

计及风险成本的配电网变电站规划方法

姜小静, 苏海锋, 梁志瑞

(华北电力大学 电气与电子工程学院, 河北 保定 071003)

摘要: 不确定因素处理方法的合理性将会直接影响配电网变电站规划的最优结果。在全生命周期成本理论的基础上, 改进了变电站的选址定容模型中不确定因素的量化处理方法, 计入负荷、电价和土地价格的不确定性, 建立以全生命周期成本最低为目标函数的变电站规划模型。算例分析验证了所提规划方法的合理性, 与传统规划方法相比, 采用所提方法的全生命周期成本较低, 经济性更好。

关键词: 配电网; 变电站; 规划; 全生命周期成本; 变电站选址定容; 风险

中图分类号: TM 715

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.06.024

0 引言

配电网变电站规划要解决的主要问题就是变电站的选址、定容以及确定各变电站供电范围等问题。变电站的选址定容是一个需要同时考虑各种不确定因素的大规模组合优化问题, 它的合理与否直接影响着电网投资、网络构架、运行经济性等一系列问题。因此, 配电网变电站的规划是一项非常重要的基础工作^[1-3]。

文献[4]首次提出了一种无需事先给定候选变电站的位置和数量的大规模自动寻优的规划方法, 此方法的提出极大减少了规划人员的前期工作量, 使变电站的规划工作进入了无待选站址的自动寻优阶段。文献[5]在变电站规划的投资和运行费用最低模型的基础上, 利用占地费用的经济性指标和站址的地理适宜性指标形成的综合适应度对初始方案进行调整与优化。文献[6]对变电站选址时涉及的不确定性因素众多且很多因素无法量化的问题, 提出了采用模糊层次分析法将更多不确定性因素计入规划工作中。而对选址定容工作中的不确定地理因素, 文献[7]将土地费用加入目标函数中, 建立了基于地理信息的新模型。

上述文献的规划模型均将重心放在了项目的前期投入成本, 忽视了后期的运行、维护和报废等诸多过程。而从规划项目长远的经济效益来看, 方案的运行成本、维护成本、故障成本和废弃成本的总和会大于它的投资建设成本, 这种传统的规划模型存在着重眼前轻长远、重局部轻全局的缺点, 难以最大限度地实现变电站规划的经济效益。鉴于以上文献模型的不足之处, 为了切实提高变电站规划的投资效益, 需要对全生命周期成本 LCC (Life Cycle Cost) 管理理论展开全面的研究。文献[8]在 LCC 的基础上加入地理惩罚因子和隐性成本因子, 建立了新建变电站的最小 LCC 目标函数。文献[9]则分别建立了

变电站进线侧、出线侧和变电站站内设备的 LCC 规划模型。这些研究成果都充分证明了基于 LCC 的变电站规划模型具有重要的意义。而随着配电网变电站规划风险因素的日益多样化和复杂化, 现有的变电站规划研究文献中缺乏从各种不确定风险与经济角度的综合分析, 所以考虑各种风险因素的变电站选址定容模型有一定的研究意义。文献[10]采用三角模糊数来描述负荷的不确定性, 将它对变电站规划的影响计入到数学模型中。文献[11]中负荷的不确定性、征地费用的不确定性和社会补偿的不确定性分别采用简化的概率密度函数形式来描述, 建立了全生命周期内的期望利润最大的目标函数, 但各种不确定风险因素的量化均是在忽略一些实际情况的影响作用下进行的。对此, 本文基于 LCC 理论, 从各种不确定风险因素的量化角度出发, 对设计、运行、维护到报废的全过程进行风险识别。将负荷的不确定性、电价的不确定性和土地价格的不确定性分别予以具体量化并建立了 LCC 最小的数学模型, 使得方案在满足经济性与可靠性的同时更符合实际情况。

1 变电站规划模型中的不确定风险因素

配电网变电站建设项目风险方面的研究多还处于理论层面, 没有太多的参考文献可供研究, 所以很有必要对其存在的不确定风险因素进行量化分析。对于配电网变电站规划面临的各种不确定风险, 本文从设计、运行、维护和报废的全生命周期过程进行分析, 重点考虑的不确定因素有: 负荷的不确定性、电价的不确定性以及土地价格的不确定性。

