方法, 综合考虑项目效益、项目成本和资金预算与项目间的逻辑关系, 在考虑可靠性、用户满意度、经济性的前提下求解最优项目组合。总体而言, 上述基建项目决策方法都是以某些电网运行指标为决策目标, 通过调整投资方案、融资结构、投产时间手段来实现收益最大。

从保证社会经济快速发展和促进电网协调发展大局出发, 电网企业基建项目的实质是为全面提升

电网运行能力服务的。因此, 以全面提高电网运营效率为目标, 建立科学、全面的电网基建项目决策指标体系及相应的辅助决策模型具有重要意义。本文从全面提升电网运营效率的目的出发, 提出了一种电网基建项目辅助决策方法, 在电网基建项目辅助决策指标体系的基础上, 建立并求解项目分值排序、单位投资分值排序和综合寻优等3种电网基建项目辅助决策模型, 可在有限资金约束下合理安排基建项目的次序, 有效、全面提升电网运行能力。

1 电网基建项目辅助决策指标体系

以全面提升电网运营效率为目的, 考虑国家电网公司文件《国家电网公司电网发展项目管理规定》和《国家电网公司电网基建储备项目评价标准细则》^[11-12], 从电网安全稳定性、设备利用水平、供电可靠性、电能质量、促进电网协调发展和服务经济社会发展等6个方面出发, 建立电网基建项目辅助决策指标体系(如表1所示), 对电网基建项目进行科学决策。

表1中, P_{111} 、 P_{112} 、 P_{113} 、 P_{131} 、 P_{151} 分别对应能够定量计算的潮流分布指标、暂态稳定指标、短路电流指标、系统可靠性指标和静态电压指标。表中所有指标均为正向指标, 即取值越大越好, 取值范围为0~100。

2 电网基建项目辅助决策模型

在电网基建项目辅助决策指标体系的基础上, 考虑电网基建项目特性与电网企业基建项目决策实际, 建立了电网基建项目辅助决策打分表。辅助决策打分表内容如下。

a. 所评价项目的基本信息。包括项目编号、项目名称、电压等级、地点、投产时间和投资额。

b. 评价内容、分值及权重。

评价内容除表1中所示3级指标外, 还包括项

表 1 电网基建项目辅助决策指标体系

Tab.1 Index system of assistant decision making for construction projects of electric power network

一级指标	二级指标	三级指标	权重
电网基建 项目辅助 决策指标 P_1	提高电网安全稳定性方面 P_{11}	解决线路输电瓶颈问题的项目 P_{111}	0.8~1
		满足线路 $N-1$ 安全供电准则的项目 P_{112}	0.8~1
		解决短路电流超标问题的项目 P_{113}	0.8~1
		解决系统阻尼比较低问题的项目 P_{114}	0.6~1
		满足线路 $N-2$ 供电要求的项目 P_{115}	0.4~0.6
		形成主干网或目标网架的新建线路工程 P_{116}	0.8~1
		满足同一电压等级同塔双回输电线路 $N-2$ 供电要求的项目 P_{117}	0.6~0.8
	提高电网设备利用水平方面 P_{12}	解决电磁环网问题的项目 P_{118}	0.8~1
		解决线路过载问题的项目 P_{121}	0.8~1
	提高电网供电可靠性方面 P_{13}	解决设备运行年限长、故障率高,影响电网安全性和供电可靠性的项目 P_{131}	0.6~1
	促进电网发展协调性方面 P_{15}	提高电网电能质量方面 P_{14}	0.8~1
		满足负荷发展需求的新建变电项目 P_{151}	0.8~1
		变电站过载且无法实现负荷就近转移的扩建项目 P_{152}	0.6~0.8
		满足电气化铁路、基础设施等特殊负荷供电需求的配套项目 P_{153}	0.8~1
		电源送出线路工程项目 P_{154}	0.8~1
	服务经济社会发展方面 P_{16}	特高压及跨区直流项目 P_{155}	0.8~1
		实现资源优化配置的 220~750 kV 跨区、跨省输变电项目 P_{156}	0.8~1
		已列入电网规划、公司战略性布点或有特殊政策支持的项目 P_{161}	0.8~1
		根据电网规划、结合经济发展和地方建设进度、同步预留站点或走廊的项目 P_{162}	0.6~0.8

目绝对优先级与否决级(又分为服务电网发展与经济社会发展方面需有限建设的项目和对电网安全可靠影响严重致使其指标过低、外部建设环境较差的项目)。

分值和权重包括参考值来源、参考值、计算值和范围 4 个部分。其中,各指标相对前一年增长时,分值的参考值为各指标相对前一年增长的百分比,将其归一化后乘以 100%,转化为百分制;各指标相对前一年减少时,分值的参考值为 0;但是,如果所评价的内容没有参考值来源,则其分值的参考值需要电网项目决策分析人员根据项目工程意义及项目实际情况决定。权重的参考值均已确定,无需分析人员另行计算。

下面以“评价内容,参考值来源,分值范围”的形式列出各项评价内容的分值参考值来源和分值范围。

提高电网安全稳定性方面 P_{11} :解决线路输电瓶颈问题的项目,潮流分布指标,0~100;满足线路 $N-1$ 安全供电准则的项目,暂态稳定指标,0~100;解决短路电流超标问题的项目,短路电流指标,0~100;解决系统阻尼比较低问题的项目,无,0~100;满足线路 $N-2$ 供电要求的项目,无,0~100;形成主干网或目标网架的新建线路工程,无,0~100;满足同一电压等级同塔双回输电线路 $N-2$ 供电要求的项目,无,0~100;解决电磁环网问题的项目,无,0~100。

提高电网设备利用水平方面 P_{12} :解决线路过载问题的项目,无,0~100。

提高电网供电可靠性方面 P_{13} :解决设备运行年限长、故障率高,影响电网安全性和供电可靠性的项目,系统可靠性,0~100。

提高电网电能质量方面 P_{14} :解决电网电能质量较低问题的项目,无,0~100。

促进电网发展协调性方面 P_{15} :满足负荷发展需求的新建变电项目,静态电压指标,0~100;变电站过载且无法实现负荷就近转移的扩建项目,无,0~100;满足电气化铁路、基础设施等特殊负荷供电需求的配套项目,无,0~100;电源送出线路工程项目,无,0~100;特高压及跨区直流项目,无,0~100;实现资源优化配置的 220~750 kV 跨区、跨省输变电项目,无,0~100。

服务经济社会发展方面 P_{16} :已列入电网规划、公司战略性布点或有特殊政策支持的项目,无,0~100;根据电网规划、结合经济发展和地方建设进度、同步预留站点或走廊的项目,无,0~100。

绝对优先级与否决级:服务电网发展与经济社会发展方面需优先建设的项目,无,0 或 1;对电网安全可靠影响严重致使其指标过低、外部建设环境较差的项目,无,0 或 1。

下面以“评价内容,参考值来源,参考值,分值范围”的形式列出各项评价内容的权重参考值来源和权重范围。

提高电网安全稳定性方面 P_{11} :解决线路输电瓶颈问题的项目,中间值,0.9,0.8~1;满足线路 $N-1$ 安全供电准则的项目,中间值,0.9,0.8~1;解决短路电流超标问题的项目,中间值,0.9,0.8~1;解决系统阻尼比较低问题的项目,中间值,0.8,0.6~1;满足线路 $N-2$ 供电要求的项目,中间值,0.5,0.4~0.6;形成主干网或目标网架的新建线路工程,中间值,0.9,0.8~1;满足同一电压等级同塔双回输电线路 $N-2$ 供电要求的项目,中间值,0.7,0.6~0.8;解决电

磁环网问题的项目,中间值,0.9,0.8~1。

提高电网设备利用水平方面 P_{12} :解决线路过载问题的项目,中间值,0.9,0.8~1。

提高电网供电可靠性方面 P_{13} :解决设备运行年限长、故障率高,影响电网安全稳定性和供电可靠性的项目,系统可靠性,中间值,0.8,0.6~1。

提高电网电能质量方面 P_{14} :解决电网电能质量较低问题的项目,中间值,0.9,0.8~1。

促进电网发展协调性方面 P_{15} :满足负荷发展需求的新建变电项目,中间值,0.9,0.8~1;变电站过载且无法实现负荷就近转移的扩建项目,中间值,0.7,0.6~0.8;满足电气化铁路、基础设施等特殊负荷供电需求的配套项目,中间值,0.9,0.8~1;电源送出线路工程项目,中间值,0.9,0.8~1;特高压及跨区直流项目,中间值,0.9,0.8~1;实现资源优化配置的 220~750 kV 跨区、跨省输变电项目,中间值,0.9,0.8~1。