1.1 负荷的不确定模型

区域负荷的概率分布, 既可以反映负荷的不确定性, 又可以反映负荷的规律性。所以, 采用负荷的概率分布形式来描述负荷的不确定性。

通过该地区某区域一年时间内的历史负荷数据

进行概率统计分析发现负荷值为一个服从正态分布的随机变量。因此,规划区域的不确定负荷如式(1)所示:

$$P = \int_{\mu-3\sigma}^{\mu+3\sigma} x f(x) dx = \int_{\mu-3\sigma}^{\mu+3\sigma} x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)} dx \quad (1)$$

其中, x 为规划区域的负荷; $f(x)$ 为规划区域负荷的概率密度函数; μ 为正态分布的均值; σ^2 为方差。负荷的正态分布取值位于 $(\mu-3\sigma, \mu+3\sigma)$ 的概率为99.74%,其值落在 $(\mu-3\sigma, \mu+3\sigma)$ 内几乎是肯定的,可以满足负荷不确定性的要求。所以区域负荷的不确定结果表示为 $[P_{\mu-3\sigma}, P_{\mu+3\sigma}]$,即 $[P_{\min}, P_{\max}]$ 。一般又认为区域内的各负荷相互独立,它们的和或差仍服从正态分布^[12],所以各负荷点的负荷值也为服从正态分布的随机变量,单点负荷 j 的不确定区间为 $[P_{\mu_j-3\sigma_j}, P_{\mu_j+3\sigma_j}]$ 。

1.2 电价的不确定模型

电力市场中电价的影响因素众多,但对于相同的电力市场很多因素都是相对稳定的。而电力负荷却随着经济发展、生活水平、时间等因素的变化而变化,它和各因素共同影响着电价的变化^[13-14]。电力负荷在电价的不确定模型中是一个不容忽视的主要因素,对于负荷有弹性的市场,其电价与负荷需求的反向函数^[15]为:

$$\beta = k_1 - k_2 Q = k_1 - k_2 \int_{\mu-3\sigma}^{\mu+3\sigma} 8760 x f(x) dx \quad (2)$$

其中, β 为电价; Q 为规划区域的不确定负荷需求; k_1, k_2 均为不小于0的常数; $f(x)$ 为规划区域负荷的概率密度函数。

1.3 土地价格的不确定模型

经济的快速发展使人们对电力的需求不断增加,直接导致变电站建设项目的快速增长。然而由土地资源紧缺引发的土地供求矛盾使得变电站的土地费用表现出了很大的不确定性。传统变电站规划中土地费用投资的常规化处理已不符合实际的发展情况。所以根据规划工作的实际情况,本文将变电站土地征用补偿费用的不确定性计算计入到目标函数中。

土地管理法规定的征地补偿标准倍数是一个区间,所以计算得到的补偿价格一般是价格的区间,即最小值和最大值是确定的,而具体的补偿价格受一些不确定因素的影响是不易计算得到的。本文以集对分析方法^[16]为理论基础确定的土地补偿价格的表达式为:

$$C_l = C_{\min} + m(C_{\max} - C_{\min}) \quad (3)$$

其中, $C_{\min}$ 为土地补偿的最低价格; $C_{\max}$ 为土地补偿的最高价格; m 为不确定系数, $0 \leq m \leq 1$ 。

对于变电站选址用地的价格补偿,考虑影响 m

取值的不确定因素有:位置因素、当地经济情况、被征地者的生活水平和土地供需情况。其中,位置因素用与城市中心的距离表征;当地经济状况用人均GDP表征;被征地者生活水平用人均收入表征;土地供需情况则通过土地征用者和被征用者的想买卖的对比程度来表征。

$$m = \sum_{k=1}^4 \omega_k (E_k / F_k) \quad (4)$$

其中, ω_k 为各影响因素的权重; E_k 为各因素指标的实际值; F_k 为各因素指标的理想值。

2 变电站的规划模型

2.1 变电站容量和数量的配置

由上述负荷的不确定模型得到的规划区域负荷为 $[P_{\min}, P_{\max}]$,然后对规划区域的负荷性质分析确定负荷的同时率,根据规划区域变压器的容载比范围计算出所需的变压器容量范围。利用不确定负荷的最小值和最大值分别计算的所需变压器的容量范围及最终确定的容量分别如式(5)~(7)所示。

$$S_{e1(\min-\max)} = P_{\min} R_{\min} \eta \sim P_{\min} R_{\max} \eta \quad (5)$$

$$S_{e2(\min-\max)} = P_{\max} R_{\min} \eta \sim P_{\max} R_{\max} \eta \quad (6)$$

$$S_{e(\min-\max)} = S_{e1(\min-\max)} \cup S_{e2(\min-\max)} \quad (7)$$

其中, $P_{\min}$ 为不确定负荷的最小值; $P_{\max}$ 为最大值; $R_{\max}$ 为规划电压等级系统的最大容载比; $R_{\min}$ 为最小容载比; η 为规划区域负荷的同时率; $S_{e\min}$ 为所需变电站总容量最小值; $S_{e\max}$ 为所需变电站总容量最大值。

根据备选变电站的规模容量,利用确定的所需容量范围计算得到需要新建的变电站数量范围如式(8)所示。

$$N_{(\max-\min)} = (S_{e\max} - S) / S_{lx\min} \sim (S_{e\min} - S) / S_{lx\max} \quad (8)$$

其中, S 为已有变电站总容量; $S_{lx\min}$ 为新建变电站规模中的最小值; $S_{lx\max}$ 为新建变电站规模中的最大值。

2.2 变电站的 LCC 规划模型

基于 LCC 的变电站规划模型的核心内容是对规划变电站的 LCC 进行分析计算。本文将负荷不确定性、电价不确定性和土地价格不确定性的量化计算分别计入全生命周期的各个阶段,从而计算规划模型的目标函数值。

配电网变电站的 LCC 规划模型为:

$$\min LCC = LCC_{HV} + LCC_{LV} + LCC_S \quad (9)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in I_i} P_j \leq S_i e(S_i) \cos \varphi_i$$

$$U_{LV-ij} = \frac{P_j z l_{LV-ij}}{U_{LV-i}} g_{ij} \quad 0 \leq U_{LV-ij} \leq \Delta U_m$$

$$P_j = \int_{\mu_j-3\sigma_j}^{\mu_j+3\sigma_j} x_j f(x_j) dx_j$$

$$\sum_{i=1}^N g_{ij} = 1 \quad g_{ij} \in \{0, 1\}$$

$$l_{LV-ij} \leq Y_i$$

其中, $i=1, 2, \dots, N$; LCC_{HV} 、 LCC_{LV} 、 LCC_S 分别为高压侧进线、低压侧配电线路、变电站的 LCC ; P_j 为负荷点 j 的不确定负荷; J_i 为变电站 i 所带负荷集合; S_i 为变电站 i 的容量; $e(S_i)$ 为变电站 i 的最大负载率, $\cos \varphi_i$ 为变电站 i 的功率因数; U_{LV-ij} 为变电站 i 与负荷点 j 之间的压降值; z 为低压侧线路的单位长度电阻; U_{LV-i} 为低压侧线路的额定电压; ΔU_m 为低压侧允许电压偏差的最大值; $f(x_j)$ 为负荷点 j 的概率密度函数; N 为新建变电站的数量; g_{ij} 为负荷点 j 是否由变电站 i 供电的判别因子, $g_{ij}=1$ 对应“是”, $g_{ij}=0$ 对应“否”; l_{LV-ij} 为变电站 i 到负荷点 j 的距离; Y_i 为变电站 i 的最大供电半径。

2.2.1 变电站高压进线侧 LCC_{HV} 模型

$$LCC_{HV} = C_{HV-I} + \delta_{PVsum}(C_{HV-O} + C_{HV-M} + C_{HV-F}) + \delta_{PV} C_{HV-D} \quad (10)$$

其中, C_{HV-I} 、 C_{HV-O} 、 C_{HV-M} 、 C_{HV-F} 、 C_{HV-D} 分别为规划变电站进线侧的初始投资成本、运行成本、维护成本、故障成本和废弃成本; $\delta_{PV} = 1 / (1+r)^n$ 为折现系数; $\delta_{PVsum} = [(1+r)^n - 1] / [r(1+r)^n]$ 为按年度投资成本的现值和的折算系数; n 为寿命周期; r 为折现率。考虑到线路的残值较小, 本文假设其残值收入和处置成本相互抵消, 故 $C_{HV-D} = 0$ 。