服务经济社会发展方面 P_{16} :已列入电网规划、公司战略性布点或有特殊政策支持的项目,中间值,0.9,0.8~1;根据电网规划、结合经济发展和地方建设进度、同步预留站点或走廊的项目,中间值,0.7,0.6~0.8。

绝对优先级与否决级:服务电网发展与经济社会发展方面需优先建设的项目,无,1;对电网安全可靠影响严重致使其指标过低、外部建设环境较差的项目,无,1。

c. 所评价项目的项目分值、单位投资分值和优先级与否决级信息。

从项目分值、单位投资分值及综合寻优 3 个方面建立电网基建项目辅助模型。以各基建项目投入后电网运营的变化为参考,对各个基建项目打分,最终确定项目决策方案以提高电网运营效率。

2.1 按项目分值排序模型

按加权求和的思想,求出每个项目指标与指标对应权重乘积的和作为项目分值,考虑项目的绝对优先级与绝对否决级,按项目分值从大到小给出排序结果,其中绝对优先的项目排名最前,绝对否决的项目不参与排序。该方法可在上报国家电网公司基建项目储备库排序时或电网企业投资充裕时使用。按项目分值排序模型计算公式如式(1)所示。

$$\begin{cases} u_j \in U^* | u_j \in U^+, \text{range max } P_a(u_j) \\ \max \{P_a(u_j) | u_j \in U, u_j \notin U^+, u_j \notin U^-\} \\ P_a(u_j) = \sum_{i=1}^n k_i w_i P_a(v_{ij}) \\ i=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (1)$$

其中, u_j 为第 j 个项目, v_{ij} 为第 j 个项目的第 i 个指标,共有 m 个项目、 n 个指标; U 为所有项目的集合, U^* 为不计绝对否决的项目集合即决策输出结果, U^+ 、 U^- 分别为绝对优先和绝对否决的项目集合; $P_a(u_j)$ 为

第 j 个项目分值, $P_a(v_{ij})$ 为第 j 个项目的第 i 个指标的分值, w_i 为第 i 个指标的权重, k_i 为第 i 个指标的计算系数。

计算系数 k_i 的取值为 1 或 0,取 1 时表示项目分值计算中考虑该指标,取 0 时表示项目分值计算中不考虑该指标。引入计算系数可以在决策模型中更为全面、多样地考察每个项目的属性。如仅将 $P_{111} \sim P_{118}$ 这 8 个指标的计算系数取 1,其他指标的计算系数取 0,则得到提高电网安全稳定性的项目分值,排序模型给出的决策结果也是按电网安全稳定性的分值的排序。

2.2 按单位投资分值排序模型

在项目分值的基础上,考虑每个项目的投资额,求出每个项目分值与投资额的商作为单位投资分值,考虑项目的绝对优先级与绝对否决级,按单位投资分值从大到小给出排序结果,其中绝对优先的项目排名最前,绝对否决的项目不参与排序。该方法可在电网企业投资能力有限时使用。按单位投资分值排序模型如式(2)所示。

$$\begin{cases} u_j \in U^* | u_j \in U^+, \text{range max } P_b(u_j) \\ \max \{P_b(u_j) | u_j \in U, u_j \notin U^+, u_j \notin U^-\} \\ P_b(u_j) = \frac{P_a(u_j)}{M(u_j)} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i w_i P_a(v_{ij})}{M(u_j)} \\ i=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (2)$$

其中, $P_b(u_j)$ 为第 j 个项目的单位投资分值, $M(u_j)$ 为第 j 个项目的投资额。

2.3 综合寻优模型

考虑到仅用分值排序和单位分值排序有时不能得到在有限投资额情况下的最优项目组合,因此可建立项目分值和最大、总投资额最小 2 个目标的多目标综合寻优模型,采用现代智能算法求解模型得到决策结果。