由于考虑了负荷的不确定性和电价的不确定性对各阶段成本量化的影响, 因此运行成本 C_{HV-O} 和故障成本 C_{HV-F} 和文献[9]有所不同, 分别如式(11)、(12)所示。而初始投资成本 C_{HV-I} 和维护成本 C_{HV-M} 的计算方法与文献[9]相同, 因此不再赘述。

$$C_{HV-O} = \sum_{q=1}^M \sum_{i=1}^N \left(\frac{\beta_{h1} \beta_{h2} \beta_{h3}}{U_h^2 \cos^2 \varphi_h} l_{HV-qi} \right) \sum_{j \in J_i} \left(\int_{\mu_j - 3\sigma_j}^{\mu_j + 3\sigma_j} x_j f(x_j) dx_j \right)^2 \quad (11)$$

$$C_{HV-F} = \sum_{q=1}^M \sum_{i=1}^N \left[(R + \theta) t_{hi} \lambda_{hi} l_{HV-qi} \sum_{j \in J_i} \left(\int_{\mu_j - 3\sigma_j}^{\mu_j + 3\sigma_j} x_j f(x_j) dx_j \right) \right] \quad (12)$$

其中, M 为高压电源点个数; l_{HV-qi} 为高压电源点 q 到变电站 i 的距离; $\beta_{h1} = k_1 - k_2 \int_{\mu - 3\sigma}^{\mu + 3\sigma} 8760 x f(x) dx$ 为不确定电价; β_{h2} 为高压侧线路的单位长度电阻; β_{h3} 为高压侧线路的年最大损耗小时数; U_h 为高压侧的额定电压; φ_h 为高压侧的功率因数角; $f(x_j)$ 为负荷点 j 的概率密度函数; $\mu_j + 3\sigma_j$ 、 $\mu_j - 3\sigma_j$ 分别为不确定负荷积分区间的上限值和下限值; R 为规划地区的产电比; θ 为规划地区的售电利润; t_{hi} 为变电站 i 进线侧线路设备故障平均修复时间; λ_{hi} 为变电站 i 进线侧线路设备故障率。

低压侧出线 LCC_{LV} 的构成和计算方法与 LCC_{HV} 类似, 本文不再赘述。

2.2.2 变电站站内 LCC_S 模型

$$LCC_S = C_{S-I} + \delta_{PVsum}(C_{S-O} + C_{S-M} + C_{S-F}) + \delta_{PV} C_{S-D} \quad (13)$$

其中, C_{S-I} 、 C_{S-O} 、 C_{S-M} 、 C_{S-F} 、 C_{S-D} 分别为变电站的初始投

资成本、运行成本、维护成本、故障成本和废弃成本。

由于本文考虑的土地价格的不确定性、电价的不确定性和负荷的不确定性量化计算分别影响了变电站的初始投资成本 C_{S-I} 、运行成本 C_{S-O} 和故障成本 C_{S-F} , 所以其计算公式分别如式(14)—(16)所示, 而维护成本 C_{S-M} 和废弃成本 C_{S-D} 的计算方法与文献[9]相同。

$$C_{S-I} = \sum_{i=1}^N f(S_i) + \sum_{i=1}^N C_{li} = \sum_{i=1}^N f(S_i) + \sum_{i=1}^N [C_{mini} + m_i (C_{maxi} - C_{mini})] \quad (14)$$

$$C_{S-O} = \sum_{i=1}^N \sum_{a_i \in A_i} (p_{oi a_i} + \rho^2 p_{kia_i}) \tau_{max} \beta_{h1} = \sum_{i=1}^N \sum_{a_i \in A_i} (p_{oi a_i} + \rho^2 p_{kia_i}) \tau_{max} \times \left[k_1 - k_2 \int_{\mu - 3\sigma}^{\mu + 3\sigma} 8760 x f(x) dx \right] \quad (15)$$

$$C_{S-F} = \int_{\mu - 3\sigma}^{\mu + 3\sigma} x f(x) dx (R + \theta) t_{si} \lambda_{si} \quad (16)$$