2.3.1 寻优模型

寻优模型的目标函数同时考虑项目分值和最大以及项目总投资额最小。约束条件中,考虑项目离散特性约束、绝对优先级与绝对否决级约束及项目总投资额约束。由于电网稳态、动态及稳定等约束在综合评价指标中已考虑,此处略去。该方法可在电网企业追求项目分值最大、投资最小的多目标情况下使用。上述寻优模型如式(3)所示。

$$\begin{aligned} \max \quad & P_{\text{opt}} = \sum_{j=1}^m P_a(u_j) \\ \max \quad & M_{\text{opt}} = \sum_{j=1}^m M(u_j) \\ \text{s.t.} \quad & u_j \in U, u_j \notin U^-, u_j \notin U^+ \quad j=1, 2, \dots, m \\ & M_{\text{opt}} + M^+ \leq M_0 \end{aligned} \quad (3)$$

其中, P_{opt} 和 M_{opt} 分别为项目分值和与项目总投资

额, M^+ 为绝对优先的项目的总投资, M_0 为项目投资给定值。

引入计算系数, P_{opt} 也可表示表 1 中二级指标的某一个指标分值和或某几个指标分值和。此时, 该模型可以实现提高电网安全稳定性方面分值和最大、总投资最小或提高电网安全稳定性方面分值和与提高电网设备利用水平方面分值和同时最大、总投资最小等多种多目标寻优组合, 为电网基建项目辅助决策提供了更加灵活、多样的决策参考。

电网运营需在保证电网安全稳定的基础上追求更高的经济效益, 电网基建项目辅助决策中项目本身属性的重要程度稍高于其投资额, 因此采用层次分析法(AHP)中 SATTY 标度的方法, 取 k_p 和 k_m 分别为 3 和 1(k_p 和 k_m 分别为项目分值和与项目总投资额的系数), 将式(3)所示的多目标变为单目标。考虑项目分值 P_{opt} 为效益型指标, 项目总投资额 M_{opt} 为成本型指标, 利用线性变换的方法对 2 个指标进行归一化, 去掉量纲。效益型指标和成本型指标的线性变换方法分别如式(4)、(5)所示, 寻优模型如式(6)所示。

$$r_{ij}=x_{ij}/x_{jmax}$$

(4)

$$r_{ij}=x_{jmin}/x_{ij}$$

(5)

$$\begin{aligned} \max \quad & F=k_p P_{opt}+k_m M_{opt}=3 \sum_{j=1}^m P_a\left(u_j\right)+\sum_{j=1}^m M\left(u_j\right)= \\ & \sum_{j=1}^m\left[3 P_a\left(u_j\right)+M\left(u_j\right)\right] \\ \text { s.t. } \quad & u_j \in U, u_j \notin U^{-}, u_j \notin U^{+} \quad j=1,2, \cdots, m \\ & M_{opt}+M^{+} \leq M_0 \end{aligned}$$

(6)

其中, $x_{jmax}=\max _i x_{ij} ; x_{jmin}=\min _i x_{ij}$, 此时式(5)并不是线性变换。

2.3.2 求解算法

电网基建项目决策为大规模、非线性、离散整数寻优问题, 而细菌趋药性^[14-15]BC(Bacterial Chemotaxis)算法是利用细菌在化学引诱剂环境中的运动行为来进行优化求解, 具有计算过程简单、鲁棒性强的特点^[16-17], 可求解离散整数优化问题, 因此综合寻优的求解算法采用 BC 算法。

设细菌个数为 e , 细菌坐标变量的位数由项目数决定记为 A ; 随机初始化矩阵为 $e \times A$ 阶, 元素为 1 或 0, 分别表示项目选中或未选中; 由项目数表征细菌移动寻优时的空间位置, 总 F 值为目标监视量, 即细菌在 A 维空间上遵循上述寻优步骤; 寻优过程中考虑项目离散特性和总投资约束。优化流程见图 1。

3 算例分析

本文选取湖北电网“里程碑计划”中 2012 年投产的基建项目作为决策对象, 各项目基本信息见表 2。其中, 3 个 500 kV 项目绝对优先, 无绝对否决的项目。

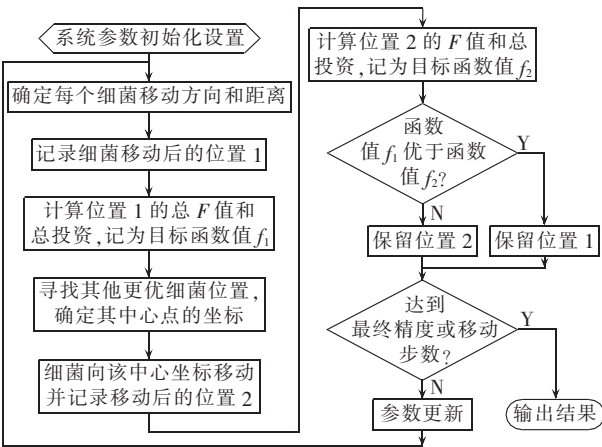


图 1 BC 算法求解电网基建项目辅助决策流程
Fig.1 Flowchart of BC algorithm

表 2 待决策项目基本信息
Tab.2 Basic information of project

项目 编号	项目 名称	电压等 级/kV	地点	完成时间	投资额/ 万元
2012001	A	500	WH	2012 年 6 月	21820
2012002	B	500	WU	2012 年 10 月	24157
2012003	C	500	JZ	2012 年 9 月	25550
2012004	D	220	WH	2012 年 12 月	8669
2012005	E	220	WH	2012 年 12 月	12650
2012006	F	220	WH	2012 年 12 月	7650
2012007	G	220	WH	2012 年 5 月	4875
2012008	H	220	XG	2012 年 5 月	5764
2012009	I	220	HS	2012 年 10 月	10990
2012010	J	220	HG	2012 年 11 月	9155
2012011	K	220	XY	2012 年 4 月	10113
2012012	L	220	XY	2012 年 11 月	12667
2012013	M	220	JZ	2012 年 5 月	2756
2012014	N	220	JZ	2012 年 9 月	7954
2012015	O	220	YC	2012 年 9 月	9590
2012016	P	220	JM	2012 年 6 月	9269
2012017	Q	220	JM	2012 年 11 月	8600
2012018	R	220	JM	2012 年 4 月	3970
2012019	S	220	SZ	2012 年 5 月	18774

根据前文所述的 3 种决策模型, 分别对表 2 中的 19 个项目进行决策, 设定 2012 年总投资额为 150 000 万元(项目投资合计 214 973 万元), 各指标计算系数均为 1, 指标权重取权重范围的中间值, BC 算法中选取细菌个数为 19 个, 决策结果如表 3 所示。表中阴影部分表示未选中的项目。

由表 3 可知, 按项目分值排序时, 投产的项目数为 11, 总投资额为 142 153 万元; 按单位投资分值排序时, 投产的项目数为 13, 总投资额为 142 023 万元; 综合寻优时, 投产的项目数为 14, 总投资额为 149 779 万元。3 种决策模型的决策结果差别较大, 个别项目的巨大投资额对排序结果影响明显。

在电网企业的电网基建项目辅助决策中, 应充分考虑 3 种决策结果, 结合企业实际投资能力及具体工程与电网需求, 确定最终决策方案。

表 3 辅助决策结果
Tab.3 Results of assistant decision making

按项目分值排序			按单位投资分值排序			综合寻优			
项目编号	分值	总投资额/万元	项目编号	单位投资分值	总投资额/万元	项目编号	F	总 F	总投资额/万元
2012001	420.0	21 820	2011001	192.48	21 820	2012001	2.803 7	2.803 7	21 820
2012002	470.6	45 977	2011002	194.81	45 977	2012002	3.114 1	5.917 8	45 977
2012003	313.9	71 527	2011003	122.86	71 527	2012003	2.108 9	8.026 7	71 527
2012004	441.8	80 196	2011013	1 511.97	74 283	2012004	3.656 4	11.683 1	74 283
2012018	430.9	84 166	2011018	1 085.39	78 253	2012018	3.441 1	15.124 2	78 253
2012013	416.7	86 922	2011008	662.73	84 017	2012013	3.134 3	18.258 5	86 922
2012019	385.0	105 696	2011007	624.00	88 892	2012019	2.913 3	21.171 8	92 686
2012011	384.3	115 809	2011004	509.63	97 561	2012011	2.753 4	23.925 2	100 336
2012009	382.7	126 799	2011006	490.72	105 211	2012009	2.748 5	26.673 7	108 290
2012008	382.0	132 563	2011014	473.72	113 165	2012008	2.702 4	29.376 1	117 445
2012015	378.6	142 153	2011010	411.47	122 320	2012015	2.700 9	32.077 0	127 035
2012014	376.8	150 107	2011015	394.79	131 910	2012007	2.504 6	34.581 6	131 910
2012010	376.7	159 262	2011011	380.01	142 023	2012017	2.236 1	36.817 7	140 510
2012005	376.4	171 912	2011017	349.42	150 623	2012016	2.215 5	39.033 2	149 779
2012006	375.4	179 562	2011009	348.23	161 613	2012011	2.722 4	41.755 6	159 892
2012007	304.2	184 437	2011016	324.63	170 882	2012009	2.690 4	44.446 0	170 882
2012016	300.9	193 706	2011005	297.55	183 532	2012005	2.617 4	47.063 4	183 532
2012017	300.5	202 306	2011012	233.44	196 199	2012019	2.601 1	49.664 5	202 306
2012012	295.7	214 973	2011019	205.07	214 973	2012012	2.102 6	51.767 1	214 973