其中, $f(S_i)$ 包括变电站的设备购置费和安装工程费; C_{li} 为变电站 i 的土地费用; C_{mini} 为变电站 i 土地的最低价格; C_{maxi} 为变电站 i 土地的最高价格; m_i 为不确定系数; $p_{oi a_i}$ 为变电站 i 中变压器 a_i 的空载损耗; p_{kia_i} 为变电站 i 中变压器 a_i 的负载损耗; ρ 为变压器的负载率; τ_{max} 为变压器的年最大损耗小时数; A_i 为变电站 i 中主变集合; t_{si} 为变电站 i 主变设备的故障平均修复时间; λ_{si} 为变电站 i 主变设备故障率。

3 算例

某开发区预测 10 a 后的负荷位置和预测大小值见表 1, 该开发区中心位置有一个湖泊, 总负荷预测量为 128.32 MW。为了满足开发区未来负荷的需求, 需新建 35 kV 变电站, 占地面积为 1 800 m², 新建变电站的规模选择有 3×16 MV·A 和 3×20 MV·A, 表 2 为候选变压器的参数, 2 种规模的变电站造价(不包

表 1 各负荷点大小和位置
Tab.1 Capacity and position of load nodes

节点	坐标/km	负荷最大值/MW	节点	坐标/km	负荷最大值/MW
1	(2.65, 3.11)	4.62	13	(4.21, 3.12)	6.23
2	(3.56, 4.61)	2.01	14	(5.65, 3.21)	7.25
3	(2.89, 5.21)	13.21	15	(6.25, 5.12)	4.12
4	(2.59, 2.36)	5.23	16	(3.21, 4.21)	5.45
5	(2.64, 4.21)	5.69	17	(3.45, 5.23)	6.10
6	(2.19, 3.12)	5.02	18	(4.21, 6.55)	5.31
7	(3.64, 3.26)	2.10	19	(3.42, 3.01)	12.66
8	(4.12, 5.52)	2.65	20	(5.71, 7.21)	3.55
9	(4.25, 3.25)	4.12	21	(7.12, 6.35)	4.65
10	(4.85, 3.05)	4.56	22	(5.49, 6.01)	4.87
11	(4.59, 3.55)	3.26	23	(3.56, 6.51)	6.25
12	(5.21, 3.12)	5.10	24	(6.45, 7.21)	4.31

表 2 候选变压器参数

Tab.2 Parameters of candidate transformer

标号	容量/ (MV·A)	价格/ 万元	空载损 耗/kW	负载损 耗/kW	故障率/ (次·台 ⁻¹ ·a)
1	16	85.8	20.1	80.8	0.01
2	20	143	23.8	97.6	0.01

括占地费用)分别为 1625.05 万元和 2486.69 万元。规划变电站的容载比要求为 1.8~2.2,负荷同时率为 0.8。新建变电站的 2 个上级 110 kV 电源节点坐标分别为 (2.09 km,4.31 km) 和 (7.34 km,4.35 km),其他参数如表 3 所示。

表 3 其他参数

Tab.3 Other parameters

参数	取值
高压侧线路单位长度造价/(万元·km ⁻¹)	25
低压侧线路单位长度造价/(万元·km ⁻¹)	13.2
变压器年最大损耗小时数/h	4000
高压侧线路故障修复时间/h	3
低压侧线路故障修复时间/h	4
高压侧线路故障率/(次·km ⁻¹ ·a)	0.02
低压侧线路故障率/(次·km ⁻¹ ·a)	0.03
低压侧最大供电半径/km	8
变电站最大负载率	0.8
功率因数	0.9
高、低压侧线路单位长度电阻/(Ω·km ⁻¹)	0.15、0.13
高、低压侧线路年最大损耗小时数/h	3950
社会贴现率	0.08
全寿命周期	20
维护费用折算系数	0.015
变压器拆除成本折算系数	1%
变压器残值折算系数	30%
变压器故障到负荷时间/h	1.5