4 结论

电网基础设施建设是保证经济社会快速发展和电网协调进步的重要依托,合理决策电网基建项目对于提升电网运营效率有着重要意义。本文提出了一种电网基建项目辅助决策方法,从电网安全稳定性、设备利用水平、供电可靠性、电能质量、促进电网协调发展和服务经济社会发展等 6 个方面建立了电网基建项目辅助决策指标体系,以全面提升电网运营效率为目的,运用优化算法,进而得出了相应的电网基建项目辅助决策策略。在湖北电网基建项目里程碑计划管理中的应用算例表明,该方法能够为电网基建项目科学决策提供参考依据,有效服务于电网安全、高效、经济运行,为电网进一步提高运营效率奠定了坚实的基础。

参考文献:

[1] 曹芳. 基于两级模糊综合评判的输变电工程项目决策研究[J]. 水电能源科学, 2010, 28(9): 145-147.
CAO Fang. Power transmission projects decision making based on two level fuzzy comprehensive evaluation[J]. Water Resources and Power, 2010, 28(9): 145-147.
[2] 杨海云, 李珍照, 常晓林. 水电工程项目评标中的熵权决策法及其应用[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2005, 38(2): 44-48.
YANG Haiyun, LI Zhenzhao, CHANG Xiaolin. Entropy weight decision-making method and its application to hydropower engineering mark[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2005, 38(2): 44-48.
[3] WANG Jiangjiang, JING Youyin, ZHANG Chunfa, et al. A fuzzy multi-criteria decision-making model for trigeneration system[J]. Energy Policy, 2008, 36(10): 3823-3832.
[4] 赵治. 风力发电项目多目标决策研究[J]. 可再生能源, 2011, 29(2):

39-42.
ZHAO Zhi. Study on multi-objective decision making in wind power projects[J]. Renewable Energy Resources, 2011, 29(2): 39-42.
[5] 荆朝霞, 曾丽. 基于改进层次分析法的配电网中压改造项目迫切度分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(4): 92-95, 99.
JING Zhaoxia, ZENG Li. Analysis on urgency degrees of distribution network reconstruction scheme based on advanced AHP [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(4): 92-95, 99.
[6] 钟庆, 吴捷, 黄武忠, 等. 动态规划在电力建设项目投资决策中的应用[J]. 电网技术, 2002, 26(8): 48-51.
ZHONG Qing, WU Jie, HUANG Wuzhong, et al. Application of dynamic programming for investment decision in electric power construction[J]. Power System Technology, 2002, 26(8): 48-51.
[7] BOTERRUD A, ILIC M D, WANGENSTEEN I. Optimal investments in power generation under centralized and decentralized decision-making[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2005, 20(1): 254-263.
[8] 赵新宇, 王锡凡, 陈皓勇. 火电厂投资风险决策的模型与整体框架[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(8): 7-11.
ZHAO Xinyu, WANG Xifan, CHEN Haoyong. Strategy decision model and framework of thermal power generation investment[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(8): 7-11.
[9] SAN-CRISTÓBAL J R. Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: the Vikor method [J]. Renewable Energy, 2011, 36(2): 498-502.
[10] 肖峻, 罗凤章, 王成山. 一种基于区间分析的电网规划项目决策方法[J]. 电网技术, 2004, 28(7): 62-67.
XIAO Jun, LUO Fengzhang, WANG Chengshan. An interval-based method for evaluation and decision-making of power system planning projects[J]. Power System Technology, 2004, 28(7): 62-67.
[11] 国家电网公司. 国家电网公司电网发展项目管理规定[EB/OL]. (2010-07-13). <http://www.sgcc.com.cn/ztzl/sjy/xgwj/184768.shtml>.