3.1 算例分析

35 kV 变电站的占地面积取常规面积 1800 m²。算例中的一些参数取值如下:负荷的不确定性计算中,通过该地区历史负荷数据的最大值和开发区域的负荷预测值之间的比例关系,并利用历史拟合正态分布的均值和方差确定开发区负荷正态分布概率密度函数的均值 $\mu=80.76$,方差近似取历史负荷方差

表 5 本文方法与文献[9]方法的 LCC 结果

Tab.5 Substation LCC planned by proposed method and by method of literature[9]

方法	优化结果	C_1 /万元	C_0 /万元	C_M /万元	C_F /万元	C_D /万元	LCC/万元
本文	2 座 3×16 MV·A 变电站	9867.42	11353.10	1366.53	403.58	-541.89	22448.74
	2 座 3×20 MV·A 变电站						
文献[9]	2 座 3×16 MV·A 变电站	9270.22	13028.24	1365.25	330.46	-473.49	23520.69
	2 座 3×20 MV·A 变电站						

表 6 规划结果的变电站位置

Tab.6 Substation locations planned by substation planning

变电站位置	坐标/km	变电站容量/(MV·A)
a	(2.71,3.44)	3×20
b	(5.16,3.25)	3×16
c	(6.53,5.74)	3×16
d	(3.31,5.36)	3×20

$\sigma^2=253.351$ 。电价的不确定计算中,利用文献[13]中不同电价与用电量的原始数据线性拟合所确定的系数 $k_1=0.688,k_2=9.05\times10^{-7}$ 。

文献[9]中变电站的占地费用计算中,占地 1800 m²,合 2.7 亩,每亩按照购地费 45 万元来计算,那么可以知道变电站的土地价格为 121.5 万元。而本文中土地价格的确定首先采用层次分析法分别对规划区中 7 个不同地块中影响土地价格的各个因素分析得到其权重,然后选择北京市土地价格影响因素的测算值作为理想值分别计算不同的 m 值。按倍数法评估土地价格的不确定区间的具体标准详见文献[17],则规划区内 7 个不同地块中的变电站的最高与最低土地价格及最后确定的土地价格如表 4 所示。

表 4 规划区各地块内变电站的土地价格

Tab.4 Land price of parcels in planning area

地块 序号	最低地价/ 万元	最高地价/ 万元	土地价格/ 万元
1	150	280	197
2	370	520	436
3	145	297	200
4	427	608	506.6
5	514	693	592.7
6	146	285	196.3
7	125	276	179.6

3.2 算例结果

本文规划方法与文献[9]方法的不同规划结果如表 5 所示,表中 C_1 、 C_0 、 C_M 、 C_F 、 C_D 分别为整个规划方案总的初始投资成本、运行成本、维护成本、故障成本、废弃成本。

表 5 中为本文规划模型与文献[9]模型的不同规划结果,而本文规划方案的变电站位置坐标、容量如表 6 所示,其详细布局接线如图 1 所示。由表 5 中全寿命周期内不同阶段的计算结果来看,方案的后期运行、维护、故障和报废成本之和远远大于方案的初始投资,所以单纯以初始投资最小为目标函数

的传统规划方法的不足之处已显而易见。对比本文规划模型与文献[9]模型的不同规划结果,通过分析可知,由于本文模型中不同变电站位置土地价格的差异,导致本文方案初始投资成本较文献[9]增大,但负荷变化的不确定性及电价的不确定性使方案运行成本相应减少。本文中全寿命周期内各阶段成本的改变使规划方案的 LCC 较文献[9]中的结果也有

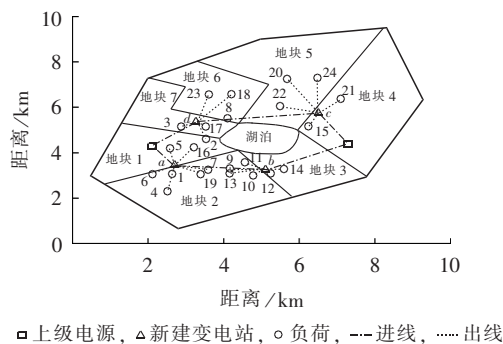


图 1 最优规划方案示意图

Fig.1 Schematic diagram of optimal planning scheme

所减少,所以计入负荷不确定性、电价不确定性和土地价格不确定性的规划模型使方案的结果更符合实际情况,具有一定的实用价值。

4 结论

面对配电网变电站规划过程中不确定风险因素的日益增多,本文在 LCC 理论的基础上,将负荷的不确定性、电价的不确定性和土地价格的不确定性计入了变电站的规划研究中,并通过算例验证了其科学性与实用性。所以,本文建立的最小 LCC 配电网变电站规划模型的目标函数,在满足可靠性的同时兼顾经济性与实用性。

在考虑各种影响因素作用规划方案时可量化程度的基础上,本文仅将负荷、电价和土地价格的不确定性计入规划方案 LCC 的数学模型,但配电网变电站规划中的不确定风险因素还有很多,深入研究其他不同影响因素作用的规划方案将会是未来变电站规划的一个重要方向,这对提高 LCC 的优化管理具有一定的意义。

参考文献:

- [1] de SOUZA B A, de ALMEIDA A M F. Multi-objective optimization and fuzzy logic applied to planning of the volt/var problem in distributions systems[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2010, 25(3): 1274-1281.
- [2] SEPASIAN M S, SEIFI H, FOROUD A A, et al. A new approach for substation expansion planning[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(2): 997-1004.
- [3] DOMINGO C M, ROMAN T G S, SANCHEZ-MIRALLES A, et al. A reference network model for large-scale distribution planning with automatic street map generation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2011, 26(1): 190-197.
- [4] DAI Hongwei, YU Yixin, HUANG Chunhua, et al. Optimal planning of distribution substation location and sizes-model and algorithm[J]. Electrical Power & Energy Systems, 1996, 18(6): 353-357.
- [5] 王成山, 魏海洋, 肖俊, 等. 变电站选址定容两阶段优化规划方法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(4): 62-66.

WANG Chengshan, WEI Haiyang, XIAO Jun, et al. Two-phase

optimization planning approach to substation locating and sizing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(4): 62-66.

- [6] 闫丽梅, 许爱华, 任爽, 等. 一种变电站选址的新方法[J]. 高压电子技术, 2007, 33(9): 75-79.
- [7] YAN Limei, XU Aihua, REN Shuang, et al. New method of selecting location of transformer substation[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(9): 75-79.
- [7] 陶青松, 肖俊, 王笑一. 基于地理信息的变电站选址定容模型与算法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2010, 22(6): 32-37.
- [7] TAO Qingsong, XIAO Jun, WANG Xiaoyi. Geographic information based substation locating and sizing model and algorithm[J]. Proceedings of the CSU-EPSS, 2010, 22(6): 32-37.
- [8] 梁榕珊. 基于全生命周期成本的变电站选址定容研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2011.
- [8] LIANG Rongshan. Research on substation locating and sizing based on life cycle cost management[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2011.
- [9] 苏海峰, 张建华, 梁志瑞, 等. 基于全寿命周期成本的配电网变电站选址定容优化规划[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(23): 59-64.
- [9] SU Haifeng, ZHANG Jianhua, LIANG Zhirui, et al. Substation locating and sizing optimization planning based on life cycle cost[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(23): 59-64.
- [10] 高付良, 张鹏, 赛雪, 等. 考虑负荷不确定性的变电站选址定容[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(15): 75-80.
- [10] GAO Fuliang, ZHANG Peng, SAI Xue, et al. Substations locating and sizing in uncertainty load environment[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(15): 75-80.
- [11] 何永秀, 罗涛, 方锐. 基于风险分析的变电站选址优化研究[J]. 华北电力大学学报, 2011, 38(3): 53-57.
- [11] HE Yongxiu, LUO Tao, FANG Rui. Substation locating optimization based on risk analysis[J]. Journal of North China Electric Power University, 2011, 38(3): 53-57.
- [12] 浙江大学. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1986.
- [13] 李俊, 刘俊勇, 刘友波, 等. 智能营销研究概述(五)——电价体系发展与改进[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(3): 81-84, 89.
- [13] LI Jun, LIU Junyong, LIU Youbo, et al. Summary of research on intelligent sales and marketing of smart grid(5): development and improvement of power price system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(3): 81-84, 89.
- [14] 李俊, 刘俊勇, 谢连芳, 等. 发电侧与供电侧分时电价动态博弈联动研究[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(4): 16-19.
- [14] LI Jun, LIU Junyong, XIE Lianfang, et al. Dynamic game linkage of TOU pricing between generating side and retail side[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(4): 16-19.
- [15] 袁萍. 销售电价的政策性调整模型及其分析[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
- [15] YUAN Ping. The policy-type adjustment model of the sale electric and its analysis[D]. Changsha: Hunan University, 2009.
- [16] 徐保根. 基于集对分析的征地补偿价格评估方法研究[J]. 武汉大学学报, 2009, 62(6): 819-824.
- [16] XU Baogen. Assessment method to land acquisition compensation price based on set pair analysis[J]. Wuhan University Journal, 2009, 62(6): 819-824.