[12] 国家电网公司. 国家电网公司电网基建储备项目评价标准细则 [EB/OL]. (2010-07-13). <http://www.sgcc.com.cn/ztzl/sjy/xgwj/184768.shtml>.

[13] 周博文,杨军. 电网运营效率全视角综合评价指标体系与评价模型[C]//中国高等学校电力系统及其自动化专业第 27 届学术年会. 秦皇岛,中国:[s.n.],2011:1-6.

ZHOU Bowen,YANG Jun. Full-scale comprehensive evaluating index system and evaluating model on operating efficiency of electric power networks[C]//Proceedings of 27th CSU-EPSA. Qinhuangdao,China:[s.n.],2011:1-6.

[14] WANG Z,ZHANG L,FAN Y. A study on bacterial colony chemotaxis algorithm and simulation based on differential strategy[J]. International Journey of Modelling,Identification and Control, 2010,9(1-2):136-143.

[15] 黄伟,张建华,张聪,等. 基于细菌群体趋药性算法的电力系统无功优化[J]. 电力系统自动化,2007,31(7):29-33.

HUANG Wei,ZHANG Jianhua,ZHANG Cong,et al. Reactive

power optimization in power system based on bacterial colony chemotaxis algorithm [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007,31(7):29-33.

[16] BREMMERMANN H J. Chemotaxis and optimization[J]. Journal of the Franklin Institute,1974,297(5):397-404.

[17] MULLER S D,MARCHETTO J,AIRAGHI S P. Optimization based on bacterial chemotaxis[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation,2002,6(1):16-29.

作者简介:

宋伶俐(1978-),女,湖北武汉人,博士研究生,主要研究方向为电力系统规划与管理;

杨 军(1977-),男,湖北武汉人,通讯作者,副教授,博士,主要研究方向为电力系统运行与控制(E-mail:JYang@whu.edu.cn);

周博文(1987-),男,辽宁沈阳人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统运行与控制。

Assistant decision making scheme for construction projects of power network

SONG Lingli^{1,2},YANG Jun¹,ZHOU Bowen¹,WU Yaowen²,HU Zixiu²,LI Jun²,
DENG Changhong¹,SUN Yuanzhang¹

(1. School of Electrical Engineering,Wuhan University,Wuhan 430072,China;
2. Hubei Electric Power Corporation,Wuhan 430077,China)

Abstract: An assistant decision making scheme improving the operating efficiency is proposed for the construction projects of electric power network. Its index system is set in six aspects:power system stability, equipment utilization rate,power supply reliability,power quality,coordinated network promotion and economic development,based on which,an assistant decision making model is established in three aspects:project mark,unit investment mark and integrated optimization,and the corresponding algorithms are given.

Key words: operating efficiency; construction project; assistant decision making; index system; bacterial chemotaxis; decision making; models

(上接第 57 页 continued from page 57)

Four-quad multilevel converter

GAO Zhigang¹,DONG Lei¹,LIAO Xiaozhong¹,ZHUANG Yaping²,ZHOU Dejia²

(1. Beijing Institute of Technology,Beijing 100081,China;
2. Naval Academy of Armament,Beijing 100073,China)

Abstract: A four-quad multilevel converter topology is proposed,which is composed of H-bridge rectifier, middle-frequency transformer and cascaded H-bridge inverter. The power flow model of converter is established,and its control algorithm and modulation strategy are presented. The output voltage model of input-side converter is analyzed and the corresponding modulation strategy is proposed. The working phase of each middle-frequency H-bridge is described,which functions to keep the voltage balance for each capacitor and realize the four-quad operation of converter. The experimental result validates the correctness of the proposed topology and algorithm. Without the power frequency transformer,the proposed converter has small size and weight,and is applicable in high-voltage large-capacity condition.

Key words: electric converters; middle-frequency transformer; H-bridge; carrier phase shifting; voltage control