(下转第 167 页 continued on page 167)

data compression based on image smoothing algorithm[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(8): 77-80.

[10] 中国电力科学研究院. DL/T553—94 220~500 kV 电力系统故障动态记录技术准则[S]. 北京:中国电力出版社,1994.

[11] 黄纯,江亚群. 谐波分析的加窗插值改进算法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(15): 26-31.

HUANG Chun, JIANG Yaqun. Improved window and interpolation algorithm for analysis of power system harmonics[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(15): 26-31.

作者简介:



黄 纯

黄 纯(1966—),男,湖南沅江人,教授,博士研究生导师,博士,通讯作者,研究方向为电力系统自动化、继电保护、电能质量分析与控制(E-mail: yellowpure@hotmail.com);

杨帅雄(1987—),男,湖南湘阴人,工程师,硕士,研究方向为电力系统继电保护;

梁勇超(1972—),男,湖南长沙人,高级工程师,硕士,研究方向为电力系统自动化、继电保护。

Practical data compression method for power system fault records

HUANG Chun¹, YANG Shuaixiong^{1,2}, LIANG Yongchao², LIU Kun², WEN Chao^{1,2}, GUO Zhenhua¹

(1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. Hunan Electric Examine and Repair Company, Changsha 410002, China)

Abstract: Because the fault records occupy only a small proportion of the whole record file, a channel-specific and segment-specific data compression method is proposed for the mass data transmission of power system fault records. Because the FFT(Fast Fourier Transform) algorithm has higher data compression ratio for periodic signals, the segment data are treated by FFT algorithm first. If the error is bigger, the wavelet transform is then applied. If the frequency offset of power system is greater than the rated value, the windowed Fourier transform algorithm with frequency calibration is applied to ensure the compression ratio and compression precision. Simulation and actual compression of record file show that the proposed algorithm has better compression performance and smaller error, verifying its feasibility and validity.

Key words: electric power systems; fault records; data compression; fast Fourier transforms; windowed DFT algorithm; wavelet transforms

(上接第 145 页 continued from page 145)

[17] 柯燕燕. 我国征地补偿标准现状与改进研究[D]. 重庆:重庆大学, 2006.

KE Yanyan. A status quo of land expropriation compensation in our country and research on ameliorating the standard[D]. Chongqing: Chongqing University, 2006.

作者简介:

姜小静(1988—),女,河北石家庄人,硕士研究生,主要研



姜小静

究方向为农业电气化与自动化(E-mail: 247999032@qq.com);

苏海锋(1977—),男,河北保定人,讲师,博士,主要从事电网规划及电能质量监测方面的研究工作;

梁志瑞(1959—),男,河北保定人,教授,从事电力系统自动化、电力系统监测与故障诊断技术的教学与研究工作。

Distribution substation planning considering risk cost

JIANG Xiaojing, SU Haifeng, LIANG Zhirui

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: The rationality of uncertainty factor treatment will directly influence the optimal result of distribution substation planning. Based on the theory of LCC(Life Cycle Cost), an improved quantization method is proposed for the uncertainty factors in the model of substation locating and sizing, such as load, electricity price and land price, and a substation planning model is built with the minimum LCC as its objective function. Case analysis verifies the rationality of the proposed method, which has lower LCC than traditional planning method does.

Key words: electric power distribution; electric substations; planning; life cycle cost; substation locating and sizing; risks